



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων
και Συστημάτων Αποφάσεων

Μελέτη και Προσομοίωση Έμμεσης Ηλεκτροστατικής
Εκφόρτισης σε Καλώδιο SpaceWire

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Αθ. Κάμτσιος

Επιβλέπων: Ιωάννης Φ. Γκόνος, Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων
και Συστημάτων Αποφάσεων

**Μελέτη και Προσομοίωση Έμμεσης Ηλεκτροστατικής
Εκφόρτισης σε Καλώδιο SpaceWire**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Αθ. Κάμτσιος

Επιβλέπων: Ιωάννης Φ. Γκόνος, Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^α Μαρτίου 2024

.....
Ιωάννης Φ. Γκόνος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Γεώργιος Ν. Κορρές
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

.....

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΘ. ΚΑΜΤΣΙΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright© ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΘ. ΚΑΜΤΣΙΟΣ, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα, που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό, πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα, που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο, εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Στον Όσιο Παΐσιο τον Αγιορείτη,
τον ισχυρό μεσίτη μου προς τον Κύριο
και τον βοηθό και αρωγό
καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου
και όχι μόνο...*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των διαστημικών εφαρμογών, ο εμπλουτισμός του διαστημικού εξοπλισμού με νέες μονάδες και συστήματα και οι διαρκείς, σπουδαίες μα και πολύπλοκες διαστημικές αποστολές, έχουν οδηγήσει σε πολύ αυξημένες απαιτήσεις επικοινωνίας, δηλ. λήψης, μετάδοσης και διαχείρισης ψηφιακών δεδομένων, με μεγάλη αξιοπιστία και χαμηλό κόστος. Υπό το πρίσμα των αναγκών αυτών, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και σταδιακά τελειοποιηθεί ένα νέο πρωτόκολλο για επικοινωνιακές ζεύξεις σε διαστημικές εφαρμογές, το λεγόμενο SpaceWire. Το πρωτόκολλο αυτό, με τα φυσικά μέσα που διαθέτει και με τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί, εξασφαλίζει την εκπλήρωση των υψηλών αυτών απαιτήσεων ταχύτητας, αξιοπιστίας και κόστους.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται εκτενώς το φυσικό διασυνδεδετικό μέσο της επικοινωνιακής ζεύξης SpaceWire, το *Καλώδιο SpaceWire* και το φαινόμενο της *Έμμεσης Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης* σε αυτό. Πραγματοποιείται πολύπλευρη και σε βάθος μελέτη και εξέταση του καλωδίου αυτού και δημιουργείται σταδιακά ένα πλήρες προσομοιωτικό μοντέλο του, με την χρήση του λογισμικού *CST Studio Suite® 2021*. Το μοντέλο αυτό ακολούθως, χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της δοκιμής Έμμεσης Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης σε καλώδιο SpaceWire. Όλες οι ενέργειες της υλοποίησης συντελούνται σε απόλυτη συμμόρφωση προς τα επίσημα σχετικά πρότυπα, που περιγράφουν το πρωτόκολλο SpaceWire, επεξηγώντας και αποσαφηνίζοντας τις διάφορες πτυχές του. Επίσης γίνεται προσπάθεια η υλοποίηση να παραμετροποιηθεί με όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη προσοχή, ώστε το δημιουργηθέν μοντέλο να μπορεί να τροποποιείται από μελλοντικούς μελετητές.

Αρχικά, το καλώδιο προσεγγίζεται από το επίπεδο της διατομής. Εξηγείται με κάθε λεπτομέρεια ο τρόπος δόμησης του εσωτερικού του καλωδίου και παρουσιάζεται εξίσου λεπτομερώς η υλοποίησή του στον προσομοιωτή. Συνοδευτικά πραγματοποιούνται και θεωρητικές επαληθεύσεις της ορθότητας του μοντέλου.

Στην συνέχεια εξετάζονται οι σύνδεσμοι, στους οποίους τερματίζει το καλώδιο. Διερευνώνται εκτενώς τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, με παραδείγματα από εμπορικούς συνδέσμους, όπως επίσης και από τους συνδέσμους ενός φυσικού δείγματος καλωδίου SpaceWire, που υπάρχει στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων (Υ. Τ.) της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (Ε.Μ.Π.). Με βάση αυτούς υλοποιείται το σχετικό μοντέλο στο CST.

Κατόπιν αναπτύσσεται στον προσομοιωτή μια διάταξη, προορισμένη να χρησιμεύσει σαν χώρος όδευσης του καλωδίου, όπως θα ήταν και σε μια πραγματική εργαστηριακή εφαρμογή. Η συγκεκριμένη διάταξη επιλέχθηκε να είναι αυτή της δοκιμής Έμμεσης Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης (Indirect ESD) σε ένα καλώδιο. Με την διάταξη αυτή έτοιμη, ακολουθεί η δόμηση του πλήρους πλέον καλωδίου SpaceWire στον 3D χώρο, συνδυάζοντας αυτήν ακριβώς την διάταξη αλλά και την διατομή και τους συνδέσμους, που είχαν ήδη υλοποιηθεί.

Τέλος, σαν κατακλείδα της εργασίας αυτής, πραγματοποιείται στο Εργαστήριο Υ. Τ. ένα πείραμα ESD στο φυσικό δείγμα καλωδίου SpaceWire, που βρίσκεται αποθησαυρισμένο στον εργαστηριακό εξοπλισμό. Το πείραμα αυτό εξετάζεται αυτόνομα, σαν πεδιακό πρόβλημα, αλλά επιπλέον αξιοποιείται και σε συνδυασμό με το προσομοιωτικό μοντέλο. Συγκεκριμένα, στο περιβάλλον του CST, το πείραμα επαναλαμβάνεται και στην συνέχεια συγκρίνονται πειραματικά και προσομοιωτικά αποτελέσματα, προκειμένου να καταδειχθεί η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία του μοντέλου, που αναπτύχθηκε.

Συμπερασματικά σχολιάζεται η χρησιμότητα και η αξία ενός τέτοιου προσομοιωτικού μοντέλου, παρουσιάζονται μελλοντικές δυνατότητές αξιοποίησης του και επιλογικά επισημαίνεται η συνεισφορά του στην μελέτη των ζεύξεων SpaceWire και η στήριξη που μπορεί να παράσχει στον πειραματισμό με εφαρμογές, που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο επικοινωνίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ζεύξη SpaceWire, Καλώδιο SpaceWire, Διατομή, Παραλλαγές Καλωδίου, Παραμετροποίηση Μοντέλου, Διηλεκτρική Αντοχή, Χαρακτηριστική Εμπέδηση, Εσωτερικός Αγωγός, Πληρωτής, Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος Σημάτων, Symmetric Cable, Round Cable, Σύνδεσμοι SpaceWire, Δεσμική Κατάσταση, Συσσωμάτωμα Γείωσης, Επαφές Συνδέσμων, Ηλεκτροστατική Εκφόρτιση (ESD), Καμπύλη Καλωδίου, Συναρμολόγημα Καλωδίου SpaceWire, Τερματισμός Θωρακίσεως, Αρχείο CST, Προσομοίωση ESD, Αναπτυσσόμενο Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο.

ABSTRACT

The development of space applications' technology, the enrichment of space equipment with new units and systems and the continuous complex and high-profile space missions have led to greatly increased communication requirements, i.e. receiving, transmitting and handling digital data with great reliability and low cost. In light of these needs, in recent years a new protocol for communication links in space applications, called SpaceWire, has been developed and gradually perfected. This protocol, with the physical means it has and the way it works, ensures the fulfillment of these requirements of high-speed, high-reliability and low-cost onboard communication.

The present Diploma Thesis deals with the physical interconnection medium of the SpaceWire communication link, the *SpaceWire Cable* and with the *Indirect Electrostatic Discharge* phenomenon on it. A multifaceted and in-depth study of this cable is carried out and gradually leads to the creation of a complete simulation model, using the *CST Studio Suite® 2021* software. Subsequently, this model is used for the simulation of an Indirect Electrostatic Discharge test on a SpaceWire cable. The whole implementation is done in full compliance with the official related standards, which describe the SpaceWire protocol, explaining and clarifying its various aspects. Moreover, an effort is made to parameterize the implementation with as much care as possible, so that the created model can be modified by future researchers.

Initially, the cable is approached from a cross-sectional level. The construction of the cable is explained in detail and its careful implementation in the simulator is presented. Theoretical verifications of the correctness of the model are also carried out.

The thesis proceeds with the examination of the connectors, where the cable is terminated. Their geometric characteristics are extensively investigated, with examples from commercial connectors, as well as from the connectors of an actual sample of SpaceWire cable, existing in the High Voltage (H. V.) Laboratory of the School of Electrical and Computer Engineering (N.T.U.A.). Based on the abovementioned study, an accurate connector model is built and implemented in CST.

Following the cable and connector modeling, a simulation setup is developed in the simulator environment, intended to much a cable layout setup in the lab. The specific setup was chosen to be that of the Indirect Electrostatic Discharge (Indirect ESD) test on a cable. With this arrangement ready, the construction of the full SpaceWire cable in 3D space takes place, combining the cross-section, the connectors and the cable layout.

In the last part of this work, an ESD experiment is carried out on the actual sample of SpaceWire cable, which belongs to the H. V. Laboratory equipment. This experiment is considered independently, as a field problem, but it is also used as a validation of the simulation model. Specifically, in the CST environment, the experiment is repeated and then experimental and simulation results are compared, in order to demonstrate the effectiveness and reliability of the model developed.

In conclusion, the usefulness and value of such a simulation model is underlined and future possibilities of its exploitation are presented. Also its contribution to the study of SpaceWire links and the support it can provide to experimentation with applications that use this communication protocol are finally highlighted.

KEY WORDS

SpaceWire Link, SpaceWire Cable, Cross Section, Cable Variants, Model Parameterization, Dielectric Strength, Characteristic Impedance, Inner Conductor, Filler, Twisted Differential Signal Pair, Symmetric Cable, Round Cable, SpaceWire Connectors, Mounting Condition, Grounding Aggregate, Connector Contacts, Electrostatic Discharge (ESD), Cable Curve, SpaceWire Cable Assembly, Shield Termination, CST Project, ESD Simulation, Developing Electromagnetic Field.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της Διπλωματικής μου Εργασίας σηματοδοτεί το πέρας των σπουδών μου στη Σχολή των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Μέσα στο διάστημα αυτό επετεύχθησαν, χάριτι Θεού, μεγάλοι και δύσκολοι στόχοι και κατακτήθηκαν γόνιμες και σημαντικές γνώσεις και εμπειρίες.

Πρωτίστως απευθύνω αίονον, δοξολογία και, από τα μύχια της ψυχής μου, ευχαριστία προς τον δωρεοδότη Θεό, διότι με διαφύλαξε υγιή μέχρι της παρούσης ώρας και μου χάρισε άφθονες τις δωρεές Του και την εξ' ύψους βοήθεια και προστασία Του.

Ασφαλώς στην προσπάθεια επιτυχούς περατώσεως των σπουδών μου έλαβα αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση από ορισμένους ανθρώπους, τους οποίους ευχαριστώ «εκ μέσης καρδίας».

Εν αρχή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Γκόνο, Καθηγητή ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη, που έδειξε στο πρόσωπό μου, για το πατρικό του ενδιαφέρον, την ανεκτίμητη βοήθεια και καθοδήγησή του, την υπομονή του. Εκφράζω ευχή και προσευχή ο καθηγητής μου να ζει πάντοτε εν υγεία, προκοπή και ευημερία πνευματική και υλική.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ τον κ. Παναγιώτη Παπασταμάτη, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για την συναντίληψή του, την διαρκή και ειλικρινή του διάθεση να με βοηθήσει και για τις εύστοχες συμβουλές του σε οποιαδήποτε δυσκολία παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας. Τον ευχαριστώ βαθύτατα για την αμέριστη συμπαράστασή του και για την άψογη συνεργασία μας. Του είμαι ευγνώμων, διότι δεν εφείσθη προσωπικού χρόνου και κόπου, προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή η προσπάθειά μου. Του εύχομαι ολοψύχως κάθε προσωπική και οικογενειακή ευτυχία και να διανύσει μια λαμπρή ακαδημαϊκή πορεία.

Δεν πρέπει βεβαίως να παραλείψω να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου προς όλους ανεξαιρέτως τους καθηγητές μου, που στην διάρκεια των σπουδών μου, μου προσέφεραν την πολύτιμη πείρα και επιστημονική τους γνώση.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω ιδιαίτερος στον εξάδελφό μου, Δρ. Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, Παναγιώτη Μπέτζιο, για τις εμπριθείς συμβουλές του και την διεισδυτικότητα των παρατηρήσεών του από την αρχή των σπουδών μου, αλλά και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Σε μεγάλο βαθμό τού οφείλω την αγάπη προς την επιστήμη μας, αλλά και την καλλιέργεια και την χαρά, που αποκόμισα από αυτήν.

Ευχαριστώ πολύ επίσης τους καλούς μου φίλους Βασίλειο Αδαμόπουλο και Στυλιανό Λαγουρό, οι οποίοι μου προσέφεραν την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την πραγμάτωση του πειραματικού σκέλους της εργασίας μου.

Τους γονείς μου ευγνωμονώ και μακαρίζω εκ βάθους καρδίας για την «εν παιδεία και νουθεσία Κυρίου» ανατροφή μου, για την αγάπη τους και την αδιάλειπτη στήριξή τους. Τον αδελφό μου, Ηλία, ευχαριστώ για την αδελφική του αγάπη και συμπαράσταση σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου και ιδιαίτερος στην περίοδο των σπουδών μου. Ας αναφερθεί εδώ, επιπλέον, η ευγνωμοσύνη μου προς την μητέρα και τον αδελφό μου, εγκρίτους φιλολόγους, που είχαν την υπομονή να αναλάβουν την «φιλολογική» επιμέλεια και τον γλωσσικό έλεγχο της εργασίας μου.

Εν κατακλείδι, ευχαριστώ ολόψυχα τους φίλους και συμφοιτητές μου, με τους οποίους συμπορευθήκαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Μη θέλοντας φυσικά να λησμονήσω κανέναν από εκείνους, αισθάνομαι την ανάγκη να κάνω ιδιαίτερη μνεία στον αδελφικό μου φίλο Δημήτριο Ζάρρα για την συνεργασία μας και για τις όμορφες και εποικοδομητικές στιγμές, που ζήσαμε και, με τη χάρη του Θεού, θα συνεχίσουμε να ζούμε μέσα από την διαπροσωπική μας σχέση. Θα ήθελα να του ευχηθώ κάθε ευλογία στην όμορφη οικογένειά του και ο Θεός να καθοδηγεί πάντοτε τα βήματά του «επ' αγαθώ».

Παναγιώτης Αθ. Κάμτσιος

Φεβρουάριος 2024

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ix
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	xi
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Η Δημιουργία του Πρωτοκόλλου SpaceWire.....	1
1.2 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά του Πρωτοκόλλου SpW.....	2
1.2.1 Τα Σήματα που μεταδίδονται με το SpW και η Κωδικοποίησή τους.....	3
1.2.2 Τα Επίπεδα Λειτουργίας του Πρωτοκόλλου SpW.....	3
1.3 Αντικείμενο και Δομή της Εργασίας	5
1.3.1 Προσομοιωτής CST Studio Suite®.....	6
1.3.2 Σύνθεση των Κεφαλαίων	6
Κεφάλαιο 2 Η Διατομή του Καλωδίου	9
2.1 Η Διατομή του SpW συνοπτικά.....	9
2.2 Οι Παραλλαγές του Καλωδίου SpW.....	11
2.3 Το Cable Studio	14
2.4 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST	16
2.5 Παραμετροποίηση του Μοντέλου της Διατομής.....	17
2.5.1 Τα Όρια που θέτει το Πρότυπο και η Σημασία τους.....	18
2.5.2 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης.....	21
2.5.3 Παράμετροι της Διατομής της Variant 01	22
2.5.3.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων	22
2.5.3.2 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων.....	26
2.5.3.3 Αναλυτική Επεξήγηση του Υπολογισμού των Παραμέτρων	37
2.5.4 Παράμετροι της Διατομής της Variant 02	53
2.5.4.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων	53
2.5.4.2 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων.....	58
2.5.4.3 Αναλυτική Επεξήγηση του Υπολογισμού των Παραμέτρων	69
2.5.5 Δυνατότητα Αλλαγής Τιμών στις Παραμέτρους της Διατομής.....	76
2.6 Υλικά του Μοντέλου της Διατομής.....	80
2.6.1 Τα διαφορετικά Υλικά που χρησιμοποιούνται και οι Ιδιότητές τους	83

2.6.1.1	Αγώγιμα Υλικά.....	83
2.6.1.2	Διηλεκτρικά Υλικά.....	88
2.6.2	Επιλογή του Υλικού που εκχωρείται σε κάθε σημείο της Διατομής	93
2.7	Θεωρητικός Έλεγχος του Μοντέλου της Διατομής.....	95
2.7.1	Ωμική Αντίσταση του Εσωτερικού Αγωγού.....	96
2.7.2	Διηλεκτρική Αντοχή της Μονώσεως του Εσωτερικού Αγωγού.....	99
2.7.3	Κατανεμημένη Χωρητικότητα.....	103
2.7.3.1	Μεταξύ των δύο Εσωτερικών Αγωγών κάθε Διαφορικού Ζεύγους	104
2.7.3.2	Μεταξύ του Εσωτερικού Αγωγού κάθε Διαφορικού Ζεύγους και της Εσωτερικής Θωρακίσεως	105
2.7.4	Αντίσταση Μονώσεως του Καλωδίου SC	110
2.7.5	Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του SC.....	116
2.7.6	Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του RC.....	119
2.7.7	Χαρακτηριστική Εμπέδηση του Διαφορικού Ζεύγους	121
2.7.7.1	Για την Variant 01	124
2.7.7.2	Για την Variant 02	130
2.8	Δόμηση της Διατομής του Καλωδίου SpW στο Cable Studio.....	132
2.8.1	Μονωμένος Εσωτερικός Αγωγός.....	133
2.8.2	Πληρωτής του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους	134
2.8.3	Πυρήνας του Ακριβούς Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους	136
2.8.3.1	Εσωτερικός Μονωτής του Πυρήνα του Ακριβούς Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους.....	139
2.8.4	Ακριβές Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος	141
2.8.4.1	Χωριστή υλοποίηση του Πυρήνα ενός Cable Group και του ιδίου του Cable Group	147
2.8.5	Πυρήνας του Απλοποιημένου Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους	149
2.8.6	Απλοποιημένο Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος	152
2.8.6.1	Εσωτερικός Μονωτής του Απλοποιημένου Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους.....	158
2.8.7	Πληρωτής του Καλωδίου SpW.....	160
2.8.8	Πυρήνας του Ακριβούς Καλωδίου SpW.....	162
2.8.8.1	Χωρική διάταξη των τεσσάρων SCs εντός του RC	168
2.8.8.2	Επαφή των υποκαλωδίων εντός του SpW μεταξύ τους.....	168
2.8.9	Ακριβές Καλώδιο SpW.....	171
2.8.10	Πυρήνας του Απλοποιημένου Καλωδίου SpW.....	177
2.8.11	Απλοποιημένο Καλώδιο SpW.....	181
Κεφάλαιο 3	Οι Σύνδεσμοι του Καλωδίου.....	187
3.1	Ανάγκη υλοποίησης των Συνδέσμων στο CST.....	187
3.2	Το 3D Modeling.....	188
3.3	Τύποι των Συνδέσμων σε Καλώδια SpW	188
3.3.1	Type A SpW Connectors	189

3.3.2	Type B SpW Connectors.....	189
3.4	Διάκριση των Συνδέσμων σε Αρσενικούς και Θηλυκούς.....	189
3.4.1	Θηλυκοί Σύνδεσμοι.....	190
3.4.1.1	Flying Lead Female Connectors	192
3.4.1.2	PCB Mounting Female Connectors	193
3.4.2	Αρσενικοί Σύνδεσμοι.....	194
3.5	Ταυτοποίηση των Επαφών των Συνδέσμων	195
3.5.1	Για τους Συνδέσμους Type A	195
3.5.2	Για τους Συνδέσμους Type B.....	198
3.6	Ο Σύνδεσμος – Βύσμα που επιλέχθηκε	199
3.6.1	Εισαγωγή των Σημάτων στις Επαφές των Συνδέσμων	199
3.6.2	Σύνδεσμοι που υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ. Τ.....	200
3.6.3	Αντιστοίχιση του επιλεγμένου Συνδέσμου στο Πρότυπο	202
3.6.4	Αντίστοιχοι Εμπορικοί Σύνδεσμοι.....	203
3.7	Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST	207
3.8	3D Μοντέλο των Συνδέσμων.....	209
3.8.1	Αρχικά Μοντέλα της Αχον' και επεξεργασία τους	209
3.8.1.1	Τα προβλήματα των μοντέλων και ο τρόπος που διορθώθηκαν	211
3.8.2	Υλικά του Μοντέλου των Συνδέσμων	220
3.8.2.1	Τα διαφορετικά Υλικά που χρησιμοποιούνται και οι Ιδιότητές τους.....	221
3.8.2.1.1	Αγώγιμα Υλικά.....	221
3.8.2.1.2	Διηλεκτρικά Υλικά.....	223
3.8.2.2	Επιλογή του Υλικού που εκχωρείται σε κάθε μέρος των Συνδέσμων	225
3.8.3	Σύνδεσμοι σε Δεσμική Κατάσταση	229
3.8.3.1	Ομαδοποίηση των Συνιστωσών των Συνδέσμων.....	229
3.8.3.2	Μετακίνηση και Ευθυγράμμιση των Συνδέσμων	230
3.8.3.3	Δημιουργία του Συσσωματώματος των Συνδέσμων σε Δεσμική Κατάσταση.....	234
3.9	Επαφές των Συνδέσμων	237
3.9.1	Δημιουργία – Υλοποίηση των Επαφών	238
3.9.2	Υλικό των Επαφών	243
3.10	Τελικά Μοντέλα των Συνδέσμων – Συσσωματώματα Transmitter και Receiver.....	244
3.11	Παραμετροποίηση του Μοντέλου των Συνδέσμων	248
3.11.1	Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης	248
3.11.2	Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων	249
3.11.3	Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων.....	251
3.11.4	Επεξήγηση και Εφαρμογή της Παραμετροποίησης.....	254
3.11.4.1	Εφαρμογή στην Μετατόπιση των Συνδέσμων	254
3.11.4.2	Εφαρμογή στην Δημιουργία των Επαφών	255

Κεφάλαιο 4 Η Διάταξη της Οδεύσεως του Καλωδίου	259
4.1 Δοκιμή ESD σε Καλώδιο.....	259
4.1.1 Πειραματική Διάταξη της Δοκιμής.....	260
4.1.2 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST.....	264
4.1.3 Παραμετροποίηση του Μοντέλου της ESD Δοκιμής.....	264
4.1.3.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης.....	264
4.1.3.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων.....	265
4.1.3.3 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων.....	267
4.1.4 Ορισμός των 3D αντικειμένων της Δοκιμής.....	269
4.1.4.1 Παραμετρική Κατασκευή των Αντικειμένων.....	269
4.1.4.2 Υλικά των Αντικειμένων.....	271
4.1.5 Ορισμός των Αντιστάσεων Αποφορτίσεως.....	272
4.1.6 Ορισμός της Εγχύσεως του Κρουστικού Ρεύματος.....	277
4.2 Η Καμπύλη Οδεύσεως του Καλωδίου.....	278
4.2.1 Ορισμός Καλωδίου στις 3 Διαστάσεις.....	278
4.2.1.1 Με Δημιουργία Κόμβων.....	278
4.2.1.2 Με Δημιουργία Καμπύλης.....	281
4.2.2 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST.....	282
4.2.3 Παραμετροποίηση της Καμπύλης του Καλωδίου.....	285
4.2.3.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης.....	285
4.2.3.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων.....	285
4.2.3.3 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων.....	288
4.2.4 Κατασκευή της Καμπύλης.....	301
4.2.4.1 Ορισμός των Σημείων της Καμπύλης.....	302
4.2.4.2 Εισαγωγή της Καμπυλότητας.....	305
4.2.4.3 Εισαγωγή των Διαστάσεων.....	307
4.2.5 Τα 2 δυνατά Μήκη Καλωδίου.....	312
Κεφάλαιο 5 Το Συναρμολόγημα του Καλωδίου	315
5.1 Είδη Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW.....	315
5.1.1 Συναρμολόγημα με Type A Συνδέσμους.....	316
5.1.1.1 Συναρμολόγημα Type A.....	316
5.1.1.2 Συναρμολόγημα Type AL.....	317
5.1.2 Συναρμολόγημα με Type B Συνδέσμους ή Συναρμολόγημα Type B.....	319
5.1.3 Σύνθετο Συναρμολόγημα με δύο ειδών Συνδέσμους.....	319
5.2 Τερματισμός της Θωρακίσεως του Καλωδίου.....	320
5.2.1 Χρησιμότητα του Backshell.....	321
5.3 Συνδυασμός Αρχείων στο CST.....	322

5.3.1	Εισαγωγή ενός αρχείου σε ένα άλλο (Import Sub-Project)	323
5.3.1.1	Πότε είναι εφικτή η εισαγωγή ενός αρχείου σε ένα άλλο.....	324
5.3.1.2	Μέχρι πόσα αρχεία μπορούν να εισαχθούν σε ένα άλλο	324
5.3.1.3	Τοποθέτηση των αντικειμένων στον 3D χώρο κατά την εισαγωγή ενός Sub-Project.....	324
5.3.1.4	Διαστάσεις που έχουν οριστεί στον 3D χώρο ενός Sub-Project	324
5.3.1.5	Λίστα Παραμέτρων του Sub-Project – Φόρτωση Παραμέτρων σε άλλο αρχείο	324
5.3.1.6	Παράμετροι με το ίδιο όνομα σε αρχεία που συνδυάζονται	325
5.3.1.7	Ενημέρωση του Super-Project για αλλαγές στο Sub-Project.....	326
5.3.1.8	Τόπος Αποθήκευσης του Sub-Project	326
5.3.2	Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST.....	327
5.3.2.1	Το πλήθος των αναγκαίων αρχείων.....	327
5.3.2.2	Ενέργειες συνδυασμού των καταλλήλων αρχείων και νέα αρχεία που δημιουργήθηκαν.....	329
5.4	1 ^η Εισαγωγή Αρχείου – Συνδυασμός Καμπύλης Καλωδίου με Συνδέσμους.....	336
5.4.1	Βήμα 1 ^ο : Εισαγωγή του Αρχείου	337
5.4.2	Βήμα 2 ^ο : Φόρτωση Παραμέτρων και Μετακίνηση των Επαφών	338
5.4.3	Βήμα 3 ^ο : Μετακίνηση των Συνδέσμων.....	340
5.4.3.1	Δυνατότητα Αλλαγής Τιμών στις Παραμέτρους της Καμπύλης και Απαραίτητες Ενέργειες	342
5.5	2 ^η Εισαγωγή Αρχείου – Συνδυασμός Διατομής Καλωδίου με Καμπύλη Καλωδίου και Συνδέσμους	343
5.5.1	Βήμα 1 ^ο : Εισαγωγή του Αρχείου και Φόρτωση των Παραμέτρων	344
5.5.2	Βήμα 2 ^ο : Ενημέρωση Παραμέτρων για τελική Μετατόπιση της Καμπύλης και των Συνδέσμων.....	346
5.5.2.1	Δυνατότητα Αλλαγής τιμών στις Παραμέτρους της Διατομής και Απαραίτητες Ενέργειες	346
5.5.3	Βήμα 3 ^ο : Φόρτωση της Διατομής του Καλωδίου στην Καμπύλη.....	347
5.6	Τερματισμός των Αγωγίμων Απολήξεων του Καλωδίου στους Συνδέσμους	353
5.6.1	Παραμετροποίηση του Τερματισμού του Καλωδίου.....	354
5.6.1.1	Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης	354
5.6.1.2	Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων	354
5.6.1.3	Επεξήγηση των Παραμέτρων.....	355
5.6.2	Ονοματοδοσία Σημάτων και Ακροδεκτών του Καλωδίου.....	356
5.6.2.1	Για το Συναρμολόγημα Type A.....	357
5.6.2.2	Για το Συναρμολόγημα Type AL	358
5.6.3	Υλοποίηση του Τερματισμού του Καλωδίου στο CST.....	359
5.6.3.1	Σύνδεση των Αγωγών του Διαφορικού Σήματος με τις αντίστοιχες Επαφές.....	359
5.6.3.2	Σύνδεση των Αγωγών των Θωρακίσεων στους Συνδέσμους.....	361
5.6.3.2.1	Εσωτερικές Θωρακίσεις.....	361
5.6.3.2.2	Εξωτερικές Θωρακίσεις.....	367
Κεφάλαιο 6 Πειραματική Επαλήθευση του Μοντέλου του Καλωδίου SpW.....		371
6.1	Ανάγκη Επαλήθευσης του Μοντέλου	371
6.2	Το Πείραμα ESD στο Εργαστήριο.....	372

6.2.1	Πειραματικός Εξοπλισμός	372
6.2.2	Πειραματική Διάταξη.....	373
6.2.3	Εκτέλεση του Πειράματος	374
6.2.4	Μετρήσεις	375
6.2.4.1	Ονοματοδοσία Σημείων Μέτρησης και Μετρήσεων	376
6.2.4.2	Μετρήσεις στο Καλώδιο SpW των 3 m.....	379
6.2.4.3	Μετρήσεις στο Καλώδιο SpW των 10 m.....	385
6.2.5	Συμπεράσματα	391
6.2.5.1	Το Ρεύμα που Μετράται με το Probe	391
6.2.5.2	Εγγεόμενο Ρεύμα από το ESD.....	392
6.2.5.3	Το Πεδίο που Αναπτύσσεται στο HCP	395
6.2.5.4	Σχολιασμός των Ρευμάτων που Μετρήθηκαν στο Εργαστήριο	400
6.2.5.4.1	Σύντομη Μελέτη του Φάσματος.....	400
6.2.5.4.2	Ερμηνεία του Πλάτους της Βασικής Ταλαντώσεως	403
6.3	Το Πείραμα ESD στο CST.....	406
6.3.1	Προσομοίωση της Πειραματικής Διατάξεως.....	406
6.3.1.1	Η Κονσόλα του iSAFT ως Σώμα Γείωσης.....	407
6.3.1.2	Απαλοιφή των Συνδέσμων.....	408
6.3.1.3	Εκ νέου ορισμός του «Δρόμου» Αποφορτίσεως.....	409
6.3.1.4	Το Περιβάλλον του Schematic.....	409
6.3.1.4.1	Απλούστερος Τερματισμός του Καλωδίου	410
6.3.1.4.2	Γείωση της Εξωτερικής Θωρακίσεως.....	411
6.3.1.4.3	Έγχυση Ρεύματος Διεγέρσεως – Μέτρηση Ρεύματος Θωρακίσεως	412
6.3.2	Εκτέλεση της Προσομοίωσης του Πειράματος	413
6.3.3	Αποτελέσματα από τον Προσομοιωτή.....	414
6.3.4	Συμπεράσματα	417
6.3.4.1	Σύγκριση των Ρευμάτων στο Πεδίο του Χρόνου.....	417
6.3.4.2	Σύγκριση των Ρευμάτων στο Πεδίο της Συχνότητας.....	420
6.4	Ανακεφαλαίωση της Εργασίας	421
6.4.1	Σύντομη Ανασκόπηση – Συμπεράσματα	421
6.4.2	Συνεισφορά – Μελλοντικές Προεκτάσεις.....	422
Παράρτημα Α.....		425
Παράρτημα Β.....		429
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		443

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Η Δημιουργία του Πρωτοκόλλου SpaceWire

Το SpaceWire (ή για συντομία “SpW”) είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς ψηφιακών δεδομένων για ζεύξεις επικοινωνίας και δίκτυα υψηλών ταχυτήτων [18], με βασικό προορισμό την αξιοποίησή του σε συστήματα διαστημικών σκαφών. Ο βασικός σκοπός, για τον οποίο αναπτύχθηκε και τελειοποιήθηκε το SpW, ήταν η ανάγκη για συμβατότητα και επαναχρησιμοποίηση συσκευών και συστημάτων σε διαστημικά προγράμματα [2].

Πριν το SpW αναπτυχθεί και προτυποποιηθεί, υπήρχαν διάφορα πρωτόκολλα και διεπαφές επικοινωνίας, που χρησιμοποιούνταν από τις κατασκευαστικές εταιρείες, κάθε ένα με τα δικά του χαρακτηριστικά και τις δικές του ιδιαιτερότητες. Αυτό όμως είχε ως αποτέλεσμα στα συστήματα της ίδιας διαστημικής αποστολής και πολύ συχνά και στο ίδιο διαστημικό σκάφος, να χρησιμοποιούνται πολλές διαφορετικές επικοινωνιακές ζεύξεις, με αποτέλεσμα αυξημένο κόστος υλοποίησης αφ’ ενός και αυξημένο χρόνο ολοκλήρωσης της υλοποίησης αφ’ ετέρου. Υπήρχε λοιπόν η ανάγκη για μια τυποποιημένη διεπαφή επικοινωνίας, η ύπαρξη της οποίας θα καθιστούσε πιο απλή την ανάπτυξη συσκευών διαστημικού εξοπλισμού [2].

Το SpW λοιπόν αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια ως η πολυαναμενόμενη λύση στα παραπάνω προβλήματα. Τα πλεονεκτήματα, που προσφέρει, είναι κατά βάση τα εξής [2]:

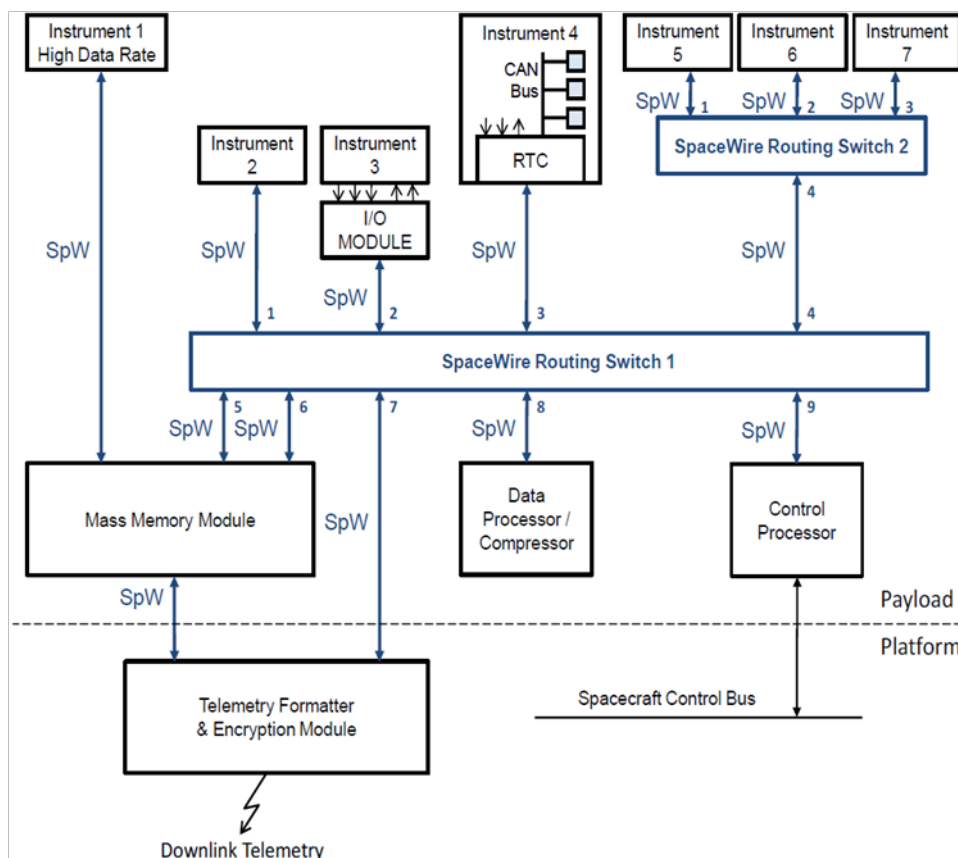
- Δημιουργήθηκε κατ’ εξοχήν για να υποστηρίξει υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας, συνεπώς επιτρέπει την κατασκευή και ενσωμάτωση σε διαστημικά προγράμματα συσκευών υψηλής αποδόσεως.
- Προσφέρει συμβατότητα μεταξύ πολλών συσκευών και εξαρτημάτων, που διαχειρίζονται δεδομένα.
- Επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση εξοπλισμού διαχείρισης δεδομένων από μια αποστολή σε μία άλλη, με ελάχιστες τροποποιήσεις, πετυχαίνοντας έτσι αξιοσημείωτη μείωση του κόστους και του χρόνου ανάπτυξης μιας αποστολής.

Το πρότυπο, που περιγράφει με λεπτομέρεια το πρωτόκολλο του SpW, αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας “SpaceWire Working Group” με κύριο συντελεστή τον Steve Parks από το Πανεπιστήμιο του Dundee [25], αλλά και με συμμετοχές μηχανικών διαστημικών σκαφών και από την European Space Agency (ESA) και τον ακαδημαϊκό και βιομηχανικό χώρο [2]. Μετά την ανάπτυξη και δημοσιοποίησή του από την ESA, έχει γίνει καθολικά αποδεκτό, εξαιτίας των πολλών και σαφών του πλεονεκτημάτων, όπως μαρτυρεί το γεγονός ότι το έχουν υιοθετήσει επίσης η National Aeronautics and Space Administration (NASA), η Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) και η Roscosmos [2].

1.2 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά του Πρωτοκόλλου SpW

Το πρότυπο του επικοινωνιακού πρωτοκόλλου SpW, ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], περιγράφει ζεύξεις δεδομένων σημείο προς σημείο (point-to-point), σειριακές (serial data links) και πλήρως αμφίδρομες (full-duplex). Οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, που μπορούν να επιτευχθούν στις ζεύξεις αυτές, ξεκινούν από τα 2 *Mbps* και ανέρχονται μέχρι τα 200 *Mbps*. Μάλιστα, στην περίπτωση που ισχύει ειδική συνθήκη για τους συνδέσμους τερματισμού των καλωδιώσεων, που εξυπηρετούν την ζεύξη SpW, [και συγκεκριμένα το να είναι «ταιριασμένες» οι εμπεδήσεις τους (“matched impedance connectors”)], οι ταχύτητες που μπορεί να επιτευχθούν ξεπερνούν και τα 400 *Mbps*.

Με βάση τις λεπτομερείς περιγραφές του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], μπορούν να αναπτυχθούν, σημείο προς σημείο, διασυνδέσεις (links) αλλά και δρομολογητές και μεταγωγικοί «διακόπτες» (routing switches), που όλα μαζί συνθέτουν ένα πλήρες δίκτυο (network) μεταφοράς και ανταλλαγής δεδομένων με βάση το πρωτόκολλο SpW. Η μεγάλη χρησιμότητα του SpW, και το πώς μπορεί η ύπαρξή του να εξυπηρετήσει την διασύνδεση πολλών συστημάτων, φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, και δείχνει ένα σχηματικό παράδειγμα ενός διασυνδεδεμένου με SpW δικτύου.



Εικόνα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου συσκευών διασυνδεδεμένων με SpW [2].

1.2.1 Τα Σήματα που μεταδίδονται με το SpW και η Κωδικοποίησή τους

Η επικοινωνιακή ζεύξη SpW χρησιμοποιεί, σύμφωνα με το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], Διαφορική Σηματοδότηση Χαμηλής Τάσης (Low Voltage Differential Signaling ή LVDS) για την μετάδοση των δεδομένων. Αυτού του είδους η «σηματοδότηση» περιγράφεται και στο πρότυπο TIA-644-A:2012, στο οποίο μας παραπέμπει και το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]. Ο λόγος, που έχει επιλεγεί αυτός ο τρόπος αποστολής των σημάτων, είναι λόγω της δυνατότητας για σημείο προς σημείο επικοινωνία, υψηλής ταχύτητας, με χαμηλή ισχύ και ικανοποιητική αντοχή στον θόρυβο [25]. Ως εκ τούτου, για την μετάδοση των πληροφοριών είναι αναγκαία η ύπαρξη καταλλήλου αριθμού διαφορικών ζευγών καλωδίων (έτσι ώστε να εξυπηρετείται η αμφίδρομη επικοινωνία), κάτι που εξηγείται αμέσως στην συνέχεια, αλλά και αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.

Η πληροφορία, που μεταδίδεται με το πρωτόκολλο SpW, αποστέλλεται ως μια σειριακή ροή δεδομένων (serial bit stream) και κωδικοποιείται σε κυματομορφές δυαδικών ψηφίων σύμφωνα με την Data (D) – Strobe (S) κωδικοποίηση [2]. Σε αυτό το είδος κωδικοποίησης το σήμα του clock προς συγχρονισμό, αποστέλλεται κωδικοποιημένο μέσα σε μια ροή bits, αυτή του Strobe, με τέτοιο τρόπο ώστε η εφαρμογή της λογικής πράξης XOR στο bit-stream του Data και στο bit-stream του Strobe αποδίδει ξανά την κυματομορφή του [2].

Λόγω λοιπόν του αμφίδρομου χαρακτήρα κάθε ζεύξης και αφού για την κάθε ροή πληροφορίας απαιτούνται 2 σήματα (ένα Data και ένα Strobe), άρα χρειαζόμαστε 4 σήματα D και S (δύο για την μία και δύο για την άλλη κατεύθυνση μετάδοσης). Αφού επιπλέον κάθε τέτοιο σήμα (D ή S) θα οδηγηθεί στο «κανάλι» μετάδοσης της πληροφορίας με την χρήση LVDS σηματοδότησης, άρα κάθε τέτοιο σήμα χρειάζεται 2 αγωγούς για να μεταδοθεί. Εν συνόλω λοιπόν, χρειάζονται 4 αγωγοί μετάδοσης σημάτων, οι οποίοι ανά δύο συνιστούν το διαφορικό ζεύγος του κάθε σήματος, D ή S [2].

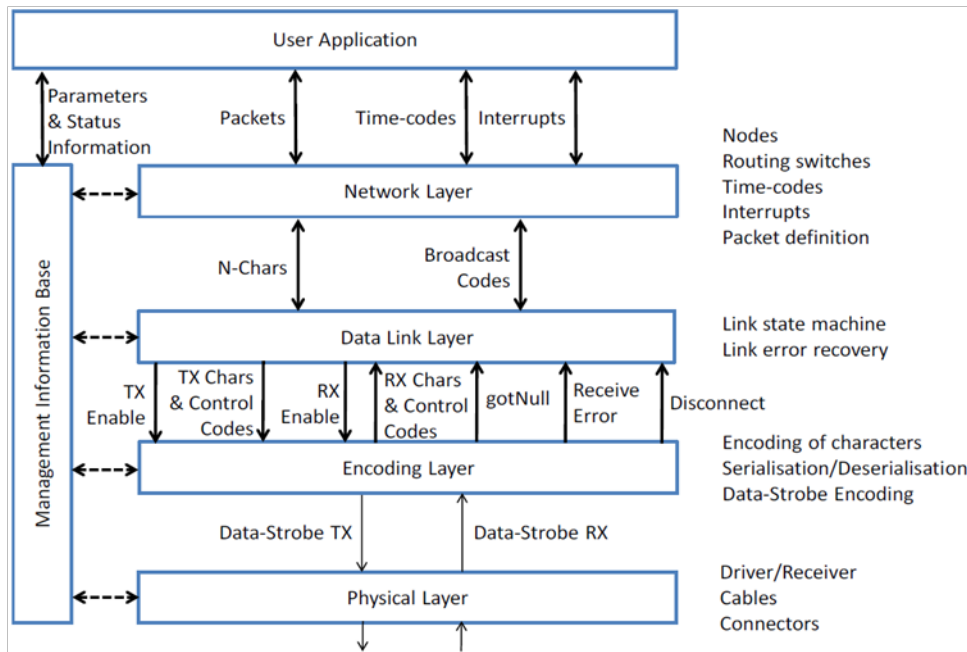
1.2.2 Τα Επίπεδα Λειτουργίας του Πρωτοκόλλου SpW

Στην ανανεωμένη έκδοση του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], την οποία και χρησιμοποιούμε, τα επίπεδα (levels) ή στρώματα (layers) λειτουργίας του Πρωτοκόλλου Μεταδόσεως Πληροφοριών SpW συγκεκριμενοποιούνται ως ακολούθως:

- Στρώμα Δικτύου (Network Layer)
- Στρώμα Ζεύξεως Δεδομένων (Data Link Layer)
- Στρώμα Κωδικοποίησης (Encoding Layer)
- Φυσικό Στρώμα (Physical Layer).

Κάθε τέτοιο επίπεδο δίδει λεπτομερώς χαρακτηριστικά της ζεύξης SpW και της μετάδοσης δεδομένων με αυτήν και περιγράφει τις αναγκαίες ενέργειες που πρέπει να γίνονται, ξεκινώντας από τον ορισμό της τοπολογίας του δικτύου, την εγκατάσταση της ροής πληροφοριών και τον έλεγχο αυτών, την κωδικοποίηση της πληροφορίας προς αποστολή (στην κατάλληλη μορφή που εξηγήσαμε στην υποενότητα 1.2.1) και τέλος την «εκπομπή» της πληροφορίας στην κατάλληλη μορφή από τον πομπό, την μετάδοσή της εντός του μέσου που χρησιμοποιείται (καλωδίου εν προκειμένω) και την λήψη της από τον δέκτη.

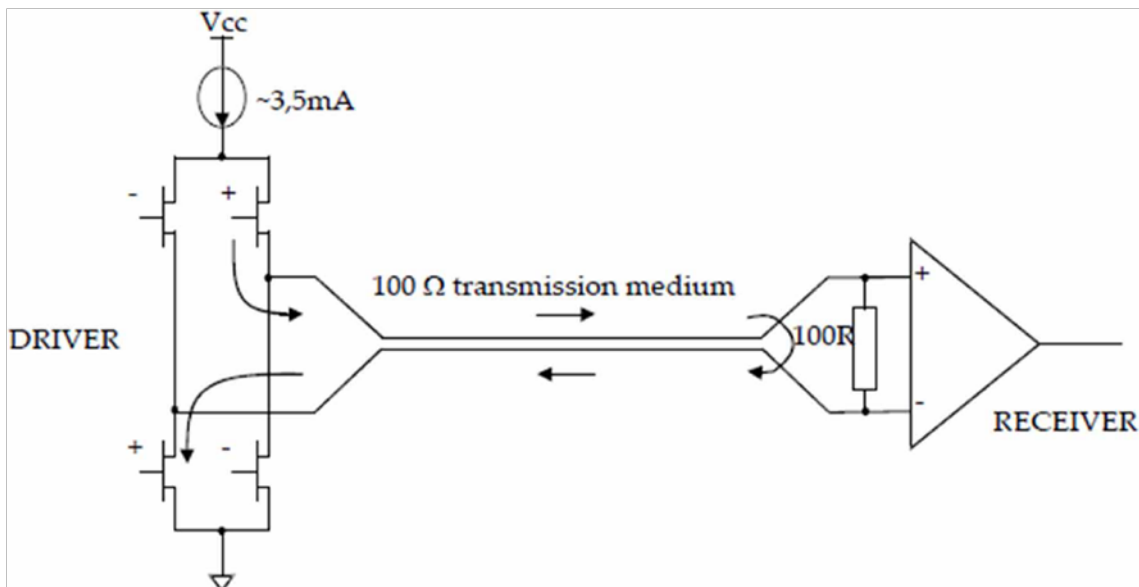
Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το Φυσικό Επίπεδο, γι' αυτό και δεν αναλωνόμαστε να εξηγήσουμε περαιτέρω τα υπόλοιπα επίπεδα λειτουργίας του. Παραπέμπουμε τον ενδιαφερόμενο να μάθει περισσότερα επ' αυτών, στο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] (του οποίου προτύπου παραθέτουμε απλώς την σχετική εικόνα).



Εικόνα 1.2: Τα επίπεδα λειτουργίας μιας ζεύξης SpW [2].

Το φυσικό στρώμα (ή επίπεδο) ασχολείται με το hardware της ζεύξης, δηλ. με τα κυκλώματα του Πομπού (Transmitter) και του Δέκτη (Receiver), τους συνδέσμους, οι οποίοι εφαρμόζονται σε αυτά τα κυκλώματα και το καλώδιο, που συνδέει τους συνδέσμους και αποτελεί το μέσον της μεταδόσεως.

Και επ' αυτού όμως, στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την μελέτη του καλωδίου SpW και θα επεκταθούμε μέχρι και τους συνδέσμους (δηλ. θα αναφερθούμε στο πλήρες συναρμολόγημα καλωδίου, όπως θα αναφέρουμε στο Κεφάλαιο 5). Δεν θα προχωρήσουμε στην υλοποίηση των κυκλωμάτων του Transmitter και του Receiver, ούτε στην εισαγωγή σημάτων LVDS προς μετάδοση. Απλώς για λόγους κατανόησης (επειδή θα χρειαστεί σε ορισμένα σημεία), παραθέτουμε μια απλή αναπαράσταση του κυκλώματος μετάδοσης και λήψης του διαφορικού μεταδιδόμενου σήματος LVDS (βλ. το Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Η ροή του LVDS ρεύματος στο διαφορικό ζεύγος του SpW, από την παραγωγή του από τον πομπό, μέχρι την λήψη του από τον δέκτη [18].

1.3 Αντικείμενο και Δομή της Εργασίας

Το Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων (Υ. Τ.) της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (Σ.Η.Μ.Μ.Υ.) είναι εξοπλισμένο, εδώ και λίγα χρόνια, με 2 καλώδια SpW και με μία συσκευή, που μπορεί να υλοποιήσει μια πλήρως λειτουργική ζεύξη SpW (με όλα τα επίπεδα, από το φυσικό ως το επίπεδο δικτύου), τον iSAFT SpW Simulator της TELETEL S.A. (για τον οποίο θα κάνουμε μια μικρή μνεία στο Κεφάλαιο 6). Στο παρελθόν μάλιστα έχουν γίνει πειραματισμοί επάνω σε αυτό τον τύπο καλωδίου (βλ. π.χ. την διδακτορική διατριβή [25]). Εφαπτήριο λοιπόν της εργασίας αυτής υπήρχε ένα πρόβλημα, που παρατηρήθηκε στο Εργαστήριο Υ. Τ. κατά τον πειραματισμό σε καλώδιο SpW. Συγκεκριμένα, κατά την υποβολή ενός καλωδίου SpW σε Έμμεσο ESD, παρατηρήθηκαν απώλειες στα πακέτα δεδομένων, που αυτό μεταβίβαζε και διακοπές στην λειτουργία της ζεύξης. Συνεπώς, το ερώτημα που προέκυψε ήταν το εξής: «πώς και γιατί ένα μοντέρνο καλώδιο, το οποίο μάλιστα έχει πλέον του ενός στρώματα θωρακίσεων (όπως θα διαπιστώσουμε στο Κεφάλαιο 2), είναι επιρρεπές στο φαινόμενο του Εμμέσου ESD;». Στην προσπάθεια λοιπόν διερεύνησης αυτού του ζητήματος χρειαζόμασταν μια βάση επί της οποίας και κάποια εργαλεία μέσω των οποίων θα το προσεγγίζαμε συστηματικά.

Αντικείμενο λοιπόν της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας είναι η σε βάθος και με ακρίβεια μελέτη του φυσικού διασυνδεδετικού μέσου – μέσου μετάδοσης της επικοινωνιακής ζεύξης SpW, δηλ. του **Καλωδίου SpaceWire**. Προσδοκώμενο αποτέλεσμα της μελέτης αυτής και αντικειμενικός σκοπός της Διπλωματικής είναι να προχωρήσουμε στην υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου προσομοιωτικού μοντέλου του καλωδίου SpW και εν συνεχεία να το χρησιμοποιήσουμε ως εργαλείο για την Προσομοίωση ενός φαινομένου Εμμέσου ESD (Εμμέσου Ηλεκτροστατικής Εκφορτίσεως) στο καλώδιο αυτό. Το μοντέλο μας αυτό θα περιλαμβάνει ό,τι χρειάζεται για να δομηθεί ένα πλήρες Συναρμολόγημα Καλωδίου SpW (έννοια, την οποία θα εξηγήσουμε στο Κεφάλαιο 5) εντός του συγκεκριμένου ηλεκτρομαγνητικού (H/M) περιβάλλοντος, δηλ. το καθ'αυτό καλώδιο και τους συνδέσμους, στους οποίους αυτό θα τερματίζει, αλλά και τον περιβάλλοντα χώρο του πειράματος ESD.

Η ύπαρξη ενός προσομοιωτικού μοντέλου για το καλώδιο SpW είναι πάρα πολύ χρήσιμη, διότι επιτρέπει, αφ' ενός να γίνεται εύκολα πληθώρα δοκιμών σε προσομοιωτικό περιβάλλον και αφ' ετέρου να επαναλαμβάνονται και να μελετώνται προσεκτικότερα και με περισσότερες δυνατότητες ανάλυσης δοκιμές σε πραγματικά καλώδια τέτοιου τύπου. Η δημιουργία ενός αναλυτικού και εύχρηστου μοντέλου και η επαλήθευση της ορθότητός του είναι βασικές ενέργειες για να προχωρήσει κανείς στην ερμηνεία και επίλυση ζητημάτων, που παρατηρεί στο πραγματικό σύστημα.

Η κατασκευή του μοντέλου του καλωδίου έγινε συστηματικά και με απόλυτη λεπτομέρεια. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκαν εκτενώς τα σχετικά πρότυπα της ESA. Συγκεκριμένα, τα βασικότερα έγγραφα, που περιγράφουν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο και δη το φυσικό του επίπεδο και τα οποία μελετήθηκαν με πολλή προσοχή, είναι:

- ECSS-E-ST-50-12C Rev.1, *Space engineering – SpaceWire - Links, nodes, routers and networks* [2]. Αυτό είναι το βασικό πρότυπο του πρωτοκόλλου του SpW, και απ' αυτό γίνονται οι παραπομπές σε άλλα πρότυπα.
- ESCC Detail Specification No. 3902/003, *Cable, “SpaceWire”, Round, Quad using Symmetric Cables, Flexible, -200 to +180°C* [8]. Το πρότυπο αυτό περιγράφει την διατομή του καλωδίου SpW.
- ESCC Detail Specification No. 3401/029, *Connectors, Electrical, Rectangular, Microminiature, Based on Type MDM* [6]. Το πρότυπο αυτό περιγράφει αναλυτικά τους συνδέσμους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καλώδια SpW.

Μελετήθηκαν επίσης και αρκετές άλλες προτυποποιήσεις, στις οποίες τα παραπάνω έγγραφα μας παρέπεμπαν, αλλά και εκτενής βιβλιογραφία για να καλυφθούν και να εξηγηθούν όλα τα ζητήματα, που προέκυψαν κατά την υλοποίηση του μοντέλου μας.

1.3.1 Προσομοιωτής CST Studio Suite®

Η δημιουργία του προσομοιωτικού μοντέλου, που επιθυμούμε, έγινε με την βοήθεια του λογισμικού **CST Studio Suite® – Electromagnetic Field Simulation Software, Dassault Systemes, 2021** [56]. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένας ολοκληρωμένος και υψηλής αποδόσεως προσομοιωτής για ηλεκτρομαγνητικές προσομοιώσεις προβλημάτων 3 διαστάσεων. Ο προσομοιωτής αυτός επιλέχθηκε, εν πρώτοις για τις υπερβολικά ανεπτυγμένες δυνατότητες προσομοίωσης που διαθέτει (τόσο για καλώδια όσο και για οποιαδήποτε 3D αντικείμενα). Κατά βάση όμως, η επιλογή έγινε, γιατί η ανάπτυξη του μοντέλου μας (όπως και οποιουδήποτε πεδιακού προβλήματος) σε αυτό το περιβάλλον παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων πεδιακής μελέτης και ανάλυσης από πολλές πλευρές.

Να αναφέρουμε ότι ο συγκεκριμένος προσομοιωτής βασίζεται στην μέθοδο του πλέγματος υπολογισμών. Δηλ. για να προχωρήσει στην υλοποίηση ενός πεδιακού προβλήματος, χωρίζει τον χώρο σε ένα πλέγμα, ικανοποιητικά μικρών, στοιχειωδών περιοχών. Στην συνέχεια, σε κάθε τέτοια «στοιχειώδη περιοχή», ο επιλύτης (solver) του προγράμματος κάνει επίλυση των πεδιακών εξισώσεων Maxwell και καταλήγει στις τιμές του πεδίου, βάσει των οποίων υπολογίζει όλα τα υπόλοιπα χρήσιμα μεγέθη (π.χ. πυκνότητες ρευμάτων, τάσεις κτλ.). Ως εκ τούτου όμως, όσο πιο λεπτομερές είναι ένα αντικείμενο και όσο πιο μικρές είναι οι διαστάσεις του και με ταυτόχρονα πολλές λεπτομέρειες περιεχόμενες σε μια πολύ μικρή περιοχή του χώρου, τόσο πιο πολύ θα πρέπει να μικρύνει το πλέγμα υπολογισμών του επιλύτη του CST. Και ως εκ τούτου τόσο πιο πολύπλοκη θα γίνει η επίλυση, άρα και πιο αργή χρονικά. Δηλ. όσο πιο πολύ λεπτομέρεια δίνουμε στο οποιοδήποτε μοντέλο μας, τόσο αυξάνει ο χρόνος της οποιασδήποτε προσομοίωσης, που θα τρέξουμε με αυτό. Για τον λόγο αυτό, όπως θα φανεί και μέσα στην πορεία της εργασίας, ενώ πάντοτε θα επιδιώκουμε το μοντέλο μας να είναι όσο περισσότερο αναλυτικό γίνεται, θα αποζητούμε συχνά τις όσο το δυνατόν πιο «ανώδυνες» απλοποιήσεις στην υλοποίηση, δηλ. εκείνες, που δυνάμεθα να τις υιοθετήσουμε (απλοποιώντας κάπως το μοντέλο μας, άρα βελτιώνοντας τον χρόνο προσομοίωσης), χωρίς όμως να βλάπτουμε την αρτιότητα και ακρίβεια του μοντέλου.

Να σχολιάσουμε επίσης ότι, η μελέτη της εργασίας αυτής αποκτά σαφώς μεγαλύτερο νόημα με την ταυτόχρονη επαφή του αναγνώστη με το λογισμικό του προσομοιωτή CST, που χρησιμοποιήθηκε. Το λογισμικό αυτό υπάρχει εγκατεστημένο σε Η/Υ του Εργαστηρίου Υ. Τ. της Σ.Η.Μ.Μ.Υ., από τον οποίο και έγινε η χρήση του για τις ανάγκες της παρούσης διπλωματικής. Τα σχετικά αρχεία, που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό αυτό, είναι στην δικαιοδοσία του Εργαστηρίου Υ. Τ. και ο ενδιαφερόμενος, που θέλει να μελετήσει εκ παραλήλλου το κείμενο αυτό και τα εν λόγω αρχεία, μπορεί να απευθυνθεί στο εργαστήριο. Για τον λόγο αυτό έχουμε σημειώσει σε κάθε σημείο της εργασίας το όνομα των αρχείων, που δημιουργήθηκαν στον προσομοιωτή, το πώς αυτά συνδυάζονται μεταξύ τους και το πώς πρέπει να τα χρησιμοποιεί ο πειραματιζόμενος. Το Destination Path για όλα τα αναγκαία για την δημιουργία αλλά και την μελέτη της εργασίας αρχεία είναι: C:\Users\HV-PKP\Desktop\CST_SpaceWire\PANAGIOTIS KAMTSIOS - FINAL PROJECTS.

1.3.2 Σύνθεση των Κεφαλαίων

Η ανάπτυξη της εργασίας σε Κεφάλαια έγινε με άξονα την διαδικασία, που ακολουθήθηκε και στον προσομοιωτή, κατά την δημιουργία και την σταδιακή ολοκλήρωση του μοντέλου. Η βασική δομή της εργασίας έχει ως εξής. Αρχικά κατασκευάστηκε η διατομή του καλωδίου SpW, σε 2 διαστάσεις. Εν συνέχεια υλοποιήθηκαν οι σύνδεσμοι, στους οποίους τερματίζει το καλώδιο. Οι σύνδεσμοι φυσικά κατασκευάστηκαν σε 3 διαστάσεις. Έχοντας έτοιμα αυτά τα δομικά χαρακτηριστικά, προχωρήσαμε στον ορισμό ενός περιβάλλοντος για να «αναπτυχθεί» εντός του το συναρμολόγημα του καλωδίου SpW. Προκειμένου δηλ. να μην έχουμε απλώς ένα καλώδιο SpW στο κενό, αποφασίσαμε να το δομήσουμε (σαν πλήρες συναρμολόγημα), ενσωματώνοντάς το στην διάταξη ενός πεδιακού προβλήματος. Η εν λόγω διάταξη επιλέξαμε να είναι αυτή της Δοκιμής Εμμέσου Ηλεκτροστατικής Εκφορτίσεως (ESD) σε ένα καλώδιο. Τέλος, με συνδυασμό των καταλλήλων αρχείων (απ' αυτά που είχαμε δημιουργήσει), ορίσαμε το καλώδιό μας στον χώρο της

συγκεκριμένης δοκιμής. Συγκεκριμένα έγινε προβολή στον χώρο των 3 διαστάσεων της διατομής, που είχαμε κατασκευάσει στην αρχή, οπότε δημιουργήθηκε ένα τμήμα του καλωδίου SpW στον χώρο. Το καλώδιο αυτό τερματίστηκε (με τον προβλεπόμενο από τα σχετικά πρότυπα τρόπο) επάνω στα μοντέλα των συνδέσμων, και έτσι δημιουργήθηκε το συναρμολόγημα του καλωδίου SpW, που επιθυμούσαμε.

Σε κάθε στάδιο της εργασίας μας παραθέτουμε σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο, ενώ προβαίνουμε σε αναλυτική διερεύνηση της κάθε ενέργειας υλοποίησης, στην οποία προχωρούμε. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην προσπάθεια να καταστήσουμε το μοντέλο μας όσο το δυνατόν καλύτερα και πληρέστερα παραμετροποιημένο. Θα αντιληφθούμε την χρησιμότητα της παραμετροποίησης αυτής στην πορεία της εργασίας μας. Αξίζει να επισημάνουμε ότι η όλη διαδικασία της δημιουργίας του μοντέλου μας εξηγήθηκε με πάρα πολύ μεγάλη λεπτομέρεια, με ταυτόχρονη παράθεση εικόνων από τον προσομοιωτή και σαφή επεξήγηση των εργαλείων του και των λειτουργιών του, όπως αξιοποιήθηκαν.

Τέλος, σαν κατακλείδα της εργασίας αυτής, προχωρήσαμε στην πραγματική εκτέλεση ενός πειράματος ESD σε καλώδιο SpW. Όπως αναφέραμε, το Εργαστήριο Υ. Τ. διαθέτει στον εξοπλισμό του δύο καλώδια SpW, συνοδευόμενα από τον σχετικό με την λειτουργία τους προσομοιωτή (τον iSAFT Simulator). Αξιοποιώντας λοιπόν αυτό το hardware, προχωρήσαμε στην υλοποίηση ενός πειράματος Εμμέσου ESD στα δύο αυτά καλώδια SpW. Ο σκοπός αυτού του πειράματος ήταν διπλός. Αφ' ενός θέλαμε να προχωρήσουμε στην εκτέλεση ενός τέτοιου πειράματος με το εν λόγω καλώδιο, σαν μια πρώτη μελέτη¹ της επίδρασης μιας τέτοιου είδους H/M παρεμβολής σε αυτό. Αφ' ετέρου θέλαμε λίγες μετρήσεις από το πραγματικό καλώδιο SpW, προκειμένου να επαληθεύσουμε την ορθότητα του μοντέλου, που δημιουργήσαμε στο CST. Συνεπώς, μετά την ολοκλήρωση του πειράματος με το πραγματικό καλώδιο, προχωρήσαμε σε μια σύντομη επανάληψή του στο προσομοιωτικό περιβάλλον του CST, έτσι ώστε, με διασταύρωση των νέων προσομοιωτικών αποτελεσμάτων με τις πειραματικές μετρήσεις, να βεβαιωθούμε ότι το μοντέλο που υλοποιήσαμε μπορεί με αξιοπιστία να χρησιμοποιηθεί για προσομοιώσεις, εξάγοντας ασφαλή αποτελέσματα.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα Διπλωματική Εργασία δομείται από τα ακόλουθα Κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 1:** Στο αρχικό κεφάλαιο δίδεται η εισαγωγή για την παρούσα διπλωματική. Γίνεται μια σύντομη, μα κατατοπιστική αναφορά στο Πρωτόκολλο SpW, του οποίου το φυσικό μέσο διασύνδεσης, το καλώδιο, θα μοντελοποιησουμε και εξηγείται η διάρθρωση της εργασίας.
- **Κεφάλαιο 2:** Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η Διατομή του Καλωδίου SpW. Μετά από έναν σύντομο κατατοπισμό περί των εργαλείων του CST, που θα αξιοποιηθούν για την δόμηση της διατομής, προχωρούμε σε λεπτομερή παραμετροποίησή της και σταδιακή υλοποίησή της με απόλυτη λεπτομέρεια. Μάλιστα αφιερώνουμε μια εκτενή ενότητα του κεφαλαίου αυτού σε θεωρητική επαλήθευση της ορθότητας της υλοποίησής μας και της συμμόρφωσης αυτής προς τα σχετικά πρότυπα, μέσω των μαθηματικών εργαλείων της πεδιακής αναλύσεως.
- **Κεφάλαιο 3:** Το 3^ο κεφάλαιο της διπλωματικής είναι αφιερωμένο στους συνδέσμους του καλωδίου SpW. Αρχικά εξηγούνται με λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά τους, με βάση τα σχετικά πρότυπα και δίδονται και παραδείγματα εμπορικών συνδέσμων. Στην συνέχεια του κεφαλαίου αναπτύσσουμε λεπτομερώς τον τρόπο, με τον οποίο κατασκευάστηκαν στο CST και παραμετροποιήθηκαν τα μοντέλα των συνδέσμων.
- **Κεφάλαιο 4:** Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται την υλοποίηση στο CST της διατάξεως στην οποία θα «οδεύσει» το καλώδιο SpW. Πραγματοποιείται αναλυτική επεξήγηση της διάταξης μιας εμμέσου δοκιμής ESD στο καλώδιο αυτό και κατασκευή της στο προσομοιωτικό περιβάλλον. Ακολούθως εξηγείται με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια και με συνοδευτικές από το CST εικόνες, ο τρόπος που ορίστηκε η όδευση του καλωδίου στον 3D χώρο.

¹ Λέμε «μια πρώτη μελέτη», διότι η απόφαση της εκτέλεσής του πειράματος ESD και της ενσωμάτωσής του στην εργασία ελήφθη αργότερα. Συνεπώς πραγματοποιήσαμε μεν σωστά το πείραμα αυτό και λάβαμε τις σχετικές μετρήσεις, όμως δεν θελήσαμε να το αναπτύξουμε στο βάθος που θα μπορούσαμε. Δηλ. μια πλήρης διερεύνηση της παρεμβολής αυτής σε ένα καλώδιο SpW, του πώς το επηρεάζει και του πόσο το καλώδιο «την αντέχει» χωρίς να χαθεί η λειτουργικότητά της ζεύξης, απαιτεί σαφώς εκτενέστερη διερεύνηση και περισσότερα πειράματα, κάτι που ξεφεύγει κάπως από τον σκοπό της εργασίας μας.

- **Κεφάλαιο 5:** Το 5^ο κεφάλαιο είναι αυτό, στο οποίο ολοκληρώνεται η υλοποίηση του προσομοιωτικού μοντέλου του Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW. Μετά από μια σύντομη παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο ολοκληρώνεται ένα συναρμολόγημα, βάσει των σχετικών προτύπων, το υπόλοιπο κεφάλαιο αφιερώνεται σε μια λεπτομερή ανάλυση του τρόπου με τον οποίο συνδυάζονται τα μέχρι τώρα κατασκευασθέντα στο CST τμήματα του SpW, προς δημιουργία του ολοκληρωμένου συναρμογήματος.
- **Κεφάλαιο 6:** Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσης διπλωματικής, παρουσιάζεται το πείραμα, που εκτελέστηκε στο Εργαστήριο Υ. Τ. με το πραγματικό καλώδιο SpW. Παρατίθενται οι σχετικές μετρήσεις και δίδεται η ερμηνεία των πειραματικών αυτών αποτελεσμάτων. Εν συνεχεία περιγράφεται ο τρόπος, με τον οποίο έγινε η σύντομη «επανάληψη» του εν λόγω πειράματος στο CST. Δίδονται και από αυτό τα σχετικά αποτελέσματα, πραγματοποιείται η σύγκρισή τους με τις πειραματικές μετρήσεις και δίδεται το συνακόλουθο συμπέρασμα περί της ορθότητας του μοντέλου μας. Τέλος, γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της εργασίας και συζητείται η συνεισφορά της και οι μελλοντικές δυνατότητες που προσφέρει.

Κεφάλαιο 2

Η Διατομή του Καλωδίου

Στο ζήτημα της δημιουργίας – δόμησης ενός καλωδίου, και θεωρητικά αλλά και στην πραγματικότητα, η πρώτη και πιο θεμελιώδης δουλειά με την οποία ξεκινούμε πάντοτε είναι η δημιουργία της διατομής (cross section) του καλωδίου. Δηλ. η αποκρυστάλλωση των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και του πόσα και ποιά υποκαλώδια θα το αποτελούν και τι θέσεις θα λάβουν στο εσωτερικό του νέου αυτού καλωδίου. Το πρόγραμμα CST διαθέτει ειδικό «σύστημα» για προσομοιώσεις καλωδίων, το Cable Studio. Εκεί μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει οποιοδήποτε καλώδιο επιθυμεί, όσο σύνθετο κι αν είναι, ξεκινώντας από την δόμηση της διατομής του σε 2 διαστάσεις. Έτσι ορίζουμε τα υποκαλώδια και τα υλικά τους, σε μία όψη «φέτας» του καλωδίου. Στο κεφάλαιο αυτό θα δώσουμε με όλη την λεπτομέρεια τις ενέργειες που ακολουθήσαμε για να υλοποιήσουμε το καλώδιο SpW, ως διατομή.

2.1 Η Διατομή του SpW συνοπτικά

Η διατομή ενός τυπικού καλωδίου SpaceWire περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8]. Στην ενότητα αυτή θα την παρουσιάσουμε αδρομερώς, έτσι ώστε να δώσουμε στον αναγνώστη μια πρώτη ολοκληρωμένη εικόνα. Στην συνέχεια, στην ενότητα 2.5, θα παραθέσουμε και τις λεπτομέρειες των διαστάσεων.

Το καλώδιο SpaceWire αποτελείται από 4 συνεστραμμένα διαφορετικά ζεύγη αγωγών σημάτων (twisted differential signal pairs). Το κάθε συνεστραμμένο ζεύγος εξυπηρετεί την μεταφορά ενός σήματος κωδικοποιημένου σε LVDS. Έτσι έχουμε ένα συνεστραμμένο ζεύγος για το σήμα *Din* και ένα για το σήμα *Sin* (για την μία κατεύθυνση μετάδοσης), και ένα συνεστραμμένο ζεύγος για το σήμα *Dout* και ένα για το σήμα *Sout* (για την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης, καθώς η ζεύξη SpW είναι πλήρως αμφίδρομη).

Πυρήνας της μετάδοσης του σήματος είναι ένας **επτάκλωνος εσωτερικός αγωγός (inner conductor)**, δηλ. ένας αγωγός που αποτελείται από επτά νήματα (strands) επαργυρωμένου κράματος χαλκού υψηλής αντοχής. Το πάχος της επαργύρωσης για τα νήματα των αγωγών αυτών πρέπει να είναι 2 μm τουλάχιστον. Κάθε τέτοιος επτάκλωνος αγωγός περιβάλλεται στην συνέχεια από διηλεκτρικό (dielectric) και ανά δύο τέτοιοι μονωμένοι αγωγοί συστρέφονται για να δημιουργήσουν το ένα **συνεστραμμένο διαφορικό ζεύγος σήματος (twisted differential signal pair)**. Το συνεστραμμένο διαφορικό ζεύγος ονομάζεται στο πρότυπο **Symmetric Cable** ή για συντομία **SC** και αυτό τον συμβολισμό θα χρησιμοποιούμε συχνά και εδώ. Να σημειώσουμε ότι στην συστροφή αυτή συμμετέχουν και **δύο πληρωτές (fillers)**, δηλ. δύο συμπαγείς κύλινδροι από μονωτικό, κατάλληλης διαμέτρου. Άρα με την κατάλληλη τοποθέτηση τελικώς συστρέφονται 2 μονωμένοι αγωγοί και 2 πληρωτές για την δημιουργία του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους. Ο ρόλος των πληρωτών είναι κατά βάσιν πρακτικός, όμως έχει και αντίκτυπο στις ηλεκτρικές ιδιότητες του καλωδίου. Δηλ. οι πληρωτές τοποθετούνται ώστε, πριν αρχίσει η συστροφή, η εσωτερική της θωράκισης μορφή του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην κυκλική και έτσι μετά την

συστροφή να μπορέσουμε να επιτύχουμε όσο το δυνατόν ομαλότερη και πιο ομοιόμορφη διάμετρο κάτω από την θωράκιση, ιδανικά κυκλική διάμετρο σε όλο το μήκος. Κάτι τέτοιο όμως θα συνεισφέρει στο να έχουμε και ομοιόμορφη εμπέδηση του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους καθ' όλο το μήκος του. Αυτό συμβαίνει όχι γιατί οι πληρωτές επηρεάζουν λόγω της φύσεως του υλικού τους τις ηλεκτρικές ιδιότητες, αλλά επειδή συμβάλλουν ώστε η συστροφή να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο τέλειο και συνεπώς οι δύο ενεργοί μονωμένοι αγωγοί έχουν σταθερή απόσταση μεταξύ τους καθ' όλο το μήκος του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους (και δεν υπάρχουν σημεία που να έρχονται πιο κοντά ή να απομακρύνονται, γεγονότα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την εμπέδηση του ζεύγους).

Στην συνέχεια, το συνεστραμμένο διαφορικό ζεύγος που δημιουργήθηκε, δηλ. ο πυρήνας του SC, θα θωρακιστεί. Στην μία από τις δύο παραλλαγές του καλωδίου SpW² και συγκεκριμένα στην Variant 02, όπως την ονομάζει το πρότυπο, στο σημείο αυτό ο πυρήνας του SC περιβάλλεται από ένα δεματικό (binder) πριν θωρακιστεί. Αυτό το δεματικό δεν υπάρχει στην Variant 01, στην οποία απ' ευθείας ο πυρήνας του SC που έχει δημιουργηθεί περιβάλλεται από την θωράκιση. Το SC είναι θωρακισμένο με πλεκτή θωράκιση (braided shield) τύπου push-back, η οποία δομείται από νήματα επαργυρωμένου και ανοπτημένου χαλκού υψηλής αντοχής. Το πάχος της επαργύρωσης για τα νήματα του πλέγματος της θωράκισης πρέπει να είναι 2.5 μm τουλάχιστον. Η θωράκιση πρέπει να προσφέρει κατ' ελάχιστον 90% ποσοστό κάλυψης. Ακολούθως, γύρω από το SC τοποθετείται ένας εξωτερικός μανδύας – κάλυμμα (jacket) ο οποίος προσφέρει ηλεκτρική απομόνωση για τις θωρακίσεις των τεσσάρων SC αλλά και την στοιχειώδη προστασία στο SC. Να σημειώσουμε εδώ ότι με την ονομασία SC εννοούμε φυσικά το ολοκληρωμένο συνεστραμμένο διαφορικό ζεύγος, δηλ. αυτό που έχει και θωράκιση και μονωτικό μανδύα. Αν πρόκειται να αναφερθούμε στο εσωτερικό του δηλ. στο SC πριν ακόμα καλυφθεί από θωράκιση και μανδύα (πράγμα που θα γίνει παρακάτω), θα το διακρίνουμε λέγοντας «ο πυρήνας του SC» ή πάλι «το αθωράκιστο και χωρίς κάλυμμα SC (Unshielded Unjacketed SC)» (και για την περίπτωση της Var. 02, «το χωρίς δεματικό, αθωράκιστο και χωρίς κάλυμμα SC (Unbinder Unshielded Unjacketed SC)»).

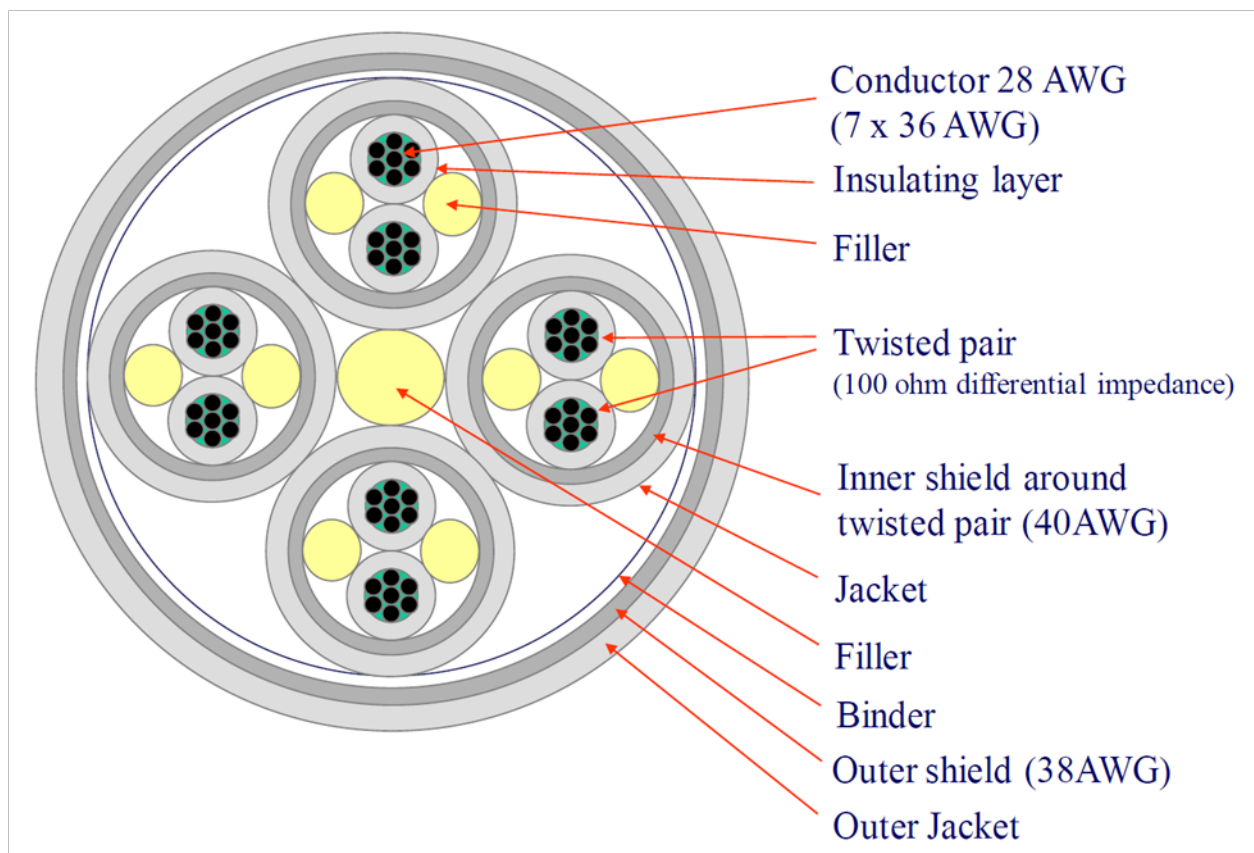
Όπως σημειώσαμε και στην αρχή, έχουμε 4 συνεστραμμένα διαφορικά ζεύγη καλωδίων, δηλ. 4 Symmetric Cables. Τα 4 αυτά SCs τοποθετούνται συμμετρικά γύρω από έναν κεντρικό πληρωτή (filler) και συστρέφονται εκ νέου για να δημιουργήσουν τον πυρήνα του **τελικού καλωδίου SpaceWire**. Το καλώδιο αυτό στο πρότυπο ονομάζεται **Round Cable** ή για συντομία **RC** και αυτό τον συμβολισμό θα χρησιμοποιούμε συχνά και εδώ. Ο ρόλος του πληρωτή είναι και εδώ αντίστοιχος με τον ρόλο των πληρωτών του καθενός SC. Για λόγους διακρίσεως **οι πληρωτές του SC ονομάζονται SC Fillers** ενώ **ο πληρωτής του RC ονομάζεται RC Filler**. Στην συνέχεια αυτή η συνεστραμμένη τετράδα των SCs περιβάλλεται από ένα δεματικό (binder) το οποίο εξυπηρετεί στο να διατηρούνται τα 4 SCs και ο πληρωτής μαζί σε σταθερή θέση. Για λόγους διάκρισης και μόνο όταν αναφερόμαστε στην Variant 02, το δεματικό του RC θα ονομάζεται δεματικό του RC (RC Binder) ή εξωτερικό δεματικό (outer binder) ενώ το κάθε ένα από τα δεματικά των τεσσάρων SCs θα ονομάζεται δεματικό του SC (SC binder) ή εσωτερικό δεματικό (inner binder) (διότι, όπως αναφέραμε μόλις πριν, στην Var. 02 υπάρχει δεματικό και στο SC).

Αφού τοποθετηθεί το δεματικό, ο πυρήνας του RC που έχει δημιουργηθεί περιβάλλεται από την θωράκιση. Το RC είναι και αυτό θωρακισμένο με πλεκτή θωράκιση (braided shield) τύπου push-back, η οποία δομείται από νήματα επαργυρωμένου και ανοπτημένου χαλκού υψηλής αντοχής. Το πάχος της επαργύρωσης για τα νήματα του πλέγματος της θωράκισης πρέπει και εδώ να είναι 2.5 μm τουλάχιστον. Η θωράκιση πρέπει να προσφέρει κατ' ελάχιστον 90% ποσοστό κάλυψης. Για λόγους διάκρισης, η θωράκιση αυτή του RC ονομάζεται εξωτερική θωράκιση (outer shield), ενώ η κάθε μία από τις θωρακίσεις των τεσσάρων SCs ονομάζεται εσωτερική θωράκιση (inner shield). Όπως είναι προφανές από την ύπαρξη των μανδύων των τεσσάρων SCs και του δεματικού του RC, οι θωρακίσεις αυτές δεν έρχονται σε ηλεκτρική σύνδεση – επαφή μεταξύ τους στη φάση αυτή δηλ. καθ' όλο το μήκος της διατομής του καλωδίου (και λέμε «στην φάση αυτή» διότι αργότερα, συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 5, θα δούμε σε ποιο σημείο του καλωδίου και με ποιόν τρόπο συνδέονται οι θωρακίσεις ηλεκτρικά). Τέλος, γύρω από το RC τοποθετείται ένας εξωτερικός μανδύας – κάλυμμα (jacket) ο οποίος προσφέρει ηλεκτρική απομόνωση για την εξωτερική θωράκιση του RC αλλά και την

² Υπάρχουν δύο παραλλαγές στις οποίες παράγεται το καλώδιο SpW και οι οποίες διαφοροποιούνται στα ονομαστικά μεγέθη των διαμέτρων της διατομής. Θα αναφερθούμε αναλυτικά σε αυτές στην ενότητα 2.2.

στοιχειώδη προστασία σ' αυτό. Και πάλι για λόγους διάκρισης, εξωτερικός μανδύας του RC ονομάζεται «εξωτερικός μανδύας – κάλυμμα (outer jacket)» ενώ ο εξωτερικός μανδύας καθενός από τα 4 SCs ονομάζεται «εσωτερικός μανδύας – κάλυμμα (inner jacket)». Να σημειώσουμε πάλι ότι με την ονομασία RC εννοούμε φυσικά το ολοκληρωμένο ή αλλιώς το πλήρες Καλώδιο SpW, δηλ. αυτό που έχει και δεματικό και θωράκιση και μονωτικό μανδύα. Αν πρόκειται να αναφερθούμε στο εσωτερικό του δηλ. στο RC πριν ακόμα «δεθεί», καλυφθεί από θωράκιση και «ντυθεί» με τον μανδύα (πράγμα που θα γίνει παρακάτω), θα το διακρίνουμε λέγοντας «ο πυρήνας του RC» ή πάλι «το χωρίς δεματικό, αθωράκιστο και χωρίς κάλυμμα RC (Unbinded Unshielded Unjacketed RC)».

Μια πολύ εξυπηρετική εικόνα που δείχνει σε τομή το καλώδιο είναι η ακόλουθη (και λέγοντας εξυπηρετική εννοούμε ότι θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε πώς τοποθετούνται τα υποκαλώδια εντός του SpW, όταν θα το δομήσουμε στο πρόγραμμα).



Σχήμα 2.1: Διατομή του Καλωδίου SpW (Var. 01) [18].

Όπως βέβαια φαίνεται ήδη (μιας και δεν υπάρχει binder στο SC) αλλά και όπως θα γίνει αντιληπτό από τα λεγόμενα στην επόμενη ενότητα, η εικόνα αυτή αντιστοιχεί στην παραλλαγή Variant 01, από τις δύο παραλλαγές του καλωδίου.

2.2 Οι Παραλλαγές του Καλωδίου SpW

Το καλώδιο SpW, σύμφωνα με το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], παράγεται, ως διατομή, σε **δύο βασικές παραλλαγές** (Variants), την **Variant 01** και την **Variant 02** (Var. 01 και Var. 02 για

συντομία). Οι παραλλαγές αυτές διαφοροποιούνται η μία από την άλλη κυρίως ως προς τις διαμέτρους των εσωτερικών αγωγών, οι οποίες είναι κατά τι μεγαλύτερες στην Var. 02. Συγκεκριμένα:

- **στην Var. 01:** ο κάθε κλώνος του εσωτερικού αγωγού έχει διάμετρο $36 \text{ AWG} \cong 0.126 \text{ mm}$ (κάτι που οδηγεί σε ισοδύναμη διάμετρο ολοκλήρου του επτάκλωνου εσωτερικού αγωγού ίση με 28 AWG), ενώ
- **στην Var. 02:** ο κάθε κλώνος του εσωτερικού αγωγού έχει διάμετρο $34 \text{ AWG} \cong 0.160 \text{ mm}$ (κάτι που οδηγεί σε ισοδύναμη διάμετρο ολοκλήρου του επτάκλωνου εσωτερικού αγωγού ίση με 26 AWG).

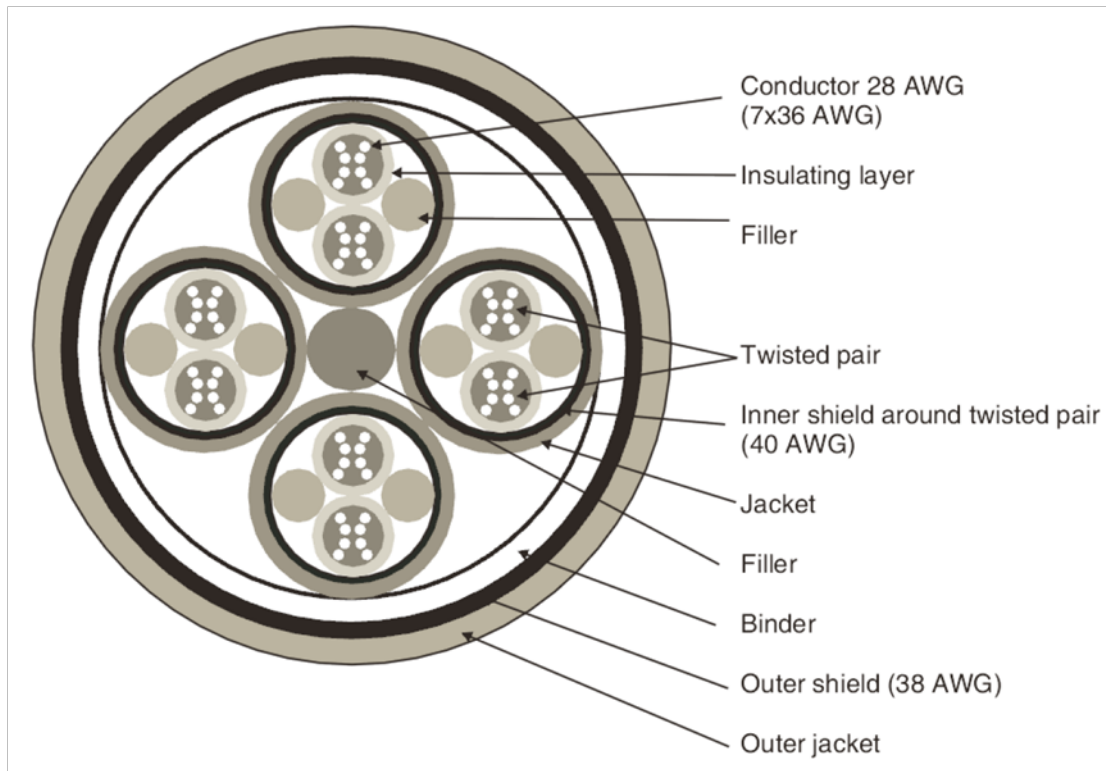
Λόγω της λίγο μεγαλύτερης διαμέτρου των συρματιδίων του εσωτερικού αγωγού της Var. 02, προφανώς και όλες οι διαμέτρους που θα προκύπτουν στην συνέχεια, δηλ. αυτή του μονωμένου εσωτερικού αγωγού, αυτή του SC και αυτή του RC θα προκύψουν μεγαλύτερες. Να σημειώσουμε ότι οι διαμέτρους των διαφόρων συρμάτων, είτε του εσωτερικού αγωγού είτε των θωρακίσεων, δίνονται από το πρότυπο τόσο σε AWG^3 όσο και σε mm .

Η δεύτερη βασική διαφοροποίηση των δύο παραλλαγών είναι, όπως σημειώσαμε στην ενότητα 2.1, το γεγονός ότι στην Var. 02 χρησιμοποιείται δεματικό (binder) για την ομαδοποίηση των υποκαλωδίων του πυρήνα του SC (το inner binder, όπως είπαμε).

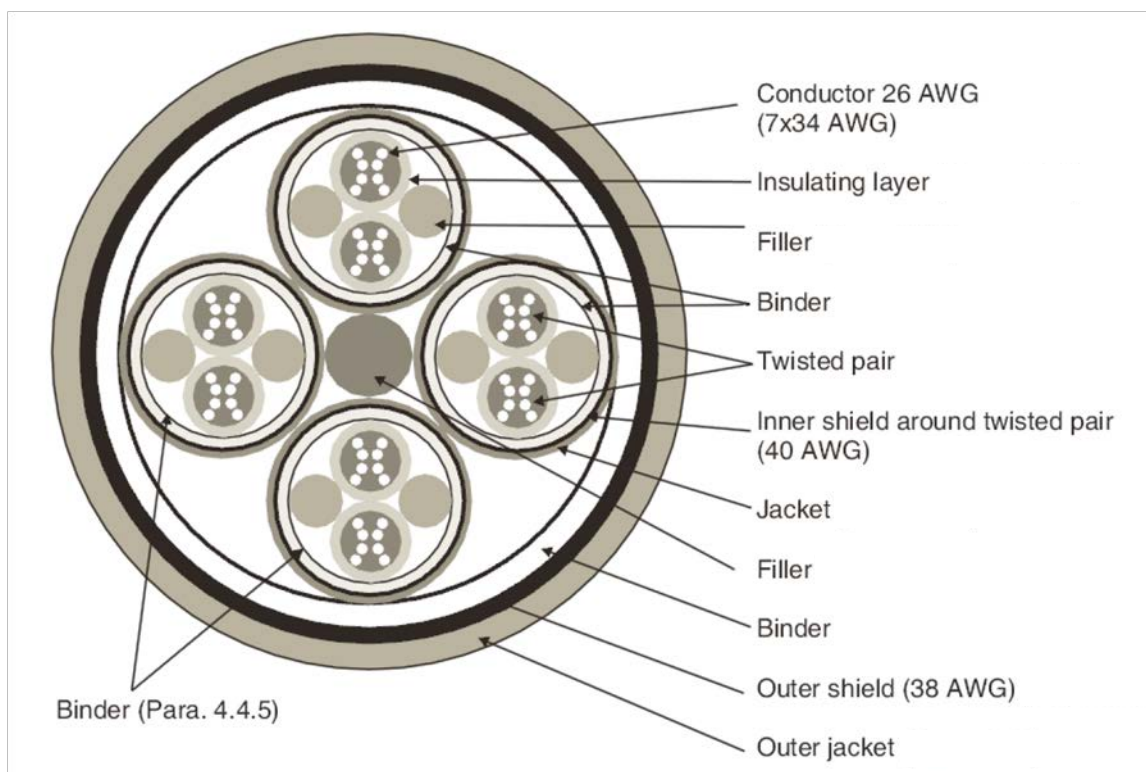
Τα Καλώδια SpW που υπάρχουν στο εργαστήριο Υ.Τ. ως φυσικά δείγματα είναι μόνο της Var. 01. Παρ' όλα αυτά, εμείς αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε στο πρόγραμμα και τις δύο παραλλαγές ώστε να μπορούν να γίνουν συγκριτικές μελέτες (και σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε πρακτικό, σε περίπτωση που στο μέλλον το εργαστήριο προμηθευτεί και καλώδιο SpW Var. 02).

Ακολούθως παραθέτουμε δύο σχήματα, από την διατομή των δύο αυτών παραλλαγών. Στα σχήματα αυτά φαίνονται τα διάφορα στρώματα του καλωδίου και επισημαίνονται οι διαμέτρους των συρματιδίων αγωγών και θωρακίσεων για την κάθε παραλλαγή. Να σημειώσουμε ότι στα σχήματα αυτά το μόνο που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (αλλά είναι δοσμένο απλοποιημένα) είναι η διάταξη των κλώνων του εσωτερικού αγωγού. Ο σωστός τρόπος για την διάταξη αυτή φαίνεται στο Σχήμα 2.1.

³ Το AWG (από το American Wire Gauge) είναι ένα αμερικανικό τυποποιημένο σύστημα για τον καθορισμό της διαμέτρου της διατομής αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος. Η φιλοσοφία του είναι ότι όσο μεγαλύτερο είναι το νούμερο AWG τόσο μικρότερη είναι η διάμετρος του σύρματος. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα νούμερα AWG είναι 44 σε πλήθος και ξεκινούν από το 0000 (4/0) (το μεγαλύτερο σε διάμετρο), ακολουθούν άλλα τρία μηδενικά, 000 (3/0), 00 (2/0), 0 (1/0) και ύστερα τα 1, 2, 3, ..., μέχρι και το 40 (το μικρότερο σε διάμετρο). Υπάρχει σαφής μαθηματική σχέση που μας δίνει την διάμετρο της κυκλικής διατομής ενός σύρματος σε mm αν την έχουμε σε AWG (και θα την παραθέσουμε στην υποενότητα 3.11.3), αλλά συχνά χρησιμοποιούνται για συντομία πίνακες στους οποίους έχουν δοθεί οι αντιστοιχίες αυτές με ένα ικανοποιητικό επίπεδο προσέγγισης και στρογγυλοποίησης.



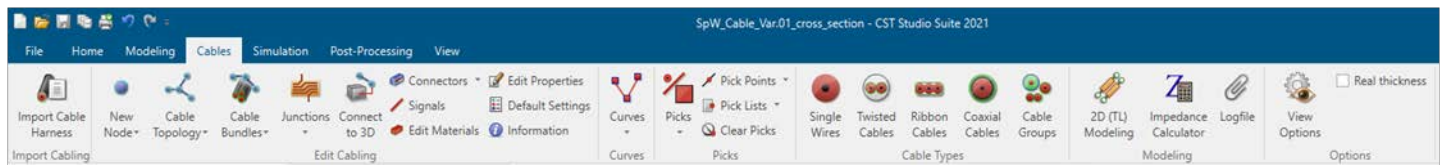
Σχήμα 2.2: Διατομή της Variant 01 του Καλωδίου SpW [8].



Σχήμα 2.3: Διατομή της Variant 02 του Καλωδίου SpW [8].

2.3 Το Cable Studio

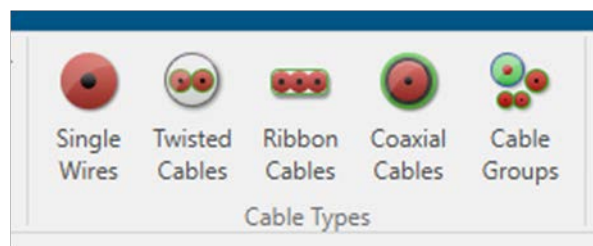
Η δημιουργία της διατομής του καλωδίου έγινε, όπως είπαμε, εξ' ολοκλήρου στο Cable Studio του CST. Τα εργαλεία και οι δυνατότητες του Cable Studio παρατίθενται στην εργαλειοταξινόμηση Cables στο περιβάλλον του CST.



Εικόνα 2.1: Τα εργαλεία του Cable Studio [56].

Κάθε καλώδιο στο Cable Studio δημιουργείται ως διατομή (cross section). Στην συνέχεια για να αποκτήσει 3D υπόσταση, ορίζονται κόμβοι μεταξύ των οποίων θα βρίσκεται ένα τμήμα καλωδίου ή καμπύλη πάνω στην οποία θα «οδεύει» ένα τμήμα καλωδίου και πλέον το καλώδιο «φορτώνεται» στον 3D χώρο (θα αναφερθούμε όμως σε αυτά αργότερα, στο Κεφάλαιο 4 και στο Κεφάλαιο 5).

Για την δημιουργία της διατομής ενός καλωδίου, το Cable Studio δίνει 5 διαφορετικά εργαλεία, δηλ. 5 τύπους καλωδίων. Αυτοί εντοπίζονται στην καρτέλα Cable Types και είναι οι ακόλουθοι:



Εικόνα 2.2: Οι τύποι διατομών καλωδίων του Cable Studio [56].

1. Οι Απλοί Αγωγοί (Single Wires)

Οι Απλοί Αγωγοί αποτελούνται απλώς από έναν αγωγίμο πυρήνα που περιβάλλεται από ένα μονωτικό. Ο πυρήνας αυτός μπορεί να είναι συμπαγής αλλά μπορεί και να αποτελείται και από νήματα (αυτό υλοποιείται βέβαια εσωτερικά χωρίς να φαίνεται στην προεπισκόπηση, καθώς μόνο ένα συμπαγές κόκκινο χρώμα θα φαίνεται πάντα για τον αγωγίμο πυρήνα, όπως θα δούμε παρακάτω, ενδεικτικά στο Σχήμα 2.20 της υποενότητας 2.8.1). Με το εργαλείο αυτό μπορούν να δημιουργηθούν και σκέτοι αγωγοί χωρίς μόνωση γύρω αλλά και σκέτοι μονωτικοί συμπαγείς κύλινδροι χωρίς αγωγό στο εσωτερικό τους. Αυτά τα τελευταία είναι τα λεγόμενα fillers.

2. Τα Καλώδια που αποτελούνται από Συνεστραμμένους Αγωγούς (Twisted Cables)

Με αυτό το εργαλείο μπορώ να επιλέξω ένα (και μοναδικό κάθε φορά) Single Wire και να δηλώσω πόσο πλήθος από τέτοιους απλούς αγωγούς θέλω να συστραφούν. Έτσι δημιουργώ τον πυρήνα για ένα συνεστραμμένο καλώδιο. Με το εργαλείο αυτό μπορώ να φτιάξω μόνο τον πυρήνα. Η προσθήκη επιπλέον μονώσεων και θωρακίσεων γίνεται μόνο με το εργαλείο Cable Groups. Επίσης το

εργαλείο αυτό δημιουργεί μόνο απλά συνεστραμμένα καλώδια, δηλ. συνεστραμμένα καλώδια τα οποία συγκροτούνται μόνο από ένα είδος αγωγού (δηλ. από επανάληψη του ίδιου αγωγού 2 ή περισσότερες φορές).

3. Οι Καλωδιοταινίες (Ribbon Cables)

ενθαρρύνει την ιδέα ότι «όταν θέλεις να φτιάξεις την διατομή ενός συνθέτου καλωδίου, δημιούργησε πρώτα τα υποκαλώδια που το αποτελούν, αρχίζοντας από τα πιο απλά». Σίγουρα λοιπόν κάθε καλώδιο, όσο σύνθετο και αν είναι, θα έχει υποκαλώδια που θα υπάγονται σε κάποια από τις 4 παραπάνω απλές περιπτώσεις. Όταν λοιπόν έχει κά

Η καλωδιοταινία είναι ουσιαστικά ένα πεπλατυσμένο καλώδιο που περιέχει αγωγούς διατεταγμένους τον έναν δίπλα στον άλλον, στο ίδιο επίπεδο. Με αυτό λοιπόν το εργαλείο μπορώ να επιλέξω ένα (και μοναδικό κάθε φορά) Single Wire και να δηλώσω πόσο πλήθος από τέτοιους απλούς αγωγούς θέλω να τοποθετηθούν ο ένας δίπλα στον άλλον προς δημιουργία μιας καλωδιοταινίας. Η συστροφή και η προσθήκη επιπλέον μονώσεων και θωρακίσεων γίνονται μόνο με το εργαλείο Cable Groups. Επίσης, όπως και με τα Twisted Cables, το εργαλείο αυτό δημιουργεί απλές καλωδιοταινίες οι οποίες συγκροτούνται μόνο από ένα είδος αγωγού (δηλ. από επανάληψη του ίδιου αγωγού 2 ή περισσότερες φορές).

1. Τα Ομοαξονικά Καλώδια (Coaxial Cables)

Με το εργαλείο αυτό δημιουργούνται ομοαξονικά καλώδια, δηλ. καλώδια που αποτελούνται από έναν αγωγό πυρήνα ο οποίος περιβάλλεται διαδοχικά από ένα στρώμα μονωτικού, από ένα στρώμα θωράκισης και τέλος από ένα εξωτερικό στρώμα μονωτικού. Ο συμπαγής κύλινδρος του αγωγίμου πυρήνα και οι κοίλοι κύλινδροι των επιπλέον στρώσεων έχουν τον ίδιο διαμήκη άξονα (εξ' ου και η ονομασία του καλωδίου).

2. Τα Σύνθετα Καλώδια, αυτά δηλ. που αποτελούν μια Ομαδοποίηση Πολλών Καλωδίων (Cable Groups)

Με το εργαλείο αυτό ουσιαστικά τελειοποιούνται οι δυνατότητες του Cable Studio στην δημιουργία καλωδίων. Όλα τα προηγούμενα εργαλεία έχουν βασικούς περιορισμούς, με κυριότερο το ότι δημιουργούν την απλούστερη εκδοχή του αντιστοίχου τύπου καλωδίου. Αυτό βέβαια δεν είναι αδυναμία του CST. Απλώς το Cable Studio, με τους συγκεκριμένους τύπους καλωδίων, ουσιαστικά νει κανείς την σωστή χρήση των παραπάνω 4 εργαλείων και τώρα πρέπει να δημιουργήσει κάτι πολυπλοκότερο, περνά στο εργαλείο Cable Groups. Με το εργαλείο αυτό μπορεί ο χρήστης να ομαδοποιήσει όσα σε πλήθος αλλά και όποια σε είδος (ίδια ή διαφορετικά) καλώδια θέλει. Αφού λοιπόν επιλέξει πόσα και ποιά καλώδια θέλει να ομαδοποιήσει (ως υποκαλώδια του Cable Group), στην συνέχεια μπορεί να ορίσει την θέση των υποκαλωδίων αυτών στον 2D χώρο δηλ. στο επίπεδο της διατομής και μάλιστα με απόλυτη ακρίβεια, αφού για το επίπεδο αυτό νοείται από το πρόγραμμα τοπικό (local) καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με αρχή [δηλ. σημείο $O(0,0)$] το κέντρο του Cable Group (και λέμε «τοπικό» διότι κάθε Cable Group έχει το δικό του τέτοιο σύστημα συντεταγμένων). Κατόπιν μπορεί, αν επιθυμεί, να δηλώσει συστροφή για τα υποκαλώδια που μόλις διέταξε στο επίπεδο. Η συστροφή μάλιστα μπορεί να γίνει όχι μόνο γύρω από το κέντρο του νοητού κύκλου που περιβάλλει όλα τα υποκαλώδια, αλλά και γύρω από ένα από όλα τα υποκαλώδια (δηλ. να επιλεγεί ο διαμήκης άξονας αυτού ως άξονας της συστροφής όλων των υπολοίπων υποκαλωδίων) ή και γύρω από ένα σημείο καθορισμένο με σαφείς συντεταγμένες στο επίπεδο (δηλ. γύρω από τον αντίστοιχο άξονα, όταν γίνει η «προβολή» της διατομής αυτής στον 3D χώρο). Τέλος μπορεί να επιλέξει το μονωτικό υλικό που θα γεμίζει τα κενά ανάμεσα στα υποκαλώδια που περιλαμβάνει το Cable Group αλλά και να δηλώσει και τα επιπλέον στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων που θα περιβάλλουν όλο πλέον το Cable Group. Μάλιστα μπορεί να προσθέσει δυναμικά όσα επιπλέον στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων θέλει. Εννοείται ότι ένα Cable Group μπορεί να περιλαμβάνει τόσο απλά καλώδια (Single Wires, Twisted Cables, Ribbon Cables και Coaxial Cables) όσο και άλλα μικρότερα Cable Groups. Ειδικά με αυτή την τελευταία δυνατότητα, δηλ. την δημιουργία Cable Groups με υποκαλώδια άλλα Cable Groups μπορούμε πλέον να φτάσουμε σε όσο σύνθετες διατομές

καλωδίων επιθυμούμε. Μάλιστα όταν θέλουμε να ομαδοποιήσουμε Cable Groups (έστω και ίδια μεταξύ τους) για να δημιουργήσουμε ένα συνθετότερο καλώδιο, είναι μονόδρομος η χρήση του εργαλείου Cable Groups (διότι ακόμα και αν π.χ. θέλαμε να τους κάνουμε μια απλή συστροφή, δεν μπορούμε με το εργαλείο Twisted Cables διότι αυτό μπορεί να ομαδοποιήσει προς συστροφή μόνο Single Wires και όχι άλλα μικρά Cable Groups).

Οι παραπάνω 5 τύποι διατομών είναι και τα βασικά «όπλα» του Cable Studio. Φυσικά, εκτός από αυτά υπάρχει και πλήθος άλλων εργαλείων και δυνατοτήτων που σχετίζονται με την δημιουργία, τον έλεγχο και την λειτουργία προσομοιώσεων με καλώδια. Στην πορεία της εργασίας, οτιδήποτε χρειαστούμε και χρησιμοποιήσουμε θα το εξηγούμε, στον βαθμό που χρειάζεται. Στην συνέχεια λοιπόν θα αναπτύξουμε συστηματικά την διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να δημιουργηθεί το μοντέλο της διατομής του καλωδίου SpW στο Cable Studio του CST. Η διαδικασία αυτή έγινε, όπως είπαμε και στην ενότητα 2.2, και για τις δύο παραλλαγές του καλωδίου, Var. 01 και Var. 02.

2.4 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST

Τα μοντέλα της Διατομής του Καλωδίου SpW, που αναπτύχθηκαν για την κάθε παραλλαγή του, δημιουργήθηκαν και διατηρήθηκαν σε 4 αρχεία του CST, τα εξής:

- **SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst**
- **SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst**
- **SpW_Cable_Var.01_cross_section_impedance_check.cst**
- **SpW_Cable_Var.02_cross_section_impedance_check.cst**

Και τα 4 αυτά αρχεία έχουν φτάσει στην ολοκληρωμένη μορφή έχοντας υλοποιημένες όλες τις διατομές υποκαλωδίων και καλωδίων μέχρι και την τελευταία, που θα αναπτύξουμε στο κεφάλαιο αυτό.

Τα αρχεία **SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst** και **SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst** είναι τα τελικά αρχεία, που αφορούν στην διατομή του SpW και περιέχουν τις διατομές όλων των αναγκαίων υποκαλωδίων και καλωδίων υλοποιημένες σε 2D στο περιβάλλον του Cable Studio (και αυτές μπορούν να εντοπιστούν στο αριστερό μέρος του περιβάλλοντος του CST, στο παράθυρο Cable Navigation Tree). Αυτά τα αρχεία θα συνδυαστούν, με τρόπο που θα εξηγήσουμε στο Κεφάλαιο 5, με τα αρχεία των συνδέσμων και της καμπύλης του καλωδίου, προκειμένου να οδηγηθούμε σε ένα αρχείο λειτουργικό για πεδιακές προσομοιώσεις με το SpW.

Τα δύο επόμενα αρχεία **SpW_Cable_Var.01_cross_section_impedance_check.cst** και **SpW_Cable_Var.02_cross_section_impedance_check.cst** προέρχονται από ακριβή αντίγραφα των ολοκληρωμένων δύο προηγούμενων Projects (**SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst** και **SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst** αντίστοιχα). Οπότε περιέχουν ακριβώς τις ίδιες διατομές υποκαλωδίων και καλωδίων στο Cable Navigation Tree. Ο λόγος που δημιουργήθηκαν είναι για να μπορεί να γίνει ο έλεγχος ότι η εμπέδησή του διαφορικού ζεύγους του SpW είναι μέσα στα όρια που απαιτεί το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]. Σε αυτά έχει προστεθεί επιπλέον και μια καμπύλη στον 3D χώρο, πάνω στην οποία θα «φορτώνεται» κάθε φορά η διατομή του καλωδίου, του οποίου την εμπέδηση θέλει να μετρήσει ο πειραματιζόμενος. Ο τρόπος που έγιναν οι προσθήκες αυτές εξηγείται στην υποενότητα 2.7.7.

Ακολουθώντας θα δώσουμε και έναν Πίνακα στον οποίο θα διασαφηνίζουμε ποιές παραμέτρους⁴ περιλαμβάνει η λίστα παραμέτρων του κάθε αρχείου.

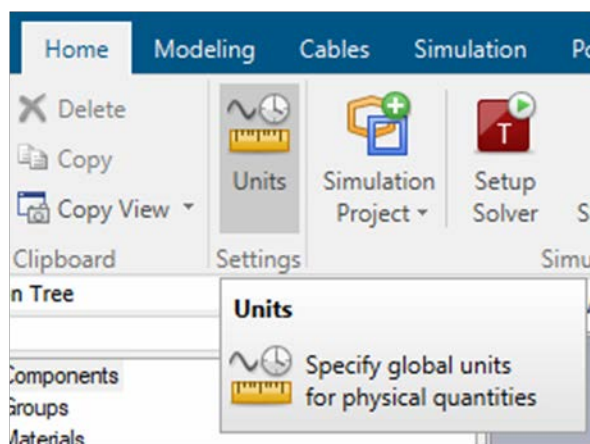
⁴ Για την παραμετροποίηση και την χρησιμότητά της θα μιλήσουμε στην ενότητα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1: Υπόμνημα των Παραμέτρων που χρησιμοποιεί κάθε Project.

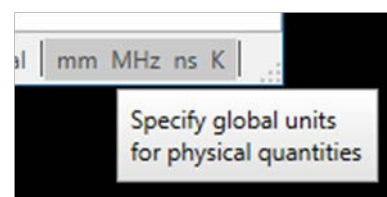
Όνομασία Project	Λίστα Παραμέτρων
SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 2.2.
SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.
SpW_Cable_Var.01_cross_section_impedance_check.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 2.2.
SpW_Cable_Var.02_cross_section_impedance_check.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 2.3.

2.5 Παραμετροποίηση του Μοντέλου της Διατομής

Μια πολύ χρήσιμη δυνατότητα που προσφέρει το CST είναι η Παραμετροποίηση. Στο δεξιό μέρος του παραθύρου του προγράμματος υπάρχει πάντα η Λίστα Παραμέτρων (Parameter List), ένας χώρος στον οποίο μπορεί ο χρήστης να ορίζει παραμέτρους δηλ. μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί για άμεσες αριθμητικές τιμές σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος απαιτείται να συμπληρωθεί κάποιος αριθμός. Ως τιμή μιας παραμέτρου μπορεί να δοθεί είτε απ' ευθείας ένα νούμερο, είτε μια πράξη που εμπλέκει μόνο αριθμούς, είτε ακόμη και μια πράξη που εμπλέκει και παραμέτρους. Στην συνέχεια, η τιμή της οποιασδήποτε παραμέτρου θα αποκτήσει υπόσταση φυσικής ποσότητας, δηλ. κατάλληλες μονάδες, όταν θα χρησιμοποιηθεί στο αντίστοιχο σημείο του προγράμματος. Αν δηλ. δοθεί ως τιμή σε μια ειδική αγωγιμότητα θα αποκτήσει διαστάσεις S/m , αν δοθεί ως τιμή σε μια απόσταση θα αποκτήσει διαστάσεις mm , κ.ο.κ..



Εικόνα 2.3: Εύρεση του συστήματος μονάδων του CST (1^{ος} τρόπος) [56].



Εικόνα 2.4: Εύρεση του συστήματος μονάδων του CST (2^{ος} τρόπος) [56].

Περί των διαστάσεων (δηλ. των φυσικών μονάδων) των διαφόρων αριθμητικών ποσοτήτων, ισχύει ότι καθορίζονται από το προεπιλεγμένο καθολικό (global) σύστημα μονάδων του CST, το οποίο εντοπίζουμε στην καρτέλα Settings της εργαλειοταινίας Home (βλ. Εικόνα 2.3) ή στο κάτω δεξιό μέρος του παραθύρου του CST (βλ.Εικόνα 2.4). Οι σχετικές εικόνες παρατέθηκαν μόλις πριν (για καλύτερη αξιοποίηση της σελίδας).

Από την αρχή της δημιουργίας του καλωδίου SpW στο Cable Studio, στόχος μας είναι το μοντέλο αυτό να είναι απολύτως και κατά πάντα παραμετροποιημένο. Δηλ. κάθε ποσότητα αυτού να μπορεί να αλλάξει με μια απλή αλλαγή τιμής σε κατάλληλες παραμέτρους. Αυτό είναι καθοριστικής σημασίας και είναι απόλυτα χρήσιμο για έναν πειραματιζόμενο, ο οποίος θέλει να δοκιμάσει την συμπεριφορά του καλωδίου σε άλλες ελαφρώς παραλλαγμένες συνθήκες, αλλά είναι πολύ εξυπηρετικό και για έναν σχεδιαστή καθώς του επιτρέπει να εξετάσει την συμπεριφορά του καλωδίου αν η διαμόρφωση και ο σχεδιασμός αυτού γινόταν με άλλους τρόπους.

Οι παράμετροι, οι οποίες ορίστηκαν για το μοντέλο της διατομής, σχετίζονται κυρίως με γεωμετρικά και Η/Μ χαρακτηριστικά του καλωδίου, όπως θα διαπιστώσουμε και όταν παρατεθούν όλες συγκεντρωτικά (στις παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1).

Προκειμένου λοιπόν να παραθέσουμε τις ακριβείς διαστάσεις της διατομής του καλωδίου και τα χαρακτηριστικά των υλικών του αλλά και το πώς αυτά όλα υλοποιήθηκαν στο CST, επιλέξαμε να δώσουμε πρώτα την λίστα με τις παραμέτρους της γεωμετρίας και των υλικών της διατομής. Αυτό έγινε για να μην επαναλαμβανόμαστε παραθέτοντας ξεχωριστά τις τιμές που επιβάλει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] και ξεχωριστά την λίστα παραμέτρων που δημιουργήθηκε, αφού αυτή η τελευταία είναι αποτέλεσμα ακριβούς συμμόρφωσης προς τις απαιτήσεις του πρώτου. Οι λίστες παραμέτρων θα δοθούν και θα εξηγηθούν ξεχωριστά σε δύο υποενότητες, τις 2.5.3 και 2.5.4, μία για την κάθε παραλλαγή του καλωδίου, Variant 01 και Variant 02 αντίστοιχα, όπως δημιουργήθηκαν στα αντίστοιχα αρχεία του CST (που αναφέραμε στην ενότητα 2.4). Προς διευκόλυνση του αναγνώστη (για να μπορεί εύκολα και γρήγορα να ανατρέχει σε μια συνοπτική ομαδοποίηση των παραμέτρων και όταν το επιθυμεί να βλέπει και την εμβάθυνση πίσω από τους τύπους υπολογισμού τους), η κάθε υποενότητα (για την Var. 01 και για την Var. 02 αντίστοιχα) θα χωρίζεται σε τρεις παραγράφους. Στην 1^η θα δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας με τις ονομασίες, μια σύντομη περιγραφή και τις τελικές αριθμητικές τιμές⁵ όλων των παραμέτρων (παράγραφοι 2.5.3.1 και 2.5.4.1), στην 2^η θα γίνεται η επεξήγηση του τί ποσότητα (γεωμετρική ή ηλεκτρική) αντικατοπτρίζει η κάθε παράμετρος και θα δίνεται ο τύπος υπολογισμού της (παράγραφοι 2.5.3.2 και 2.5.4.2) και στην 3^η θα εξηγείται λεπτομερώς ο τρόπος σκέψης πίσω από τους πιο συνθέτους τύπους υπολογισμού (για τους οποίους δεν είναι αντιληπτό με την πρώτη ματιά το πώς προκύπτουν) (παράγραφοι 2.5.3.3 και 2.5.4.3).

2.5.1 Τα Όρια που θέτει το Πρότυπο και η Σημασία τους

Όπως διαπιστώνουμε από την μελέτη του προτύπου ESCC 3902/003 [8], υπάρχουν παράμετροι, των οποίων τις τιμές καθορίζει μονοσήμαντα το πρότυπο, υπάρχουν όμως και άλλες παράμετροι, των οποίων οι τιμές δεν δίνονται με ακρίβεια από αυτό αλλά αφήνονται στην ευχέρεια του μελετητή – κατασκευαστή. Στην περίπτωση αυτή, περιορισμός για αυτόν αποτελεί το γεγονός ότι **το πρότυπο έχει θέσει σαφή όρια για διάφορες παραμέτρους της διατομής**. Τα όρια αυτά, το σε τί αναφέρονται και το τί τιμές παίρνουν αλιεύθηκαν από το παραπάνω πρότυπο και εξηγούνται αμέσως στην συνέχεια.

A) Ανώτατα Όρια στις Διαμέτρους

Για τις διαμέτρους των υποκαλωδίων του RC, για την διάμετρο του ίδιου του RC αλλά και για τα πάχη των μονωτικών μανδυών των καλωδίων (SC και RC) το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] έχει θεσπίσει τα ακόλουθα όρια:

- **Μέγιστη Ισοδύναμη Κυκλική Διάμετρος Αμόνωτου Εσωτερικού Αγωγού:**

⁵ Να σημειώσουμε ότι οι τιμές των παραμέτρων θα δοθούν με την μέγιστη ακρίβεια (μέγιστο πλήθος δεκαδικών ψηφίων) που αποτυπώνει το πρόγραμμα CST. Και αυτό το κάνουμε διότι, μιας και οι υπολογισμοί γίνονται από το πρόγραμμα, η μέγιστη ακρίβεια του προγράμματος είναι ουσιαστικά και η μέγιστη ακρίβεια του μετρητικού μας οργάνου (σε υπολογισμούς αποστάσεων κτλ.).

- για την Var. 01: 0.39 mm
- για την Var. 02: 0.49 mm
- **Μέγιστη Διάμετρος (Μονωμένου) Εσωτερικού Αγωγού:**
 - για την Var. 01: 1.2 mm
 - για την Var. 02: 1.4 mm
- **Μέγιστο Πάχος Inner Jacket:**
 - και για την Var. 01 και για την Var. 02: 0.2 mm
- **Μέγιστη Διάμετρος SC:**
 - για την Var. 01: 2.7 mm
 - για την Var. 02: 3.1 mm
- **Μέγιστο Πάχος Outer Jacket:**
 - και για την Var. 01 και για την Var. 02: 0.25 mm
- **Μέγιστη Διάμετρος RC:**
 - για την Var. 01: 7.5 mm
 - για την Var. 02: 9 mm

Ο λόγος που υφίστανται αυτά τα ανώτατα όρια στις διαμέτρους είναι προκειμένου το καλώδιο να παραμένει σχετικά λεπτό και ως εκ τούτου εύχρηστο, αλλά κυρίως προκειμένου η συνολική του μάζα να παραμένει χαμηλή και οπωσδήποτε κάτω από το προβλεπόμενο ανώτατο όριο (βλ. αμέσως στην συνέχεια).

B) Ανώτατα Όρια Μάζης

Συμπληρωματικά με τα παραπάνω ανώτατα (γεωμετρικά θα λέγαμε) όρια, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], έχει θέσει και ανώτατα όρια μάζης, τα οποία συγκεκριμενοποιούνται στις τιμές:

- **για την Var. 01:** 85 kg/km μέγιστο όριο μάζης ανά μονάδα μήκους καλωδίου SpW αυτής της παραλλαγής,
- **για την Var. 02:** 100 kg/km μέγιστο όριο μάζης ανά μονάδα μήκους καλωδίου SpW αυτής της παραλλαγής.

Η χαμηλή μάζα στην καλωδίωση ενός διαστημικού συστήματος είναι καθοριστικής σημασίας για το κόστος της όλης επιχείρησης και γι' αυτό και υπάρχει αυστηρή απαίτηση προς τούτο.

Με πάντοτε γνώμονα την ελαχιστοποίηση της μάζης του συστήματος κυρίως (αλλά και την ευκαμψία και ευελιξία του καλωδίου), έχει δημιουργηθεί και μια «άλλη μορφή» του καλωδίου SpW, η λεγόμενη Low Mass “SpaceWire”. Η άλλη αυτή μορφή, ενώ συμμορφώνεται και αυτή στο γενικότερο πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] ως προς ζητήματα Η/Μ συμπεριφοράς και πρωτοκόλλων κωδικοποίησης και μετάδοσης, εντούτοις υπακούει σε δική της προδιαγραφή λεπτομερειών, όσον αφορά τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της, την ECSS 3902/004 [9]. Επιλέξαμε όμως, στα πλαίσια της εργασίας αυτής, να μην επεκταθούμε σε δημιουργία μοντέλου και για αυτήν την μορφή καλωδίου SpW. Επιγραμματικά μόνο θα αναφέρουμε ότι, προκειμένου να μειωθεί περισσότερο η μάζα (και να αυξηθεί η ευλυγισία), στην μορφή αυτή ο εσωτερικός αγωγός, ενώ και πάλι έχει ισοδύναμη διάμετρο 28 AWG (όπως η Var. 01), δομείται πλέον από περισσότερα και πιο μικρής διατομής συρματίδια (κατά περίπου μία τάξη μεγέθους πιο λεπτά), ενώ έχουν αφαιρεθεί τελείως τα inner binders και τα inner jackets από τα SCs και το outer binder από το RC. Όλα αυτά οδηγούν σε μια μάζα κατά πολύ μικρότερη, κάτι που γίνεται εύκολα αντιληπτό, αν παρατηρήσουμε ότι το ανώτατο όριο που εδώ θέτει το πρότυπο ECSS 3902/004 [9] για την μάζα ανά μονάδα μήκους καλωδίου SpW είναι μόλις 42 kg/km (λιγότερο από το μισό του αντιστοίχου ορίου της Var. 01).

Εκτός τώρα των ανωτέρω, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] έχει θεσπίσει ορισμένα όρια για τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του SpW, τα οποία έχουν βοηθούν ώστε η Η/Μ συμπεριφορά του καλωδίου να είναι η δέουσα (και σύμφωνη με τα αναφερόμενα στο [2]). Αυτά είναι τα ακόλουθα:

C) Κατώτατα Όρια Πάχους επαργύρωσης Αγωγών

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.1, όλα τα σύρματα που χρησιμοποιούνται στο SpW (και για τους εσωτερικούς αγωγούς και για τις θωρακίσεις) είναι από επαργυρωμένο χαλκό. Το πάχος της επαργύρωσης πρέπει να συμμορφώνεται σε ορισμένα κατώτατα όρια, τα οποία είναι:

- **Ελάχιστο Πάχος Επαργύρωσης Κλώνων Εσωτερικού Αγωγού:**
 - και για την Var. 01 και για την Var. 02: 2 μm
- **Ελάχιστο Πάχος Επαργύρωσης Κλώνων Εσωτερικής Θωρακίσεως:**
 - και για την Var. 01 και για την Var. 02: 2.5 μm
- **Ελάχιστο Πάχος Επαργύρωσης Κλώνων Εξωτερικής Θωρακίσεως:**
 - και για την Var. 01 και για την Var. 02: 2.5 μm

Ο κύριος λόγος που γίνεται η επαργύρωση (όπως εξηγείται αναλυτικά και στο Παράρτημα B) είναι για να μην μεγαλώνει υπερβολικά η ισοδύναμη αντίσταση του αγωγίμου σύρματος στα υψίσυγχα ρεύματα που εξυπηρετεί.

D) Κατώτατα και Ανώτατα Όρια Μήκους Συστροφής των SCs και του RC

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.1, υπάρχουν δύο ειδών συστροφές στο SpW. Η μία είναι η συστροφή των υποκαλωδίων του κάθε SC (δηλ. των δύο εσωτερικών αγωγών και των δύο SC Fillers) και η άλλη είναι η συστροφή των υποκαλωδίων του RC (δηλ. των τεσσάρων SCs γύρω από το RC Filler).

Η συστροφή είναι απαραίτητη διότι, το να είναι ένα σήμα διαφορεικό και οι δύο αγωγοί του να είναι κοντά και ο ένας δίπλα στον άλλον καθ' όλο του μήκος, είναι καλή, αλλά όχι η καλύτερη δυνατή λύση για μείωση του θορύβου. Σίγουρα το να είναι οι αγωγοί κοντά εξασφαλίζει ότι θα δεχθούν περίπου τον ίδιο θόρυβο, όμως πάντα κάποιος θα είναι πιο κοντά στην εξωτερική πηγή της παρεμβολής, σε σχέση με τον άλλον. Άρα με την συστροφή εξασφαλίζεται ότι ανά τακτά και κοντινά χωρικά διαστήματα, μία ο ένας αγωγός και μία ο άλλος έρχονται κοντύτερα στην εξωτερική πηγή θορύβου. Άρα, σαν αποτέλεσμα για όλο το μήκος του καλωδίου, ο θόρυβος που θα δεχθούν θα είναι πρακτικά ο ίδιος, οπότε θα αφαιρεθεί σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο από την διαφορεική διάταξη του δέκτη.

Για ένα σύνολο υποκαλωδίων που συστρέφονται, ως **μήκος συστροφής** ορίζεται το μήκος που χρειάζεται για να ολοκληρώσουν τα συστρεφόμενα υποκαλώδια μια πλήρη περιστροφή (δηλ. μια στροφή 360°). Αυτό σημαίνει ότι αν παρατηρήσουμε (σε εγκάρσια διατομή) την θέση των υποκαλωδίων, που συστρέφονται, σε ένα σημείο του καλωδίου και σε ένα άλλο, που απέχει από το πρώτο απόσταση κατά τον διαμήκη άξονα του καλωδίου ίση με το μήκος συστροφής, η εικόνα που θα δούμε θα είναι ακριβώς η ίδια.

Το μήκος συστροφής μπορεί να εκφραστεί απ' ευθείας σε μονάδες μήκους, όπως φαίνεται από τον ορισμό του (οπότε και συμβολίζεται ως *Lay_Length*), αλλά ενίοτε εκφράζεται και σε στροφές ανά μέτρο (και το συμβολίζουμε ως *Twists/m*). Η σχέση, που συνδέει αυτές τις δύο μορφές έκφρασης του μήκους συστροφής, είναι:

$$Lay_Length = \frac{1}{Twists/m}$$

Το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] δίνει τα κατώτατα και ανώτερα όρια του μήκους συστροφής και σε mm και σε *στροφές ανά μέτρο*. Εμείς επιλέξαμε να κάνουμε χρήση των ποσοτήτων, που είναι εκπεφρασμένες σε mm. Αυτές είναι:

- **Ελάχιστο Μήκος Συστροφής SC:**
 - για την Var. 01: 24 mm
 - για την Var. 02: 27 mm
- **Μέγιστο Μήκος Συστροφής SC:**
 - για την Var. 01: 32 mm
 - για την Var. 02: 35 mm
- **Ελάχιστο Μήκος Συστροφής RC:**
 - για την Var. 01: 57 mm

- για την Var. 02: 74 mm
- **Μέγιστο Μήκος Συστροφής RC:**
 - για την Var. 01: 77 mm
 - για την Var. 02: 98 mm

Τα κατώτατα όρια εφαρμόζονται στο μήκος συστροφής, διότι, αν αυτό γίνει υπερβολικά μικρό, τότε θα αρχίσουν να αναπτύσσονται πολύ έντονες στρεπτικές ροπές αντίδρασης στα διαφορικά ζεύγη. από την άλλη τα ανώτατα όρια είναι απαραίτητα διότι αν το μήκος συστροφής μεγαλώσει υπερβολικά, τότε δεν αρχίζουν να χάνονται μερικώς τα πλεονεκτήματα αντοχής στον θόρυβο, για τα οποία εισήχθη σαν πρακτική η συστροφή. Οι αγωγοί δηλ. του διαφορικού ζεύγους «αραιώνουν» και ο θόρυβος, στον οποίο υπόκεινται, αρχίζει να έχει μικροδιαφορές.

Εκτός των ανωτέρω, είναι ανάγκη να είναι γνωστός και σαφώς ορισμένος ο τρόπος που έχουν συστραφεί τα υποκαλώδια, διότι η συστροφή επηρεάζει και την εμπέδηση του διαφορικού ζεύγους (όπως θα αναφέρουμε στην υποενότητα 2.7.7), η οποία είναι μια παράμετρος καθοριστικής σημασίας για το καλώδιο.

E) Κατώτατα Όρια Κάλυψης των Θωρακίσεων

Όπως έχουμε επισημάνει στην ενότητα 2.1, τόσο το κάθε ένα από τα τέσσερα SCs, όσο και το πλήρες RC, θωρακίζονται με πλεκτή θωράκιση από συρματίδια. Λεπτομέρειες για τον τύπο αυτό θωρακίσεως έχουμε παραθέσει στο Παράρτημα Α.

Ο παράγων που εκφράζει το πόσο καλά θωρακίζει τα έσωθεν υποκαλώδια αυτός ο τύπος θωράκισης είναι ο παράγων (οπτικής) κάλυψης, K [ή το % ποσοστό (οπτικής) κάλυψης, $K(\%)$]. Ένα καλώδιο SpW δεν μπορεί να εξέλθει του σταδίου παραγωγής και να χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές για τις οποίες προορίζεται, ει μη μόνον εάν η θωράκισή του συμμορφώνεται προς το ακόλουθο όριο:

- **Ελάχιστο Ποσοστό Κάλυψης Εσωτερικής Θωρακίσεως (του κάθε SC):**
 - για την Var. 01: 90%
 - για την Var. 02: 90%
- **Ελάχιστο Ποσοστό Κάλυψης Εξωτερικής Θωρακίσεως (του RC):**
 - για την Var. 01: 90%
 - για την Var. 02: 90%

Το ανώτατο όριο για τον παράγοντα κάλυψης των θωρακίσεων δεν αναφέρεται από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] γιατί, προφανώς είναι το 100%, όπως επισημαίνουμε και στο Παράρτημα Α.

Ο λόγος που έχει καθιερωθεί αυτό το αρκετά υψηλό ελάχιστο όριο στον παράγοντα κάλυψης των θωρακίσεων είναι προκειμένου η συμπεριφορά του SpW σε θέματα Η/Μ συμβατότητας (αντοχή σε θόρυβο και άλλες Η/Μ παρεμβολές, αλλά και περιορισμένη εκπομπή παρεμβολών από το ίδιο το καλώδιο προς γειτονικά συστήματα) να είναι σε εξίσου υψηλά επίπεδα.

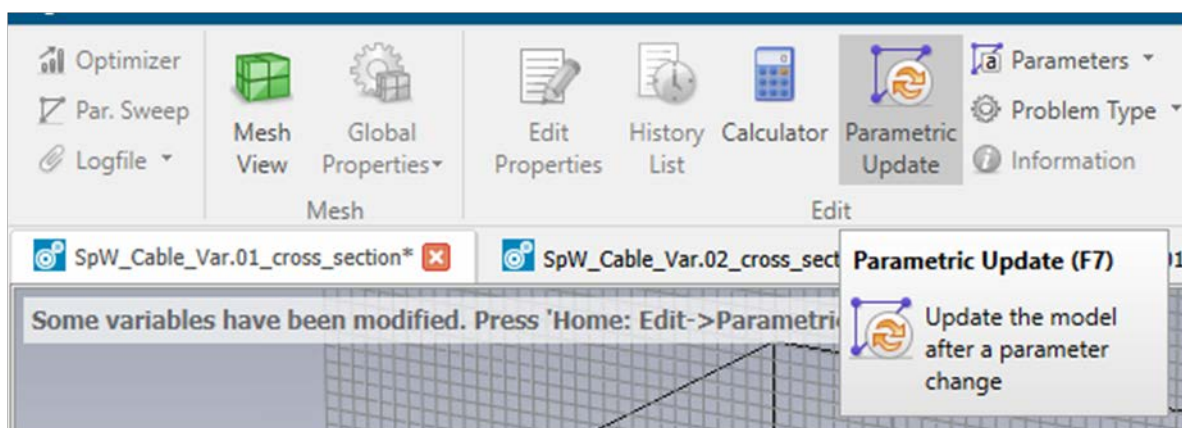
2.5.2 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης

Για να ξεκινήσουμε την δόμηση του καλωδίου SpW στο Cable Studio (ως διατομής) αλλά και για να παραμετροποιήσουμε σωστά το μοντέλο μας, θα πρέπει να έχουμε, εν πρώτοις, στα χέρια μας όλα τα στοιχεία για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καλωδίου αφ' ενός (διάμετροι αγωγών, πάχη μονωτικών στρωμάτων, αγωγιμότητες υλικών κ.α.) και για τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αφ' ετέρου (αγωγιμότητες υλικών, μαγνητικές διαπερατότητες, συντελεστές απωλειών κ.α.). Με βάση λοιπόν τα στοιχεία αυτά, θα συμπληρώνουμε διαρκώς πεδία με αριθμητικές τιμές, όπως θα διαπιστώσουμε και με περισσότερη λεπτομέρεια στην ενότητα 2.8. Οι περισσότερες από αυτές τις «αριθμητικές πληροφορίες» αλιεύθηκαν από το σχετικό πρότυπο, ESCC 3902/003 [8], όπου είτε δίνονταν εξ' αρχής μονοσήμαντα, είτε προέκυπταν με σαφή μαθηματική λογική, είτε μπορούσαν να επιλεγούν με μια σχετική ελευθερία. Για όλες λοιπόν τις πληροφορίες αυτές ορίστηκαν κατάλληλες μεταβλητές και κατά συνέπεια το μοντέλο της διατομής παραμετροποιήθηκε πλήρως.

Η μετά επιμελείας παραμετροποίηση μέχρι και του τελευταίου χαρακτηριστικού της διατομής εξυπηρετεί στο ότι, αν κάποια στιγμή γίνει κάποια αλλαγή σε κάποιο από τα χαρακτηριστικά αυτά

[είται γιατί θα το απαιτήσει μια μελλοντική ανανέωση του προτύπου, είτε γιατί θα το κάνει ένας μελετητής στα πλαίσια των αποδεκτών από το πρότυπο τροποποιήσεων (π.χ. στα πάχη ορισμένων μονωτικών στρωμάτων), ή ακόμη γιατί απλά θέλει ο μελετητής να εξετάσει μια υποθετική τροποποίηση, έστω και εκτός των προβλεπομένων από το πρότυπο], αυτή θα μεταφραστεί απλώς σε μια κατάλληλη αλλαγή στην τιμή κάποιας ή κάποιων από τις παραμέτρους.

Η ενέργεια που πρέπει να ακολουθεί πάντοτε κάθε αλλαγή τιμής σε κάποια παράμετρο είναι η ενημέρωση των υπολοίπων παραμέτρων και των εξαρτωμένων από αυτές διατομών καλωδίων του συγκεκριμένου Project. Αυτό γίνεται αυτόματα από το CST με την βοήθεια του εργαλείου Parametric Update, το οποίο μπορεί να ευρεθεί στην καρτέλα Edit της εργαλειοταϊνίας Home (βλ. Εικόνα 2.5) ή να αντικατασταθεί από το keyboard shortcut F7. Συγκεκριμένα, μετά από κάθε αλλαγή τιμής σε κάποια παράμετρο, αν αυτή χρησιμοποιείται σε κάποιο σημείο του Project ή απλά συμμετέχει στον υπολογισμό μιας άλλης παραμέτρου, τότε το εργαλείο αυτό ενεργοποιείται, ενώ παράλληλα λαμβάνουμε σχετικό μήνυμα στο πάνω μέρος της οθόνης του χώρου 3D δόμησης (βλ. ξανά την Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Το εργαλείο της ανανέωσης των τιμών των παραμέτρων ενός Project [56].

Οπότε πραγματοποιούμε την ανανέωση και αυτομάτως θα ενημερωθούν στις νέες τιμές και οι υπόλοιπες παράμετροι, τα υποκαλώδια θα αποκτήσουν τις νέες διαστάσεις, θα λάβουν τις νέες προβλεπόμενες θέσεις και θα δημιουργηθεί τελικά η νέα διατομή του καλωδίου με σωστό τρόπο (χωρίς να χρειαστεί να ξαναφτιαχτεί από την αρχή).

2.5.3 Παράμετροι της Διατομής της Variant 01

2.5.3.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτουμε την Λίστα Παραμέτρων του Μοντέλου της Διατομής της Var. 01 του Καλωδίου SpW, όπως δημιουργήθηκε στο σχετικό αρχείο του CST, SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst.

Πίνακας 2.2: Λίστα Παραμέτρων της Διατομής της Var. 01 του Καλωδίου SpW (από το Project *SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst*⁶).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ⁷
Εσωτερικός Αγωγός Σήματος (Inner Conductor)		
1	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor</i>	58953216.45 S/m
	Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
2	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor</i>	0.999988
	Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
3	<i>Inner_Conductor_Strand_Diameter</i>	0.126 mm
	Η διάμετρος (σε mm) των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
4	<i>Number_of_Strands</i>	7
	Ο αριθμός των κλώνων που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό.	
5	<i>Inner_Conductor_Diameter</i>	0.378 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του νοητού κύκλου που περικλείει τους κλώνους του εσωτερικού αγωγού.	
6	<i>Thickness_of_Dielectric</i>	0.293498644896271 mm
	Το πάχος (σε mm) του διηλεκτρικού, που χρησιμοποιείται για την μόνωση του εσωτερικού αγωγού.	
7	<i>Insulated_Inner_Conductor_Diameter</i>	0.964997289792542 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του μονωμένου εσωτερικού αγωγού.	
8	<i>Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter</i>	1.2 mm
	Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό.	
Πληρωτής του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους Σήματος (Symmetric Cable's Filler)		
9	<i>SC_Filler_Diameter</i>	0.643331526528361 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του πληρωτή του SC.	
Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγους Σήματος (Twisted Differential Signal Pair or Symmetric Cable or SC)		
10	<i>Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC</i>	1.92999457958508 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του πυρήνα του SC (του SC χωρίς την εσωτερική θωράκιση και το εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα).	
11	<i>x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC</i>	0 mm
	Η τετμημένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο άνω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC ⁸ .	
12	<i>y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC</i>	0.482498644896271 mm
	Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο άνω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC ⁹ .	

⁶ Φυσικά είναι και άλλα τα Projects που χρησιμοποιούν αυτές τις παραμέτρους, όπως π.χ. φαίνονται και στον Πίνακα 2.1. Απλώς εδώ στον τίτλο του Πίνακα των παραμέτρων, επιλέγουμε να βάλουμε το πρώτο αρχείο στο οποίο ορίστηκαν οι παράμετροι αυτές. Το ποιά άλλα αρχεία τις χρησιμοποιούν θα φανεί από τους σχετικούς Πίνακες (σαν τον Πίνακα 2.1), που θα παραθέτουμε στα κατάλληλα σημεία της εργασίας.

⁷ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.

⁸ Με την θεώρηση ότι το κέντρο του SC βρίσκεται στο σημείο (0,0) σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων (όπως αναφέραμε στην ενότητα 2.3, στην ανάλυση των Cable Groups και συγκεκριμένα στο σημείο 5, σελ. 15) και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm (κάτι που βλέπουμε από το σύστημα συντεταγμένων, όπως είπαμε στην ενότητα 2.5).

⁹ Βλέπε ανωτέρω υποσημείωση 8.

13	<i>x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC</i> Η τετμημένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο δεξιός πληρωτής εντός του SC ¹⁰ .	0.643331526528361 mm
14	<i>y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο δεξιός πληρωτής εντός του SC ¹¹ .	0 mm
15	<i>Min_SC_Lay_Length</i> Το ελάχιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το SC.	24 mm
16	<i>Max_SC_Lay_Length</i> Το μέγιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το SC.	32 mm
17	<i>SC_Lay_Length</i> Το μήκος συστροφής (σε mm) που τελικώς επελέγη για το SC.	28 mm
18	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield</i> Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εσωτερικής θωράκισης.	58735022.18 S/m
19	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield</i> Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εσωτερικής θωράκισης.	0.999989
20	<i>Inner_Shield_Strand_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση.	0.079 mm
21	<i>Thickness_of_Inner_Shield</i> Το θεωρούμενο πάχος (σε mm) της εσωτερικής θωράκισης.	0.158 mm
22	<i>Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC</i> Η διάμετρος (σε mm) του θωρακισμένου SC, χωρίς τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	2.24599457958508 mm
23	<i>Coverage_Factor_of_Inner_Shield</i> Ο παράγων κάλυψης της εσωτερικής πλεκτής θωρακίσεως.	0.9
24	<i>Thickness_of_Inner_Jacket</i> Το πάχος (σε mm) του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος.	0.2 mm
25	<i>SC_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του SC.	2.64599457958508 mm
26	<i>Max_SC_Diameter</i> Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για το SC.	2.7 mm
Πληρωτής του Πλήρους Καλωδίου (Round Cable's Filler)		
27	<i>RC_Filler_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του πληρωτή του RC.	1.09600684082984 mm
Πλήρες Καλώδιο (Round Cable or RC)		
28	<i>Min_Distance_between_subcables</i> Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα 4 SCs.	0.000002 mm
29	<i>Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του πυρήνα του RC (του RC χωρίς το δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα).	6.388 mm
30	<i>x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC</i> Η τετμημένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το άνω SC εντός του RC ¹² .	0 mm

¹⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 8.¹¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 8.

31	<i>y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το άνω SC εντός του RC ¹³ .	1.87100271020746 mm
32	<i>x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το δεξιό SC εντός του RC ¹⁴ .	1.87100271020746 mm
33	<i>y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το δεξιό SC εντός του RC ¹⁵ .	0 mm
34	<i>x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο πληρωτής εντός του RC ¹⁶ .	0 mm
35	<i>y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο πληρωτής εντός του RC ¹⁷ .	0 mm
36	<i>Min_RC_Lay_Length</i> Το ελάχιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το RC.	57 mm
37	<i>Max_RC_Lay_Length</i> Το μέγιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το RC.	77 mm
38	<i>RC_Lay_Length</i> Το μήκος συστροφής (σε mm) που τελικώς επελέγη για το RC.	67 mm
39	<i>Thickness_of_RC_Binder</i> Το πάχος (σε mm) του δεματικού του RC.	0.102 mm
40	<i>Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του «δεμένου» RC, χωρίς την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	6.592 mm
41	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield</i> Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εξωτερικής θωράκισης.	58676267.50 S/m
42	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield</i> Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εξωτερικής θωράκισης.	0.999989
43	<i>Outer_Shield_Strand_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση.	0.102 mm
44	<i>Thickness_of_Outer_Shield</i> Το θεωρούμενο πάχος (σε mm) της εξωτερικής θωράκισης.	0.204 mm
45	<i>Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του θωρακισμένου RC, χωρίς τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	7 mm
46	<i>Coverage_Factor_of_Outer_Shield</i> Ο παράγων κάλυψης της εξωτερικής πλεκτικής θωρακίσεως.	0.9
47	<i>Thickness_of_Outer_Jacket</i> Το πάχος (σε mm) του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος.	0.25 mm
48	<i>RC_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του RC.	7.5 mm
49	<i>Max_RC_Diameter</i> Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για το RC.	7.5 mm

¹² Με την θεώρηση ότι το κέντρο του RC βρίσκεται στο σημείο (0,0) και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm (βλ. υποσ. 8).

¹³ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

¹⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

¹⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

¹⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

¹⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

2.5.3.2 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε κάθε μία από τις παραμέτρους, που συγκεντρωτικά παραθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αρχικά θα εξηγήσουμε σε τί αντιστοιχεί η κάθε παράμετρος και ακολούθως θα παραθέτουμε τον τύπο υπολογισμού και την τιμή της. Στην αναφορά μας αυτή θα διατηρηθεί η σειρά και η αρίθμηση των παραμέτρων που δόθηκε στον Πίνακα 2.2.

1) *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor*:

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 58953216.45 \text{ S/m} \quad (2.1)$$

2) *mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor*:

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$m_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 0.999988 \quad (2.2)$$

3) *Inner_Conductor_Strand_Diameter*:

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα – κλώνους, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$\text{Inner_Conductor_Strand_Diameter} = 0.126 \text{ mm} \quad (2.3)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των κλώνων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον $2 \mu\text{m}$ (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

4) *Number_of_Strands*:

Ο αριθμός των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$\text{Number_of_Strands} = 7 \quad (2.4)$$

5) *Inner_Conductor_Diameter*:

Η κυκλική διάμετρος του νοητού κύκλου, που περιβάλλει τους 7 κλώνους του εσωτερικού αγωγού, η οποία θα θεωρείται και ως η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού, δίνεται από την σχέση:

$$Inner_Conductor_Diameter = 3 \cdot Inner_Conductor_Strand_Diameter \quad (2.5)$$

$$\stackrel{(2.3)}{\implies} Inner_Conductor_Diameter = 0.378 \text{ mm} \quad (2.6)$$

Στην παράγραφο 2.5.3.3 θα εξηγήσουμε πώς προκύπτει αυτή η σχέση.

6) *Thickness_of_Dielectric:*

Το πάχος του διηλεκτρικού, που χρησιμοποιείται για την μόνωση του εσωτερικού αγωγού, επιλέχθηκε να είναι:

$$Thickness_of_Dielectric = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{6.387996}{\sqrt{2} + 1} - 1.472 \right) \text{ mm} \quad (2.7)$$

$$\Rightarrow Thickness_of_Dielectric = 0.293498644896271 \text{ mm} \quad (2.8)$$

Το γιατί επελέχθη η τιμή, που δίνεται από αυτή την παράσταση, θα εξηγηθεί στην παράγραφο 2.5.3.3.

7) *Insulated_Inner_Conductor_Diameter:*

Η διάμετρος του μονωμένου εσωτερικού αγωγού (δηλ. του εσωτερικού αγωγού μαζί με το διηλεκτρικό του) δίνεται από την σχέση:

$$Insulated_Inner_Conductor_Diameter = Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Dielectric \quad (2.9)$$

$$\stackrel{(2.6),(2.8)}{\implies} Insulated_Inner_Conductor_Diameter = 0.964997289792542 \text{ mm} \quad (2.10)$$

8) *Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter:*

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος¹⁸, που το πρότυπο υπαγορεύει για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό (δηλ. τον εσωτερικό αγωγό μαζί με το διηλεκτρικό του), είναι:

$$Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter = 1.2 \text{ mm} \quad (2.11)$$

9) *SC_Filler_Diameter:*

Η διάμετρος του πληρωτή του SC, δίνεται από την σχέση:

¹⁸ Η παράμετρος αυτή υπάρχει μόνο για εποπτικούς λόγους, δηλ. για να μπορεί κανείς να επαληθεύσει γρήγορα, με μια ματιά, ότι η διάμετρος, που έχει «πετύχει» στον μονωμένο εσωτερικό αγωγό (π.χ. μετά από κάποια άλλη δοκιμή τιμών σε πάχη μονώσεων), είναι εντός των αποδεκτών από το πρότυπο ορίων (χωρίς να χρειάζεται συνεχώς να ανατρέχει σ' αυτό).

$$SC_Filler_Diameter = \frac{2}{3} \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.12)$$

$$\stackrel{(2.10)}{\implies} SC_Filler_Diameter = 0.643331526528361 \text{ mm} \quad (2.13)$$

Η εξήγηση αυτού του μαθηματικού τύπου θα δοθεί στην παράγραφο 2.5.3.3.

10) *Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC:*

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.5 στην παράγραφο 2.5.3.3 που ακολουθεί, αλλά και από το Σχήμα 2.1 (ή το Σχήμα 2.2), η διάμετρος του πυρήνα του SC, δηλ. του SC χωρίς την εσωτερική θωράκιση και τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC = 2 \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.14)$$

$$\stackrel{(2.10)}{\implies} Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC = 1.92999457958508 \text{ mm} \quad (2.15)$$

11) *x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC:*

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού εντός του SC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = 0 \text{ mm} \quad (2.16)$$

12) *y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC:*

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού εντός του SC, είναι:

$$y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = \frac{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.17)$$

$$\stackrel{(2.10)}{\implies} y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = 0.482498644896271 \text{ mm} \quad (2.18)$$

Σχόλιο: Ο κάτω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC βρίσκεται προφανώς τοποθετημένος σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει την ίδια τετμημένη και αντίθετη τεταγμένη με αυτές του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού¹⁹.

¹⁹ Για τον κάτω μονωμένο εσωτερικό αγωγό και για τον αριστερό πληρωτή του SC δεν ορίστηκαν, όπως είδαμε, νέες παράμετροι. Αυτό έγινε και για λόγους ευκολίας και απλότητας αλλά και για να γίνεται αντιληπτή, από όποιον δει τον ορισμό της τοποθέτησης, η συμμετρία της διάταξης (ως προς τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονά της), όπως βλέπουμε από το Σχήμα 2.5, που θα ακολουθήσει.

13) $x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC$:

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού πληρωτού εντός του SC, είναι:

$$x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = Insulated_Inner_Conductor_Diameter - \frac{SC_Filler_Diameter}{2} \quad (2.19)$$

$$\xrightarrow{(2.10),(2.13)} x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = 0.643331526528361 \text{ mm} \quad (2.20)$$

14) $y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC$:

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού πληρωτού εντός του SC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = 0 \text{ mm} \quad (2.21)$$

Σχόλιο: Ο αριστερός πληρωτής εντός του SC βρίσκεται προφανώς τοποθετημένος σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει αντίθετη τετμημένη και την ίδια τεταγμένη με αυτές του δεξιού πληρωτή²⁰.

15) $Min_SC_Lay_Length$:

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε mm :

$$Min_SC_Lay_Length = 24 \text{ mm} \quad (2.22)$$

16) $Max_SC_Lay_Length$:

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε mm :

$$Max_SC_Lay_Length = 32 \text{ mm} \quad (2.23)$$

17) SC_Lay_Length :

Το μήκος συστροφής, που τελικώς επελέγη για το SC, είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω τιμών (και η επιλογή αυτή έγινε για να ισαπέχει το επιλεγμένο μήκος συστροφής από τις δύο ακραίες τιμές του), δηλ.:

$$SC_Lay_Length = \frac{Min_SC_Lay_Length + Max_SC_Lay_Length}{2} \quad (2.24)$$

²⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 19.

$$\xrightarrow{(2.22),(2.23)} SC_Lay_Length = 28 \text{ mm} \quad (2.25)$$

18) σ of Ag coated Cu of inner shield:

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο σχετικό Παράρτημα Β) και είναι:

$$\sigma_{\text{of Ag coated Cu of inner shield}} = 58735022.18 \text{ S/m} \quad (2.26)$$

19) μ of Ag coated Cu of inner shield:

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο σχετικό Παράρτημα Β) και είναι:

$$\mu_{\text{of Ag coated Cu of inner shield}} = 0.999989 \quad (2.27)$$

20) Inner Shield Strand Diameter:

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Inner_Shield_Strand_Diameter = 0.079 \text{ mm} \quad (2.28)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των νημάτων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον $2.5 \mu\text{m}$ (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

21) Thickness of Inner Shield:

Το θεωρούμενο πάχος της εσωτερικής θωράκισης²¹ υπολογίστηκε ως το διπλάσιο της διαμέτρου των νημάτων που συνθέτουν την εν λόγω θωράκιση, δηλ.:

$$Thickness_of_Inner_Shield = 2 \cdot Inner_Shield_Strand_Diameter \quad (2.29)$$

$$\xrightarrow{(2.28)} Thickness_of_Inner_Shield = 0.158 \text{ mm} \quad (2.30)$$

22) Diameter of Shielded Unjacketed SC:

Η διάμετρος του θωρακισμένου πυρήνα του SC, δηλ. του SC με την εσωτερική θωράκιση και χωρίς ακόμη τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

²¹ Για την εξήγηση αυτού του συμπεράσματος βλ. στο Παράρτημα Α, την υποενότητα Α.2.2.

$$Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC = Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield \quad (2.31)$$

$$\xrightarrow{(2.15),(2.30)} Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC = 2.24599457958508 \text{ mm} \quad (2.32)$$

23) Coverage Factor of Inner Shield:

Για τον παράγοντα (οπτικής) κάλυψης²² της εσωτερικής πλεκτής θωρακίσεως μπορούν να επιλεγούν διάφορες τιμές, προκειμένου να δούμε πώς επηρεάζεται η H/M συμπεριφορά του συστήματός μας από το πόσο «σφικτή» είναι η εσωτερική θωράκιση (η θωράκιση των SCs). Επειδή το πρότυπο απαιτούσε ο παράγων αυτός να είναι οπωσδήποτε από 0.9 και πάνω (δηλ. το ποσοστό κάλυψης δεν επιτρέπεται να είναι λιγότερο από 90%), για αρχή ορίσαμε την παράμετρο αυτή στο κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, δηλ.:

$$Coverage_Factor_of_Inner_Shield = 0.9 \quad (2.33)$$

24) Thickness of Inner Jacket:

Το πάχος του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος περιορίζεται από το πρότυπο μόνο ως προς την μέγιστη τιμή, δηλ. δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.2 mm. Εδώ επιλέξαμε αυθαίρετα ακριβώς αυτό το μέγιστο όριο ως τιμή για το πάχος αυτό²³, απλώς και μόνο για να είναι εύκολη και γρήγορη στο μάτι μια επαλήθευση ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου. Δηλ.:

$$Thickness_of_Inner_Jacket = 0.2 \text{ mm} \quad (2.34)$$

25) SC Diameter:

Η διάμετρος του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους (ή του SC) δίνεται από την σχέση:

$$SC_Diameter = Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket \quad (2.35)$$

²² Ο παράγων (οπτικής) κάλυψης της πλεκτής θωρακίσεως γενικά υπολογίζεται αυτόματα από το CST (με βάση τις υπόλοιπες μεταβλητές της γεωμετρίας της θωρακίσεως και σύμφωνα με την μέθοδο που έχουμε αναπτύξει στο Παράρτημα Α, στην υποενότητα Α.2.1). Το πρόγραμμα όμως δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαλέξει ποιά μεταβλητή της πλεκτής θωρακίσεως θα δηλωθεί με συγκεκριμένη τιμή από αυτόν και ποιές θα αφεθούν να καθοριστούν αυτόματα (όπως έχουμε εξηγήσει στην υποενότητα Α.2.2 του ίδιου παραρτήματος). Εν προκειμένω στο μοντέλο της διατομής που δημιουργήσαμε στο CST και για κάθε θωράκιση στο SpW (εσωτερική και εξωτερική) έχουμε δηλώσει πως η παράμετρος που θα καθορίζεται από τον χρήστη είναι ο Optical Coverage Factor.

²³ Θα μπορούσε σαφώς να επιλεγεί και μια μικρότερη τιμή, ώστε να οδηγούμαστε και σε καλώδιο με μικρότερη συνολική διατομή αλλά και μικρότερο βάρος (λόγω του ότι θα έλλειπε μια ποσότητα PFA από την στρώση του μανδύα αυτού), αφού άλλωστε ο ρόλος ύπαρξης αυτού του μανδύα είναι το να οριοθετεί το καλώδιο SC και να μονώνει τις εσωτερικές θωρακίσεις των γειτονικών SCs [οι οποίες δεν εξυπηρετούν ρεύματα με υψηλές απαιτήσεις μόνωσης, παρά μόνο ρεύματα επαγόμενα από τα ρεύματα των εσωτερικών αγωγών (δηλ. ρεύματα του LVDS) και επαγόμενα από τα ρεύματα της εξωτερικής θωράκισης (όταν η τελευταία έχει κάποια ροή ρεύματος εξαιτίας επαγομένων παρεμβολών, η επίδραση των οποίων όμως θα φτάσει σαφώς πιο εξασθενημένη προς τις εσωτερικές θωρακίσεις].

$$\xrightarrow{(2.32),(2.34)} SC_Diameter = 2.64599457958508 \text{ mm} \quad (2.36)$$

26) Max_SC_Diameter:

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος²⁴, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι:

$$Max_SC_Diameter = 2.7 \text{ mm} \quad (2.37)$$

27) RC_Filler_Diameter:

Η διάμετρος του πληρωτή του RC, δίνεται από την σχέση:

$$RC_Filler_Diameter = SC_Diameter \cdot (\sqrt{2} - 1) \quad (2.38)$$

$$\xrightarrow{(2.36)} RC_Filler_Diameter = 1.09600684082984 \text{ mm} \quad (2.39)$$

Η εξήγηση αυτού του μαθηματικού τύπου θα δοθεί στην παράγραφο 2.5.3.3.

28) Min_Distance_between_subcables:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα 4 SCs. Ο λόγος που δημιουργήθηκε αυτή η παράμετρος και η φιλοσοφία πίσω από την επιλογή της τιμής της εξηγούνται στην παράγραφο 2.5.3.3. Η τιμή, που τελικά επιλέχθηκε για την παράμετρο αυτή, είναι:

$$Min_Distance_between_subcables = 0.000002 \text{ mm} \quad (2.40)$$

29) Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC:

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.6 στην παράγραφο 2.5.3.3 που ακολουθεί, αλλά και από το Σχήμα 2.1 (ή το Σχήμα 2.2), η διάμετρος του πυρήνα του RC, δηλ. του RC χωρίς το δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC = RC_Filler_Diameter + (2 \cdot Min_Distance_between_subcables) + (2 \cdot SC_Diameter) \quad (2.41)$$

$$\xrightarrow{(2.39),(2.40),(2.36)} Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC = 6.388 \text{ mm} \quad (2.42)$$

²⁴ Η παράμετρος αυτή υπάρχει μόνο για εποπτικούς λόγους, δηλ. για να μπορεί κανείς να επαληθεύσει γρήγορα, με μια ματιά, ότι η διάμετρος, που έχει «πετύχει» στο SC (π.χ. μετά από κάποια άλλη δοκιμή τιμών σε πάχη μονώσεων και μανδύων), είναι εντός των αποδεκτών από το πρότυπο ορίων (χωρίς να χρειάζεται συνεχώς να ανατρέχει σ' αυτό).

30) $x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω SC εντός του RC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.43)$$

31) $y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω SC εντός του RC, είναι:

$$y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = \frac{RC_Filler_Diameter}{2} + Min_Distance_between_subcables + \frac{SC_Diameter}{2} \quad (2.44)$$

$$\xrightarrow{(2.39),(2.40),(2.36)} y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = 1.87100271020746 \text{ mm} \quad (2.45)$$

Σχόλιο: Το κάτω SC εντός του RC προφανώς βρίσκεται τοποθετημένο σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει την ίδια τετμημένη και αντίθετη τεταγμένη με αυτές του άνω SC²⁵.

32) $x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού SC εντός του RC, είναι:

$$x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = \frac{RC_Filler_Diameter}{2} + Min_Distance_between_subcables + \frac{SC_Diameter}{2} \quad (2.46)$$

$$\xrightarrow{(2.39),(2.40),(2.36)} x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = 1.87100271020746 \text{ mm} \quad (2.47)$$

33) $y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού SC εντός του RC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.48)$$

²⁵ Για το κάτω SC και για το αριστερό SC δεν ορίστηκαν, όπως είδαμε, νέες παράμετροι. Αυτό έγινε και για λόγους ευκολίας και απλότητας αλλά και για να γίνεται αντιληπτή, από όποιον δει τον ορισμό της τοποθέτησης, η συμμετρία της διάταξης (ως προς τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονά της), όπως βλέπουμε από το Σχήμα 2.6, που θα ακολουθήσει.

Σχόλιο: Το αριστερό SC εντός του RC προφανώς βρίσκεται τοποθετημένο σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει αντίθετη τετμημένη και την ίδια τεταγμένη με αυτές του δεξιού SC²⁶.

34) $x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του κεντρικού πληρωτού εντός του RC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.49)$$

35) $y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του κεντρικού πληρωτού εντός του RC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.50)$$

36) $Min_RC_Lay_Length$:

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το RC, είναι σε mm :

$$Min_RC_Lay_Length = 57 \text{ mm} \quad (2.51)$$

37) $Max_RC_Lay_Length$:

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε mm :

$$Max_RC_Lay_Length = 77 \text{ mm} \quad (2.52)$$

38) RC_Lay_Length :

Το μήκος συστροφής, που τελικώς επελέγη για το RC, είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω τιμών (και η επιλογή αυτή έγινε για να ισαπέχει το επιλεγμένο μήκος συστροφής από τις δύο ακραίες τιμές του), δηλ.:

$$RC_Lay_Length = \frac{Min_RC_Lay_Length + Max_RC_Lay_Length}{2} = 67 \text{ mm} \quad (2.53)$$

$$\xrightarrow{(2.51),(2.52)} RC_Lay_Length = 67 \text{ mm} \quad (2.54)$$

39) $Thickness_of_RC_Binder$:

²⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 25.

Το πάχος του δεματικού, που χρησιμοποιείται στο RC, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Thickness_of_RC_Binder = 0.102 \text{ mm} \quad (2.55)$$

40) *Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC:*

Η διάμετρος (σε *mm*) του «δεμένου» πυρήνα του RC, δηλ. του RC με το δεματικό, χωρίς ακόμη την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC = Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder \quad (2.56)$$

$$\xrightarrow{(2.42),(2.55)} Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC = 6.592 \text{ mm} \quad (2.57)$$

41) *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield:*

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield = 58676267.50 \text{ S/m} \quad (2.58)$$

42) *mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield:*

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield = 0.999989 \quad (2.59)$$

43) *Outer_Shield_Strand_Diameter:*

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Outer_Shield_Strand_Diameter = 0.102 \text{ mm} \quad (2.60)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των νημάτων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον 2.5 μm (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

44) *Thickness_of_Outer_Shield:*

Το θεωρούμενο πάχος της εξωτερικής θωράκισης²⁷ υπολογίστηκε ως το διπλάσιο της διαμέτρου των νημάτων που συνθέτουν την εν λόγω θωράκιση, δηλ.:

²⁷ Για την εξήγηση αυτού του συμπεράσματος βλ. στο Παράρτημα Α, την υποενότητα Α.2.2.

$$Thickness_of_Outer_Shield = 2 \cdot Outer_Shield_Strand_Diameter \quad (2.61)$$

$$\stackrel{(2.60)}{\implies} Thickness_of_Outer_Shield = 0.204 \text{ mm} \quad (2.62)$$

45) Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC:

Η διάμετρος του «δεμένου» και θωρακισμένου πυρήνα του RC, δηλ. του RC με το δεματικό και την εξωτερική θωράκιση αλλά χωρίς ακόμη τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC = Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield \quad (2.63)$$

$$\stackrel{(2.57),(2.62)}{\implies} Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC = 7 \text{ mm} \quad (2.64)$$

46) Coverage_Factor_of_Outer_Shield:

Όπως συμβαίνει και με την εσωτερική θωράκιση, για τον παράγοντα (οπτικής) κάλυψης²⁸ της εξωτερικής πλεκτής θωρακίσεως μπορούν να επιλεγούν διάφορες τιμές, προκειμένου να δούμε πώς επηρεάζεται η Η/Μ συμπεριφορά του συστήματός μας από το πόσο «σφικτή» είναι η εξωτερική θωράκιση (η θωράκιση του RC). Επειδή το πρότυπο απαιτούσε ο παράγων αυτός να είναι οπωσδήποτε από 0.9 και πάνω (δηλ. το ποσοστό κάλυψης δεν επιτρέπεται να είναι λιγότερο από 90%), για αρχή ορίσαμε την παράμετρο αυτή στο κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, δηλ.:

$$Coverage_Factor_of_Outer_Shield = 0.9 \quad (2.65)$$

47) Thickness_of_Outer_Jacket:

Το πάχος του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος περιορίζεται από το πρότυπο μόνο ως προς την μέγιστη τιμή, δηλ. δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.25 mm. Εδώ επιλέξαμε αυθαίρετα ακριβώς αυτό το μέγιστο όριο ως τιμή για το πάχος αυτό²⁹, απλώς και μόνο για να είναι εύκολη και γρήγορη στο μάτι μια επαλήθευση ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου. Δηλ.:

²⁸ Βλ. ανωτ. υποσ. 22.

²⁹ Κατ' αντιστοιχία προς την υποσημείωση 23, ομοίως και εδώ θα μπορούσε σαφώς να επιλεγεί και μια μικρότερη τιμή, ώστε να οδηγούμαστε και σε καλώδιο με μικρότερη συνολική διατομή αλλά και μικρότερο βάρος (λόγω του ότι θα έλλειπε μια ποσότητα PFA από την στρώση του μανδύα αυτού), αφού άλλωστε ο ρόλος ύπαρξης αυτού του μανδύα είναι το να οριοθετεί το καλώδιο RC και να μονώνει την εξωτερική θωράκιση (οι οποία, για συνηθισμένες εν γένει παρεμβολές, θα έχει επαγόμενα ρεύματα με τιμές, που δεν είναι ικανές να αναιρέσουν την μονωτική ικανότητα ενός τέτοιου διηλεκτρικού, όπως το PFA). Βέβαια, επειδή εν προκειμένω ο μανδύας αυτός είναι και ο εξώτατος του καλωδίου, είναι σημαντική η συνεισφορά του και στην μηχανική προστασία του καλωδίου από κτυπήματα και άλλου είδους επαφές. Σίγουρα λοιπόν δεν μπορούμε να έχουμε γι αυτόν το ίδια περιθώριο μείωσης του πάχους του όσο έχουμε για τους εσωτερικούς μανδύες των SCs. Άλλωστε γι αυτό και ενώ οι εσωτερικοί μανδύες έχουν μέγιστο δυνατό πάχος τα 0.2 mm, βλέπουμε ότι ο εξωτερικός μανδύας έχει τα 0.25 mm, δηλ. όντως χρειάζεται να είναι λίγο παχύτερος.

$$Thickness_of_Outer_Jacket = 0.25 \text{ mm} \quad (2.66)$$

48) RC_Diameter:

Η διάμετρος του πλήρους καλωδίου SpW (ή του RC) δίνεται από την σχέση:

$$RC_Diameter = Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket \quad (2.67)$$

$$\xrightarrow{(2.64),(2.66)} RC_Diameter = 7.5 \text{ mm} \quad (2.68)$$

49) Max_RC_Diameter:

Η μέγιστη δυνατή διάμετρος³⁰, που το πρότυπο υπαγορεύει για το RC, είναι:

$$Max_RC_Diameter = 7.5 \text{ mm} \quad (2.69)$$

2.5.3.3 Αναλυτική Επεξήγηση του Υπολογισμού των Παραμέτρων

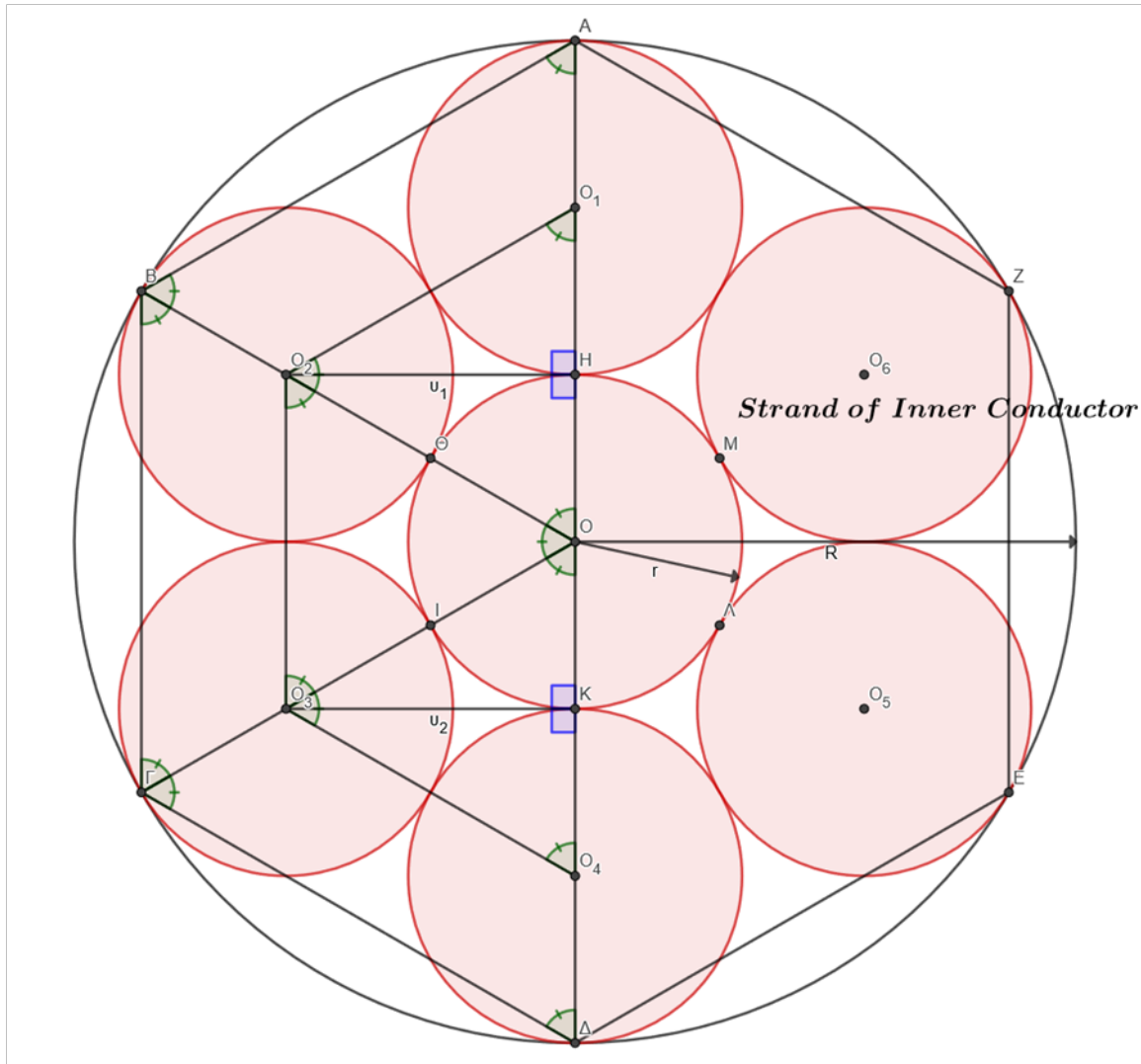
Η παράγραφος αυτή δημιουργήθηκε για να αποτυπώσει αναλυτικά τις πιο σύνθετες εξηγήσεις και τους πιο πολύπλοκους από τους υπολογισμούς, που χρειάστηκαν κατά την δημιουργία της λίστας παραμέτρων της διατομής της Var. 01. Ενώ δηλ. στην παράγραφο 2.5.3.1 ασχοληθήκαμε με το τί τιμή παίρνει η κάθε παράμετρος και στην παράγραφο 2.5.3.2 με το τί τύπος δίνει την τιμή αυτή, εδώ θα ασχοληθούμε με τι γιατί χρησιμοποιείται αυτός ο τύπος ή γιατί δίδεται αυτή η τιμή στην κάθε παράμετρο (και για όσες παραμέτρους χρειάζεται). Σε αυτή δηλ. την παράγραφο, ο αναγνώστης μπορεί να εμβαθύνει στον τρόπο σκέψης πίσω από τους τύπους υπολογισμούς, που παρετέθησαν στην παράγραφο 2.5.3.2. Όπως θα φανεί και από τις σχέσεις που θα ακολουθήσουν, η φιλοσοφία πίσω από αυτές τις σκέψεις ήταν να δομηθεί η διατομή με την μέγιστη δυνατή γεωμετρική ακρίβεια καθώς και να τηρηθούν τα όρια που έχει θεσπίσει το πρότυπο.

Οι επιλεγμένοι υπολογισμοί θα παρατεθούν με μία σειρά που να εξυπηρετεί την κατανόηση της αλληλεξάρτησης των παραμέτρων και όχι ακριβώς με την σειρά με την οποία δίνονται οι παράμετροι στον Πίνακα 2.2.

³⁰ Η παράμετρος αυτή, υπάρχει μόνο για εποπτικούς λόγους, δηλ. για να μπορεί κανείς να επαληθεύσει γρήγορα, με μια ματιά, ότι η διάμετρος που έχει «πετύχει» στο RC (π.χ. μετά από κάποια άλλη δοκιμή τιμών σε πάχη μονώσεων και μανδυνών) είναι εντός των αποδεκτών από το πρότυπο ορίων (χωρίς να χρειάζεται συνεχώς να ανατρέχει σ' αυτό).

Παράμετρος: Inner_Conductor_Diameter

Η πιο ορθολογική τοποθέτηση 7 κυλινδρικών κλώνων που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, προκειμένου να προκύψει μια όσο το δυνατόν πιο κυκλική διατομή, είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Ένα πιο επεξηγηματικό σχήμα για αυτήν ακριβώς την περίπτωση είναι και το ακόλουθο, το οποίο έγινε με το ελεύθερο λογισμικό GeoGebra [55].



Σχήμα 2.4: Σκαρίφημα της σύνθεσης του εσωτερικού αγωγού από 7 κλώνους προς υπολογισμό της κυκλικής διαμέτρου του [55].

Αν η τοποθέτηση των αγωγών γίνει σωστά, η γεωμετρία υπαγορεύει ότι κάθε εξωτερικός κλώνος εφάπτεται με τους 3 γειτονικούς του και ο εσωτερικός με τους 6 εξωτερικούς³¹. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό λοιπόν, η κυκλική διάμετρος του νοητού κύκλου που περιβάλλει τους 7 κλώνους όντας εφαιτόμενος στους 6 εξωτερικούς από αυτούς, η οποία θα θεωρείται και ως η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού είναι:

$$\text{Inner_Conductor_Diameter} = 3 \cdot \text{Inner_Conductor_Strand_Diameter} = 0.378 \text{ mm}$$

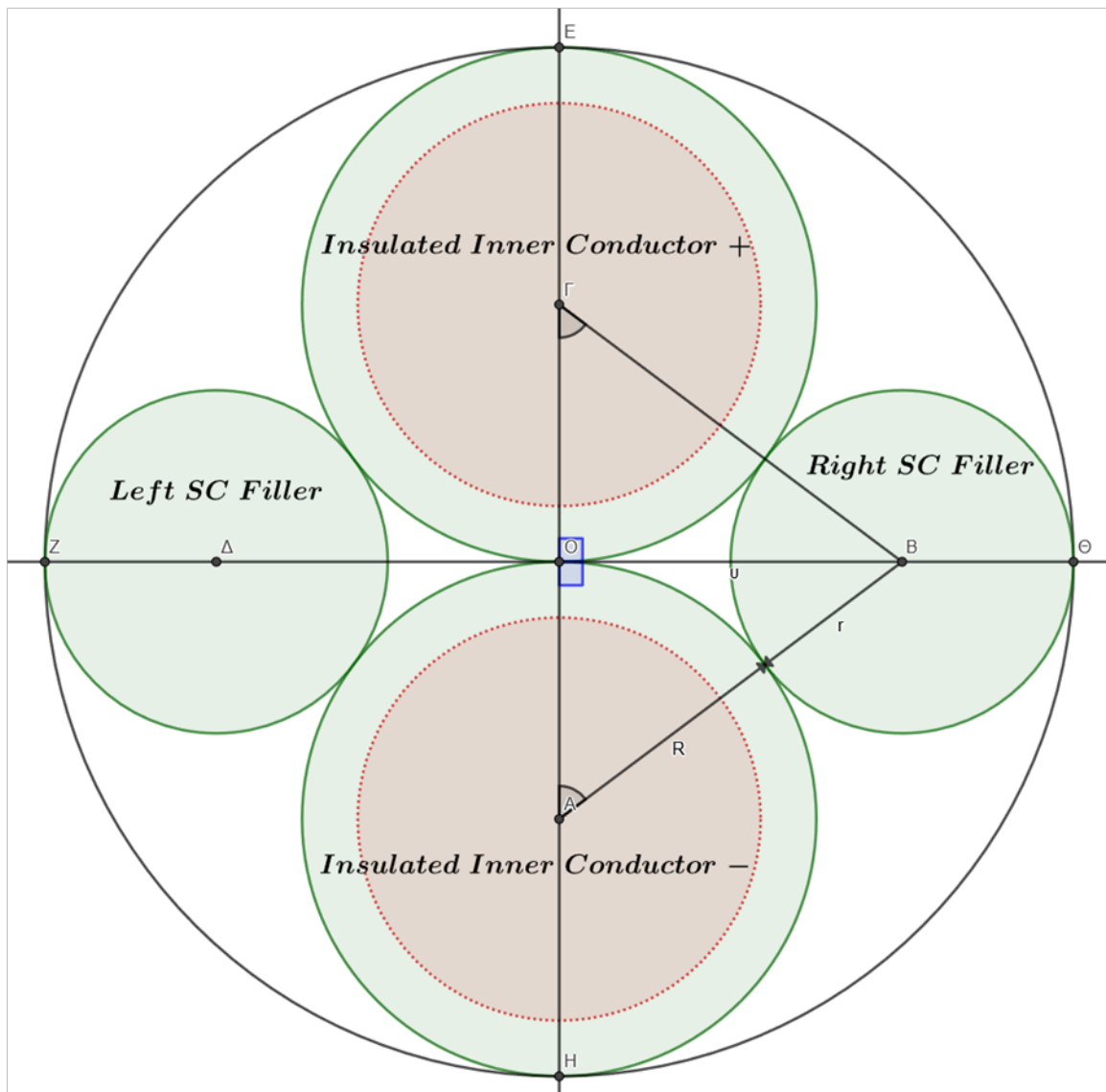
δηλ. ο νοητός κύκλος με την παραπάνω διάμετρο είναι ο περιγεγραμμένος κύκλος στο εξάγωνο ABΓΔΕΖ.

³¹ Τα βοηθητικά ευθύγραμμα τμήματα, όπως και οι διάφορες γωνίες, έχουν σχεδιαστεί ακριβώς ώστε να διευκολύνουν όποιον ενδιαφέρεται στην απόδειξη του συμπεράσματος αυτού.

Για τον νοητό κύκλο αυτόν υπάρχει και το όριο της διαμέτρου του αμόνωτου εσωτερικού αγωγού που αναφέραμε στην υποενότητα 2.5.1.

Παράμετρος: SC_Filler_Diameter

Η διάμετρος του πληρωτή του SC, δίνεται από την σχέση (2.12). Για την απόδειξη της σχέσεως αυτής, θα μας βοηθήσει πολύ η παρακάτω γεωμετρική αναπαράσταση για τον πυρήνα του SC (που δημιουργήθηκε με το λογισμικό GeoGebra).



Σχήμα 2.5: Σκαρίφημα του πυρήνα του SC προς υπολογισμό της σχέσεως των ακτινών του Inner Conductor και του SC Filler [55].

Σε αυτήν οι δύο μονωμένοι αγωγοί τοποθετούνται ο ένας κατακόρυφα κάτω από τον άλλον, έτσι ώστε να εφάπτονται στο σημείο O (το οποίο λαμβάνουμε και σαν αρχή τοπικού καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων). Έτσι η διάκεντρός τους, ευθεία AG , ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα $y'y$.

Από το σχήμα αυτό βλέπουμε ότι, αν το filler εφάπτεται στους δύο μονωμένους αγωγούς τότε θα έχουμε ότι:

$$(BA) = (BG) = R + r$$

Άρα το τρίγωνο $B\hat{A}G$ είναι ισοσκελές με βάση την AG . Τώρα από το κέντρο B του filler φέρνουμε την ευθεία BO . Τώρα το σημείο O προφανώς ισαπέχει από τα A και G κατά απόσταση R εκ κατασκευής (αφού οι δύο αγωγοί τοποθετήθηκαν ο ένας κατακόρυφα πάνω από τον άλλον), δηλ. είναι το μέσον της βάσης του ισοσκελούς τριγώνου $B\hat{A}G$. Επομένως η BO είναι διάμεσος προς την βάση του ισοσκελούς τριγώνου, άρα θα είναι και ύψος ως προς την βάση αυτή, δηλ. $B\hat{O}A = 90^\circ$. Άρα από Πυθαγόρειο Θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο $A\hat{O}B$ έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} (OA)^2 + (OB)^2 &= (AB)^2 \Leftrightarrow \\ R^2 + v^2 &= (R + r)^2 \Leftrightarrow \\ R^2 + v^2 &= R^2 + 2 \cdot R \cdot r + r^2 \Leftrightarrow \\ v^2 &= 2 \cdot R \cdot r + r^2 \end{aligned} \quad (2.70)$$

Επίσης από το σχήμα βλέπουμε ότι, αν τόσο τα fillers όσο και οι μονωμένοι εσωτερικοί αγωγοί εφάπτονται εσωτερικά στον ίδιο κύκλο, $(O, 2R)$, θα ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} v + r &= 2 \cdot R \Leftrightarrow \\ v &= 2R - r \end{aligned} \quad (2.71)$$

Άρα, από τις σχέσεις αυτές έχουμε:

$$\begin{aligned} (2.70) \stackrel{(2.71)}{\implies} (2 \cdot R - r)^2 &= 2 \cdot R \cdot r + r^2 \Leftrightarrow \\ 4 \cdot R^2 - 4 \cdot R \cdot r + r^2 &= 2 \cdot R \cdot r + r^2 \Leftrightarrow \\ 4 \cdot R^2 &= 6 \cdot R \cdot r \Leftrightarrow \end{aligned} \quad (2.72)$$

$$r = \frac{2}{3} \cdot R \quad (2.73)$$

Το ίδιο ακριβώς συμπέρασμα ισχύει και για το αριστερό filler.

Αντίστροφα τώρα, αν ισχύει η σχέση (2.73) για τις ακτίνες πληρωτού και μονωμένου αγωγού, θα αποδείξουμε ότι αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό του SC έτσι ώστε να εφάπτονται σωστά. Συγκεκριμένα οι δύο μονωμένοι αγωγοί τοποθετούνται, όπως είπαμε, ο ένας κατακόρυφα κάτω από τον άλλον, έτσι ώστε να εφάπτονται στο σημείο O (το οποίο λαμβάνουμε και σαν αρχή τοπικού καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων) και να ορίζουν ως εκ τούτου κύκλο κέντρου O και ακτίνας $2R$, εφάπτομενο σε αυτούς στα σημεία E και H . Φέρνουμε στην συνέχεια το δεξί filler από τα δεξιά προς τα αριστερά, με το κέντρο του πάνω στον άξονα $x'x$, ώσπου το κέντρο του να φτάσει σε απόσταση

$$(BO) = v = 2R - r$$

από το O . Η ακτίνα r δίνεται από την (2.73). Έτσι σχηματίζεται το ορθογώνιο τρίγωνο $B\hat{O}A$. Αφού ισχύει η (2.73) έχουμε ότι ισοδύναμα ισχύει και η (2.72). Για να αποδείξουμε τώρα ότι το δεξί filler εφάπτεται με τον κάτω μονωμένο αγωγό πρέπει να αποδείξουμε ότι η διάκεντρός τους, δηλ. το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα κέντρα τους έχει μήκος όσο το άθροισμα των ακτινών τους. από

Πυθαγόρειο λοιπόν Θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο $B\hat{O}A$ έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} (BA)^2 &= (OB)^2 + (OA)^2 \Leftrightarrow \\ (BA)^2 &= v^2 + R^2 \stackrel{(2)}{\Leftrightarrow} \\ (BA)^2 &= (2 \cdot R - r)^2 + R^2 \Leftrightarrow \\ (BA)^2 &= 4 \cdot R^2 - 4 \cdot R \cdot r + r^2 + R^2 \stackrel{(2.72)}{\Leftrightarrow} \\ (BA)^2 &= 6 \cdot R \cdot r - 4 \cdot R \cdot r + r^2 + R^2 \Leftrightarrow \\ (BA)^2 &= R^2 + 2 \cdot R \cdot r + r^2 = (R + r)^2 \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$(BA) = R + r$$

Άρα όντως, αν το δεξί filler έχει αυτή την ακτίνα και τοποθετηθεί σε αυτή την θέση, θα εφάπτεται με τον κάτω μονωμένο αγωγό, ενώ ομοίως αποδεικνύεται ότι θα εφάπτεται και με τον πάνω μονωμένο αγωγό. Και πάλι με ίδιο τρόπο αποδεικνύονται τα ίδια συμπεράσματα και για το αριστερό filler³².

Προφανώς τώρα τα σημεία E, Z, H, θ θα είναι και τα 4 σημεία της περιφέρειας του ίδιου κύκλου $(O, 2R)$ καθώς όλα απέχουν από το O απόσταση $2R$ [αφού $(OE) = (OH) = 2R$ προφανώς και $(O\theta) = (OZ) = v + r = 2R - r + r = 2R$]. Άρα με αυτές τις σχέσεις των διαστάσεων και με την τοποθέτηση αυτή, οι δύο μονωμένοι αγωγοί και οι δύο πληρωτές περιβάλλονται ακριβώς από κύκλο κέντρου O και ακτίνας $2 \cdot R$, όντας εφαπτόμενοι μ' αυτόν στο εσωτερικό του.

Πολλαπλασιάζοντας τώρα και τα δύο μέλη της (2.73) με το 2, προκύπτει ότι η σχέση αυτή, που ισχύει για τις ακτίνες, θα ισχύει και για τις διαμέτρους, όπως έχουμε κάνει με τις σχετικές παραμέτρους του προγράμματος [βλ. σχέση (2.12)].

Σχόλιο περί της τιμής της διαμέτρου του SC Filler και του ανωτάτου ορίου της διαμέτρου του μονωμένου εσωτερικού αγωγού:

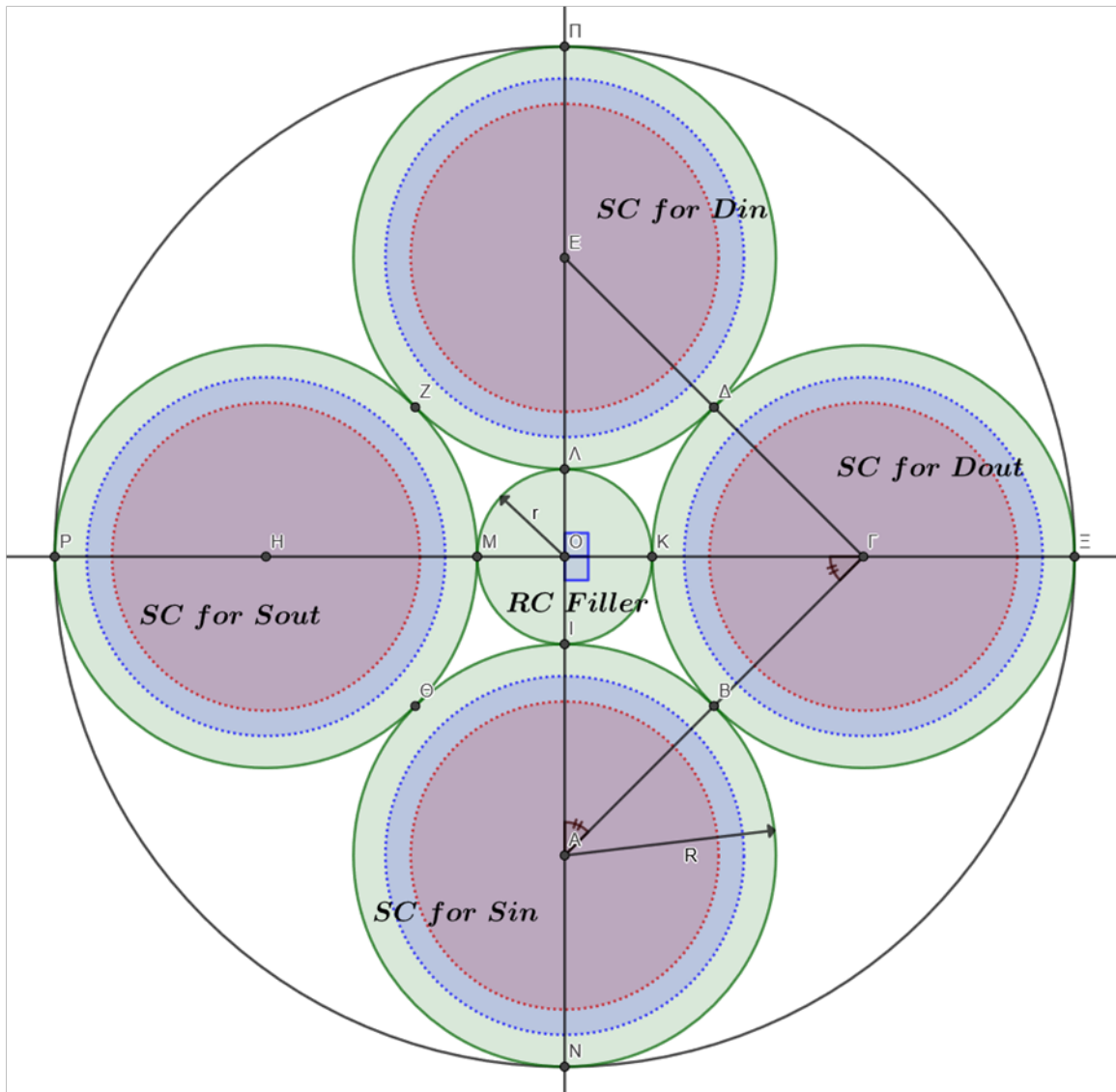
Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] υπαγόρευε ότι η διάμετρος του πληρωτή του SC έπρεπε να είναι 1 mm . Όμως προκειμένου να πετύχουμε την σωστή, σύμφωνα και με το Σχήμα 2.1, τοποθέτηση, επιλέξαμε την τιμή $0.643331526528361 \text{ mm}$ της σχέσεως (2.13) (που παραθέσαμε παραπάνω) για την διάμετρο και όχι αυτή του προτύπου. Άλλωστε η διάμετρος του πληρωτή δεν είναι καθοριστικής σημασίας για τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του καλωδίου (όπως π.χ. είναι οι διαμέτροι των αγωγών και τα πάχη επαργύρωσης) γι' αυτό και θεωρήσαμε ότι δεν αποτελεί πρόβλημα η αλλαγή στην τιμή της μέσα σε ένα σχετικά λογικό εύρος τιμών. Άλλωστε αν επιλέγαμε σταθερή τιμή το 1 mm για την διάμετρο του πληρωτή, τότε προκειμένου η γεωμετρία να ήταν σωστή, σύμφωνα με την σχέση (2.12), θα έπρεπε η διάμετρος του μονωμένου εσωτερικού αγωγού να ήταν 1.5 mm (και αυτό θα επιτυγχανόταν με αύξηση του πάχους του διηλεκτρικού, το οποίο είναι στην ευχέρεια μας). Αυτό όμως απαγορεύεται από το πρότυπο αφού η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό είναι 1.2 mm ³³.

Παράμετρος: RC Filler Diameter

Η διάμετρος του πληρωτή του RC, δίνεται από την σχέση (2.38). Όπως συνέβη και με την διάμετρο του SC Filler, έτσι και τώρα, για να αποδείξουμε την παραπάνω σχέση θα καταφύγουμε σε μια λεπτομερή γεωμετρική αναπαράσταση για τον πυρήνα του RC (η οποία και αυτή δημιουργήθηκε με το λογισμικό GeoGebra).

³² Εκ της αντιστρόφου αυτής αποδεικτικής διαδικασίας κατανοούμε την αναγκαιότητα της παραμετροποίησης των συντεταγμένων των υποκαλωδίων του SC. Διότι, έχοντας ορίσει σωστά τις συντεταγμένες, κάνοντας χρήση της, αποδεδειγμένης πλέον, σχέσεως (2.12), τώρα, ακόμη και αν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια παράμετρο από αυτές του προτύπου, οι θέσεις των συνιστωσών του SC θα εξακολουθήσουν να είναι οι σωστές γεωμετρικά [διότι η (2.12) είναι η κρίσιμη σχέση που εξασφαλίζει το ότι τα υποκαλώδια εφάπτονται σωστά, σύμφωνα και με την ανάλυση που προηγήθηκε].

³³ Παρατηρούμε λοιπόν ότι η διάμετρος του SC Filler δεν είναι στο χέρι μας, ώστε να πάρει ό,τι τιμή θέλουμε, διότι δεσμεύεται από τις γεωμετρικές σχέσεις που παραθέσαμε πιο πάνω (προκειμένου να υπάρχει ακρίβεια στις επαφές των κύκλων εντός του SC).



Σχήμα 2.6: Σκαρίφημα του πυρήνα του RC προς υπολογισμό της σχέσεως των ακτίνων του SC και του RC Filler [55].

Από την αναπαράσταση αυτή κατανοούμε ότι, αν το RC Filler εφάπτεται και στα τέσσερα SCs και τα τέσσερα SCs εφάπτονται μεταξύ τους, τότε όλοι οι κύκλοι θα εφάπτονται μεταξύ τους με τον τρόπο που δείχνει το παραπάνω σχήμα, δηλ. στα σημεία $B, \Delta, Z, \Theta, I, K, \Lambda, M$. Άρα από Πυθαγόρειο Θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο $\Delta O\Gamma$ έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} (A\Gamma)^2 &= (OA)^2 + (O\Gamma)^2 \Leftrightarrow \\ (R + R)^2 &= (R + r)^2 + (R + r)^2 \Leftrightarrow \\ 4 \cdot R^2 &= 2 \cdot (R + r)^2 \Leftrightarrow \\ 2 \cdot R^2 &= R^2 + 2 \cdot R \cdot r + r^2 \Leftrightarrow \\ R^2 &= 2 \cdot R \cdot r + r^2 \Leftrightarrow \end{aligned}$$

$$r^2 + (2 \cdot R) \cdot r - R^2 = 0 \quad (2.74)$$

$$R^2 - (2 \cdot r) \cdot R - r^2 = 0 \quad (2.75)$$

Άρα αναλόγως αν έχουμε γνωστή την ακτίνα R ή την r , επιλέγουμε την σχέση (2.74) ή την (2.75) αντίστοιχα και βρίσκουμε την άλλη ακτίνα. Οι εξισώσεις αυτές επιλύονται ακολούθως:

<p>Άρα:</p> $\Delta = (2 \cdot R)^2 - 4 \cdot (-R^2) = 8 \cdot R^2$ $r = \frac{-(2 \cdot R) \pm \sqrt{8 \cdot R^2}}{2} \Leftrightarrow$ $r = \frac{-2 \cdot R \pm 2 \cdot \sqrt{2} \cdot R}{2} \Leftrightarrow$ $r = \pm \sqrt{2} \cdot R - R$ <p style="text-align: center;">$\xleftrightarrow{\text{η αρνητική λύση απορρίπτεται ως άτοπη}}$</p> $r = R \cdot (\sqrt{2} - 1) \quad (2.76)$	<p>Άρα:</p> $\Delta = (-2 \cdot r)^2 - 4 \cdot (-r^2) = 8 \cdot r^2$ $R = \frac{2 \cdot r \pm \sqrt{8 \cdot r^2}}{2} \Leftrightarrow$ $R = \frac{2 \cdot r \pm 2 \cdot \sqrt{2} \cdot r}{2} \Leftrightarrow$ $R = \pm \sqrt{2} \cdot r + r$ <p style="text-align: center;">$\xleftrightarrow{\text{η αρνητική λύση απορρίπτεται ως άτοπη}}$</p> $R = r \cdot (\sqrt{2} + 1) \quad (2.77)$
---	--

Παρατηρούμε μάλιστα ότι οι δύο σχέσεις (2.76) και (2.77) είναι ισοδύναμες αφού:

$$(2.77) \Leftrightarrow r = \frac{R}{(\sqrt{2} + 1)} \Leftrightarrow r = \frac{R \cdot (\sqrt{2} - 1)}{(\sqrt{2} + 1) \cdot (\sqrt{2} - 1)} \Leftrightarrow$$

$$r = \frac{R \cdot (\sqrt{2} - 1)}{(\sqrt{2})^2 - 1^2} \Leftrightarrow r = \frac{R \cdot (\sqrt{2} - 1)}{2 - 1} \Leftrightarrow (2.76)$$

Στο ίδιο ακριβώς συμπέρασμα θα καταλήγαμε αν χρησιμοποιούσαμε οποιοδήποτε από τα τέσσερα SCs για την γεωμετρική μας απόδειξη.

Αντίστροφα τώρα, αν ισχύει η (2.76) ή ισοδύναμα η (2.77) για τις ακτίνες των SCs και του κεντρικού πληρωτού, θα αποδείξουμε ότι αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν στο εσωτερικό του RC έτσι ώστε να εφάπτονται σωστά. Συγκεκριμένα ο πληρωτής του RC τοποθετείται κεντρικά, με κέντρο του το σημείο O (το οποίο λαμβάνουμε και σαν αρχή τοπικού καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων). Στην συνέχεια τα 4 SCs τοποθετούνται γύρω του, ως εξής: φέρνουμε το δεξί SC (αυτό του Dout) από τα δεξιά προς τα αριστερά, με το κέντρο του πάνω στον άξονα $x'x$, ώσπου να ακουμπήσει με το κεντρικό filler, δηλ. ώσπου το κέντρο του να φτάσει σε απόσταση

$$(GO) = R + r$$

από το O . Ακολούθως φέρνουμε το κάτω SC (αυτό του Sin) από κάτω προς τα πάνω, με το κέντρο του πάνω στον άξονα $y'y$, ώσπου να ακουμπήσει με το κεντρικό filler, δηλ. ώσπου το κέντρο του να φτάσει σε απόσταση

$$(AO) = R + r$$

από το O . Με ανάλογο τρόπο τοποθετούνται και τα άλλα δύο SCs, το πάνω (αυτό του Din) και το αριστερά (αυτό του Sout). Η ακτίνα r δίνεται, όπως είπαμε, από την (2.76). Με τον τρόπο αυτό έχουμε την βεβαιότητα ότι και τα τέσσερα SCs εφάπτονται με τον κεντρικό πληρωτή.

Αν λοιπόν φέρω το δεξί SC και το από κάτω SC και τα ακουμπήσω στο filler ώστε να εφάπτονται σε αυτό, τότε θα σχηματιστεί ένα τρίγωνο $A\Delta O\Gamma$ ορθογώνιο και ισοσκελές, αφού γι' αυτό θα ισχύει ότι:

$$(OA) = (O\Gamma) = R + r$$

Για να σιγουρευτούμε τώρα, ότι το δεξί και το κάτω SC εφάπτονται και μεταξύ τους θα πρέπει να αποδείξουμε ότι η διάκεντρός τους, δηλ. το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα κέντρα τους έχει μήκος Δ όσο το άθροισμα των ακτινών τους. από το Πυθαγόρειο Θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο $A\Delta O\Gamma$ έχουμε ότι:

$$(A\Gamma)^2 = (OA)^2 + (O\Gamma)^2 \Leftrightarrow$$

$$(A\Gamma)^2 = (R + r)^2 + (R + r)^2 \stackrel{(2.76)}{\Leftrightarrow}$$

$$(A\Gamma)^2 = 2 \cdot [R + R \cdot (\sqrt{2} - 1)]^2 \Leftrightarrow$$

$$(A\Gamma)^2 = 2 \cdot (R + \sqrt{2} \cdot R - R)^2 \Leftrightarrow$$

$$(A\Gamma)^2 = 2 \cdot (\sqrt{2} \cdot R)^2 \Leftrightarrow$$

$$(A\Gamma)^2 = 2 \cdot 2 \cdot R^2 \Leftrightarrow$$

$$(AΓ)^2 = 4 \cdot R^2 \xleftrightarrow{(AΓ)>0} \\ (AΓ) = 2 \cdot R$$

Αρα όντως αν ισχύει αυτή η σχέση για τις ακτίνες κεντρικού filler και SC, και τα δύο SCs, το δεξί και το κάτω, τοποθετηθούν στις θέσεις που περιεγράφησαν, θα εφάπτονται και μεταξύ τους. Ομοίως αποδεικνύεται ότι όλα τα SCs θα εφάπτονται μεταξύ τους ανά δύο, αν τοποθετηθούν έτσι ώστε να εφάπτονται με το κεντρικό filler³⁴.

Προφανώς τώρα τα σημεία $N, E, Π, P$ θα είναι και τα 4 σημεία της περιφέρειας του ίδιου κύκλου $(O, 2R + r)$ καθώς όλα απέχουν από το O απόσταση $2R + r$ [αφού $(ON) = (OE) = (OP) = (OP) = 2R + r$]. Άρα με αυτές τις σχέσεις των διαστάσεων και με την τοποθέτηση αυτή, το κεντρικό filler και τα SCs περιβάλλονται ακριβώς από κύκλο κέντρου O και ακτίνας $2R + r$ και τα 4 SCs είναι εφαιπτόμενα μ' αυτόν στο εσωτερικό του.

Πολλαπλασιάζοντας τώρα και τα δύο μέλη της (2.76) [ή της (2.77)] με το 2, προκύπτει ότι η σχέση αυτή, που ισχύει για τις ακτίνες, θα ισχύει και για τις διαμέτρους, όπως έχουμε κάνει με τις σχετικές παραμέτρους του προγράμματος [βλ. σχέση (2.38)].

Σχόλιο περί της τιμής της διαμέτρου του RC Filler σε σχέση με τα λεγόμενα στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8]:

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] υπαγόρευε ότι η διάμετρος του πληρωτή του RC έπρεπε να είναι 1 mm . Όμως προκειμένου να πετύχουμε την σωστή, σύμφωνα και με το Σχήμα 2.1, τοποθέτηση, επιλέξαμε την τιμή $1.09600684082984 \text{ mm}$ της σχέσεως (2.39) (που παραθέσαμε παραπάνω) για την διάμετρο και όχι αυτή του προτύπου. Άλλωστε, όπως ισχύει γενικά για όλους τους πληρωτές και όπως επισημάναμε και για τον πληρωτή του SC, η διάμετρος τους δεν είναι καθοριστικής σημασίας για τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του καλωδίου (όπως π.χ. είναι οι διαμέτροι των αγωγών και τα πάχη επαργύρωσης) γι' αυτό και θεωρήσαμε ότι δεν αποτελεί πρόβλημα η αλλαγή στην τιμή της μέσα σε ένα σχετικά λογικό εύρος τιμών. Εν προκειμένω βέβαια θα μπορούσαμε να επιλέξουμε και διάμετρο 1 mm για τον πληρωτή του RC (σε αντίθεση με τους δύο πληρωτές του SC, για τους οποίους εξηγήσαμε παραπάνω γιατί δεν μπορούσαμε), όμως δεν το κάναμε και αφήσαμε την διάμετρό του να καθοριστεί από την σχέση (2.38) για λόγους που θα εξηγήσουμε παρακάτω³⁵, στα λεγόμενα περί των διαφορετικών τρόπων υπολογισμού της παραμέτρου *Thickness_of_Dielectric* (στην ίδια παράγραφο που βρισκόμαστε).

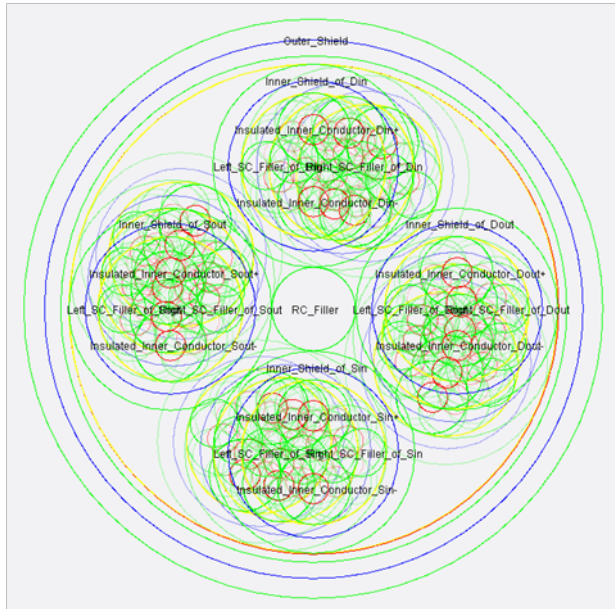
Παράμετρος: *Min_Distance_between_subcables*

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα τέσσερα SCs. Η συγκεκριμένη παράμετρος αρχικά δεν υπήρχε και το μοντέλο της διατομής ήταν ορισμένο χωρίς αυτή να εμφανίζεται σε καμία μαθηματική σχέση (σε αντίθεση με τις τελικές σχέσεις που παραθέσαμε στην παράγραφο 2.5.3.2, στις οποίες και εμφανίζεται). Όμως παρατηρήθηκε το εξής πρόβλημα. Για ορισμένες τιμές των παραμέτρων εκείνων που είχαν ευελιξία ως προς το τι τιμή θα λάβουν (όπως π.χ. η *Thickness_of_Dielectric*, ή η *Thickness_of_Inner_Jacket*), παρατηρούσαμε ότι η συστροφή των τεσσάρων SCs εντός του RC, αν και είχε οριστεί στο αντίστοιχο παράθυρο εντολών (όπως θα φανεί στην Εικόνα 2.52, ή στην Εικόνα 2.62, στην ενότητα 2.8, όπου θα μιλήσουμε για την δόμηση της διατομής), εντούτοις δεν υλοποιείτο στην πράξη, ενώ πάλι η συστροφή των υποκαλωδίων του κάθε SC υλοποιείτο με κάποια ιδιαίζουσα μορφή. Αυτό έγινε αντιληπτό από την προεπισκόπηση της διατομής του RC, με δεξί κλικ και απενεργοποίηση της

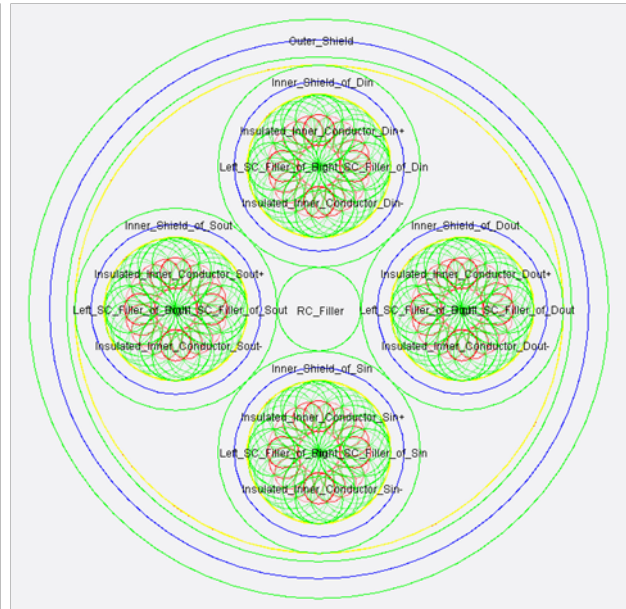
³⁴ Εντελώς όμοια με την παρατήρηση στην υποσημείωση 32, εκ της αντιστρόφου αυτής αποδεικτικής διαδικασίας κατανοούμε την αναγκαιότητα της παραμετροποίησης των συντεταγμένων των υποκαλωδίων του RC. Διότι, έχοντας ορίσει σωστά τις συντεταγμένες, κάνοντας χρήση της, αποδεδειγμένης πλέον, σχέσεως (2.38), τώρα, ακόμη και αν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια παράμετρο από αυτές του προτύπου, οι θέσεις των συνιστωσών του RC θα εξακολουθήσουν να είναι οι σωστές γεωμετρικά [διότι η (2.38) είναι η κρίσιμη σχέση που εξασφαλίζει το ότι τα υποκαλώδια εφάπτονται σωστά, σύμφωνα και με την ανάλυση που προηγήθηκε].

³⁵ Και πάλι λοιπόν, όπως αναφέραμε και στην υποσημείωση 33, η διάμετρος του RC Filler δεν είναι στο χέρι μας, ώστε να πάρει ό,τι τιμή θέλουμε, διότι δεσμεύεται από τις γεωμετρικές σχέσεις που παραθέσαμε πιο πάνω (προκειμένου να υπάρχει ακρίβεια στις επαφές των κύκλων εντός του RC).

εντολής “Display Filled”, διότι έτσι η εικόνα της διατομής παρουσιάζεται χωρίς να είναι χρωματισμένη στο εσωτερικό παρά μόνο στα περιγράμματα). Παρακάτω φαίνεται μια τέτοια προβληματική περίπτωση³⁶ (ενδεικτικά παραθέτουμε δύο εικόνες μία χωρίς και μία με το πρόβλημα, έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό):



Σχήμα 2.8: Η συστροφή των υποκαλωδίων του SC αλλά και των τεσσάρων SCs μεταξύ τους χωρίς πρόβλημα (μηδενική απόσταση των SCs και παράμετρος *Thickness_of_Dielectric* στην τιμή 0.26 mm) (από το *Presentation RC* της *Var. 01*) [56].



Σχήμα 2.7: Προβληματική – ιδιάζουσα συστροφή εντός του SC και παντελής απουσία συστροφής των 4 SCs μεταξύ τους (μηδενική απόσταση των SCs και παράμετρος *Thickness_of_Dielectric* στην τιμή 0.25 mm) (από το *Presentation RC* της *Var. 01*) [56].

Έγιναν αρκετές εναλλαγές στις τιμές τέτοιων παραμέτρων που έχουν σχετική ελευθερία στο εύρος τιμών. Περισσότερο εξετάστηκε το πρόβλημα με πλήθος διαφορετικών τιμών στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric*, παράμετρο στην οποία έχουμε δώσει την μεγαλύτερη ελευθερία λήψης τιμών προς επίτευξη διαφόρων αποτελεσμάτων. Όμως το πρόβλημα ήταν αρκετά δυσερμηνευτο και δεν μπόρεσε να γίνει αντιληπτό αν ακολουθεί κάποιο «μοτίβο» σε σχέση με τις τιμές αυτές. Δηλ. δεν μπορέσαμε να αντιληφθούμε αν οι τιμές για τις οποίες εμφανίζεται το πρόβλημα ανήκουν σε κάποιο διάστημα και οι τιμές για τις οποίες η συστροφή γίνεται σωστά ανήκουν σε κάποιο άλλο και τι σχέση έχουν τα διαστήματα αυτά μεταξύ τους.

Κατόπιν λοιπόν αρκετών δοκιμών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η βασική αιτία του προβλήματος είναι, κατά πάσα πιθανότητα, το γεγονός ότι όλες οι διαμέτροι των SCs και του RC Filler είναι ορισμένες με πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια και τα υποκαλώδια αυτά εφάπτονται ουσιαστικά ακριβώς. Δηλ. το πρόγραμμα, κάποιες φορές (δηλ. για κάποιους συνδυασμούς τιμών των παραμέτρων, γι’ αυτό και σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανιζόταν το πρόβλημα και σε άλλες όχι), μάλλον «δυσκολεύεται» να υλοποιήσει την συστροφή σωστά, για τον λόγο ότι όλα τα 4 SCs εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους και με τον κεντρικό πληρωτή. Δηλ., όπως θα λέγαμε πιο απλά, έχουν οριστεί οι επαφές πολύ «σφικτά» και αυτό δυσκολεύει την υλοποίηση της συστροφής τεσσάρων υποκαλωδίων γύρω από ένα πέμπτο. Και αυτό φυσικά είναι μια εικασία, αφού υπήρχε

³⁶ Να σημειώσουμε ότι αυτές οι εικόνες δίνονται πρωθύστερα, δεδομένου ότι ακόμη δεν έχουμε καταδείξει στον αναγνώστη τον τρόπο δόμησης της διατομής του καλωδίου στο Cable Studio (κάτι που θα γίνει στην ενότητα 2.8). Παρ’ όλα αυτά, κάνουμε μνεία αυτής της λεπτομέρειας σε αυτό το σημείο της εργασίας, που αφορά στην παραμετροποίηση, διότι μόνο έτσι μπορεί να εξηγηθεί ο λόγος ύπαρξης αυτής της παραμέτρου.

περίπτωση και για κάποιες τιμές παραμέτρων να μην εμφανίζεται λάθος στην συστροφή παρ' ότι τα υποκαλώδια εφάπτοντο ακριβώς. Πάντως είναι κάτι που σαν υπόθεση είναι λογική, μιας και στην πραγματική υλοποίηση ενός τέτοιου καλωδίου είναι υπαρκτό πρόβλημα το να γίνει σωστά και με απόλυτη ακρίβεια η συστροφή 4 υποκαλωδίων, με ενιαίο μήκος συστροφής καθ' όλο το μήκος του καλωδίου και χωρίς να χαθεί κάπου κάπου η ακριβής επαφή τους.

Επομένως μια λύση στο πρόβλημα δόθηκε με την εισαγωγή μιας πολύ μικρής απόστασης μεταξύ των υποκαλωδίων αυτών. Η απόσταση αυτή θα εφαρμοστεί προσθετικά στην οριζόντια απόσταση του RC Filler από το δεξί και το αριστερό SC και στην κατακόρυφη απόστασή του από το άνω και κάτω SC. Γι' αυτό και εμφανίζεται στις σχέσεις (2.41), (2.44) και (2.46). Ως εκ τούτου, τα 4 SCs που ανά δύο εφάπτοντο, θα απομακρυνθούν και αυτά κατά μία μικρή απόσταση, όπως θέλαμε. Το καλό μάλιστα είναι ότι αυτή η απόσταση μπορεί να γίνει στην προσομοίωση όσο μικρή θέλουμε, αφού αρκούν και ελάχιστα nm για το πρόγραμμα ώστε να ξεχωρίσει πως τα υποκαλώδια δεν εφάπτονται, αν και στην προεπισκόπηση φαίνεται σαν να εφάπτονται.

Η τιμή που επιλέχθηκε για την παράμετρο αυτή στην περίπτωση της διατομής της Var. 01, είναι αυτή που παρετέθη στην σχέση (2.40), δηλ. τα 0.000002 mm . Ο λόγος που οδηγηθήκαμε σε αυτή την επιλογή είναι ότι αυτή η τιμή είναι αρκετή για το πρόγραμμα ώστε να ξεχωρίσει τα υποκαλώδια και να υλοποιήσει σωστά την συστροφή τους, αλλά και ικανοποιητικά μικρή ώστε να μην φαίνεται το κενό μεταξύ των υποκαλωδίων στην συνήθη μεγέθυνση που χρησιμοποιείται στην προεπισκόπηση των διατομών (και δει στην μεγέθυνση που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των εικόνων της παρούσης διπλωματικής).

Σχόλιο σχετικά με τις σχέσεις υπολογισμού των διαμέτρων, μετά την εφαρμογή της απόστασης μεταξύ των SCs:

Πρέπει να επισημάνουμε το εξής. Η απόσταση αυτή μεταξύ των υποκαλωδίων του RC ιδανικά δεν υπάρχει. Δηλ. τα καλώδια αυτά εφάπτονται ακριβώς, όπως έχουμε εξηγήσει παραπάνω (βλ. το Σχήμα 2.6). Γι' αυτό λοιπόν και ο υπολογισμός της σχέσης, που συνδέει τις διαμέτρους SC και RC Filler, είναι αυτός που προηγήθηκε (στην υποπαράγραφο που αφορά την παράμετρο *RC_Filler_Diameter*) και γι' αυτό και με βάση αυτήν την σχέση [την (2.38)] θα υπολογίζεται πάντα η διάμετρος του RC Filler, θεωρώντας δηλ. ότι τα υποκαλώδια εφάπτονται ακριβώς. Παρ' όλα αυτά η μικρή αυτή απόσταση θα εφαρμόζεται στο επόμενο βήμα δόμησης της πλήρους διατομής, δηλ. κατά την διάταξη των υποκαλωδίων εντός του RC. Έτσι θα δούμε την παράμετρο αυτή να εμφανίζεται στις συντεταγμένες των τεσσάρων SCs εντός του RC [βλ. σχέσεις (2.44) και (2.46)] αλλά και στην διάμετρο του πυρήνα του RC, δηλ. στον τύπο υπολογισμού της παραμέτρου *Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC* [βλ. σχέση (2.41)]. Αυτό είναι σε έναν βαθμό και πιο αληθοφανές, καθώς στην πραγματικότητα, και μεν οι διάμετροι έχουν υπολογιστεί με την θεώρηση ιδανικής επαφής των κύκλων, αλλά, κατά την υλοποίηση της συστροφής ενός τέτοιου καλωδίου, δεν είναι δυνατόν τα 4 SCs και το RC Filler να διατηρούν καθ' όλο το μήκος του τις ακριβείς θέσεις τους ούτε και να εφάπτονται μόνο στα σημεία που υποδεικνύει η γεωμετρία. Σίγουρα κάπου κάπου θα πιέζονται περισσότερο με κάποια μικρή παραμόρφωση του εξωτερικού τους μανδύα. Είναι πάλι πιθανόν κάπου αλλού να απομακρυνθούν ελαφρώς δύο γειτονικά SCs. Επίσης το μήκος συστροφής σίγουρα δεν θα έχει ακριβώς την ίδια τιμή για όλο το μήκος του καλωδίου, αφού είναι πιθανόν κάπου τα υποκαλώδια να έχουν συμπτυχθεί ελαφρώς και κάπου να έχουν αραιώσει (ως προς τον διαμήκη άξονα του καλωδίου). Εξαιτίας όλων αυτών των αναπόφευκτων φαινομένων, είναι πολύ πιθανόν σε κάποια σημεία η συνολική διάμετρος του πυρήνα του RC να μην είναι όσο η διάμετρος του κεντρικού πληρωτή συν δύο φορές την διάμετρο του SC, όπως υπαγορεύει η γεωμετρία, αλλά και λίγο μεγαλύτερη (και κάπου αλλού και λίγο μικρότερη, λόγω της ελαστικής παραμόρφωσης των μανδύων). Σίγουρα λοιπόν δεν είναι παράλογη η εφαρμογή αυτής της μικρής απόστασης. Παρακάτω, στην επόμενη υποπαράγραφο, που θα αφορά στον υπολογισμό της τιμής της παραμέτρου *Thickness_of_Dielectric*, θα διαπιστώσουμε ότι η παράμετρος *Min_Distance_between_subcables* ελήφθη παρ' όλα αυτά υπ' όψιν έτσι ώστε, σε κάθε περίπτωση, η συνολική διάμετρος του καλωδίου να μην ξεπερνά το ανώτατο όριο του προτύπου.

Σχόλιο σχετικά με την χρησιμότητα της παραμέτρου *Min_Distance_between_subcables*:

Τέλος έχει ενδιαφέρον να επισημάνουμε κάτι ακόμη σχετικά με την χρήση της παραμέτρου αυτής. Μετά την εισαγωγή της στη λίστα παραμέτρων και την εφαρμογή της στις συντεταγμένες των

καλωδίων, είδαμε ότι το πρόβλημα της συστροφής ξεπεράστηκε. Ξεπεράστηκε σίγουρα για τις εν λόγω τιμές των υπολοίπων παραμέτρων και για την συγκεκριμένη τιμή της ίδιας της παραμέτρου *Min_Distance_between_subcables*. Ακόμη παρατηρήσαμε ότι το πρόβλημα πλέον ξεπερνιόταν για αρκετές από τις δοκιμασμένες τιμές των παραμέτρων όπως π.χ. η *Thickness_of_Dielectric* ή η *Thickness_of_Inner_Jacket*, για τις οποίες προηγουμένως εμφανιζόταν. Όμως υπήρχαν ακόμη κάποιες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, για τις οποίες το πρόβλημα ξαναεμφανιζόταν, παρά την χρήση της παραπάνω απόστασης στα υποκαλώδια. Δηλ. λόγω της ιδιόζουσας και δυσνόητης φύσης του προβλήματος, ακόμα και αυτή η λύση δεν είναι ολοκληρωτική. Άλλωστε αναφέραμε ότι ήταν απλώς και μόνον υπόθεση αυτή που κάναμε για την αιτία του προβλήματος. Σαφώς δεν μπορούσαμε να γνωρίζουμε τί ήταν αυτό που ήταν όντως υπεύθυνο για το πρόβλημα, σε επίπεδο αλγορίθμου υλοποίησης του προσομοιωτή. Πάντως η λύση που εφαρμόσαμε, αν και μερική, μας έδωσε, τρόπον τινά, μια ακόμα ανεξάρτητη μεταβλητή, έναν ακόμα βαθμό ελευθερίας. Δηλ., πλέον αν θελήσουμε να δοκιμάσουμε μία άλλη τιμή σε κάποια παράμετρο του μοντέλου μας (ώστε να φτιάξουμε μια διατομή με λίγο διαφορετικά χαρακτηριστικά) και διαπιστώσουμε ότι για την τιμή αυτή υπάρχει πρόβλημα στην συστροφή, δεν χρειάζεται να εγκαταλείψουμε την ιδέα να δοκιμάσουμε την τιμή αυτή. Μπορούμε απλώς να «παίζουμε» λίγο με τις τιμές της παραμέτρου *Min_Distance_between_subcables* μέχρι να εντοπίσουμε μια τιμή που επιλύει το πρόβλημα. Και έτσι μπορούμε να έχουμε μια διατομή με τα ελαφρώς παραλαγμένα χαρακτηριστικά που επιθυμούσαμε.

Παράμετρος: *Thickness_of_Dielectric*

Η παράμετρος *Thickness_of_Dielectric*, η οποία μας δίνει το πάχος του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται για την μόνωση των εσωτερικών αγωγών των σημάτων σε κάθε διαφορικό ζεύγος, ήταν εκείνη η οποία είχε τις περισσότερες διαφορετικές δυνατότητες ως προς την εκχώρηση τιμής. Συγκεκριμένα για την παράμετρο αυτή είχαμε τις ακόλουθες σκέψεις (που και αυτές θα παρατεθούν με οριζόντια διάταξη σελίδος, λόγω των μακρυν μαθηματικών σχέσεων):

1^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Η πρώτη σκέψη για να δοθεί τιμή στο πάχος της μόνωσης του εσωτερικού αγωγού είναι μέσω του ανώτατου ορίου στην διάμετρο του μονωμένου αυτού αγωγού. Συμβουλευόμενοι δηλ. το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], βλέπουμε ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό είναι αυτή που δόθηκε στην σχέση (2.11), δηλ. τα 1.2 mm. Αν λοιπόν επιλέξουμε το πάχος της μόνωσης να είναι τέτοιο ώστε να μας οδηγεί στο ανώτατο αυτό όριο, δηλ. αν επιλέξουμε:

$$Insulated_Inner_Conductor_Diameter = Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.78)$$

τότε, δεδομένου η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού είναι μονοσήμαντα καθορισμένη από το πρότυπο, θα είχαμε ότι το πάχος της μόνωσης θα υπολογιζόταν ως ακολούθως:

$$(2.9) \Leftrightarrow Thickness_of_Dielectric = \frac{Insulated_Inner_Conductor_Diameter - Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.89)$$

$$Thickness_of_Dielectric = \frac{Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter - Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.11),(2.6)$$

$$Thickness_of_Dielectric = \frac{1.2\text{ mm} - 0.378\text{ mm}}{2} \Rightarrow$$

$$Thickness_of_Dielectric = 0.411\text{ mm}$$

Εφ' όσον, με αυτή την προσέγγιση αρχίσαμε να «χτίζουμε» την διατομή του καλωδίου από μέσα προς τα έξω, πρέπει να ελέγξουμε αν τυχόν με την επιλογή μας αυτή στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* ξεπεράσαμε κάποιο από τα επόμενα όρια στις διαμέτρους των υποκαλωδίων του SpW. Συγκεκριμένα, αμέσως επόμενο όριο, που πρέπει να ελεγχθεί, είναι η διάμετρος του SC. Το ανώτατο όριο γι' αυτήν είναι 2.7 mm [σχέση (2.37)]. Η σχέση υπολογισμού της είναι η ακόλουθη:

$$(2.35) \stackrel{(2.31)}{\iff} SC_Diameter = Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\stackrel{(2.14)}{\iff} SC_Diameter = 2 \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket \quad (2.79)$$

$$\stackrel{(2.14)}{\iff} SC_Diameter = 2 \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\stackrel{(2.89)}{\implies} SC_Diameter = 2 \cdot Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\stackrel{(2.11),(2.30)}{\implies} SC_Diameter = 2 \cdot 1.2\text{ mm} + 2 \cdot 0.158\text{ mm} + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\Rightarrow SC_Diameter = 2.716\text{ mm} + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket > 2.7\text{ mm} = Max_SC_Diameter$$

Ήδη από την τελευταία αυτή σχέση παρατηρούμε ότι, πριν καν προσθέσουμε το πάχος του εσωτερικού μανδύα του SC, η διάμετρος του έχει ξεπεράσει το ανώτατο όριο. *Άρα αυτός ο τρόπος επιλογής τιμής για το πάχος της μόνωσης του εσωτερικού αγωγού δεν γίνεται αποδεκτός.* Δηλ. ακόμα και για να πετύχουμε διάμετρο του SC ίση προς 2.7 mm, που είναι το μέγιστο όριο (δεν συζητάμε καν ακόμα για να πετύχουμε μικρότερη τιμή για αυτήν) πρέπει υποχρεωτικά να μικρύνει το *Insulated_Inner_Conductor_Diameter* (σε τιμή μικρότερη από το δικό του μέγιστο όριο των 1.2 mm) και για να συμβεί αυτό μονόδρομος είναι το να μικρύνει η τιμή του *Thickness_of_Dielectric*.

2^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Μια δεύτερη προσέγγιση είναι να προσδιορίσουμε μια τιμή για την *Thickness_of_Dielectric* μέσω του αμέσως μεγαλύτερου μεγίστου ορίου, δηλ. του *Max_SC_Diameter*. Το πρότυπο μας περιορίζει ώστε να έχουμε μέγιστη διάμετρο για το SC ίση με 2.7 mm. Άρα αν επιλέξουμε:

$$SC_Diameter = Max_SC_Diameter \quad (2.80)$$

τότε από την σχέση (2.38) θα έχουμε:

$$(2.38) \stackrel{(2.80)}{\implies} RC_Filler_Diameter = Max_SC_Diameter \cdot (\sqrt{2} - 1)$$

$$\stackrel{(2.37)}{\implies} RC_Filler_Diameter \cong 1.118\text{ mm} \quad (2.81)$$

Αν (όπως έχουμε πει παραπάνω στην ίδια παράγραφο, στο σχόλιο μετά την απόδειξη της σχέσεως για την *RC_Filler_Diameter*) δεν μας ενδιαφέρει να είναι ακριβώς 1 mm η διάμετρος του κεντρικού filler, τότε μπορούμε να κινηθούμε έτσι και, έχοντας αυτή την τιμή για το *RC_Filler_Diameter*, να συνεχίσουμε την διερεύνηση. Συνεπώς, ξεκινώντας από την σχέση (2.79), που μόλις πιο πάνω παραθέσαμε και ισχύει γενικά, μπορούμε να βρούμε την τιμή για το πάχος της μόνωσης του αγωγού σήματος ως ακολούθως:

$$(2.79) \stackrel{(2.9)}{\iff} SC_Diameter = 2 \cdot (Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Dielectric) + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\Leftrightarrow SC_Diameter = 2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 4 \cdot Thickness_of_Dielectric + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\Leftrightarrow \text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{SC_Diameter - (2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket)}{4} \quad (2.82)$$

$$\stackrel{(2.90)}{\implies} \text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{Max_SC_Diameter - (2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket)}{4}$$

$$\stackrel{(2.37),(2.6),(2.30),(2.34)}{\implies} \text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{2.7 \text{ mm} - (2 \cdot 0.378 \text{ mm} + 2 \cdot 0.158 \text{ mm} + 2 \cdot 0.2 \text{ mm})}{4}$$

$$\text{Thickness_of_Dielectric} = 0.307 \text{ mm}$$

Όπως και πριν, πρέπει να ελέγξουμε αν τυχόν με την επιλογή μας αυτή στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* ξεπεράσαμε κάποιο από τα επόμενα όρια στις διαμέτρους των υποκαλωδίων του SpW. Το όριο για το *Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter* δεν είναι ανάγκη να το ελέγξουμε διότι στον 1^ο τρόπο επιλογής τιμής, που αναπτύξαμε παραπάνω, είχαμε την διάμετρο του μονωμένου εσωτερικού αγωγού να ταυτίζεται με το ανώτατο όριο της [σχέση (2.78)] και την παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* να έχει μεγαλύτερη τιμή απ' ότι τώρα. Άρα εν προκειμένω, σίγουρα το όριο αυτό θα ικανοποιείται (αφού η νέα τιμή του *Thickness_of_Dielectric* μικρυνε). Εκ κατασκευής τώρα έχουμε ότι η *SC_Diameter* είναι ακριβώς ίση με το ανώτατο όριο της. Άρα αμέσως επόμενο αλλά και τελευταίο όριο που πρέπει να ελεγχθεί είναι η διάμετρος του RC. Το ανώτατο όριο γι' αυτήν είναι 7.5 mm. Η σχέση υπολογισμού της μας δίνει τα ακόλουθα:

$$(2.67) \stackrel{(2.63)}{\iff} RC_Diameter = Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket$$

$$\stackrel{(2.56)}{\iff} RC_Diameter = Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket$$

$$\stackrel{(2.41)}{\iff} RC_Diameter = RC_Filler_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket \quad (2.83)$$

$$\stackrel{(2.91),(2.80),(2.37),(2.55),(2.62),(2.66)}{\implies} RC_Diameter \cong 1.118 \text{ mm} + (2 \cdot Min_Distance_between_subcables) + 2 \cdot 2.7 \text{ mm} + 2 \cdot 0.102 \text{ mm} + 2 \cdot 0.204 \text{ mm} + 2 \cdot 0.25 \text{ mm}$$

$$RC_Diameter \cong 7.630 \text{ mm} + (2 \cdot Min_Distance_between_subcables) > 7.5 \text{ mm} = Max_RC_Diameter$$

Από την τελευταία αυτή σχέση παρατηρούμε ότι, με την *SC_Diameter* να είναι η μέγιστη δυνατή (κάτι το οποίο όπως είδαμε θα επιτευχθεί με μια συγκεκριμένη τιμή στην παράμετρο *Insulated_Inner_Conductor_Diameter* δηλ. ουσιαστικά στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric*), και με το μέγιστο πάχος στο *Outer_Jacket*, η διάμετρος του RC προκύπτει εκτός των προδιαγραφών του προτύπου. Πριν όμως απορρίψουμε αυτόν τον τρόπο υπολογισμού, μια σκέψη είναι να μειώσουμε το πάχος του *Outer_Jacket* σε τιμή τέτοια που να επαναφέρει την *RC_Diameter* εντός ορίου. Δηλ. να θέσουμε στην σχέση (2.93) την ανώτατη τιμή στο *RC_Diameter*, και να λύσουμε ως προς *Thickness_of_Outer_Jacket*:

$$RC_Diameter = Max_RC_Diameter \stackrel{(2.93)}{\iff}$$

$$RC_Filler_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket = Max_RC_Diameter \iff$$

$$Thickness_of_Outer_Jacket = \frac{Max_RC_Diameter - RC_Filler_Diameter - 2 \cdot Min_Distance_between_subcables - 2 \cdot SC_Diameter - 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield}{2}$$

$$\stackrel{(2.69),(2.91),(2.80),(2.37),(2.55),(2.62)}{\implies} Thickness_of_Outer_Jacket \cong \frac{7.5 \text{ mm} - 1.118 \text{ mm} - (2 \cdot Min_Distance_between_subcables) - 2 \cdot 2.7 \text{ mm} - 2 \cdot 0.102 \text{ mm} - 2 \cdot 0.204 \text{ mm}}{2}$$

$$\Rightarrow Thickness_of_Outer_Jacket = \frac{0.37 \text{ mm} - (2 \cdot Min_Distance_between_subcables)}{2}$$

$$\Rightarrow Thickness_of_Outer_Jacket = 0.185\text{ mm} - Min_Distance_between_subcables^{37}$$

Όμως παρατηρούμε ότι πλέον το πάχος του εξωτερικού μανδύα μειώθηκε τόσο που απέκτησε μέγιστη ανώτατη τιμή ($0.185\text{ mm} - Min_Distance_between_subcables$), μικρότερη από αυτή του πάχους του εσωτερικού μανδύα (που είναι 0.2 mm). Προκειμένου λοιπόν να αποφύγουμε αυτό τον κάπως παράταιρο εξαναγκασμό (δεδομένου ότι το σωστότερο είναι το outer jacket να είναι πάντα λίγο παχύτερο από το inner jacket) και επειδή προτιμήσαμε να έχουμε την δυνατότητα να αφήνουμε το πάχος του outer jacket να μπορεί να πάρει όλο το εύρος τιμών που του επιτρέπει το πρότυπο, προτιμήσαμε να μην ακολουθήσουμε ούτε αυτό τον τρόπο ανάθεσης τιμής στην παράμετρο $Thickness_of_Dielectric$.

3^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Εφ' όσον λοιπόν επιλέγουμε να έχουμε το $Thickness_of_Outer_Jacket$ στο ανώτατο όριο που μας επιτρέπει το πρότυπο (0.25 mm), είδαμε ότι δεν είναι δυνατόν ταυτόχρονα και η $SC_Diameter$ να φτάσει στο δικό της ανώτατο όριο (2.7 mm), διότι τότε η $RC_Diameter$ φεύγει εκτός του δικού της ορίου (7.5 mm). Άρα μοναδικός τώρα τρόπος να κρατήσουμε την συνολική διάμετρο του καλωδίου SpW εντός του ορίου της είναι με μείωση της $SC_Diameter$ σε τιμή πιο μικρή από το δικό της ανώτατο όριο. Για να βρούμε λοιπόν την σχετική τιμή της $SC_Diameter$ (και μέσω αυτής εν τέλει την ζητούμενη τιμή του $Thickness_of_Dielectric$), θα πρέπει να επιλέξουμε μια τιμή για την $SC_Diameter$ τέτοια ώστε:

$$RC_Diameter = Max_RC_Diameter \stackrel{(2.69)}{\iff}$$

$$RC_Filler_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket = Max_RC_Diameter \stackrel{(2.38)}{\iff}$$

$$SC_Diameter \cdot (\sqrt{2} - 1) + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket = Max_RC_Diameter \iff$$

$$(\sqrt{2} + 1) \cdot SC_Diameter = Max_RC_Diameter - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield - 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder - 2 \cdot Min_Distance_between_subcables \iff$$

$$SC_Diameter = \frac{Max_RC_Diameter - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield - 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder - (2 \cdot Min_Distance_between_subcables)}{(\sqrt{2} + 1)} \quad (2.84)$$

$$\stackrel{(2.69),(2.66),(2.62),(2.55),(2.40)}{\implies} SC_Diameter = \frac{7.5\text{ mm} - 2 \cdot 0.25\text{ mm} - 2 \cdot 0.204\text{ mm} - 2 \cdot 0.102\text{ mm} - 2 \cdot 0.000002\text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)}$$

$$\iff SC_Diameter = \frac{6.387996\text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)} \quad (2.85)$$

$$\Rightarrow SC_Diameter \cong 2.6460\text{ mm}$$

Τώρα ξέρουμε, από την σχέση (2.92), πώς πρέπει να οριστεί το $Thickness_of_Dielectric$ αν πρόκειται να έχουμε την παραπάνω τιμή για το $SC_Diameter$:

$$(2.92) \stackrel{(2.95),(2.6),(2.30),(2.34)}{\implies} Thickness_of_Dielectric = \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{6.387996\text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)} - (2 \cdot 0.378\text{ mm} + 2 \cdot 0.158\text{ mm} + 2 \cdot 0.2\text{ mm}) \right]$$

³⁷ Να σημειωθεί ότι επίτηδες δεν αντικαθιστούμε τιμή στην παράμετρο $Min_Distance_between_subcables$. Και τούτο διότι στο πραγματικό σύστημα δεν υπάρχει, οπότε θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι όταν φτάνουμε κοντά στα όρια των διαμέτρων απλώς της θέτουμε κάποια μικρότερη τιμή που να μας επαναφέρει εντός αυτών. Όμως αποφεύγουμε να κάνουμε κάτι τέτοιο, έτσι ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι η προσεγγίσεις μας θα οδηγούν την διατομή εντός ορίων σε κάθε περίπτωση.

$$\Leftrightarrow \text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{6.387996 \text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)} - 1.472 \text{ mm} \right] \quad (2.86)$$

$$\Rightarrow \text{Thickness_of_Dielectric} \cong 0.293498644 \text{ mm}$$

Κατά τον ορισμό όμως των παραμέτρων στο πρόγραμμα, προτιμήσαμε να μην ορίσουμε με τον τρόπο αυτό το *SC_Diameter* [από την (2.85)] και να αφήσουμε το *Thickness_of_Dielectric* να εξαρτάται από αυτό [βάσει της (2.92)]. Αυτό που επιλέξαμε ήταν, να ορίσουμε σαν «ελεύθερη» μεταβλητή το *Thickness_of_Dielectric* στην τιμή που δίνει η σχέση (2.86) [οποία φυσικά προκύπτει βάσει των σχέσεων (2.85) και (2.92)] και κατόπιν να «χτίσουμε» από μέσα προς τα έξω τα επίπεδα και τις στρώσεις των υποκαλωδίων μέχρι να φτάσουμε σε *SC_Diameter*, που θα δίνεται από τη γνωστή σχέση (2.35) [αλλά θα καταλήγει προφανώς στην τιμή που θέλουμε, δηλ. αυτήν την σχέση (2.85)] και σε *RC_Diameter*, που θα είναι ίση με την μέγιστη επιτρεπόμενη.

Τώρα πρέπει να ελέγξουμε αν τηρούνται τα όρια για τις διαμέτρους των υποκαλωδίων. Όπως αναφέραμε και πριν, στον 2^ο τρόπο, το όριο για το *Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter* δεν είναι ανάγκη να το ελέγξουμε διότι στον 1^ο τρόπο, που αναπτύξαμε στην αρχή, είχαμε ότι *Insulated_Inner_Conductor_Diameter = Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter* με την παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* να έχει μεγαλύτερη τιμή απ' ότι τώρα. Άρα εν προκειμένω, σίγουρα το όριο αυτό θα ικανοποιείται. Εν συνεχεία, από το αριθμητικό αποτέλεσμα της σχέσης (2.95) διαπιστώσαμε ότι και η παράμετρος *SC_Diameter* είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο της *Max_SC_Diameter = 2.7 mm*. Αμέσως επόμενο αλλά και τελευταίο όριο που πρέπει να ελεγχθεί είναι η διάμετρος του RC. Το ανώτατο όριο γι' αυτήν είναι *7.5 mm*. Βάσει των σχέσεων (2.84) και (2.82) παρατηρούμε ότι οι τιμές του *SC_Diameter* και εμμέσως και του *Thickness_of_Dielectric* υπολογίστηκαν με την απαίτηση να έχουμε την *RC_Diameter* ακριβώς ίση με το ανώτατο όριο της *Max_RC_Diameter = 7.5 mm*. Δηλ. αν υπολογίσουμε την παράμετρο *RC_Diameter* όπως σταδιακά «χτίζεται», από μέσα προς τα έξω, θα δούμε ότι έχει ακριβώς την τιμή αυτή (και στο CST πρακτικά αυτό κάνουμε, την υπολογίζουμε σταδιακά). Άρα και σε αυτή την παράμετρο είμαστε εντός των προδιαγραφών (στην πράξη ακριβώς στο όριο). Επομένως αυτός ο τρόπος σκέψης για ανάθεση τιμής στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* μπορεί να γίνει αποδεκτός.

Η υλοποίηση πλέον αυτού του σκεπτικού μπορεί να γίνει με 2 εκδοχές:

- Αν θέλουμε μπορούμε να ορίσουμε την παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* με μια τόσο αναλυτική σχέση, όπως η σχέση που θα προέκυπτε αν στην (2.82) αντικαθιστούσαμε την (2.84) και δημιουργούσαμε τελικό τύπο με την παράμετρο αυτή. Αν επιλέξουμε αυτή την προσέγγιση, μπορούμε θεωρητικά να αλλάζουμε τις τιμές των παραμέτρων μας, αλλά πάντα θα διατηρούνται οι αλληλεξαρτήσεις τους. Π.χ. αν δοκιμάσουμε με αλλαγή στα πάχη των καλυμμάτων – μανδυνών αλλά διατηρήσουμε το *Max_RC_Diameter* στην τιμή που ήταν, τότε το *Thickness_of_Dielectric* θα αλλάξει τιμή και η νέα του τιμή θα είναι αυτή που θα εξασφαλίζει πάντα την διάμετρο του RC να είναι ίση με το μέγιστο αυτό όριο *Max_RC_Diameter*. Ή πάλι αν θέλουμε θεωρητικά να δούμε τι αποτελέσματα θα παίρναμε αν ξεπερνάγαμε το *Max_RC_Diameter* του προτύπου, τότε απλά θα αλλάζουμε την τιμή στην αντίστοιχη παράμετρο και θα προκύψει αυτόματα το κατάλληλο *Thickness_of_Dielectric*. Αν δηλ. θέλουμε προσωρινά να αφήσουμε τις συνολικές διαμέτρους να μεγαλώσουν και πέραν των ορίων του προτύπου, θα πρέπει να θυμηθούμε ότι η παράμετρος *Thickness_of_Dielectric* καθορίζεται με βάση το μέγιστο όριο για την διάμετρο του RC. Οπότε ή θα πρέπει να αλλάξουμε την τιμή της παραμέτρου *Max_RC_Diameter* (και κατόπιν να κάνουμε ότι αλλαγές θέλουμε π.χ. σε πάχη μανδυνών), ή θα πρέπει προσωρινά να αντικαταστήσουμε τον τύπο ορισμού της παραμέτρου *Thickness_of_Dielectric* με κάποια κατάλληλη τιμή που θα επιλέξουμε (σώζοντας φυσικά κάπου την μαθηματική έκφραση που υπήρχε πριν, για να μπορούμε να επαναφέρουμε τις ρυθμίσεις και εντός των απαιτήσεων του προτύπου ξανά, όταν τελειώσουμε με την θεωρητική αυτή παραλλαγή). Όμως με αυτόν τον τύπο ορισμού του *Thickness_of_Dielectric* υπάρχει ο εξής κίνδυνος: επειδή η αντικατάσταση της σχέσης (2.84) στην σχέση (2.82) δίνει ένα τελικό τύπο που συνδέει ουσιαστικά άμεσα το *Thickness_of_Dielectric* με την διάμετρο που τελικά θα καταλήξει να έχει το RC, υπάρχει περίπτωση μια σημαντική μείωση στο πάχος του *Outer_Jacket* ή του *Inner_Jacket* να εξωθήσει το *Thickness_of_Dielectric* σε τέτοια αύξηση (προσπαθώντας να πετυχαίνει διαρκώς *RC_Diameter = Max_RC_Diameter*) που τελικά η διάμετρος του SC ή/και η διάμετρος του Insulated Inner Conductor να ξεπεράσουν τα δικά τους ανώτατα όρια, αν και η *RC_Diameter* δεν θα ξεπερνάει το δικό της (γεγονός που παρατηρήθηκε να προκύπτει μετά από διάφορες δοκιμές τιμών για της παραμέτρους αυτές).

- ο Η δεύτερη εκδοχή είναι η εξής: ξέροντας ότι το αποτέλεσμα στην τιμή του *Thickness_of_Dielectric* θα είναι αυτό της σχέσεως (2.96), μπορούμε να δώσουμε την αντίστοιχη τιμή της σχέσεως αυτής απ' ευθείας ως τιμή της παραμέτρου. Την τιμή αυτή μπορούμε να την δώσουμε, είτε σαν αριθμητική μαθηματική σχέση με την παραπάνω ακρίβεια, είτε σαν μια απ' ευθείας στρογγυλοποιημένη τιμή³⁸. Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου ορισμού της παραμέτρου αυτής είναι ότι η εξάρτηση από την μέγιστη διάμετρο του RC φαινομενικά χάνεται (και υπάρχει μόνο στο μυαλό του χρήστη ουσιαστικά). Έτσι πραγματικά η διατομή του καλωδίου «κτίζεται» από μέσα προς τα έξω, χωρίς κάποια από τις «πιο μέσα» παραμέτρους να εξαρτάται ή να δεσμεύεται από κάποια από τις «πιο έξω» από αυτήν. Έτσι και ο χρήστης είναι πιο ελεύθερος να δοκιμάζει διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους αυτές. Απλώς πρέπει να κρατά στον νου του να ελέγχει, μετά από κάθε αλλαγή, αν οι διάμετροι του Insulated Inner Conductor, του SC και του RC παραμένουν εντός του ανωτάτου ορίου τους η κάθε μία.

Πάντως, ασχέτως προσεγγίσεως, με τον τρόπο αυτό θα πάρουμε και ένα RC Filler με διάμετρο:

$$(2.38) \xrightarrow{(2.95)} RC_Filler_Diameter \cong 1.096008 \text{ mm}$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι δεν απέχουμε παρά ελάχιστα από την τιμή του 1 mm που δίνει το πρότυπο για την διάμετρο του RC Filler, οπότε και από αυτή την άποψη, αυτή η απόδοση τιμής στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* είναι πολύ καλή.

4⁹⁵ Τρόπος επιλογής τιμής:

Στους προηγούμενους τρόπους ουσιαστικά είχαμε πάντοτε την διάμετρο του RC Filler να εξαρτάται από αυτή του SC [μέσω της γνωστής σχέσεως (2.38)]. Μια άλλη οπτική είναι να ορίσουμε σαν ελεύθερη μεταβλητή την διάμετρο του RC Filler και μετά με βάση αυτήν να υπολογίζεται η διάμετρος του SC. Άρα αν επιλέξουμε, και σε συμφωνία με το πρότυπο:

$$RC_Filler_Diameter = 1 \text{ mm} \tag{2.87}$$

τότε θα έχουμε:

$$(2.38) \Leftrightarrow SC_Diameter = \frac{RC_Filler_Diameter}{(\sqrt{2} - 1)}$$

$$\Leftrightarrow SC_Diameter = RC_Filler_Diameter \cdot (\sqrt{2} + 1)$$

$$\xrightarrow{(2.97)} SC_Diameter = (\sqrt{2} + 1) \text{ mm} \tag{2.88}$$

$$\Rightarrow SC_Diameter \cong 2.414 \text{ mm}$$

Τώρα με βάση την (2.92), μπορούμε να υπολογίσουμε το *Thickness_of_Dielectric*:

$$(2.92) \xrightarrow{(2.98),(2.6),(2.30),(2.34)} Thickness_of_Dielectric = \frac{(\sqrt{2} + 1) \text{ mm} - (2 \cdot 0.378 \text{ mm} + 2 \cdot 0.158 \text{ mm} + 2 \cdot 0.2 \text{ mm})}{4}$$

$$\Rightarrow Thickness_of_Dielectric \cong 0.235553 \text{ mm}$$

³⁸ Η αντικατάσταση στρογγυλοποιημένης τιμής χρειάζεται προσοχή διότι, αν επιλέξουμε να δώσουμε απ' ευθείας αριθμό στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric*, θα πρέπει να κάνουμε μια «στρογγυλοποίηση προς τα κάτω» στο παραπάνω νούμερο. Και αυτό είναι αναγκαίο διότι, μόνο με την ακριβή παράσταση της σχέσεως (2.96), το CST, το οποίο εσωτερικά κρατά όλα (δηλ. πολύ μεγάλο πλήθος απο) τα δεκαδικά ψηφία, θα δώσει αποτέλεσμα στην *RC_Diameter* ακριβώς ίσο με 7.5 mm. Αν π.χ. βάζαμε *Thickness_of_Dielectric* = 0.3 mm, δεδομένων των υπολοίπων σχέσεων υπολογισμού των υποκαλωδίων, θα είχαμε *RC_Diameter* $\cong 7.563 \text{ mm} > 7.5 \text{ mm} = Max_RC_Diameter$, κάτι που δεν είναι αποδεκτό.

Και πάλι τώρα πρέπει να ελέγξουμε αν τηρούνται τα όρια για τις διαμέτρους των υποκαλωδίων. Όπως αναφέραμε ξανά, το όριο για το $Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter$ διαπιστώνουμε με την πρώτη ματιά ότι τηρείται (συγκρίνοντας με τον 1^ο τρόπο που αναπτύξαμε) από την σχέση (2.88) διαπιστώσαμε ότι και η παράμετρος $SC_Diameter$ είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο της $Max_SC_Diameter = 2.7\text{ mm}$. Αμέσως επόμενο αλλά και τελευταίο όριο που πρέπει να ελεγχθεί είναι η διάμετρος του RC. Για αυτήν έχουμε:

$$(2.83) \xrightarrow{(2.97),(2.40),(2.98),(2.55),(2.62),(2.66)} RC_Diameter = 1\text{ mm} + 2 \cdot 0.000002\text{ mm} + 2 \cdot (\sqrt{2} + 1)\text{ mm} + 2 \cdot 0.102\text{ mm} + 2 \cdot 0.204\text{ mm} + 2 \cdot 0.25\text{ mm}$$

$$\Rightarrow RC_Diameter \cong 6.940004\text{ mm} < 7.5\text{ mm} = Max_RC_Diameter$$

Άρα και σε αυτή την παράμετρο είμαστε εντός των προδιαγραφών (στην πράξη ακριβώς στο όριο). Επομένως και αυτός ο τρόπος υπολογισμού του $Thickness_of_Dielectric$ μπορεί να γίνει αποδεκτός. Η μόνη διαφορά από τον 3^ο τρόπο είναι ότι, επειδή είναι λίγο μικρότερη η διάμετρος του RC Filler και του SC, άρα έχουμε λίγο λιγότερο πάχος στο διηλεκτρικό του εσωτερικού αγωγού.

Εν τέλει εμείς επιλέξαμε τον 3^ο τρόπο για να υπολογίσουμε το πάχος του διηλεκτρικού. Αυτό το κάναμε διότι αφ' ενός, όπως έχουμε εξηγήσει δεν είναι από ηλεκτρομαγνητικής σκοπιάς αναγκαίο να έχουμε ακριβώς την διάμετρο που υπαγορεύει το πρότυπο για το RC Filler. Άλλωστε και η τιμή που προκύπτει γι' αυτή την παράμετρο με τον 3^ο αυτόν τρόπο (1.096008 mm) είναι πολύ κοντά στην τιμή που ζητά το πρότυπο (1 mm). Αφ' ετέρου όμως, επιλέξαμε τον τρόπο αυτό κυρίως για λόγους εποπτικούς, διότι οδηγεί με ακρίβεια σε $RC_Diameter = Max_RC_Diameter$, οπότε φαίνεται με την πρώτη ματιά σε κάποιον η συμμόρφωση με την απαίτηση του προτύπου. Λεπτομερέστερα, από τις δύο δυνατές προσεγγίσεις στην υλοποίηση του 3^{ου} τρόπου, εμείς επιλέξαμε εν προκειμένω να ορίσουμε το $Thickness_of_Dielectric$ μέσω της αριθμητικής μαθηματικής σχέσεως (2.96) (δηλ. επιλέγουμε να κάνουμε εφαρμογή της δεύτερης προσέγγισης από τις δύο που αναπτύξαμε για τον 3^ο τρόπο απόδοσης τιμής στην παράμετρο αυτή και αυτό βάσει του προβληματισμού που αναπτύχθηκε στα δύο αυτά σημεία). Τώρα αν θέλουμε να πετύχουμε μικρότερη τιμή για την $RC_Diameter$, μπορούμε ανά πάσα στιγμή να μειώσουμε τις τιμές των $Thickness_of_Inner_Jacket$ και $Thickness_of_Outer_Jacket$ και φυσικά να αντικαταστήσουμε στην σχέση ορισμού της $Thickness_of_Dielectric$ μια τιμή μικρότερη από αυτήν που δίνει η σχέση (2.96).

2.5.4 Παράμετροι της Διατομής της Variant 02

Παρ' ότι οι παράμετροι του μοντέλου της διατομής της Var. 02, που θα ακολουθήσουν, είναι, ως επί το πλείστον, ίδιες με αυτές του μοντέλου της διατομής της Var. 01, επιλέγουμε να τις παραθέσουμε ξανά για 3 κυρίως λόγους:

- ο γιατί υπάρχουν και λιγιστές καινούργιες παράμετροι,
- ο γιατί υπάρχουν παράμετροι που διατηρούν το ίδιο όνομα με το μοντέλο της Var. 01 αλλά έχουν άλλον τύπο υπολογισμού,
- ο για να μπορεί ο ενδιαφερόμενος να ανατρέχει απ' ευθείας στον κατάλληλο πίνακα και να μην χρειάζεται να συγκρίνει κάθε τόσο με τον πίνακα της Var. 01 (π.χ. σε περίπτωση που θέλει να διεκπεραιώσει μια μελέτη ή ένα πείραμα που αφορά μόνο στην Var. 02).

2.5.4.1 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτουμε την Λίστα Παραμέτρων του Μοντέλου της Διατομής της Var. 02 του Καλωδίου SpW, όπως δημιουργήθηκε στο σχετικό αρχείο του CST, $SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst$.

Πίνακας 2.3: Λίστα Παραμέτρων της Διατομής της Var. 02 του Καλωδίου SpW (από το Project SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst³⁹).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ⁴⁰
Εσωτερικός Αγωγός Σήματος (Inner Conductor)		
1	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor</i>	58936784.27 S/m
	Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
2	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor</i>	0.999988
	Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
3	<i>Inner_Conductor_Strand_Diameter</i>	0.160 mm
	Η διάμετρος (σε mm) των κλώνων του εσωτερικού αγωγού.	
4	<i>Number_of_Strands</i>	7
	Ο αριθμός των κλώνων που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό.	
5	<i>Inner_Conductor_Diameter</i>	0.480 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του νοητού κύκλου που περικλείει τους κλώνους του εσωτερικού αγωγού.	
6	<i>Thickness_of_Dielectric</i>	0.318 mm
	Το πάχος (σε mm) του διηλεκτρικού, που χρησιμοποιείται για την μόνωση του εσωτερικού αγωγού.	
7	<i>Insulated_Inner_Conductor_Diameter</i>	1.116 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του μονωμένου εσωτερικού αγωγού.	
8	<i>Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter</i>	1.4 mm
	Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό.	
Πληρωτής του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους Σήματος (Symmetric Cable's Filler)		
9	<i>SC_Filler_Diameter</i>	0.744 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του πληρωτή του SC.	
Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγους Σήματος (Twisted Differential Signal Pair or Symmetric Cable or SC)		
10	<i>Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC</i>	2.232 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του πυρήνα του SC (του SC χωρίς το εσωτερικό δεματικό, την εσωτερική θωράκιση και το εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα).	
11	<i>x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC</i>	0 mm
	Η τετμημένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο άνω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC ⁴¹ .	
12	<i>y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC</i>	0.558 mm
	Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο άνω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC ⁴² .	
13	<i>x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC</i>	0.744 mm
	Η τετμημένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο δεξιός πληρωτής εντός του SC ⁴³ .	

³⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 6.

⁴⁰ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.

⁴¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 8.

⁴² Βλ. ανωτ. υποσ. 8.

⁴³ Βλ. ανωτ. υποσ. 8.

14	<i>y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο δεξιός πληρωτής εντός του SC ⁴⁴ .	0 mm
15	<i>Min_SC_Lay_Length</i> Το ελάχιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το SC.	27 mm
16	<i>Max_SC_Lay_Length</i> Το μέγιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το SC.	35 mm
17	<i>SC_Lay_Length</i> Το μήκος συστροφής (σε mm) που τελικώς επελέγη για το SC.	31 mm
18	<i>Thickness_of_SC_Binder</i> Το πάχος (σε mm) του δεματικού του SC (εσωτερικού δεματικού).	0.076 mm
19	<i>Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC</i> Η διάμετρος (σε mm) του «δεμένου» SC, χωρίς την εσωτερική θωράκιση και τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	2.384 mm
20	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield</i> Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εσωτερικής θωράκισης.	58735022.18 S/m
21	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield</i> Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εσωτερικής θωράκισης.	0.999989
22	<i>Inner_Shield_Strand_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση.	0.079 mm
23	<i>Thickness_of_Inner_Shield</i> Το θεωρούμενο πάχος (σε mm) της εσωτερικής θωράκισης.	0.158 mm
24	<i>Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC</i> Η διάμετρος (σε mm) του θωρακισμένου SC, χωρίς τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	2.7 mm
25	<i>Coverage_Factor_of_Inner_Shield</i> Ο παράγων κάλυψης της εσωτερικής πλεκτής θωρακίσεως.	0.9
26	<i>Thickness_of_Inner_Jacket</i> Το πάχος (σε mm) του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος.	0.2 mm
27	<i>SC_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του SC.	3.1 mm
28	<i>Max_SC_Diameter</i> Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για το SC.	3.1 mm
Πληρωτής του Πλήρους Καλωδίου (Round Cable's Filler)		
29	<i>RC_Filler_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του πληρωτή του RC.	1.2840620433566 mm
Πλήρες Καλώδιο (Round Cable or RC)		
30	<i>Min_Distance_between_subcables</i> Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα 4 SCs.	0.000002 mm
31	<i>Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του πυρήνα του RC (του RC χωρίς το δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα).	7.4840660433566 mm
32	<i>x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το άνω SC εντός του RC ⁴⁵ .	0 mm

⁴⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 8.

33	<i>y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το άνω SC εντός του RC ⁴⁶ .	2.1920330216783 mm
34	<i>x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το δεξιό SC εντός του RC ⁴⁷ .	2.1920330216783 mm
35	<i>y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το δεξιό SC εντός του RC ⁴⁸ .	0 mm
36	<i>x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο πληρωτής εντός του RC ⁴⁹ .	0 mm
37	<i>y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC</i> Η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί ο πληρωτής εντός του RC ⁵⁰ .	0 mm
38	<i>Min_RC_Lay_Length</i> Το ελάχιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το RC.	74 mm
39	<i>Max_RC_Lay_Length</i> Το μέγιστο δυνατό μήκος συστροφής (σε mm) για το RC.	98 mm
40	<i>RC_Lay_Length</i> Το μήκος συστροφής (σε mm) που τελικώς επελέγη για το RC.	86 mm
41	<i>Thickness_of_RC_Binder</i> Το πάχος (σε mm) του δεματικού του RC.	0.102 mm
42	<i>Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του «δεμένου» RC, χωρίς την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	7.6880660433566 mm
43	<i>sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield</i> Η ειδική αγωγιμότητα (σε S/m) του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εξωτερικής θωράκισης.	58676267.50 S/m
44	<i>mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield</i> Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού των συρματιδίων της εξωτερικής θωράκισης.	0.999989
45	<i>Outer_Shield_Strand_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση.	0.102 mm
46	<i>Thickness_of_Outer_Shield</i> Το θεωρούμενο πάχος (σε mm) της εξωτερικής θωράκισης.	0.204 mm
47	<i>Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC</i> Η διάμετρος (σε mm) του θωρακισμένου RC, χωρίς τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα.	8.0960660433566 mm
48	<i>Coverage_Factor_of_Outer_Shield</i> Ο παράγων κάλυψης της εξωτερικής πλεκτής θωρακίσεως.	0.9
49	<i>Thickness_of_Outer_Jacket</i> Το πάχος (σε mm) του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος.	0.25 mm
50	<i>RC_Diameter</i> Η διάμετρος (σε mm) του RC.	8.5960660433566 mm
51	<i>Max_RC_Diameter</i> Η μέγιστη δυνατή διάμετρος (σε mm) για το RC.	9 mm

⁴⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.⁴⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.⁴⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.⁴⁸ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.⁴⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.⁵⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 12.

Όπως φαίνεται, οι περισσότερες παράμετροι, πλην ελαχίστων, είναι ακριβώς ίδιες με αυτές του μοντέλου για την Var. 01. Επίτηδες επιλέξαμε να αφήσουμε τα ίδια ονόματα, αφού και εδώ οι παράμετροι περιγράφουν ακριβώς τα ίδια γεωμετρικά μεγέθη, που περιγράφουν και για την Var. 01. Φυσικά όλες οι τιμές των παραμέτρων τώρα θα αφορούν την Var. 02 και όσες δίνονται μονοσήμαντα από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] θα ληφθούν από εκείνα τα σημεία του τα οποία σχετίζονται με την Var. 02.

Η μόνη βασική καινούργια παράμετρος είναι αυτή που περιέχει την πληροφορία για το πάχος του εσωτερικού δεματικού (inner binder), δηλ. του δεματικού του SC, και είναι η *Thickness_of_SC_Binder*. Μαζί με αυτήν αναγκαστικά δημιουργούνται και οι σχετικές παράμετροι που αφορούν την διάμετρο του SC στα διάφορα στάδια της επικαλύψεώς του με τα κατάλληλα στρώματα, δηλ. οι:

- *Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC*,
- *Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC*,
- *Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC*.

Ουσιαστικά όμως, μία από τις τρεις παραπάνω διαμέτρους είναι καινούργια. Οι υπόλοιπες είναι αποτέλεσμα κατάλληλης μετονομασίας των προηγούμενων παραμέτρων, οι οποίες απλώς δεν έκαναν μνεία της λέξεως Binder (αφού δεν υπήρχε εσωτερικό δεματικό στην Var. 01). Δηλ.:

- η παράμετρος *Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC* της Var. 01 αντικαταστάθηκε από την *Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC* στην Var. 02 (η παράμετρος που δίνει την διάμετρο του πυρήνα του SC πριν οποιαδήποτε επιπλέον στρώση),
- η παράμετρος *Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC* ήταν η καινούργια παράμετρος και
- η παράμετρος *Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC* της Var. 01 αντικαταστάθηκε από την *Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC* στην Var. 02.

Στις παραμέτρους που έγινε κατάλληλη μετονομασία και αφορούν όπως είπαμε στρώματα και διαμέτρους που επηρεάζονται από το binder του SC, φυσικά αλλάζει ελαφρώς και ο τύπος υπολογισμού σε σχέση με την Var. 01, ακριβώς εξαιτίας της υπάρξεως αυτού του «εσωτερικού» binder.

Μετά και την προσθήκη του πάχους του Inner Jacket, επανερχόμαστε στην *SC_Diameter*, οπότε από εκεί τα ονόματα παραμένουν ίδια με την Var. 01. Οι υπόλοιπες δηλ. παράμετροι δεν αλλάζουν ούτε όνομα ούτε τύπο υπολογισμού.

Να σημειώσουμε ότι η παράγραφος που ακολουθεί, η 2.5.4.2, θα αναπτυχθεί με οριζόντιο προσανατολισμό σελίδας, λόγω του μεγάλου μήκους ορισμένων μαθηματικών σχέσεων που περιέχει.

2.5.4.2 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε κάθε μία από τις παραμέτρους, που συγκεντρωτικά παραθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ακριβώς όπως κάναμε και στην περίπτωση της Var. 01, αρχικά θα εξηγήσουμε σε τί αντιστοιχεί η κάθε παράμετρος και ακολούθως θα παραθέτουμε τον τύπο υπολογισμού και την τιμή της. Στην αναφορά μας αυτή θα διατηρηθεί η σειρά και η αρίθμηση των παραμέτρων που δόθηκε στον Πίνακα 2.3. Όπου χρειάζεται θα παραπέμπουμε σε προηγούμενα σχήματα και επεξηγήσεις, εκ των οποίων ορισμένα αφορούν στην Var. 01 όμως από πλευράς γεωμετρικών συμπερασμάτων είναι απολύτως λειτουργικά και για την Var. 02 (και προφανώς δηλ. δεν επαναλαμβάνουμε τα σχήματα αυτά για οικονομία χώρου και χρόνου).

1) *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor*:

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 58936784.27 \text{ S/m} \quad (2.89)$$

2) *mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor*:

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$m_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 0.999988 \quad (2.90)$$

3) *Inner_Conductor_Strand_Diameter*:

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα – κλώνους, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$I_{\text{Inner_Conductor_Strand_Diameter}} = 0.160 \text{ mm} \quad (2.91)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των κλώνων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον $2 \mu\text{m}$ (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

4) *Number_of_Strands*:

Ο αριθμός των νημάτων – κλώνων, που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$N_{\text{of_Strands}} = 7 \quad (2.92)$$

5) Inner_Conductor_Diameter:

Η κυκλική διάμετρος του νοητού κύκλου, που περιβάλλει τους 7 κλώνους του εσωτερικού αγωγού, η οποία θα θεωρείται και ως η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού, δίνεται από την σχέση:

$$Inner_Conductor_Diameter = 3 \cdot Inner_Conductor_Strand_Diameter \quad (2.93)$$

$$\xrightarrow{(2.91)} Inner_Conductor_Diameter = 0.480 \text{ mm} \quad (2.94)$$

Στην παράγραφο 2.5.4.3 θα εξηγήσουμε πώς προκύπτει αυτή η σχέση.

6) Thickness_of_Dielectric:

Το πάχος του διηλεκτρικού, που χρησιμοποιείται για την μόνωση του εσωτερικού αγωγού, επελέχθη να είναι:

$$Thickness_of_Dielectric = 0.318 \text{ mm} \quad (2.95)$$

Το γιατί επελέχθη η τιμή, που δίνεται από αυτή την παράσταση, θα εξηγηθεί στην παράγραφο 2.5.4.3.

7) Insulated_Inner_Conductor_Diameter:

Η διάμετρος του μονωμένου εσωτερικού αγωγού (δηλ. του εσωτερικού αγωγού μαζί με το διηλεκτρικό του) δίνεται από την σχέση:

$$Insulated_Inner_Conductor_Diameter = Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Dielectric \quad (2.96)$$

$$\xrightarrow{(2.94),(2.95)} Insulated_Inner_Conductor_Diameter = 1.116 \text{ mm} \quad (2.97)$$

8) Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter:

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος⁵¹, που το πρότυπο υπαγορεύει για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό (δηλ. τον εσωτερικό αγωγό μαζί με το διηλεκτρικό του), είναι:

$$Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter = 1.4 \text{ mm} \quad (2.98)$$

9) SC_Filler_Diameter:

Η διάμετρος του πληρωτή του SC, δίνεται από την σχέση:

$$SC_Filler_Diameter = \frac{2}{3} \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.99)$$

⁵¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 18.

$$\stackrel{(2.97)}{\implies} SC_Filler_Diameter = 0.744 \text{ mm} \quad (2.100)$$

Η εξήγηση αυτού του μαθηματικού τύπου θα δοθεί στην παράγραφο 2.5.4.3.

10) Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC:

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.5 στην παράγραφο 2.5.3.3 που προηγήθηκε, αλλά και από το Σχήμα 2.3, η διάμετρος του πυρήνα του SC, δηλ. του SC χωρίς το εσωτερικό δεματικό, την εσωτερική θωράκιση και τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC = 2 \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.101)$$

$$\stackrel{(2.97)}{\implies} Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC = 2.232 \text{ mm} \quad (2.102)$$

11) x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC:

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού εντός του SC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = 0 \text{ mm} \quad (2.103)$$

12) y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC:

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού εντός του SC, είναι:

$$y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = \frac{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.104)$$

$$\stackrel{(2.97)}{\implies} y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC = 0.558 \text{ mm} \quad (2.105)$$

Σχόλιο: Ο κάτω μονωμένος εσωτερικός αγωγός εντός του SC βρίσκεται προφανώς τοποθετημένος σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει την ίδια τετμημένη και αντίθετη τεταγμένη με αυτές του άνω μονωμένου εσωτερικού αγωγού⁵².

13) x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC:

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού πληρωτού εντός του SC, είναι:

⁵² Βλ. ανωτ. υποσ. 19.

$$x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = Insulated_Inner_Conductor_Diameter - \frac{SC_Filler_Diameter}{2} \quad (2.106)$$

$$\xrightarrow{(2.97),(2.100)} x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = 0.744 \text{ mm} \quad (2.107)$$

14) *y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC:*

Βάσει του Σχήματος 2.5, η τεταγμένη στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού πληρωτού εντός του SC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC = 0 \text{ mm} \quad (2.108)$$

Σχόλιο: Ο αριστερός πληρωτής εντός του SC βρίσκεται προφανώς τοποθετημένος σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει αντίθετη τετμημένη και την ίδια τεταγμένη με αυτές του δεξιού πληρωτή⁵³.

15) *Min_SC_Lay_Length:*

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε *mm*:

$$Min_SC_Lay_Length = 27 \text{ mm} \quad (2.109)$$

16) *Max_SC_Lay_Length:*

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε *mm*:

$$Max_SC_Lay_Length = 35 \text{ mm} \quad (2.110)$$

17) *SC_Lay_Length:*

Το μήκος συστροφής, που τελικώς επελέγη για το SC, είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω τιμών (και η επιλογή αυτή έγινε για να ισαπέχει το επιλεγμένο μήκος συστροφής από τις δύο ακραίες τιμές του), δηλ.:

$$SC_Lay_Length = \frac{Min_SC_Lay_Length + Max_SC_Lay_Length}{2} \quad (2.111)$$

$$\xrightarrow{(2.109),(2.110)} SC_Lay_Length = 31 \text{ mm} \quad (2.112)$$

⁵³ Βλ. ανωτ. υποσ. 19.

18) Thickness_of_SC_Binder:

Το πάχος του δεματικού, που χρησιμοποιείται στο SC, δηλ. του εσωτερικού δεματικού, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Thickness_of_SC_Binder = 0.076 \text{ mm} \quad (2.113)$$

19) Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC:

Η διάμετρος (σε mm) του «δεμένου» πυρήνα του SC, δηλ. του SC με το εσωτερικό δεματικό, χωρίς ακόμη την εσωτερική θωράκιση και τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC = Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_SC_Binder \quad (2.114)$$

$$\xrightarrow{(2.102),(2.113)} Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC = 2.384 \text{ mm} \quad (2.115)$$

20) sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield:

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield = 58735022.18 \text{ S/m} \quad (2.116)$$

21) mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield:

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield = 0.999989 \quad (2.117)$$

22) Inner_Shield_Strand_Diameter:

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα, που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση, καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Inner_Shield_Strand_Diameter = 0.079 \text{ mm} \quad (2.118)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των νημάτων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον $2.5 \mu m$ (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

23) Thickness_of_Inner_Shield:

Το θεωρούμενο πάχος της εσωτερικής θωράκισης⁵⁴ υπολογίστηκε ως το διπλάσιο της διαμέτρου των νημάτων που συνθέτουν την εν λόγω θωράκιση, δηλ.:

$$Thickness_of_Inner_Shield = 2 \cdot Inner_Shield_Strand_Diameter \quad (2.119)$$

$$\xrightarrow{(2.118)} Thickness_of_Inner_Shield = 0.158 \text{ mm} \quad (2.120)$$

24) Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC:

Η διάμετρος του θωρακισμένου πυρήνα του SC, δηλ. του SC με το εσωτερικό δεματικό και την εσωτερική θωράκιση αλλά χωρίς ακόμη τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC = Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield \quad (2.121)$$

$$\xrightarrow{(2.115),(2.120)} Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC = 2.7 \text{ mm} \quad (2.122)$$

25) Coverage_Factor_of_Inner_Shield:

Για τον παράγοντα (οπτικής) κάλυψης⁵⁵ της εσωτερικής πλεκτής θωρακίσεως μπορούν να επιλεγούν διάφορες τιμές, προκειμένου να δούμε πώς επηρεάζεται η H/M συμπεριφορά του συστήματός μας από το πόσο «σφικτή» είναι η εσωτερική θωράκιση (η θωράκιση των SCs). Επειδή το πρότυπο απαιτούσε ο παράγων αυτός να είναι οπωσδήποτε από 0.9 και πάνω (δηλ. το ποσοστό κάλυψης δεν επιτρέπεται να είναι λιγότερο από 90%), για αρχή ορίσαμε την παράμετρο αυτή στο κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, δηλ.:

$$Coverage_Factor_of_Inner_Shield = 0.9 \quad (2.123)$$

26) Thickness_of_Inner_Jacket:

Το πάχος του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος περιορίζεται από το πρότυπο μόνο ως προς την μέγιστη τιμή, δηλ. δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.2 mm. Εδώ επιλέξαμε αυθαίρετα ακριβώς αυτό το μέγιστο όριο ως τιμή για το πάχος αυτό⁵⁶, απλώς και μόνο για να είναι εύκολη και γρήγορη στο μάτι μια επαλήθευση ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου. Δηλ.:

$$Thickness_of_Inner_Jacket = 0.2 \text{ mm} \quad (2.124)$$

27) SC_Diameter:

Η διάμετρος του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους (ή του SC) δίνεται από την σχέση:

⁵⁴ Για την εξήγηση αυτού του συμπεράσματος βλ. στο Παράρτημα Α, την υποενότητα Α.2.2.

⁵⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 22.

⁵⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 23.

$$SC_Diameter = Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket \quad (2.125)$$

$$\xrightarrow{(2.122),(2.124)} SC_Diameter = 3.1 \text{ mm} \quad (2.126)$$

28) Max_SC_Diameter:

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος⁵⁷, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι:

$$Max_SC_Diameter = 3.1 \text{ mm} \quad (2.127)$$

29) RC_Filler_Diameter:

Η διάμετρος του πληρωτή του RC, δίνεται από την σχέση:

$$RC_Filler_Diameter = SC_Diameter \cdot (\sqrt{2} - 1) \quad (2.128)$$

$$\xrightarrow{(2.126)} RC_Filler_Diameter = 1.2840620433566 \text{ mm} \quad (2.129)$$

Η εξήγηση αυτού του μαθηματικού τύπου θα δοθεί στην παράγραφο 2.5.4.3.

30) Min_Distance_between_subcables:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα 4 SCs. Ο λόγος που δημιουργήθηκε αυτή η παράμετρος και η φιλοσοφία πίσω από την επιλογή της τιμής της εξηγούνται στην παράγραφο 2.5.3.3. Η τιμή, που τελικά επιλέχθηκε για την παράμετρο αυτή, είναι:

$$Min_Distance_between_subcables = 0.000002 \text{ mm} \quad (2.130)$$

31) Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC:

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.6 στην παράγραφο 2.5.3.3 που προηγήθηκε, αλλά και από το Σχήμα 2.3, η διάμετρος του πυρήνα του RC, δηλ. του RC χωρίς το εξωτερικό δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC = RC_Filler_Diameter + (2 \cdot Min_Distance_between_subcables) + (2 \cdot SC_Diameter) \quad (2.131)$$

$$\xrightarrow{(2.129),(2.130),(2.126)} Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC = 7.4840660433566 \text{ mm} \quad (2.132)$$

⁵⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 24.

32) $x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω SC εντός του RC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.133)$$

33) $y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του άνω SC εντός του RC, είναι:

$$y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = \frac{RC_Filler_Diameter}{2} + Min_Distance_between_subcables + \frac{SC_Diameter}{2} \quad (2.134)$$

$$\xrightarrow{(2.129),(2.130),(2.126)} y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC = 2.1920330216783 \text{ mm} \quad (2.135)$$

Σχόλιο: Το κάτω SC εντός του RC προφανώς βρίσκεται τοποθετημένο σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει την ίδια τετμημένη και αντίθετη τεταγμένη με αυτές του άνω SC⁵⁸.

34) $x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού SC εντός του RC, είναι:

$$x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = \frac{RC_Filler_Diameter}{2} + Min_Distance_between_subcables + \frac{SC_Diameter}{2} \quad (2.136)$$

$$\xrightarrow{(2.129),(2.130),(2.126)} x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = 2.1920330216783 \text{ mm} \quad (2.137)$$

35) $y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του δεξιού SC εντός του RC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.138)$$

Σχόλιο: Το αριστερό SC εντός του RC προφανώς βρίσκεται τοποθετημένο σε θέση, τέτοια ώστε το κέντρο του να έχει αντίθετη τετμημένη και την ίδια τεταγμένη με αυτές του δεξιού SC⁵⁹.

⁵⁸ Βλ. ανωτ. υποσ. 25.

⁵⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 25.

36) $x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τετμημένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του κεντρικού πληρωτού εντός του RC, είναι προφανώς:

$$x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.139)$$

37) $y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC$:

Βάσει του Σχήματος 2.6, η τεταγμένη, στην οποία πρέπει να τοποθετηθεί το κέντρο του κεντρικού πληρωτού εντός του RC, είναι προφανώς:

$$y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC = 0 \text{ mm} \quad (2.140)$$

38) $Min_RC_Lay_Length$:

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το RC, είναι σε mm :

$$Min_RC_Lay_Length = 74 \text{ mm} \quad (2.141)$$

39) $Max_RC_Lay_Length$:

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος συστροφής, που το πρότυπο υπαγορεύει για το SC, είναι σε mm :

$$Max_RC_Lay_Length = 98 \text{ mm} \quad (2.142)$$

40) RC_Lay_Length :

Το μήκος συστροφής, που τελικώς επελέγη για το RC, είναι ο μέσος όρος των δύο παραπάνω τιμών (και η επιλογή αυτή έγινε για να ισαπέχει το επιλεγμένο μήκος συστροφής από τις δύο ακραίες τιμές του), δηλ.:

$$RC_Lay_Length = \frac{Min_RC_Lay_Length + Max_RC_Lay_Length}{2} \quad (2.143)$$

$$\xrightarrow{(2.141),(2.142)} RC_Lay_Length = 86 \text{ mm} \quad (2.144)$$

41) $Thickness_of_RC_Binder$:

Το πάχος του δεματικού, που χρησιμοποιείται στο RC, δηλ. του εξωτερικού δεματικού καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Thickness_of_RC_Binder = 0.102 \text{ mm} \quad (2.145)$$

42) Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC:

Η διάμετρος (σε mm) του «δεμένου» πυρήνα του RC, δηλ. του RC με το εξωτερικό δεματικό, χωρίς ακόμη την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC = Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder \quad (2.146)$$

$$\xrightarrow{(2.132),(2.145)} Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC = 6.592 \text{ mm} \quad (2.147)$$

43) sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield:

Η ειδική αγωγιμότητα, σ , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield = 58676267.50 \text{ S/m} \quad (2.148)$$

44) mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield:

Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_r , του υλικού, το οποίο προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό των συρματιδίων, που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση, καθορίζεται από την μελέτη σχετικά με το επιδερμικό φαινόμενο (η οποία αναπτύσσεται στο Παράρτημα Β) και είναι:

$$mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield = 0.999989 \quad (2.149)$$

45) Outer_Shield_Strand_Diameter:

Η διάμετρος καθενός από τα νήματα που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση καθορίζεται από το πρότυπο και είναι:

$$Outer_Shield_Strand_Diameter = 0.102 \text{ mm} \quad (2.150)$$

Οι τιμή αυτή περιλαμβάνει προφανώς και το πάχος της επαργύρωσης των νημάτων αυτών, το οποίο σύμφωνα με το πρότυπο πρέπει να είναι τουλάχιστον $2.5 \mu\text{m}$ (όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.5.1).

46) Thickness_of_Outer_Shield:

Το θεωρούμενο πάχος της εσωτερικής θωράκισης⁶⁰ υπολογίστηκε ως το διπλάσιο της διαμέτρου των νημάτων που συνθέτουν την εν λόγω θωράκιση, δηλ.:

$$Thickness_of_Outer_Shield = 2 \cdot Outer_Shield_Strand_Diameter \quad (2.151)$$

⁶⁰ Για την εξήγηση αυτού του συμπεράσματος βλ. στο Παράρτημα Α, την υποενότητα Α.2.2.

$$\xrightarrow{(2.150)} \text{Thickness_of_Outer_Shield} = 0.204 \text{ mm} \quad (2.152)$$

47) Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC:

Η διάμετρος του «δεμένου» και θωρακισμένου πυρήνα του RC, δηλ. του RC με το εξωτερικό δεματικό και την εξωτερική θωράκιση αλλά χωρίς ακόμη τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμα, δίνεται από την σχέση:

$$\text{Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC} = \text{Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Outer_Shield} \quad (2.153)$$

$$\xrightarrow{(2.147),(2.152)} \text{Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC} = 8.0960660433566 \text{ mm} \quad (2.154)$$

48) Coverage_Factor_of_Outer_Shield:

Όπως συμβαίνει και με την εσωτερική θωράκιση, για τον παράγοντα (οπτικής) κάλυψης⁶¹ της εξωτερικής πλεκτής θωρακίσεως μπορούν να επιλεγούν διάφορες τιμές, προκειμένου να δούμε πώς επηρεάζεται η Η/Μ συμπεριφορά του συστήματός μας από το πόσο «σφικτή» είναι η εξωτερική θωράκιση (η θωράκιση του RC).. Επειδή το πρότυπο απαιτούσε ο παράγων αυτός να είναι οπωσδήποτε από 0.9 και πάνω (δηλ. το ποσοστό κάλυψης δεν επιτρέπεται να είναι λιγότερο από 90%), για αρχή ορίσαμε την παράμετρο αυτή στο κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, δηλ.:

$$\text{Coverage_Factor_of_Outer_Shield} = 0.9 \quad (2.155)$$

49) Thickness_of_Outer_Jacket:

Το πάχος του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος περιορίζεται από το πρότυπο μόνο ως προς την μέγιστη τιμή, δηλ. δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0.25 mm. Εδώ επιλέξαμε αυθαίρετα ακριβώς αυτό το μέγιστο όριο ως τιμή για το πάχος αυτό⁶², απλώς και μόνο για να είναι εύκολη και γρήγορη στο μάτι μια επαλήθευση ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου. Δηλ.:

$$\text{Thickness_of_Outer_Jacket} = 0.25 \text{ mm} \quad (2.156)$$

50) RC_Diameter:

Η διάμετρος του πλήρους καλωδίου SpW (ή του RC) δίνεται από την σχέση:

$$\text{RC_Diameter} = \text{Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Outer_Jacket} \quad (2.157)$$

⁶¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 22.

⁶² Βλ. ανωτ. υποσ. 29.

$$\xrightarrow{(2.154),(2.156)} RC_Diameter = 8.5960660433566 \text{ mm} \quad (2.158)$$

51) *Max_RC_Diameter*:

Η μέγιστη δυνατή διάμετρος⁶³, που το πρότυπο υπαγορεύει για το RC, είναι:

$$Max_RC_Diameter = 9 \text{ mm} \quad (2.159)$$

2.5.4.3 Αναλυτική Επεξήγηση του Υπολογισμού των Παραμέτρων

Η παράγραφος αυτή, όπως και η αντίστοιχή της για την Var. 01, δημιουργήθηκε για να αποτυπώσει αναλυτικά τις πιο σύνθετες εξηγήσεις και τους πιο πολύπλοκους από τους υπολογισμούς, που χρειάστηκαν κατά την δημιουργία της λίστας παραμέτρων της διατομής της Var. 02. Σε αυτή δηλ. την παράγραφο, ο αναγνώστης μπορεί να εμβαθύνει στον τρόπο σκέψης πίσω από τους τύπους υπολογισμούς, που παρετέθησαν στην παράγραφο 2.5.4.2.

Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι, πλην της παραμέτρου *Thickness_of_Dielectric*, οι σχέσεις υπολογισμού των υπολοίπων παραμέτρων προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο προκύπτουν και στην περίπτωση της Var. 01 (και τούτο διότι η φιλοσοφία πίσω από αυτές τις σκέψεις ήταν η ίδια και στις δύο παραλλαγές, δηλ. να δομηθεί η διατομή με την μέγιστη δυνατή γεωμετρική ακρίβεια καθώς και να τηρηθούν τα όρια που έχει θεσπίσει το πρότυπο). Δεν θα χρειαζόταν επομένως να κάνουμε ειδικά μνεία για αυτές. Απλώς για λόγους συμμετρίας με τα γεγραμμένα στην παράγραφο 2.5.3.3, θα αναφερθούμε και εδώ σε αυτές, αλλά επιγραμματικά, παραπέμποντας στα σχήματα και στις αποδείξεις που δόθηκαν στην παράγραφο αυτή. Όπως έγινε και στην παράγραφο 2.5.3.3, οι επιλεγμένοι υπολογισμοί θα παρατεθούν με μία σειρά που να εξυπηρετεί την κατανόηση της αλληλεξάρτησης των παραμέτρων και όχι ακριβώς με την σειρά με την οποία δίνονται οι παράμετροι στον Πίνακα 2.3.

Παράμετρος: *Inner_Conductor_Diameter*

Η εξήγηση της σχέσεως (2.93), η οποία μας δίνει την παράμετρο *Inner_Conductor_Diameter*, είναι πανομοιότυπη με αυτήν που δόθηκε στην παράγραφο 2.5.3.3 για την ίδια παράμετρο της διατομής της Var. 01. Διαφέρει μόνο η διάμετρος του κάθε κλώνου, άρα και το τελικό αποτέλεσμα.

Παράμετρος: *SC_Filler_Diameter*

Η διάμετρος του πληρωτή του SC, δίνεται από την σχέση (2.99). Η απόδειξη της σχέσεως αυτής είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν που δόθηκε στην παράγραφο 2.5.3.3 για την αντίστοιχη παράμετρο της διατομής της Var. 01. Και αυτό συμβαίνει επειδή ο πυρήνας του SC, από γεωμετρικής πλευράς, δηλ. όσον αφορά στις επαφές των εσωτερικών του κύκλων, είναι ίδιος και στις δύο παραλλαγές (δηλ. η γεωμετρική αναπαράσταση του Σχήματος 2.5 είναι και εδώ εφαρμόσιμη και μας οδηγεί στην ίδια απόδειξη).

⁶³ Βλ. ανωτ. υποσ. 30.

Σχόλιο περί της τιμής της διαμέτρου του SC Filler και του ανωτάτου ορίου της διαμέτρου του μονωμένου εσωτερικού αγωγού:

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] υπαγόρευε ότι η διάμετρος του πληρωτή του SC έπρεπε να είναι 1 mm. Όμως προκειμένου να πετύχουμε την σωστή, σύμφωνα και με το Σχήμα 2.3, τοποθέτηση, επιλέξαμε την τιμή 0.744 mm της σχέσεως (2.100) (που παραθέσαμε παραπάνω) για την διάμετρο και όχι αυτή του προτύπου. Άλλωστε η διάμετρος του πληρωτή δεν είναι καθοριστικής σημασίας για τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του καλωδίου (όπως π.χ. είναι οι διαμέτροι των αγωγών και τα πάχη επαργύρωσης) γι' αυτό και θεωρήσαμε ότι δεν αποτελεί πρόβλημα η αλλαγή στην τιμή της μέσα σε ένα σχετικά λογικό εύρος τιμών. Άλλωστε αν επιλέγαμε σταθερή τιμή το 1 mm για την διάμετρο του πληρωτή, τότε προκειμένου η γεωμετρία να ήταν σωστή, σύμφωνα με την σχέση (2.99), θα έπρεπε η διάμετρος του μονωμένου εσωτερικού αγωγού να ήταν 1.5 mm (και αυτό θα επιτυγχανόταν με αύξηση του πάχους του διηλεκτρικού, το οποίο είναι στην ευχέρεια μας). Αυτό όμως απαγορεύεται από το πρότυπο αφού η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό είναι 1.4 mm⁶⁴.

Παράμετρος: RC_Filler_Diameter

Η διάμετρος του πληρωτή του RC, δίνεται από την σχέση (2.128). Και για αυτή την σχέση, η απόδειξη είναι πανομοιότυπη με αυτήν που δόθηκε στην παράγραφο 2.5.3.3 για την αντίστοιχη παράμετρο της διατομής της Var. 01 και πηγάζει από τα ίδια γεωμετρικά βήματα και πάλι βάσει του Σχήματος 2.6.

Σχόλιο περί της τιμής της διαμέτρου του RC Filler και του ανωτάτου ορίου της διαμέτρου του SC:

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] υπαγόρευε ότι η διάμετρος του πληρωτή του RC έπρεπε να είναι 1.4 mm. Όμως προκειμένου να πετύχουμε την σωστή, σύμφωνα και με το Σχήμα 2.3, τοποθέτηση, επιλέξαμε την τιμή 1.2840620433566 mm της σχέσεως (2.129) (που παραθέσαμε παραπάνω) για την διάμετρο και όχι αυτή του προτύπου. Άλλωστε, όπως ισχύει γενικά για όλους τους πληρωτές και όπως επισημάναμε και για τον πληρωτή του SC, η διάμετρος τους δεν είναι καθοριστικής σημασίας για τις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του καλωδίου (όπως π.χ. είναι οι διαμέτροι των αγωγών και τα πάχη επαργύρωσης) γι' αυτό και θεωρήσαμε ότι δεν αποτελεί πρόβλημα η αλλαγή στην τιμή της μέσα σε ένα σχετικά λογικό εύρος τιμών. Άλλωστε αν επιλέγαμε σταθερή τιμή το 1.4 mm για την διάμετρο του πληρωτή, τότε προκειμένου η γεωμετρία να ήταν σωστή και οι επαφές των υποκαλωδίων του RC ακριβείς, σύμφωνα με την σχέση (2.128), θα έπρεπε η διάμετρος του SC να ήταν 3.379898987 mm (και αυτό θα επιτυγχανόταν με αύξηση του πάχους του διηλεκτρικού, το οποίο είναι στην ευχέρεια μας). Αυτό όμως απαγορεύεται από το πρότυπο αφού η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για τον μονωμένο εσωτερικό αγωγό είναι 3.1 mm⁶⁵.

Παράμετρος: Min_Distance_between_subcables

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πληρωτή του RC και καθενός από τα τέσσερα SCs. Ο λόγος που εισήχθη σαν παράμετρος και σε αυτό το μοντέλο είναι ο ίδιος με την περίπτωση της Var. 01. Δηλ. το ίδιο πρόβλημα με την συστροφή των SCs εντός του RC, αφ' ότου παρατηρήθηκε στην Var. 01, στην συνέχεια παρατηρήθηκε και στην Var. 02. Δόθηκε λοιπόν και εδώ ως λύση η εισαγωγή της παραμέτρου αυτής. Συνεπώς όλα τα λεγόμενα για την παράμετρο αυτή στην παράγραφο 2.5.3.3, μαζί με τα σχετικά σχόλια, ισχύουν και εδώ.

⁶⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 33.

⁶⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 35.

Η απόσταση αυτή, όπως και πριν, θα εφαρμοστεί προσθετικά στην οριζόντια απόσταση του RC Filler από το δεξί και το αριστερό SC και στην κατακόρυφη απόστασή του από το άνω και κάτω SC. Γι' αυτό και εμφανίζεται στις σχέσεις (2.131), (2.134) και (2.136).

Η τιμή που επιλέχθηκε για την παράμετρο αυτή στην περίπτωση της διατομής της Var. 02, είναι και πάλι τα 0.000002 mm [όπως παρετέθη στην σχέση (2.130)]. Ύστερα από διάφορες δοκιμές, καταλήξαμε στην τιμή αυτή, για τον ίδιο βασικά λόγο που ίσχυε και για την περίπτωση της Var. 01.

Παράμετρος: Thickness_of_Dielectric

Η παράμετρος *Thickness_of_Dielectric*, η οποία μας δίνει το πάχος του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται για την μόνωση των εσωτερικών αγωγών των σημάτων σε κάθε διαφορικό ζεύγος, ήταν εκείνη η οποία και στην περίπτωση της Var. 02, είχε τις περισσότερες διαφορετικές δυνατότητες ως προς την εκχώρηση τιμής. Με λίγες μικρές διαφοροποιήσεις, είχαμε πάλι τις ακόλουθες σκέψεις για την παράμετρο αυτή:

1^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Η πρώτη σκέψη είναι η ίδια με την πρώτη σκέψη που κάναμε και για την Var. 01. Αν δηλ. επιλέξουμε

$$\text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter} = \text{Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter} \quad (2.160)$$

τότε, δεδομένης της διαμέτρου του εσωτερικού αγωγού, θα έχουμε ότι:

$$(2.96) \Leftrightarrow \text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{\text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter} - \text{Inner_Conductor_Diameter}}{2} \xrightarrow{(2.160)}$$

$$\text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{\text{Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter} - \text{Inner_Conductor_Diameter}}{2} \xrightarrow{(2.98),(2.94)}$$

$$\text{Thickness_of_Dielectric} = \frac{1.4 \text{ mm} - 0.480 \text{ mm}}{2} \Rightarrow$$

$$\text{Thickness_of_Dielectric} = 0.460 \text{ mm}$$

Στην συνέχεια ελέγχουμε το αμέσως επόμενο όριο, που είναι η διάμετρος του SC. Το ανώτατο όριο γι' αυτήν είναι τώρα τα 3.1 mm [σχέση (2.127)]. Η *SC_Diameter* υπολογίζεται βάσει της σχέσεως (2.125), που εξαγάγαμε στην παράγραφο 2.5.4.2 και που αφορά στην Var. 02 (η οποία έχει binder και στο SC):

$$(2.125) \xLeftrightarrow{(2.121)} \text{SC_Diameter} = \text{Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Shield} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket}$$

$$\xLeftrightarrow{(2.114)} \text{SC_Diameter} = \text{Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC} + 2 \cdot \text{Thickness_of_SC_Binder} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Shield} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket}$$

$$\xLeftrightarrow{(2.101)} \text{SC_Diameter} = 2 \cdot \text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter} + 2 \cdot \text{Thickness_of_SC_Binder} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Shield} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket} \quad (2.161)$$

$$\xLeftrightarrow{(2.160)} \text{SC_Diameter} = 2 \cdot \text{Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter} + \text{Thickness_of_SC_Binder} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Shield} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket}$$

$$\xrightarrow{(2.98),(2.113),(2.120)} \text{SC_Diameter} = 2 \cdot 1.4 \text{ mm} + 2 \cdot 0.076 + 2 \cdot 0.158 \text{ mm} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket}$$

$$\Rightarrow \text{SC_Diameter} = 3.268 \text{ mm} + 2 \cdot \text{Thickness_of_Inner_Jacket} > 3.1 \text{ mm} = \text{Max_SC_Diameter}$$

Ήδη από την τελευταία αυτή σχέση παρατηρούμε ότι πριν καν προσθέσουμε το πάχος του εσωτερικού μανδύα του SC, η διάμετρος του έχει ξεπεράσει το ανώτατο όριο. Αρα αυτός ο τρόπος επιλογής τιμής για το πάχος της μόνωσης του εσωτερικού αγωγού δεν γίνεται αποδεκτός. Δηλ., όπως συνέβη και με την Var. 01, ακόμα και για να πετύχουμε διάμετρο του SC 3.1 mm , που είναι το ανώτατο όριο (δεν συζητάμε καν ακόμα για να πετύχουμε μικρότερη τιμή για αυτήν) πρέπει υποχρεωτικά να μικρύνει το *Insulated_Inner_Conductor_Diameter* και για να συμβεί αυτό μονόδρομος είναι το να μικρύνει η τιμή του *Thickness_of_Dielectric*.

2^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Και αυτός ο τρόπος είναι ίδιος με τον αντίστοιχο 2^ο τρόπο για την Var. 01. Δηλ. εν προκειμένω θα αποδώσουμε στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* την τιμή εκείνη που μας οδηγεί στην μέγιστη δυνατή τιμή για την διάμετρο του SC. Συγκεκριμένα για την παραλλαγή αυτή, το πρότυπο μας περιορίζει ώστε να έχουμε μέγιστη διάμετρο για το SC ίση με 3.1 mm. Άρα αν επιλέξουμε:

$$SC_Diameter = Max_SC_Diameter \quad (2.162)$$

τότε από την σχέση (2.128) θα έχουμε:

$$(2.128) \xrightarrow{(2.162)} RC_Filler_Diameter = Max_SC_Diameter \cdot (\sqrt{2} - 1)$$

$$\xrightarrow{(2.127)} RC_Filler_Diameter \cong 1.284062 \text{ mm} \quad (2.163)$$

αλλά, όπως έχουμε πει ξανά και στην παράγραφο 2.5.3.3 στο σχόλιο μετά την απόδειξη της σχέσεως για την *RC_Filler_Diameter*, αν δεν μας ενδιαφέρει να είναι ακριβώς όσο λέει το πρότυπο η διάμετρος του κεντρικού filler, τότε μπορούμε να κινηθούμε έτσι και να συνεχίσουμε την διερεύνηση. Συνεπώς έχουμε:

$$(2.161) \xrightarrow{(2.96)} SC_Diameter = 2 \cdot (Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_Dielectric) + 2 \cdot Thickness_of_SC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\Leftrightarrow SC_Diameter = 2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 4 \cdot Thickness_of_Dielectric + 2 \cdot Thickness_of_SC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket$$

$$\Leftrightarrow Thickness_of_Dielectric = \frac{SC_Diameter - (2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_SC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket)}{4} \quad (2.164)$$

$$\xrightarrow{(2.162)} Thickness_of_Dielectric = \frac{Max_SC_Diameter - (2 \cdot Inner_Conductor_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_SC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Inner_Jacket)}{4} \quad (2.165)$$

$$\xrightarrow{(2.127),(2.94),(2.113),(2.120),(2.124)} Thickness_of_Dielectric = \frac{3.1 \text{ mm} - (2 \cdot 0.480 \text{ mm} + 2 \cdot 0.076 \text{ mm} + 2 \cdot 0.158 \text{ mm} + 2 \cdot 0.2 \text{ mm})}{4} \Rightarrow$$

$$Thickness_of_Dielectric = 0.318 \text{ mm} \quad (2.166)$$

Κατά τον ορισμό όμως των παραμέτρων στο πρόγραμμα, προτιμήσαμε να μην ορίσουμε με τον τρόπο αυτό το *SC_Diameter* [δηλ. από την (2.162) απ' ευθείας ίσο με 3.1 mm] και να αφήσουμε το *Thickness_of_Dielectric* να εξαρτάται από αυτό [βάσει της (2.164)], αλλά να ορίσουμε σαν «ελεύθερη» μεταβλητή το *Thickness_of_Dielectric* [στην τιμή όμως που θα προκύψει βάσει της σχέσεως (2.165)] και κατόπιν να «χτίσουμε» από μέσα προς τα έξω τα επίπεδα και τις στρώσεις του SC μέχρι να φτάσουμε στην *SC_Diameter* που θα δίνεται από τη γνωστή σχέση (2.125), αλλά θα καταλήγει προφανώς στην τιμή που θέλουμε, δηλ. το 3.1 mm, που είναι και η μέγιστη επιτρεπόμενη.

Τώρα πρέπει, όπως και πριν, να ελέγξουμε αν τυχόν με την επιλογή μας αυτή στην παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* ξεπεράσαμε κάποιο από τα επόμενα όρια στις διαμέτρους των υποκαλωδίων του SpW. Το όριο *Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter*, δεν είναι ανάγκη να το ελέγξουμε, διότι εν προκειμένω σίγουρα θα ικανοποιείται (μιας και στον 1^ο τρόπο ικανοποιείτο με την παράμετρο *Thickness_of_Dielectric* να έχει μεγαλύτερη τιμή απ' ότι τώρα). Εκ κατασκευής τώρα έχουμε ότι η *SC_Diameter* είναι ακριβώς ίση με το ανώτατο όριό της. Τώρα, αμέσως επόμενο αλλά και τελευταίο όριο που πρέπει να ελεγχθεί είναι η διάμετρος του RC. Το ανώτατο όριο γι' αυτήν είναι πλέον τα 9 mm. Η σχέση υπολογισμού της είναι:

$$(2.157) \xrightarrow{(2.153)} RC_Diameter = Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket$$

$$\stackrel{(2.146)}{\iff} RC_Diameter = Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_RC + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket \stackrel{(2.131)}{\iff}$$

$$RC_Diameter = RC_Filler_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket \quad (2.167)$$

$$\stackrel{(2.162)}{\iff} RC_Diameter = RC_Filler_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot Max_SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket$$

$$\stackrel{(2.163),(2.130),(2.127),(2.145),(2.152),(2.156)}{\iff} RC_Diameter \cong 1.284 \text{ mm} + (2 \cdot 0.000002) + 2 \cdot 3.1 \text{ mm} + 2 \cdot 0.102 \text{ mm} + 2 \cdot 0.204 \text{ mm} + 2 \cdot 0.25 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow RC_Diameter \cong 8.596066 \text{ mm} < 9 \text{ mm} = Max_RC_Diameter$$

Άρα παρατηρούμε ότι όταν τα SCs έχουν την μέγιστη δυνατή διάμετρο και ακόμα και με μέγιστη τιμή στο *Thickness_of_Outer_Jacket*, η διάμετρος του RC παραμένει εντός του ορίου της. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την Var. 01, όπου παρατηρήσαμε ότι και με τα SCs στην μέγιστη τιμή διαμέτρου τους, η διάμετρος του RC έβγαινε εκτός προδιαγραφών του προτύπου και υπήρχε μόνο μια δυνατότητα να επιστρέψει εντός αυτών, αλλά μόνο με κατάλληλη μείωση του πάχους του εξωτερικού μανδύα (πρακτική που αναπτύξαμε στον 2^ο τρόπο επιλογής τιμής για το *Thickness_of_Dielectric* στην Var. 01, αλλά που δεν υιοθετήσαμε τελικά, για τους λόγους που εξηγήσαμε στην παράγραφο 2.5.3.3). Επομένως, στην περίπτωση της 2^{ης} παραλλαγής του SpW, αυτός ο τρόπος ανάθεσης τιμής στην παράμετρο *Thickness of Dielectric* μπορεί να γίνει αποδεκτός.

Η υλοποίηση πλέον αυτού του σκεπτικού μπορεί να γίνει με 2 εκδοχές:

- Αν θέλουμε μπορούμε να ορίσουμε με μια τόσο αναλυτική σχέση την παράμετρο αυτή, όπως η σχέση (2.165). Αν επιλέξουμε αυτή την προσέγγιση, μπορούμε θεωρητικά να αλλάζουμε τις τιμές των παραμέτρων μας αλλά πάντα θα διατηρούνται οι αλληλεξαρτήσεις τους. Π.χ. αν δοκιμάσουμε μια αλλαγή στο *Thickness_of_Inner_Jacket*, αλλά διατηρήσουμε το *Max_SC_Diameter* στην τιμή που ήταν, τότε το *Thickness_of_Dielectric* θα αλλάξει τιμή και η νέα του τιμή θα είναι αυτή που θα εξασφαλίζει πάντα την διάμετρο του SC να είναι ίση με το μέγιστο αυτό όριο *Max_SC_Diameter*. Ή πάλι, αν θέλουμε θεωρητικά να δούμε τι αποτελέσματα θα παίρναμε αν ξεπερνάγαμε το *Max_SC_Diameter* του προτύπου, τότε απλά θα αλλάζουμε την τιμή στην αντίστοιχη παράμετρο και θα προκύψει αυτόματα το κατάλληλο *Thickness_of_Dielectric*. Αν δηλ. θέλουμε προσωρινά να αφήσουμε τις συνολικές διαμέτρους να μεγαλώσουν και πέραν των ορίων του προτύπου, θα πρέπει να θυμηθούμε ότι η παράμετρος *Thickness_of_Dielectric* καθορίζεται με βάση το μέγιστο όριο για την διάμετρο του SC. Οπότε ή θα πρέπει να αλλάξουμε την τιμή της παραμέτρου *Max_SC_Diameter* (και κατόπιν να κάνουμε ότι αλλαγές θέλουμε π.χ. στο πάχος του εσωτερικού μανδύα), ή θα πρέπει προσωρινά να αντικαταστήσουμε τον τύπο ορισμού αυτής της παραμέτρου με κάποια κατάλληλη τιμή που θα επιλέξουμε (σώζοντας φυσικά κάπου την μαθηματική έκφραση που υπήρχε πριν, για να μπορούμε να επαναφέρουμε τις ρυθμίσεις και εντός των απαιτήσεων του προτύπου ξανά, όταν τελειώσουμε με την θεωρητική αυτή παραλλαγή). Σε αντίθεση τώρα με την Var. 01, ο κίνδυνος που παρατηρήθηκε με αυτόν τον ορισμό του *Thickness_of_Dielectric* (δηλ με την μέσω μαθηματικής σχέσης εξάρτηση του *Thickness_of_Dielectric* με την διάμετρο που τελικά θα καταλήξει να έχει το SC), δεν υπάρχει εδώ. Δηλ. η περίπτωση μια σημαντική μείωση στο πάχος του *Inner_Jacket* να εξωθήσει το *Thickness_of_Dielectric* σε τέτοια αύξηση (ώστε να πετυχαίνει διαρκώς *SC_Diameter = Max_SC_Diameter*) που τελικά η διάμετρος του Insulated Inner Conductor να ξεπεράσει το δικό της ανώτατο όριο, δεν υφίσταται. Και αυτό το συμπεραίνουμε αν πάρουμε την οριακή (και φυσικά θεωρητική και όχι ρεαλιστική) περίπτωση το πάχος του εσωτερικού μανδύα να είναι μηδενικό. Τότε από την σχέση (2.165) θα πάρουμε:

$$(2.165) \stackrel{(2.127),(2.94),(2.113),(2.120)}{\iff} Thickness_of_Dielectric = \frac{3.1 \text{ mm} - (2 \cdot 0.480 \text{ mm} + 2 \cdot 0.076 \text{ mm} + 2 \cdot 0.158 \text{ mm} + 2 \cdot 0 \text{ mm})}{4} = 0.418 \text{ mm}$$

οπότε θα έχουμε από την σχέση (2.96):

$$(2.96) \stackrel{(2.94) \text{ και το παραπάνω αποτέλεσμα}}{\iff} Insulated_Inner_Conductor_Diameter = 0.480 \text{ mm} + 2 \cdot 0.418 \text{ mm} = 1.316 \text{ mm} < 1.4 \text{ mm} = Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter$$

- ο Μπορούμε πάλι, ξέροντας ότι το αποτέλεσμα θα είναι αυτό της σχέσεως (2.166) (δηλ. τα 0.318 mm), να δώσουμε την τιμή αυτή απ' ευθείας ως τιμή της παραμέτρου $Thickness_of_Dielectric$. Επειδή τώρα το αποτέλεσμα αυτό είναι ακριβές [μιας και δεν περιέχει άρρητο αριθμό όπως συνέβαινε στην Var. 01 βλ. σχέση (2.86)], την τιμή αυτή μπορούμε να την εκχωρήσουμε απ' ευθείας στην παράμετρο, χωρίς να μας απασχολεί το ζήτημα της στρογγυλοποίησης. Δίνοντας ακριβώς αυτή την τιμή, το CST θα δώσει αποτέλεσμα στην $SC_Diameter$ ακριβώς ίσο με $Max_SC_Diameter = 3.1 \text{ mm}$. Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου ορισμού της παραμέτρου αυτής είναι ότι φαινομενικά η εξάρτηση από την μέγιστη διάμετρο του SC χάνεται (και υπάρχει μόνο στο μυαλό του χρήστη ουσιαστικά). Έτσι πραγματικά η διατομή του καλωδίου «κτίζεται» από μέσα προς τα έξω, χωρίς κάποια από τις «πιο μέσα» παραμέτρους να εξαρτάται ή να δεσμεύεται από κάποια από τις «πιο έξω» από αυτήν. Έτσι και ο χρήστης είναι πιο ελεύθερος να δοκιμάζει διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους αυτές. Απλώς πρέπει να κρατά στον νου του να ελέγχει, μετά από κάθε αλλαγή, αν οι διάμετροι του Insulated Inner Conductor, του SC και του RC παραμένουν εντός του ανωτάτου ορίου τους η κάθε μία.

3^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Όπως είδαμε και στη Var. 01 στο αντίστοιχο σημείο (παράγραφος 2.5.3.3, 3^{ος} τρόπος επιλογής τιμής για την παράμετρο $Thickness_of_Dielectric$), ο τρόπος αυτός επιλογής τιμής για το πάχος του διηλεκτρικού βασίζεται στην θεώρηση ότι η διάμετρος του RC θα λάβει την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της. Όμως στην Var. 02 παρατηρήσαμε ότι, με εφαρμογή της μέγιστης διαμέτρου στα 4 SCs, η διάμετρος του RC παραμένει εντός του δικού της ορίου και μάλιστα με χρήση της μέγιστης τιμής στο $Thickness_of_Outer_Jacket$ (όπως είδαμε στον 2^ο τρόπο, αμέσως πιο πάνω). Δεν έχει λοιπόν νόημα να εξετάσουμε την περίπτωση να φτάσει η $RC_Diameter$ στο μέγιστο όριό της, διότι ο μόνος τρόπος για να γίνει αυτό θα ήταν με αύξηση της τιμής του $Thickness_of_Dielectric$ (αφού τα $Thickness_of_Inner_Jacket$ και $Thickness_of_Outer_Jacket$ έχουν ήδη τις μέγιστες τιμές τους), κάτι που όμως θα εξωθούσε τα SCs σε διαμέτρους μεγαλύτερες από την μέγιστη επιτρεπόμενη γι' αυτά. Δηλ. αν θελήσουμε να έχουμε:

$$RC_Diameter = Max_RC_Diameter \quad (2.168)$$

τότε, βάσει της σχέσεως (2.167), θα έχουμε:

$$(2.167) \xrightarrow{(2.128),(2.168)} RC_Diameter = (\sqrt{2} - 1) \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Min_Distance_between_subcables + 2 \cdot SC_Diameter + 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield + 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket$$

$$\Leftrightarrow SC_Diameter = \frac{Max_RC_Diameter - 2 \cdot Min_Distance_between_subcables - 2 \cdot Thickness_of_RC_Binder - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Shield - 2 \cdot Thickness_of_Outer_Jacket}{(\sqrt{2} + 1)}$$

$$\xrightarrow{(2.159),(2.130),(2.145),(2.152),(2.156)} SC_Diameter = \frac{9 \text{ mm} - 2 \cdot 0.000002 \text{ mm} - 2 \cdot 0.102 \text{ mm} - 2 \cdot 0.204 \text{ mm} - 2 \cdot 0.25 \text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)}$$

$$\Leftrightarrow SC_Diameter = \frac{7.887996 \text{ mm}}{(\sqrt{2} + 1)}$$

$$\Rightarrow SC_Diameter \cong 3.2673 \text{ mm} > 3.1 \text{ mm} = Max_SC_Diameter$$

Συνεπώς αυτός ο τρόπος επιλογής τιμής για το πάχος της μόνωσης του εσωτερικού αγωγού δεν γίνεται αποδεκτός.

4^{ος} Τρόπος επιλογής τιμής:

Στους προηγούμενους τρόπους ουσιαστικά είχαμε την διάμετρο του RC Filler να εξαρτάται από αυτή του SC [μέσω της γνωστής σχέσεως (2.128)]. Μια άλλη οπτική είναι να ορίσουμε σαν ελεύθερη μεταβλητή την διάμετρο του RC Filler και μετά με βάση αυτήν να υπολογίζεται η διάμετρος του SC. Άρα αν επιλέξουμε, και σε συμφωνία με το πρότυπο:

$$RC_Filler_Diameter = 1.4 \text{ mm} \quad (2.169)$$

τότε θα έχουμε:

$$(2.128) \Leftrightarrow SC_Diameter = \frac{RC_Filler_Diameter}{(\sqrt{2} - 1)} = RC_Filler_Diameter \cdot (\sqrt{2} + 1)$$

$$\stackrel{(2.169)}{\Leftrightarrow} SC_Diameter = 1.4 \text{ mm} \cdot (\sqrt{2} + 1) \text{ mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow SC_Diameter \cong 3.380 \text{ mm} > 3.1 \text{ mm} = Max_SC_Diameter$$

Επομένως αυτός ο τρόπος επιλογής τιμής για το πάχος της μόνωσης του εσωτερικού αγωγού, καίτοι δούλευε για την Var. 01, τώρα για την Var. 02 δεν μπορεί να γίνει αποδεκτός.

Εν τέλει, στην περίπτωση της Var. 02, ήταν μονόδρομος η επιλογή του 2^{ου} τρόπου για να υπολογίσουμε το πάχος του διηλεκτρικού. Το μόνο σημείο που δεν συμβαδίζει με το πρότυπο είναι η διάμετρος του RC Filler. Όμως, όπως έχουμε εξηγήσει, δεν είναι από ηλεκτρομαγνητικής σκοπιάς αναγκαίο να έχουμε ακριβώς την διάμετρο που υπαγορεύει το πρότυπο για τους πληρωτές. Καθοριστικής σημασίας είναι τα ανώτατα όρια των διαμέτρων για Insulated Inner Conductor, SC και RC, όπως έχουμε εξηγήσει στην υποενότητα 2.5.1. Άλλωστε και η τιμή που προκύπτει γι' αυτή την παράμετρο με τον 2^ο αυτόν τρόπο (1.284062 mm) είναι αρκετά κοντά στην τιμή που ζητά το πρότυπο (1.4 mm). Και εδώ τώρα, όπως και στην Var. 01, ο τρόπος αυτός έχει ένα εποπτικό πλεονέκτημα, διότι οδηγεί με ακρίβεια σε $SC_Diameter = Max_SC_Diameter$, οπότε φαίνεται με την πρώτη ματιά σε κάποιον η συμμόρφωση με την απαίτηση του προτύπου (όπως ίσχυε και με την Var. 01, αλλά εκεί για την $RC_Diameter$). Λεπτομερέστερα, από τις δύο δυνατές προσεγγίσεις στην υλοποίηση του 2^{ου} τρόπου απόδοσης τιμής στην παράμετρο αυτή, εν προκειμένω εμείς επιλέξαμε να ορίσουμε το $Thickness_of_Dielectric$ μέσω της αριθμητικής μαθηματικής σχέσεως (2.166) (δηλ. βάσει του προβληματισμού που αναπτύχθηκε στα δύο αυτά σημεία, επιλέγουμε να κάνουμε εφαρμογή της δεύτερης προσέγγισης). Τώρα αν θέλουμε να πετύχουμε μικρότερη τιμή για την $SC_Diameter$ και φυσικά εμμέσως και για την $RC_Diameter$, μπορούμε ανά πάσα στιγμή να μειώσουμε την τιμή του $Thickness_of_Inner_Jacket$ και φυσικά να αντικαταστήσουμε στην $Thickness_of_Dielectric$ με μια τιμή μικρότερη από αυτήν που δίνει η σχέση (2.166). Φυσικά πάντοτε είναι επιδεκτική μείωσης και η παράμετρος $Thickness_of_Outer_Jacket$ καθώς την έχουμε στην μέγιστη δυνατή τιμή της. Μειώνοντάς την θα πάρουμε προφανώς μικρότερη τιμή για την $RC_Diameter$ (η οποία ήδη βέβαια είναι κάτω του μέγιστου ορίου της).

Σχόλιο σχετικά με την τιμή του $Thickness_of_Dielectric$ σε Var. 01 και Var. 02:

Αξίζει να σημειώσουμε την ουσιαστική διαφορά στον τρόπο επιλογής τιμής για το $Thickness_of_Dielectric$, μεταξύ Var. 01 και Var. 02. Στην Var. 01 το ανώτατο όριο της $RC_Diameter$ ήταν αυτό που μας υποχρέωνε να μειώσουμε το $Thickness_of_Dielectric$. Και τούτο διότι αυξάνοντάς το $Thickness_of_Dielectric$, η διάμετρος του RC θα έβγαινε πρώτη εκτός του ανωτάτου ορίου της, προτού ακόμα η διάμετρος του SC βγει εκτός του δικού της ανωτάτου ορίου. Δηλ. κατά κάποιον τρόπο, το $Thickness_of_Dielectric$ είχε ένα είδος εξάρτησης από το $Max_RC_Diameter$, που το υποχρέωνε να μην επεκταθεί πάνω από μια τιμή. Αντίθετα στην Var. 02 παρατηρήσαμε ότι η τιμή που προέκυψε για την $RC_Diameter$ (τα περίπου 8.596066 mm), δεν είναι αυτή που περιορίζει το $Thickness_of_Dielectric$ από το να αυξηθεί κι άλλο (αφού του ανώτατο όριο της $RC_Diameter$ είναι τα 9 mm). Στην πραγματικότητα αυτό που περιορίζει τώρα το $Thickness_of_Dielectric$ είναι ανώτατο όριο της $SC_Diameter$. Και τούτο διότι αυξάνοντάς το $Thickness_of_Dielectric$, η διάμετρος του SC είναι αυτή που εν προκειμένω θα έβγαινε πρώτη εκτός του ανωτάτου ορίου της, προτού καν η διάμετρος του RC φτάσει στο δικό της ανώτατο όριο. Δηλ. κατά κάποιον τρόπο, το $Thickness_of_Dielectric$ είχε ένα είδος εξάρτησης αυτή την φορά από το $Max_SC_Diameter$, που το υποχρεώνει να μην επεκταθεί πάνω από μια τιμή.

2.5.5 Δυνατότητα Αλλαγής Τιμών στις Παραμέτρους της Διατομής

Από τις παραμέτρους του μοντέλου της διατομής της Var. 01 και της Var. 02, τις οποίες παραθέσαμε παραπάνω (παράγραφοι 2.5.3.1 και 2.5.4.1), οι περισσότερες καθορίζονται μονοσήμαντα και αυστηρά είτε απ' ευθείας από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (όπως π.χ. οι διατομές των νημάτων χαλκού για τους αγωγούς των σημάτων και των θωρακίσεων), είτε μέσω σαφών μαθηματικών σχέσεων (όπως π.χ. οι διαμέτροι των διαφόρων υποκαλωδίων του SpW πριν και μετά την προσθήκη των διαφόρων στρώσεών τους, μονωτικών και θωρακιστικών). Υπάρχουν όμως και κάποιες παράμετροι, λιγότερες βέβαια, για τις οποίες το πρότυπο δεν έχει αυστηρή απαίτηση για την τιμή τους αλλά τους αφήνει μια σχετική ευελιξία. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το πρότυπο είτε θα παρέχει μόνο ένα αριθμητικό διάστημα στο οποίο επιτρέπεται να κινείται η τιμή των παραμέτρων αυτών, είτε θα αφήσει εμάς να συμπεράνουμε τί τιμές μπορούμε να δώσουμε στις συγκεκριμένες παραμέτρους, με γνώμονα να μην οδηγούμε κάποιο από τα άλλα αριθμητικά μεγέθη της διατομής εκτός των προβλεπομένων ορίων (όπως τα έχουμε αναπτύξει στην υποενότητα 2.5.1). Υπάρχουν τέλος και λίγες παράμετροι, που εισήχθησαν από εμάς για τις ανάγκες της προσομοίωσης, και δεν προβλέπονταν από το πρότυπο. Πατώντας πάνω σε αυτή την παρατήρηση, μπορούμε να διακρίνουμε 4 κατηγορίες στις οποίες δύνανται να ανήκουν οι παράμετροι της διατομής μας:

- I. Παράμετροι που εισήχθησαν από εμάς για την σωστή υλοποίηση της διατομής του καλωδίου,
- II. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο και καθορίζονται αυστηρώς από αυτό,
- III. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο και υπολογίζονται με ακρίβεια βάσει των παραμέτρων της κατηγορίας II,
- IV. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο, αλλά για τις οποίες το πρότυπο αφήνει ευελιξία ως προς την τιμή τους.

Ο λόγος που το μοντέλο μας παραμετροποιήθηκε και μάλιστα με τόση προσοχή είναι σαφώς προκειμένου να μπορούμε να δοκιμάζουμε εύκολα διαφορετικές τιμές σε κάποια ή κάποιες από τις παραμέτρους του. Όμως, έχοντας υπ' όψιν τα προλεχθέντα (περί της αλληλεξάρτησης των παραμέτρων, περί της δέσμευσης ορισμένων από αυτές εντός αυστηρών ορίων και περί της ευελιξίας επιλογής τιμών για άλλες από αυτές), κατανοούμε ότι η διαδικασία αλλαγής τιμών σε παραμέτρους του μοντέλου της διατομής δεν είναι κάτι που μπορεί να γίνει χωρίς προσοχή. Επιπλέον, αναλόγως του σε ποιά από τις παραπάνω κατηγορίες ανήκει μια μεταβλητή, θα είναι και διαφορετικές οι συνέπειες σε μια πιθανή αλλαγή της τιμής της.

Όταν ένας πειραματιζόμενος θελήσει να αλλάξει, στα πλαίσια μιας τελείως θεωρητικής ανάλυσεως, τις τιμές σε μια ή περισσότερες παραμέτρους, ουσιαστικά δύο είναι οι διαφορετικές προσεγγίσεις που μπορεί να ακολουθήσει:

- A. Η απόφαση να εξακολουθήσει να σέβεται τις μονοσήμαντα ορισμένες τιμές παραμέτρων και τα ανώτατα όρια των διαμέτρων που καθορίζει το πρότυπο. Στην περίπτωση αυτή, όταν πραγματοποιεί την οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή κάποιας ή κάποιων από τις παραμέτρους, θα πρέπει:
 - a. Να ελέγξει ότι δεν θα ξεπεραστούν τα ανώτατα όρια των διαμέτρων σε *Insulated Inner Conductor, SC και RC* (διότι στην προσέγγιση αυτή, η αύξηση της τιμής σε μία παράμετρο μπορεί να εξαναγκάσει σε μείωση της τιμής μιας άλλης ή μερικών άλλων, έτσι ώστε να μην ξεπεραστούν τα όρια).
 - b. Να ελέγξει ότι δεν θα υπάρξει κάποιο πρόβλημα στην υλοποίηση της συστροφής του κάθε *SC* αλλά και του *RC* (όπως αυτό που αναπτύξαμε στην παράγραφο 2.5.3.3, στα λεγόμενα περί της παραμέτρου *Min_Distance_between_subcables*). Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο τέτοιο θέμα, η λύση είναι να δοκιμάσει μερικές διαφορετικές τιμές στην παράμετρο *Min_Distance_between_subcables* μέχρι να

εντοπίσει μια τιμή που να επιλύει το πρόβλημα (φυσικά πρέπει να έχει πάντα στο νου του να μην ξεπεραστεί το ανώτατο όριο της $RC_Diameter$).

- c. Να ελέγξει ότι η διαφορική εμπέδηση του SC παραμένει εντός των ορίων του προτύπου. Αυτό είναι ένας έλεγχος στον οποίο θα αναφερθούμε στην υποενότητα 2.7.7. Απλά τον παραθέτουμε εδώ για να μην τον λησμονεί ο μελετητής, αφού θα τον βλέπει μαζί με τους άλλους. Είναι αναγκαίο η διαφορική εμπέδηση του καλωδίου να παραμένει εντός των ορίων της, οπότε σε περίπτωση που προκύψει πρόβλημα λόγω αλλαγής τιμών σε παραμέτρους, θα πρέπει ή να εγκαταλειφθεί αυτός ο συνδυασμός τιμών ή να τροποποιηθεί, μέχρι να προκύψει αποδεκτή τιμή διαφορικής εμπεδήσεως.
- d. Τέλος πρέπει να γίνεται ένας έλεγχος για το αν άλλαξε η τιμή του πλήθους των συρματιδίων της κάθε ταινίας (φέρουσας) της εσωτερικής και της εξωτερικής θωρακίσεως. Αυτό είναι κάτι το οποίο σχετίζεται με τον τερματισμό του καλωδίου και ακόμα δεν μπορεί να γίνει κατανοητό. Θα εξηγηθεί στο Κεφάλαιο 5. Απλώς αναφέρουμε εδώ την ενέργεια αυτήν, έτσι ώστε να μπορούμε συγκεντρωτικά να βλέπουμε όλους τους απαραίτητους ελέγχους. Η ουσία είναι ότι σε κάποια Projects που θα δημιουργηθούν αργότερα υπάρχουν ορισμένες παράμετροι οι οποίες αποθηκεύουν ακριβώς τις τιμές αυτού του πλήθους (βλ. υποενότητα 5.6.1). Συνεπώς, αν γίνει κάποιος επηρεασμός στις παραμέτρους της διατομής, σημαντικό είναι να γίνει αυτός ο έλεγχος και να ενημερωθούν οι σχετικές παράμετροι στα κατάλληλα Projects. Περί των χαρακτηριστικών αυτών των θωρακίσεων θα αναφερθούμε στην ενότητα 2.8, όπου θα μιλήσουμε για την δόμηση της διατομής.
- B. Η απόφαση να μην σεβαστεί προς στιγμήν τις μονοσήμαντα ορισμένες τιμές παραμέτρων και τα ανώτατα όρια των διαμέτρων που καθορίζει το πρότυπο.** Στην περίπτωση αυτή, όταν πραγματοποιεί την οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή κάποιας ή κάποιων από τις παραμέτρους, μόνο οι δύο τελευταίοι έλεγχοι, από τους παραπάνω a., b. και c. εφαρμόζονται, δηλ. θα πρέπει:
- b. Να ελέγξει ότι δεν θα υπάρξει κάποιο πρόβλημα στην υλοποίηση της συστροφής του κάθε SC αλλά και του RC (βλ. παράγραφος 2.5.3.3, τα λεγόμενα περί της παραμέτρου $Min_Distance_between_subcables$). Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο τέτοιο θέμα, η λύση είναι, ως γνωστόν, να δοκιμάσει μερικές διαφορετικές τιμές στην παράμετρο $Min_Distance_between_subcables$ μέχρι να εντοπίσει μια τιμή που να επιλύει το πρόβλημα (φυσικά τώρα δεν είναι δεσμευτικό το ανώτατο όριο της $RC_Diameter$).
- c. Να ελέγξει ότι η διαφορική εμπέδηση του SC παραμένει εντός των ορίων του προτύπου. Όπως είπαμε, θα αναφερθούμε σε αυτό τον έλεγχο στην υποενότητα 2.7.7. Σε περίπτωση που η διαφορική εμπέδηση του καλωδίου βγει εκτός των ορίων της, λόγω αλλαγής τιμών σε παραμέτρους, θα πρέπει ή να εγκαταλειφθεί αυτός ο συνδυασμός τιμών ή να τροποποιηθεί, μέχρι να προκύψει αποδεκτή τιμή διαφορικής εμπεδήσεως.
- d. Τέλος πρέπει να γίνεται ένας έλεγχος για το αν άλλαξε η τιμή του πλήθους των συρματιδίων της κάθε ταινίας (φέρουσας) της εσωτερικής και της εξωτερικής θωρακίσεως. Πρόκειται για τον ίδιο έλεγχο, που αναφέραμε και στην προσέγγιση A.. Σημαντικό είναι να γίνεται σε κάθε περίπτωση, διότι επηρεάζει άλλα Projects.

Ακολούθως θα κατατάξουμε τις παραμέτρους της διατομής στις 4 παραπάνω κατηγορίες και θα σχολιάσουμε σύντομα τον τρόπο αλλαγής στις τιμές τους, αναλόγως την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Όσες παράμετροι ανήκουν και στην Var. 01 και στην Var. 02 θα είναι με μαύρο χρώμα. Όσες ανήκουν μόνο στην Var. 01 θα είναι με κόκκινο χρώμα και όσες ανήκουν μόνο στην Var. 02 θα είναι με μπλε χρώμα.

I. Παράμετροι που εισήχθησαν από εμάς για την σωστή υλοποίηση της διατομής του καλωδίου:

Η παράμετροι αυτές είναι:

1. $\sigma_{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}$
2. $mi_{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}$

3. *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield*
4. *mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield*
5. *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield*
6. *mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield*
7. *Min_Distance_between_subcables*

Οι παράμετροι αυτές φυσικά δεν αναφέρονται πουθενά στο πρότυπο. Όπως εξηγήσαμε παραπάνω, στις παραγράφους 2.5.3.2 και 2.5.4.2, οι πρώτες 6 ορίστηκαν προκειμένου να υλοποιηθούν σωστά τα υλικά των εσωτερικών αγωγών και των αγωγών των θωρακίσεων, ενώ η 7^η εισήχθη από εμάς προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα της σωστής υλοποίησης της συστροφής των τεσσάρων SCs εντός του RC.

Οι τιμές των 6 πρώτων παραμέτρων, ως μη εμπλεκόμενες σε άλλες πράξεις, σαφώς και είναι στην απόλυτη ελευθερία του χρήστη ως προς το τί τιμή θα λάβουν. Φυσικά το σκεπτικό τους είναι να προσομοιάζουν το επιδερμικό φαινόμενο στα αγωγή μέρη του καλωδίου. Συνεπώς το τι τιμές θα λάβουν εξαρτάται από την συχνότητα του μεταδιδόμενου σήματος και από τις συχνότητες των επαγομένων ρευμάτων στους αγωγούς των θωρακίσεων, όπως εξηγούμε στο Παράρτημα Β, στην υποενότητα Β.3.2.

Η 7^η παράμετρος εμπλέκεται σε πράξεις που οδηγούν στην διαμόρφωση της τελικής διαμέτρου του RC, αλλά επίσης η παρουσία της καθορίζει την σωστή συστροφή των SCs και του RC. Άρα η απόδοση διαφορετικών τιμών σε αυτήν θα πρέπει να γίνεται με τον τρόπο που αναπτύξαμε στην παράγραφο 2.5.3.3 (στα λεγόμενα περί της παραμέτρου αυτής) και φυσικά με τήρηση των ελέγχων που εξηγήσαμε στην αρχή της υποενότητας αυτής.

II. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο και καθορίζονται αυστηρώς από αυτό:

Οι παράμετροι, που έχουν σαφή τιμή από το πρότυπο, είναι οι εξής:

1. *Inner_Conductor_Strand_Diameter*
2. *Number_of_Strands*
3. *Max_Insulated_Inner_Conductor_Diameter*
4. *Min_SC_Lay_Length*
5. *Max_SC_Lay_Length*
6. *Thickness_of_SC_Binder*
7. *Inner_Shield_Strand_Diameter*
8. *Max_SC_Diameter*
9. *Min_RC_Lay_Length*
10. *Max_RC_Lay_Length*
11. *Thickness_of_RC_Binder*
12. *Outer_Shield_Strand_Diameter*
13. *Max_RC_Diameter*

Αυτές λοιπόν οι παράμετροι, που καθορίζονται αυστηρώς από το πρότυπο σε μια συγκεκριμένη τιμή, θα μπορούσαν να μην θεωρηθούν ελεύθερες. Στην περίπτωση αυτή δεν θα γίνει κάποια αλλαγή τιμών σε αυτές (παρά μόνο σε παραμέτρους άλλων κατηγοριών). Όμως δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι αυτή η εργασία αφορά προσομοίωση και ακριβώς επειδή τα πάντα έχουν παραμετροποιηθεί, στα πλαίσια μιας θεωρητικής διερεύνησης πάντα έχουμε το δικαίωμα να δοκιμάζουμε νέες τιμές για παραμέτρους, ακόμα και γι' αυτές για τις οποίες το πρότυπο δεν δίνει περιθώριο ευελιξίας. Π.χ. μπορούμε να ελέγχουμε πώς θα αλλάξει η H/M συμπεριφορά του καλωδίου μας αν δοκιμάζουμε άλλες, μικρότερες ή μεγαλύτερες, τιμές για την διάμετρο των νημάτων των θωρακίσεων. Άρα με αυτό το σκεπτικό και αυτές οι παράμετροι είναι στην δικαιοδοσία του χρήστη, ως προς το τί τιμές θα πάρουν και θα πρέπει να ακολουθηθεί η προσέγγιση **B**, από την αρχή της υποενότητας αυτής για το τί πρέπει να ελέγξει ο πειραματιζόμενος.

III. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο και υπολογίζονται με ακρίβεια βάσει των παραμέτρων της κατηγορίας II:

Οι παράμετροι που ετεροκαθορίζονται, δηλ. που προκύπτουν μέσω σαφών μαθηματικών σχέσεων από άλλες παραμέτρους είναι οι ακόλουθες:

1. *Inner_Conductor_Diameter*

2. *Insulated_Inner_Conductor_Diameter*
3. *SC_Filler_Diameter*
4. *Diameter_of_Unshielded_Unjacketed_SC*
5. *Diameter_of_Unbided_Unshielded_Unjacketed_SC*
6. *x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC*
7. *y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC*
8. *x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC*
9. *y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC*
10. *Thickness_of_SC_Binder*
11. *Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_SC*
12. *Thickness_of_Inner_Shield*
13. *Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC*
14. *Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC*
15. *SC_Diameter*
16. *RC_Filler_Diameter*
17. *Diameter_of_Unbided_Unshielded_Unjacketed_RC*
18. *x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC*
19. *y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC*
20. *x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC*
21. *y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC*
22. *x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC*
23. *y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC*
24. *Diameter_of_Binded_Unshielded_Unjacketed_RC*
25. *Thickness_of_Outer_Shield*
26. *Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC*
27. *RC_Diameter*

Όλες αυτές οι παράμετροι έχουν αυστηρή εξάρτηση από άλλες παραμέτρους⁶⁶ και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να δοθεί σε αυτές άλλη τιμή απ' ευθείας, παρά μόνο αυτή που προκύπτει από την μαθηματική σχέση που τις ορίζει. Μόνον έμμεσα αλλάζουν τιμή οι παράμετροι αυτές όταν γίνεται εκχώρηση άλλης τιμής σε κάποια ή κάποιες από τις άλλες παραμέτρους που ορίζονται με απ' ευθείας νόμους. Με τον περιορισμό αυτό έχουμε την εξασφάλιση ότι η γεωμετρία της διατομής του SpW ποτέ δεν θα αλλοιωθεί ούτε θα χαθούν οι εξαρτήσεις της κάθε επόμενης διαμέτρου υποκαλωδίου από τις από πιο κάτω διαμέτρους.

IV. Παράμετροι που δίνονται στο πρότυπο, αλλά για τις οποίες το πρότυπο αφήνει ευελιξία ως προς την τιμή τους:

Οι μόνες παράμετροι στις οποίες έχουμε επίσημα από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] μια σχετική ευελιξία ως προς την τιμή τους είναι οι:

1. *SC_Lay_Length*
2. *RC_Lay_Length*
3. *Coverage_Factor_of_Inner_Shield*
4. *Coverage_Factor_of_Outer_Shield*
5. *Thickness_of_Dielectric*
6. *Thickness_of_Inner_Jacket*
7. *Thickness_of_Outer_Jacket*

Οι πρώτες τέσσερις είναι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τις διατομές και τα πάχη της εγκάρσιας όψης του καλωδίου. Για μεν τα δύο μήκη συστροφής έχουμε περιθώριο επιλογής τιμών μεταξύ κάτω και άνω ορίου, για δε τους παράγοντες (οπτικής) κάλυψης των θωρακίσεων έχουμε περιθώριο

⁶⁶ Οι παράμετροι της γεωμετρικής τοποθέτησης των υποκαλωδίων του SpW θεωρήθηκαν ως καθοριζόμενες με ακρίβεια από άλλες παραμέτρους, παρ' ότι κάποιες από αυτές έχουν τιμή 0. Απλώς τις εντάξαμε σε αυτή την ομάδα παραμέτρων διότι και για αυτές απαγορεύεται οποιαδήποτε παρέγγλιση στις σχέσεις που τις ορίζουν καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα χαθεί η συμμετρία της διάταξης των υποκαλωδίων μέσα στην διατομή του SC και του RC.

επιλογής τιμών με περιορισμό κάτω ορίου (0.9 ή 90% και για την εσωτερική και για την εξωτερική θωράκιση) (και φυσικά με άνω όριο το 1 ή 100%, ως άκρο ανοικτού διαστήματος, αφού μια πλεκτή θωράκιση δεν μπορεί να προσφέρει ποτέ απόλυτη κάλυψη στο 100%, απλώς μπορεί να τείνει σε αυτό). Κατά την αλλαγή τιμών σε αυτές τις παραμέτρους σαφώς και μπορούμε να ακολουθήσουμε τόσο την **A.** όσο και την **B.** προσέγγιση (από αυτές που αναφέραμε στην αρχή της υποενότητας). Όπως και αν έχει, σε οποιαδήποτε δοκιμή άλλης τιμής, δεν είναι ανάγκη να ελέγχουμε τα όρια των διαμέτρων, όμως καλό είναι στην περίπτωση των παραμέτρων 1. και 2. να ελέγχουμε αν επηρεάζεται η συστροφή, διότι το μήκος συστροφής είναι άμεσα σχετιζόμενο με την υλοποίηση της συστροφής στο Cable Studio. Επίσης πρέπει να ελέγχουμε αν αλλάζει απαράδεκτα η τιμή της διαφορικής εμπεδήσεως του SC (διότι, όπως θα αναφέρουμε στην υποενότητα 2.7.7, η εμπεδήση επηρεάζεται από την συστροφή του καλωδίου).

Οι τρεις τελευταίες παράμετροι όμως παίζουν καθοριστικό ρόλο και στις διατομές και τα πάχη των στρώσεων της εγκάρσιας όψης του καλωδίου. Δεδομένων λοιπόν των ανωτάτων ορίων στις διαμέτρους εσωτερικού αγωγού (inner conductor), συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους (SC) και πλήρους καλωδίου (RC), είναι σημαντικό να προσέξουμε τι τιμές θα δώσουμε στις παραπάνω τρεις μεταβλητές – παραμέτρους και με ποιο σκεπτικό.

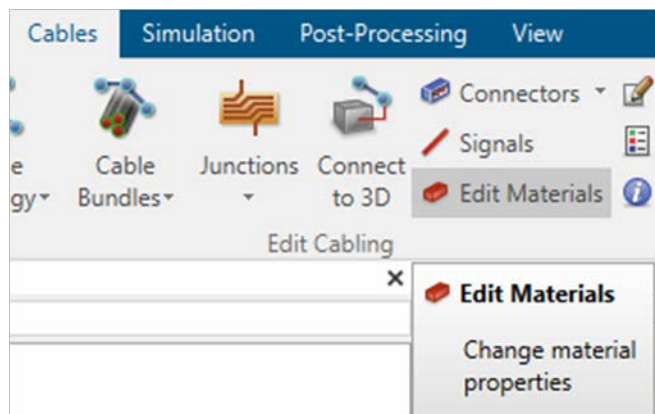
Για το πάχος του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος (*Thickness_of_Inner_Jacket*), το πρότυπο δίνει μόνο ανώτατο όριο, τα 0.2 mm. Επίσης και για το πάχος του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος (*Thickness_of_Outer_Jacket*), το πρότυπο δίνει μόνο ανώτατη τιμή, αυτή τη φορά τα 0.25 mm. Αν λοιπόν ακολουθήσουμε την προσέγγιση **A.** του σεβασμού των ορίων, έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε αυτές ή μικρότερες τιμές για αυτές τις παραμέτρους, πάντα μέσα σε λογικά πλαίσια μείωσης. Δηλ. δεν γίνεται να φτάσουμε και σε υπερβολικά μικρό πάχος μανδύων διότι και αυτοί έχουν έναν βασικό ρόλο ύπαρξης για να οριοθετούν τα SCs και το RC αλλά και να μονώνουν τις αντίστοιχες θωρακίσεις και να προσφέρουν μηχανική υποστήριξη – συγκράτηση και μηχανική προστασία στα καλώδια αυτά, όπως έχουμε επισημάνει και στις υποσημειώσεις 23 και 29. Επίσης πάντα θα είναι καλό να έχουμε κάπως μεγαλύτερη τιμή για την *Thickness_of_Outer_Jacket* απ' ό,τι για την *Thickness_of_Inner_Jacket* (βλ. υποσημείωση 29). Εν προκειμένω επιλέξαμε να εκχωρήσουμε στις δύο αυτές παραμέτρους την μέγιστη τιμή που το πρότυπο επιτρέπει για κάθε μία (και αυτό περισσότερο για λόγους εποπτικών, δηλ. για να φαίνεται άμεσα στο μάτι η συμμόρφωση προς το όριο του προτύπου, όπως εξηγήσαμε στις παραγράφους 2.5.3.2 και 2.5.4.2). Κάθε αλλαγή πρέπει να συνοδεύεται από τους γνωστούς ελέγχους. Αν πάλι επιλέξουμε να κινηθούμε εκτός των ορίων (προσέγγιση **B.**), τότε δεν υπάρχει περιορισμός στην αλλαγή τιμών, αρκεί να γίνεται έλεγχος του προβλήματος της συστροφής και της τιμής της εμπεδήσεως.

Τώρα για το πάχος του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται για την μόνωση των εσωτερικών αγωγών των σημάτων σε κάθε διαφορικό ζεύγος, δηλ. το *Thickness_of_Dielectric*, έχουμε τις ακόλουθες σκέψεις. Αν τηρούμε τα όρια (προσέγγιση **A.**), τότε μπορούμε μόνο να το μειώσουμε, βασιζόμενοι στην τιμή του που επιλέχθηκε από τις αναλύσεις που δόθηκαν στις παραγράφους 2.5.3.3 και 2.5.4.3. Και πάντα επιδιιδόμεθα σε όλους τους ελέγχους μετά από κάθε αλλαγή τιμής. Αν παραβλέπουμε προς στιγμήν τα όρια (προσέγγιση **B.**), τότε οι μόνοι έλεγχοι που επιβάλλονται είναι αυτοί της συστροφής και της εμπεδήσεως.

2.6 Υλικά του Μοντέλου της Διατομής

Πριν αναπτύξουμε αναλυτικά το πώς δημιουργήθηκε η διατομή του SpW στο Cable Studio, κρίνουμε σκόπιμο να αναφερθούμε στα υλικά που επιλέχθηκαν για τα διάφορα μέρη – τμήματα της διατομής αυτής.

Οι πληροφορίες που αφορούν υλικά στο Cable Studio, αλλά και οι ενέργειες που σχετίζονται με αυτά (όπως π.χ. ο ορισμός νέων υλικών ή η αλλαγή στις τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών άλλων υπαρχόντων υλικών) εντοπίζονται από την εντολή Edit Materials στην καρτέλα Edit Cabling (βλ. Εικόνα 2.7).

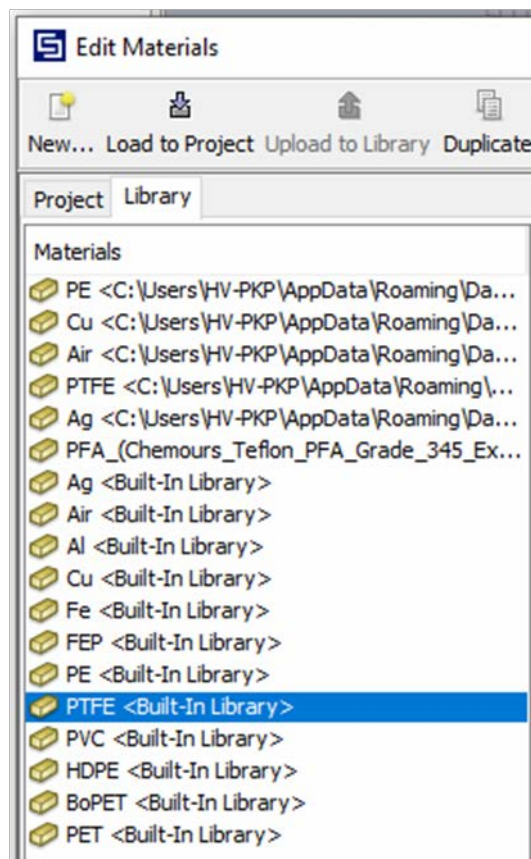


Εικόνα 2.7: Εύρεση Υλικών στο Cable Studio [56].

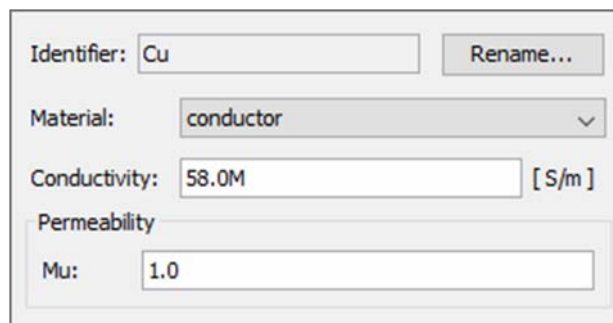
Η επιλογή των υλικών έγινε με πλήρη συμμόρφωση προς τις υποδείξεις του [8]. Στις περιπτώσεις που τα υλικά που υποδείκνυε το πρότυπο υπήρχαν στο περιβάλλον του CST, επιλέγονταν από εκεί (βλ. Εικόνα 2.6).

Στις περιπτώσεις όμως που συνέτρεχαν λόγοι απουσίας καταλλήλων υλικών από την βιβλιοθήκη του προγράμματος ή/και ανάγκης επιλογής υλικών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που δεν τα προσέφερε το CST (όπως π.χ. ο επαργυρωμένος χαλκός), προχωρήσαμε σε δημιουργία δικών μας υλικών. Η δημιουργία αυτή γίνεται πάλι από την επιλογή Edit Materials στην καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio.

Η διαδικασία δημιουργίας νέων υλικών ήταν κάτι στο οποίο αναπόφευκτα θα καταλήγαμε διότι, η βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio (σε αντίθεση με αυτήν του 3D Modeling, στην οποία θα αναφερθούμε αργότερα, στην υποενότητα 3.8.2) είναι αρκετά πιο φτωχή από πλήθος υλικών και πιο απλοϊκή από πλευράς ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των υλικών που περιέχει ή των υλικών που μπορούν να συμπεριληφθούν σ' αυτήν. Για παράδειγμα, ο κάθε αγωγός περιγράφεται απλώς από την ειδική αγωγιμότητα σ και την σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r (όπως βλέπουμε στην ακόλουθη εικόνα, όπου παραθέτουμε ενδεικτικά τα χαρακτηριστικά του χαλκού).



Εικόνα 2.6: Η βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio [56].



Εικόνα 2.8: Τα χαρακτηριστικά του Cu από την βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio [56].

Από την άλλη ένας μονωτής περιγράφεται απλώς από την σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ_r , την σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r (που προφανώς θα είναι $\mu_r = 1.0$ στα διηλεκτρικά) και μια τιμή γωνίας απωλειών $\tan \delta$ για μία μόνο συχνότητα (βλ. Εικόνα 2.9).

Identifier:	PVC	Rename...
Material:	insulator	
Permittivity		
Epsilon:	3.19	
Tangent delta el.:	0.0096	
at Frequency:	1.0M	[Hz]
Permeability		
Mu:	1.0	

Εικόνα 2.9: Τα χαρακτηριστικά του PVC από την βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio [56].

Όταν ορίζουμε ένα νέο υλικό έχουμε επιπλέον την δυνατότητα να το αποθηκεύσουμε στην βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio. Αυτό γίνεται με την εντολή Upload to Library μετά την δημιουργία του υλικού (βλ. Εικόνα 2.6). Αν κάποιο υλικό δεν αποθηκευτεί εκεί, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο εντός του Project στο οποίο δημιουργήθηκε (και σε άλλα Projects στα οποία αυτό «φορτώνεται», κάτι για το οποίο θα μιλήσουμε αργότερα, στο Κεφάλαιο 5). Όμως ένα υλικό που έχει αποθηκευτεί στην βιβλιοθήκη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε άλλο Project αναπτύσσεται στο περιβάλλον του CST. Εδώ όμως υπάρχει μια μικρή παρατήρηση: δεν μπορεί να υπάρχει στην βιβλιοθήκη κάποιο υλικό με παραμετροποιημένα χαρακτηριστικά. Πάντα δηλ. όταν «ανεβάζουμε» ένα υλικό στην βιβλιοθήκη, έστω και αν έχει παραμέτρους σε κάποια χαρακτηριστικά του, η βιβλιοθήκη θα κρατήσει τις τρέχουσες τιμές των παραμέτρων αυτών ως μόνιμες και έτσι θα αποθηκεύσει το υλικό αυτό. Και όταν το φορτώσουμε ξανά θα δούμε ότι στα χαρακτηριστικά του δεν υπάρχουν πλέον παράμετροι αλλά νούμερα. Αυτό είναι κάτι που χρειάζεται να προσέξουμε στην εργασία μας διότι, όπως θα δούμε στην συνέχεια, υπάρχουν υλικά με παραμετροποιημένα χαρακτηριστικά. Επομένως, για να έχουμε την δυνατότητα να αλλάζουμε τις τιμές τους, αναγκαστικά δεν θα πρέπει τα συγκεκριμένα υλικά να τα φορτώσουμε στην βιβλιοθήκη, αλλά θα πρέπει να τα αφήσουμε να βρίσκονται μόνο μέσα στα αντίστοιχα Projects.

Για λόγους καλύτερης παράθεσης των σχετικών λεπτομερειών, θα δομήσουμε αυτή την ενότητα σε δύο υποενότητες. Στην υποενότητα 2.6.1 θα παραθέσουμε ένα ένα τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην δόμηση της διατομής και θα αναφερθούμε στις ιδιότητές τους, που μας ενδιαφέρουν από Η/Μ πλευράς. Ακολούθως, στην υποενότητα 2.6.2, θα αναφέρουμε σε ποιά σημεία της διατομής χρησιμοποιείται – εκχωρείται το κάθε υλικό.

2.6.1 Τα διαφορετικά Υλικά που χρησιμοποιούνται και οι Ιδιότητές τους

2.6.1.1 Αγωγήμα Υλικά

Στην πραγματικότητα ένα είναι το αγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται στο SpW και αυτό είναι ο επαργυρωμένος χαλκός των αγωγών σημάτων και θωρακίσεων. Όμως επειδή αλλάζει η διάμετρος των κλώνων και το πάχος επαργύρωσης ανά περίπτωση, ήταν ανάγκη να μιλήσουμε για 3 ξεχωριστά υλικά, τα οποία και δημιουργήσαμε εμείς, όπως θα φανεί στην συνέχεια.

i. Επαργυρωμένος Χαλκός των Αγωγών των Σημάτων

Οι 7 κλώνοι που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy). Το πάχος της επαργύρωσης πρέπει να είναι 2 μm κατ' ελάχιστον (βλ. την [8], στην §4.4.2.1).

Όπως ήταν αναμενόμενο, ένα τέτοιο υλικό, με τόσο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, δεν θα μπορούσε να υπάρχει ήδη ορισμένο στην βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio. Σίγουρα λοιπόν θα έπρεπε να ορίσουμε εμείς το υλικό αυτό. Όμως υπάρχει ακόμα ένα πρόβλημα. Στο Cable Studio δεν μπορεί ένα αγώγιμο υλικό να δηλωθεί με επίστρωση άλλου μετάλλου (άλλωστε από την Εικόνα 2.8 βλέπουμε τι είμαστε σε θέση να ορίσουμε για έναν αγωγό). Έπρεπε λοιπόν να φτιάξουμε ένα υλικό ισοδύναμο με αυτό του επαργυρωμένου χαλκού.

Έτσι λοιπόν και εμείς σχεδιάσαμε ένα υπολογιστικό μοντέλο που η φιλοσοφία του βασίζεται ακριβώς στην φιλοσοφία για την οποία γίνεται η επαργύρωση (η οποία εξηγείται στο Παράρτημα Β, στην ενότητα Β.2). Για το μοντέλο μας αυτό επιλέξαμε να θεωρήσουμε το πάχος της επαργύρωσης ακριβώς ίσο προς 2 μm . Το μοντέλο αυτό λοιπόν, λαμβάνοντας υπ' όψιν την διάμετρο των κλώνων και το πάχος της επαργύρωσης, μας δίνει το σ και το μ_r ενός υλικού το οποίο αντικαθιστά τον επαργυρωμένο χαλκό και έχοντας μεν απλό τρόπο ορισμού (μόνο μέσω σ και μ_r , όπως κάθε αγωγός στο Cable Studio) εντούτοις προσομοιώνει κατά το δυνατόν την συμπεριφορά της επαργύρωσης στο επιδερμικό φαινόμενο, δηλ. την συνακόλουθα με την αύξηση της συχνότητας μείωση της ενεργού επιφανείας ροής του ρεύματος αλλά την αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας του υλικού στο οποίο αυτή η ροή γίνεται σε σχέση με την σ_{Cu} (διότι όσο η ροή του ρεύματος μετακινείται προς την περιφέρεια, ουσιαστικά αυξάνει η συνεισφορά του αργύρου στην ενεργό διατομή της ροής). Με το μοντέλο⁶⁷ μας λοιπόν αυτό κατορθώνουμε, στο μέτρο του δυνατού, να προσομοιώνουμε την συμπεριφορά της επαργύρωσης, έχοντας εν τούτοις μια ενιαία τιμή ειδικής αγωγιμότητας και σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας για το υλικό μας.

Συνεπώς, βάσει το μοντέλου μας, δημιουργήσαμε ένα νέο υλικό στο Material Library του Cable Studio. Το υλικό αυτό το ονομάσαμε `Ag_coated_Cu_of_inner_conductor`, δηλ. Επαργυρωμένος Χαλκός του εσωτερικού αγωγού. Για τον ορισμό του υλικού αυτού δημιουργήσαμε δύο παραμέτρους, την `sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor`, δηλ. την ειδική αγωγιμότητα σ του υλικού αυτού και την `mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor`, δηλ. την σχετική μαγνητική διαπερατότητα του μ_r . Οι τιμές που δόθηκαν στις παραμέτρους αυτές ελήφθησαν από το σχετικό αρχείο Excel, με το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί για κάθε συχνότητα. Όπως επισημαίνουμε στο Παράρτημα Β, στην παράγραφο Β.3.2.1, επιλέξαμε να δώσουμε τις τιμές που αντιστοιχούν στην συχνότητα των 50 MHz δηλ. στο data rate των 100 Mbps, καθώς είναι μια συνηθισμένη τιμή ρυθμού δεδομένων σε ζεύξεις SpW. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών έχουν παρατεθεί παραπάνω στις

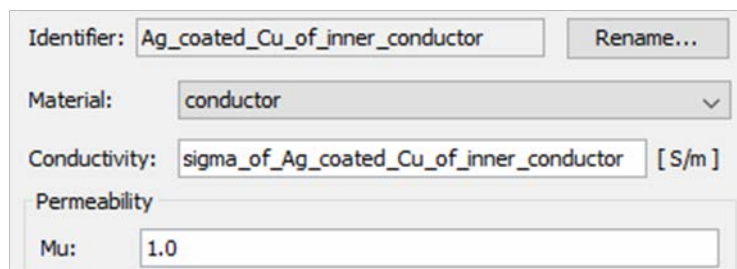
⁶⁷ Αναλυτικά η δόμηση και τα αποτελέσματα του υπολογιστικού αυτού μοντέλου αναπτύσσονται στο Παράρτημα Β.

παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1, αλλά τις παραθέτουμε και εδώ για λόγους αρτιότητας της παραγράφου:

- **Για την Var. 01:**
 - $\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 58953216.45 \text{ S/m}$
 - $m_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 0.999988$
- **Για την Var. 02:**
 - $\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 58936784.27 \text{ S/m}$
 - $m_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}} = 0.999988$

Φυσικά ο παραμετρικός ορισμός των χαρακτηριστικών του μας επιτρέπει να πειραματιζόμαστε και με άλλες τιμές, αναλόγως της συχνότητας του διακινουμένου σήματος, που επιλέγουμε κάθε φορά σε μια προσομοίωσή μας.

Ακολουθεί η εικόνα από την δημιουργία του υλικού αυτού.



Εικόνα 2.10: Τα χαρακτηριστικά του Επαργυρωμένου Χαλκού των αγωγών των σημάτων [56].

Σχόλιο περί της τιμής της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας μ_r μετάλλων στο Cable Studio:

Ένα σημείο που πρέπει να σχολιάσουμε ως προς την δημιουργία του νέου αυτού υλικού είναι ότι, όπως παρατηρήσαμε, το Cable Studio δεν επιτρέπει να ορίσει κανείς αγωγίμο υλικό με $\mu_r < 1$ (δηλ. διαμαγνητικό υλικό). Επιτρέπονται τιμές μόνο $\mu_r \geq 1$. Όμως τόσο ο χαλκός όσο και ο άργυρος, όσο και το σύνθετο υλικό του επαργυρωμένου χαλκού που δημιουργήσαμε είναι διαμαγνητικά ($\mu_r < 1$). Υποχρεωτικά λοιπόν δώσαμε στο υλικό μας τιμή 1.0 για την σχετική μαγνητική διαπερατότητα (βλ. Εικόνα 2.10), κάτι όμως που δεν απέχει σχεδόν καθόλου από την πραγματικότητα, μιας και η τιμή της μ_r είναι πολύ πολύ κοντά στην μονάδα (όπως και για τους Ag και Cu). Επομένως η παράμετρος $m_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor}}$ (στην οποία αναθέτουμε την σωστή τιμή που δίνει το Excel) είναι μόνο για εποπτικούς λόγους ορισμένη.

Σχόλιο περί της διαφοράς στο υλικό αυτό μεταξύ Var. 01 και Var. 02 αλλά της κοινής ονομασίας τους:

Από την ανάλυση που έχει γίνει στο Παράρτημα Β και από το σχετικό αρχείο υπολογισμών στο Excel, παρατηρούμε ότι οι τιμές των παραμέτρων αυτών διαφέρουν μεταξύ Var. 01 και Var. 02. Αυτό φυσικά δεν συμβαίνει γιατί αλλάζει η συμπεριφορά του Ag ή του Cu (αυτή είναι ίδια για τις δύο παραλλαγές, αφού μόνο η φύση του υλικού και η συχνότητα επηρεάζουν το επιδερμικό φαινόμενο). Διαφέρουν διότι οι παραλλαγές έχουν διαφορετική διατομή χαλκού και αυτό επηρεάζει τον τρόπο που λειτουργεί το μοντέλο που έχουμε στήσει για το επιδερμικό φαινόμενο. Άρα σε κάθε αρχείο οι παράμετροι αυτές θα έχουν διαφορετικές τιμές. Και το υλικό λοιπόν `Ag_coated_Cu_of_inner_conductor` θα είναι διαφορετικό στο αρχείο της Var. 01 (`SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst`) και διαφορετικό στο αρχείο της Var. 02 (`SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst`). Παρ' όλα αυτά το υλικό αυτό ορίστηκε με το ίδιο όνομα στα δύο αρχεία CST. Επίσης ο ορισμός αυτών των 2 παραμέτρων έγινε και για την Var. 01 και για την Var. 02, με τα ίδια ονόματα, `sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor` και `m_of_Ag_coated_Cu_of_inner_conductor`. Αυτό όμως δεν μας πειράζει διότι τα δύο αρχεία δεν πρόκειται ποτέ να «φορτωθούν»⁶⁸ μαζί σε κάποιο άλλο, οπότε θα τρέχουν πάντα ανεξάρτητα το ένα

⁶⁸ Για την διαδικασία «φόρτωσης» ενός αρχείου σε ένα άλλο θα μιλήσουμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

από το άλλο. Επιπλέον, για τον λόγο που εξηγήσαμε στην αρχή της ενότητας 2.6, δεν έγινε προσθήκη του υλικού αυτού στην Βιβλιοθήκη του Cable Studio, ώστε να το «βλέπουν» και άλλα projects. Αρα αφού το υλικό `Ag_coated_Cu_of_inner_conductor` είναι ορισμένο μόνο ως τρέχον υλικό σε κάθε ένα από αυτά τα project, δεν θα επηρεαστεί από το ότι ένα άλλο project έχει ένα τρέχον υλικό με το ίδιο όνομα.

Να σημειώσουμε ότι αυτό είναι και το μοναδικό υλικό που θα έχει διαφοροποίηση από την Var. 01 στην Var. 02. Και αυτό, όπως είπαμε, λόγω του ότι οι διαφορετικές διατομές των κλώνων των αγωγών των σημάτων δίνουν διαφορετική συμπεριφορά στο επιδερμικό φαινόμενο από την μία παραλλαγή στην άλλη. Σε όλα τα υπόλοιπα αγωγία υλικά δεν θα υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των δύο παραλλαγών (αφού οι θωρακίσεις έχουν ίδια διάμετρο συρματιδίων και στις δύο παραλλαγές). Προφανώς στα μονωτικά υλικά (παράγραφος 2.6.1.2) δεν θα υπάρχει καμία διαφοροποίηση.

ii. Επαργυρωμένος Χαλκός των Αγωγών των Εσωτερικών Θωρακίσεων

Τα συρματίδια που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση πρέπει, σύμφωνα με το πρότυπο να είναι κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό με αυτό των κλώνων του εσωτερικού αγωγού, δηλ. επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy). Η μόνη διαφορά είναι ότι το πάχος της επαργύρωσης πρέπει να είναι $2.5 \mu m$ κατ' ελάχιστον (βλ. την [8], στην §4.4.6.1).

Όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, όταν αναφερθήκαμε στο υλικό των εσωτερικών αγωγών, δεν μπορούσαμε να δηλώσουμε στο CST ένα τέτοιο υλικό (μέταλλο με επίστρωση άλλου μετάλλου). Για τον λόγο αυτόν προχωρήσαμε στην δημιουργία ενός μοντέλου⁶⁹ για το υλικό αυτών των συρματιδίων, αντιστοιχού προς αυτό που δημιουργήσαμε για το υλικό των εσωτερικών αγωγών. Η φιλοσοφία είναι πανομοιότυπη με το προηγούμενο μοντέλο, δηλ. μας δίνει εν τέλει μια ενιαία τιμή ειδικής αγωγιμότητας και σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας για το υλικό μας, λαμβάνοντας υπ' όψιν την διάμετρο των κλώνων και το πάχος της επαργύρωσης και προσομοιώνοντας κατά το δυνατόν την συμπεριφορά ενός τέτοιου κράμματος λόγω του επιδερμικού φαινομένου. Η βασικές διαφορές του νέου μοντέλου απ' αυτό των εσωτερικών αγωγών είναι δύο:

- Η πρώτη είναι ότι οι διαστάσεις είναι διαφορετικές, δηλ. η διάμετρος του κάθε αγωγίου κλώνου και το πάχος της επαργύρωσης αλλάζουν. Εμείς **επιλέξαμε να θεωρήσουμε στην υλοποίησή μας το πάχος της επαργύρωσης ακριβώς ίσο προς $2.5 \mu m$** , όσο ήταν το ελάχιστο απαιτούμενο από το [8].
- Η δεύτερη είναι οι συχνότητες που μας ενδιαφέρουν για τα νήματα της θωράκισης. Όπως είχαμε αναφέρει και για τον εσωτερικό αγωγό, το επιδερμικό φαινόμενο οφείλεται στην υψηλή συχνότητα που έχει το ρεύμα που ρέει σε έναν αγωγό. Οπότε για μεν τους εσωτερικούς αγωγούς αυτό είναι το ρεύμα των σημάτων που διακινεί η ζεύξη του SpW. Για δε τους αγωγούς της θωρακίσεως όμως τα ρεύματα είναι διαφορετικά. Συγκεκριμένα είναι τα επαγόμενα ρεύματα στην θωράκιση τόσο από τα διακινούμενα σήματα στους εσωτερικούς αγωγούς όσο και από εξωτερικές παρεμβολές. Ως εκ τούτου χρειάζεται διερεύνηση για τις συχνότητες που κυριαρχούν στα ρεύματα της θωρακίσεως (κάτι που, για τις εσωτερικές θωρακίσεις, γίνεται στο Παράρτημα Β, στην υποπαράγραφο Β.3.2.2.2).

Συνεπώς, βάσει το μοντέλου μας, δημιουργήσαμε ένα νέο υλικό στο Material Library του Cable Studio. Το υλικό αυτό το ονομάσαμε `Ag_coated_Cu_of_inner_shield`, δηλ. Επαργυρωμένος Χαλκός της εσωτερικής θωρακίσεως. Για τον ορισμό του υλικού αυτού δημιουργήσαμε ξανά δύο παραμέτρους, την `sigma_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield`, δηλ. την ειδική αγωγιμότητα σ του υλικού αυτού και την `mi_of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield`, δηλ. την σχετική μαγνητική διαπερατότητά του μ_r . Οι τιμές που δόθηκαν στις παραμέτρους αυτές ελήφθησαν από το σχετικό αρχείο Excel, με το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί για κάθε συχνότητα. Για τους λόγους που αναπτύσσονται ξανά στο Παράρτημα Β (και συγκεκριμένα στην υποπαράγραφο Β.3.2.2.2), επιλέξαμε να δώσουμε τις τιμές που αντιστοιχούν στην συχνότητα των 10 MHz . Οι τιμές των παραμέτρων αυτών (όπως έχουν παρατεθεί παραπάνω στις παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1) είναι:

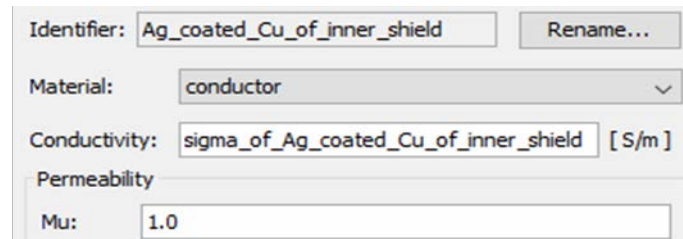
⁶⁹ Αναλυτικά η δόμηση και τα αποτελέσματα του υπολογιστικού αυτού μοντέλου αναπτύσσονται στο Παράρτημα Β.

➤ Και για τις δύο παραλλαγές:

- $\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield}} = 58735022.18 \text{ S/m}$
- $\mu_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield}} = 0.999989$

Όπως και στο υλικό των αγωγών των σημάτων, ο παραμετρικός ορισμός των χαρακτηριστικών του μας επιτρέπει να πειραματιζόμαστε και με άλλες τιμές, αναλόγως της συχνότητας του διακινουμένου σήματος, που επιλέγουμε κάθε φορά σε μια προσομοίωσή μας.

Ακολουθεί η εικόνα από την δημιουργία του υλικού αυτού.



Εικόνα 2.11: Τα χαρακτηριστικά του Επαργυρωμένου Χαλκού των αγωγών της εσωτερικής θωρακίσεως [56].

Σχόλιο περί της τιμής της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας μ_r μετάλλων στο Cable Studio:

Όπως σημειώσαμε και πιο πάνω (στο αντίστοιχο σχόλιο για τον επαργυρωμένο χαλκό των αγωγών των σημάτων), καίτοι έχουμε ορίσει για εποπτικούς λόγους την παράμετρο $\mu_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield}}$ με την σωστή τιμή που δίνει το Excel, στο νέο υλικό που δημιουργούμε, θέτουμε $\mu_r = 1.0$, καθώς μόνο αυτό μας επιτρέπει το πρόγραμμα.

Σχόλιο περί της κοινής ονομασίας του υλικού αυτού σε Var. 01 και Var. 02:

Εδώ χρειάζεται να σημειώσουμε το εξής. Ο ορισμός αυτών των παραμέτρων έγινε και για την Var. 01 και για την Var. 02, με τα ίδια ονόματα, $\sigma_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield}}$ και $\mu_{\text{of_Ag_coated_Cu_of_inner_shield}}$. Όπως επίσης και το υλικό αυτό ορίστηκε με το ίδιο όνομα στα δύο αρχεία CST. Εν προκειμένω (σε αντίθεση με τον εσωτερικό αγωγό) όντως οι παράμετροι αυτές θα έχουν τις ίδιες τιμές και για την Var. 01 και για την Var. 02. Και αυτό συμβαίνει διότι και στις δύο παραλλαγές της διατομής του SpW, τα συρματίδια της εσωτερικής θωρακίσεως έχουν ίδια διάμετρο και ίδιο πάχος επαργύρωσης (συγκεκριμένα το ελάχιστο των $2.5 \mu\text{m}$, όπως έχουμε θεωρήσει εμείς). Επομένως αν υποβάλλουμε τις δύο παραλλαγές σε προσομοιώσεις ιδίων συχνοτήτων, τότε και οι παράμετροι αυτές θα έχουν υποχρεωτικά τις ίδιες τιμές. Βέβαια, επειδή, όπως αναφέραμε, δεν μπορούμε να αποθηκεύσουμε το εν λόγω υλικό στην βιβλιοθήκη και να το χρησιμοποιούμε από εκεί σε πολλά Projects (λόγω των παραμετρικών χαρακτηριστικών του), αναγκαστικά έχουμε ορίσει το υλικό Ag_coated_Cu_of_inner_shield τόσο στο αρχείο της Var. 01 όσο και στο αρχείο της Var. 02.

iii. Επαργυρωμένος Χαλκός των Αγωγών της Εξωτερικής Θωρακίσεως

Το πρότυπο υπαγορεύει ότι τα συρματίδια που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση (όπως και αυτά που συνθέτουν τις εσωτερικές θωρακίσεις) θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy) με πάχος επαργύρωσης, που οφείλει να είναι $2.5 \mu\text{m}$ κατ' ελάχιστον (βλ. την §4.4.6.1 του [8]).

Όπως και στην περίπτωση του υλικού των συρματιδίων της εσωτερικής θωράκισης και για τους λόγους που έχουμε εξηγήσει, προχωρήσαμε και εδώ στην δημιουργία ενός αντιστοίχου μοντέλου⁷⁰ για το υλικό αυτών των συρματιδίων. Η φιλοσοφία είναι και πάλι ίδια με το μοντέλο για την

⁷⁰ Αναλυτικά η δόμηση και τα αποτελέσματα του υπολογιστικού αυτού μοντέλου αναπτύσσονται στο Παράρτημα Β.

εσωτερική θωράκιση, δηλ. μας δίνει εν τέλει μια ενιαία τιμή ειδικής αγωγιμότητας και σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας για το υλικό μας, λαμβάνοντας υπ' όψιν την διάμετρο των κλώνων και το πάχος της επαργύρωσης και προσομοιώνοντας κατά το δυνατόν την συμπεριφορά ενός τέτοιου κράμματος λόγω του επιδερμικού φαινομένου. Οι βασικές διαφορές των δύο μοντέλων που αφορούν τις θωρακίσεις είναι δύο:

- Η πρώτη είναι ότι η διάμετρος του κάθε αγωγίου κλώνου αλλάζει. Βέβαια το πάχος της επαργύρωσης θεωρείται ίδιο και για τις δύο θωρακίσεις. Εμείς δηλ. **επιλέξαμε να θεωρήσουμε και εδώ στην υλοποίησή μας το πάχος της επαργύρωσης ακριβώς ίσο προς 2.5 μm** , όσο ήταν το ελάχιστο απαιτούμενο από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8].
- Η δεύτερη είναι οι συχνότητες που μας ενδιαφέρουν για τα νήματα της εξωτερικής θωράκισης. Όπως έχουμε επισημάνει επανειλημμένως, το επιδερμικό φαινόμενο οφείλεται στην υψηλή συχνότητα που έχει το ρεύμα το οποίο ρέει σε έναν αγωγό. Οπότε για τους αγωγούς της εσωτερικής και της εξωτερικής θωρακίσεως τα ρεύματα αυτά είναι διαφορετικά. Διότι τα επαγόμενα ρεύματα στην εσωτερική θωράκιση είναι κατά ένα ποσοστό οφειλόμενα στα διακινούμενα στους εσωτερικούς αγωγούς σήματα και κατά ένα άλλο ποσοστό οφειλόμενα σε εξωτερικές παρεμβολές, ενώ τα επαγόμενα ρεύματα στην εξωτερική θωράκιση είναι ως επί το πλείστον οφειλόμενα σε εξωτερικές παρεμβολές. Ως εκ τούτου χρειάζεται διερεύνηση για τις συχνότητες που κυριαρχούν στα ρεύματα των δύο θωρακίσεων (κάτι που, για την εξωτερική τώρα θωράκιση, γίνεται στο Παράρτημα Β, στην υποπαράγραφο Β.3.2.2.1).

Συνεπώς, βάσει το μοντέλου μας, δημιουργήσαμε και ένα τρίτο υλικό στο Material Library του Cable Studio. Το υλικό αυτό το ονομάσαμε *Ag_coated_Cu_of_outer_shield*, δηλ. Επαργυρωμένος Χαλκός της εξωτερικής θωρακίσεως. Για τον ορισμό του υλικού αυτού δημιουργήσαμε, κατά τα γνωστά πλέον, δύο παραμέτρους, την *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield*, και την *mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield*, δηλ. το σ και το μ_r του υλικού αυτού. Οι τιμές που δόθηκαν στις παραμέτρους αυτές ελήφθησαν από το σχετικό αρχείο Excel με το έγιναν οι υπολογισμοί για κάθε συχνότητα. Για τους λόγους που αναπτύσσονται στο Παράρτημα Β, επιλέξαμε να δώσουμε τις τιμές που αντιστοιχούν στην συχνότητα των 10 MHz, ακολουθώντας τα συχνοτικά δεδομένα του πειράματος που έγινε στο Εργαστήριο Υ. Τ.. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών (όπως έχουν παρατεθεί παραπάνω στις παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1) είναι:

- Και για τις δύο παραλλαγές:
 - *sigma_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield* = 58676267.50 S/m
 - *mi_of_Ag_coated_Cu_of_outer_shield* = 0.999989

Όπως και στα δύο προηγούμενα υλικά, ο παραμετρικός ορισμός των χαρακτηριστικών του μας επιτρέπει να πειραματιζόμαστε και με άλλες τιμές, αναλόγως της συχνότητας του διακινουμένου ρεύματος στην εξωτερική θωράκιση, δηλ. αναλόγως της εξωτερικής παρεμβολής στην οποία υποβάλλουμε το καλώδιο κάθε φορά σε μια προσομοίωσή μας.

Ακολουθεί η εικόνα από την δημιουργία του υλικού αυτού.

Εικόνα 2.12: Τα χαρακτηριστικά του Επαργυρωμένου Χαλκού των αγωγών της εξωτερικής θωρακίσεως [56].

Σχόλιο περί της τιμής της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας μ_r μετάλλων στο Cable Studio:

Κατά τα ήδη λεχθέντα στα αντίστοιχα σχόλια των προηγούμενων δύο υλικών, στο νέο υλικό που δημιουργούμε θέτουμε $\mu_r = 1.0$.

Σχόλιο περί της κοινής ονομασίας του υλικού αυτού σε Var. 01 και Var. 02:

Όπως συνέβη και με το υλικό των νημάτων της εσωτερικής θωρακίσεως, έτσι και εδώ ο ορισμός τόσο του υλικού όσο και των παραμέτρων του έγινε και για την Var. 01 και για την Var. 02, με τα ίδια ονόματα (στα αντίστοιχα αρχεία CST). Και οι τιμές των παραμέτρων, και αυτές είναι ίδιες και για την Var. 01 και για την Var. 02 και τούτο διότι και στις δύο παραλλαγές της διατομής του SpW, τα συρματίδια της εξωτερικής θωρακίσεως έχουν ίδια διάμετρο και ίδιο πάχος επαργύρωσης (συγκεκριμένα το ελάχιστο των 2.5 μm , όπως έχουμε θεωρήσει εμείς). Επομένως αν υποβάλλουμε τις δύο παραλλαγές σε προσομοιώσεις εξωτερικά επιβαλλομένων πεδίων ιδίων συχνοτήτων, το υλικό που εκχωρούμε στα συρματίδια της εξωτερικής θωράκισης θα έχει την ίδια συμπεριφορά, πράγμα που αντικατοπτρίζεται στο ότι οι παράμετροι αυτές θα έχουν τις ίδιες τιμές. Φυσικά, όπως έχουμε επισημάνει ξανά, έχουμε ορίσει το υλικό `Ag_coated_Cu_of_outer_shield` τόσο στο αρχείο της Var. 01 όσο και στο αρχείο της Var. 02 (καθώς δεν αποθηκεύεται στην βιβλιοθήκη υλικών για να παραμένει παραμετρικό ως προς τα χαρακτηριστικά του).

2.6.1.2 Διηλεκτρικά Υλικά

Τρία είναι τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην δόμηση του SpW. Θα τα παραθέσουμε με την σειρά που εμφανίζονται κατά την δόμηση του καλωδίου, από μέσα προς τα έξω (στην υποενότητα 2.6.2 θα φανεί καλύτερα αυτή η πορεία της δόμησης). Για κάθε ένα από αυτά, 4 είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά ϵ_r ,
- Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta$ [ή Παράγοντας Διάχυσης (Dissipation Factor) ή Γωνία Απωλειών (Loss Angle)] $\tan \delta$ σε μια ορισμένη τιμή συχνότητας,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- Πεδιακή Ένταση Διάσπασης ή Διηλεκτρική Αντοχή E_d .

Σχόλιο σχετικά με την Διηλεκτρική Αντοχή:

Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό των μονωτικών υλικών είναι η πεδιακή ένταση διάσπασης ή η διηλεκτρική αντοχή τους, έστω E_d . Η γνώση αυτής της παραμέτρου θα μας χρειαστεί για τις θεωρητικές δοκιμές συμμόρφωσης με το πρότυπο, που θα παραθέσουμε στην ενότητα 2.7.

Σχόλιο σχετικά με την τιμή της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας των διηλεκτρικών:

Όταν η σχετική μαγνητική διαπερατότητα έχει τιμή $\mu_r = 1$ αναφερόμαστε στο κενό. Για να έχουμε σε ένα υλικό $\mu_r \neq 1$ θα πρέπει να έχουμε κάποιου είδους μαγνήτιση, δηλ. μαγνητικά πολωμένες περιοχές. Για να γίνει αυτό θα πρέπει τα ηλεκτρόνια του υλικού να μπορούν να ευθυγραμμιστούν από ένα επιβαλλόμενο μαγνητικό πεδίου. Με άλλα λόγια θα πρέπει το υλικό να έχει ηλεκτρονιακό νέφος στην ζώνη αγωγιμότητας. Σε έναν μονωτή λοιπόν, όπου δεν έχουμε αγωγιμότητα, προφανώς δεν θα έχουμε και μαγνήτιση. Δηλ. τα μονωτικά υλικά είναι ουσιαδώς αδιάφορα από πλευράς μαγνητικού πεδίου, διότι για ένα μαγνητικό πεδίο είτε υπάρχουν είτε όχι είναι ένα και το αυτό. Συνεπώς, από μαγνητικής πλευράς είναι ισοδύναμα με το κενό, γι' αυτό και έχουν σχετική μαγνητική διαπερατότητα ίση με αυτή του κενού, $\mu_r = 1$.

i. Φθοροπολυμερές PTFE

Το βασικότερο διηλεκτρικό που χρησιμοποιείται στο SpW είναι το **διογκωμένο, μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE)**. Το υλικό PTFE υπήρχε στην βιβλιοθήκη του Cable Studio, οπότε δηλώθηκε απ' ευθείας σαν το υλικό του μονωτικού αυτού στρώματος. Τα βασικά χαρακτηριστικά του, όπως τα δίνει το Cable Studio, φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:

Identifier:	PTFE	Rename...
Material:	insulator	
Permittivity		
Epsilon:	2.1	
Tangent delta el.:	10.0u	
at Frequency:	100.0M	[Hz]
Permeability		
Mu:	1.0	

Εικόνα 2.13: Τα χαρακτηριστικά του PTFE [56].

Εκτός των ανωτέρω, χρειαζόμαστε την πεδιακή ένταση διάσπασης του PTFE. Αυτή μπορεί να κυμαίνεται σε διάφορες τιμές, αναλόγως με το υλικό που παράγει κάθε εταιρεία. Σύμφωνα με την βάση δεδομένων του ιστοτόπου MatWeb [50], οι τιμές της διηλεκτρικής αντοχής του PTFE μπορούν να φτάσουν τις αρκετές δεκάδες kV/mm . Εμείς δεν έχουμε κάποια πληροφορία για την διηλεκτρική αντοχή από το CST, διότι η διηλεκτρική αντοχή είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν δίνεται ούτε στο Material Library του Cable Studio, ούτε στο Material Library του 3D Modeling, το οποίο είναι και πλουσιότερο σε χαρακτηριστικά. Έτσι έπρεπε να κάνουμε μόνοι μας μια επιλογή. Ύστερα από αναζήτηση που κάναμε (βλ. την [50]), επιλέξαμε να υιοθετήσουμε τις τιμές των υλικών PTFE της εταιρείας Chemours Teflon, αφ' ενός γιατί πρόκειται για πολύ γνωστή εταιρεία στον χώρο των θερμοπλαστικών (και από αυτήν άλλωστε επιλέξαμε και υλικό PFA, όπως θα αναφέρουμε στην συνέχεια) αλλά και αφ' ετέρου διότι η τιμή που δίνει, $E_d = 18 kV/mm$, είναι από τις πιο χαμηλές από τα PTFE υλικά του MatWeb, οπότε είμαστε πάντοτε από την ασφαλή πλευρά για το μονωτικό του καλωδίου μας. Δηλ. αν με αυτή την τιμή το μονωτικό αντέχει τις δοκιμές καταπόνησης, σίγουρα με οποιοδήποτε άλλο υλικό PTFE θα είναι ακόμα πιο σίγουρο ότι δεν θα οδηγηθεί σε αστοχία.

Συγκεντρωτικά λοιπόν, τα χαρακτηριστικά του PTFE είναι:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 2.1$,
- Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta$ [ή Παράγοντας Διάχυσης (Dissipation Factor) ή Γωνία Απωλειών (Loss Angle)] $\tan \delta = 10.0 \mu = 0.00001$ σε συχνότητα $100.0 MHz$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- Πεδιακή Ένταση Διάσπασης ή Διηλεκτρική Αντοχή $E_d = 18 kV/mm$.

ii. Αέρας

Ο αέρας είναι ένα μονωτικό το οποίο «χρησιμοποιείται» για να γεμίζουν τα κενά που αναπόφευκτα υπάρχουν μεταξύ των υποκαλωδίων ενός πιο σύνθετου καλωδίου. Την λέξη «χρησιμοποιείται» την έχουμε εντός εισαγωγικών διότι δεν είναι ένα υλικό που εισάγεται από τον κατασκευαστή επί τούτου, αλλά από μόνο του γεμίζει τα κενά που δημιουργούνται στην δόμηση του καλωδίου.

Ο αέρας σαν υλικό υπάρχει στην βιβλιοθήκη του Cable Studio και επιλέχθηκε απ' ευθείας. Παρακάτω φαίνεται το υλικό αυτό από την βιβλιοθήκη:

Identifier:	Air	Rename...
Material:	insulator	
Permittivity		
Epsilon:	1.0	
Tangent delta el.:	0.0	
at Frequency:	100.0M	[Hz]
Permeability		
Mu:	1.0	

Εικόνα 2.14: Τα χαρακτηριστικά του Αέρα [56].

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά του Αέρα είναι:

- ο Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 1.0$,
- ο Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta = 0$ σε συχνότητα 100.0 MHz ,
- ο Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- ο Διηλεκτρική Αντοχή (ως γνωστόν για τον αέρα) $E_d = 3 \text{ kV/mm}$.

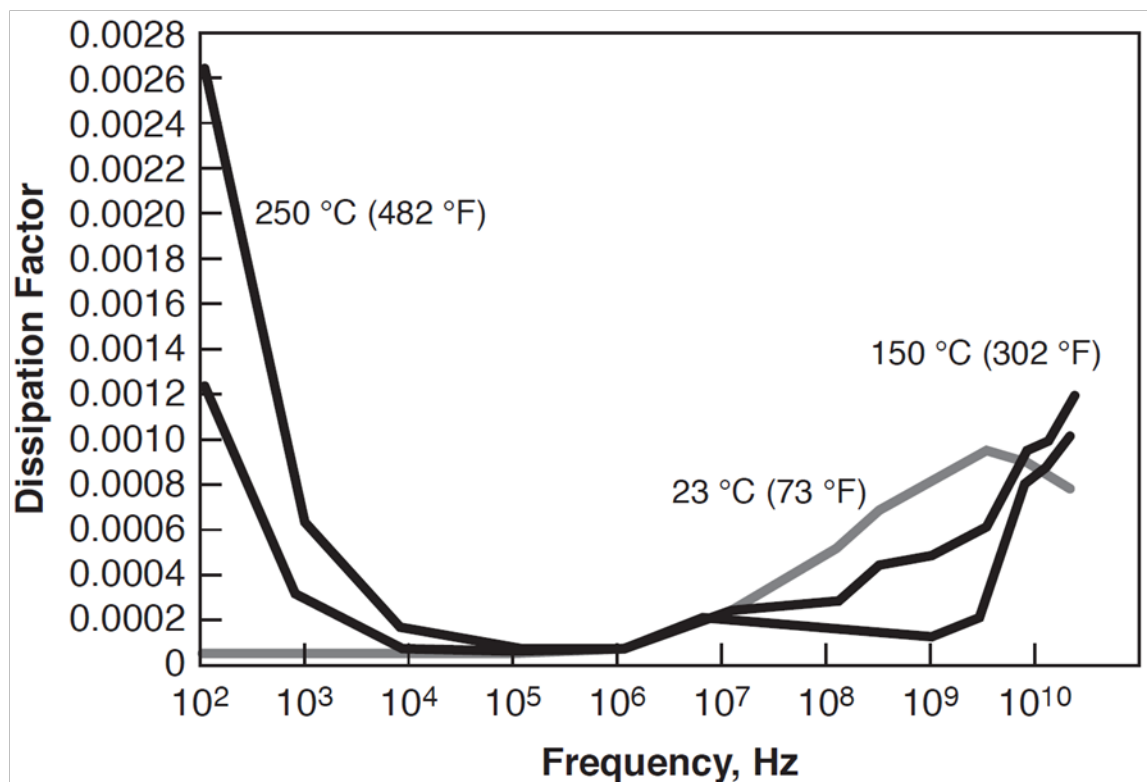
iii. Φθοροπολυμερές PFA

Οι μανδύες που περιβάλλουν εξωτερικά τα SC και RC είναι κατασκευασμένοι από **εξωθημένο φθοροπολυμερές PFA (extruded fluoropolymer PFA)**, το οποίο είναι μια ρητίνη που προέρχεται από τον συμπολυμερισμό τετραφθοροαιθενίου με το τριφθορο-μεθυλόξυ, τριφθορο-αιθένιο. Το υλικό αυτό δεν υπήρχε στην βιβλιοθήκη του Cable Studio και ως εκ τούτου έπρεπε να το υλοποιήσουμε εμείς. Για τον λόγο αυτό αναζητήσαμε πληροφορίες για το PFA και τις ιδιότητες του από διάφορες εταιρείες όπως η DuPont, η Chemours (θυγατρική της DuPont) και η Polyfluor αλλά και από την βάση δεδομένων του MatWeb [50]. Εκ της αναζήτησεως αυτής καταλήξαμε στην επιλογή να υλοποιήσουμε το PFA με την ονομασία “Chemours Teflon® PFA Grade 345 Extrusion and Molding Resin”, που εντοπίσαμε στον ιστότοπο του MatWeb [50]. Οι λόγοι που το επιλέξαμε ήταν αφ’ ενός γιατί χρησιμοποιείται κατ’ εξοχήν για μονώσεις καλωδίων, εφαρμογή για την οποία το προορίζουμε και εμείς στο μοντέλο μας, αλλά και αφ’ ετέρου, όπως δηλώνεται και στην ονομασία του, κατασκευάζεται και δι’ εξωθήσεως (extrusion), όπως επιτάσσει και το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] στην §4.4.7.1.

Από την ιστοσελίδα του MatWeb βρίσκουμε γι’ αυτό το υλικό Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 2.1$, πρακτικά σταθερή για όλο το εύρος συχνοτήτων από 60 Hz έως και 1 GHz . Επίσης ο Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών έχει τιμές από $\tan \delta = 0.0002$ σε συχνότητα 60 MHz έως $\tan \delta = 0.0010$ σε συχνότητα 1 GHz . Τέλος η Διηλεκτρική Αντοχή είναι $\geq 80 \text{ kV/mm}$. Προκειμένου να ορίσουμε το υλικό μας στο Cable Studio θα έπρεπε να δηλώσουμε και μια τιμή για την Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα, μ_r . Στα χαρακτηριστικά που παραθέτει το MatWeb δεν δίνεται σχετική μαγνητική διαπερατότητα, κάτι που άλλωστε συνηθίζεται για τα μονωτικά. Εμείς δηλώσαμε για το PFA Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$, όπως ισχύει για τα μονωτικά (βλ. σχόλιο στην αρχή της παραγράφου 2.6.1.2).

Σχετικά με την Εφαπτομένη Απωλειών, προκειμένου να ορίσουμε το υλικό μας στο Cable Studio έπρεπε να διαλέξουμε μία συγκεκριμένη τιμή συχνότητας για την οποία θα δηλώνουμε την $\tan \delta$. Στην συγκεκριμένη όμως περίπτωση έχουμε δύο ακραίες τιμές για την $\tan \delta$, δοσμένες για δύο ακραίες συχνότητες, τα 60 Hz και το 1 GHz . Επειδή όμως τα δύο άλλα μονωτικά που χρησιμοποιούνται στην διατομή μας, το PTFE και ο Αέρας, έχουν την $\tan \delta$ δοσμένη για τα 100 MHz , επιδιώξαμε και για το PFA να προσεγγίσουμε την τιμή που θα είχε η $\tan \delta$ του σε αυτή την συχνότητα. Για να το κάνουμε αυτό βασιστήκαμε στον κατάλογο της Chemours με ιδιότητες των υλικών PFA που παράγει:

“Teflon™ PFA Fluoropolymer Resins-Properties Handbook”, κατάλογο στον οποίο περιλαμβάνεται και το PFA 345⁷¹. Στον παραπάνω κατάλογο εντοπίζουμε το ακόλουθο γράφημα, το οποίο μας δείχνει τις τιμές του συντελεστή απωλειών ή παράγοντα διάχυσης (dissipation factor) των ρητινών φθοροπολυμερών PFA συναρτήσει της συχνότητας (και για τρεις ενδεικτικές θερμοκρασίες).



Σχήμα 2.9: Ο Παράγων Διάχυσης Φθοροπολυμερών Teflon® PFA, συναρτήσει της συχνότητας [39].

Εμείς θα επικεντρωθούμε στην καμπύλη των 23°C αφού άλλωστε και το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] υπαγορεύει οι διάφορες ηλεκτρικές μετρήσεις να πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία δωματίου (22°C ± 3°C όπως λέει στην §4.6.1 του [8]).

Ο κατάλογος δεν αντιστοιχίζει το γράφημα αυτό σε κάποια συγκεκριμένη από τις ρητίνες PFA (π.χ. τις PFA 340, PFA 345, PFA 350, PFA 416HP, PFA 440HPA, κτλ.), οπότε θεωρήσαμε ότι είναι κατά το μάλλον ή ήττον αντιπροσωπευτικό για όλα τα υλικά PFA της Chemours. Επομένως θα κάνουμε την θεώρηση ότι το υλικό που έχουμε επιλέξει εμείς, δηλ. το Chemours Teflon® PFA Grade 345 Extrusion and Molding Resin έχει και αυτό παράγοντα διάχυσης που ακολουθεί μια καμπύλη παρόμοιας μορφής με την παραπάνω, με μόνη διαφορά ότι στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές θα είναι διαφορετικές και θα αντιστοιχούν σε αυτό το υλικό PFA και μόνο (και θα ληφθούν από τα λεγόμενα στο MatWeb [50] περί του υλικού αυτού). Δηλ. στα 60 Hz και πρακτικά μέχρι περίπου τα 10⁴ Hz = 10 kHz, η tan δ θα έχει τιμή περίπου σταθερή στα 0.0002, ενώ σε συχνότητα 10⁹ Hz = 1 GHz, η tan δ θα έχει τιμή 0.0010. Δηλ. οι τιμές στον κατακόρυφο άξονα θα είναι κατά τι μεγαλύτερες από αυτές που έχει το γράφημα για την καμπύλη των 23°C, όμως η μορφή της καμπύλης θα είναι ίδια. Αν τώρα θεωρήσουμε το τμήμα της καμπύλης μεταξύ 10⁸ Hz = 100 MHz και 10⁹ Hz = 1 GHz προσεγγιστικά ευθύγραμμο, τότε γνωρίζοντας την κλίση του και την τιμή της tan δ στην μια ακραία συχνότητα θα μπορούσαμε να βρούμε και την τιμή της στην άλλη ακραία συχνότητα. Την τιμή για

⁷¹ Επειδή αυτός ο κατάλογος δεν διατηρήθηκε στο διαδίκτυο, ως πηγή για το γράφημα ορίσαμε τον αντίστοιχο κατάλογο της DuPont™ [39], ο οποίος έχει ακριβώς το ίδιο γράφημα, αναφερόμενο στα ίδια πολυμερή (αφού οι δύο εταιρείες έχουν σχέση μητρικής – θυγατρικής).

την μια ακραία συχνότητα, αυτή των $10^9 \text{ Hz} = 1 \text{ GHz}$ την έχουμε από το MatWeb [50] και είναι, όπως είπαμε, 0.0010.

Την κλίση τώρα μπορούμε να την βρούμε αν χρησιμοποιήσουμε τις τιμές του κατακόρυφου άξονα που φέρει το εν λόγω διάγραμμα. Αν φέρουμε κατακόρυφες και οριζόντιες στις δύο συχνότητες που μας ενδιαφέρουν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, θα πάρουμε τις ακόλουθες τιμές:

- για $10^8 \text{ Hz} = 100 \text{ MHz}$: $\tan \delta = 0.00047$ και
- για $10^9 \text{ Hz} = 1 \text{ GHz}$: $\tan \delta = 0.00079$.

Άρα η κλίση της καμπύλης στο κατά προσέγγισιν ευθύγραμμο τμήμα της μεταξύ των δύο αυτών συχνοτήτων είναι:

$$\text{κλίση} = \frac{0.00079 - 0.00047}{\text{απόσταση των συχνοτήτων στον οριζόντιο}} \quad (2.170)$$

Όπως είπαμε λοιπόν, για το PFA που εν προκειμένω επιλέξαμε, δεν έχουμε τις ίδιες τιμές του κατακόρυφου άξονα, όμως έχουμε την ίδια μορφή της καμπύλης. Άρα έχουμε την ίδια κλίση μεταξύ αυτών των δύο συχνοτήτων, η οποία τώρα θα δίνεται από τον λόγο:

$$\text{κλίση} = \frac{0.0010 - y}{\text{απόσταση των δύο συχνοτήτων στον οριζόντιο}} \quad (2.171)$$

(όπου y η ζητούμενη τιμή της $\tan \delta$ στην συχνότητα των 10^8 Hz) και θα ισούται με την τιμή που βρήκαμε προηγουμένως, δηλ.:

$$(2.170) \stackrel{(2.171)}{\implies} \frac{0.0010 - y}{\text{απόσταση των συχνοτήτων στον οριζόντιο}} = \frac{0.00079 - 0.00047}{\text{απόσταση των συχνοτήτων στον οριζόντιο}} \quad (2.172)$$

Το γράφημα είναι ημιλογαριθμικό, αφού μόνο ο οριζόντιος άξονας είναι λογαριθμικός, οπότε δεν αντικαθιστούμε την τιμή της οριζόντιας απόστασης των δύο συχνοτήτων, 10^8 Hz και 10^9 Hz σαν διαφορά, αλλά την αφήνουμε έτσι. Ούτως ή άλλως είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις γραφημάτων, οπότε θα απλοποιηθεί. Συνεπώς έχουμε ότι:

$$(2.172) \Leftrightarrow 0.0010 - y = 0.00079 - 0.00047 \\ \Leftrightarrow y = 0.00068$$

Οπότε για την συχνότητα των $10^8 \text{ Hz} = 100 \text{ MHz}$ έχουμε ότι $\tan \delta = 0.00068 = 680 \mu$ για το υλικό μας.

Πλέον έχουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να υλοποιήσουμε το υλικό στο Cable Studio. Συγκεντρωτικά αυτά είναι:

- ο Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 2.1$,
- ο Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta = 0.00068 = 680 \mu$ σε συχνότητα 100.0 MHz ,
- ο Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- ο Διηλεκτρική Αντοχή (ως γνωστόν για τον αέρα) $E_d \geq 80 \text{ kV/mm}$.

Επιλέξαμε να το ονομάσουμε με το πλήρες όνομα που δίνει και ο ιστότοπος του MatWeb [50], δηλ. **PFA (Chemours Teflon PFA Grade 345 Extrusion and Molding Resin)**, για το ενδεχόμενο που κάποιος άλλος χρήστης θελήσει αργότερα να υλοποιήσει και άλλες μορφές φθοροπολυμερούς PFA. Παρακάτω βλέπουμε την εικόνα του υλικού, όπως ορίστηκε για να ενταχθεί στην βιβλιοθήκη:

Identifier: PFA_(Chemours_Teflon_PFA_Grade_345_Extrusion_and_Molding_Resin) Rename...

Material: insulator

Permittivity

Epsilon: 2.1

Tangent delta el.: 680.0u

at Frequency: 100.0M [Hz]

Permeability

Mu: 1.0

Εικόνα 2.15: Τα χαρακτηριστικά του PFA [56].

Σχόλιο ως προς τα πάχη των μονωτικών στρωμάτων:

Δεν πρέπει να μας ανησυχεί το γεγονός ότι τα πάχη των μονωτικών στρωμάτων είναι τόσο μικρά (όπως διαπιστώνουμε από τις τιμές τους, που δίνονται στις παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1) διότι οι μονωτικές ιδιότητες των υλικών όπως το PTFE ή το PFA είναι τόσο καλές που καλύπτουν κατά πολύ τις απαιτήσεις μόνωσης για τα επίπεδα τάσης που χρησιμοποιούνται στο SpW (αφού τα διακινούμενα σήματα είναι της τάξεως των λίγων εκατοντάδων mV), αλλά και για τυχόντα σφάλματα (διότι ακόμα και τυχούσες υπερτάσεις λόγω σφαλμάτων, εντός λογικών πλαισίων, πραγματικά υπερκαλύπτονται από μια τέτοια στάθμη μόνωσης).

2.6.2 Επιλογή του Υλικού που εκχωρείται σε κάθε σημείο της Διατομής

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τώρα σε ποιά σημεία της διατομής εκχωρούνται τα υλικά που αναφέρθηκαν στην υποενότητα 2.6.1, θα παραθέσουμε ένα ένα όλα τα διαφορετικά μέρη του καλωδίου SpW, ξεκινώντας από τον πυρήνα του και προχωρώντας προς την περιφέρειά του και για κάθε μέρος του θα σημειώνουμε το αντίστοιχο υλικό.

1) Εσωτερικός Αγωγός (Inner Conductor):

Οι 7 κλώνοι που συνθέτουν τον εσωτερικό αγωγό πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy). Το πάχος της επαργύρωσης πρέπει να είναι $2 \mu m$ κατ' ελάχιστον (βλ. την §4.4.2.1 του [8]). Εδώ δηλ. εκχωρείται το αγωγίμο υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.1).

2) Διηλεκτρικό Εσωτερικού Αγωγού (Dielectric of Inner Conductor):

Το διηλεκτρικό που παρέχει την μόνωση στον κάθε έναν από τους δύο εσωτερικούς αγωγούς του διαφορικού ζεύγους είναι φτιαγμένο από διογκωμένο, μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE). Αυτό είναι και το βασικό μονωτικό του καλωδίου, αφού περιβάλλει άμεσα τους ενεργούς αγωγούς των σημάτων. Πρόκειται για το διηλεκτρικό υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

3) Πληρωτής του SC (SC Filler):

Το υλικό από το οποίο πρέπει να συντίθενται οι πληρωτές για τα 4 SCs του SpW είναι, σύμφωνα με το πρότυπο, διογκωμένο μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE), όπως και το μονωτικό των εσωτερικών αγωγών. Και πάλι λοιπόν εκχωρούμε το διηλεκτρικό υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

4) Μονωτικό που γεμίζει τα κενά των υποκαλωδίων του SC (Insulator Inside SC):

Όπως θα διαπιστώσουμε και στην ενότητα 2.8, όπου θα μιλήσουμε για την δόμηση του καλωδίου, μεταξύ των υποκαλωδίων ενός συνθέτου καλωδίου, άρα τόσο του SC όσο και του RC στην συγκεκριμένη εφαρμογή, υπάρχει πάντα ένα μονωτικό υλικό το οποίο γεμίζει όλα τα κενά που αναπόφευκτα υπάρχουν. Το μονωτικό αυτό μπορεί είτε να το εισάγει ο κατασκευαστής (παραδείγματος χάριν με έγχυση ενός μονωτικού σε υγρή μορφή, το οποίο θα στερεοποιηθεί στην συνέχεια), είτε να το αφήσει να είναι ο αέρας. Το CST λοιπόν έχει δώσει την δυνατότητα να ορίζεται αυτός ο μονωτής στα Cable Groups (ο λεγόμενος Insulator Inside).

Το πρότυπο δεν μας δίνει κάποια πληροφορία για τον μονωτή αυτόν και από τι υλικό θα μπορούσε να αποτελείται, συνεπώς το απολύτως λογικό είναι να επιλέξουμε τον αέρα για τον ρόλο αυτό (διότι αυτός στην πραγματικότητα θα γεμίσει όλα τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων κατά την διαδικασία κατασκευής του SpW). Εδώ λοιπόν εκχωρούμε το διηλεκτρικό υλικό ii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

5) Δεματικό του SC ή Εσωτερικό Δεματικό⁷² (SC Binder or Inner Binder):

Στην περίπτωση της Var. 02 έχουμε δεματικό και για το SC (εκτός του δεματικού που έχουν και οι δύο Variants για το RC). Το υλικό του δεματικού αυτού είναι και πάλι μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE), οπότε και πάλι το διηλεκτρικό υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

6) Αγωγοί Εσωτερικής Θωρακίσεως (Inner Shield Strands):

Τα συρματίδια που συνθέτουν την εσωτερική θωράκιση πρέπει, σύμφωνα με το πρότυπο να είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό με αυτό των κλώνων του εσωτερικού αγωγού, δηλ. επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy). Η μόνη διαφορά είναι ότι το πάχος της επαργύρωσης πρέπει να είναι 2.5 μm κατ' ελάχιστον (βλ. την § 4.4.6.1 του [8]). Εδώ αντιστοιχίζεται το αγωγίμο υλικό ii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.1).

7) Εξωτερικός Μανδύας – Κάλυμμα του SC ή Εσωτερικός Μανδύας⁷³ (Inner Jacket):

Ο μανδύας που περιβάλλει εξωτερικά το κάθε SC πρέπει να είναι κατασκευασμένος από εξωθημένο φθοροπολυμερές PFA (extruded fluoropolymer PFA), επομένως εδώ θα εκχωρήσουμε το διηλεκτρικό υλικό iii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

8) Πληρωτής του RC (RC Filler):

Το υλικό από το οποίο πρέπει να συντίθενται ο πληρωτής του RC είναι σύμφωνα με το πρότυπο διογκωμένο, μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE), όπως ισχύει και για τους πληρωτές των τεσσάρων SCs. Και πάλι λοιπόν το κατάλληλο υλικό είναι το διηλεκτρικό υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

⁷² Βλ. στην ενότητα 2.1 τις ορολογίες που χρησιμοποιήσαμε για λόγους διακρίσεως.

⁷³ Βλ. ανωτ. υποσ. 72.

9) Μονωτικό που γεμίζει τα κενά των υποκαλωδίων του RC (Insulator Inside RC):

Όπως το πρότυπο δεν μας έδινε κάποια πληροφορία για το μονωτικό στο εσωτερικό του SC, έτσι και για το εσωτερικό του RC δεν μας δίνει κανένα στοιχείο γύρω από το τι υλικό θα μπορούσε να γεμίζει τον χώρο αυτόν. Συνεπώς το απολύτως λογικό είναι και πάλι να επιλέξουμε τον αέρα για τον ρόλο αυτό, δηλ. το διηλεκτρικό υλικό ii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

10) Δεματικό του RC ή Εξωτερικό Δεματικό⁷⁴ (RC Binder or Outer Binder):

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, και στις δύο Variants έχουμε δεματικό για το RC, το οποίο περιβάλλει όλα τα υποκαλώδια πριν προστεθεί η θωράκιση. Το υλικό του δεματικού αυτού είναι και πάλι μικροπορώδες πολυτετραφθοροαιθένιο (expanded, microporous PTFE). Εκχωρούμε δηλ. ξανά το διηλεκτρικό υλικό i. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

11) Αγωγοί Εξωτερικής Θωρακίσεως (Outer Shield Strands):

Το πρότυπο υπαγορεύει ότι τα συρματίδια που συνθέτουν την εξωτερική θωράκιση (όπως και αυτά που συνθέτουν τις εσωτερικές θωρακίσεις) θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από επαργυρωμένο κράμα ανοπτημένου χαλκού (Cu) υψηλής αντοχής (silver – coated high strength annealed copper alloy) με πάχος επαργύρωσης που οφείλει να είναι 2.5 μm κατ' ελάχιστον (βλ. την §4.4.6.1 του [8]). Εδώ αντιστοιχίζεται το αγωγίμο υλικό iii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.1).

12) Εξωτερικός Μανδύας – Κάλυμμα του RC ή Εξωτερικός Μανδύας⁷⁵ (Outer Jacket):

Ο μανδύας που περιβάλλει εξωτερικά το πλήρες καλώδιο, δηλ. το RC πρέπει να είναι κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό με τον μανδύα των SCs, δηλ. το εξωθημένο φθοροπολυμερές PFA (extruded fluoropolymer PFA). Και εδώ λοιπόν κάναμε χρήση του διηλεκτρικού υλικού iii. (βλ. παράγραφο 2.6.1.2).

2.7 Θεωρητικός Έλεγχος του Μοντέλου της Διατομής

Πέραν των απαιτήσεων που το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] θέτει ως προς τις διαστάσεις των διαφόρων υποκαλωδίων και του SpW στο σύνολό του (τις οποίες και εξετάσαμε και εξασφαλίσαμε την ικανοποίησή τους με τις τιμές που δώσαμε στις κατάλληλες παραμέτρους στην ενότητα 2.5), καθοριστικής σημασίας (και ίσως και μεγαλύτερης σημασίας) είναι οι απαιτήσεις που σχετίζονται με ορισμένες βασικές ηλεκτρικές ιδιότητες του καλωδίου. Οι απαιτήσεις αυτές συνοψίζονται στην σελίδα 23 του [8] και ελέγχονται στην πράξη μέσω των λεγομένων ηλεκτρικών μετρήσεων – δοκιμών στις οποίες υποβάλλεται το καλώδιο μετά την παραγωγή του. Αν οι δοκιμές στις οποίες θα υποβληθεί το καλώδιο είναι επιτυχείς (δηλ. αν τα αποτελέσματα των αντιστοίχων μετρήσεων είναι εντός των καθορισμένων από το πρότυπο ορίων) τότε το καλώδιο είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές και στο περιβάλλον για τα οποία προορίζεται.

Στο σημείο αυτό λοιπόν, όπου έχουμε ολοκληρώσει τον ορισμό των παραμέτρων, πριν προχωρήσουμε στην υλοποίηση της διατομής του SpW, θεωρήσαμε πρόπον να κάνουμε αδρομερώς μια επαλήθευση ότι οι βασικές απαιτήσεις του προτύπου για το καλώδιο ικανοποιούνται. Αυτό θα

⁷⁴ Βλ. στην ενότητα 2.1 τις ορολογίες που χρησιμοποιήσαμε για λόγους διακρίσεως.

⁷⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 74.

μας βοηθήσει ώστε, στην περίπτωση που έχει διαφύγει της αντιλήψεώς μας κάτι το κραυγαλέο (όπως μια τιμή διαφορικής εμπέδησης έξω από το επιτρεπόμενο όριο), αυτό να διορθωθεί σε αυτό το σημείο και να προχωρήσουμε έτσι με σιγουριά στα επόμενα βήματα. Οποσδήποτε αυτός ο έλεγχος οφείλει να γίνει πριν προχωρήσουμε στα επόμενα στάδια της προσομοίωσής μας (υλοποίηση συνδέσμων και ένωσή τους με το καλώδιο προς δημιουργία της πλήρους ζεύξης SpW), διότι είναι πολύ σαφώς προβληματικό το να έχει υλοποιηθεί η πλήρης ζεύξη και να γυρίζουμε πίσω και να κάνουμε συνεχείς διορθώσεις.

Στα πλαίσια μιας θεωρητικής επαλήθευσης του κατά πόσον το μοντέλο του καλωδίου που φτιάξαμε ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου, είναι προφανές ότι δεν μπορούν να ελεγχθούν τα πάντα. Παραδείγματος χάριν δεν μπορεί να γίνει κάποια θεωρητική επιβεβαίωση ότι το *intra pair skew* και το *inter pair skew* είναι εντός των ορίων (παρά μόνο αν τρέξουμε μια κατάλληλη προσομοίωση, κάτι που δεν μπορεί να γίνει όσο το μοντέλο μας βρίσκεται ακόμα στο σημείο της διατομής του καλωδίου). Σίγουρα όμως μπορούν να ελεγχθούν απλούστερες αλλά και πάλι βασικές απαιτήσεις όπως αυτές που θα παραθέσουμε στην συνέχεια. Επίσης πρέπει να προσθέσουμε ότι, στην πραγματικότητα οι δοκιμές αυτές (π.χ. δοκιμές διηλεκτρικής αντοχής κ.α.) και οι διάφορες μετρήσεις (π.χ. DC αντίστασης αγωγού, αντίστασης μονώσεως, χαρακτηριστικής εμπέδησης κ.α.) γίνονται πολύ εύκολα με τον κατάλληλο εργαστηριακό εξοπλισμό και τα κατάλληλα μετρητικά όργανα. Δηλ. όλες οι επιθυμητές τιμές μετρώνται απ' ευθείας. Σε μια όμως θεωρητική μελέτη, όπως αυτή που θα ακολουθήσει, αναγκαστικά θα χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες μαθηματικές σχέσεις, όπως προκύπτουν από την πεδιακή ανάλυση, ώστε να υπολογιστούν (προσεγγιστικά πάντοτε) οι τιμές των μεγεθών που θέλουμε.

Να σημειώσουμε ότι σύμφωνα με το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], οι μετρήσεις αυτές γίνονται σε θερμοκρασία δωματίου (η οποία συγκεκριμενοποιείται ως $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ στην §4.6.1 του [8]). Συνεπώς και εμείς, στη θεωρητική επαλήθευση αυτών των μετρήσεων και για όσα υλικά έχουμε σχετικές πληροφορίες, θα χρησιμοποιήσουμε για τα χαρακτηριστικά τους τιμές που αντιστοιχούν σε αυτή την περιοχή θερμοκρασιών (όπως π.χ. κάναμε και για το PFA, στην παράγραφο 2.6.1.2 παραπάνω).

2.7.1 Ωμική Αντίσταση του Εσωτερικού Αγωγού

Η Ωμική Αντίσταση του Εσωτερικού Αγωγού είναι αυτή που στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8] επισημαίνεται ως “Inner Conductor Resistance”. Όπως βλέπουμε από το πρότυπο αυτό, **η ανώτατη τιμή που επιτρέπεται να έχει η DC αντίσταση του 7κλώνου εσωτερικού αγωγού** είναι:

- **Για την Var. 01:** $R_{DC_{max_{p.u.length}}} = 256 \Omega/km$
- **Για την Var. 02:** $R_{DC_{max_{p.u.length}}} = 159 \Omega/km$

όπου η έκφραση “*p.u. length*” σημαίνει «ανά μονάδα μήκους».

Όπως αναφέρεται και στην §9.5 της ESCC Generic Specification 3902 [10] (όπου μας παραπέμπει το [8]), η DC αντίσταση που θα μετρηθεί πρέπει να αντιστοιχεί στους 20°C ($R_{DC_{20_{p.u.length}}}$), οπότε αν η θερμοκρασία θ του δωματίου στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση διαφέρει, τότε θα πρέπει η τιμή της αντίστασης, $R_{DC_{\theta_{p.u.length}}}$, που θα μετρηθεί να αναχθεί στους 20°C , με την γνωστή σχέση:

$$R_{DC_{\theta_{p.u.length}}} = R_{DC_{20_{p.u.length}}} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20)) \Leftrightarrow$$

$$R_{DC_{20_{p.u.length}}} = \frac{R_{DC_{\theta_{p.u.length}}}}{1 + \alpha \cdot (\theta - 20)}$$

όπου:

θ : η θερμοκρασία στον χώρο της μέτρησης σε $^{\circ}\text{C}$ και

α : ο θερμοκρασιακός συντελεστής για αυτό το κράμα χαλκού, ο οποίος δίνεται ίσος με 0.0035 [8].

Η θεωρητική επαλήθευση που μπορούμε να κάνουμε είναι σχετικά εύκολη. Γνωρίζουμε ότι η αντίσταση του αγωγού προκύπτει από την παραλληλία των αντιστάσεων 7 επαργυρωμένων κλώνων

ανοπτημένου χαλκού με γνωστή διάμετρο και πάχος επαργύρωσης. Άρα αν έχουμε τις ειδικές αγωγιμότητες των υλικών αυτών, του αργύρου και του ανοπτημένου χαλκού, η εύρεση της DC αντιστάσεώς τους είναι απλή.

Το CST μπορεί να υποστηρίξει προσομοιώσεις με υλικά των οποίων τα χαρακτηριστικά ϵ , σ , και μ είναι εξαρτώμενα από την θερμοκρασία. Πρόκειται για τον τύπο υλικών που λέγεται Temp. dependent και Lossy metal temp. dep. (ειδικότερα για μέταλλα). Η δυνατότητα όμως αυτή υπάρχει μόνο στο 3D Modeling. Και μάλιστα είναι σχετικά σπανίως χρησιμοποιούμενη αφού και τα συνηθέστερα μέταλλα στο Material Library του 3D modeling είναι τύπου Normal ή Lossy metal. Εμείς όμως, όπως αναφέραμε και παραπάνω, υλοποιήσαμε τους αγωγούς μας στο Cable Studio. Εκεί, στο συγκεκριμένο Material Library, τα χαρακτηριστικά των υλικών είναι πολύ πιο περιορισμένα. Συγκεκριμένα για τους αγωγούς δίνονται μόνο η ειδική αγωγιμότητα σ και η σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r χωρίς καμία πληροφορία για εξάρτηση από την θερμοκρασία ή την συχνότητα. Δεν μπορούμε συνεπώς να γνωρίζουμε αν το CST μας δίνει τις τιμές της αγωγιμότητας για τα μέταλλα που μας ενδιαφέρουν για θερμοκρασία 20°C στα υλικά του Cable Studio. Και όπως είπαμε δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την ειδική αγωγιμότητα που δίνει το CST ακόμα και αν την λάβουμε από τα υλικά του Material Library του 3D modeling διότι εκεί ο ανοπτημένος χαλκός [υλικό Copper (annealed)] και ο άργυρος (υλικό Silver) είναι τύπου Lossy metal. Προκειμένου λοιπόν να είμαστε όσο πιο κοντά στις απαιτήσεις του προτύπου, αναζητήσαμε βιβλιογραφικά τις τιμές της ειδικής αγωγιμότητας των υλικών αυτών για την θερμοκρασία των 20°C.

Για τον ανοπτημένο χαλκό λάβαμε (από το πρότυπο [17]) την τιμή της ειδικής του αγωγιμότητας για τους 20°C ίση προς:

$$\sigma_{Cu} = 5.80 \cdot 10^7 \text{ S/m} \quad (2.173)$$

Αυτή είναι η τιμή που έχει υιοθετηθεί και από την IEC στα χαρακτηριστικά που συνθέτουν αυτό που ονομάζουν International Annealed Copper Standard [17]. Την ίδια τιμή χρησιμοποιεί και το CST για τον ανοπτημένο χαλκό στην Material Library του 3D Modeling (σε αντίθεση με τον καθαρό χαλκό, που από την βιβλιογραφία ([22], [23], [35]) βρίσκουμε πως έχει ειδική αντίσταση στους 20°C ίση περίπου με $1.68 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ άρα ειδική αγωγιμότητα περίπου $5.96 \cdot 10^7 \text{ S/m}$, τιμή που χρησιμοποιείται και στο Material Library του 3D Modeling του CST).

Για τον άργυρο βρήκαμε πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών ([22], [23], [24], [35]) που συνέκλιναν όλες σε στρογγυλοποιημένη τιμή ειδικής αντιστάσεως για τους 20°C ίσης προς:

$$\rho_{Ag} = 1.59 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$$

Συνεπώς έχουμε ειδική αγωγιμότητα του αργύρου στους 20°C:

$$\sigma_{Ag} = \frac{1}{\rho_{Ag}} \Rightarrow$$

$$\sigma_{Ag} = 6.30 \cdot 10^7 \text{ S/m} \quad (2.174)$$

Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά σε αυτήν που χρησιμοποιεί και το CST για τον άργυρο στο Material Library του 3D Modeling. Εκεί η τιμή είναι $6.3012 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ [56]. Αν μάλιστα επιλέξουμε χωρίς στρογγυλοποίηση την τιμή που μας δίνει το [35], τότε θα είχαμε στους 20°C, $\rho_{Ag} = 1.587 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ άρα αγωγιμότητα ίση με $6.3012 \cdot 10^7 \text{ S/m}$, ακριβώς όπως μας δίνει το CST. Εμείς, προκειμένου να έχουμε τον ίδιο βαθμό στρογγυλοποίησης και στα δύο υλικά, θα κρατήσουμε μέχρι 2 δεκαδικά ψηφία, δηλ. τα $6.30 \cdot 10^7 \text{ S/m}$.

Έχοντας τις τιμές αυτές μπορούμε να προχωρήσουμε στην εύρεση της ανά μονάδα μήκους αντίστασης πρώτα του κάθε κλώνου και έπειτα όλου του επτάκλωνου εσωτερικού αγωγού. Τον κάθε επαργυρωμένο κλώνο χαλκού τον βλέπουμε σαν την παραλληλία δύο αντιστάσεων, μιας χάλκινης σε σχήμα συμπαγούς κυλίνδρου και μιας ασημένιας σε σχήμα κοίλου κυλίνδρου. Στην συνέχεια θα έχουμε την παραλληλία 7 τέτοιων αντιστάσεων. Επειδή οι διαστάσεις των κλώνων διαφέρουν για τις δύο παραλλαγές, θα έχουμε:

Για την Var. 01:

Για τον κάθε κλώνο του εσωτερικού αγωγού έχουμε τους εξής υπολογισμούς:

- Η χάλκινη αντίσταση έχει διάμετρο όσο λέει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], αν αφαιρέσουμε δύο φορές το πάχος επαργύρωσης, δηλ. $d_{Cu} = 0.126 \text{ mm} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = 0.122 \text{ mm}$, άρα εμβαδόν $S_{Cu} = \pi \cdot \left(\frac{d_{Cu}}{2}\right)^2 = 0.011689866 \text{ mm}^2$.
- Η ασημένια αντίσταση έχει εξωτερική διάμετρο όσο λέει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], δηλ. $d_{Cu+Ag} = 0.126 \text{ mm}$ και εσωτερική διάμετρο που προκύπτει από την εξωτερική με αφαίρεση του διπλασίου του πάχους επαργύρωσης, δηλ. $d_{Cu+Ag_{inner}} = d_{Cu+Ag} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = d_{Cu} = 0.122 \text{ mm}$, άρα εμβαδόν $S_{Ag} = \pi \cdot \left[\left(\frac{d_{Cu+Ag}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{Cu+Ag_{inner}}}{2}\right)^2 \right] = 0.000779115 \text{ mm}^2$.

Επομένως έχουμε ότι:

$$\frac{1}{R_{κλώνου}} = \frac{1}{R_{Cu}} + \frac{1}{R_{Ag}} = \frac{1}{\rho_{Cu}} \cdot \frac{S_{Cu}}{l} + \frac{1}{\rho_{Ag}} \cdot \frac{S_{Ag}}{l} \Leftrightarrow$$

$$\frac{l}{R_{κλώνου}} = (\sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}) + (\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag}) \xrightarrow{(2.173), (2.174) \text{ και τα παραπάνω εμβαδά}}$$

$$\frac{l}{R_{κλώνου}} = (5.80 \cdot 10^7 \cdot 0.011689866 + 6.30 \cdot 10^7 \cdot 0.000779115) \frac{S \cdot \text{mm}^2}{m} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_{κλώνου}/l} = 0.072709648 \cdot 10^7 \frac{S \cdot \text{mm}^2}{m} = 0.72709648 S \cdot m$$

Τώρα απομένει να υπολογίσουμε την παραλληλία των ανά μονάδα μήκους αντιστάσεων των 7 κλώνων, ώστε να πάρουμε την ανά μήκους αντίσταση του εσωτερικού αγωγού (inner conductor):

$$\frac{1}{R_{inner \text{ cond.}/l}} = 7 \cdot \frac{1}{R_{κλώνου}/l} = 7 \cdot 0.72709648 S \cdot m = 5.08967536 S \cdot m \Rightarrow$$

$$\frac{R_{inner \text{ cond.}}}{l} = 0.196476185 \frac{\Omega}{m} \Rightarrow$$

$$R_{inner \text{ cond.}, p.u. length} \cong 196.5 \frac{\Omega}{\text{km}} < 256 \frac{\Omega}{\text{km}} = R_{DCmax, p.u. length}$$

Επομένως η απαίτηση του προτύπου ικανοποιείται για την Var. 01.

Για την Var. 02:

Για τον κάθε κλώνο του εσωτερικού αγωγού έχουμε τους εξής υπολογισμούς:

- Η χάλκινη αντίσταση έχει διάμετρο όσο λέει το πρότυπο αν αφαιρέσουμε δύο φορές το πάχος επαργύρωσης, δηλ. $d_{Cu} = 0.160 \text{ mm} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = 0.156 \text{ mm}$, άρα εμβαδόν $S_{Cu} = \pi \cdot \left(\frac{d_{Cu}}{2}\right)^2 = 0.01911345 \text{ mm}^2$.
- Η ασημένια αντίσταση έχει εξωτερική διάμετρο όσο λέει το πρότυπο, δηλ. $d_{Cu+Ag} = 0.160 \text{ mm}$ και εσωτερική διάμετρο που προκύπτει από την εξωτερική με αφαίρεση του διπλασίου του πάχους επαργύρωσης, δηλ. $d_{Cu+Ag_{inner}} = d_{Cu+Ag} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = d_{Cu} = 0.156 \text{ mm}$, άρα εμβαδόν $S_{Ag} = \pi \cdot \left[\left(\frac{d_{Cu+Ag}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{Cu+Ag_{inner}}}{2}\right)^2 \right] = 0.000992743 \text{ mm}^2$.

Άρα έχουμε ότι (ομοίως με πριν):

$$\frac{1}{R_{κλώνου}} = \frac{1}{R_{Cu}} + \frac{1}{R_{Ag}} = \frac{1}{\rho_{Cu}} \cdot \frac{S_{Cu}}{l} + \frac{1}{\rho_{Ag}} \cdot \frac{S_{Ag}}{l} \Leftrightarrow$$

$$\frac{l}{R_{κλώνου}} = (\sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}) + (\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag}) \xrightarrow{(2.173), (2.174) \text{ και τα παραπάνω εμβαδά}}$$

$$\frac{l}{R_{κλώνου}} = (5.80 \cdot 10^7 \cdot 0.01911345 + 6.30 \cdot 10^7 \cdot 0.000992743) \frac{S \cdot \text{mm}^2}{m} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_{κλώνου}/l} = 0.117112291 \cdot 10^7 \frac{S \cdot \text{mm}^2}{m} = 1.17112291 S \cdot m$$

Τώρα απομένει να υπολογίσουμε την παραλληλία των ανά μονάδα μήκους αντιστάσεων των 7 κλώνων, ώστε να πάρουμε την ανά μήκους αντίσταση του εσωτερικού αγωγού (inner conductor):

$$\frac{1}{R_{inner\ cond./l}} = 7 \cdot \frac{1}{R_{κλώνου/l}} = 7 \cdot 1.17112291\ S \cdot m = 8.19786037\ S \cdot m \Rightarrow$$

$$\frac{R_{inner\ cond.}}{l} = 0.121983049\ \frac{\Omega}{m} \Rightarrow$$

$$R_{inner\ cond.p.u.length} \cong 122.0\ \frac{\Omega}{km} < 159\ \frac{\Omega}{km} = R_{DCmax.p.u.length}$$

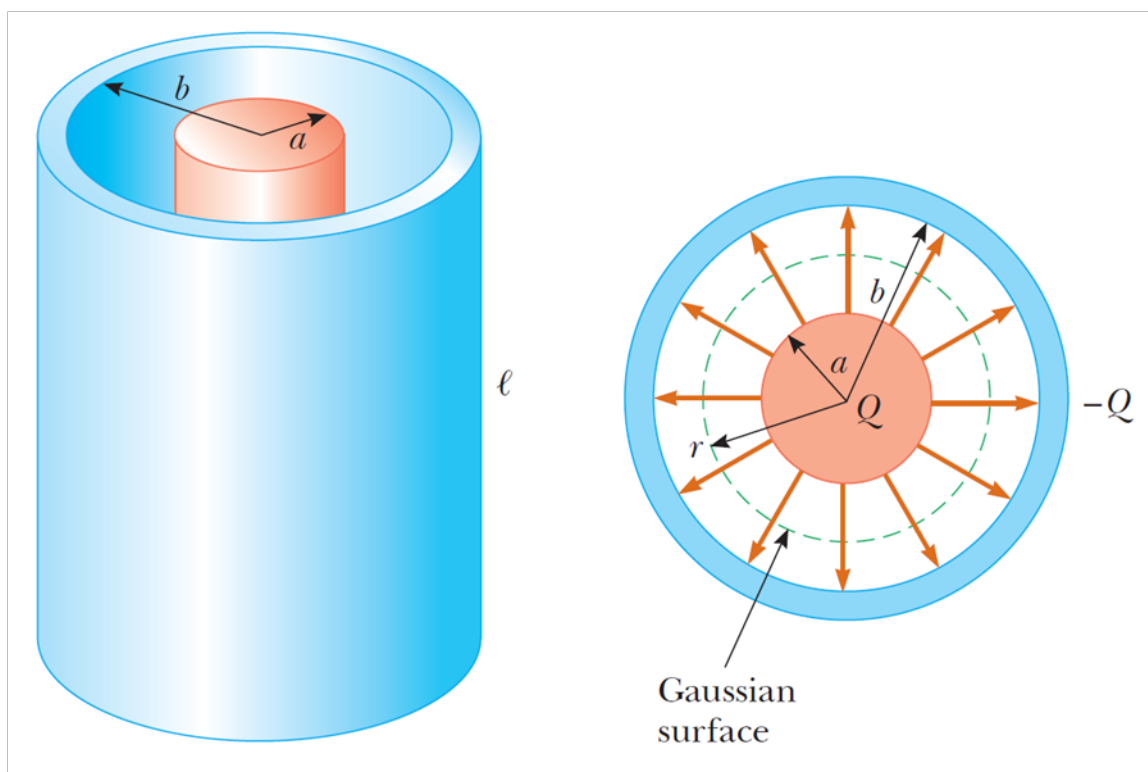
Επομένως η απαίτηση του προτύπου ικανοποιείται και για την Var. 02.

2.7.2 Διηλεκτρική Αντοχή της Μονώσεως του Εσωτερικού Αγωγού

Ο έλεγχος της Διηλεκτρικής Αντοχής της Μονώσεως του Εσωτερικού Αγωγού είναι αυτός που στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8] επισημαίνεται ως “Characteristic Voltage Test of Dielectric Core (*kVdc*)”. Η βασικότερη απαίτηση του προτύπου που σχετίζεται με το μονωτικό αυτό καθ’ εαυτό (και το λέμε αυτό διότι και οι απαιτήσεις για ανώτατη τιμή χωρητικότητας και εμπέδησης σχετίζονται και με το πάχος του διηλεκτρικού, εκτός των άλλων) είναι η διηλεκτρική του αντοχή. Για τις λεπτομέρειες της δοκιμής διηλεκτρικής αντοχής της μονώσεως του εσωτερικού αγωγού, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] μας παραπέμπει στην §9.7 της ESCC Generic Specification 3902 [10], με την διαφοροποίηση ότι η τάση που θα εφαρμοστεί θα είναι DC και όχι AC (βλ. τις §4.2.2 σελ. 12 και §4.8.13 σελ. 20 του [8]). Εκεί βλέπουμε πως αναλυτικά η δοκιμή αυτή περιγράφεται στο πρότυπο FED-STD-228, στην μέθοδο 6111 αυτού (με την διαφορά ότι εκεί το δείγμα πρέπει να δοκιμαστεί βυθισμένο σε νερό ενώ η [10] διευκρινίζει ότι, εν προκειμένω, η δοκιμή πρέπει να γίνει με το δείγμα στεγνό). Το πρότυπο αυτό όμως δεν κατέστη δυνατό να ευρεθεί. Παρ’ όλα αυτά ανευρέθησαν τα JAXA-QTS-2120D [12] και MIL-DTL-17J [1], τα οποία βρίσκονται και τα δύο σε συμμόρφωση με το FED-STD-228 και συμφωνούν επίσης με τα λεγόμενα στην §9.7 του [10].

Σύμφωνα με τα παραπάνω έγγραφα, για την δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού του εσωτερικού αγωγού πρέπει να εφαρμοστεί τάση βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz στην περίπτωση του ευρωπαϊκού δικτύου) μεταξύ του ενός εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως (inner shield) (με την θωράκιση γειωμένη), με τιμή που συγκεκριμενοποιείται από στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8]. Βέβαια, όπως αναφέραμε, το [8] απαιτεί **DC τάση και συγκεκριμένα τιμές 1.4 kV** (και για τις δύο Variants) (βλ. σελ. 23 του [8]). **Η τάση αυτή θα πρέπει να διατηρηθεί για 1 min κατ’ ελάχιστον και θα πρέπει στο διάστημα της εφαρμογής της το δείγμα καλωδίου να μην επιδείξει διάσπαση (breakdown), υπερπήδηση (flash-over) ή σπινθηρισμούς (spark-over)**. Φυσικά η δοκιμή αυτή πρέπει να επαναληφθεί και μεταξύ του άλλου αγωγού και της θωρακίσεως, για να εξακριβωθεί ότι ούτε ο ένας ούτε ο άλλος αγωγός έχουν σημεία στην μόνωσή τους που μπορεί να είναι υπεύθυνα για την έναρξη μιας διάσπασης.

Για να ελέγξουμε σε θεωρητικό επίπεδο αν το διηλεκτρικό των εσωτερικών αγωγών αντέχει την τάση αυτή θα πρέπει να υπολογίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο που θα αναπτυχθεί στο διηλεκτρικό μεταξύ εσωτερικού αγωγού και εσωτερικής θωρακίσεως και να διαπιστώσουμε αν υπερβαίνει ή όχι την πεδιακή ένταση διάσπασής του. Όμως μεταξύ του εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως, το πεδίο δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση ομογενές. Άρα δεν μπορούμε να κάνουμε χρήση της σχέσεως που μας δίνει την πεδιακή ένταση σε ομογενές πεδίο. Στην πραγματικότητα η μορφή του πεδίου αυτού είναι πιο κοντά σε αυτή ενός κυλινδρικού πυκνωτή, με τον εσωτερικό αγωγό και την εσωτερική θωράκιση να παίζουν τους ρόλους των οπλισμών και το PTFE να είναι το διηλεκτρικό ανάμεσά τους.



Σχήμα 2.10: Το ηλεκτρικό πεδίο Κυλινδρικού Πυκνωτού [24].

Φυσικά, αν θέλουμε να είμαστε πιο ακριβείς, θα πρέπει να παραδεχθούμε ότι το πεδιακό μας πρόβλημα διαφέρει κάπως και από το σχήμα του κυλινδρικού πυκνωτή αφού, λόγω της ύπαρξης των δύο αγωγών και των fillers, ο ένας εσωτερικός αγωγός (δηλ. ο εσωτερικός οπλισμός) δεν είναι ομόκεντρος με την θωράκιση (δηλ. τον εξωτερικό οπλισμό). Επίσης δεν είναι και ο χώρος μεταξύ των οπλισμών γεμάτος με ένα ενιαίο διηλεκτρικό αφού υπάρχει εκεί και ο δεύτερος από τους αγωγούς του διαφορικού ζεύγους αλλά και φυσικά και ο αέρας που γεμίζει τα κενά ανάμεσα στα υποκαλώδια. Πάντως η προσέγγιση του κυλινδρικού πυκνωτού είναι αρκετά λογικοφανής και σίγουρα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα απ' όσο είναι η θεώρηση ομογενούς πεδίου (δηλ. πυκνωτού παραλλήλων επιπέδων πλακών). Δεδομένου μάλιστα ότι έναν σημαντικό χώρο εντός του SC καταλαμβάνουν και τα δύο fillers που είναι και αυτά από PTFE, όπως και το διηλεκτρικό των αγωγών, πάλι δεν είναι πολύ άσχημη προσέγγιση να θεωρήσουμε ότι έχουμε ενιαίο διηλεκτρικό PTFE ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή μας. Εμείς λοιπόν θα κάνουμε αυτή την απλοποίηση. Για να είμαστε όμως πάντα από την ασφαλή πλευρά, θα θεωρήσουμε ότι η απόσταση των δύο οπλισμών κατά την ακτινική διεύθυνση r (σε τοπικό κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων r, φ, z) είναι παντού (δηλ. σε κάθε φ και z) ίδια και ίση με την ελάχιστη που απαντάται στο πραγματικό καλώδιο, δηλ. με ακριβώς το πάχος της μονώσεως του εσωτερικού αγωγού, *Thickness_of_Dielectric*. Έτσι θα είμαστε βέβαιοι ότι αν δεν έχουμε διάσπαση (αναίρεση της μονωτικής ικανότητας λόγω της επιβαλλόμενης τάσεως) με αυτή την θεώρηση, τότε κατά μείζονα λόγο δεν θα έχουμε αυτό το πρόβλημα στο πραγματικό καλώδιο, όπου η ελάχιστη αυτή απόσταση μεταξύ των οπλισμών απαντάται μόνο στο σημείο που βρίσκονται εγγύτερα ο ένας εκ των δύο εσωτερικών αγωγών με την εσωτερική θωράκιση (βλ. ενδεικτικά το Σχήμα 2.1). Δηλ. με την θεώρηση ότι οι δύο κυλινδρικοί οπλισμοί είναι ομόκεντροι με πάχος διηλεκτρικού ανάμεσά τους όσο το πάχος της μονώσεως του εσωτερικού αγωγού (*Thickness_of_Dielectric*) για όλες τις γωνίες φ εκ περιστροφής, μάλλον οδηγούμαστε σε δυσμενέστερη περίπτωση, όσον αφορά την πεδιακή καταπόνηση, απ' ότι αν υιοθετούσαμε την πραγματικότητα όπου οι οπλισμοί είναι έκκεντροι και μόνο σε ένα σημείο (σε μία γωνία φ) έχουν μεταξύ τους διηλεκτρικό πάχος *Thickness_of_Dielectric*, ενώ για τις υπόλοιπες γωνίες φ είναι περισσότερο απομακρυσμένοι. Και στα πλαίσια μιας θεωρητικής διερεύνησης της διηλεκτρικής

αντοχής, το να ελέγχουμε δυσμενέστερες περιπτώσεις από αυτές που πρόκειται ποτέ να απαντηθούν στην πράξη, το προτιμούμε.

Συνεπώς, στηριζόμενοι στην πεδιακή ανάλυση (βλ. το [20]) και με βάσει το Σχήμα 2.10, όπου μεταξύ των οπλισμών υπάρχει ομογενές διηλεκτρικό διηλεκτρικής σταθεράς ϵ σταθεράς σε όλο τον όγκο του, θα θεωρήσουμε ότι:

- η ακτίνα a είναι η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού του SpW δηλ.

$$a = \frac{\text{Inner_Conductor_Diameter}}{2} \quad (2.175)$$

- και η ακτίνα b προκύπτει από την a με πρόσθεση του πάχους της μονώσεως του εσωτερικού αγωγού, δηλ.

$$b = a + \text{Thickness_of_Dielectric} \quad (2.176)$$

Έτσι έχουμε ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο διηλεκτρικό δίνεται από την ακόλουθη σχέση (βάσει του νόμου του Gauss για το ηλεκτρικό πεδίο και επιφάνεια ολοκλήρωσης την κυλινδρική που φαίνεται και στο Σχήμα 2.10):

$$\vec{E} = \hat{r} \cdot \frac{Q}{2\pi l \epsilon r} \Leftrightarrow \vec{E} = \hat{r} \cdot \frac{Q_\mu}{2\pi \epsilon r} \quad (\mu\epsilon \ a \leq r \leq b) \quad (2.177)$$

όπου:

ϵ : η διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού,

l : το μήκος των οπλισμών και

$Q_\mu = Q/l$: το ανά μονάδα μήκους φορτίου του θετικού οπλισμού («ανά μονάδα μήκους» διότι σε διατάξεις κυλινδρικής συμμετρίας που εκτείνονται δυνητικά απεριόριστα στον z άξονα, όπως το καλώδιο που εξετάζουμε, δεν μας ενδιαφέρει το ακριβές μήκος l [20]).

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών υπολογίζεται ως ακολούθως (με το γνωστό επικαμπύλιο ολοκλήρωμα):

$$V = \int_{+\text{οπλισμό}}^{-\text{οπλισμό}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{r=a}^b \vec{E} \cdot \hat{r} dr \xleftrightarrow{(2.177)} V = \frac{Q_\mu}{2\pi \epsilon} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.178)$$

Αυτό που ενδιαφέρει τώρα εμάς είναι να διαπιστώσουμε αν για μια εφαρμοζόμενη τάση V , η πεδιακή ένταση \vec{E} αποκτά σε κάποιο σημείο μέτρο $|\vec{E}| = E$ ίσο με την πεδιακή ένταση διάσπασης του μονωτικού. Μας βολεύει λοιπόν να δώσουμε μια σχέση μεταξύ της τάσης V και του μέτρου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E . Διαιρώντας κατά μέλη την σχέση που δίνει το μέτρο της \vec{E} [και προκύπτει από την (2.177)] με την σχέση (2.178) παίρνουμε:

$$\frac{E}{V} = \frac{1}{r \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \Leftrightarrow E = \frac{V}{r} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

Απο την σχέση αυτή διαπιστώνουμε ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, για δεδομένη τάση V , μεγιστοποιείται στα σημεία της επιφάνειας του εσωτερικού οπλισμού ($r = a$) και είναι:

$$E_{max} = \frac{V}{a} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (2.179)$$

Συνεπώς και μια πιθανή διάσπαση του διηλεκτρικού θα ξεκινήσει από εκεί (αν φυσικά θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν ατέλειες στον όγκο του διηλεκτρικού, όπως φυσαλίδες, σκόνες και άλλες ακαθαρσίες, οπότε μια πιθανή διάσπαση θα ξεκινούσε από αυτές).

Προφανώς η μέγιστη τιμή της πεδιακής εντάσεως E_{max} συνδέεται πάντα και με την μέγιστη τιμή της εφαρμοζόμενης τάσεως, αν πρόκειται για τάση που έχει διακύμανση στην τιμή. Βέβαια στην περίπτωση της συγκεκριμένης δοκιμής, η τάση όπως έχουμε πει είναι DC, άρα σταθεράς τιμής.

Τώρα για την πεδιακή ένταση διάσπασης του PTFE ή την διηλεκτρική αντοχή του, έστω E_d , επιλέξαμε να υιοθετήσουμε την τιμή $E_d = 18 \text{ kV/mm}$, όπως αναφέραμε παραπάνω (στην παράγραφο 2.6.1.2). Συνεπώς απομένει να ελέγξουμε για τις δύο Variants του SpW, αν η εφαρμοζόμενη τάση των 1.4 kV , που υπαγορεύει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] κατά την συγκεκριμένη δοκιμή, οδηγεί την διάταξη μας σε μέγιστη πεδιακή ένταση E_{max} που υπερβαίνει την διηλεκτρική αντοχή του PTFE, E_d .

Για την Var. 01:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.175) $\xrightarrow{(2.6)}$ $a = 0.189 \text{ mm}$.
- Η ακτίνα b είναι: (2.176) $\xrightarrow{(2.8)}$ $b \cong 0.482 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{1.4 \text{ kV}}{0.189 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{0.482 \text{ mm}}{0.189 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 7.912 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 18 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι το διηλεκτρικό του εσωτερικού αγωγού αντέχει σίγουρα την τάση των 1.4 kV , που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Για την Var. 02:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.175) $\xrightarrow{(2.94)}$ $a = 0.240 \text{ mm}$.
- Η ακτίνα b είναι: (2.176) $\xrightarrow{(2.95)}$ $b = 0.558 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{1.4 \text{ kV}}{0.240 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{0.558 \text{ mm}}{0.240 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 6.914 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 18 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι και για την Var. 02, το διηλεκτρικό του εσωτερικού αγωγού αντέχει σίγουρα την τάση των 1.4 kV , που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Σχόλιο σχετικά με την διαφορά στην αναπτυσσόμενη πεδιακή ένταση σε Var. 01 και Var. 02:

Παρατηρούμε ότι έχουμε ανάπτυξη μικρότερη πεδιακής έντασης στην περίπτωση της Var. 02 για την ίδια εφαρμοζόμενη τάση δοκιμής. Αυτό είναι αναμενόμενο διότι οι ακτίνες είναι κατά τι μεγαλύτερες στην Var. 02 και «από την εμπειρία είναι γνωστό ότι η μέγιστη τιμή της έντασης του πεδίου εκδηλώνεται στις θέσεις όπου οι μεταλλικές επιφάνειες έχουν την μικρότερη ακτίνα καμπυλότητας» (βλ. την σελ. 65 του [21]). Συνεπώς δεν ήταν πρακτικά πολύ αναγκαίος ο έλεγχος και για την Var. 02, διότι αν για την αυτή εφαρμοζόμενη τάση δεν υφίστατο κίνδυνος διάσπασης για την Var. 01, τότε σίγουρα δεν θα υπήρχε κίνδυνος για την Var. 02, όπου οι πεδιακές εντάσεις είναι κατά τι μικρότερες.

Το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], μέσω της παραπομπής στην [10], ζητάει να γίνει έλεγχος της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης των εσωτερικών αγωγών με δοκιμή καταπόνησης μόνο μεταξύ εσωτερικού αγωγού και εσωτερικής θωρακίσεως. Το πρότυπο JAXA-QTS-2120D [12] ζητά να επαναληφθεί η δοκιμή αυτή και μεταξύ των δύο αγωγών του διαφορικού ζεύγους, με την ίδια ακριβώς τάση. Αυτός ο έλεγχος δεν είναι εντελώς άνευ σημασίας σε ένα πραγματικό σύστημα, διότι είναι πιθανόν να υπάρχουν κάποιες ατέλειες στο διηλεκτρικό των δύο εσωτερικών αγωγών σε σημείο που βρίσκεται ανάμεσά τους καθώς συστρέφονται και έτσι μια διάσπαση που δεν θα λάβει χώρα με εφαρμογή τάσης καταπόνησης μεταξύ αγωγού και θωράκισης έχει ίσως κάποιες πιθανότητες να λάβει χώρα με εφαρμογή τάσης καταπόνησης μεταξύ των δύο αγωγών. Όμως στην περίπτωση της

θεωρητικής δοκιμής διηλεκτρικής αντοχής, που διεξάγουμε εμείς, αυτός ο επιπλέον έλεγχος δεν έχει κανένα νόημα. Αυτό συμβαίνει αφ' ενός διότι τα υλικά μας (όπως τα υλοποιεί το CST) είναι ιδανικά από κατασκευαστικής πλευράς (δηλ. δεν έχουν τις κατασκευαστικές ατέλειες που υπάρχουν σε ένα πραγματικό υλικό και μπορεί να βρεθούν στατιστικά σε οποιοδήποτε σημείο και να οδηγήσουν ένα πραγματικό καλώδιο σε αστοχία μονώσεως), οπότε μας ενδιέφερε μόνο εάν το πεδίο που δίνεται από τις γνωστές σχέσεις τύχαινε να ανέλθει σε κάποια τιμή μεγαλύτερη της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού. Αφ' ετέρου, εφ' όσον δεν υφίσταται πρόβλημα διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης μεταξύ του ενός αγωγού και της θωρακίσεως, σίγουρα δεν θα υφίσταται πρόβλημα μεταξύ των δύο εσωτερικών αγωγών για την αυτή εφαρμοζόμενη τάση, αφού μεταξύ τους παρεμβάλλεται διπλάσιο πάχος μονωτικού.

2.7.3 Κατανεμημένη Χωρητικότητα

Όπως αναφέρεται και στην §9.9 της [10] (όπου μας παραπέμπει το [8]), η χωρητικότητα πρέπει να μετρηθεί με μια ακρίβεια $\pm 1\%$ σε ένα μήκος καλωδίου SC το οποίο είναι τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερο από την εξωτερική διάμετρο του μονωμένου εσωτερικού αγωγού (του αγωγού με το διηλεκτρικό του) και στην συχνότητα του 1 kHz. Εμείς βέβαια, για να υπολογίσουμε την χωρητικότητα αυτή θα καταφύγουμε στην πεδιακή ανάλυση, βλέποντας την κάθε μία από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις ως μια ηλεκτροδιακή διάταξη για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα μέσω κλειστού τύπου.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές των τιμών της κατανεμημένης χωρητικότητας πραγματικότητας και θεωρητικού υπολογισμού:

Ως προς τις τιμές της κατανεμημένης χωρητικότητας, υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ της πραγματικότητας και του θεωρητικού υπολογισμού που θα κάνουμε εμείς.

- ο Πρώτον, ο χώρος μεταξύ των δύο αγωγών δεν γεμίζει με ένα ομογενές διηλεκτρικό με την ίδια διηλεκτρική σταθερά $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ παντού αλλά υπάρχει και ο αέρας που παρεμβάλλεται μεταξύ των υποκαλωδίων. Επίσης και ο χώρος μεταξύ κάθε αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως δεν γεμίζει με ενιαίο ομογενές διηλεκτρικό αφού, εκτός του αέρα, υπάρχει και ο άλλος αγωγός. Πάντως, όπως αναφέραμε και στην περίπτωση του ελέγχου της διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού των αγωγών (υποενότητα 2.7.2), δεδομένου ότι έναν σημαντικό χώρο εντός του SC καταλαμβάνουν οι μονώσεις των αγωγών και τα δύο fillers που είναι όλα από PTFE, δεν είναι πολύ άσχημη προσέγγιση να θεωρήσουμε ότι έχουμε ενιαίο ομογενές διηλεκτρικό PTFE ανάμεσα στους οπλισμούς των κατανεμημένων χωρητικότητων.
- ο Δεύτερον, έναν αξιοσημείωτο ρόλο παίζει και η συστροφή. Δηλ. λόγω του ότι οι δύο εσωτερικοί αγωγοί συστρέφονται μεταξύ τους, αυτό αλλάζει ελαφρά το πώς βλέπει ο ένας εξ' αυτών τον άλλον, ως οπλισμό κατανεμημένου πυκνωτού, αλλά επίσης αλλάζει και το πώς βλέπει τον κάθε έναν από αυτούς η θωράκιση. Όπως επισημαίνει το πρότυπο NASA/TM-2012-216001 [15], σε μια βαθύτερη και ακριβέστερη ανάλυση των σχέσεων που διέπουν την λειτουργία ενός διαφορικού ζεύγους, στην περίπτωση που οι δύο αγωγοί του είναι συνεστραμμένοι, οι ανά μονάδα μήκους παράμετροι της γραμμής μετάδοσης (transmission line) που συνιστά το ζεύγος αυτό (χωρητικότητα, αγωγιμότητα, αυτεπαγωγή και αντίσταση εμπεδήσεως) είναι αυξημένες κατά έναν μικρό παράγοντα. Πάντως ο παράγον αυτός, με τον οποίο πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι τιμές των παραπάνω κατανεμημένων μεγεθών ώστε να γίνει η διόρθωσή τους λόγω της συστροφής, είναι της τάξεως του 1.01, δηλ. οι τιμές αυξάνονται μόνο κατά ένα εκατοστό. Άρα δεν θεωρούμε ότι υπάρχει πρόβλημα με την χρήση των σχέσεων που θα ακολουθήσουν και οι οποίες ουσιαστικά αναφέρονται σε ζεύγος χωρίς συστροφή (untwisted pair).

Επομένως λοιπόν, για λόγους γρηγοράδας και ευκολίας, ελλείπει κάποια καλύτερης δυνατότητας σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά και λόγω μικρής επίδρασης του σφάλματος στις τιμές, θεωρήσαμε αποδεκτό το να κάνουμε τις παρακάτω απλοποιήσεις.

2.7.3.1 Μεταξύ των δύο Εσωτερικών Αγωγών κάθε Διαφορικού Ζεύγους

Για την περίπτωση της Κατανεμημένης Χωρητικότητας μεταξύ των δύο αυτών Εσωτερικών Αγωγών [αυτό που το πρότυπο επισημαίνει ως “Characteristic Capacitance between Conductor and Conductor (Max) (pF/m)”], η ηλεκτροδιακή διάταξη που εξυπηρετεί είναι αυτή των δύο παραλλήλων κυλινδρικών αγωγών με ίσες ακτίνες.

Όπως βλέπουμε στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8], η ανώτατη τιμή που επιτρέπεται να έχει η κατανεμημένη χωρητικότητα μεταξύ των δύο εσωτερικών αγωγών του διαφορικού ζεύγους είναι:

- για την Var. 01: $C_{c.-c-max_{p.u.length}} = 50 \text{ pF/m}_2$
- για την Var. 02: $C_{c.-c-max_{p.u.length}} = 45 \text{ pF/m}_2$

όπου η έκφραση “c.-c.” είναι σύντμηση του “conductor – conductor” (και η έκφραση “p. u. length” σημαίνει ως γνωστόν «ανά μονάδα μήκους»).

Η ανά μονάδα μήκους χωρητικότητα μιας τέτοιας διατάξεως, δίνεται από την σχέση (βλ. σελ. 70 του [19]):

$$C_{c.-c.p.u.length} = \frac{\pi \cdot \varepsilon}{\cosh^{-1}\left(\frac{h}{2a}\right)} = \frac{\pi \cdot \varepsilon}{\ln\left(\frac{h}{2a} + \sqrt{\left(\frac{h}{2a}\right)^2 - 1}\right)} \quad (2.180)$$

όπου:

$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$: η διηλεκτρική σταθερά του ομογενούς μονωτικού μεταξύ των δύο αγωγών,

h : η απόσταση μεταξύ των αξόνων συμμετρίας των δύο αγωγών (δηλ. η απόσταση μεταξύ των κέντρων τους) και

a : η ακτίνα του κάθε ενός εσωτερικού αγωγού.

Αρα εν προκειμένω, με την βοήθεια του Σχήματος 2.1, έχουμε:

- η ακτίνα a είναι η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού:

$$a = \frac{\text{Inner_Conductor_Diameter}}{2} \quad (2.181)$$

- η απόσταση h δίνεται από την σχέση:

$$h = a + (2 \cdot \text{Thickness_of_Dielectric}) + a$$

$$\xrightarrow{(2.181) \text{ και } (2.9) \text{ ή } (2.96)} h = \frac{\text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}}{2} + \frac{\text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}}{2}$$

$$\Leftrightarrow h = \text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter} \quad (2.182)$$

Εμείς, όπως κάναμε και παραπάνω όταν εξετάζαμε την διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού του αγωγού, θα θεωρήσουμε ότι ο χώρος μεταξύ των δύο εσωτερικών αγωγών καταλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από ένα ενιαίο μονωτικό (συγκεκριμένα το PTFE). Μόνο με αυτή την παραδοχή προκύπτει ο παραπάνω τύπος και μπορούμε να κάνουμε χρήση αυτού. Επομένως για όλο τον χώρο μεταξύ των δύο αγωγών θα έχουμε:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2.183)$$

όπου: $\varepsilon_r = 2.1$ η σχετική διηλεκτρική σταθερά του PTFE όπως την λαμβάνουμε από το Cable Studio.

Σχόλιο σχετικά με τις στρογγυλοποιήσεις των τιμών ώστε να έχουμε ασφαλές αποτέλεσμα:

Να παρατηρήσουμε ότι, αν κάνουμε στρογγυλοποίηση της τιμής του ε_0 προς τα κάτω, τότε η χωρητικότητα θα δώσει αποτέλεσμα λίγο μικρότερο. Αυτό θέλουμε να το αποφύγουμε διότι, πάντα σε μια τέτοια θεωρητική επαλήθευση θα επιθυμούσαμε να είμαστε από την ασφαλή πλευρά, δηλ. είναι προτιμότερο να βγάλουμε τιμή χωρητικότητας και λίγο μεγαλύτερη απ' την πραγματικότητα και να ξέρουμε ότι και έτσι ακόμη είναι εντός του ορίου παρά να την βγάλουμε φαινομενικά λίγο

μικρότερη απ' όσο πραγματικά θα ήταν και να μην έχουμε σιγουριά αν και στην πραγματικότητα θα είναι εντός του ορίου. Για τον λόγο αυτό θα κάνουμε στρογγυλοποίηση προς τα πάνω στην τιμή της ϵ_0 , συγκεκριμένα θα πάρουμε:

$$\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.184)$$

Για τον ίδιο λόγο (για να έχουμε δηλ. μια θεωρητικά δυσμενέστερη περίπτωση μεγαλύτερης χωρητικότητας) θα κάνουμε στρογγυλοποίηση του h προς τα κάτω.

Έχοντας τις τιμές αυτές μπορούμε να προχωρήσουμε στην εύρεση της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ των δύο αγωγών του διαφορικού ζεύγους για την κάθε περίπτωση καλωδίου SpW.

Για την Var. 01:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.181) $\xrightarrow{(2.6)} a = 0.189 \text{ mm}$.
- Η απόσταση h είναι: (2.182) $\xrightarrow{(2.10)} h \cong 0.964 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.180) \xrightarrow{(2.183),(2.184) \text{ και τις παραπάνω αποστάσεις}} C_{c.-c.p.u.length} = \frac{\pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\cosh^{-1}\left(\frac{0.964 \text{ mm}}{2 \cdot 0.189 \text{ mm}}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\Rightarrow C_{c.-c.p.u.length} \cong 36.8 \frac{pF}{m} < 50 \frac{pF}{m} = C_{c.-c.max.p.u.length}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η εν λόγω κατανεμημένη χωρητικότητα είναι εντός του ορίου που θέτει το πρότυπο για την Var. 01.

Για την Var. 02:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.181) $\xrightarrow{(2.94)} a = 0.240 \text{ mm}$.
- Η απόσταση h είναι: (2.182) $\xrightarrow{(2.97)} h = 1.116 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.180) \xrightarrow{(2.183),(2.184) \text{ και τις παραπάνω αποστάσεις}} C_{c.-c.p.u.length} = \frac{\pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\cosh^{-1}\left(\frac{1.116 \text{ mm}}{2 \cdot 0.240 \text{ mm}}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\Rightarrow C_{c.-c.p.u.length} \cong 39.3 \frac{pF}{m} < 45 \frac{pF}{m} = C_{c.-c.max.p.u.length}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι και για την Var. 02, η εν λόγω κατανεμημένη χωρητικότητα είναι εντός του ορίου που θέτει το πρότυπο.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές των ορίων της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Παρατηρούμε ότι τα όρια είναι διαφορετικά μεταξύ των δύο Variants, και αυτό είναι αναμενόμενο διότι οι διαστάσεις των αγωγών και των διηλεκτρικών αλλάζουν και από την σχέση (2.180), που μας δίνει την χωρητικότητα, βλέπουμε ότι τόσο οι ακτίνες των αγωγών όσο και η μεταξύ τους απόσταση παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τιμή της χωρητικότητας.

2.7.3.2 Μεταξύ του Εσωτερικού Αγωγού κάθε Διαφορικού Ζεύγους και της Εσωτερικής Θωρακίσεως

Για την περίπτωση τώρα της Κατανεμημένης Χωρητικότητας μεταξύ του (καθενός) Εσωτερικού Αγωγού και της Εσωτερικής Θωρακίσεως [αυτό που το πρότυπο επισημαίνει ως "Characteristic Capacitance between Conductor and Shield (Max) (pF/m)"], η ηλεκτροδιακή διάταξη είναι αυτή

ενός κοίλου κυλίνδρου και ενός συμπαγούς κυλίνδρου στο εσωτερικό του, οι οποίοι όμως είναι έκκεντροι και όχι ομόκεντροι.

Όπως βλέπουμε στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8], η ανώτατη τιμή που επιτρέπεται να έχει η κατανεμημένη χωρητικότητα μεταξύ του (καθενός) εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως είναι:

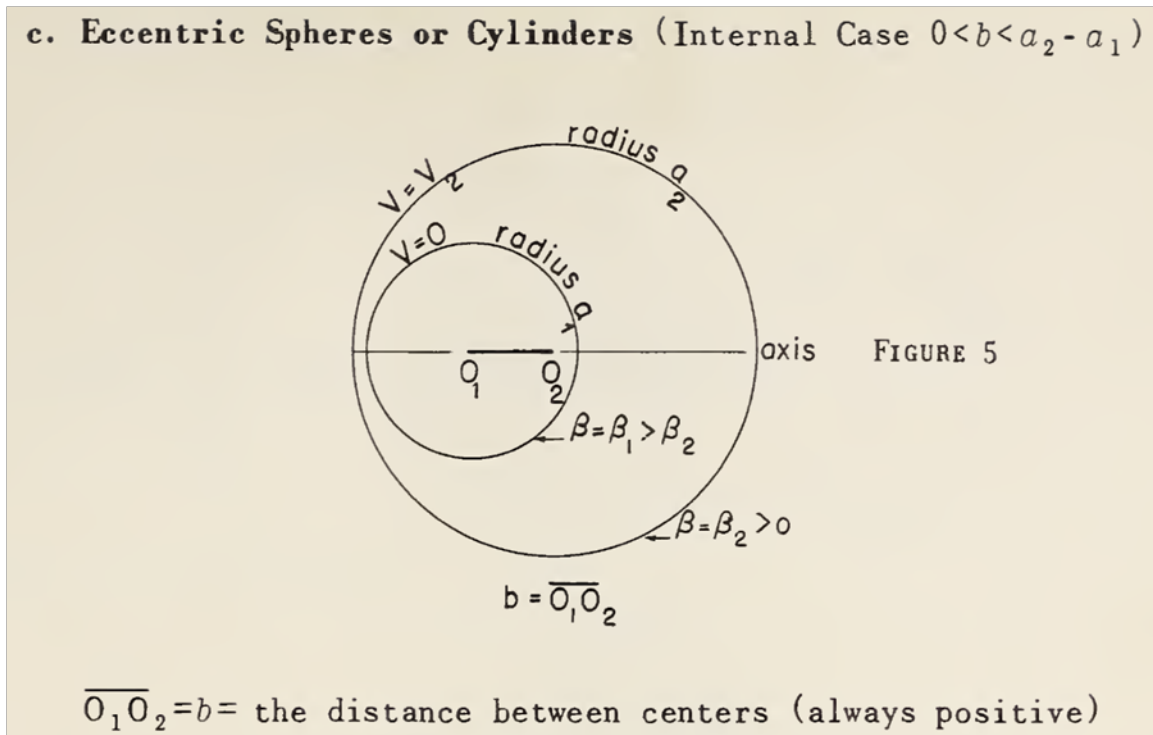
- για την Var. 01: $C_{c.-s-max_{p.u.length}} = 90 \text{ pF}/m_2$
- για την Var. 02: $C_{c.-s-max_{p.u.length}} = 79 \text{ pF}/m_2$

όπου η έκφραση “c. –s.” είναι σύντμηση του “conductor – shield” (και η έκφραση “p. u. length” σημαίνει ως γνωστόν «ανά μονάδα μήκους»).

Στα βιβλία H/M Πεδίων δεν συναντάται συχνά αυτό το είδος διάταξης. Συνηθέστερα βλέπουμε την απλή περίπτωση ενός ομοαξονικού καλωδίου δηλ. ενός κοίλου κυλίνδρου και ενός συμπαγούς κυλίνδρου στο εσωτερικό του, οι οποίοι όμως είναι ομόκεντροι. Η περίπτωση αυτή προτιμάται στα βιβλία πρωτίστως γιατί έχει μεγάλη σπουδαιότητα (λόγω της πολύ διαδεδομένης χρήσης των ομοαξονικών καλωδίων σε ένα τεράστιο πλήθος εφαρμογών) και δευτερευόντως γιατί είναι μια από τις κλασικότερες περιπτώσεις πεδιακού προβλήματος κυλινδρικής συμμετρίας με σχετικά εύκολη επίλυση μέσω των εξισώσεων Maxwell. Αυτή άλλωστε η ευκολία της πεδιακής ανάλυσης είναι και ένας λόγος που προτιμήσαμε να υιοθετήσουμε τις σχέσεις αυτής της απλουστεράς διατάξεως όταν διερευνήσαμε την διηλεκτρική αντοχή του μονωτικού του εσωτερικού αγωγού. Ο άλλος λόγος βέβαια είναι, όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.7.2, ότι η διάταξη αυτή είναι δυσμενέστερη από πλευράς πεδιακής καταπόνησης και την προτιμήσαμε διότι αν σε αυτήν δεν σημειώνεται διάσπαση του μονωτικού, τότε σίγουρα δεν θα σημειωθεί και στην πραγματική διάταξη (όπου αγωγός και θωράκισης είναι έκκεντροι).

Στην περίπτωση όμως του υπολογισμού της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ αγωγού και θωρακίσεως δεν είναι πλέον προτιμητέα η απλούστερη θεώρηση των ομόκεντρων οπλισμών. Και δεν είναι εν προκειμένω προτιμητέα ακριβώς επειδή μας οδηγεί σε τιμή χωρητικότητας μεγαλύτερη απ’ ότι στην πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή, όταν θεωρούμε τους οπλισμούς ομόκεντρους, το πάχος του μονωτικού που παρεμβάλλεται μεταξύ τους το λαμβάνουμε παντού (για κάθε γωνία φ στο τοπικό κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων) ίσο με το *Thickness_of_Dielectric*, ενώ στην περίπτωση που οι οπλισμοί είναι έκκεντροι, μόνο σε ένα σημείο (σε μια γωνία φ) η απόστασή τους θα ισούται με *Thickness_of_Dielectric*, ενώ σε κάθε άλλη γωνία φ η απόστασή τους θα είναι μεγαλύτερη. Δεδομένου λοιπόν ότι με την θεώρηση ομόκεντρων οπλισμών αυτοί είναι αρκετά κοντύτερα ο ένας με τον άλλον, η χωρητικότητα αναμένεται να προκύψει μεγαλύτερη. Θα μπορούσε βέβαια κάποιος να ισχυριστεί ότι μπορούμε να υιοθετήσουμε την απλούστευση των ομόκεντρων οπλισμών (όπως κάναμε και για την δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής) και αν η χωρητικότητα που θα μας προκύψει είναι εντός του ανωτάτου ορίου που θέτει το πρότυπο, τότε πολύ περισσότερο θα είναι εντός του ορίου και η πραγματική τιμή της χωρητικότητας, που είναι μικρότερη. Όμως, ως προς την χωρητικότητα, ενώ καλό είναι να «καλυπτόμαστε» πάντα από μια δυσμενέστερη περίπτωση κοντινότερης προς το όριο τιμής, επιδιώκουμε επιπλέον να την προσδιορίσουμε με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούμε διότι η γνώση αυτής καθαυτής της τιμής της μας είναι χρήσιμη σε διάφορες περιπτώσεις (για τον προσδιορισμό της εμπεδήσεως και της γενικότερης κυματικής συμπεριφοράς του καλωδίου), πέραν απλώς της πληροφορίας αν είναι εντός ενός ανωτάτου ορίου (σε αντίθεση με την διηλεκτρική αντοχή που απλά μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε ότι δεν έχουμε διάσπαση μέχρι κάποια τάση και όχι η ακριβής τάση διάσπασης).

Για τον λόγο αυτό επιλέξαμε να κάνουμε χρήση της σχέσεως που μας δίνει την χωρητικότητα μιας ηλεκτροδιακής διάταξης όπου οι οπλισμοί είναι μια κυλινδρική κοιλότητα απείρου μήκους και ένας συμπαγής κύλινδρος απείρου μήκους που είναι στο εσωτερικό της και είναι έκκεντρος σε σχέση με αυτήν. Μια τέτοια ηλεκτροδιακή διάταξη και η αντίστοιχη σχέση της χωρητικότητας ευρέθησαν στο πρότυπο [16].



Σχήμα 2.11: Σκαρίφημα της ηλεκτροδιακής διατάξεως μιας κυλινδρικής κοιλότητας και ενός συμπαγούς κυλίνδρου στο εσωτερικό της, εκκέντρου με αυτήν [16].

Σύμφωνα με τα λεγόμενα στην §1.2.c του [16], αν:

- a_1 : η ακτίνα του εσωτερικού συμπαγούς κυλίνδρου,
- a_2 : η εσωτερική ακτίνα της κυλινδρικής κοιλότητας (προφανώς $a_2 > a_1$ ώστε να είμαστε στην περίπτωση του ενός οπλισμού στο εσωτερικό του άλλου) και
- b : η απόσταση των αξόνων συμμετρίας των δύο αγωγών (δηλ. η απόσταση μεταξύ των κέντρων τους),

τότε η ανά μονάδα μήκους χωρητικότητα δίνεται από την σχέση:

$$C_{c.-s.p.length} = \frac{1}{2 \cdot \ln \left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2} \right)} \quad (2.185)$$

όπου ο προσθετός $2bc$ ορίζεται ως:

$$2bc = \sqrt{[(a_2 + a_1)^2 - b^2] \cdot [(a_2 - a_1)^2 - b^2]} \quad (2.186)$$

Πρέπει να προσέξουμε ότι η παραπάνω σχέση έχει κάνει κάποιες παραδοχές ως προς το διηλεκτρικό και το σύστημα μονάδων. Στην §1 του [16] (στην σελ. 2) βλέπουμε ότι η σχέση αυτή μας δίνει την χωρητικότητα σε ένα συγκεκριμένο στο σύστημα μονάδων, το *cgs – esu* (*centimeter – gram – second electrostatic system of units*) ενώ έχει επιπλέον κάνει την θεώρηση ότι ο χώρος μεταξύ των οπλισμών καταλαμβάνεται από το κενό (άρα έχει $\epsilon_r = 1$). Προκειμένου να πάρουμε την τιμή της χωρητικότητας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων *S.I.*, το έγγραφο μας πληροφορεί ότι πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με τον παράγοντα 4π και για να δηλώσουμε ότι ο χώρος μεταξύ των οπλισμών καταλαμβάνεται από ένα διηλεκτρικό με διηλεκτρική σταθερά (ή επιτρεπτότητα) ϵ και μαγνητική διαπερατότητα μ , πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με τον παράγοντα $10^7 / (4 \cdot \pi \cdot c^2) \frac{m}{H}$ (όπου $c = 1/\sqrt{\epsilon \cdot \mu}$ η ταχύτητα διάδοσης ενός Η/Μ κύματος στο μέσον αυτό). Κάνοντας λοιπόν εφαρμογή αυτών των μετατροπών, παίρνουμε τα εξής:

$$(2.185) \xrightarrow{\text{πολ/ζοντας με τους παράγοντες αυτούς}} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{4 \cdot \pi}{2 \cdot \ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \cdot \frac{10^7}{4 \cdot \pi \cdot c^2} \cdot \frac{m}{H}$$

$$\xleftrightarrow{c=1/\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \cdot \frac{10^7 \cdot \epsilon \cdot \mu}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{m}{H}$$

$$\xleftrightarrow{\mu=\mu_r \cdot \mu_0} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \cdot \frac{10^7 \cdot \mu_r \cdot \mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{m}{H}$$

Και επειδή, ως γνωστόν, για τα διηλεκτρικά έχουμε $\mu_r = 1$ (δηλ. όσο και η σχετική μαγνητική διαπερατότητα του κενού) και $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H/m$, έχουμε:

$$C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \cdot \frac{10^7 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{H}{m} \cdot \frac{m}{H}$$

$$\Leftrightarrow C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \quad (2.187)$$

και αυτή είναι η τελική σχέση που μας δίνει την ανά μονάδα μήκους χωρητικότητα μιας τέτοιας διατάξεως στο $S.I.$.

Τώρα με την βοήθεια του Σχήματος 2.1 και του Σχήματος 2.11 βρίσκουμε ότι:

- η ακτίνα a_1 είναι η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού:

$$a_1 = \frac{Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.188)$$

- η ακτίνα a_2 είναι η ακτίνα του μονωμένου εσωτερικού αγωγού, αφού δίνεται από την σχέση:

$$a_2 = \frac{2 \cdot Insulated_Inner_Conductor_Diameter}{2} \Leftrightarrow$$

$$a_2 = Insulated_Inner_Conductor_Diameter \quad (2.189)$$

- και η απόσταση b καταλήγει να είναι:

$$b = \frac{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}{2} \quad (2.190)$$

Και εδώ, όπως και για την άλλη προηγούμενη τιμή χωρητικότητας, θα θεωρήσουμε ότι ο χώρος μεταξύ των δύο εσωτερικών αγωγών καταλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από ένα ενιαίο ομογενές μονωτικό (συγκεκριμένα το PTFE). Μόνο με αυτή την παραδοχή προκύπτει ο παραπάνω τύπος και μπορούμε να κάνουμε χρήση αυτού. Επομένως για όλο τον χώρο μεταξύ των δύο αγωγών θα έχουμε ότι ισχύει και πάλι η σχέση (2.183), με $\epsilon_r = 2.1$ την σχετική διηλεκτρική σταθερά του PTFE (όπως την λάβαμε από το Cable Studio).

Σχόλιο σχετικά με τις στρογγυλοποιήσεις των τιμών ώστε να έχουμε ασφαλές αποτέλεσμα:

Όπως σημειώσαμε και πριν, για μια θεωρητικά δυσμενέστερη περίπτωση ελάχιστα μεγαλύτερης χωρητικότητας, θα κάνουμε στρογγυλοποίηση προς τα πάνω στην τιμή της ϵ_0 , οπότε κάνουμε και πάλι χρήση της σχέσεως (2.184). Επειδή τώρα η τιμή του a_2 άρα και του b , που υπολογίζονται με βάση την ίδια ποσότητα (την *Insulated Inner Conductor Diameter*), συμμετέχουν τόσο στον αριθμητή όσο και στον παρανομαστή του λογαρίθμου στον τύπο της χωρητικότητας, δεν είμαστε από πριν σίγουροι για το ποιές θα είναι οι επιδράσεις σε από μια άνω ή κάτω στρογγυλοποίησή τους. Για τον λόγο αυτόν δοκιμάσαμε και τις δύο περιπτώσεις και καταλήξαμε ότι ελάχιστα μεγαλύτερη τιμή χωρητικότητας (με διαφορά σε εκατοστά του pF) παίρνουμε αν κάνουμε στρογγυλοποίηση του a_2 άρα και του b προς τα κάτω. Αυτό λοιπόν και υιοθετήσαμε.

Επομένως, για την κάθε περίπτωση καλωδίου SrW θα έχουμε τους ακόλουθους υπολογισμούς:

Για την Var. 01:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a_1 είναι: (2.188) $\xrightarrow{(2.6)} a_1 = 0.189 \text{ mm}$.
- Η ακτίνα a_2 είναι: (2.189) $\xrightarrow{(2.10)} a_2 \cong 0.964 \text{ mm}$.
- Η απόσταση b είναι: (2.190) $\xrightarrow{(2.10)} b \cong 0.482 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.186) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω αποστάσεις}} 2bc = \sqrt{[(0.964 + 0.189)^2 - 0.482^2] \text{ mm}^2 \cdot [(0.964 - 0.189)^2 - 0.482^2] \text{ mm}^2}$$

$$\Rightarrow 2bc = \sqrt{0.404057503 \text{ mm}^4}$$

$$\Rightarrow 2bc = 0.635655176 \text{ mm}^2 \quad (2.191)$$

Και επομένως:

$$(2.187) \xrightarrow{(2.183),(2.184)} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\xrightarrow{(2.191) \text{ και τις παραπάνω αποστάσεις}} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\ln\left(\frac{0.189^2 + 0.964^2 - 0.482^2 + 0.635655176 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2}}{2 \cdot 0.189 \cdot 0.964}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\Rightarrow C_{c.-s.p.u.length} = 88.3 \frac{\text{pF}}{\text{m}} < 90 \frac{\text{pF}}{\text{m}} = C_{c.-s.max.p.u.length}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η εν λόγω κατανεμημένη χωρητικότητα είναι εντός του ορίου που θέτει το πρότυπο για την Var. 01.

Για την Var. 02:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a_1 είναι: (2.188) $\xrightarrow{(2.94)} a_1 = 0.240 \text{ mm}$.
- Η ακτίνα a_2 είναι: (2.189) $\xrightarrow{(2.97)} a_2 = 1.116 \text{ mm}$.
- Η απόσταση b είναι: (2.190) $\xrightarrow{(2.97)} b = 0.558 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.186) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω αποστάσεις}} 2bc = \sqrt{[(1.116 + 0.240)^2 - 0.558^2] \text{ mm}^2 \cdot [(1.116 - 0.240)^2 - 0.558^2] \text{ mm}^2}$$

$$\Rightarrow 2bc = \sqrt{0.69649996 \text{ mm}^4}$$

$$\Rightarrow 2bc = 0.834565732 \text{ mm}^2 \quad (2.192)$$

Και επομένως:

$$(2.187) \xrightarrow{(2.183),(2.184)} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\xrightarrow{(2.192) \text{ και τις παραπάνω αποστάσεις}} C_{c.-s.p.u.length} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8.8542 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1}{\ln\left(\frac{0.240^2 + 1.116^2 - 0.558^2 + 0.834565732 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2}}{2 \cdot 0.240 \cdot 1.116}\right)} \frac{F}{m}$$

$$\Rightarrow C_{c.-s.p.u.length} = 95.3 \frac{\text{pF}}{\text{m}} > 79 \frac{\text{pF}}{\text{m}} = C_{c.-s.max.p.u.length}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν η εν λόγω κατανεμημένη χωρητικότητα δεν είναι εντός του ορίου που θέτει το πρότυπο για την Var. 02. Προκειμένου να είχαμε την χωρητικότητα αυτή $C_{c.-s.p.u.length} \leq 79 \text{ pF/m}$, λύνοντας την ανισοσύτητα διαπιστώνουμε ότι ο λογάριθμος του παρονομαστή θα έπρεπε να είναι

≥ 1.478841 . από μια σύντομη γραφική διερεύνηση⁷⁶ του λογαρίθμου αυτού, θέτοντας ως μεταβλητή την ποσότητα $a_2 = \text{Insulated_Inner_Conductor_Diameter}$, διαπιστώσαμε ότι δεν δυνάμεθα να μεταβάλουμε την ποσότητα a_2 αρκετά ώστε να μικρύνει η $C_{c.-s.p.u.length}$ και να πέσει εντός του ορίου της, καθώς για να επιτύχουμε κάτι τέτοιο θα οδηγούμασταν σε αύξηση του a_2 τέτοια που θα εξωθούσε την $SC_Diameter$ εκτός του ορίου της (των 3.1 mm για την Var. 02). Αναγκαζόμαστε λοιπόν, επί του παρόντος να συνεχίσουμε με αυτές τις τιμές στις παραπάνω ποσότητες (και απώτερα με αυτές τις τιμές στις παραμέτρους του μοντέλου μας), τουλάχιστον μέχρι να ελέγξουμε και την διαφορική εμπέδηση, που είναι πιο καίρια ποσότητα για το καλώδιό μας (οπότε αν και εκεί έχουμε παραβίαση του ορίου του προτύπου, ενδεχομένως να συλλογιστούμε το ενδεχόμενο να παραβιάσουμε το γεωμετρικό όριο της $Max_SC_Diameter$ προκειμένου να ικανοποιηθεί το όριο της διαφορικής εμπέδησας)⁷⁷.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές των ορίων της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Παρατηρούμε ότι και εδώ τα όρια είναι διαφορετικά μεταξύ των δύο Variants, λόγω του ότι οι διαστάσεις των αγωγών και των διηλεκτρικών αλλάζουν και από την σχέση (2.187), που μας δίνει την χωρητικότητα, βλέπουμε ότι τόσο οι ακτίνες των αγωγών όσο και η μεταξύ τους απόσταση παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τιμή της χωρητικότητας.

2.7.4 Αντίσταση Μονώσεως του Καλωδίου SC

Η Αντίσταση Μονώσεως του Καλωδίου SC είναι αυτή που στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8] επισημαίνεται απλώς ως “Insulation Resistance”. Συμπληρωματικά με την δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής της μονώσεως των αγωγών, το πρότυπο ζητά και συμμόρφωση προς μια ανώτατη τιμή αντιστάσεως μονώσεως. Όπως μας διευκρινίζει και η §9.8 της [10], πρόκειται για την αντίσταση που μετράται μεταξύ του (καθενός) εσωτερικού αγωγού και της θωρακίσεως, και ουσιαστικά είναι η αντίσταση διαρροής του μονωτικού PTFE που περιβάλλει κάθε εσωτερικό αγωγό. Η διαδικασία για να μετρηθεί η αντίσταση αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην Μέθοδο 6031 του προτύπου FED-STD-228, αλλά και στην Μέθοδο 3003 του MIL-STD-2223 [14] και συνοπτικότερα στο MIL-C-17G [13] (ή στην νεότερη έκδοσή του με ονομασία MIL-DTL-17J [1]) όπως και στο JAXA-QTS-2120D [12] (ειδικά στα FED-STD-228 και MIL-C-17G [13] μας παραπέμπει και η [10]). Με βάση τα έγγραφα αυτά (και πάντα με προσοχή στις διαφοροποιήσεις που υπαγορεύει η [10] και που αφορούν κατ'εξοχήν το καλώδιο SpW), βλέπουμε ότι το δείγμα του καλωδίου που θα χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση πρέπει να έχει ελάχιστο μήκος 30 m και να δοκιμαστεί στεγνό (και όχι βυθισμένο σε νερό όπως λένε τα πρότυπα FED-STD-228 και MIL-STD-2223 [14]). Για την μέτρηση της αντιστάσεως πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ του εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως (με την τελευταία γειωμένη) DC τάση με τιμή 200 V κατ'ελάχιστον. Μετά την λήψη της μετρήσεως από το ωμόμετρο, η αντίσταση μόνωσης, για (δηλ. αναφερόμενη σε) 1 km καλωδίου θα υπολογιστεί με βάση την σχέση:

$$R_{insulation} = \frac{M \cdot L}{1000}$$

όπου:

M : η ένδειξη του μετρητικού οργάνου (σε $M\Omega$),

L : το μήκος του καλωδίου που εξετάστηκε (σε m) και

$R_{insulation}$: η αντίσταση μόνωσης για 1 km καλωδίου (σε $M\Omega \cdot km$).

⁷⁶ Η γραφική διερεύνηση έγινε με την βοήθεια του λογισμικού του PTC Mathcad. Ορίστηκε μια παραμετρική καμπύλη από την συνάρτηση $y = \ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)$, στην οποία η ποσότητα $2bc$ αντικαταστάθηκε από την (2.186) και η μεταβλητή a_1 έλαβε τον ρόλο του x . Ακολούθως έγινε γραφική παράσταση της $y = f(x)$ για ένα ικανό εύρος τιμών του πεδίου ορισμού του x και παρατηρήθηκε η συμπεριφορά του πεδίου τιμών του y .

⁷⁷ Το ζήτημα αυτό θα επιλυθεί στο σχόλιο στο τέλος της παραγράφου 2.7.7.2.

Το κατώτατο όριο που θεσπίζει το ESCC 3902/003 [8] είναι: $R_{insulation_{min}} = 5000 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$, δηλ. η αντίσταση μονώσεως πρέπει να προκύψει μεγαλύτερη ή ίση με αυτό. Φυσικά η δοκιμή αυτή πρέπει να επαναληφθεί και μεταξύ του άλλου αγωγού και της θωρακίσεως. Και αυτό γιατί σε ένα πραγματικό καλώδιο δεν μπορούμε να γνωρίζουμε από πριν αν η μόνωση του ενός ή του άλλου αγωγού έχει ή όχι κάποια ατέλεια που θα μπορούσε να οδηγήσει σε μικρότερη τιμή αντιστάσεως μονώσεως. Αντίθετα σε θεωρητικό επίπεδο, η μονωτική συμπεριφορά του διηλεκτρικού (που ελέγχεται με την μέτρηση αυτή) είναι ίδια είτε μετρηθεί από τον ένα αγωγό είτε από τον άλλον (ως προς την θωράκιση πάντα). Και αυτό διότι στον προσομοιωτή όπου υλοποιείται ιδανικά το μοντέλο του καλωδίου μας δεν υπάρχουν ατέλειες στο μονωτικό (που στατιστικά θα μπορούσαν να εμφανιστούν στην μόνωση και των δύο αγωγών). Οπότε η εξέταση μόνο από την οπτική του ενός αγωγού, πράγμα που θα κάνουμε στην συνέχεια, αρκεί.

Για την εύρεση τώρα της αντιστάσεως μονώσεως στην διάταξή μας θα καταφύγουμε ξανά στην πεδιακή ανάλυση. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί η περίπτωση αντιστάσεως μονώσεως καλωδίων δεν είναι αυτή ενός σώματος μήκους l , ειδικής αντιστάσεως ρ , με εννιαία, σταθερή διατομή εμβαδού S μεταξύ των δύο άκρων στα οποία επιβάλλεται η τάση, οπότε η αντίσταση σε DC ρεύμα θα μπορούσε να υπολογιστεί από την γνωστή σχέση: $R = \rho \cdot (l/S)$. Εν προκειμένω πρόκειται για ένα κυλινδρικού σχήματος μονωτικό από PTFE, που ναι μεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχει μια σταθερή ειδική αντίσταση ρ σε όλο τον όγκο του, αλλά είναι μήκους εν γένει άγνωστου στην θεωρητική ανάλυση (ίσου με το μήκος του καλωδίου που είναι δυνητικά όσο θέλουμε) και πιο δύσκολα προσδιορίσιμης διατομής, δεδομένου ότι το ρεύμα το διαρρέει πρακτικά ακτινικά στο τοπικό κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων r, φ, z , μιας και οι άξονες που διέρχονται από τα νοητά κέντρα του αγωγού και της θωρακίσεως είναι παράλληλοι προς τον άξονα z του συστήματος.

Την λύση λοιπόν για περιπτώσεις υπολογισμών τέτοιων αντιστάσεων (όπως οι αντιστάσεις μονώσεως διηλεκτρικών σε ηλεκτροδιακές διατάξεις διαφόρων σχημάτων) μας την δίνει η μελέτη των μονίμων ηλεκτρικών πεδίων δηλ. των ηλεκτρικών πεδίων που οφείλονται σε ρεύματα που δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο (χρονοσταθερά ή DC ρεύματα), όπως και το ρεύμα στην δοκιμή για την μέτρηση της αντιστάσεως αυτής. Από το κεφάλαιο 10 του [19], βλέπουμε ότι σε τέτοιες περιπτώσεις, για τον υπολογισμό της DC αντιστάσεως κάνουμε τους ακολούθους μετασχηματισμούς. Γνωρίζουμε ότι η αντίσταση του υλικού (αγωγίμου, ημιαγωγίμου ή μονωτικού) που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων δίνεται από την γνωστή σχέση:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.193)$$

όπου:

V : η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και

I : το ρεύμα που ρέει από το ένα ηλεκτρόδιο μέχρι το άλλο διαρρέοντας το μεταξύ τους υλικό κατά την κίνησή του αυτή.

Γνωρίζουμε όμως ότι:

$$V = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.194)$$

και

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} \quad (2.195)$$

όπου:

\vec{E} : το ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του μέσου, που παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων,

$\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}$: η πυκνότητα του ρεύματος που ρέει από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο,

γ : η ειδική αγωγιμότητα του μέσου που παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων,

1 και 2: συμβολίζουν τις συνολικές επιφάνειες S_1 και S_2 των δύο ηλεκτροδίων (που από την μία φεύγει και στην άλλη καταλήγει το συνολικό ρεύμα I),

$\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}$: το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα, που υπολογίζεται σε οποιαδήποτε διαδρομή στο εσωτερικό του υλικού μέσου μεταξύ των ηλεκτροδίων, με αρχή της S_1 και τέλος την S_2 (οποιαδήποτε λόγω της ανεξαρτησίας του επικαμπυλίου ολοκληρώματος διανυσματικής συνάρτησης από τον δρόμο ολοκληρώσεως),

S : συμβολίζει την επιφάνεια εκείνη από την οποία διέρχεται το σύνολο του ρεύματος εντάσεως I και πυκνότητας \vec{J} που ρέει από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο (δηλ. στην ουσία πρόκειται για την κλειστή επιφάνεια η οποία περικλείει τον αγωγό του υψηλότερου δυναμικού, δηλ. τον 1, από τον οποίο φεύγει το ρεύμα κατά την συμβατική φορά) και

$\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}$: το επιφανειακό ολοκλήρωμα που υπολογίζεται στα σημεία της παραπάνω κλειστής επιφάνειας S .

Έχουμε λοιπόν ισοδύναμα:

$$(2.193) \xrightarrow{(2.194),(2.195)} R = \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\oint_S \vec{J} \cdot d\vec{S}}$$

$$\xrightarrow{\vec{J}=\gamma\vec{E}} R = \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\oint_S \gamma \vec{E} \cdot d\vec{S}} \quad (2.196)$$

Αν μάλιστα το μέσον είναι ομογενές, δηλ. η γ είναι σταθερή για όλο τον όγκο του, τότε αυτή θα βγει από το ολοκλήρωμα.

Έχοντας λοιπόν γνώση της αναλυτικής έκφρασης του \vec{E} εντός του μέσου, μπορούμε να υπολογίσουμε την DC αντίστασή του για οποιαδήποτε ηλεκτροδιακή διάταξη στην οποία τα παραπάνω ολοκληρώματα μπορούν να υπολογιστούν αναλυτικά.

Στην προκειμένη περίπτωση όμως, όπως αναφέραμε και παραπάνω στον υπολογισμό της κατανομημένης χωρητικότητας μεταξύ αγωγού και θωρακίσεως, η ηλεκτροδιακή διάταξη δεν έχει την ευκολία υπολογισμού που έχει π.χ. ένα ομοαξονικό καλώδιο, λόγω της εκκεντρότητας του αγωγού και της θωρακίσεως. Εμείς εδώ λοιπόν αξιοποιήσουμε μία άλλη σημαντική παρατήρηση (που εντοπίζεται στην ανάλυση των μονίμων πεδίων, βλ. το [19]), η οποία συνδέει αντίσταση και χωρητικότητα. Στην περίπτωση λοιπόν που έχουμε μια ηλεκτροδιακή διάταξη με ένα διηλεκτρικό ανάμεσα, αυτή ως γνωστόν δρα σαν πυκνωτής με χωρητικότητα C . Στην πραγματικότητα βέβαια κάθε διηλεκτρικό έχει κάποιες, ελάχιστες ίσως, απώλειες που εκφράζονται από μια πολύ μικρή τιμή ειδικής αγωγιμότητας (λόγω της πολύ μεγάλης ειδικής αντιστάσεως τους βέβαια). Όταν λοιπόν επιβάλλουμε σε αυτά τα ηλεκτρόδια μια τάση V θα έχουμε μια ροή ενός ελαχίστου ρεύματος διαρροής, I . Οπότε θα έχουμε λόγω αυτών των ελαχίστων απωλειών και μια τιμή αντίστασης R (πέραν της χωρητικότητας), την λεγόμενη αντίσταση μονώσεως (και γι' αυτό άλλωστε υπαγορεύεται και η μέτρηση της αντίστασης αυτής από τα πρότυπα).

Θεωρώντας ότι το διηλεκτρικό μέσον μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι ομογενές, δηλ. έχει σταθερή ειδική αγωγιμότητα γ σε όλο τον όγκο του, η αντίστασή του θα δοθεί από την σχέση (2.196) (με την ειδική αγωγιμότητα εκτός του ολοκληρώματος):

$$R = \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\gamma \cdot \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}} \quad (2.197)$$

Η χωρητικότητα τώρα αυτής της ηλεκτροδιακής διατάξεως δίνεται, ως γνωστόν, από την σχέση:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.198)$$

όπου Q είναι το συνολικό ελεύθερο φορτίο του αγωγού που βρίσκεται στο υψηλότερο δυναμικό και θεωρείται ως ο θετικός οπλισμός (εν προκειμένω θεωρούμε ότι αυτός είναι ο 1). Μάλιστα το φορτίο αυτό θα είναι επιφανειακό για το ηλεκτρόδιο διότι λόγω του φαινομένου της ηλεκτρικής χαλαρώσεως και επειδή τα ηλεκτρόδια είναι από καλούς αγωγούς (θα μπορούσαμε να τους θεωρήσουμε και σχεδόν ιδανικούς), μετά την παρέλευση βραχυτάτου χρονικού διαστήματος όλο πρακτικά το φορτίο έχει μεταφερθεί στην επιφάνεια του αγωγού (βλ. την σελ. 253 του [19] και την σελ. 222 του [20]).

Αν εφαρμόσουμε τον νόμο του Gauss για το Ηλεκτρικό Πεδίο με επιφάνεια ολοκλήρωσης την ίδια S , που χρησιμοποιούμε και στον υπολογισμό του ρεύματος I βάσει της πυκνότητός του \vec{J} , έχουμε ότι (βλ. σελ. 253 του [19]):

$$Q = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (2.199)$$

όπου \vec{D} είναι η διηλεκτρική μετατόπιση (ή πυκνότητα της ηλεκτρικής ροής) στο εσωτερικό του διηλεκτρικού που παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η παραπάνω σχέση ισχύει διότι το Q είναι ακριβώς το φορτίο που περικλείει η επιφάνεια S αφού περικλείει τον οπλισμό 1. Επίσης γνωρίζουμε ότι:

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad (2.200)$$

Συνεπώς η σχέση που μας δίνει την χωρητικότητα μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής:

$$(2.198) \xrightarrow{(2.199),(2.194)} C = \frac{\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}}{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}$$

$$\xleftrightarrow{(2.200)} C = \frac{\oint_S \epsilon \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}$$

και αφού θεωρήσαμε το διηλεκτρικό ομογενές, θα έχει και σταθερή επιτρεπτότητα ϵ σε όλο τον όγκο του, άρα αυτή θα μπορεί να βγει από το ολοκλήρωμα, οπότε παίρνουμε:

$$C = \frac{\epsilon \cdot \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}} \quad (2.201)$$

Πολλαπλασιάζοντας κατά μέλη τις εξισώσεις (2.197) και (2.201) παίρνουμε:

$$R \cdot C = \frac{\epsilon \cdot \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}}{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}} \cdot \frac{\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\gamma \cdot \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S}} \Leftrightarrow$$

$$R \cdot C = \frac{\epsilon}{\gamma} \quad (2.202)$$

Η σχέση αυτή είναι άκρως εξυπηρετική διότι συνδέει την χωρητικότητα μιας ηλεκτροδιακής διατάξεως με την αντίσταση μονώσεως του διηλεκτρικού της διατάξεως αυτής.

Επομένως, επανερχόμενοι στην περίπτωση του καλωδίου SpW, για να υπολογίσουμε την αντίσταση μονώσεως μεταξύ εσωτερικού αγωγού και εσωτερικής θωρακίσεως, θα κάνουμε χρήση της σχέσεως που μας δίνει την κατανεμημένη χωρητικότητα της ίδιας διατάξεως. Έχουμε ότι:

$$C_{c.-s.p.u.length} = \frac{C_{c.-s.}}{l} \Leftrightarrow$$

$$C_{c.-s.} = l \cdot C_{c.-s.p.u.length} \quad (2.203)$$

όπου:

$C_{c.-s.}$: η (καθαρή και όχι ανά μονάδα μήκους) τιμή της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ του ενός εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως και

l το μήκος του καλωδίου SpW που εξετάζουμε.

Συνεπώς, βάσει της (2.202), έχουμε ότι:

$$R_{c.-s.} \cdot C_{c.-s.} = \frac{\epsilon}{\gamma} \quad (2.204)$$

όπου:

$R_{c.-s.}$: η αντίσταση μονώσεως μεταξύ του ενός εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσεως για ένα καλώδιο μήκους l (καθαρή τιμή σε Ω) και

$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ και γ : η επιτρεπτότητα και η ειδική αγωγιμότητα του PTFE που περιβάλλει τον εσωτερικό αγωγό.

Εννοείται ότι και εδώ, όπως και επανειλημμένος προηγουμένως κάναμε, θα θεωρήσουμε ότι ο χώρος μεταξύ του εσωτερικού αγωγού και της εσωτερικής θωρακίσσεως καταλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από μονωτικό PTFE, καθώς μόνο με αυτή την παραδοχή μπορεί να εφαρμοστεί η παραπάνω ανάλυση. Να σημειώσουμε ότι τιμή για το ε_r του PTFE έχουμε, την $\varepsilon_r = 2.1$, όμως για την ειδική αγωγιμότητα δεν μας δίνει πληροφορία το CST. Έτσι καταφύγαμε στην ιστοσελίδα του MatWeb, απ' όπου επιλέξαμε μια μέση τιμή ειδικής αντιστάσεως για υλικά PTFE, που προκύπτουν από χύτευση:

$$\rho \cong 8.7 \cdot 10^{17} \Omega \cdot cm = 8.7 \cdot 10^{15} \Omega \cdot m$$

δηλ. έχουμε μια μέση ειδική αγωγιμότητα περίπου:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = 1.15 \cdot 10^{-16} S/m \quad (2.205)$$

Συνεπώς, για την περίπτωση μας, έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} (2.204) &\Leftrightarrow R_{c.-s.} = \frac{\varepsilon}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_{c.-s.}} \\ &\stackrel{(2.203)}{\Leftrightarrow} R_{c.-s.} = \frac{\varepsilon}{\gamma} \cdot \frac{1}{l \cdot C_{c.-s.p.u.length}} \\ &\stackrel{(2.187)}{\Leftrightarrow} R_{c.-s.} = \frac{\varepsilon}{\gamma} \cdot \frac{1}{l \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon}{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}} \\ &\Leftrightarrow R_{c.-s.} = \frac{\varepsilon}{\gamma} \cdot \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{l \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \\ &\Leftrightarrow R_{c.-s.} = \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot l} \end{aligned} \quad (2.206)$$

όπου ο προσθετέος $2bc$ υπολογίζεται από την σχέση (2.186) και οι παράμετροι a_1 , a_2 και b έχουν διασαφηνιστεί από τις σχέσεις (2.188), (2.189) και (2.190). Αν μάλιστα περάσουμε στο αριστερό μέλος της σχέσεως το μήκος l , τότε θα προκύψει η ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} (2.206) &\Leftrightarrow R_{c.-s.} \cdot l = \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \gamma} \\ &\Leftrightarrow R_{c.-s.for l length} = \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \gamma} \end{aligned} \quad (2.207)$$

όπου:

$$R_{c.-s.for l length} = R_{c.-s.} \cdot l$$

είναι η αντίσταση μονώσεως τρόπον τινά «ανηγμένη» (δηλ. αναφερόμενη) σε μήκος l καλωδίου και μετράται σε $\Omega \cdot m$.

Σχόλιο σχετικά με τις μονάδες της Αντιστάσεως Μονώσεως ($\Omega \cdot m$):

Ουσιαστικά, αν η έκφραση της $R_{c.-s.for l length}$ διαιρεθεί με την μονάδα m θα μας δώσει την αντίσταση μονώσεως στην μονάδα του μήκους του καλωδίου δηλ. σε $1 m$ καλωδίου (δηλ. η έκφρασή της, $\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right) / (2 \cdot \pi \cdot \gamma)$, είναι σαν να έχει διαιρεθεί με το $1 m$ ήδη, απλώς λείπει η μονάδα μέτρησης m). Η φιλοσοφία της $R_{c.-s.for l length}$ (όπως εξηγείται στην σελ. 243 του [19] για

μια περίπτωση ομοαξονικού καλωδίου) είναι ότι εξαρτάται από τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καλωδίου πλην του μήκους του l . Έτσι μας δίνει ένα αποτέλεσμα ανεξάρτητο πρακτικά από το μήκος του καλωδίου που θα επιλέξουμε (σε $\Omega \cdot m$). Αν στην συνέχεια η $R_{c.-s.for\ l\ length}$ διαιρεθεί με ένα συγκεκριμένο μήκος καλωδίου l , τότε θα λάβουμε σαν αποτέλεσμα την ακριβή τιμή της αντιστάσεως μονώσεως για ένα τέτοιο καλώδιο με μήκος ακριβώς l (σε Ω πλέον). Η φυσική σημασία του γεγονότος ότι για να πάρουμε την καθαρή αντίσταση σε Ω πρέπει να διαιρέσουμε την $R_{c.-s.for\ l\ length}$ με το μήκος l είναι ότι, στην περίπτωση αντιστάσεως μονώσεως καλωδίου, οι στοιχειώδεις «φέτες» μονωτικού μεταξύ εσωτερικού αγωγού και θωρακίσεως (που συνθέτουν όλες μαζί την αντίσταση μονώσεως) είναι ουσιαστικά παράλληλες μεταξύ τους (αφού έχουν κοινά άκρα στους δύο αγωγίσιμους οπλισμούς, αγωγό και θωράκιση). Οπότε όσες περισσότερες τέτοιες στοιχειώδεις αντιστάσεις είναι εν παραλλήλω, δηλ. όσο μεγαλώνει το μήκος του καλωδίου, τόσο η συνολική αντίστασή τους, δηλ. η αντίσταση μονώσεως θα μικραίνει (εξ' ου και η διαίρεση με το μήκος l). Γι' αυτό και μας χρειάζεται το μέγεθος $R_{c.-s.for\ l\ length}$ διότι όσο αλλάζουμε μήκη στα δείγματα του καλωδίου που χρησιμοποιούμε τόσο θα αλλάζει και η τιμή της αντίστασης μονώσεως, οπότε μας χρειάζεται μια ποσότητα ανεξάρτητη του μήκους για να μας βοηθά να αποφαινόμαστε αν η αντίσταση είναι γενικά επαρκής.

Έχοντας καταλήξει στις επιθυμητές μαθηματικές σχέσεις, για την κάθε περίπτωση καλωδίου SpW θα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Για την Var. 01:

Έχουμε, από την παράγραφο 2.7.3.2, ότι:

- η ακτίνα a_1 είναι: $a_1 = 0.189\ mm$,
- η ακτίνα a_2 είναι: $a_2 \cong 0.964\ mm$,
- η απόσταση b είναι: $b \cong 0.482\ mm$ και
- η ποσότητα $2bc$ δίνεται από την σχέση (2.191).

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.207) \xrightarrow{(2.205)} R_{c.-s.for\ l\ length} = \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1.15 \cdot 10^{-16}\ S/m}$$

$$\xrightarrow{(2.191)\ \text{και}\ \text{τις}\ \text{παραπάνω}\ \text{αποστάσεις}} R_{c.-s.for\ l\ length} = \frac{\ln\left(\frac{0.189^2 + 0.964^2 - 0.482^2 + 0.635655176}{2 \cdot 0.189 \cdot 0.964} \cdot \frac{mm^2}{mm^2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1.15 \cdot 10^{-16}\ S/m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{c.-s.for\ l\ length} = 0.183115286 \cdot 10^{16}\ \Omega \cdot m$$

$$\Leftrightarrow R_{c.-s.for\ l\ length} = 1831152.86\ M\Omega \cdot km > 5000\ M\Omega \cdot km = R_{insulation\ min}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η αντίσταση μονώσεως για το SC του καλωδίου SpW παραλλαγής Var. 01, είναι υπερικανοποιητική.

Για την Var. 02:

Έχουμε, από την παράγραφο 2.7.3.2, ότι:

- η ακτίνα a_1 είναι: $a_1 = 0.240\ mm$,
- η ακτίνα a_2 είναι: $a_2 = 1.116\ mm$,
- η απόσταση b είναι: $b = 0.558\ mm$ και
- η ποσότητα $2bc$ δίνεται από την σχέση (2.192).

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.207) \xrightarrow{(2.205)} R_{c.-s.for\ l\ length} = \frac{\ln\left(\frac{a_1^2 + a_2^2 - b^2 + (2bc)}{2 \cdot a_1 \cdot a_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1.15 \cdot 10^{-16}\ S/m}$$

$$\xrightarrow{(2.192)\ \text{και}\ \text{τις}\ \text{παραπάνω}\ \text{αποστάσεις}} R_{c.-s.for\ l\ length} = \frac{\ln\left(\frac{0.240^2 + 1.116^2 - 0.558^2 + 0.834565732}{2 \cdot 0.240 \cdot 1.116} \cdot \frac{mm^2}{mm^2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 1.15 \cdot 10^{-16}\ S/m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{c.-s.for\ l\ length} = 0.169740439 \cdot 10^{16} \Omega \cdot m$$

$$\Leftrightarrow R_{c.-s.for\ l\ length} = 1697404.39 M\Omega \cdot km > 5000 M\Omega \cdot km = R_{insulation\ min}$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν και για την Var. 02 η αντίσταση μονώσεως για το SC του καλωδίου SpW είναι ικανοποιητικότερη.

Σχόλιο σχετικά με τις στρογγυλοποιήσεις:

Να σημειώσουμε ότι για λόγους ομοιομορφίας και συνεπείας κάναμε τις ίδιες στρογγυλοποιήσεις που έγιναν και για τον υπολογισμό των κατανεμημένων χωρητικότητων (στην παράγραφο 2.7.3.2).

2.7.5 Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του SC

Η Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του SC είναι μια δοκιμή, που στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8] επισημαίνεται ως “Characteristic Dielectric Strength of Inner Jacket (kVac)”. Για τις λεπτομέρειες της δοκιμής διηλεκτρικής αντοχής της μονώσεως του εσωτερικού μανδύα, δηλ. του μανδύα του SC, το [8] μας παραπέμπει στην §9.6 της [10]. Εκεί βλέπουμε πως αναλυτικά η δοκιμή αυτή και πάλι περιγράφεται στο FED-STD-228 και συγκεκριμένα τώρα στην Μέθοδο 6211 αυτού. Όπως όμως έχουμε πει, λόγω αδυναμίας εύρεσης αυτού, περιοριστήκαμε στα λεγόμενα των [10] και JAXA-QTS-2120D [12].

Σύμφωνα με τα έγγραφα αυτά, για την δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής του inner jacket πρέπει να εφαρμοστεί τάση βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz στην περίπτωση του ευρωπαϊκού δικτύου) μεταξύ της εσωτερικής θωρακίσεως και της εξωτερικής επιφανείας του jacket. **Η τιμή της τάσεως συγκεκριμενοποιείται από την πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (στην σελ. 23) και είναι 1.5 kV (και για τις δύο Variants). Η τιμή αυτή είναι προφανώς rms αφού αναφερόμαστε σε AC τάση. Στο διάστημα της εφαρμογής της τάσεως, το δείγμα καλωδίου πρέπει να μην επιδείξει διάσπαση (breakdown), υπερπήδηση (flash-over) ή σπινθηρισμούς (spark-over).**

Ένα σημείο που χρειάζεται διευκρίνιση στην περίπτωση αυτής της δοκιμής είναι ο τρόπος εφαρμογής της τάσεως. Προκειμένου να ελέγξουμε την διηλεκτρική αντοχή ενός μονωτικού στρώματος ενός καλωδίου, εφαρμόζουμε την τάση δοκιμής μεταξύ δύο αγωγών, ενός στο εσωτερικό του εν λόγω μονωτικού στρώματος και ενός στο εξωτερικό του. Και μάλιστα οι αγωγοί αυτοί πρέπει να είναι σε άμεση επαφή με το μονωτικό αυτό (απο την εσωτερική και την εξωτερική του πλευρά αντίστοιχα). Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα στην περίπτωση του διηλεκτρικού του εσωτερικού αγωγού, που εξετάσαμε παραπάνω στην υποενότητα 2.7.2, διότι υπάρχουν τέτοιοι αγωγοί, ο εσωτερικός αγωγός και η εσωτερική θωράκιση. Τώρα στην περίπτωση του inner jacket, εσωτερικός αγωγός για αυτό το μονωτικό υπάρχει και είναι η εσωτερική θωράκιση. Όμως εξωτερικός αγωγός δεν υπάρχει. Μια λύση που εφαρμόζεται σε τέτοιες περιπτώσεις ελέγχου διηλεκτρικής αντοχής είναι αυτή του ηλεκτροδίου με αλυσίδες χαντρών (bead chain electrode). Μια ενδεικτική εικόνα βλέπουμε δεξιά.

Εντοπίσαμε την μέθοδο αυτή στο πρότυπο MIL-STD-2223 [14] (Μέθοδος 3001 – Spark Test of Primary Insulation). Το ηλεκτρόδιο αυτό είναι ένας τρόπος να εφαρμοστεί τάση στην εξωτερική πλευρά ενός μονωτικού στρώματος. Αποτελείται από πολλές σειρές (αλυσιδίτσες) με πολύ μικρές χάντρες. Τόσο



Εικόνα 2.16: Bead Chain Electrode για δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής σε μονωτικούς μανδύες καλωδίων [43].

οι χάντρες σε κάθε αλυσίδα, όσο και οι αλυσίδες βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους.

Το καλώδιο λοιπόν του οποίου το εξωτερικός μονωτικός μανδύας θέλουμε να δοκιμαστεί (εν προκειμένω σε εμάς το SC) περνάει μέσα από αυτές τις χάντρες. Στην συνέχεια η τάση της δοκιμής εφαρμόζεται έτσι ώστε το ένα άκρο της πηγής τάσεως να είναι στο αγωγίμο μέρος του καλωδίου ακριβώς κάτω από το μονωτικό στρώμα (π.χ. σε εμάς στην εσωτερική θωράκιση) και το άλλο άκρο να συνδέεται στο συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο. Συσκευή που πραγματοποιεί τέτοιες δοκιμές φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.17: Συσκευή για δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής μανδύων καλωδίων περιέχουσα *bead chain electrode* [44].

Με τον τρόπο αυτόν (πρότυπο MIL-STD-2223 [14], Μέθοδος 3001, σελ. 1), εξασφαλίζεται μια κατά το δυνατόν «επαφή» της εφαρμοζόμενης τάσεως με πρακτικά όλη την εξωτερική επιφάνεια του μονωτικού στρώματος που υποβάλλεται στην δοκιμή (εκ περιστροφής επαφή). Αυτό πρακτικά υπαγορεύει και η [10] στην §9.6, όταν αναφέρει, ότι η τάση πρέπει να εφαρμόζεται μεταξύ της εσωτερικής θωρακίσεως και της εξωτερικής επιφανείας του μονωτικού μανδύα. Πώς αλλιώς άλλωστε να εφαρμοστεί τάση στην εξωτερική επιφάνεια ενός μονωτικού στρώματος εί μη μόνον με ένα κατάλληλο ηλεκτρόδιο που να «αγκαλιάζει» όλη αυτή την εξωτερική επιφάνεια;

Για να ελέγξουμε τώρα σε θεωρητικό επίπεδο αν το μονωτικό του inner jacket «περνάει» την δοκιμή αυτή, θα πρέπει να

υπολογίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο που θα αναπτυχθεί στο μονωτικό (μεταξύ εσωτερικής θωρακίσεως και ηλεκτροδίου αλυσίδων χαντρών) και να διαπιστώσουμε αν υπερβαίνει ή όχι την πεδιακή ένταση διάσπασής του. Και εδώ λοιπόν, επειδή το πεδίο αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση ομογενές, θα κάνουμε την θεώρηση του πεδίου ενός κυλινδρικού πυκνωτού, όπως κάναμε και στην δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού του εσωτερικού αγωγού. Βέβαια, το εξωτερικό ηλεκτρόδιο, όπως διαπιστώνει κανείς, δεν είναι ακριβώς τέλειος αγωγίμος κύλινδρος. Λόγω όμως ελλείψεως καλύτερου τρόπου να προσεγγίσουμε απλά και εύκολα την πεδιακή φύση του προβλήματος, θα κάνουμε την παραδοχή ότι ο τρόπος που οι χάντρες του ηλεκτροδίου περιβάλλουν εξωτερικά τον μονωτικό μανδύα είναι τέτοιος ώστε πρακτικά να μην αφήνουν κανένα σημείο του ακάλυπτο. Με την παραδοχή αυτή, το πρόβλημά μας πλησιάζει πλέον πάρα πολύ την μορφή του πεδίου ενός κυλινδρικού πυκνωτή, με την εσωτερική θωράκιση και το ηλεκτρόδιο να παίζουν τους ρόλους των οπλισμών και το PFA του inner jacket να είναι το διηλεκτρικό ανάμεσά τους. Μάλιστα εν προκειμένω ίσως είμαστε και πιο κοντά στην μορφή του κυλινδρικού πυκνωτού, διότι δεν έχουμε τα προβλήματα εκκεντρότητας των οπλισμών και μη ενιαίου διηλεκτρικού στον μεταξύ τους χώρο, που είχαμε στην περίπτωση του διηλεκτρικού του εσωτερικού αγωγού.

Και πάλι λοιπόν στηριζόμενοι στην πεδιακή ανάλυση (βλ. [20]) και με βάσει το Σχήμα 2.10, όπου μεταξύ των οπλισμών υπάρχει ομογενές διηλεκτρικό διηλεκτρικής σταθεράς ϵ σταθεράς σε όλο τον όγκο του, θα θεωρήσουμε τώρα ότι:

- η ακτίνα a είναι η εξωτερική ακτίνα της εσωτερικής θωρακίσεως δηλ.:
 - ο για την Var. 01:

$$a = \frac{\text{Diameter_of_Shielded_Unjacketed_SC}}{2} \quad (2.208)$$

- ο για την Var. 02:

$$a = \frac{\text{Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_SC}}{2} \quad (2.209)$$

- και η ακτίνα b , που θα είναι η εσωτερική ακτίνα της αγωγίμης επιφανείας που δημιουργούν οι χάντρες του ηλεκτροδίου, ουσιαστικά θα είναι η εξωτερική ακτίνα της εξωτερικής επιφανείας του μανδύα, δηλ. η ακτίνα του SC:

$$b = \frac{\text{SC_Diameter}}{2} \quad (2.210)$$

Προφανώς ισχύει ότι:

$$b = a + \text{Thickness_of_Inner_Jacket}$$

Να σημειώσουμε πως το γεγονός ότι ο εσωτερικός οπλισμός είναι εν προκειμένω κούλος κύλινδρος και όχι συμπαγής (αφού πρόκειται για ένα αγωγίμο στρώμα θωρακίσεως και όχι για κάποιον συμπαγή αγωγό) ουδόλως επηρεάζει την πεδιακή ανάλυση. Και αυτό συμβαίνει επειδή, όπως επισημάναμε και πριν στην υποενότητα 2.7.4, το φαινόμενο της ηλεκτρικής χαλαρώσεως ωθεί τα φορτία να συσσωρευθούν στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού οπλισμού, ως επιφανειακό φορτίο. Επομένως η εφαρμογή και το αποτέλεσμα του Ολοκληρωτικού Νόμου του Gauss για το Ηλεκτρικό Πεδίο δεν αλλάζει καθόλου αν ο εσωτερικός οπλισμός είναι συμπαγής ή είναι μια απλή αγωγίμη φλοίδα.

Έτσι έχουμε και πάλι ότι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο διηλεκτρικό θα δίνεται από την σχέση (2.177), η διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών θα δίνεται από την σχέση (2.178), η σχέση του μέτρου της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου και της εφαρμοζόμενης τάσεως θα προκύπτει και πάλι από τις δύο αυτές σχέσεις, ενώ **η μέγιστη τιμή του πεδίου θα εντοπίζεται κατά τα γνωστά στα σημεία της επιφανείας του εσωτερικού οπλισμού** ($r = a$, όπου με r συμβολίζουμε την ακτινική διεύθυνση σε τοπικό κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων r, φ, z με κέντρο το κέντρο του SC) και θα δίνεται από την σχέση (2.179).

Και πάλι, επειδή στην θεωρητική μας ανάλυση δεν υπάρχουν ατέλειες στον όγκο του διηλεκτρικού, όπως φυσαλίδες, σκόνες ή άλλες ακαθαρσίες, που θα υποκινούσαν μια πιθανή διάσπαση στις θέσεις τους, θεωρούμε ότι αν πρόκειται να γίνει κάποια διάσπαση, αυτή θα ξεκινήσει από τα σημεία που μεγιστοποιείται το πεδίο εντός αυτού του «τυκνωτή», δηλ. όπως είπαμε τα σημεία με $r = a$.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω (υποενότητα 2.6.2), το υλικό των μανδύων στα SCs και στο RC είναι PFA. Στην παράγραφο 2.6.1.2 είχαμε αναφερθεί αναλυτικά στο υλικό PFA, που επιλέξαμε να εντάξουμε στην βιβλιοθήκη υλικών του Cable Studio. Στα χαρακτηριστικά αυτού του υλικού είχαμε δει ότι η διηλεκτρική του αντοχή (ή πεδιακή ένταση διασπάσεως) ήταν $\geq 80 \text{ kV/mm}$. Εμείς, για να είμαστε, κατά τα γνωστά, από την ασφαλή πλευρά, θα λάβουμε ως τιμή για την διηλεκτρική αντοχή του, έστω E_d , την κατώτατη που μας πληροφορεί το MatWeb, δηλ. $E_d = 80 \text{ kV/mm}$. Συνεπώς απομένει να ελέγξουμε για τις δύο Variants του SpW, αν η εφαρμοζόμενη τάση των 1.5 kV rms , που υπαγορεύει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] κατά την συγκεκριμένη δοκιμή, οδηγεί την διάταξη μας σε μέγιστη πεδιακή ένταση E_{max} που υπερβαίνει την διηλεκτρική αντοχή του PFA, E_d .

Χρειάζεται προσοχή να μην ξεχνάμε ότι **οι πεδιακές εντάσεις διασπάσεως των μονωτικών που δίνονται είναι μέγιστες τιμές (και όχι rms). Δηλ. αυτό σημαίνει ότι, για να μην έχουμε διάσπαση του μονωτικού πρέπει η μέγιστη τιμή (και όχι η rms) της πεδιακής εντάσεως να μην φτάσει το όριο E_d . Άρα στην περίπτωση που η τάση που εφαρμόζουμε είναι AC, στην σχέση (2.179) της E_{max} δεν πρέπει να ξεχνάμε να αντικαταστήσουμε της μέγιστη (peak) τιμή τάσεως.**

Σχόλιο σχετικά με τις στρογγυλοποιήσεις των τιμών ώστε να έχουμε ασφαλές αποτέλεσμα:

Ός προς τις στρογγυλοποιήσεις να παρατηρήσουμε ότι, στον λογάριθμο της σχέσεως (2.179) του E_{max} , οι παράμετροι a και b είναι σε πηλίκιο οπότε το αν θα στρογγυλοποιηθούν και οι δύο προς τα άνω ή προς τα κάτω θα αφήσει τον λογάριθμο σχετικά ανεπηρέαστο. Όμως στην σχέση αυτή το a υπάρχει και μόνο του στον παρονομαστή. Οπότε προκειμένου να πάρουμε μια δυσμενέστερη περίπτωση πεδιακής εντάσεως θα κάνουμε στρογγυλοποίηση προς τα κάτω στην τιμή του a . Άρα αν δεν έχουμε διάσπαση με αυτή την στρογγυλοποίηση τότε δεν θα έχουμε και στην πραγματικότητα

(όπου το a είναι κατά τι μεγαλύτερο). Για λόγους συνεπειάς έπειτα, θα κάνουμε και στο b στρογγυλοποίηση προς τα κάτω.

Για την Var. 01:

Έχουμε ότι:

$$- \text{ Η ακτίνα } a \text{ είναι: } (2.208) \xrightarrow{(2.32)} a \cong 1.122 \text{ mm.}$$

$$- \text{ Η ακτίνα } b \text{ είναι: } (2.210) \xrightarrow{(2.36)} b \cong 1.322 \text{ mm.}$$

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1.5 \text{ kV}}{1.122 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{1.322 \text{ mm}}{1.122 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 11.526 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 80 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι το διηλεκτρικό του inner jacket αντέχει σίγουρα την τάση των 1.5 kV που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Για την Var. 02:

Έχουμε ότι:

$$- \text{ Η ακτίνα } a \text{ είναι: } (2.209) \xrightarrow{(2.122)} a = 1.35 \text{ mm.}$$

$$- \text{ Η ακτίνα } b \text{ είναι: } (2.210) \xrightarrow{(2.126)} b = 1.55 \text{ mm.}$$

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1.5 \text{ kV}}{1.35 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{1.55 \text{ mm}}{1.35 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 11.374 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 80 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι και για την Var. 02, το διηλεκτρικό του inner jacket αντέχει σίγουρα την τάση των 1.5 kV που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Σχόλιο σχετικά με την διαφορά στην αναπτυσσόμενη πεδιακή ένταση σε Var. 01 και Var. 02:

Βλέπουμε ότι έχουμε ανάπτυξη μικρότερη πεδιακής έντασης στην περίπτωση της Var. 02 για την ίδια εφαρμοζόμενη τάση δοκιμής. Αυτό το έχουμε παρατηρήσει ξανά στον έλεγχο διηλεκτρικής αντοχής του μονωτικού του εσωτερικού αγωγού και το έχουμε εξηγήσει στην υποενότητα 2.7.2, στο σχετικό σχόλιο, στο τέλος της.

2.7.6 Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του RC

Η Διηλεκτρική Αντοχή του Μανδύα του RC είναι μια δοκιμή που στο πρότυπο ESCC 33902/003 [8] επισημαίνεται ως “Characteristic Dielectric Strength of Outer Jacket (kVac)”. Η δοκιμή αυτή πλέον ομοιάζει κατά πάντα με αυτή που γίνεται για τον μανδύα του SC. Η μόνη διαφορά είναι στην τιμή της εφαρμοζόμενης τάσεως, στο πού αυτή εφαρμόζεται, δηλ. στο ποιοί είναι οι αγωγοί που παίζουν τον ρόλο των οπλισμών και στις ακτίνες των οπλισμών αυτών.

Συγκεκριμένα η τιμή της εφαρμοζόμενης AC τάσεως 50 Hz είναι 2 kV (rms προφανώς) και για τις δύο Variants (βλ. σελ. 23 του [8]). Εν προκειμένω η τάση αυτή θα εφαρμόζεται μεταξύ της εξωτερικής θωρακίσεως του RC και της εξωτερικής επιφανείας του outer jacket (δηλ. της εξωτερικής επιφανείας του ολοκληρωμένου καλωδίου SpW), προφανώς με ένα αντίστοιχο ηλεκτρόδιο bead chain. Το διηλεκτρικό που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο αυτών οπλισμών είναι ο εξωτερικός μανδύας του SpW που θέλουμε να δοκιμαστεί και είναι κατασκευασμένο και πάλι από PFA, όπως και στο inner jacket. Επομένως θεωρείται κατά τα γνωστά ομογενές σταθερής επιτρεπτότητας ϵ σε όλο τον όγκο του. Οι ακτίνες έχουν ως εξής:

- η ακτίνα a είναι η εξωτερική ακτίνα της εξωτερικής θωρακίσεως δηλ.

$$a = \frac{\text{Diameter_of_Binded_Shielded_Unjacketed_RC}}{2} \quad (2.211)$$

και για τις δύο Variants

- και η ακτίνα b , που θα είναι η εσωτερική ακτίνα της αγωγίμης επιφανείας που δημιουργούν οι χάντρες του ηλεκτροδίου, ουσιαστικά θα είναι η εξωτερική ακτίνα της εξωτερικής επιφανείας του μανδύα, δηλ. η ακτίνα του RC:

$$b = \frac{\text{RC_Diameter}}{2} \quad (2.212)$$

Προφανώς ισχύει ότι:

$$b = a + \text{Thickness_of_Outer_Jacket}$$

Όλες οι σχέσεις της πεδιακής αναλύσεως είναι πλέον απaráλλακτες με την προηγούμενη δοκιμή για το inner jacket. Το ίδιο ισχύει και για τις συναφείς παρατηρήσεις και διαπιστώσεις. Προφανώς λαμβάνουμε ξανά την διηλεκτρική αντοχή του PFA ίση με $E_d = 80 \text{ kV/mm}$. Και απ' ευθείας οδηγούμαστε στον τελικό έλεγχο της διηλεκτρικής αντοχής του outer jacket που παρατίθεται στην συνέχεια.

Σχόλιο σχετικά με τις στρογγυλοποιήσεις των τιμών ώστε να έχουμε ασφαλές αποτέλεσμα:

Ως προς τις στρογγυλοποιήσεις ισχύουν ακριβώς όσα αναφέραμε στο σχετικό σχόλιο στην προηγούμενη υποενότητα, 2.7.5.

Για την Var. 01:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.211) $\xrightarrow{(2.64)}$ $a = 3.5 \text{ mm}$.

- Η ακτίνα b είναι: (2.212) $\xrightarrow{(2.68)}$ $b = 3.75 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2 \text{ kV}}{3.5 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{3.75 \text{ mm}}{3.5 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 11.713 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 80 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι το διηλεκτρικό του outer jacket αντέχει σίγουρα την τάση των 2 kV που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Για την Var. 02:

Έχουμε ότι:

- Η ακτίνα a είναι: (2.211) $\xrightarrow{(2.154)}$ $a \cong 4.048 \text{ mm}$.

- Η ακτίνα b είναι: (2.212) $\xrightarrow{(2.158)}$ $b \cong 4.298 \text{ mm}$.

Συνεπώς λαμβάνουμε:

$$(2.179) \xrightarrow{\text{με τις παραπάνω ακτίνες}} E_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2 \text{ kV}}{4.048 \text{ mm}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{4.298 \text{ mm}}{4.048 \text{ mm}}\right)}$$

$$\Rightarrow E_{max} \cong 11.660 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} < 80 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} = E_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι και για την Var. 02, το διηλεκτρικό του outer jacket αντέχει σίγουρα την τάση των 2 kV που επιβάλλεται για την συγκεκριμένη δοκιμή, χωρίς κανέναν φόβο αστοχίας.

Σχόλιο σχετικά με την διαφορά στην αναπτυσσόμενη πεδιακή ένταση σε Var. 01 και Var. 02:

Ισχύει και πάλι ότι η πεδιακή ένταση στην περίπτωση της Var. 02 μειώνεται για την ίδια εφαρμοζόμενη τάση δοκιμής, όπως έχουμε επανειλημμένως παρατηρήσει (υποενότητες 2.7.2 και 2.7.5).

2.7.7 Χαρακτηριστική Εμπέδηση του Διαφορικού Ζεύγους

Η Χαρακτηριστική Εμπέδηση του Διαφορικού Ζεύγους (Differential Signal Pair ή SC) εντοπίζεται στο πρότυπο ESCC 3902/003 [8] ως Characteristic Impedance (Ω). Με τον όρο «εμπέδηση» ουσιαστικά εννοούμε την κυματική αντίσταση του καλωδίου – γραμμής (dataline). Η γραμμή αυτή μπορεί να είναι ένας απλός μονωμένος αγωγός ως προς γη, ένα ομοαξονικό καλώδιο ή ένα διαφορικό ζεύγος. Η γνώση της εμπεδήσεως μας είναι απολύτως απαραίτητη προκειμένου να γίνει σωστά ο τερματισμός του αντιστοίχου καλωδίου στις μονάδες στις οποίες συνδέεται. Πιο συγκεκριμένα σε εμάς, στο SpW, ο τερματισμός κάθε διαφορικού ζεύγους γίνεται πάνω σε μια αντίσταση των 100Ω , τοποθετημένης στην είσοδο ενός τελεστικού ενισχυτού (βλ. το Σχήμα 1.1). Για τον λόγο αυτόν έχει επιλεγεί η διαφορική εμπέδηση κάθε διαφορικού ζεύγους να είναι 100Ω (με μια μικρή ανοχή στην απόκλιση).

Η εμπέδηση ενός καλωδίου εξαρτάται κατά βάσιν από την κατανεμημένη αυτεπαγωγή του και την κατανεμημένη χωρητικότητα του και στην ορθότερη και πληρέστερη προσέγγιση παίζουν ένα μικρό ρόλο και η απώλειές του, ωμικές και διηλεκτρικές. Απώτερα συνεπώς εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καλωδίου, τον τρόπο της συστροφής του [διότι η συστροφή επηρεάζει την κατανεμημένη χωρητικότητα (όπως είπαμε στην αρχή της υποενότητας 2.7.3, σε σχετικό σχόλιο) και αυτή με την σειρά της την εμπέδηση] και τα υλικά, αγωγή και μονωτικά αυτού. Επίσης ρόλο παίζει και η ύπαρξη ή όχι θωρακίσεως (βλ. [47]). Ακριβώς τώρα επειδή τον κυριότερο ρόλο παίζουν οι αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα, εν τέλει την κυματική συμπεριφορά ενός καλωδίου την διαμορφώνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτού και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του διηλεκτρικού του.

Συνεπώς τα υλικά που έχουν επιλεγεί για το SpW, οι διάμετροι και τα πάχη των μονωτικών στρωμάτων, ο τρόπος συστροφής του αλλά και τα χαρακτηριστικά της θωρακίσεώς του πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται διαφορική εμπέδηση μέσα σε ένα επιτρεπτό εύρος γύρω από τα 100Ω . Πάντοτε λοιπόν πρέπει να γίνεται έλεγχος της εμπεδήσεως του κάθε διαφορικού ζεύγους προτού αυτό παραδοθεί στον χρήστη.

Σχόλιο σχετικά με τις αλλαγές τιμών σε παραμέτρους που επηρεάζουν την διαφορική εμπέδηση:

Είναι απολύτως αναγκαίο να σημειώσουμε ότι τυχούσες αλλαγές στα πάχη των μονώσεων των εσωτερικών αγωγών, όπως και σε παραμέτρους που σχετίζονται με την συστροφή του SC και την θωράκιση αυτού, επηρεάζουν την τιμή της εμπεδήσεως. Για τον λόγο αυτόν ο χρήστης, κάθε φορά που προβαίνει σε αλλαγές που επηρεάζουν αυτές τις παραμέτρους του καλωδίου, θα πρέπει να βεβαιώνεται ότι η νέα του «προσέγγιση» εξακολουθεί να δίνει διαφορική εμπέδηση μέσα στα επιτρεπτά όρια (όπως επισημάναμε προθύστερα στην υποενότητα 2.5.5). Αυτός είναι και ο λόγος που, όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.4, διατηρήσαμε τα αντίστοιχα αρχεία CST στα οποία γίνεται η διερεύνηση της διαφορικής εμπεδήσεως. Θα πρέπει λοιπόν για κάθε αλλαγή τιμής σε σχετικές παραμέτρους, να ενημερώνονται με τον ίδιο τρόπο και οι παράμετροι στα αρχεία του Impedance Check και να υπολογίζεται εκ νέου η διαφορική εμπέδηση.

Για τις λεπτομέρειες της μέτρησης της διαφορικής εμπέδησης του SC, το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] μας παραπέμπει στην §9.10 της [10]. Εκεί βλέπουμε πως ένας τρόπος προσδιορισμού της διαφορικής εμπέδησης είναι ο έμμεσος υπολογισμός της με την χρήση της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ εσωτερικού αγωγού και εσωτερικής θωρακίσεως $C_{c-s.p.u.length}$ και μιας παραμέτρου που ονομάζεται velocity rate. Η παράμετρος αυτή πρέπει να προσδιοριστεί με ακρίβεια $\pm 0.5\%$ σε συχνότητα 200 MHz . Ως προς την χωρητικότητα τώρα, η προδιαγραφή επισημαίνει ότι για να είναι αξιόπιστος ο υπολογισμός της διαφορικής εμπεδήσεως θα πρέπει η τιμή της κατανεμημένης χωρητικότητας, που θα χρησιμοποιηθεί, να έχει μετρηθεί κατά τα γνωστά και λεγόμενα στην §9.9 της [10], αλλά για ένα μήκος καλωδίου περί τα 15 m (πιο μεγάλο δηλ. απ' όσο θα απαιτείτο για αυτήν καθ' εαυτήν την χωρητικότητα). Μια εναλλακτική μέθοδος για τον υπολογισμό της διαφορικής εμπέδησης δίδεται από το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] στην

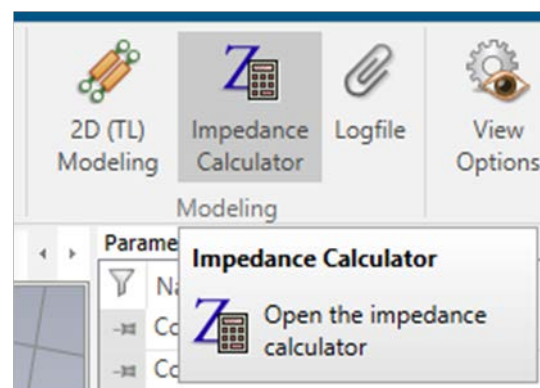
§5.3.2.3. Αυτή είναι η άμεση μέτρηση της εμπεδήσεως με την χρήση ανακλασιμέτρου στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Reflectometer or TDR). Αναλυτικά αυτή η μέθοδος περιγράφεται στο πρότυπο MIL-DTL-17J [1], στην §4.8.7.

Σύμφωνα με τα πρότυπα ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] και ESCC 3902/003 [8], **η επιτρεπόμενη τιμή της χαρακτηριστικής εμπεδήσεως του διαφορικού ζεύγους είναι και για τις δύο παραλλαγές του καλωδίου: $Z_0 = 100 \pm 6 \Omega$.**

Υπάρχουν μαθηματικές σχέσεις που δίνουν θεωρητικά την τιμή της διαφορικής εμπεδήσεως σε θωρακισμένο ή αθωράκιστο συνεστραμμένο διαφορικό ζεύγος. Πάντοτε όμως ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν έχει τις απλοποιήσεις του. Εμείς τώρα, για να υπολογίσουμε αυτή την ποσότητα ώστε να ελέγξουμε αν σε θεωρητικό επίπεδο είμαστε μέσα στα επιτρεπτά όρια, θα χρησιμοποιήσουμε την σχετική δυνατότητα που προσφέρει το λογισμικό του CST. Συνεπώς, για αυτό τον έλεγχο είμαστε πολύ πιο ακριβείς (απ' ότι για όλους τους προηγούμενους θεωρητικούς ελέγχους), διότι το λογισμικό, χρησιμοποιώντας κατάλληλο επιλύτη (solver), θα λάβει υπ' όψιν του όλα όσα για έναν χειροκίνητο υπολογισμό είναι δύσκολα συμπεριλήψιμα (όπως οι ωμικές και διηλεκτρικές απώλειες και η συστροφή των αγωγών). Αναγκαστικά όμως, αυτός ο έλεγχος είναι ο μόνος που πρέπει να γίνει αφού φτιαχτεί η διατομή του καλωδίου στο Cable Studio του CST. Παρ' όλα αυτά, για λόγους αρτιότητας του κειμένου και για να είναι αυτό πιο ευανάγνωστο, επιλέξαμε να παραθέσουμε και αυτόν τον έλεγχο εδώ, μαζί με τους υπολοίπους (οι οποίοι προηγούνται της δόμησης της διατομής). Αν πάντως ο εν λόγω έλεγχος οδηγήσει σε αποτελέσματα εκτός ορίων, η παραμετροποίηση της διατομής θα μας επιτρέψει να αλλάξουμε ό,τι χρειαστεί, χωρίς να αλλοιωθεί η δόμηση της.

Πρέπει να τονίσουμε ότι αυτού του είδους ο έλεγχος είναι πολύ σημαντικός, διότι αποκαλύπτει στην μελετητή την ακριβή τιμή της εμπεδήσεως του διαφορικού ζεύγους του καλωδίου. Και αν πρόκειται να συνοδέψει μια κατασκευαστική μελέτη καλωδίου SpW, θα βοηθήσει καθοριστικά ώστε, στην συνέχεια να επιλεγεί και με μεγαλύτερη ακρίβεια η αντίσταση τερματισμού του διαφορικού ζεύγους στην είσοδο του Receiver.

Παρατηρώντας τα εργαλεία του Cable Studio (καρτέλα Modeling της εργαλειοταινίας Cables), εντοπίζουμε στην υποκαρτέλα Modeling το εργαλείο Impedance Calculator (βλ. την Εικόνα 2.18). Το εργαλείο αυτό μας υπολογίζει αυτόματα την εμπέδηση ενός καλωδίου, είτε είναι η εμπέδηση ενός απλού μονωμένου καλωδίου ως προς γη, είτε είναι η εμπέδηση ενός ομοαξονικού καλωδίου είτε είναι η διαφορική εμπέδηση δηλ. η εμπέδηση μεταξύ των δύο αγωγών ενός διαφορικού ζεύγους. Για να λειτουργήσει και να μπορεί να πραγματοποιήσει υπολογισμό εμπεδήσεως πρέπει υποχρεωτικά να έχει φτιαχτεί στον χώρο ένα τμήμα καλωδίου (ένα segment, όπως λέγεται και εντοπίζεται από το Cable Navigation Tree, αριστερά στο περιβάλλον του CST). Αναλυτικότερα στην δημιουργία τμημάτων καλωδίου στον χώρο και στους τρόπους με τους οποίους αυτή γίνεται θα αναφερθούμε αργότερα, στο Κεφάλαιο 4. Εδώ δεν θα δώσουμε λεπτομέρειες για τον τρόπο κατασκευής, έτσι ώστε να επικεντρωθούμε στον τρόπο υπολογισμού της εμπεδήσεως. Απλώς αναφέρουμε εν τάχει ότι ορίσαμε μια τυχαία καμπύλη στον 3D χώρο με μια επίσης τυχαία καμπυλότητα (όλα αυτά θα εξηγήσουμε αναλυτικά πώς γίνονται στην υποενότητα 4.2.1) και πάνω σε αυτήν φορτώσαμε την διατομή του καλωδίου, του οποίου θέλαμε να υπολογίσουμε την εμπέδηση. Έτσι δημιουργήθηκε το ζητούμενο τμήμα καλωδίου. Κατά την κατασκευή της καμπύλης φροντίσαμε ώστε το συνολικό μήκος αυτής να είναι κοντά στα 15 m, όπως υπαγορεύει και η [10]. Η κατασκευή αυτών των καμπυλών και η δημιουργία των τμημάτων καλωδίων (προς υπολογισμό εμπεδήσεως) έγινε στα



Εικόνα 2.18: Το εργαλείο υπολογισμού εμπέδησης του Cable Studio [56].

δύο σχετικά αρχεία του CST, **SpW_Cable_Var.01_cross_section_impedance_check.cst** και **SpW_Cable_Var.01_cross_section_impedance_check.cst**, τα οποία αναφέραμε στην ενότητα 2.4.

Έχοντας λοιπόν κατασκευάσει την καμπύλη αυτήν, τόσο στο αρχείο της Var. 01 όσο και στο αρχείο της Var. 02, διαδοχικά φορτώσαμε σε αυτήν τις διατομές των καλωδίων, των οποίων την εμπέδηση έπρεπε να προσδιορίσουμε. Η διαδικασία έπειτα έχει ως εξής, πατούμε το εργαλείο Impedance Calculator. Στο παράθυρο που ανοίγει πατούμε Refresh κάτω δεξιά ώστε να ενημερωθεί για τα νέα τμήματα καλωδίου που εγκαταστάθηκαν στον χώρο. Ακολουθώντας, αφού ο calculator ενημερωθεί, εμφανίζει στο κέντρο του παραθύρου το καλώδιό μας. Δίδεται πλέον έμφαση στα αγωγία μέρη αυτού (γι' αυτό και στην προεπισκόπηση της διατομής, όλα τα αγωγία μέρη δίδονται με κόκκινο και όλα τα μονωτικά με πράσινο⁷⁸, όπως θα δούμε και στις εικόνες που θα ακολουθήσουν). Δίπλα από τα αγωγία μέρη εμφανίζεται μια στήλη που έχει την επωνομασία Set. Στην στήλη αυτήν δηλώνουμε μεταξύ ποιών αγωγών θέλουμε να υπολογίσουμε την εμπέδηση (οπότε αυτή θα ήταν π.χ. μεταξύ εσωτερικού αγωγού και θωρακίσεως για ένα ομοαξονικό καλώδιο ή μεταξύ των δύο συνεστραμμένων εσωτερικών αγωγών για ένα διαφορικό ζεύγος, όπως στην δική μας περίπτωση). Ρυθμίζουμε το + και το - να εμφανίζονται στους δύο αυτούς αγωγούς που επιλέξαμε και τους υπολοίπους τους θέτουμε στο ∞ (κάτι που δηλώνει ότι δεν θα γίνει υπολογισμός ως προς αυτούς). Πάντοτε εκεί εμφανίζεται και η αναφορά του 3D χώρου (π.χ. για κυματική αντίσταση μιας μονωμένης γραμμής ως προς γη), την οποία όμως δεν θα χρησιμοποιήσουμε. Μπορούμε να προσθέτουμε και περισσότερα Sets μετρήσεων (με το Add). Τέλος πατούμε το Calculate στο κάτω μέρος του παραθύρου. Κατόπιν, το αποτέλεσμα του υπολογισμού μας το βλέπουμε σαν γραφική παράσταση συναρτήσεως της συχνότητας.

Την κυματομορφή του υπολογισμού της εμπέδησεως μπορούμε να την αναζητήσουμε από το Navigation Tree στο «μονοπάτι» που φαίνεται στην Εικόνα 2.19. Να σημειώσουμε ότι, έχουμε επιλέξει τον φάκελο Cable Modes (Sets), διότι εκεί βρίσκονται τα σετ υπολογισμών που δηλώσαμε εμείς, ως χρήστες [και όχι τον Cable Modes (Base)].

Είναι σημαντικό να σχολιάσουμε εδώ το εξής. Βάσει της γνωστής σχέσεως για την κυματική αντίσταση:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.213)$$

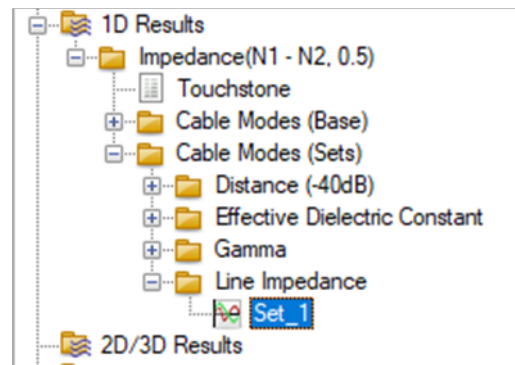
έχουμε ότι, αν στον υπολογισμό της εμπέδησεως δεν λάβουμε υπ' όψιν τις ωμικές και διηλεκτρικές απώλειες ($R = 0 \Omega$ και $G = 0 S/m$), τότε η εμπέδηση θα γίνει:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.214)$$

οπότε το αποτέλεσμα θα είναι ανεξάρτητο της συχνότητας (αφού το ω θα απλοποιηθεί από την αρχική σχέση). Αυτό εν μέρει επαληθεύεται και από το πρόγραμμα, αλλά μόνο από μια συχνότητα και πάνω, όπως θα δούμε στις παραγράφους 2.7.7.1 και 2.7.7.2, που ακολουθούν.

Στις περισσότερες τώρα των περιπτώσεων, συνήθως αμελούνται οι διηλεκτρικές απώλειες ($G = 0 S/m$) και παραμένουν οι ωμικές, οπότε η κυματική αντίσταση γίνεται:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}}$$



Εικόνα 2.19: Εντοπισμός της κυματομορφής της Εμπέδησεως από το Navigation Tree [56].

⁷⁸ Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στην προεπισκόπηση της διατομής κατά την δημιουργία της (σχετικές εικόνες για την οποία θα δούμε στην ενότητα 2.8), όπου τα χρώματα μπορούν να καθορίζονται κατά βούλησιν.

Οπότε υπάρχει πλέον μια συχνοτική εξάρτηση της εμπεδήσεως. Πάντως σε πολύ υψηλές συχνότητες ισχύει ότι $R \ll \omega L$, οπότε και πάλι η εμπέδηση τείνει να σταθεροποιηθεί (κάτι που επίσης παρατηρήσαμε στο αντίστοιχο γράφημα που προέκυψε).

Εμείς εν τέλει επιλέξαμε να συμπεριλάβουμε τόσο ωμικές όσο και διηλεκτρικές απώλειες (κάτι που μπορεί να ρυθμιστεί από την καρτέλα Settings στο παράθυρο του Impedance Calculator), για να είμαστε όσο το δυνατόν πιο ακριβείς (αλλά και γιατί τα μονωτικά μας υλικά έχουν δηλωμένη εφαιπτομένη απωλειών). Οπότε θα δούμε ασφαλώς συχνοτική εξάρτηση στην εμπέδηση. Πάντοτε βέβαια στις πολύ υψηλές συχνότητες θα έχουμε τάση σταθεροποίησης [αφού όπως $R \ll \omega L$ έτσι και $G \ll \omega C$ όταν η ω μεγαλώνει υπερβολικά, οπότε και πάλι η εμπέδηση τείνει στην μορφή της σχέσεως (2.214)], όπου η συχνότητα έχει απαληφθεί.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί για τις δύο παραλλαγές του SpW. Όπως θα δούμε στην ενότητα 2.8, έχουμε χωριστό μοντέλο για την διατομή του SC και άλλο μοντέλο για την διατομή του RC. Και μάλιστα για κάθε ένα από τα μοντέλα αυτά έχουμε διαφορετικές εκδοχές, την ακριβή και την απλοποιημένη. Συνεπώς αντίστοιχοι σε πλήθος θα είναι και οι έλεγχοι της εμπεδήσεως αυτών των καλωδίων. Για κάθε έλεγχο θα παραθέτουμε μία εικόνα από το περιβάλλον του υπολογισμού και το σχετικό γράφημα της εμπεδήσεως που προκύπτει.

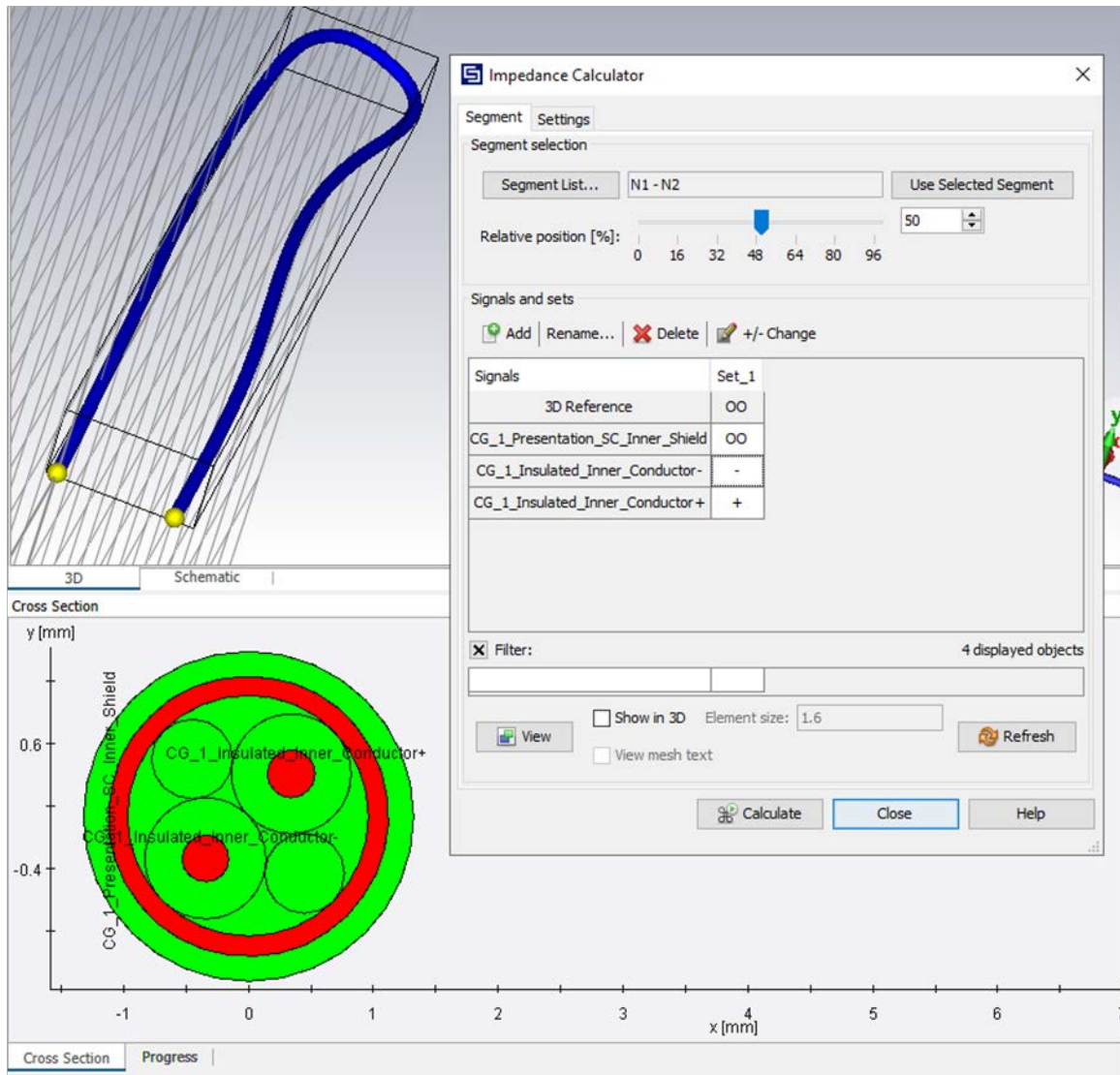
Αρχικά θα κάνουμε τον υπολογισμό και τον έλεγχο της εμπεδήσεως στο SC, χρησιμοποιώντας τα μοντέλα εκείνα στα οποία αυτό είναι μεμονωμένο. Στην συνέχεια, την ίδια μέτρηση θα την επαναλαμβάνουμε (περισσότερο για λόγους σιγουριάς) όταν τα αντίστοιχα καλώδια SC βρίσκονται πλέον εντός του πλήρους καλωδίου RC. Όπως έχουμε πει, η εμπέδηση εξαρτάται από τα γεωμετρικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του διαφορικού ζεύγους. Ως εκ τούτου αρκεί να την υπολογίσουμε για ένα εκ των τεσσάρων SCs εντός του RC, διότι όλα είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους οπότε θα έχουν και την αυτή διαφορική εμπέδηση. Βέβαια σε ένα πραγματικό καλώδιο, ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να επαναληφθεί και για τα 4 SCs διότι πάντοτε υπάρχουν κατασκευαστικές λεπτομέρειες, που μπορεί να διαφοροποιούνται (και λόγω τυχαιότητας) σε ένα πραγματικό σύστημα μεταξύ των SCs (π.χ. εξαιτίας από σημείο σε σημείο μικροσύσφιξης ή μικροχαλάρωσης της πλεκτής θωρακίσεως, μικροδιαφορών στην υλοποίηση της συστροφής των αγωγών, μικροατέλειες και αλλαγές σε πάχη μονώσεων κ.α.). Βέβαια σε ένα προσομοιωτικό περιβάλλον οι υλοποιήσεις είναι απολύτως ιδανικές οπότε δεν υπεισέρχονται τέτοια θέματα.

2.7.7.1 Για την Variant 01

Υπολογισμός της Εμπεδήσεως του SC ως μεμονωμένου καλωδίου:

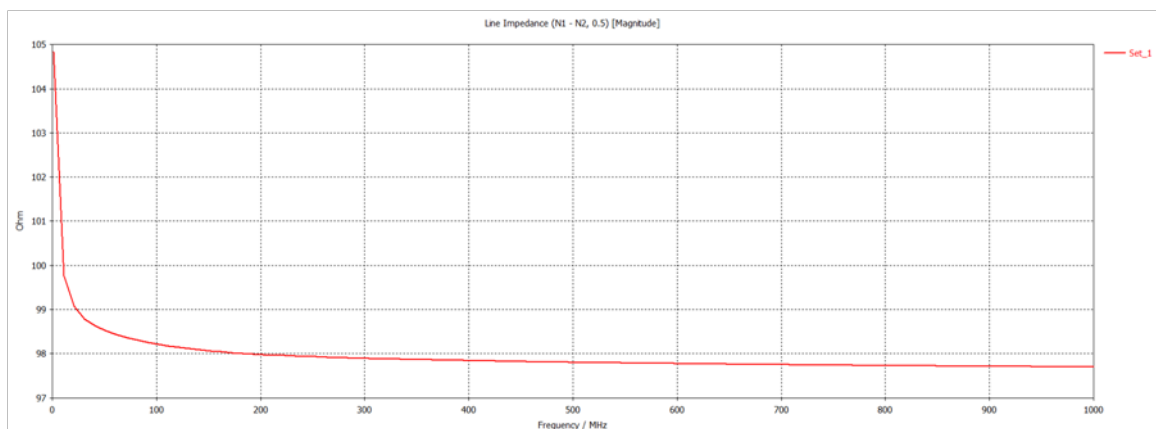
Ακριβές Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Presentation SC)⁷⁹:

⁷⁹ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8, όπου θα αναλυθούν με λεπτομέρεια οι διατομές που υλοποιήθηκαν.



Εικόνα 2.20: Υπολογισμός της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Presentation SC [56].

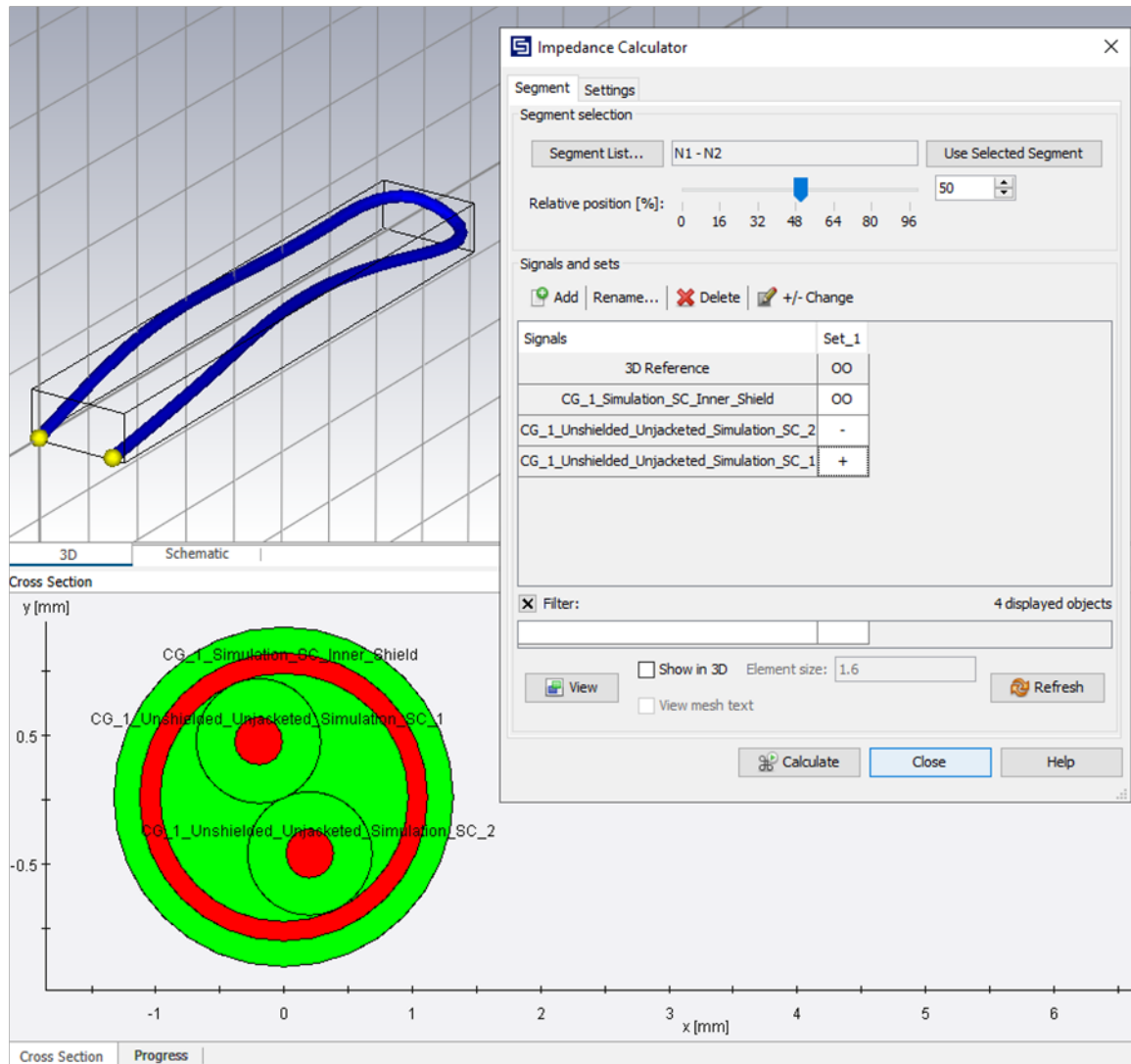
Το αποτέλεσμα του υπολογισμού είναι:



Σχήμα 2.12: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Presentation SC (Var. 01) [56].

Οπότε, από την παραπάνω γραφική παράσταση διαπιστώνουμε ότι είμαστε εντός ορίων για όλες τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν.

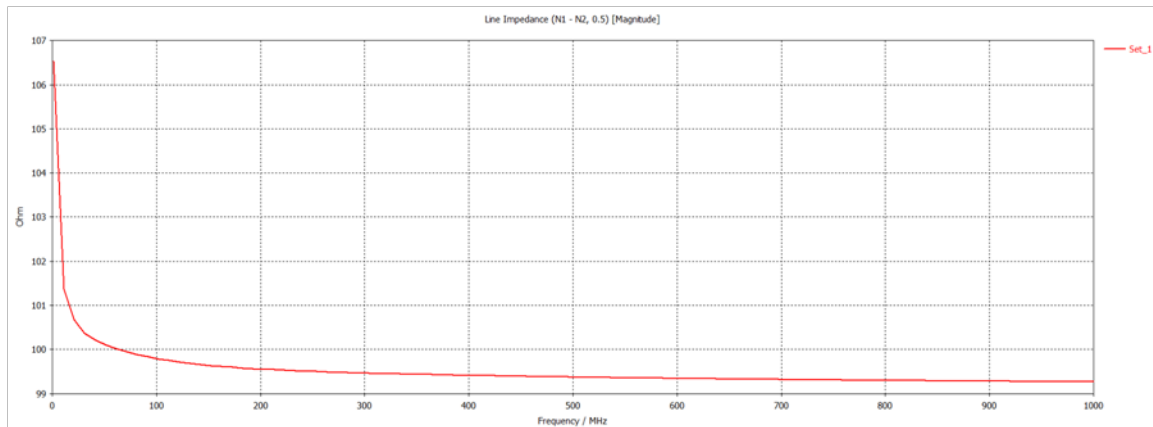
Απλοποιημένο Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Simulation SC)⁸⁰:



Εικόνα 2.21: Υπολογισμός της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Simulation SC [56].

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού είναι:

⁸⁰ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.



Σχήμα 2.13: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Simulation SC (Var. 01) [56].

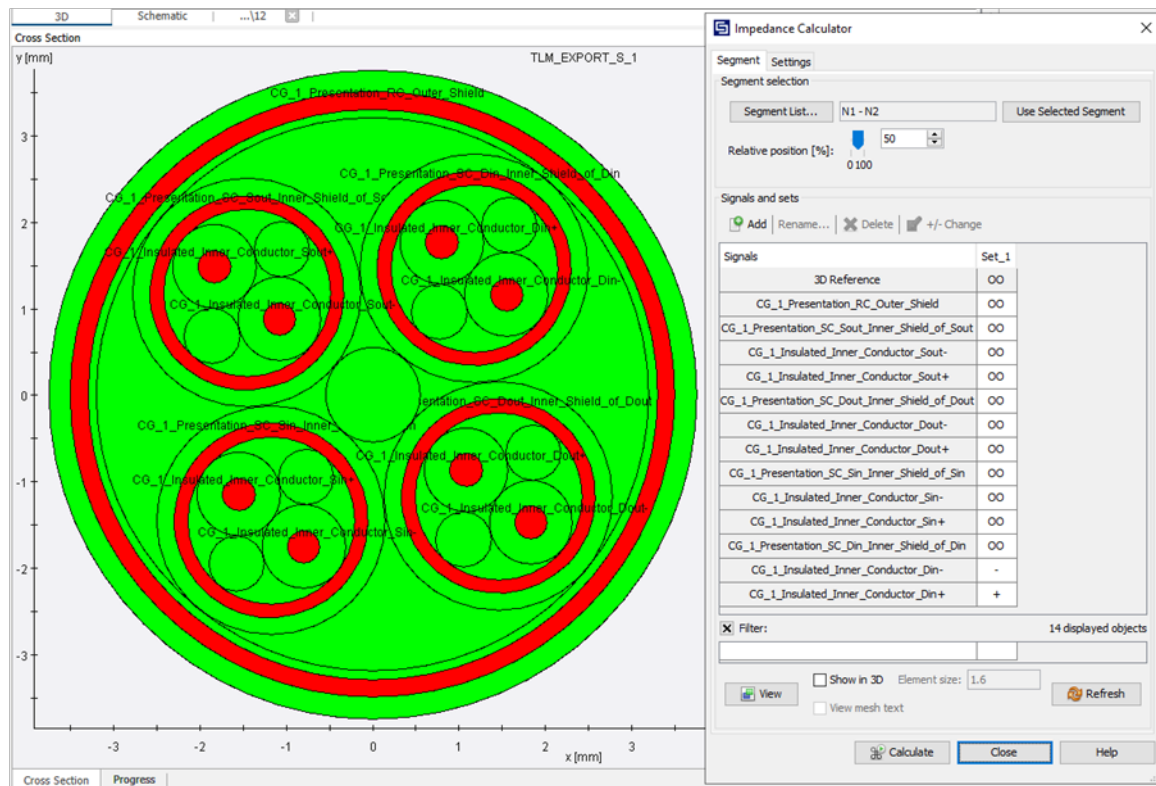
Με μεγέθυνση στο παραπάνω γράφημα (στο περιβάλλον του CST) διαπιστώνουμε ότι μόνο για την συχνότητα του 1 MHz η εμπέδηση είναι ελαφρώς εκτός του ορίου των 106 Ω. Όμως μια τόσο μικρή συχνότητα μετάδοσης δεν θα επιλεγεί ποτέ από μια εφαρμογή SpW, άρα δεν μας ανησυχεί. Άλλωστε αμέσως από τα 2 MHz, η εμπέδηση επανέρχεται στα 106 Ω και αρχίζει να μειώνεται μένοντας σε εξαιρετικά ικανοποιητικές τιμές για όλο το εύρος συχνοτήτων, μέχρι και τα 1000 MHz (και κατά πώς φαίνεται και για ακόμα μεγαλύτερες συχνότητες, αν και δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μια ζεύξη SpW σε τόσο υψηλές συχνότητες). Συνεπώς η τιμή της εμπεδήσεως είναι ικανοποιητικότερη.

Σχόλιο σχετικά με την μικρή διαφορά στην τιμή της διαφορικής εμπεδήσεως μεταξύ Presentation SC και Simulation SC:

Αυτή η μικρή διαφορά, που παρατηρούμε στις γραφικές παραστάσεις των διαφορικών εμπεδήσεων μεταξύ Presentation_SC και Simulation_SC, οφείλεται στα υλικά που υπάρχουν μεταξύ των δύο μονωμένων εσωτερικών αγωγών. Στην περίπτωση του Simulation_SC οι εσωτερικοί αγωγοί συστρέφονται μόνοι τους εντός του αέρα κάτω από την θωράκιση, ενώ στο Presentation_SC, μαζί με αυτούς υπάρχουν και τα δύο fillers από PTFE, που συστρέφονται και αυτά. Είναι λογικό να έχουμε μια μικρή αύξηση της εμπεδήσεως στην περίπτωση του Simulation SC, διότι υπάρχει πιο πολύς αέρας μεταξύ των δύο αγωγών και της θωρακίσεως, άρα κυριαρχεί η διηλεκτρική σταθερά ϵ_0 ενώ στην περίπτωση του Presentation SC υπάρχει εντονότερη παρουσία του PTFE (λόγω των fillers). Όμως το PTFE έχει διηλεκτρική σταθερά $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 = 2.1 \cdot \epsilon_0$, άρα η «ισοδύναμη» διηλεκτρική σταθερά ενός υποθετικού ενιαίου ομογενούς μέσου εντός του SCs είναι μεγαλύτερη σε αυτή την περίπτωση. Τώρα από την σχέση που βρίσκουμε στην [47], η οποία είναι μια σχέση ενός αριθμητικού μοντέλου για τον υπολογισμό της διαφορικής εμπεδήσεως θωρακισμένου διαφορικού ζεύγους, βλέπουμε ότι για ϵ να μεγαλώνει ελαφρά, η εμπέδηση θα μικρύνει κατά τι.

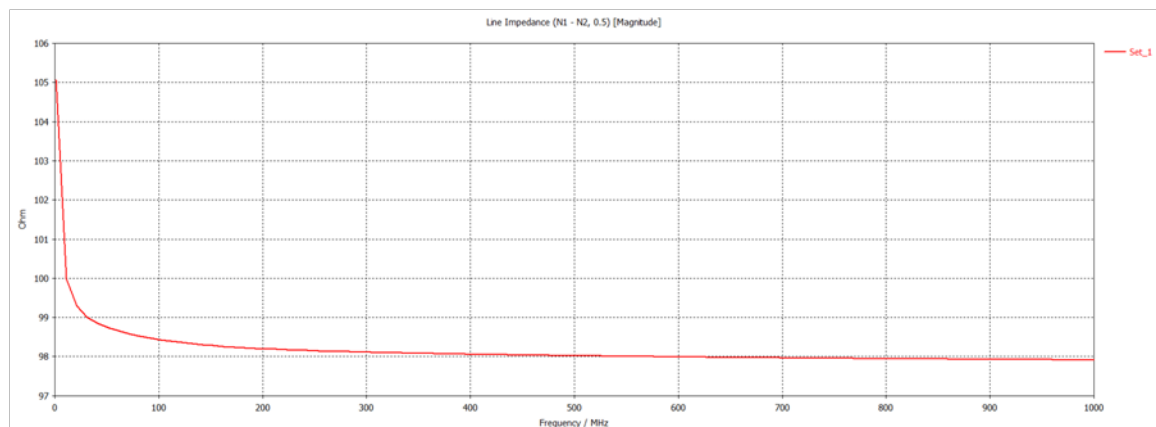
Υπολογισμός της Εμπέδησης του SC ως μέρους του καλωδίου RC:

Ακριβές Καλώδιο SpW (Presentation RC)⁸¹:



Εικόνα 2.22: Υπολογισμός της Διαφορικής Εμπέδησης του Presentation SC, ως μέρους του Presentation RC [56].

Και το αποτέλεσμα για ένα διαφορικό ζεύγος, ενδεικτικά αυτό του σήματος Din, είναι:



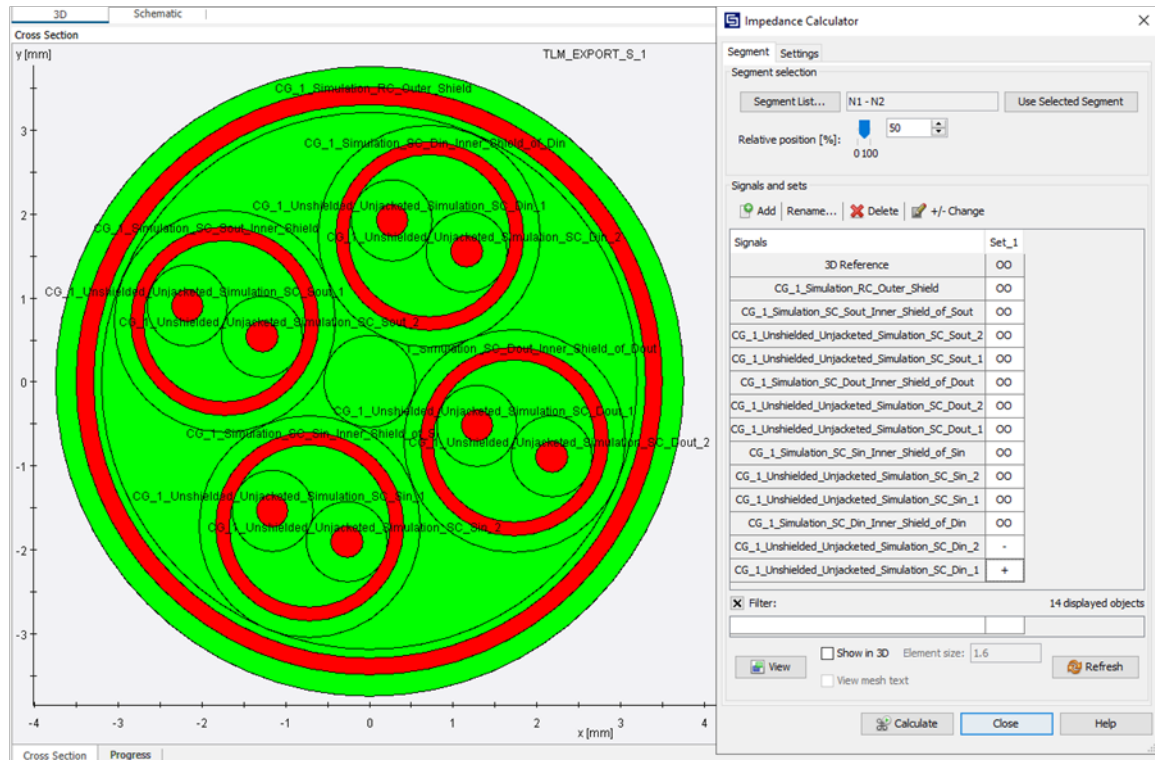
Σχήμα 2.14: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπέδησης του Presentation SC, ως μέρους του Presentation RC (Var. 01) [56].

Βλέπουμε ότι όντως το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ίδιο με τον υπολογισμό σε μεμονωμένο το Presentation_SC, άρα προφανώς εντός των αποδεκτών ορίων. Υπάρχει μια μικρή αύξηση της

⁸¹ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.

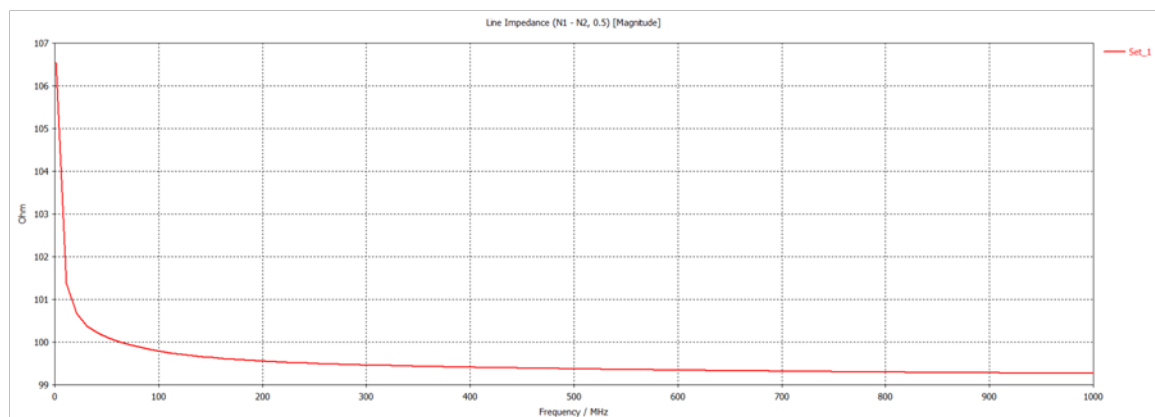
εμπεδήσεως σε αυτόν τον υπολογισμό (σε σχέση με το μεμονωμένο Presentation_SC), όμως θεωρούμε ότι είναι τόσο μικρή ώστε να μην καθίσταται αξιοσημείωτη.

Απλοποιημένο Καλώδιο SpW (Simulation RC)⁸²:



Εικόνα 2.23: Υπολογισμός της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Simulation SC, ως μέρος του Simulation RC [56].

Και το αποτέλεσμα για ένα διαφορικό ζεύγος, ενδεικτικά αυτό του σήματος Din, είναι:



Σχήμα 2.15: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Simulation SC, ως μέρος του Simulation RC (Var. 01) [56].

Βλέπουμε ότι όντως το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ίδιο με τον υπολογισμό σε μεμονωμένο το Simulation_SC, άρα προφανώς εντός των αποδεκτών ορίων, αφού η μικρή απόκλιση στην χαμηλή συχνότητα του 1 MHz εξηγήσαμε ότι δεν μας ενοχλεί (βλ. τα λεγόμενα κάτω από το Σχήμα 2.13).

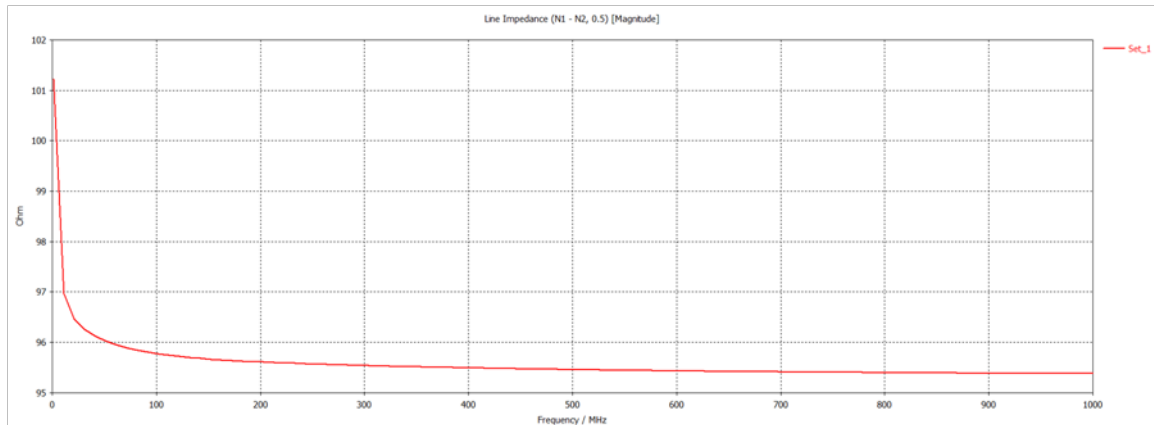
⁸² Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.

2.7.7.2 Για την Variant 02

Ακριβώς τα ίδια βήματα, από τον ορισμό της καμπύλης μέχρι την εξαγωγή του αποτελέσματος της εμπέδησης, επαναλήφθηκαν και για την Variant 02. Για οικονομία χώρου δεν θα παραθέσουμε εδώ εικόνες από το περιβάλλον του calculator παρά μόνο τις κυματομορφές των αποτελεσμάτων.

Υπολογισμός της Εμπέδησης του SC ως μεμονωμένου καλωδίου:

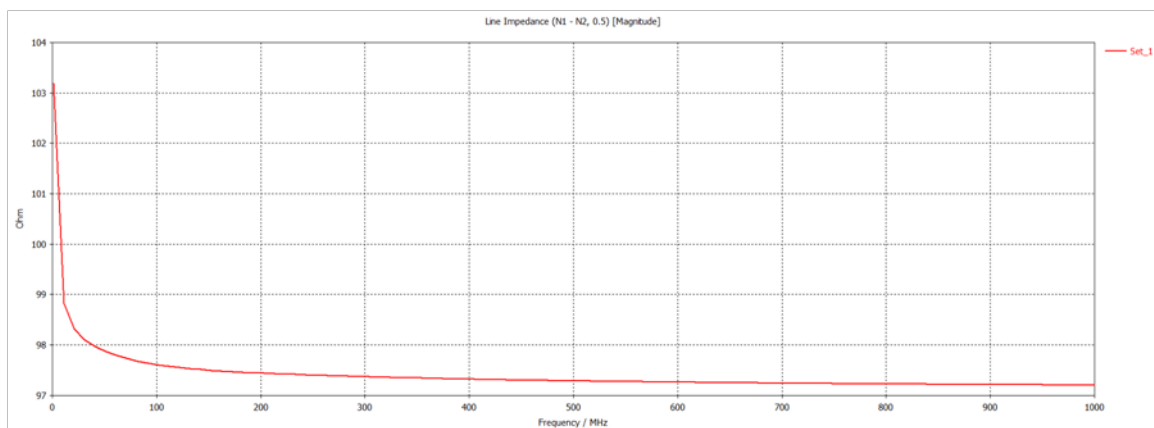
Ακριβές Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Presentation SC)⁸³:



Σχήμα 2.16: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπέδησης του Presentation SC (Var. 02) [56].

Οπότε, από την παραπάνω γραφική παράσταση διαπιστώνουμε ότι είμαστε εντός ορίων για όλες τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν.

Απλοποιημένο Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Simulation SC)⁸⁴:



Σχήμα 2.17: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπέδησης του Simulation SC (Var. 02) [56].

Οπότε, από την παραπάνω γραφική παράσταση διαπιστώνουμε ότι και πάλι είμαστε εντός ορίων για όλες τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν.

⁸³ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.

⁸⁴ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.

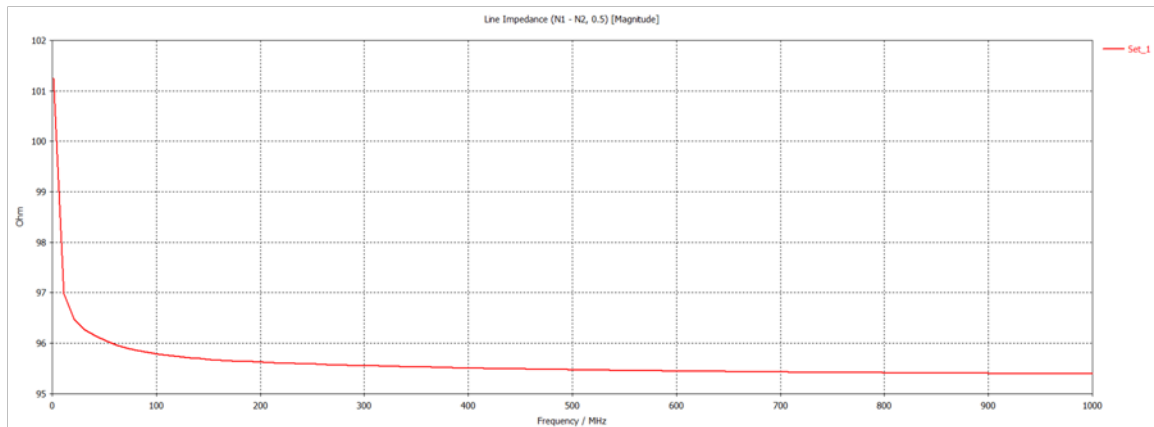
Σχόλιο σχετικά με την μικρή διαφορά στην τιμή της διαφορικής εμπεδήσεως μεταξύ Presentation SC και Simulation SC:

Αυτή η μικρή διαφορά, που παρατηρούμε στις γραφικές παραστάσεις των διαφορικών εμπεδήσεων μεταξύ Presentation_SC και Simulation_SC, έχει εξηγηθεί στην παράγραφο 2.7.7.1. Τα λεγόμενα στο εκεί σχετικό σχόλιο ισχύουν απαράλλακτως και εδώ.

Υπολογισμός της Εμπεδήσης του SC ως μέρους του καλωδίου RC:

Ακρίβες Καλώδιο SpW (Presentation RC)⁸⁵:

Το αποτέλεσμα για ένα από τα διαφορικά ζεύγη του RC, ενδεικτικά αυτό του σήματος Din, είναι:

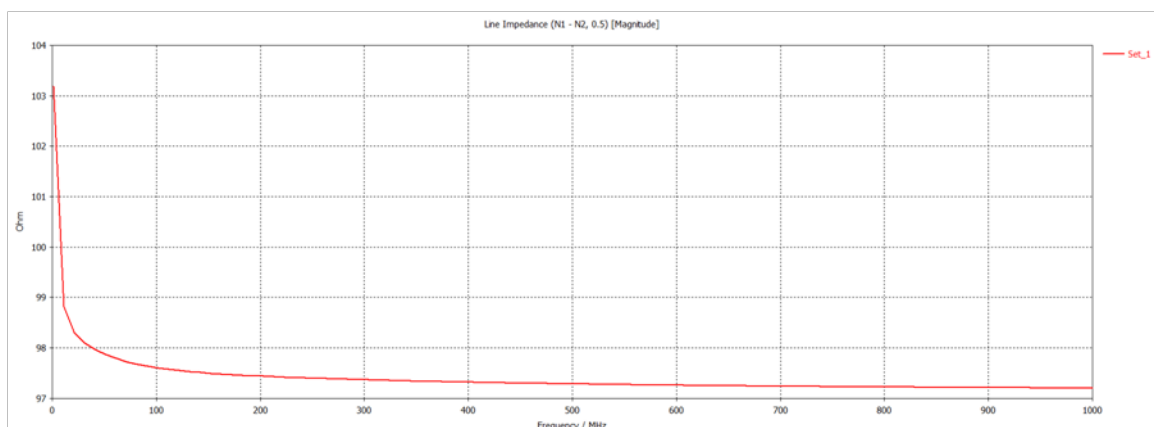


Σχήμα 2.18: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Presentation SC, ως μέρους του Presentation RC (Var. 02) [56].

Βλέπουμε ότι όντως το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ίδιο με τον υπολογισμό σε μεμονωμένο το Presentation_SC, άρα προφανώς εντός των αποδεκτών ορίων.

Απλοποιημένο Καλώδιο SpW (Simulation RC)⁸⁶:

Το αποτέλεσμα για ένα από τα διαφορικά ζεύγη του RC, ενδεικτικά αυτό του σήματος Din, είναι:



Σχήμα 2.19: Η γραφική παράσταση της Διαφορικής Εμπεδήσεως του Simulation SC, ως μέρους του Simulation RC (Var. 02) [56].

⁸⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 84.

⁸⁶ Περί της ονομασίας των καλωδίων βλέπε την ενότητα 2.8.

Βλέπουμε ότι όντως το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ίδιο με τον υπολογισμό σε μεμονωμένο το Simulation_SC, άρα προφανώς εντός των αποδεκτών ορίων.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές στην τιμή της εμπεδήσεως μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Μια συγκριτική παρατήρηση τώρα σε σχέση με την εμπεδήση σε Var. 01 και Var. 02 είναι η εξής. Διαπιστώνουμε ότι, στην Var. 02 η τιμή της διαφορικής εμπεδήσεως είναι κάπως μικρότερη από την αντίστοιχη της Var. 01 (δηλ. αυτήν που υπολογίστηκε στο αντίστοιχο καλώδιο της Var. 01). Αυτό σε έναν βαθμό οφείλεται και στο γεγονός ότι οι χωρητικότητες είναι πάντοτε κατά τι μεγαλύτερες στην Var. 02 σε σχέση με την Var. 01 (για τα αντίστοιχα καλώδια πάντοτε), όπως φάνηκε από την ανάλυση στην παραγράφους 2.7.3.1 και 2.7.3.2. Άλλωστε και σε μία εκ των χωρητικοτήτων είχαμε υπέρβαση του ορίου στην Var. 02 (βλ. παράγραφο 2.7.3.2). Παρατηρούμε όμως ότι η εμπεδήση δεν ξέφυγε από το επιτρεπτό εύρος τιμών της. Συνεπώς (και όπως επισημάναμε και στην παράγραφο 2.7.3.2, στο τέλος της) μας και το να μεταβάλλουμε το πάχος της μονώσεως, ώστε η εν λόγω χωρητικότητα να μειωθεί, δεν είναι λύση καθώς βγάζει εκτός επιτρεπτού ορίου την διάμετρο του SC και αφού η διαφορική εμπεδήση δεν βγαίνει εκτός ορίων, επιλέξαμε να αφήσουμε τις τιμές των παραμέτρων της διατομής, όπως τις είχαμε υπολογίσει και παρουσιάσει. Άλλωστε πιο καθοριστικής σημασίας είναι να έχουμε διαφορική εμπεδήσης εντός ορίων, καθώς με βάση αυτήν γίνεται το «ταίριασμα» του καλωδίου μας με τις κατάλληλες συσκευές και επιτυγχάνεται η συμβατότητά του με εφαρμογές SpW. Και φυσικά σημαντικότερο είναι να έχουμε διαστάσει εντός ορίων, άρα μάζα καλωδίου χαμηλή (βλ. τα λεγόμενα στην ενότητα 2.5.1).

2.8 Δόμηση της Διατομής του Καλωδίου SpW στο Cable Studio

Έχοντας καταλήξει στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και έχοντας βεβαιωθεί για το ότι τα πάχη των στρωμάτων που επελέγησαν είναι εντός των ορίων και δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα στους ελέγχους συμμόρφωσης του καλωδίου με το πρότυπο, επόμενο είναι να προχωρήσουμε στην τελική υλοποίηση της διατομής.

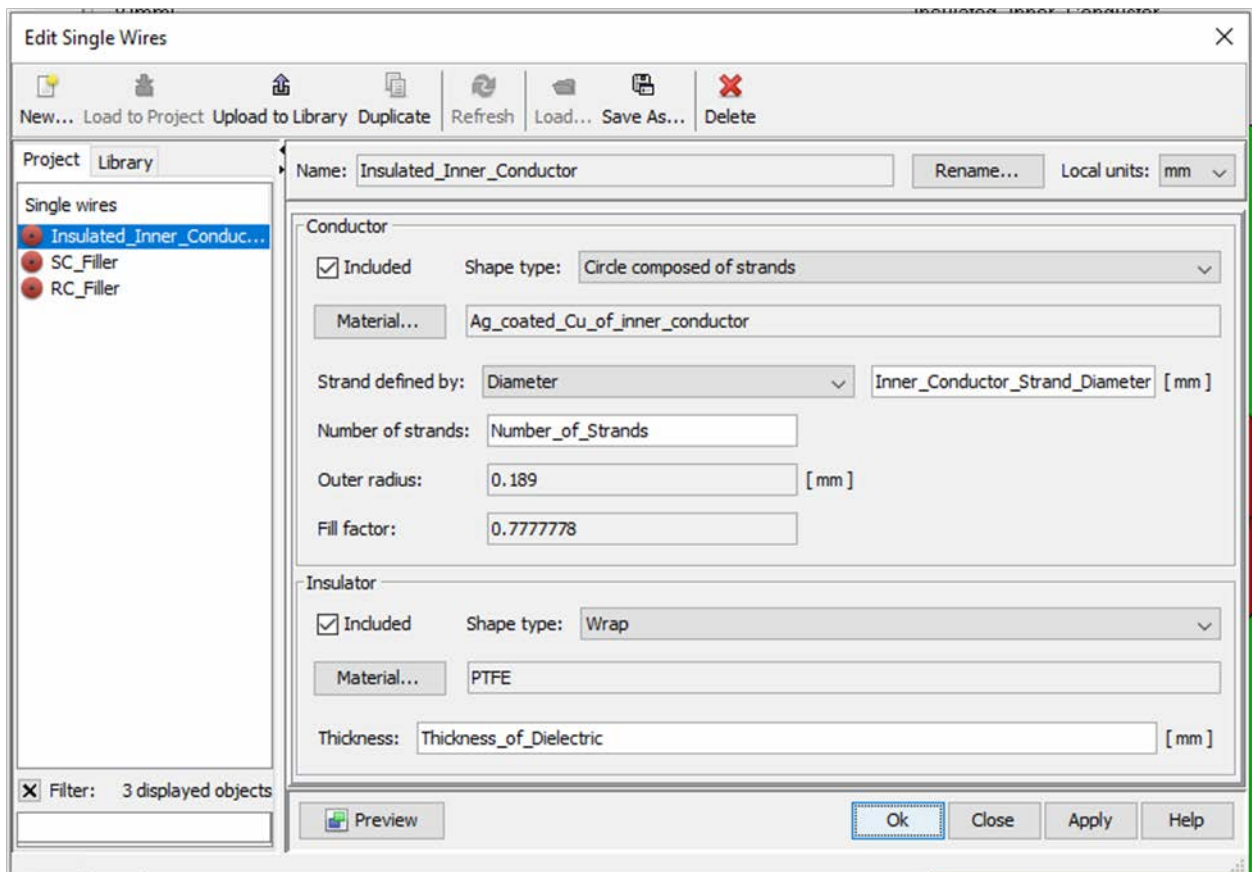
Το «χτίσιμο» του καλωδίου SpW έγινε ουσιαστικά από μέσα προς τα έξω. Δηλ. πρώτα υλοποιήθηκαν τα μικρότερα υποκαλώδια που περιλαμβάνει, στην συνέχεια τα αμέσως μεγαλύτερα και έτσι σταδιακά φτάσαμε στην υλοποίηση του πλήρους καλωδίου. Η δόμηση της διατομής γίνεται σε δύο διαστάσεις και για κάθε υποκαλώδιο και καλώδιο που δημιουργείται, το Cable Studio δίνει προεπισκόπηση της διατομής στο παράθυρο Cross Section, ακριβώς κάτω από τον χώρο 3D σχεδίασης.

Τα βήματα της σταδιακής δημιουργίας των υποκαλωδίων μέχρι να φτάσουμε στο τελικό καλώδιο θα τα εξηγήσουμε παρακάτω αναλυτικά. Επειδή τόσο για την Var. 01 όσο και για την Var. 02, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια, θα δώσουμε τα βήματα γενικά και όπου υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο παραλλαγών θα το επισημαίνουμε. Τα λεγόμενά μας θα τα συνοδεύουμε με εικόνες από το περιβάλλον δόμησης του καλωδίου και από τις προεπισκοπήσεις των δημιουργουμένων υποκαλωδίων και καλωδίων (αυτές ειδικά θα δίνονται και για τις δύο παραλλαγές⁸⁷). Επίσης θα δοθούν και αναλυτικά σχόλια σχετικά με λεπτά σημεία και σύνθετα ζητήματα που προέκυψαν κατά την διαδικασία αυτή.

⁸⁷ Έγινε προσπάθεια ώστε οι εικόνες από τις προεπισκοπήσεις των διατομών των υποκαλωδίων και καλωδίων να ληφθούν με όσο το δυνατόν την ίδια μεγέθυνση σε Var. 01 και Var. 02. Αυτό το επιδιώξαμε προκειμένου να φαίνεται και η διαφορά στα μεγέθη των διαμέτρων μεταξύ των δύο παραλλαγών.

2.8.1 Μονωμένος Εσωτερικός Αγωγός

Η «δομική» μονάδα του SpW, θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ο **Μονωμένος Εσωτερικός Αγωγός του σήματος (Insulated Inner Conductor)**. Μάλιστα επειδή τα σήματα, όπως έχουμε πει, είναι διαφορεικά, λέγοντας «ο εσωτερικός αγωγός του σήματος» εννοούμε τον έναν από τους δύο αγωγούς που μαζί συνιστούν ένα διαφορεικό ζεύγος (δηλ. π.χ. για το διαφορεικό σήμα *Din*, ένας εσωτερικός αγωγός είναι αυτός του σήματος *Din* + και δεύτερος εσωτερικός αγωγός είναι αυτός του σήματος *Din* -). Για την υλοποίησή του χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Single Wires. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο ακόλουθο παράθυρο:



Εικόνα 2.24: Τα χαρακτηριστικά του Insulated Inner Conductor (Var. 01) [56].

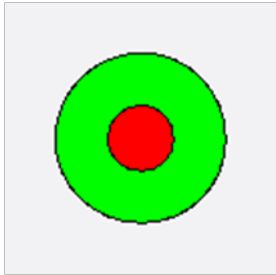
Το παράθυρο αυτό είναι πανομοιότυπο και στην Var. 01 και στην Var. 02. Απλώς εκεί είναι άλλες οι τιμές των διαμέτρων.

Παρατηρούμε ότι ο αγωγίμος πυρήνας του εσωτερικού αγωγού υλοποιήθηκε ως κύκλος απαρτιζόμενος από νήματα – συρματίδια (Circle composed of strands). Δηλώθηκαν το πλήθος των νημάτων όπως και η διάμετρος τους. Εποπτικά, ένας πολύκλωνος (επτάκλωνος εν προκειμένω) αγωγός δεν φαίνεται στην προεπισκόπηση, όμως το Cable Studio υλοποιεί «εσωτερικά» αυτό το είδος αγωγίμου πυρήνα. Μάλιστα από τον αυτόματο υπολογισμό της εξωτερικής ακτίνας του πυρήνα αυτού (βλ. το πλαίσιο Outer radius στην παραπάνω εικόνα), βλέπουμε ότι συμφωνεί με τον γεωμετρικό τρόπο που υπολογίσαμε και εμείς την *Inner_Conductor_Diameter* στην παράγραφο 2.5.3.3, αφού έχουμε:

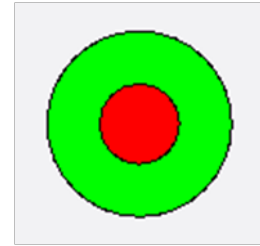
$$2 \cdot 0.189 \text{ mm} = 0.378 \text{ mm} = \text{Inner_Conductor_Diameter}$$

Επιπλέον δηλώθηκε το υλικό (PTFE) και το πάχος της μονώσεως του διηλεκτρικού. Το διηλεκτρικό θα μπορούσε να οριστεί και σαν κούλος κύλινδρος, με εσωτερική διάμετρο αυτή του

αγωγίμου πυρήνα και εξωτερική αυτή που θα του δηλώναμε εμείς (με επιλογή της δυνατότητας “Circle” στο Shape Type, στην παραπάνω εικόνα). Εμείς όμως επιλέξαμε να το δηλώσουμε σαν «στρώση» τυλιγμένη γύρω από τον αγωγό (επιλέγοντας την δυνατότητα “Wrap”). Έτσι το πρόγραμμα «προσθέτει» γύρω από τον αγωγίμο πυρήνα μια στρώση μονωτικού, διατηρώντας το σχήμα που υπάρχει από κάτω (δηλ. το κυκλικό εν προκειμένω) και πλέον ο ορισμός αυτής της στρώσης γίνεται μέσω του πάχους της. Στην προεπισκόπηση που ακολουθεί φαίνεται η διατομή του:



Σχήμα 2.20: Η Διατομή του Insulated Inner Conductor (Var. 01) [56].

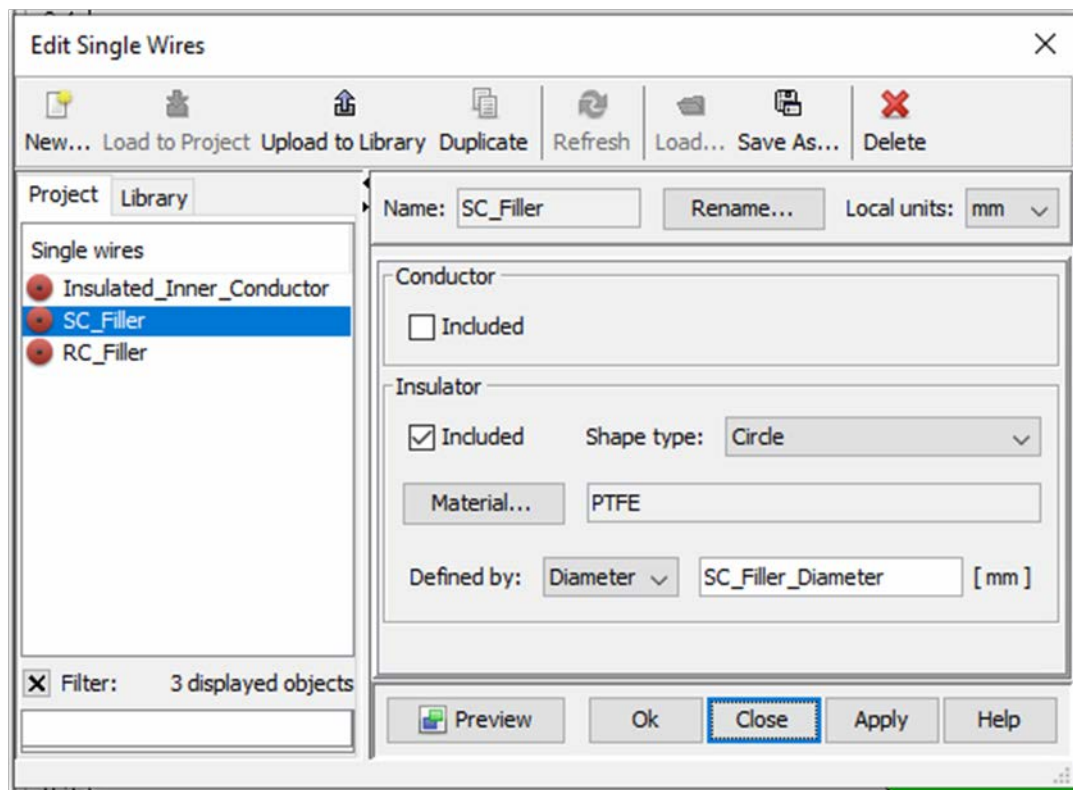


Σχήμα 2.21: Η Διατομή του Insulated Inner Conductor (Var. 02) [56].

Παρατηρούμε και εποπτικά ότι στην Var. 02 το διηλεκτρικό είναι κατά τι παχύτερο και ο εσωτερικός αγωγός ελαφρώς μεγαλύτερας διαμέτρου.

2.8.2 Πληρωτής του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους

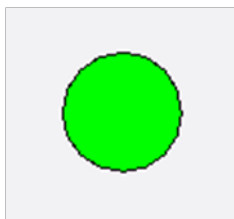
Για την υλοποίηση του Πληρωτού του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους (SC Filler) χρησιμοποιήσαμε και πάλι το εργαλείο Single Wires. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο ακόλουθο παράθυρο:



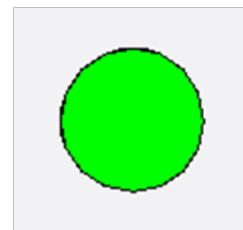
Εικόνα 2.25: Τα χαρακτηριστικά του SC Filler (Var. 01) [56].

Το παράθυρο αυτό είναι πανομοιότυπο και στην Var. 01 και στην Var. 02. Απλώς εκεί είναι άλλη η τιμή της διαμέτρου.

Όπως βλέπουμε πρόκειται για έναν απλό μονωτικό κύλινδρο από PTFE, ο οποίος δημιουργήθηκε όταν στον απλό μονωμένο αγωγό επιλέξαμε απλά να μην συμπεριλάβουμε αγωγίμο πυρήνα. Στην προεπισκόπηση που ακολουθεί φαίνεται η διατομή του:



Σχήμα 2.23: Η Διατομή του SC Filler (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.22: Η Διατομή του SC Filler (Var. 02) [56].

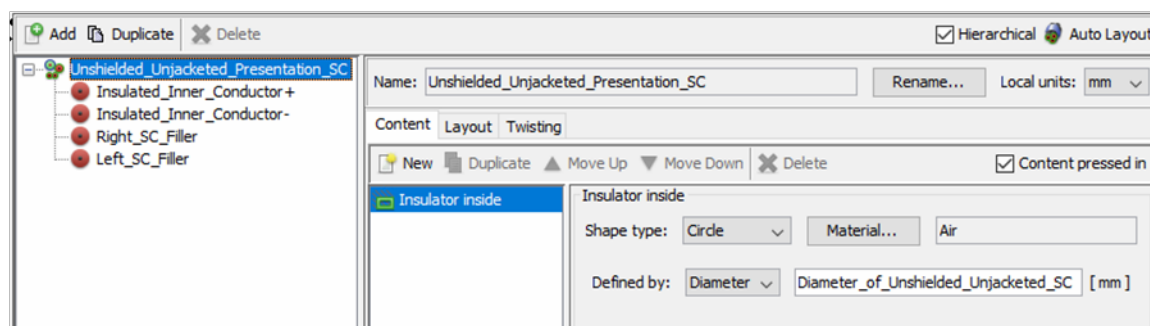
Όπως και πριν, παρατηρούμε και εποπτικά ότι στην Var. 02 ο πληρωτής είναι ελαφρώς μεγαλύτερας διαμέτρου, όπως υπαγορεύουν οι σχέσεις (2.13) και (2.100).

2.8.3 Πυρήνας του Ακριβούς Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους

Επόμενη ενέργεια, όπως κινούμαστε από μέσα προς τα έξω, είναι να δημιουργήσουμε τον **Πυρήνα⁸⁸ του Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους (με πλήρη ακρίβεια**, δηλ. με χρήση των SC Fillers⁸⁹). Στην περίπτωση της **Var. 01** αυτός ονομάζεται **“Unshielded Unjacketed Presentation SC”**, ενώ στην περίπτωση της **Var. 02** ονομάζεται **“Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation SC”**, διότι υπάρχει και το δεματικό του SC, όπως έχουμε επισημάνει στην παράγραφο 2.5.4.1.

Για να μπορέσουμε να δομήσουμε αυτό το υποκαλώδιο πρέπει να συνδυάσουμε τα δύο διαφορετικά Single Wires, που μόλις δημιουργήσαμε, δηλ. τον Insulated Inner Conductor και το SC Filler. Συνεπώς αναγκαστικά πρέπει να δημιουργήσουμε ένα Cable Group.

Στα ακόλουθα παράθυρα φαίνεται το πώς καθορίζονται όλα τα χαρακτηριστικά αυτού του Cable Group. Για λόγους καλύτερης ευκρινείας και δεδομένου ότι το μενού των Cable Groups είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των Single Wires, επιλέξαμε να περικόψουμε και να παραθέσουμε σαν εικόνα τμήμα των παραθύρων με τα χαρακτηριστικά αυτού του υποκαλωδίου. Αυτό θα γίνεται και για τις εικόνες των υποκαλωδίων και καλωδίων που θα ακολουθήσουν από εδώ και στο εξής.



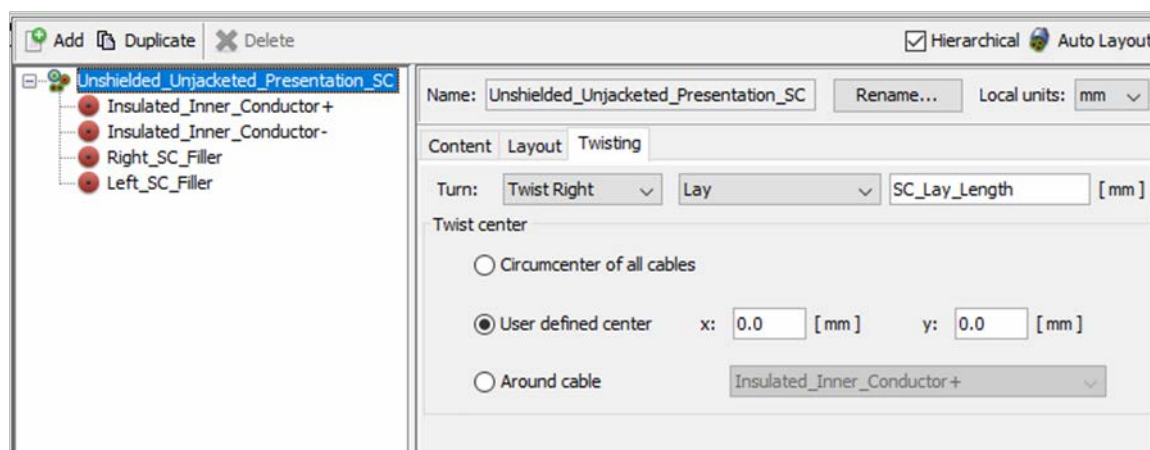
Εικόνα 2.26: Τα περιεχόμενα του Unshielded Unjacketed Presentation SC (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (Var. 01) [56].

Name	X	Y	Rotation [deg]
Insulated Inner Conductor+	x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC [mm]	y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC [mm]	0.0
Insulated Inner Conductor-	x_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC [mm]	-y_coordinate_of_Upper_Insulated_Inner_Conductor_in_the_SC [mm]	0.0
Right SC Filler	x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC [mm]	0.0
Left SC Filler	-x_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_Filler_in_the_SC [mm]	0.0

Εικόνα 2.27: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01) [56].

⁸⁸ Ο λόγος που είναι απαραίτητο κάθε σύνθετο καλώδιο τύπου Cable Group, το οποίο έχει συστροφή στα περιεχόμενα σε αυτό υποκαλώδια, να υλοποιείται σε δύο βήματα, πρώτα σαν πυρήνας και μετά σαν πλήρες καλώδιο (με στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων), εξηγείται στην παράγραφο 2.8.4.1.

⁸⁹ Σε αντίθεση με το απλοποιημένο SC, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια, στις υποενότητες 2.8.5 και 2.8.6.



Εικόνα 2.28: Η δήλωση της Συστροφής στο *Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01)* [56].

Να σημειώσουμε ότι οι εικόνες από τα παράθυρα αυτά δόθηκαν μόνο για την Var. 01 (για οικονομία χώρου). Στην περίπτωση της Var. 02, τα αντίστοιχα παράθυρα από την δημιουργία του *Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation SC* θα είναι πανομοιότυπα, απλώς εκεί θα χρησιμοποιείται η παράμετρος *Diameter_of_Unbinded_Unshielded_Unjacketed_SC* στο πλαίσιο της διαμέτρου. Και φυσικά θα αλλάζει η ονομασία του υποκαλωδίου.

Από την Εικόνα 2.26, στα αριστερά βλέπουμε ότι έχουν προστεθεί τα διαφορετικά υποκαλώδια που θα συγκροτούν αυτό το Cable Group. Μάλιστα πατώντας πάνω σε αυτά βλέπουμε ξανά τα δικά τους χαρακτηριστικά σε παράθυρα ανάλογα με αυτά των Εικόνων 2.24 και 2.25.

Σχόλιο περί της διαφορετικής ονομασίας των υποκαλωδίων του SC:

Να σημειώσουμε εδώ ότι αν και χρησιμοποιούνται κάποια καλώδια πολλαπλές φορές (π.χ. 2 φορές το καλώδιο *Insulated Inner Conductor* και 2 φορές το καλώδιο *SC Filler*), επιλέγοντάς τα από το αριστερό μέρος αυτού του παραθύρου μπορούμε να τους αλλάξουμε το όνομα για λόγους αποφυγής συγχύσεως. **Μάλιστα κάτι τέτοιο είναι και αναγκαίο αφού στην πραγματικότητα αυτά τα υποκαλώδια πρόκειται να εξυπηρετούν τελείως διαφορετικές κυματομορφές σημάτων, οπότε είναι καθοριστικής σημασία η σαφής διάκρισή τους.**

Επίσης από την Εικόνα 2.26, βλέπουμε ότι, εν προκειμένω, διαγράψαμε τα επιπλέον στρώματα θωράκισης και μόνωσης κρατώντας μόνο τον εσωτερικό μονωτή (*Insulator inside*), δηλ. το μονωτικό υλικό που θα γεμίζει τα κενά ανάμεσα στα υποκαλώδια που περιλαμβάνει το Cable Group (αυτό ούτως ή άλλως δεν διαγράφεται, δηλ. είναι υποχρεωτική η παρουσία του). Ως υλικό γι' αυτό επιλέχθηκε ο αέρας διότι αυτό το υλικό βρίσκεται στα μεταξύ των κενών των υποκαλωδίων.

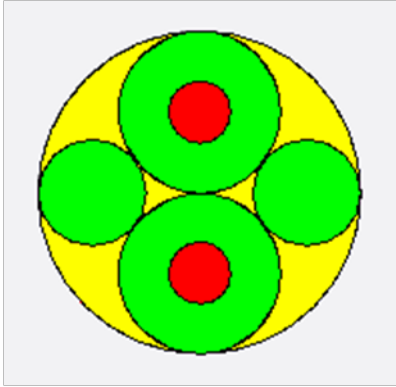
Στην Εικόνα 2.27 βλέπουμε πώς καθορίζεται η θέση των υποκαλωδίων μέσα σε αυτό το Cable Group. από την καρτέλα *Layout*, στο ίδιο πάντα παράθυρο δημιουργίας ενός Cable Group, μπορούμε με ακρίβεια να ορίσουμε τις συντεταγμένες που θα βρίσκονται τα κέντρα των υποκαλωδίων μας⁹⁰. Εδώ φαίνεται και η αναγκαιότητα της παραμετροποίησης των συντεταγμένων, διότι τώρα, ακόμη και αν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια παράμετρο από αυτές του προτύπου, οι θέσεις των συνιστωσών του SC θα εξακολουθήσουν να είναι οι σωστές γεωμετρικά, σύμφωνα και με την ανάλυση που προηγήθηκε, στην παράγραφο 2.5.3.3.

Στην Εικόνα 2.28 βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιείται η συστροφή (*twisting*) των υποκαλωδίων ενός Cable Group. από την καρτέλα *Twisting* επιλέγουμε την φορά της περιστροφής (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη), δηλώνουμε το μήκος συστροφής και το κέντρο γύρο από το οποίο θα συστραφούν τα υποκαλώδια. Επειδή το πρότυπο *ESCC 3902/003* [8] δεν συγκεκριμενοποιεί την

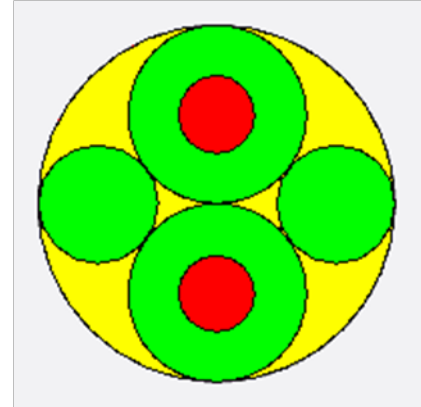
⁹⁰ Με την θεώρηση ότι το κέντρο του Cable Group βρίσκεται στο σημείο (0,0) σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε *mm*, όπως φαίνεται στο πάνω δεξιό μέρος της Εικόνας 2.27.

φορά συστροφής, αυθαίρετα επιλέχθηκε η δεξιόστροφη. Φυσικά η συστροφή έγινε γύρω από το νοητό κέντρο του Cable Group δηλ. το σημείο (0,0) του επιπέδου της διατομής.

Παρακάτω βλέπουμε την προεπισκόπηση της διατομής του υποκαλωδίου αυτού, για τις δύο παραλλαγές.

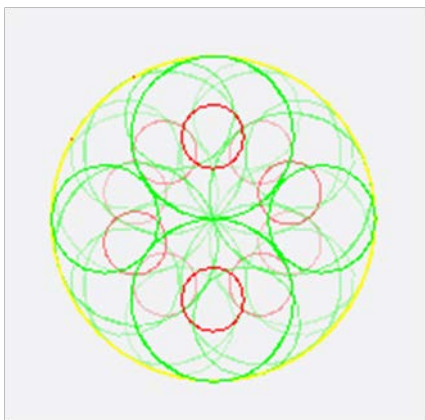


Σχήμα 2.25: Η Διατομή του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01) [56].

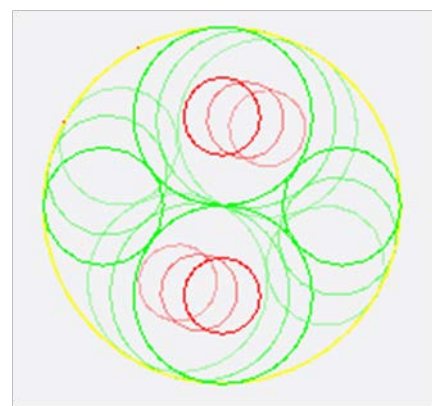


Σχήμα 2.24: Η Διατομή του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 02) [56].

Η συστροφή των υποκαλωδίων αυτού του Cable Group γύρω από τον διαμήκη άξονα του (τον άξονα του βάθους) δεν είναι ορατή από τις παραπάνω εικόνες. Όμως δεν είναι ορατή όχι γιατί δεν υπάρχει, αλλά γιατί την κρύβει το κίτρινο χρώμα που έχει επιλέξει το Cable Studio για να απεικονίζει τον Insulator inside. Ο τρόπος για να καταστεί ορατή είναι αν στην προεπισκόπηση της διατομής κάνουμε δεξί κλικ και απενεργοποιήσουμε την επιλογή Display Filled (δηλ. του πούμε να μην μας δείχνει τα υποκαλώδια συμπαγή – γεμισμένα με χρώμα αλλά «κούφια»). Έτσι λαμβάνουμε αντίστοιχα τα εξής σχήματα:



Σχήμα 2.26: Η Συστροφή του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.27: Η Συστροφή του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 02) [56].

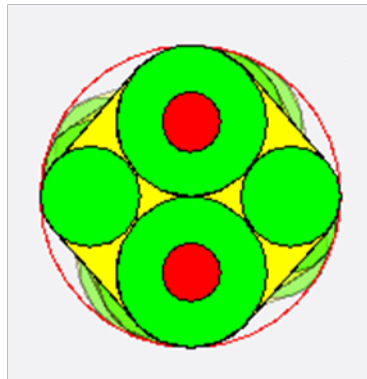
2.8.3.1 Εσωτερικός Μονωτής του Πυρήνα του Ακριβούς Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους

Κάθε Cable Group έχει υποχρεωτικά απ' αρχής έναν **«Εσωτερικό» Μονωτή**, ο οποίος επισημαίνεται στο περιβάλλον δόμησης ως **“Insulator inside”**. Αυτός δεν είναι ένα στρώμα – επίστρωση με μορφή κούλου κυλίνδρου, όπως κάθε επιπλέον «εξωτερικό» στρώμα μονώσεως, αλλά είναι η μονωτική ουσία που «γεμίζει» όλα τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων του Cable Group. Αυτή η ουσία στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι απλώς ο αέρας, που φυσιολογικά θα γεμίζει όλα αυτά τα κενά, αν το καλώδιο δεν παράγεται σε συνθήκες κενού. Θα μπορούσε όμως να είναι και κάποιο άλλο διηλεκτρικό, π.χ. κάποιο θερμοπλαστικό που επί τούτου θα χρησιμοποιηθεί ως υλικό πλήρωσης (και θα εγχυθεί πιθανόν σε υγρή μορφή).

Ο εσωτερικός μονωτής, από το περιβάλλον δημιουργίας ενός Cable Group (βλ. ενδεικτικά την Εικόνα 2.26), μπορεί να οριστεί είτε σαν Circle είτε σαν Wrap (εκτός των άλλων σχημάτων, όπως ελλειπτικό, ορθογωνικό ή πολυγωνικό, τα οποία δεν μας ενδιαφέρουν για το καλώδιό μας).

Εσωτερικός Μονωτής του Πυρήνα του Presentation SC ορισμένος σαν “Wrap”:

Αν ο εσωτερικός μονωτής στο Cable Group, που μοντελοποιεί τον πυρήνα του Presentation SC, οριστεί σαν στρώμα (Wrap) με μηδενικό πάχος, τότε η εικόνα της προεπισκόπησης θα έχει την ακόλουθη μορφή:



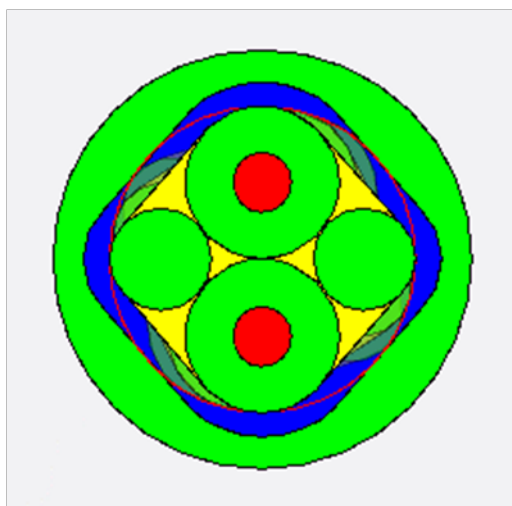
Σχήμα 2.28: *To Unshielded Unjacketed Presentation SC με Insulator inside ορισμένο σαν Wrap (Var. 01) [56].*

Δηλ. ο εσωτερικός μονωτής, αφού ορίστηκε σαν wrap, θα «σφίγγει» φαινομενικά τα υποκαλώδια του Cable Group και αφού έχει μηδενικό πάχος, δεν θα περιβάλλει καθόλου από γύρω τα υποκαλώδια αλλά θα υπάρχει μόνο στα κενά μεταξύ τους. Το Σχήμα 2.28⁹¹ αφορά την Var. 01, αλλά εντελώς αντίστοιχο είναι και στην περίπτωση της Var. 02.

Το πρόβλημα όμως που ανακύπτει στην περίπτωση αυτή είναι ότι όταν προσθέσουμε επιπλέον στρώμα θωρακίσεως (στην περίπτωση της Var. 01 για αρχή), αυτό θα ακολουθήσει το σχήμα αυτό του ρόμβου που έχει τώρα η διατομή, ακόμα και αν ο εσωτερικός μανδύας του SC οριστεί με σαφές κυκλικό σχήμα (σαν Circle), όπως φαίνεται στο παρακάτω ενδεικτικό σχήμα, όταν στον πυρήνα του Σχήματος 2.28 προσθέσαμε αργότερα θωράκιση⁹² και εξωτερική μόνωση ορίζοντας νέο Cable Group (όπως θα αναφέρουμε παρακάτω στην υποενότητα 2.8.4).

⁹¹ Στο σχήμα αυτό φάνηκε και η συστροφή (twisting) που έχουμε δηλώσει σ' αυτό το υποκαλώδιο (και στην οποία αναφερθήκαμε αμέσως πριν την έναρξη της παραγράφου 2.8.3.1). Στην περίπτωση όμως του Σχήματος 2.25 (ή του Σχήματος 2.26 για την Var. 02), το twisting δεν φαίνεται απλώς γιατί το κρύβει το κίτρινο χρώμα που έχει επιλέξει το Cable Studio για να απεικονίζει τον Insulator Inside.

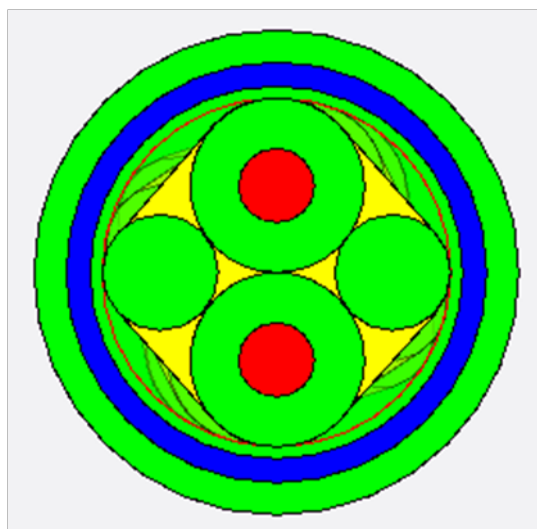
⁹² Η θωράκιση επισημαίνεται με μπλε χρώμα οι δε μονώσεις με πράσινο.



Σχήμα 2.29: To Presentation SC με Insulator inside ορισμένο σαν Wrap (Var. 01) [56].

Δηλ. το πρόβλημα εμφανίζεται όταν προστίθεται στρώμα θωρακίσεως. Διότι η θωράκιση δεν μπορεί να οριστεί με σχήμα άκαμπτου κούλου κυλίνδρου, αλλά υποχρεωτικά θα ακολουθήσει το σχήμα του καλωδίου, που είναι από μέσα της.

από την άλλη, ένα μονωτικό στρώμα θα μπορούσε να οριστεί με σαφές σχήμα εξωτερικής διαμέτρου κυκλικό, ασχέτως του τι θα υπήρχε από μέσα του. Βέβαια, με δοκιμή διαπιστώσαμε ότι αν προσθέταμε άλλο ένα μονωτικό στρώμα γύρω από τον πυρήνα του SC, αλλά πριν την θωράκιση (όπως συμβαίνει με την Var. 02, όπου πριν την εσωτερική θωράκιση υπάρχει το SC Binder), ακόμα και αν αυτό είχε οριστεί σαν κύκλος (Circle), πάλι μόνο η εξωτερική του διάμετρος θα ήταν κυκλική. Στο εσωτερικό το μονωτικό αυτό θα ακολουθούσε και πάλι το σχήμα του ρόμβου που έχει η διατομή, λόγω του Wrap Insulator inside στον πυρήνα της.



Σχήμα 2.30: To Presentation SC με Insulator inside ορισμένο σαν Wrap (Var. 02) [56].

Δηλ. θα περίμενε κανείς ότι το πρόβλημα αυτό στην Var. 02 χάνεται, διότι η ύπαρξη του SC Binder, ορισμένου σαν Circle, βοηθά στο να γίνει κυκλική η θωράκιση και η εξωτερική μόνωση. Όμως αν παρατηρήσουμε προσεκτικά το Σχήμα 2.30 θα δούμε ότι, ο ορισμός του Insulator inside σαν Wrap αναγκάζει το SC Binder να «γεμίζει» τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων σαν να έχει εγχυθεί σε υγρή μορφή. Αυτό όμως δεν είναι σωστό, διότι το κάθε μονωτικό στρώμα (binder ή jacket)

κατασκευάζεται δι' εξωθήσεως (extrusion) σε σχήμα κοίλου κυλίνδρου και δεν εγγέεται σε υγρή μορφή και μέσα σε καλούπι γύρω από τον πυρήνα για να γεμίσει όλα τα κενά.

Εσωτερικός Μονωτής Πυρήνα του Presentation SC ορισμένος σαν “Circle”:

Αν πάλι ο εσωτερικός μονωτής (Insulator inside) στον πυρήνα του Presentation SC οριστεί σαν κύκλος (Circle), τότε η εικόνα που παίρνουμε είναι αυτή των Σχημάτων 2.24 και 2.25. Έτσι το στρώμα θωράκισης που θα ακολουθήσει αμέσως (στην περίπτωση της Var. 01) ή το στρώμα του εσωτερικού δεματικού που θα ακολουθήσει αμέσως (στην περίπτωση της Var. 02), θα έχει κανονικό κυκλικό σχήμα, πράγμα που είναι και το σωστό (βλ. παρακάτω τα Σχήματα 2.31 και 2.32 αντίστοιχα). Γι' αυτό και την δεύτερη αυτή μέθοδο επιλέξαμε να ακολουθήσουμε στην υλοποίηση των Cable Groups μας που μοντελοποιούν τους πυρήνες των SCs για τις δύο παραλλαγές.

Συμπέρασμα περί του σωστού τρόπου ορισμού του εσωτερικού μονωτή

Με βάσει τις παρατηρήσεις αυτές σχετικά με τον εσωτερικό μονωτή ενός τέτοιου Cable Group, καταλήξαμε στο ακόλουθο συμπέρασμα για τον σωστό τρόπο να τον ορίσουμε στα καλώδιά μας:

- Ο εσωτερικός μονωτής (Insulator inside) στα υποκαλώδια Unshielded Unjacketed Presentation SC (της Var. 01), Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation SC (της Var. 02), Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC⁹³ (και για τις δύο Variants) και Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC⁹⁴ (και για τις δύο Variants) θα οριστεί Circle (αυτή η ενέργεια είναι υποχρεωτική διότι αν εδώ ο ορισμός γίνει Wrap τότε είτε η θωράκιση θα «πιέσει προς τα μέσα τα υποκαλώδια» αν είναι αυτή το αμέσως επόμενο στρώμα, είτε το δεματικό θα γεμίσει όλα τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων με πλαστικό αν είναι αυτό το αμέσως επόμενο στρώμα).
- Τώρα για την περίπτωση που έχουμε διαδοχικά δύο Insulator inside να είναι «ο ένας πάνω από τον άλλον», όπως συμβαίνει στα καλώδια Presentation SC⁹⁵ (και για τις δύο Variants), Presentation RC⁹⁶ (και για τις δύο Variants) και Simulation RC⁹⁷ (και για τις δύο Variants), όπου έχουμε τον Insulator inside του πυρήνα του καλωδίου και τον Insulator inside του πλήρους καλωδίου, εκεί (αφού έχουμε ορίσει τον εσώτατο ως Circle, βάσει του ακριβώς προηγούμενου bullet) θα ορίζουμε τον επόμενο Insulator inside ως Wrap με πάχος 0 (διότι δεν υπάρχει νόημα να γεμίζουμε δύο φορές το ίδιο καλώδιο με αέρα).

Σχόλιο σχετικά με το μηδενικό πάχος του Insulator inside:

Να σημειώσουμε ότι ο εσωτερικός μονωτής είναι ο μόνος που μπορεί να οριστεί σαν Wrap με μηδενικό πάχος (και αυτό γιατί στην πράξη υπάρχει το υλικό του ανάμεσα στα υποκαλώδια ακόμα και αν δεν προεξέχει και έξω από τον νοητό κύκλο που περιβάλλει το Cable Group). Κάθε άλλο ανώτερο μονωτικό στρώμα δεν επιτρέπεται από το πρόγραμμα να οριστεί με μηδενικό πάχος (δηλ. να είναι ανύπαρκτο το υλικό του).

2.8.4 Ακριβές Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος

Επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε το **Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Presentation SC) (με πλήρη ακρίβεια**, δηλ. με χρήση των SC Fillers⁹⁸). Αυτό θα γίνει αν δώσουμε στον πυρήνα του SC, που ήδη ορίσαμε, το εσωτερικό δεματικό (μόνο για την Var. 02), την εσωτερική θωράκιση και τον

⁹³ Θα αναφερθούμε σε αυτό το υποκαλώδιο στην υποενότητα 2.8.8.

⁹⁴ Θα αναφερθούμε σε αυτό το υποκαλώδιο στην υποενότητα 2.8.10.

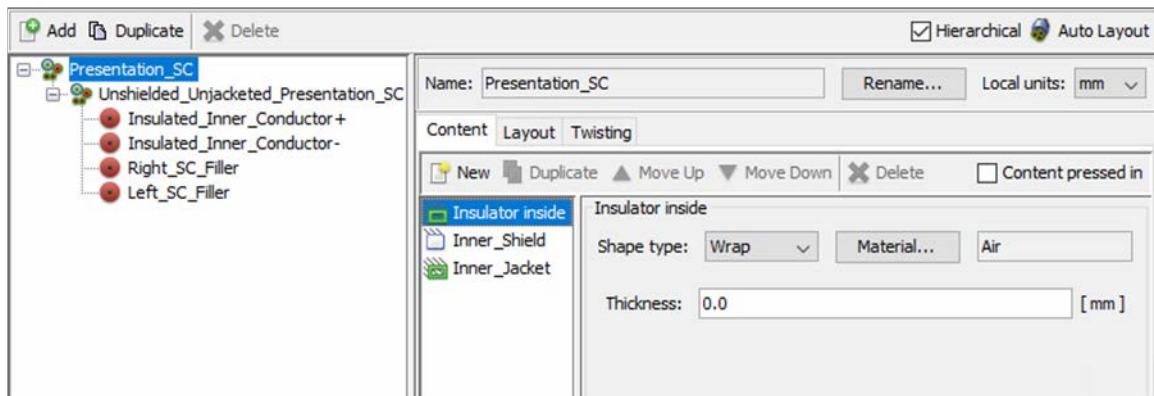
⁹⁵ Θα αναφερθούμε σε αυτό το υποκαλώδιο στην υποενότητα 2.8.4.

⁹⁶ Θα αναφερθούμε σε αυτό το καλώδιο στην υποενότητα 2.8.9.

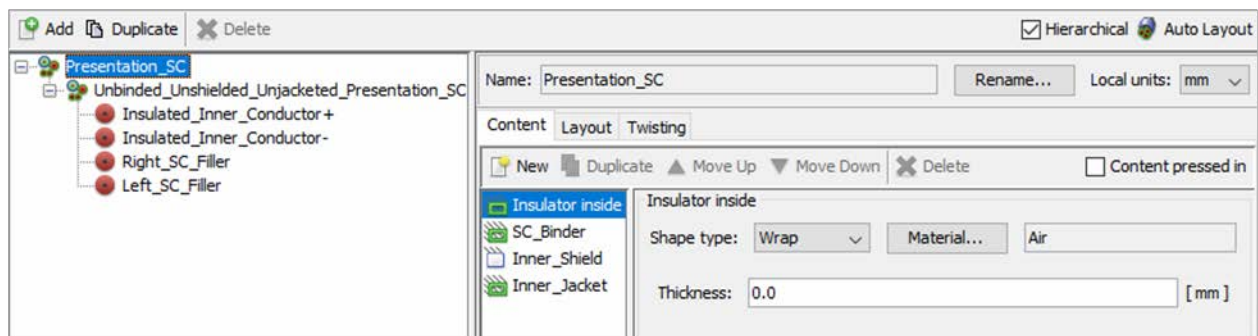
⁹⁷ Θα αναφερθούμε σε αυτό το καλώδιο στην υποενότητα 2.8.11.

⁹⁸ Σε αντίθεση με το απλοποιημένο SC, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια, στις υποενότητες 2.8.5 και 2.8.6.

εσωτερικό μανδύα – κάλυμμά του. Για τον λόγο αυτό ορίσαμε ένα νέο Cable Group, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στην συνέχεια:



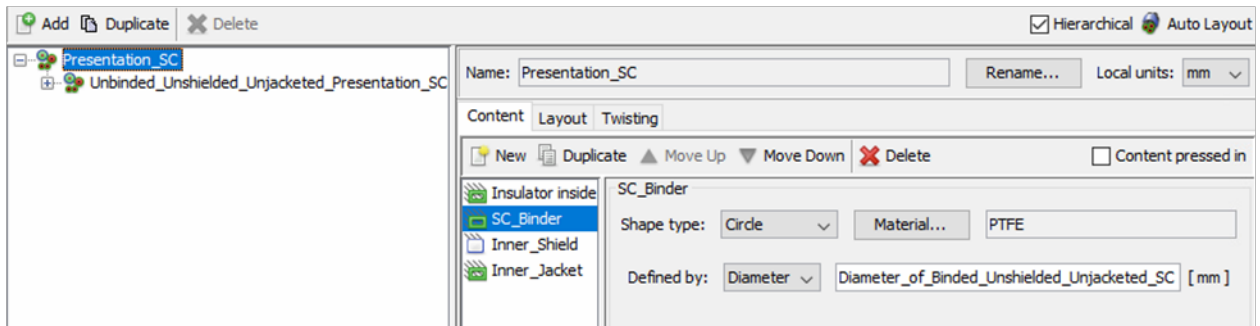
Εικόνα 2.29: Τα περιεχόμενα του *Presentation SC* (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (*Var. 01*) [56].



Εικόνα 2.30: Τα περιεχόμενα του *Presentation SC* (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (*Var. 02*) [56].

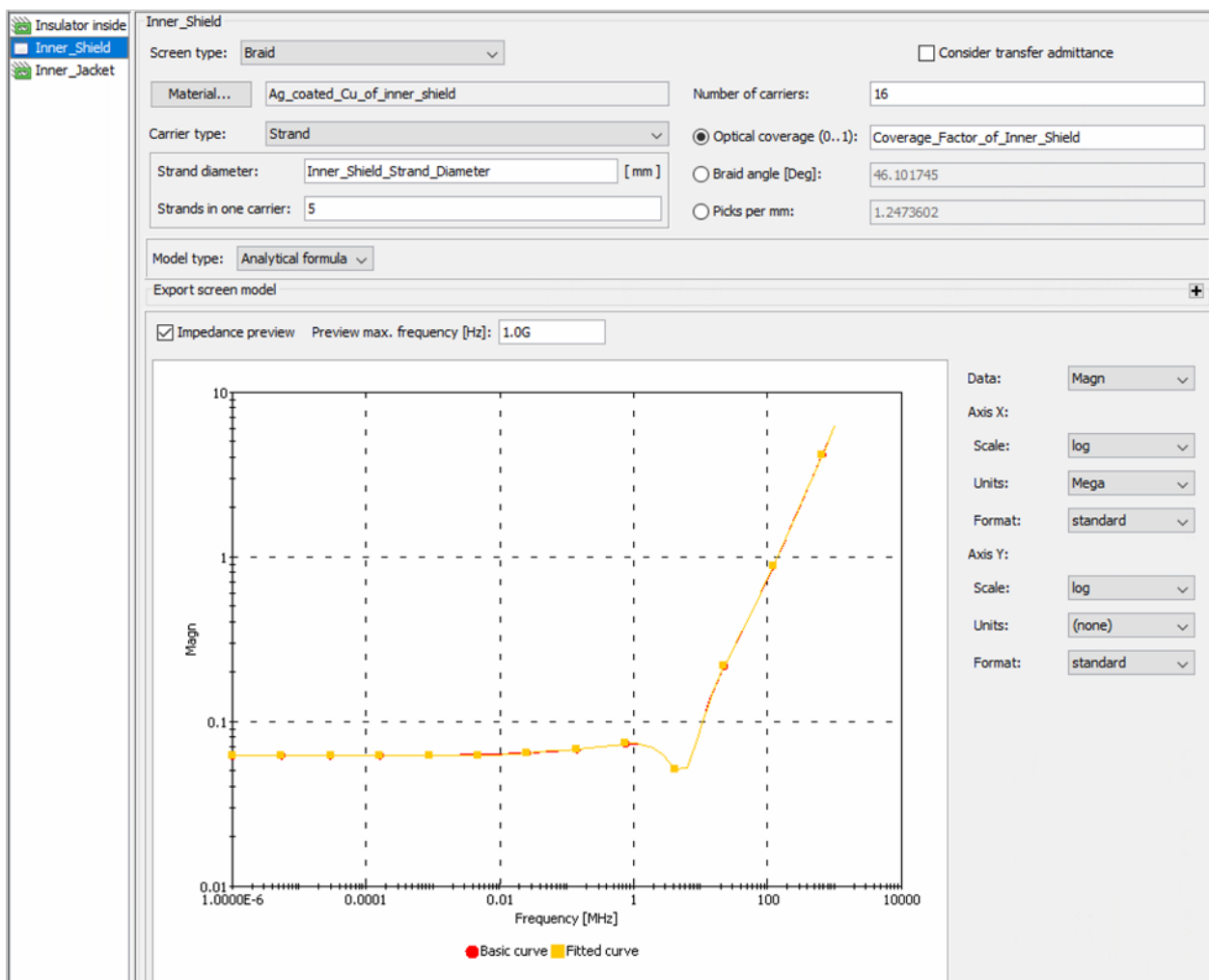
Οι εικόνες αυτές μας δίνουν πληροφορία για τον εσωτερικό μονωτή των υποκαλωδίων. Επειδή ο πυρήνας του *Presentation SC* έχει ήδη τον εσωτερικό μονωτή στον οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως (στην υποενότητα 2.8.3), εν προκειμένω δεν ορίσαμε πάλι κάποιον αντίστοιχο μονωτή, εξ' ου και το μηδενικό πάχος αυτού στην Εικόνα 2.29. Παραθέτουμε και την εικόνα που αντιστοιχεί στην *Var. 02* (Εικόνα 2.30) διότι εκεί φαίνεται η διαφορά στην ύπαρξη του *SC Binder*, αλλά και η αλλαγή του ονόματος στον πυρήνα του *SC*.

Να διευκρινίσουμε ότι στις Εικόνες 2.29 και 2.30 «αναπτύξαμε» όλα τα περιεχόμενα των Cable Groups (ώστε να φαίνεται και η διάκριση στα ονόματα των υποκαλωδίων). Όμως στις επόμενες εικόνες τα παραλείψαμε εντελώς (για να είναι πιο εστιασμένες οι εικόνες στο ζητούμενο) ή αφήσαμε να φαίνεται μόνο η ονομασία του πυρήνα (*Unshielded Unjacketed Presentation SC* για την *Var. 01* και *Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation SC* για την *Var. 02*), που είναι το μόνο υποκαλώδιο του νέου Cable Group (ασχέτως που και το ίδιο είναι Cable Group με άλλα υποκαλώδια). Η τακτική αυτή θα εφαρμόζεται σε όλα τα υποκαλώδια και καλώδια που θα ακολουθήσουν, σε *Var. 01* και *Var. 02*.

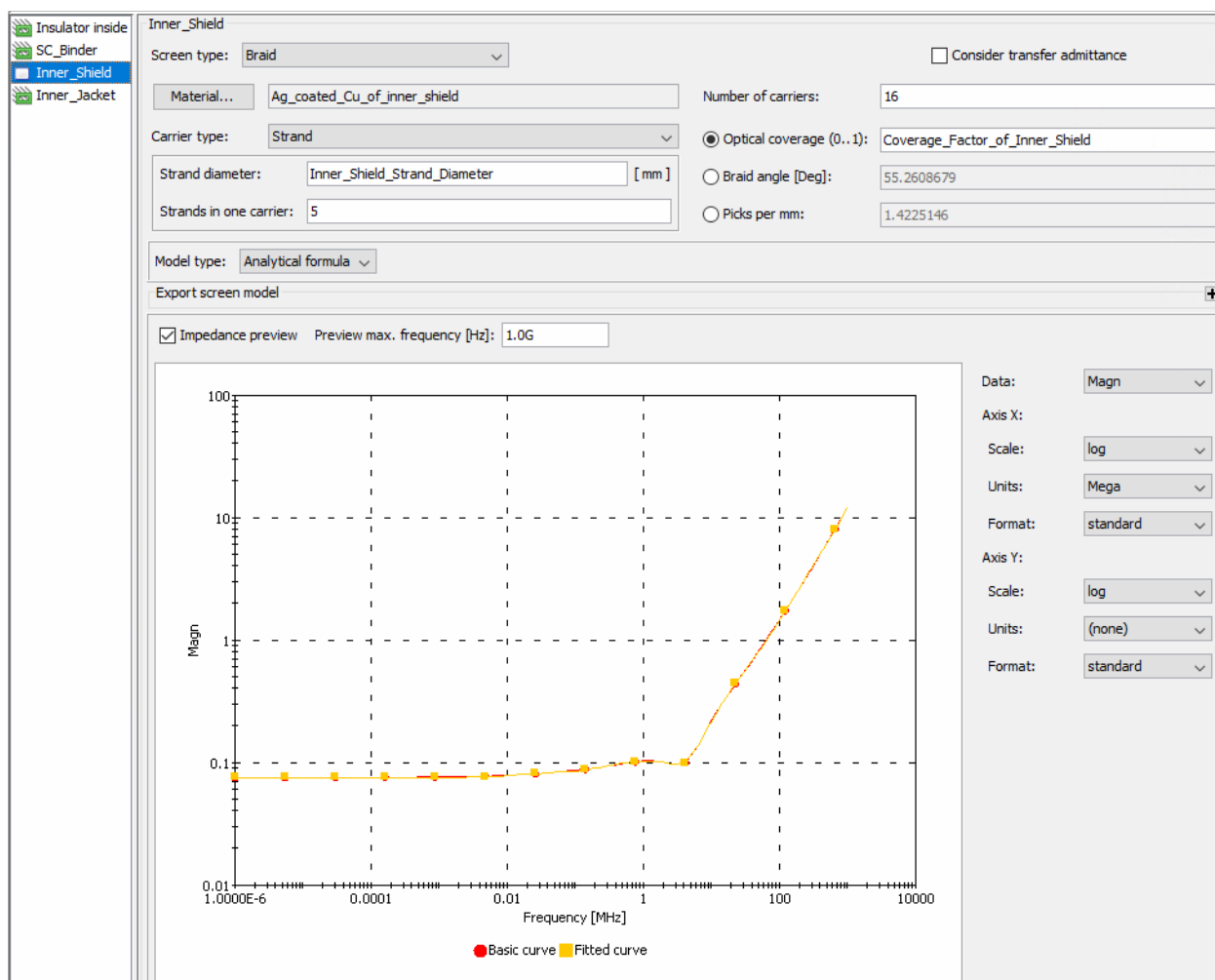


Εικόνα 2.31: Τα περιεχόμενα του Presentation SC (εσωτερικό δεματικό) (Var. 02) [56].

Στην παραπάνω εικόνα, η οποία αφορά την Var. 02 και μόνο, έχουμε τα χαρακτηριστικά του δεματικού του SC, το οποίο δεν υπήρχε στην Var. 01. Ως υλικό για το SC Binder δηλώθηκε το PTFE, όπως υπαγόρευε το πρότυπο. Η στρώση του δεματικού αυτού ορίστηκε σαν Circle, για λόγο που θα εξηγήσουμε παρακάτω (βλ. το συμπέρασμα στην παράγραφο 2.8.8.2).



Εικόνα 2.32: Τα περιεχόμενα του Presentation SC (εσωτερική θωράκιση) (Var. 01) [56].



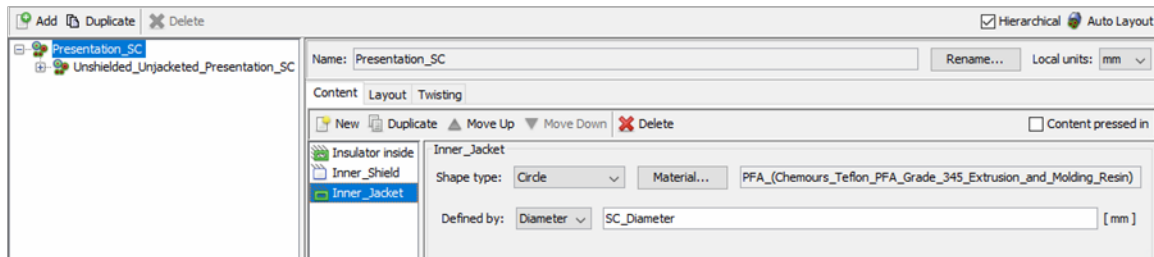
Εικόνα 2.33: Τα περιεχόμενα του Presentation SC (εσωτερική θωράκιση) (Var. 02) [56].

Στις Εικόνες 2.32 και 2.33 έχουμε εστιάσει στα χαρακτηριστικά της θωρακίσεως του Presentation SC, για τις δύο παραλλαγές. Στο περιβάλλον αυτό μπορεί να οριστεί με κάθε λεπτομέρεια το υλικό της θωρακίσεως, ο τύπος της θωρακίσεως (εν προκειμένω «πλεκτή θωράκιση», άρα “Braid” στο πεδίο Screen type) και τα σχετικά με αυτόν χαρακτηριστικά⁹⁹. Επιπλέον το περιβάλλον αυτό μας δείχνει και ένα γράφημα της εμπεδήσεως της θωράκισης.

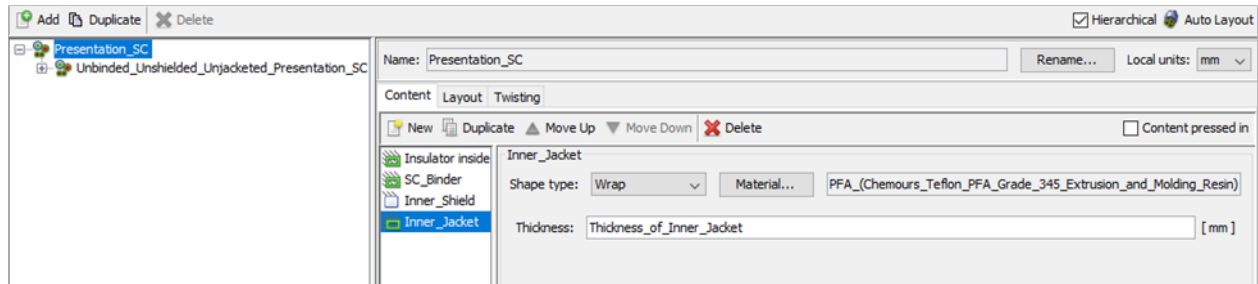
Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές στην εσωτερική θωράκιση μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Ένα ενδιαφέρον σχόλιο μπορεί να γίνει σχετικά με την θωράκιση. Τα χαρακτηριστικά του υλικού της και του τρόπου υλοποίησής της (δηλ. η διάμετρος των νημάτων, το πλήθος φερουσών και το πλήθος των νημάτων ανά φέρουσα) είναι ίδια και στην Var. 01 και στην Var. 02. Όμως παρατηρούμε ότι το γράφημα της εμπεδήσεως της θωράκισης δεν είναι ίδιο για τα SCs των Var. 01 και Var. 02. Μια εξήγηση για αυτό είναι η εξής. Επειδή στην Var. 02 η διάμετρος του πυρήνα του SC είναι μεγαλύτερη απ’ ότι στην Var. 01, η σταθερή απαίτηση για παράγοντα κάλυψης 90% οδηγεί σε μια πλεκτή θωράκιση με διαφορετική γωνία πλέξεως και διαφορετικό βήμα πλέξεως, απ’ ότι στην Var. 01 (κάτι που παρατηρούμε από τα πεδία Braid angle [Deg] και Picks per mm στις δύο παραπάνω εικόνες). Συνεπώς δεν είναι παράλογο να διαφέρει και η εμπεδήση των δύο θωρακίσεων.

⁹⁹ Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την πλεκτή θωράκιση μπορεί να βρει κανείς στο Παράρτημα Α.



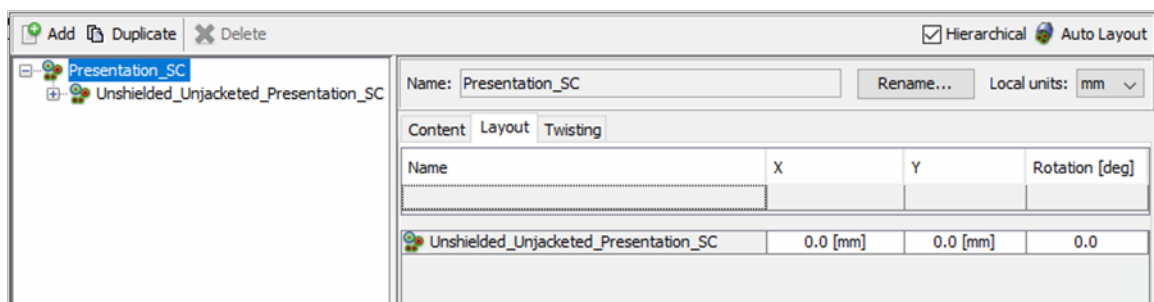
Εικόνα 2.34: Τα περιεχόμενα του Presentation SC (εσωτερικός μανδύας) (Var. 01) [56].



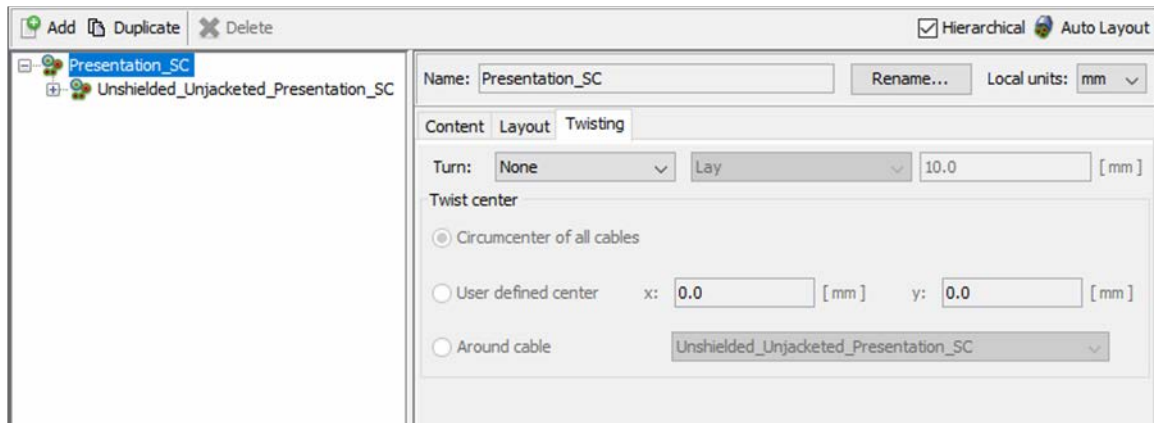
Εικόνα 2.35: Τα περιεχόμενα του Presentation SC (εσωτερικός μανδύας) (Var. 02) [56].

Στις Εικόνες 2.34 και 2.35 βλέπουμε τον ορισμό του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος (Inner Jacket). Το υλικό που το πρότυπο απαιτούσε για αυτόν ήταν Εξωθημένο Φθοροπολυμερές PFA (Extruded fluoropolymer PFA), ένα πολύ διαδεδομένο θερμοπλαστικό. Όπως αναφέραμε διεξοδικά στην παράγραφο 2.6.1.2, επειδή δυστυχώς δεν υπήρχε στο Material Library του Cable Studio, το ορίσαμε εμείς, ως νέο υλικό, μετά από βιβλιογραφική διερεύνηση περί των ιδιοτήτων του.

Μια διαφορά που εντοπίζουμε εδώ μεταξύ Var. 01 και Var. 02 (και που εξαιτίας της παραθέτουμε και τις δύο εικόνες από τον ορισμό του Inner Jacket) είναι ότι το στρώμα αυτό έχει οριστεί σαν Circle στην περίπτωση της Var. 01 και σαν Wrap στην περίπτωση της Var. 02. Ο λόγος που έγινε αυτό θα εξηγηθεί στην παράγραφο 2.8.8.2.



Εικόνα 2.36: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Presentation SC (Var. 01) [56].



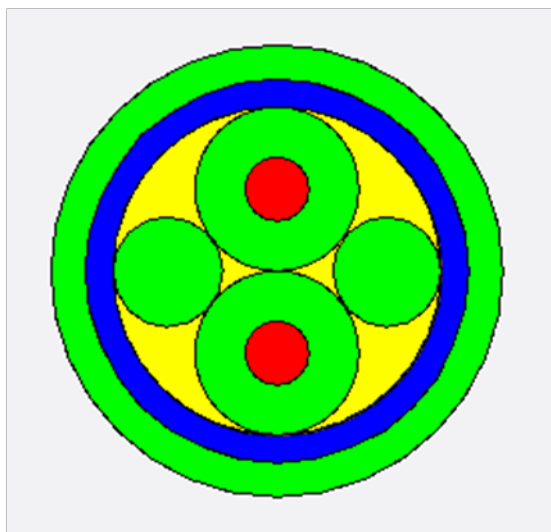
Εικόνα 2.37: Η δήλωση της Συστροφής στο Presentation SC (Var. 01) [56].

Να σημειώσουμε ότι τα παραπάνω δύο παράθυρα είναι πανομοιότυπα και στην Var. 01 και στην Var. 02 και ως εκ τούτου δίνονται μόνο για την μία παραλλαγή, για οικονομία χώρου.

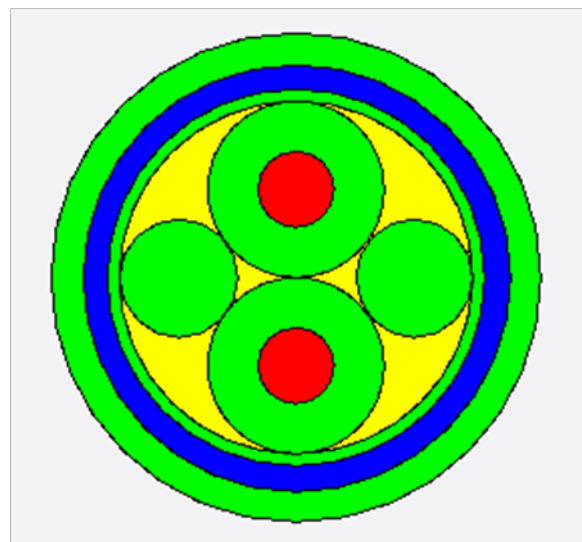
Στην Εικόνα 2.36 βλέπουμε την διάταξη – τοποθέτηση του περιεχομένου του συγκεκριμένου Cable Group. Επειδή εν προκειμένω υπάρχει ένα και μοναδικό υποκαλώδιο σε αυτό του Cable Group, που απλώς «δένεται» (μόνο για την περίπτωση της Var. 02), θωρακίζεται και καλύπτεται από το εξωτερικό μονωτικό, προφανώς η τοποθέτησή του είναι στο κέντρο του τοπικού συστήματος συντεταγμένων.

Τέλος στην Εικόνα 2.37 παρατηρούμε ότι γι' το συγκεκριμένο Cable Group δεν ορίστηκε κάποια συστροφή, γι' αυτό και η αντίστοιχη επιλογή είναι απενεργοποιημένη. Αυτό συμβαίνει διότι η συστροφή υλοποιήθηκε στο περιεχόμενο υποκαλώδιο Unshielded Unjacketed Presentation SC (ή Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation SC στην περίπτωση της Var. 02). Το γιατί γίνεται αυτό εξηγείται στην παράγραφο 2.8.4.1, που ακολουθεί.

Παρακάτω βλέπουμε την προεπισκόπηση της διατομής του υποκαλωδίου αυτού, για τις δύο παραλλαγές.

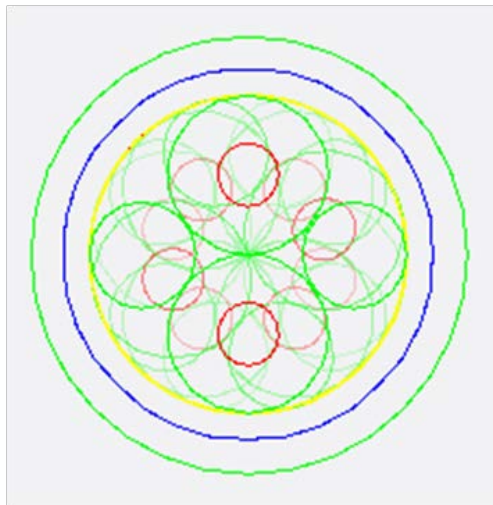


Σχήμα 2.32: Η Διατομή του Presentation SC (Var. 01) [56].

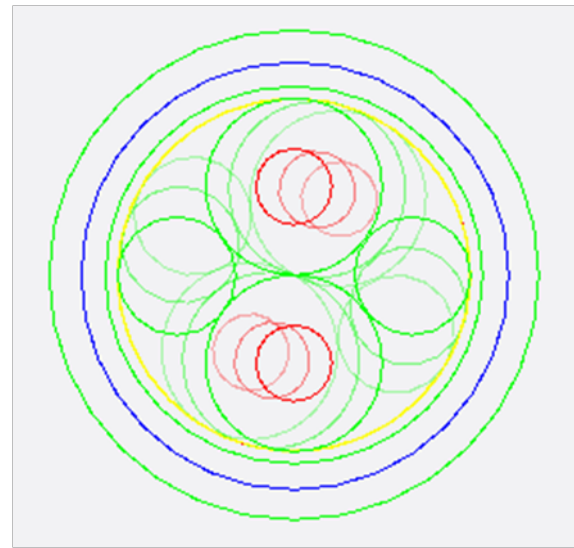


Σχήμα 2.31: Η Διατομή του Presentation SC (Var. 02) [56].

Και με απενεργοποίηση της επιλογής Display Filled, βλέπουμε και την συστροφή του περιεχομένου του κάθε Cable Group:



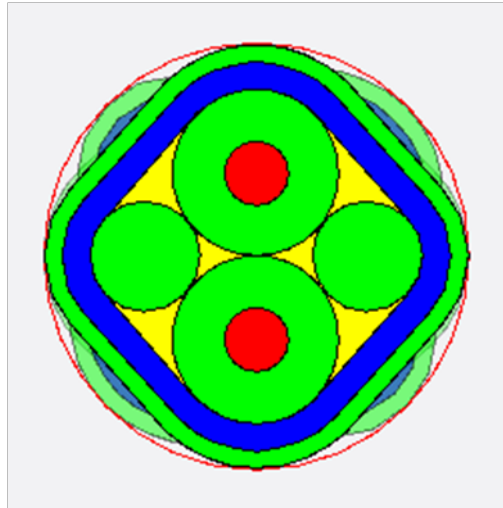
Σχήμα 2.34: Η Συστροφή του Presentation SC (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.33: Η Συστροφή του Presentation SC (Var. 02) [56].

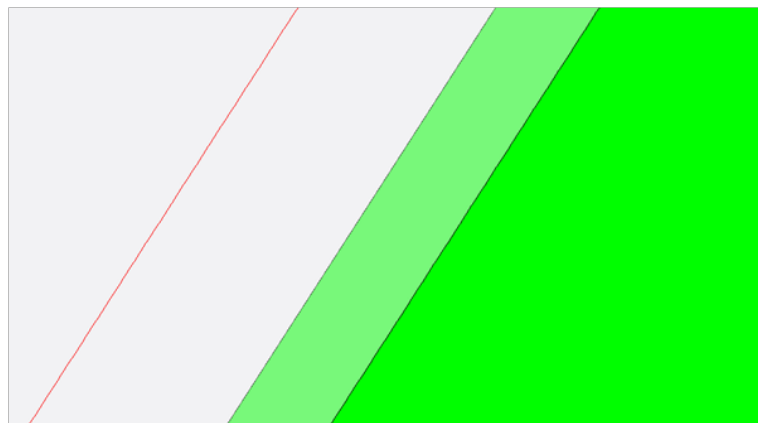
2.8.4.1 Χωριστή υλοποίηση του Πυρήνα ενός Cable Group και του ίδιου του Cable Group

Η ανάγκη της διακρίσεως μεταξύ του Πυρήνα ενός συνθέτου καλωδίου (Cable Group) και του συνθέτου καλωδίου αυτού καθ' εαυτού και η χωριστή υλοποίησή τους είναι κάτι στο οποίο οδηγηθήκαμε προκειμένου να υλοποιείται σωστά η συστροφή που επιθυμούμε. Αυτό γίνεται για τον εξής λόγο. Παρατηρήσαμε ότι αν σε ένα Cable Group ορίσουμε να γίνεται συστροφή των υποκαλωδίων του και στην συνέχεια ορίσουμε γύρω από αυτό ακριβώς το Cable Group επιπλέον στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων (δηλ. στο ίδιο πάντα παράθυρο εντολών), τότε στην συστροφή θα συμμετέχουν και τα στρώματα θωρακίσεων και εξωτερικών μονώσεων. Δηλ. το πρόγραμμα αντιμετωπίζει το Cable Group ως ένα ενιαίο πράγμα, μαζί με την θωράκιση και το εξωτερικό στρώμα μόνωσης. Οπότε, όταν του δηλώσουμε συστροφή, θα «στρίψει» μαζί και την θωράκιση και την εξωτερική μόνωση. Το πρόβλημα αυτό γίνεται αντιληπτό αν ο εσωτερικός μονωτής (Insulator inside) και ο εξωτερικός μονωτής (δηλ. το Jacket) οριστούν σαν Wrap. Αν δηλ. (και ενδεικτικά για την Var. 01) στο Unshielded Unjacketed Presentation SC, όπου έχουμε ενεργοποιήσει την συστροφή, ορίζαμε από πάνω θωράκιση και μόνωση ορισμένη σαν Wrap (στο παράθυρο της Εικόνας 2.26), τότε το αποτέλεσμα που θα παίρναμε θα ήταν:



Σχήμα 2.35: Η Διατομή του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01), αν ορίσουμε επιπλέον θωράκιση και μόνωση (τύπου Wrap) στο ίδιο Cable Group, που έχει ενεργοποιημένο twisting [56].

Φυσικά τα υποκαλώδια του Cable Group τελικώς, ακόμα και έτσι να γίνει το twisting, θα έχουν συστραφεί σωστά στον χώρο, ως προς το νοητό κέντρο του καλωδίου. Όμως θα γίνεται επιπλέον και ένα ανούσιο και κατά βάσιν λανθασμένο στρίψιμο της θωράκισης και του εξωτερικού μανδύα, διαρκώς κατά τον διαμήκη άξονα του καλωδίου. Ακόμα και αν ο εξωτερικός μονωτής οριστεί σαν Circle, πάλι γίνεται αυτό το λάθος στρίψιμο, απλά θέλει πολύ μεγάλη μεγέθυνση για να φανεί στην εικόνα της προεπισκόπησης. Το βλέπουμε παρακάτω σε μια μεγέθυνση της περιφέρειας της πιο πάνω υλοποίησης του καλωδίου, αν το twisting γίνει με αυτό τον λάθος τρόπο (δηλ. στο καλώδιο Unshielded Unjacketed Presentation SC, όπου έχουμε ενεργοποιήσει την συστροφή, με επιπλέον θωράκιση και μόνωση ορισμένη σαν Circle)¹⁰⁰:



Σχήμα 2.36: Μεγέθυνση στην περιφέρεια της Διατομής του Unshielded Unjacketed Presentation SC (Var. 01), αν ορίσουμε επιπλέον θωράκιση και μόνωση (τύπου Circle) στο ίδιο Cable Group, που έχει ενεργοποιημένο twisting [56].

¹⁰⁰ Στο Σχήμα 2.36, το εσωτερικό πράσινο χρώμα είναι το ανώτατο επίπεδο της διατομής (αυτό που είναι θεωρητικά «μπροστά στα μάτια μας»). Το εξωτερικό πράσινο, που είναι και λίγο πιο αγνό, είναι ένα στρώμα σε επίπεδο πιο πίσω από το πρώτο, προς το βάθος, αν μπορούμε να πούμε. Η κόκκινη γραμμή είναι ο νοητός περιγεγραμμένος στο Cable Group κύκλος.

Για να αποφύγουμε λοιπόν αυτό το λάθος στην συστροφή, η λύση ήταν να υλοποιήσουμε χωριστά τον πυρήνα του SC, χωρίς ανώτερα στρώματα θωρακίσεως και μόνωσης και σε αυτόν να έχουμε ενεργοποιημένη την συστροφή των υποκαλωδίων. Στην συνέχεια δημιουργήσαμε ένα νέο Cable Group στο οποίο ενσωματώνουμε τον πυρήνα του SC, που μόλις φτιάξαμε και το οποίο απλώς του προσθέτει δεματικό (για την Var. 02), θωράκιση και μόνωση. Γι' αυτό και σε αυτό το τελευταίο Cable Group, στην καρτέλα Twisting παρατηρούμε ότι η συστροφή είναι ανενεργή, αφού αυτή ήδη υπάρχει στο Cable Group, που υλοποιεί τον πυρήνα (βλ. την Εικόνα 2.37). Με τον σωστό αυτό πλέον τρόπο υλοποίησης της συστροφής, η προεπισκόπηση του Presentation SC γίνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.32.

Αυτός είναι και ο λόγος που κάθε σύνθετο καλώδιο τύπου Cable Group (το Presentation SC, που μόλις εξετάσαμε αλλά και τα Simulation SC, Presentation RC και Simulation RC) το «χτίσαμε» σε δύο βήματα, πρώτα σαν πυρήνα (χωρίς δεματικά, θωρακίσεις και μανδύες) και έπειτα σαν πλήρες καλώδιο (με όλα αυτά τα επιπλέον στρώματα).

2.8.5 Πυρήνας του Απλοποιημένου Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους

Πέραν από το SC που μόλις αναπτύξαμε και το οποίο δομήθηκε με απόλυτη ακρίβεια, βασισμένο στις υποδείξεις του προτύπου ESCC 3902/003 [8], αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε και ένα απλοποιημένο μοντέλο για το υποκαλώδιο SC (και με βάση αυτό και ένα απλοποιημένο καλώδιο RC). Ο λόγος που μας οδήγησε σε αυτό εξηγείται στο ακόλουθο σχόλιο.

Σχόλιο σχετικά με την αναγκαιότητα των SC Filler και σχετικά με το Απλοποιημένο Μοντέλο του SC:

Σχετικά με τα 2 fillers του SC, τα οποία συστρέφονται και αυτά μαζί με τους 2 μονωμένους εσωτερικούς αγωγούς του διαφορικού ζεύγους, έχουμε αναφέρει ότι η χρησιμότητα των fillers είναι καθαρά γεωμετρική – χωροταξική. Δηλ. τα fillers αυτά υπάρχουν στα SCs του πραγματικού καλωδίου SpW μόνο ώστε να εξυπηρετούν στο να γίνεται ομοιόμορφη η συστροφή των δύο εσωτερικών αγωγών. Δηλ. σκοπός τους είναι να βοηθούν στο να διαμορφωθεί μια όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη κυκλική διάμετρος κάτω από την εσωτερική θωράκιση (γιατί σε ένα πραγματικό – υπαρκτό καλώδιο πιο εύκολα και ομοιόμορφα συστρέφονται 2 αγωγοί με 2 fillers παρά 2 αγωγοί μόνοι τους, αφού όσο πιο πολλά γίνονται τα προς συστροφή υποκαλώδια και πλησιάζουν κατά το δυνατόν την κυκλική διατομή, τόσο ευκολότερα συστρέφονται). Άρα για το πραγματικό καλώδιο τα fillers έχουν αξία γεωμετρική (αλλά, όπως είπαμε στην ενότητα 2.1, εμμέσως επηρεάζουν την εμπέδηση του καλωδίου καθώς οδηγούν σε ομοιόμορφη συστροφή άρα και ομοιόμορφη εμπέδηση, λόγω διατήρησης των αγωγών σε σταθερή απόσταση).

Όμως το Cable Studio, όταν πρέπει να κάνει την συστροφή 2 ή περισσότερων αγωγών, την κάνει τέλεια, δηλ. το twisting πραγματοποιείται ούτως ή άλλως ιδανικά στο προσομοιωτικό περιβάλλον, χωρίς της φυσικές δυσκολίες ενός πραγματικού συστήματος (που ως εκ τούτου απαιτεί και fillers). Επομένως δεν θα ήταν απαραίτητο να συμπεριλάβουμε και τα fillers στο SC, δεδομένου κίολας ότι, από πλευράς πεδιακής αναλύσεως, η παρουσία τους ή η απουσία τους δεν δημιουργεί καμία διαφορά, αφού πρόκειται για ένα πλαστικό μονωτικό, αδιάφορο για την πεδιακή ανάλυση.

Ο λόγος τώρα που είναι δελεαστική ιδέα η παράλειψη των fillers από την διατομή του SC είναι ο εξής: όταν το CST (είτε σε εξ' αρχής 3D προσομοίωση είτε σε 2D που προβάλλεται σε 3D στην συνέχεια, όπως συμβαίνει με τις διατομές καλωδίων που έχουν δημιουργηθεί στο Cable Studio) βλέπει σημεία ή ακμές ή επιφάνειες στις οποίες υπάρχει επαφή δύο διαφορετικών αντικειμένων – υλικών, εκεί «πυκνώνει» πολύ το πλέγμα των πεδιακών υπολογισμών. Δηλ. πάντα το πρόγραμμα θα καλύπτει όλο τον χώρο με ένα νοητό πλέγμα προκειμένου να γίνουν οι πεδιακοί υπολογισμοί (όπως έχουμε αναφέρει στην υποενότητα 1.3.1). Όμως στις επιφάνειες διεπαφής μεταξύ διαφορετικών υλικών, το πρόγραμμα κάνει επί τούτου πολύ πυκνότερο το πλέγμα, έτσι ώστε να «καταλάβει» τελικά τι «συμβαίνει», από πεδιακής απόψεως, στις περιοχές αυτές (αφού θα ευρεθούν τιμές πεδίου για πολύ περισσότερα σημεία στις περιοχές αυτές και συνεπώς οι υπολογισμοί θα είναι ακριβέστεροι). Αν

λοιπόν αφήσουμε τα fillers να υπάρχουν στο μοντέλο, τότε το πλέγμα θα γίνει σε κάποια σημεία πάρα πολύ πυκνό, με αποτέλεσμα να αυξηθεί πολύ η πολυπλοκότητα της προσομοίωσης και συνεπώς και ο χρόνος αυτής. Αν όμως παραλείψουμε τα 2 αυτά fillers, θα έχουμε σαφώς λιγότερα σημεία επαφής διαφορετικών αντικειμένων και έτσι θα έχουμε κάνει μια πολύ σημαντική απλοποίηση, απολύτως δικαιολογημένη και μάλιστα εντελώς «ανώδυνη» από πλευράς ακριβείας, αφού, όπως εξηγήσαμε, δεν θα υπάρχει πρακτικά καμία επίπτωση στην ακρίβεια των πεδιακών συμπερασμάτων.

Βασισμένοι στο παραπάνω σχόλιο, επιλέγουμε να φτιάξουμε και ένα άλλο SC, το οποίο θα χρησιμοποιούμε για την προσομοίωση. Για λόγους διακρίσεως, το προηγούμενο SC και ο πυρήνας του, επειδή ήταν ακριβώς όπως υπαγόρευε το πρότυπο (αλλά όπως εξηγήσαμε, δεν συνέφερε να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση), έλαβαν ως πρόθεμα την λέξη Presentation, για να δηλώσουμε ότι θα χρησιμοποιηθούν μόνο για σκοπούς παρουσίασης. Αντίθετα το SC και ο πυρήνας του που φτιάχτηκαν τώρα, χωρίς τα fillers, έλαβαν στην ονομασία τους ως πρόθεμα την λέξη Simulation, επειδή θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση¹⁰¹.

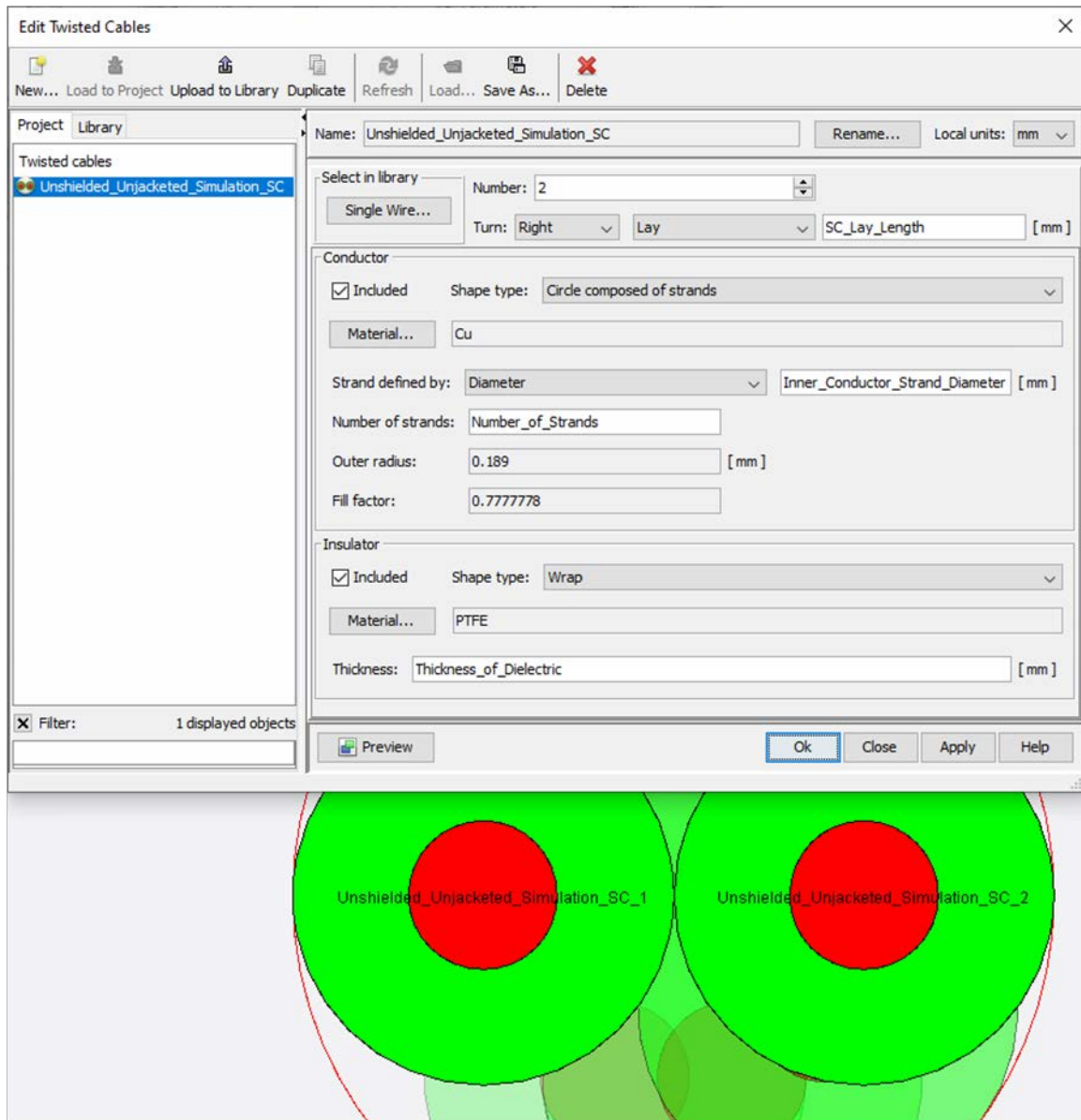
Δημιουργήσαμε λοιπόν τον Πυρήνα¹⁰² του απλοποιημένου (για λόγους «ελάφρυνσης της προσομοίωσης») Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους (δηλ. χωρίς την χρήση των SC Fillers¹⁰³). Στην περίπτωση της **Var. 01** αυτός ονομάζεται **“Unshielded Unjacketed Simulation SC”**, ενώ στην περίπτωση της **Var. 02** ονομάζεται **“Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation SC”**, διότι υπάρχει και το δεματικό του SC, όπως έχουμε επισημάνει στην παράγραφο 2.5.4.1.

Εφ’ όσον ο πυρήνας του SC που θα φτιάξουμε στο σημείο αυτό δεν θα περιέχει τα δύο SC fillers, αλλά μόνο τους δύο μονωμένους εσωτερικούς αγωγούς, και επειδή οι δύο αγωγοί είναι πανομοιότυποι, συμφέρει να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο Twisted Cables. Τα χαρακτηριστικά λοιπόν του πυρήνα φαίνονται στο ακόλουθο παράθυρο:

¹⁰¹ Τίποτα φυσικά δεν εμποδίζει έναν χρήστη να δοκιμάσει να κάνει πεδιακές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας και το ακριβές μοντέλο (Presentation) και μάλιστα να συγκρίνει τους χρόνους προσομοίωσης με το απλοποιημένο (Simulation).

¹⁰² Ο λόγος που είναι απαραίτητο κάθε σύνθετο καλώδιο τύπου Cable Group, το οποίο έχει συστροφή στα περιεχόμενα σε αυτό υποκαλώδια, να υλοποιείται σε δύο βήματα, πρώτα σαν πυρήνας και μετά σαν πλήρες καλώδιο (με στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων), εξηγείται στην παράγραφο 2.8.4.1.

¹⁰³ Σε αντίθεση με το ακριβές SC, στο οποίο αναφερθήκαμε πριν, στις υποενότητες 2.8.3 και 2.8.4.



Εικόνα 2.38: Τα χαρακτηριστικά του Unshielded Unjacketed Simulation SC (Var. 01) [56].

Για οικονομία χώρου δεν παραθέτουμε το σχετικό παράθυρο από το αντίστοιχο υποκαλώδιο της Var. 02. Το παράθυρο αυτό είναι κατά βάση πανομοιότυπο με αυτό της Var. 01. Απλώς εκεί είναι άλλες οι τιμές της διαμέτρου των κλώνων και του πάχους του διηλεκτρικού. Φυσικά θα διαφέρουν και τα ονόματα των δύο αγωγών του συνεστραμμένου καλωδίου, αφού θα έχουν επιπλέον σαν πρόθεμα την λέξη “Unbinded” στην περίπτωση της Var. 02.

Παρατηρούμε ότι σε αυτό το παράθυρο εντολών επαναλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά του Single Wire που χρησιμοποιείται ως δομικό συστατικό του συνεστραμμένου καλωδίου (βλ. Εικόνα 2.24) και απλά δηλώνεται το πλήθος των προς συστροφή τέτοιων αγωγών και τα δεδομένα της συστροφής (φορά και μήκος συστροφής). Όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 2.8.3, επιλέξαμε δεξιόστροφη φορά συστροφής.

Στην παραπάνω εικόνα επιλέξαμε επί τούτου να αφήσουμε να φανούν και οι δύο μονωμένοι αγωγοί του συνεστραμμένου καλωδίου και με τα ονόματα¹⁰⁴ που τους δίνει το Cable Studio. Αυτά

¹⁰⁴ Τα ονόματα των αγωγών και των θωρακίσεων, που υπάρχουν σε ένα καλώδιο (οποιοδήποτε τύπου, από Single Wire μέχρι Cable Group) μπορούν να φανούν και στην προεπισκόπηση της διατομής του αν σε αυτήν

είναι ονόματα στα οποία δυστυχώς δεν μπορούμε να επέμβουμε, διότι πάντα το πρόγραμμα ονοματίζει τα περιεχόμενα Single Wires ενός Twisted Cable με το όνομα του Twisted Cable και έναν προσδιοριστικό αριθμό. Εμείς λοιπόν θα θεωρήσουμε ότι η αντιστοίχιση με τα ονόματα των αγωγών στο Presentation SC είναι η εξής:

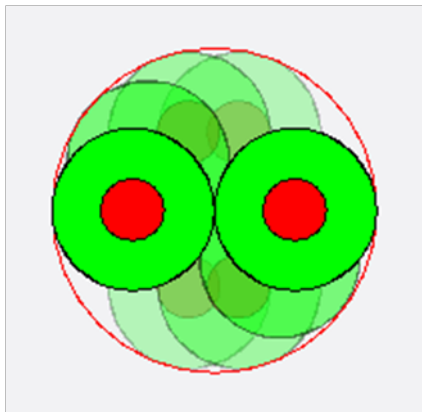
Για την Var. 01:

- ο αγωγός **Unshielded_Unjacketed_Simulation_SC_1** του παραπάνω συνεστραμμένου καλωδίου αντιστοιχεί στον **Insulated_Inner_Conductor+** και
- ο αγωγός **Unshielded_Unjacketed_Simulation_SC_2** του παραπάνω συνεστραμμένου καλωδίου αντιστοιχεί στον **Insulated_Inner_Conductor-**.

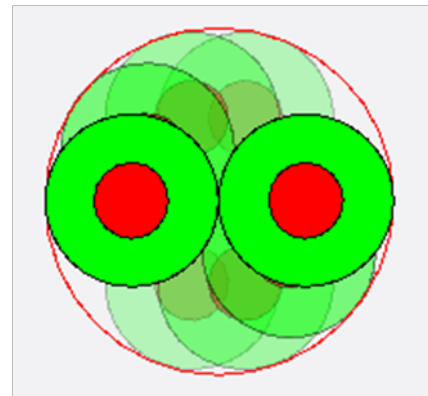
Για την Var. 02:

- ο αγωγός **Unbinded_Unshielded_Unjacketed_Simulation_SC_1** του παραπάνω συνεστραμμένου καλωδίου αντιστοιχεί στον **Insulated_Inner_Conductor+** και
- ο αγωγός **Unbinded_Unshielded_Unjacketed_Simulation_SC_2** του παραπάνω συνεστραμμένου καλωδίου αντιστοιχεί στον **Insulated_Inner_Conductor-**.

Παρακάτω βλέπουμε πιο καθαρά την προεπισκόπηση της διατομής και για τις δύο παραλλαγές:



Σχήμα 2.37: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation SC (Var. 02) [56].



Σχήμα 2.38: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation SC (Var. 02) [56].

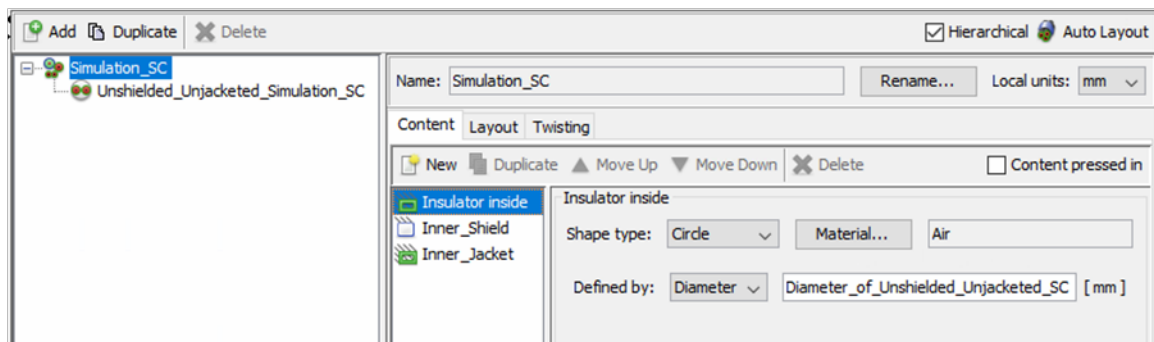
Από τα δύο παραπάνω σχήματα παρατηρούμε ότι στα Twisted Cables φαίνεται από την απλή προεπισκόπηση η συστροφή γύρω από τον άξονα του βάρους (τον διαμήκη άξονα, που περνά από το κέντρο το περιγεγραμμένου στους εσωτερικούς αγωγούς κύκλου), χωρίς να χρειάζεται απενεργοποίηση της επιλογής Display Filled.

2.8.6 Απλοποιημένο Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος

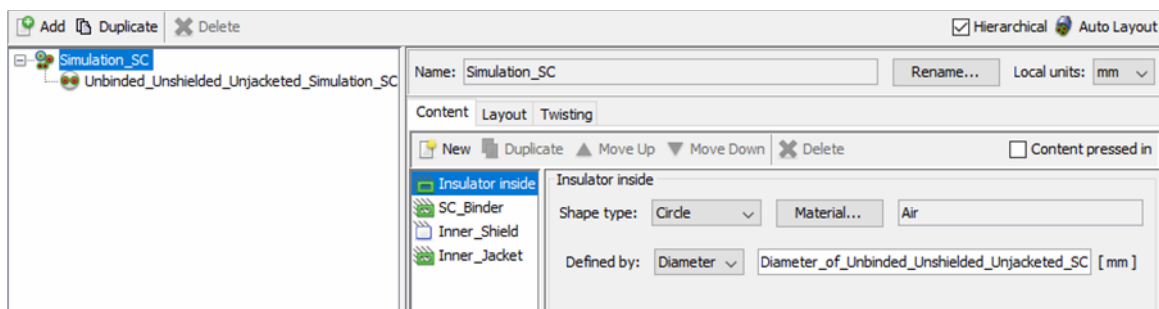
Επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε το απλοποιημένο (για λόγους «ελάφρυνσης της προσομοίωσης») Συνεστραμμένο Διαφορικό Ζεύγος (Simulation SC) (δηλ. χωρίς την χρήση των SC Fillers¹⁰⁵). Αυτό θα γίνει αν δώσουμε στον πυρήνα του SC, που ήδη ορίσαμε, το εσωτερικό δεματικό (μόνο για την Var. 02), την εσωτερική θωράκιση και τον εσωτερικό μανδύα – κάλυμμά του. Για τον λόγο αυτό ορίσαμε ένα νέο Cable Group, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στην συνέχεια:

κάνουμε δεξί κλικ και επιλέξουμε την δυνατότητα “Show Text”. Απλώς στα σχήματα των διατομών επιλέξαμε να μην τα εμφανίζουμε (γιατί θα ήταν και δυσανάγνωστα στο μέγεθος που τα δίνουμε εδώ).

¹⁰⁵ Σε αντίθεση με το ακριβές SC, στο οποίο αναφερθήκαμε πριν, στις υποενότητες 2.8.3 και 2.8.4.



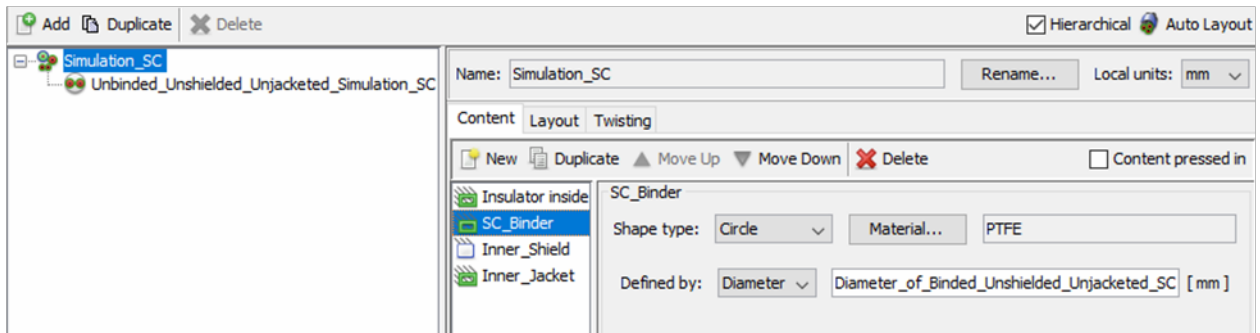
Εικόνα 2.39: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (υποκαλώδιο και εσωτερικός μονωτής) (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.40: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (υποκαλώδιο και εσωτερικός μονωτής) (Var. 02) [56].

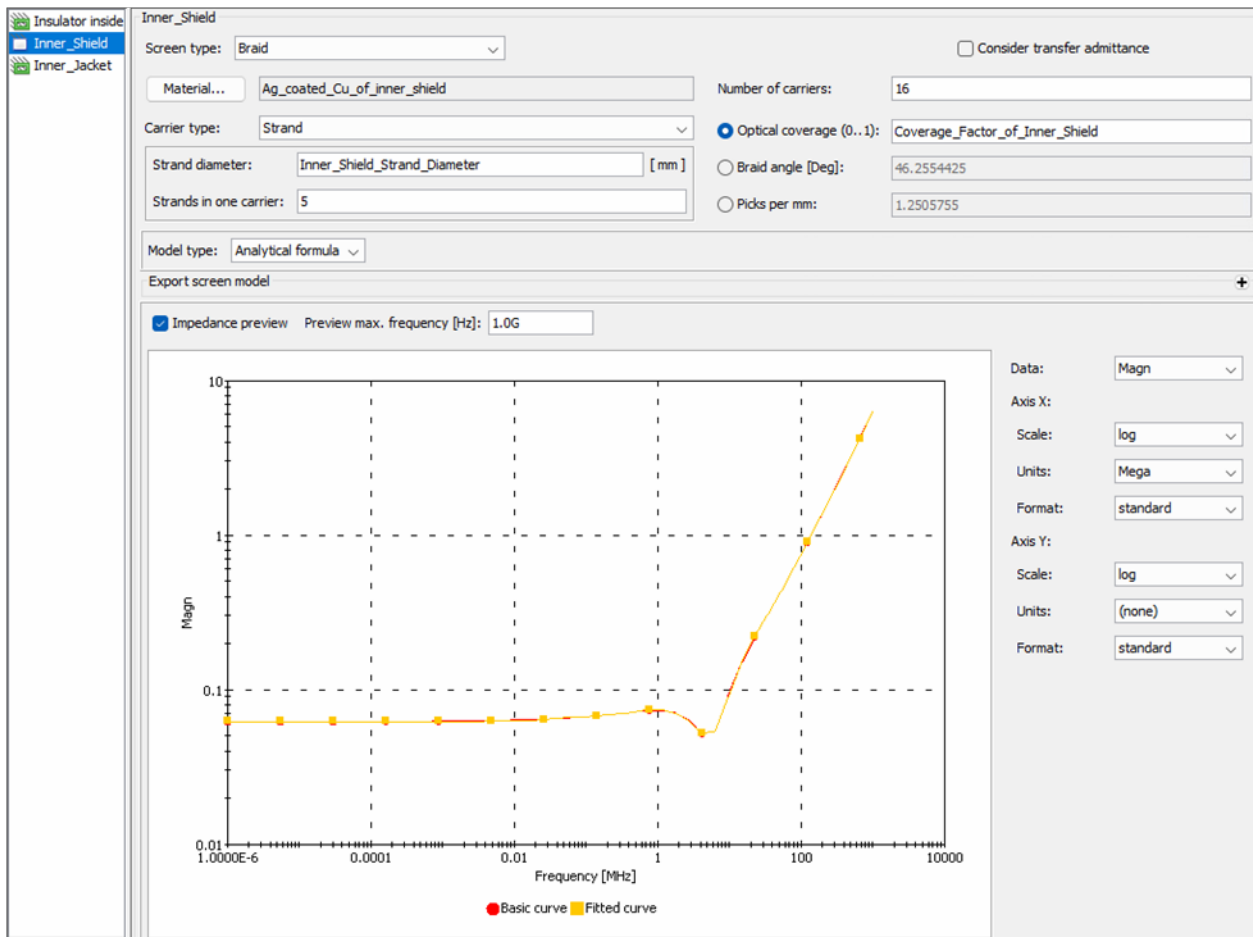
Περί των εικόνων αυτών ισχύουν σε γενικές γραμμές όσα ειπώθηκαν και στην υποενότητα 2.8.4 (και πάλι παραθέτουμε και την εικόνα που αφορά στην Var. 02, όπου φαίνεται η ύπαρξη του SC Binder και η αλλαγή του ονόματος στον πυρήνα του SC). Η διαφορά με το Presentation SC, την οποία αξίζει να επισημάνουμε, είναι ότι ο Insulator inside, δηλ. ο αέρας ορίστηκε σαν Circle και όχι σαν Wrap. Αυτό εν προκειμένω έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι το εσωτερικό αυτού του Cable Group είναι ένα Twisted Cable. Αναλυτικά η εξήγηση γι' αυτήν την επιλογή γίνεται στην παράγραφο 2.8.6.1, που ακολουθεί.

Όπως και στην υποενότητα 2.8.4, στις παραπάνω δύο εικόνες «αναπτύξαμε» τα περιεχόμενα των Cable Groups (ώστε να φαίνεται και η διάκριση στα ονόματα των υποκαλωδίων). Όμως εν προκειμένω, επειδή ο πυρήνας του Simulation SC είναι καλώδιο τύπου Twisted Cable, θα υπάρχει ένα και μοναδικό υποκαλώδιο, αυτό το Twisted Cable. Άρα δεν υπήρχε θέμα άλλης ονοματοδοσίας των υποκαλωδίων.

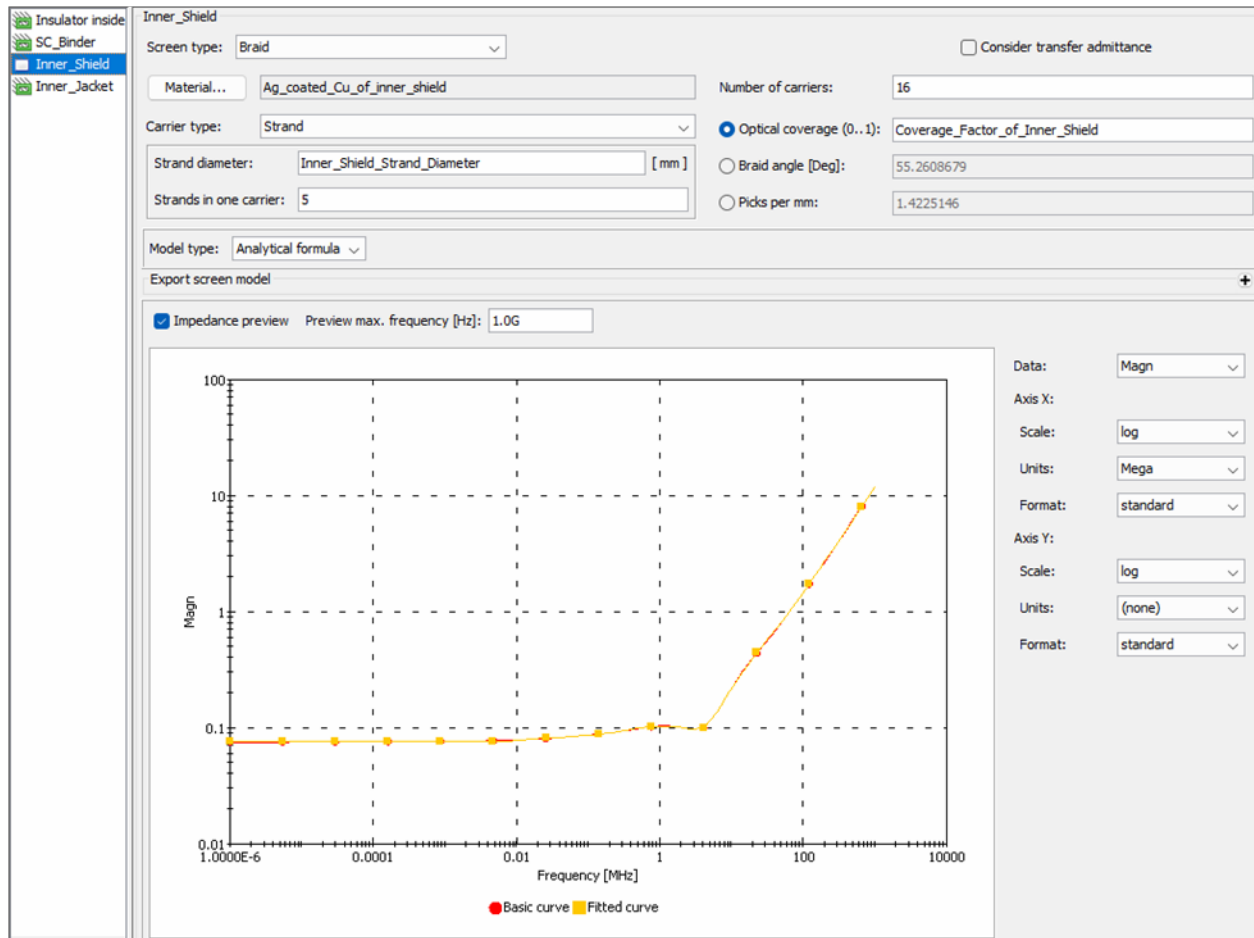


Εικόνα 2.41: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (εσωτερικό δεματικό) (Var. 02) [56].

Στην παραπάνω εικόνα, η οποία αφορά την Var. 02 και μόνο, έχουμε τα χαρακτηριστικά του δεματικού του SC, το οποίο δεν υπήρχε στην Var. 01. Ως υλικό για το SC Binder δηλώθηκε το PTFE, όπως υπαγόρευε το πρότυπο. Η στρώση του δεματικού αυτού ορίστηκε σαν Circle, για τον ίδιο λόγο που ορίστηκε έτσι και το SC Binder στο Presentation SC (λόγο που εξηγείται στην παράγραφο 2.8.8.2).



Εικόνα 2.42: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (εσωτερική θωράκιση) (Var. 01) [56].



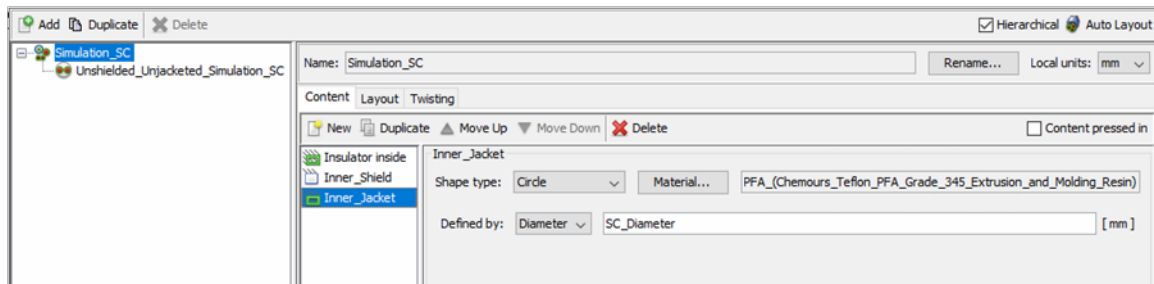
Εικόνα 2.43: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (εσωτερική θωράκιση) (Var. 02) [56].

Στις Εικόνες 2.42 και 2.43 έχουμε εστίασει στα χαρακτηριστικά της πλεκτής θωράκισης του Simulation SC, για τις δύο παραλλαγές. Οι θωράξεις ορίστηκαν με εντελώς όμοιο τρόπο με το Presentation SC.

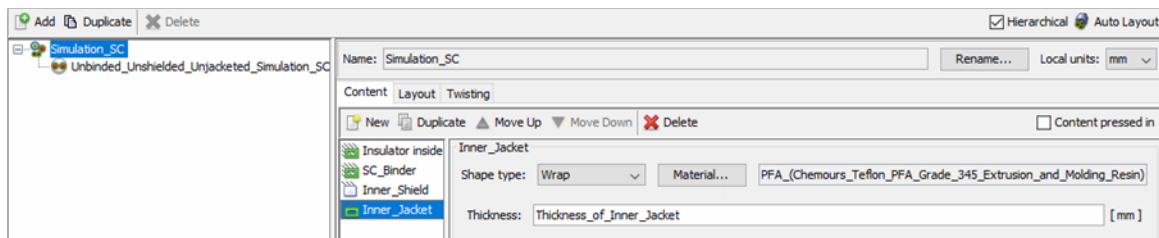
Το σχόλιο σχετικά με τις διαφορές στα χαρακτηριστικά της εσωτερικής θωράκισης μεταξύ Var. 01 και Var. 02, που δόθηκε στην υποενότητα 2.8.4, ισχύει αυτούσιο και εδώ.

Σχόλιο σχετικά με τις ομοιότητες στην εσωτερική θωράκιση μεταξύ Presentation SC και Simulation SC:

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα της εμπεδήσεως της θωράκισης για Presentation SC και Simulation SC, παρατηρούμε ότι πρακτικά είναι όμοια. Μάλιστα βλέπουμε ότι το πλήθος των φερουσών και των νημάτων ανά φέρουσα είναι ίδιο αλλά και οι τιμές στα πεδία Braid angle [Deg] και Picks per mm είναι ή πολύ κοντά ή και απολύτως ίδιες. Δηλ. για μεν την Var. 01 οι τιμές αυτές είναι πάρα πολύ κοντά μεταξύ τους (βλ. Εικόνες 2.32 και 2.42), για δε την Var. 02 οι τιμές είναι ίδιες (βλ. Εικόνες 2.33 και 2.43). Αυτό οφείλεται στο ότι ο παράγοντας κάλυψης είναι πάντοτε ίδιος (90%) και, ανά Variant πάντοτε, η διάμετρος του προς θωράκιση πυρήνα είναι ίδια για Presentation SC και Simulation SC.

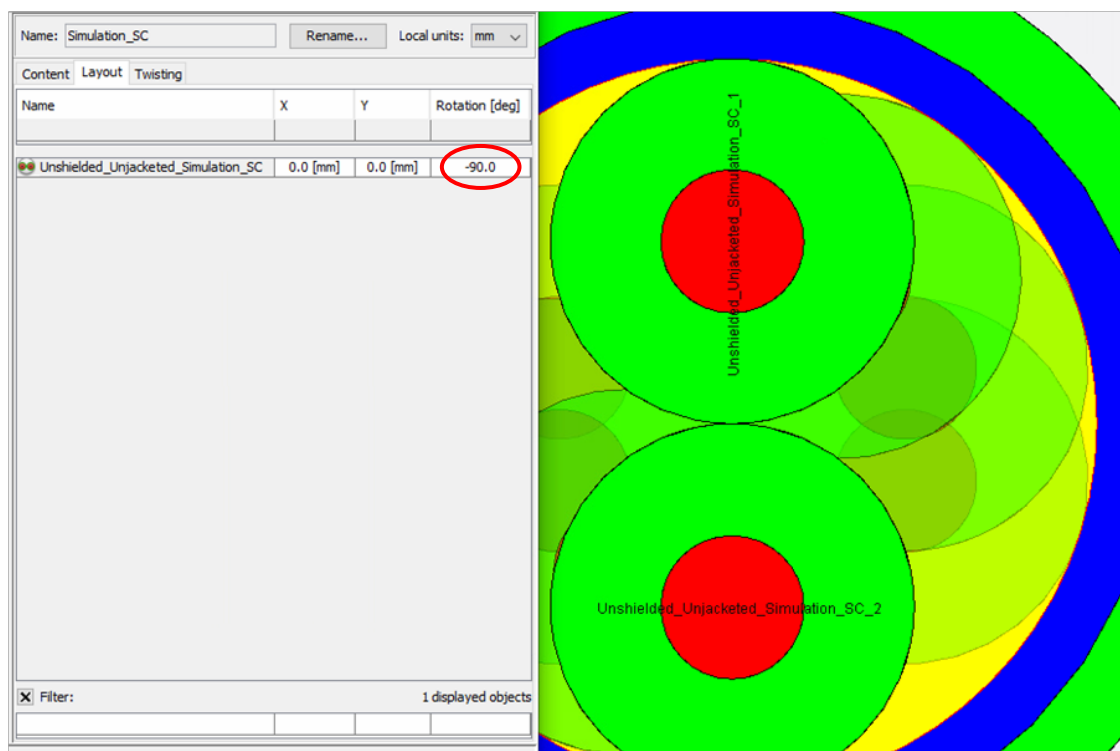


Εικόνα 2.44: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (εσωτερικός μανδύας) (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.45: Τα περιεχόμενα του Simulation SC (εσωτερικός μανδύας) (Var. 02) [56].

Στις δύο παραπάνω εικόνες βλέπουμε τον ορισμό του εσωτερικού μανδύα – καλύμματος (Inner Jacket). Όλα τα λεγόμενα για αυτόν στην υποενότητα 2.8.4 (που αφορά στο Presentation SC) ισχύουν απaráλλακτα και εδώ στο Simulation SC.



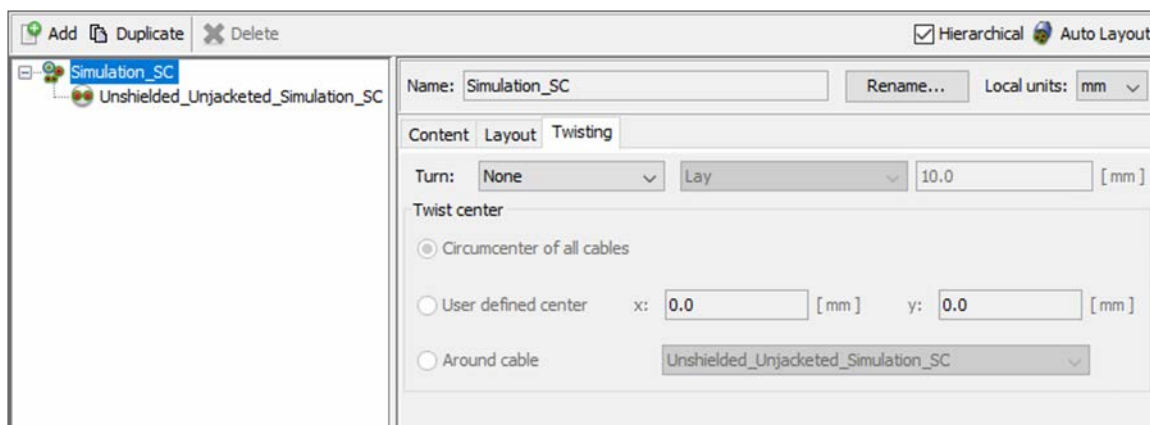
Εικόνα 2.46: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Simulation SC (Var. 01) [56].

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε την διάταξη – τοποθέτηση του περιεχομένου του συγκεκριμένου Cable Group. Μιας και υπάρχει ένα και μοναδικό υποκαλώδιο σε αυτό του Cable

Group, που απλώς «δένεται» (μόνο για την περίπτωση της Var. 02), θωρακίζεται και καλύπτεται από το εξωτερικό μονωτικό, προφανώς θα τοποθετηθεί στο κέντρο του τοπικού συστήματος συντεταγμένων.

Κάτι καινούργιο, που παρατηρούμε στο Simulation SC (σε αντίθεση με το Presentation SC) και που αξίζει να προσθέσουμε, είναι σχετικά με τον προσανατολισμό του Twisted Cable, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του Simulation SC. Στην Εικόνα 2.46, βλέπουμε ότι, κατά την τοποθέτηση του Unshielded Unjacketed Simulation SC (ή του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation SC, στην περίπτωση της Var. 02) ως πυρήνα στο εσωτερικό του νέου αυτού Cable Group, κάναμε χρήση και της δυνατότητας περιστροφής (κατά κάποια καθορισμένη γωνία) του υποκαλωδίου αυτού του Cable Group¹⁰⁶. Αυτό έγινε απλώς προκειμένου η εικόνα του Απλοποιημένου SC να προσιδιάζει σε αυτή του προτύπου (βλ. Σχήμα 2.1), όπου οι δύο αγωγοί του διαφορικού ζεύγους είναι ο ένας πάνω και ο άλλος κάτω. Δηλ., όπως διαπιστώσαμε πριν εφαρμόσουμε αυτή την περιστροφή, ο αγωγός 1 δηλ. ο αγωγός του + ήταν αριστερά. Με θετικές γωνίες τώρα επισημαίνεται η περιστροφή κατά την θετική φορά (δηλ. κατά σύμβαση την ανθρωπολογική ήτοι την αριστερόστροφη). Αφού λοιπόν θέλουμε ο αγωγός του + από αριστερά να πάει πάνω, κάναμε περιστροφή του πυρήνα του Cable Group 90° κατά την αρνητική φορά (ή -90° κατά την θετική).

Επισημαίνουμε απλώς ότι για την Εικόνα 2.46 δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ Var. 01 και Var. 02 (πλην των ονομάτων των δύο συνεστραμμένων αγωγών), γι' αυτό και δεν παραθέτουμε αντίστοιχη εικόνα από την Var. 02.



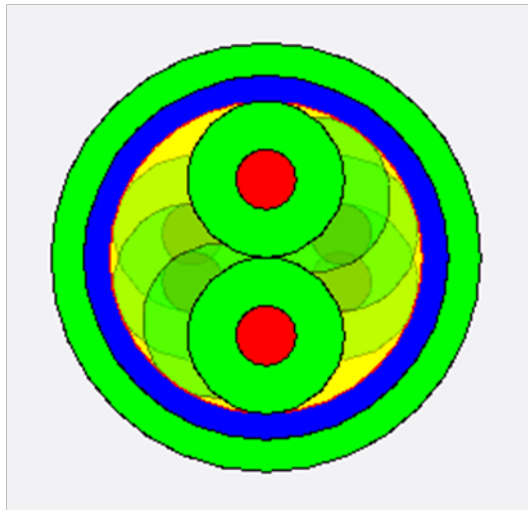
Εικόνα 2.47: Η δήλωση της Συστροφής στο Simulation SC (Var. 01) [56].

Τέλος στην Εικόνα 2.47 παρατηρούμε ότι για το συγκεκριμένο Cable Group δεν ορίστηκε κάποια συστροφή, γι' αυτό και η αντίστοιχη επιλογή είναι απενεργοποιημένη. Αυτό συμβαίνει διότι η συστροφή υλοποιήθηκε στο περιεχόμενο υποκαλώδιο Unshielded Unjacketed Simulation SC (ή Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation SC στην περίπτωση της Var. 02).

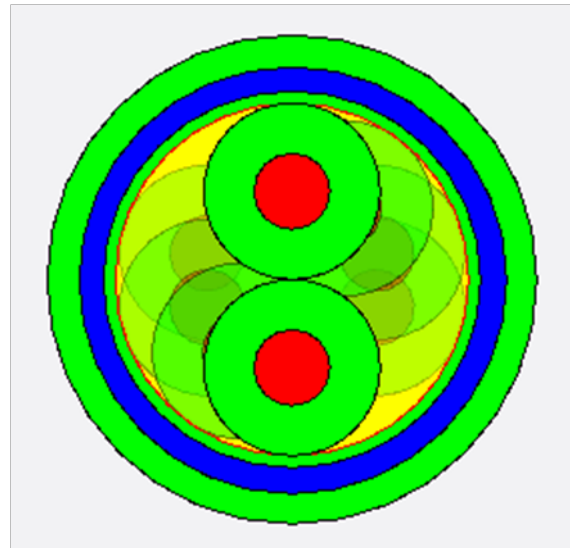
Να σημειώσουμε ότι και το παραπάνω παράθυρο είναι πανομοιότυπο και στις δύο παραλλαγές και ως εκ τούτου δίνεται μόνο για την Var. 01, για οικονομία χώρου.

Παρακάτω βλέπουμε την προεπισκόπηση της διατομής του υποκαλωδίου αυτού, για τις δύο παραλλαγές.

¹⁰⁶ Γι' αυτό και αφήσαμε δίπλα στο παράθυρο με τις εντολές τοποθέτησης του υποκαλωδίου και ένα τμήμα της διατομής να φαίνεται (σε αντιδιαστολή με την Εικόνα 2.36).



Σχήμα 2.39: Η Διατομή του Simulation SC (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.40: Η Διατομή του Simulation SC (Var. 02) [56].

Δεδομένου ότι η συστρόφη των δύο εσωτερικών αγωγών μέσα στο Simulation SC είναι εμφανής (λόγω του ότι έχει κατασκευαστεί από τον τύπο καλωδίου Twisted Cable), δεν χρειάζεται να δώσουμε και εικόνα με απενεργοποιημένο το γέμισμα των καλωδίων με χρώμα.

2.8.6.1 Εσωτερικός Μονωτής του Απλοποιημένου Συνεστραμμένου Διαφορικού Ζεύγους

Σε αντίθεση με ένα Cable Group, που έχει υποχρεωτικά, απ' αρχής έναν «Εσωτερικό» Μονωτή (“Insulator inside”), ένα καλώδιο τύπου Twisted Cable δεν έχει στο περιβάλλον δόμησής του κάποια δυνατότητα για ορισμό ενός μονωτή, που να γεμίζει το εσωτερικό του. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει επειδή δεν αναμένεται κάποιο Twisted Cable να «αφεθεί» ποτέ στο στάδιο της απλής συστρόφης δύο (ή περισσότερων) μονωμένων αγωγών. Δηλ. πάντα θα αναμένεται ότι θα ακολουθήσει κάποιο επιπλέον «ντύσιμό» του (με δεματικά, θωρακίσεις και μονώσεις, αναλόγως την περίπτωση). Και αφού το «ντύσιμο» αυτό θα γίνει σε περιβάλλον δημιουργίας νέου Cable Group, άρα εκεί θα δηλωθεί εκ των πραγμάτων ένας εσωτερικός μονωτής.

Εν προκειμένω, στο απλοποιημένο μοντέλο μας έχουμε την συστρόφη να υλοποιείται από τον τύπο καλωδίου Twisted Cables. Στο πρόγραμμα, ένα τέτοιο καλώδιο υφίσταται στον χώρο με τέλεια συστρόφη. Όμως στην πραγματικότητα μια τέτοια συστρόφη δεν μπορεί να διατηρηθεί αν το καλώδιο δεν λάβει και επιπλέον περίβλημα. Άρα υποχρεωτικά θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα Cable Group, το οποίο θα δώσει σ' αυτόν τον πυρήνα τα επιπλέον στρώματα που απαιτούνται. Αυτό το Cable Group θα δώσει στο συνεστραμμένο καλώδιό μας και τον απαιτούμενο εσωτερικό μονωτή. Σε αυτό το Cable Group, το Simulation SC, αναφερθήκαμε αναλυτικά στην παρούσα υποενότητα, την 2.8.6. Εδώ όμως θα μιλήσουμε λίγο αναλυτικότερα για τον εσωτερικό μονωτή του.

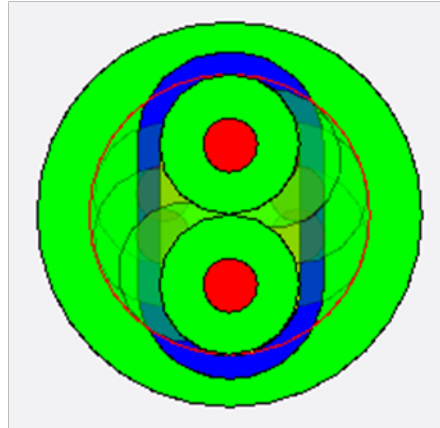
Η μονωτική ουσία που «γεμίζει» όλα τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων του Cable Group, όπως έχουμε αναφέρει και στην παράγραφο 2.8.3.1, στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι απλώς ο αέρας, που φυσιολογικά θα γεμίζει όλα αυτά τα κενά, αν το καλώδιο δεν παράγεται σε συνθήκες κενού. Θα μπορούσε όμως να είναι και κάποιο άλλο διηλεκτρικό, που θα εγχυθεί πιθανόν σε υγρή μορφή. Εμείς, σαν προφανή και λογική διαπίστωση και ελλείψει κάποιας άλλης υποδείξεως από το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], θα θεωρήσουμε ότι το υλικό του εσωτερικού μονωτή είναι ο αέρας.

Όπως έχουμε αναφέρει ξανά και στην παράγραφο 2.8.3.1, δύο είναι οι τρόποι ορισμού του εσωτερικού μονωτή, από το περιβάλλον δημιουργίας ενός Cable Group, είτε σαν Circle, είτε σαν

Wrap (εξαιρούνται τα άλλα σχήματα, όπως ελλειπτικό, ορθογωνικό ή πολυγωνικό, τα οποία δεν μας ενδιαφέρουν για το καλώδιό μας).

Εσωτερικός Μονωτής του Simulation SC ορισμένος σαν “Wrap”:

Αν ο εσωτερικός μονωτής στο Cable Group, που μοντελοποιεί το Simulation SC, οριστεί σαν στρώμα (Wrap) με μηδενικό πάχος, τότε η εικόνα της προεπισκόπησης θα έχει την ακόλουθη μορφή:

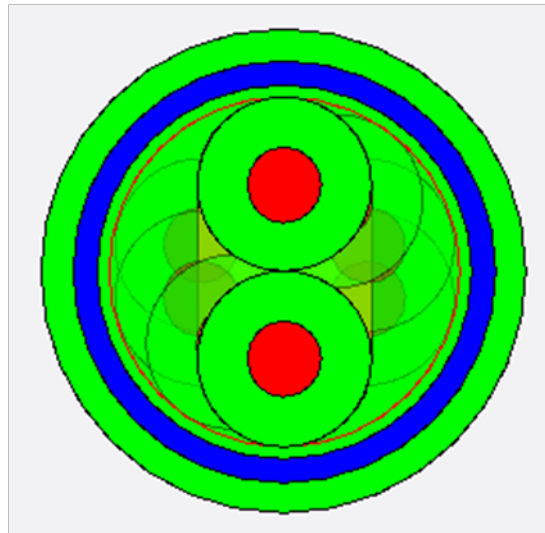


Σχήμα 2.41: Το Simulation SC με Insulator inside ορισμένο σαν Wrap (Var. 01) [56].

Δηλ. ο αέρας που γεμίζει το εσωτερικό του Cable Group, ορισμένος σαν wrap, θα «σφίγγει» φαινομενικά τα υποκαλώδια του Cable Group και αφού έχει μηδενικό πάχος, δεν θα περιβάλλει καθόλου από γύρω τα υποκαλώδια αλλά θα υπάρχει μόνο στα κενά μεταξύ τους.

Το πρόβλημα λοιπόν που ανακύπτει στην περίπτωση αυτή είναι ότι το στρώμα θωρακίσεως που περιβάλλει το Twisted Cable (στην περίπτωση της Var. 01 για αρχή), θα ακολουθήσει το «πεπιεσμένο» σχήμα που θα έχει τώρα η διατομή, ακόμα και αν ο εσωτερικός μανδύας του SC οριστεί με σαφές κυκλικό σχήμα (σαν Circle), όπως φάνηκε στο παραπάνω σχήμα. Δηλ. το πρόβλημα εμφανίζεται όταν προστίθεται στρώμα θωρακίσεως, διότι η θωράκιση δεν μπορεί να οριστεί με σχήμα άκαμπτου κοίλου κυλίνδρου, αλλά υποχρεωτικά θα ακολουθήσει το σχήμα του καλωδίου, που είναι από μέσα της.

από την άλλη, ένα μονωτικό στρώμα θα μπορούσε να οριστεί με σαφές σχήμα εξωτερικής διαμέτρου κυκλικό, ασχέτως του τι θα υπήρχε από μέσα του. Βέβαια, με δοκιμή αντίστοιχη με αυτήν που δείξαμε στην παράγραφο 2.8.3.1 διαπιστώσαμε ότι αν προσθέταμε άλλο ένα μονωτικό στρώμα γύρω από τον πυρήνα του SC, αλλά πριν την θωράκιση (όπως συμβαίνει με την Var. 02, όπου πριν την εσωτερική θωράκιση υπάρχει το SC Binder), ακόμα και αν αυτό είχε οριστεί σαν κύκλος (Circle), πάλι μόνο η εξωτερική του διάμετρος θα ήταν κυκλική. Στο εσωτερικό το μονωτικό αυτό θα γέμιζε όλα τα κενά μεταξύ των δύο συστρεφομένων αγωγών, χωρίς να μένει έξω από τον νοητό κύκλο της συστροφής τους, λόγω του Wrap Insulator inside στο συγκεκριμένο Cable Group. Δηλ. και στην Var. 02 το πρόβλημα δεν χάνεται.



Σχήμα 2.42: To Simulation SC με Insulator inside ορισμένο σαν Wrap (Var. 02) [56].

Οπότε, να μην η ύπαρξη του SC Binder, ορισμένου σαν Circle, βοηθά στο να γίνει κυκλική η θωράκιση και η εξωτερική μόνωση, όμως ο ορισμός του Insulator inside σαν Wrap αναγκάζει το SC Binder να «γεμίζει» τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων σαν να έχει εγχυθεί σε υγρή μορφή. Φυσικά αυτό δεν είναι σωστό, όπως έχουμε επισημάνει ξανά στην παράγραφο 2.8.3.1.

Εσωτερικός Μονωτής του Simulation SC ορισμένος σαν “Circle”:

Αν πάλι ο εσωτερικός μονωτής (Insulator inside) στο Simulation SC οριστεί σαν κύκλος (Circle), τότε η εικόνα που παίρνουμε είναι αυτή των Σχημάτων 2.39 και 2.40 Δηλ. το στρώμα θωράκισης (στην περίπτωση της Var. 01) ή το στρώμα του εσωτερικού δεματικού (στην περίπτωση της Var. 02), που θα ακολουθήσουν αμέσως μετά το Twisted Cable, θα έχουν κανονικό κυκλικό σχήμα, πράγμα που είναι και το σωστό. Συνεπώς, όπως και στην περίπτωση του Presentation SC, το ζήτημα αυτό επιλύεται αν ο Insulator inside οριστεί ως Circle. Γι’ αυτό και αυτή την δεύτερη αυτή μέθοδο επιλέξαμε να ακολουθήσουμε στην υλοποίηση των Cable Groups μας που μοντελοποιούν τα Simulation SCs για τις δύο παραλλαγές.

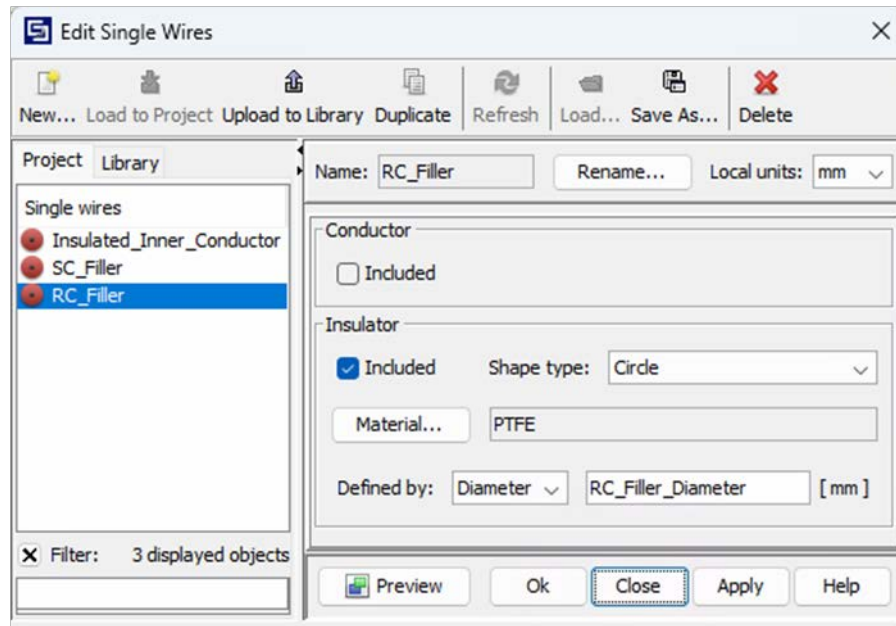
Συμπέρασμα περί του σωστού τρόπου ορισμού του εσωτερικού μονωτή

Με βάσει τις παρατηρήσεις αυτές σχετικά με τον εσωτερικό μονωτή ενός τέτοιου Cable Group, καταλήξαμε στο ακόλουθο συμπέρασμα για τον σωστό τρόπο να τον ορίσουμε στα καλώδιά μας:

- Ο εσωτερικός μονωτής (Insulator inside) στο υποκαλώδιο Simulation SC (και για τις δύο παραλλαγές) πρέπει υποχρεωτικά να οριστεί σαν Circle (διότι αν εδώ ο ορισμός γίνει Wrap τότε είτε η θωράκιση θα «πιέσει προς τα μέσα τα υποκαλώδια» αν είναι αυτή το αμέσως επόμενο στρώμα, είτε το δεματικό θα γεμίσει όλα τα κενά μεταξύ των υποκαλωδίων με πλαστικό αν είναι αυτό το αμέσως επόμενο στρώμα).

2.8.7 Πληρωτής του Καλωδίου SpW

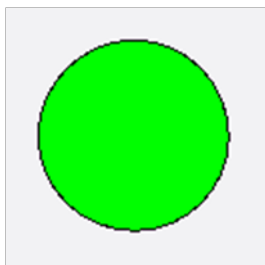
Όπως και για το SC Filler, για την υλοποίηση του **Πληρωτού του Καλωδίου SpW (RC Filler)** χρησιμοποιήσαμε και πάλι το εργαλείο Single Wires. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο ακόλουθο παράθυρο:



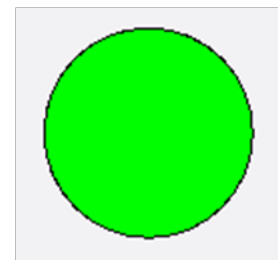
Εικόνα 2.48: Τα χαρακτηριστικά του RC Filler (Var. 01) [56].

Το παράθυρο αυτό είναι πανομοιότυπο και στην Var. 01 και στην Var. 02. Απλώς εκεί είναι άλλη η τιμή της διαμέτρου. Επίσης η μόνη διαφορά που αυτό το Filler έχει από το SC Filler είναι και πάλι στην τιμή που θα έχει η διάμετρος του.

Ακολουθεί η προεπισκόπησή του:



Σχήμα 2.43: Η Διατομή του RC Filler (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.44: Η Διατομή του RC Filler (Var. 02) [56].

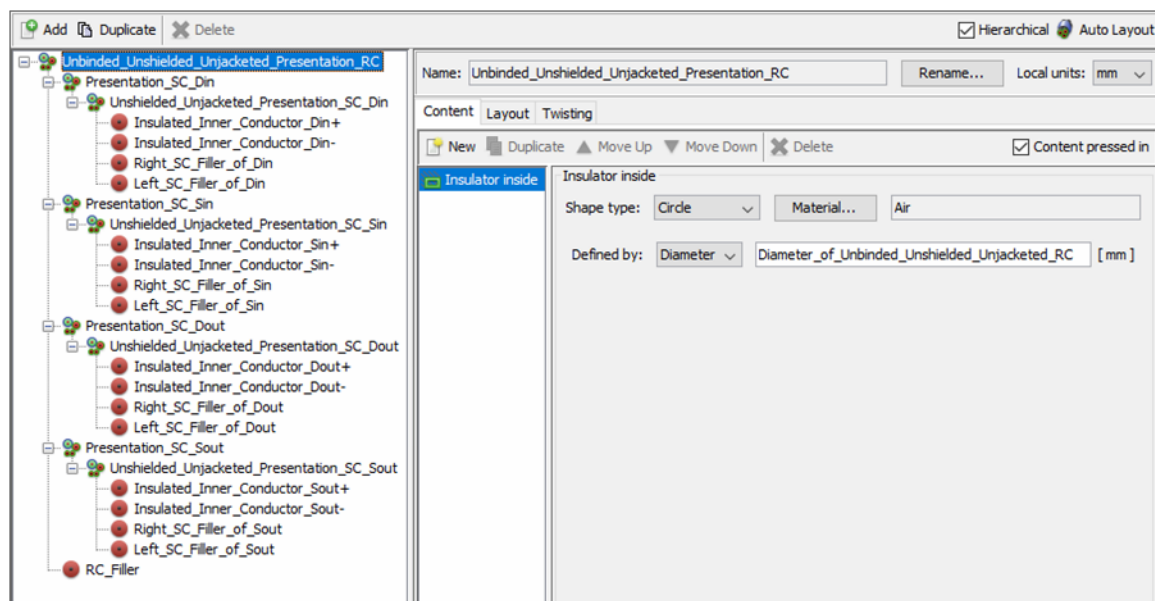
Όπως και πριν, παρατηρούμε και εποπτικά ότι στην Var. 02 ο πληρωτής είναι ελαφρώς μεγαλύτερας διαμέτρου, όπως υπολογίζονται οι σχέσεις (2.39) και (2.129).

Σχόλιο επί των επομένων υποενότητων 2.8.8 έως και 2.8.11:

Έχοντας υλοποιήσει όλα τα βασικά δομικά υποκαλώδια, επόμενη ενέργεια είναι να ομαδοποιήσουμε τα 4 SCs και το RC Filler ώστε να φτιάξουμε τον πυρήνα του RC. Επειδή αυτά τα 4 SCs θα συστραφούν εκ νέου μεταξύ τους (όπως υπαγορεύει το πρότυπο ESCC 3902/003 [8]) και πάλι πρέπει να φτιάξουμε χωριστό Cable Group για τον πυρήνα χωρίς ακόμα το δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα και χωριστό Cable Group για το τελικό καλώδιο, για τον λόγο που έχουμε εξηγήσει στην παράγραφο 2.8.4.1. Επίσης, όπως έχουμε ήδη δει, θα υλοποιήσουμε 2 ειδών καλώδια RC, ένα που θα χρησιμοποιεί το ακριβές μοντέλο του SC (και άρα θα είναι για εποπτικούς λόγους δημιουργημένο και θα λάβει στην ονομασία του ως πρόθεμα την λέξη Presentation) και ένα που θα χρησιμοποιεί το απλοποιημένο μοντέλο του SC (και άρα θα είναι για λόγους προσομοιωτικούς δημιουργημένο και θα λάβει στην ονομασία του ως πρόθεμα την λέξη Simulation).

2.8.8 Πυρήνας του Ακριβούς Καλωδίου SpW

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να συνδυάσουμε ως υποκαλώδια τα 4 Presentation SCs και το RC Filler προκειμένου να δημιουργήσουμε τον **Πυρήνα¹⁰⁷ του Καλωδίου SpW (Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC) (με πλήρη ακρίβεια**, δηλ. με χρήση των SC Fillers¹⁰⁸). Τα χαρακτηριστικά αυτού του Cable Group του φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 2.49: Τα περιεχόμενα του *Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC* (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (Var. 01) [56].

Στην εικόνα αυτή, στο αριστερό μέρος του παραθύρου, έχουμε «αναπτύξει» όλα τα περιεχόμενα κάθε Cable Group που χρησιμοποιείται. Η επιλογή οποιουδήποτε από αυτά τα υποκαλώδια θα μας δείξει τα δικά του χαρακτηριστικά στον κεντρικό χώρο αυτού του παραθύρου.

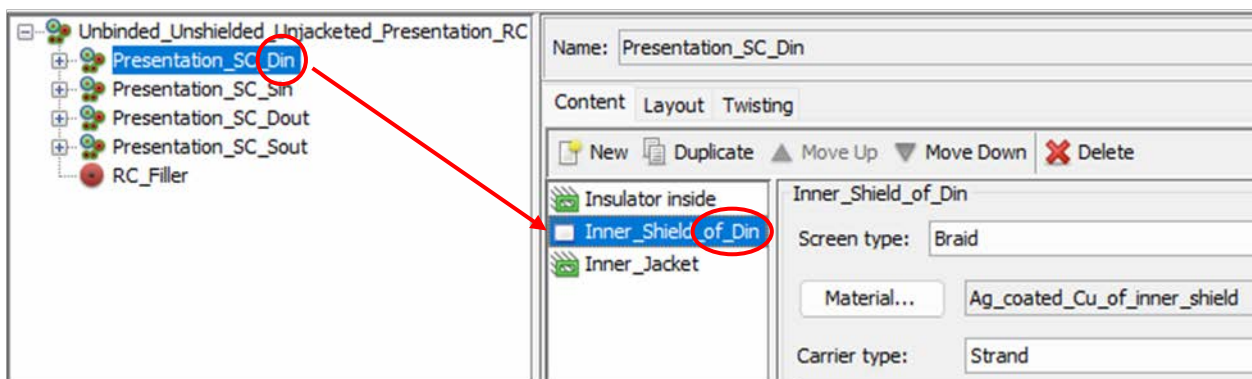
¹⁰⁷ Ο λόγος που είναι απαραίτητο κάθε σύνθετο καλώδιο τύπου Cable Group, το οποίο έχει συστρόφι στα περιεχόμενα σε αυτό υποκαλώδια, να υλοποιείται σε δύο βήματα, πρώτα σαν πυρήνας και μετά σαν πλήρες καλώδιο (με στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων), εξηγείται στην παράγραφο 2.8.4.1.

¹⁰⁸ Σε αντίθεση με το απλοποιημένο RC, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια, στις υποενότητες 2.8.10 και 2.8.11.

Σχόλιο περί της διαφορετικής ονομασίας των υποκαλωδίων και των αγωγίμων μερών του RC:

Από την Εικόνα 2.49 παρατηρούμε ότι ορίσαμε σαφή και διακριτά – διαφορετικά ονόματα σε κάθε υποκαλώδιο SC αλλά και σε κάθε εσωτερικό αγωγό, που ξεκαθαρίζουν το σε ποιο διαφορετικό ζεύγος (Din, Sin, Dout, Sout) ανήκουν. Σε αντίθεση δηλ. με την περίπτωση του Presentation SC (βλ. τις Εικόνες 2.26 ή 2.29), όπου οι εσωτερικοί αγωγοί του διαφορετικού ζεύγους έπρεπε να διακριθούν απλά ο ένας από τον άλλον, εν προκειμένω αυτό δεν αρκεί διότι είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη να φαίνεται και ο κάθε εσωτερικός αγωγός και σε ποιο διαφορετικό ζεύγος ανήκει. Άρα από το αριστερό μέρος του παραθύρου των χαρακτηριστικών του Cable Group επιλέξαμε ένα ένα αυτά τα υποκαλώδια και τους δώσαμε τα ονόματα που έπρεπε.

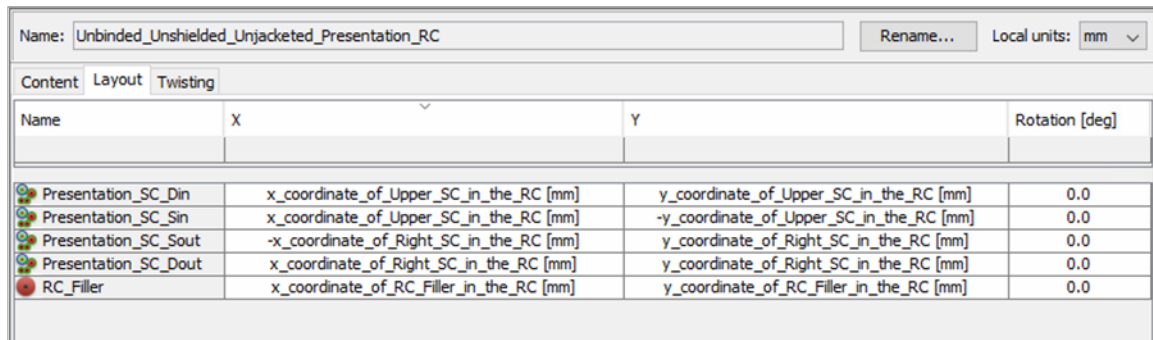
Εκτός αυτού όμως, πρέπει και η κάθε εσωτερική θωράκιση να λάβει διαφορετικό όνομα, δηλωτικό του διαφορετικού ζεύγους το οποίο θωρακίζει. Όπως έχουμε πει, αν σε κάθε υποκαλώδιο, από το αριστερό μέρος του παραθύρου των χαρακτηριστικών του Cable Group, κάνουμε διπλό κλικ, τότε στον κεντρικό χώρο του παραθύρου και στην πρώτη καρτέλα (την καρτέλα Content) θα δούμε και το όνομα στην θωράκισή του. Με δεξί κλικ αυτό το όνομα μπορεί να αλλάξει. Ενδεικτικά παραθέτουμε σε εικόνα το περιεχόμενο του υποκαλωδίου Presentation_SC_Din για να φανεί το νέο όνομα της θωράκισής του: το “Inner_Shield_of_Din”.



Εικόνα 2.50: Τα περιεχόμενα του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (η διαφορετική ονομασία των εσωτερικών θωρακίσεων) (Var. 01) [56].

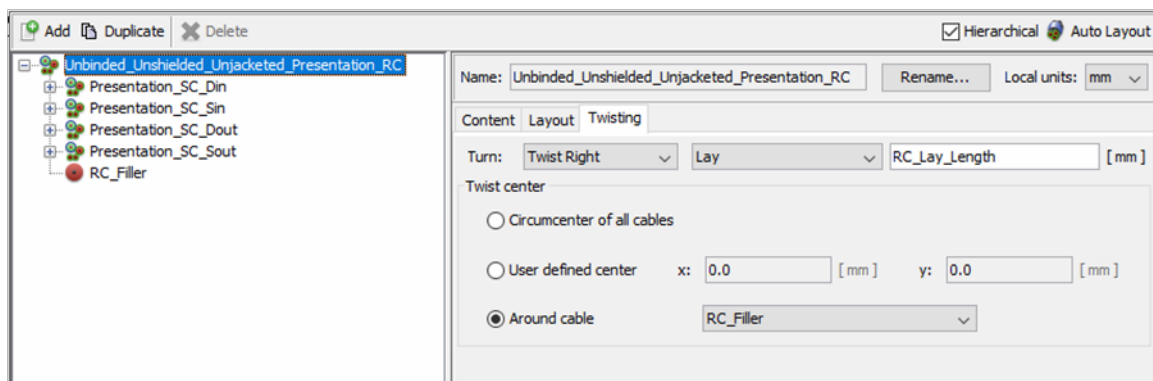
Συνεπώς είναι αναγκαίο να δοθούν διαφορετικά ονόματα στα 4 SCs, στους 8 συνολικά εσωτερικούς αγωγούς (2 για το κάθε ένα) αλλά και στις 4 εσωτερικές θωρακίσεις τους, έτσι ώστε να φαίνεται άμεσα το σε ποιο διαφορετικό ζεύγος (Din, Sin, Dout, Sout) ανήκει το αντίστοιχο αγωγίμο μέρος του SpW. Αυτό είναι καθοριστικής σημασίας, όπως θα διαπιστώσουμε στο Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται το πώς πραγματοποιείται η σύνδεση των εσωτερικών αγωγών και των θωρακίσεων αυτών με τις επαφές των συνδέσμων – βυσμάτων του όλου Συναρμολογήματος του Καλωδίου SpW (SpW Cable Assembly) και θα δούμε ότι, προκειμένου αυτή η σύνδεση να πραγματοποιηθεί χωρίς λάθη, πρέπει προφανώς όλα τα αγωγίμα μέρη του καλωδίου να έχουν διακριτά ονόματα.

Κατά τα άλλα, στην Εικόνα 2.49 παρατηρούμε ότι (όπως και στην περίπτωση του πυρήνα του Presentation SC,) διαγράψαμε τα επιπλέον στρώματα θωράκισης και μόνωσης κρατώντας μόνο τον εσωτερικό μονωτή, δηλ. το μονωτικό υλικό που θα γεμίζει τα κενά ανάμεσα στα υποκαλώδια που περιλαμβάνει το Cable Group. Ως υλικό γι’ αυτό επιλέχθηκε ο αέρας διότι αυτό το υλικό βρίσκεται στα μεταξύ των κενών των υποκαλωδίων. Το μονωτικό αυτό ορίστηκε με διάμετρο, δηλ. σαν κύκλος (Circle) και όχι σαν στρώμα (Wrap), για τους λόγους που έχουμε ήδη εξηγήσει στην παράγραφο 2.8.3.1 (όπου εξηγήθηκε για τον πυρήνα του Presentation SC, αλλά ισχύει όμοια και για τον πυρήνα του Presentation RC).



Name	X	Y	Rotation [deg]
Presentation_SC_Din	x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Presentation_SC_Sin	x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	-y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Presentation_SC_Sout	-x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Presentation_SC_Dout	x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	0.0
RC_Filler	x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC [mm]	0.0

Εικόνα 2.51: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του *Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 01)* [56].



Εικόνα 2.52: Η δήλωση της Συστροφής στο *Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 01)* [56].

Στην Εικόνα 2.51 βλέπουμε πώς καθορίζεται η θέση των υποκαλωδίων μέσα σε αυτό το Cable Group, ως γνωστόν από την καρτέλα Layout¹⁰⁹. Εδώ φαίνεται η αναγκαιότητα της παραμετροποίησης των συντεταγμένων, διότι τώρα, ακόμη και αν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια παράμετρο από αυτές του προτύπου, οι θέσεις των συνιστωσών του RC θα εξακολουθήσουν να είναι οι σωστές γεωμετρικά, σύμφωνα και με την ανάλυση που προηγήθηκε στην παράγραφο 2.5.3.3.

Τέλος στην Εικόνα 2.52 βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιείται η συστροφή (twisting) των υποκαλωδίων ενός Cable Group (στο αριστερό μέρος έχουμε αφήσει να φαίνονται μόνο τα 4 βασικά υποκαλώδια αυτού του Cable Group διότι άλλωστε αυτά μόνο αφορά η συστροφή). Ως συνήθως, επειδή το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] δεν συγκεκριμενοποιεί την φορά συστροφής, αυθαίρετα έχουμε επιλέξει την δεξιόστροφη, εδώ όμως πλέον το μήκος συστροφής είναι άλλο, αυτό του RC. Τώρα, εν προκειμένω η συστροφή δεν έγινε γύρω από το νοητό κέντρο του Cable Group δηλ. το σημείο (0,0) του επιπέδου της διατομής, αλλά γύρω από το κεντρικό filler. Αυτή η αλλαγή έχει σημασία, διότι στα SCs και τα 4 υποκαλώδια (δύο αγωγοί και δύο fillers) οφείλουν να συμμετέχουν στην συστροφή. Όμως στο RC, μόνο τα 4 SCs πρέπει να συστραφούν και το κεντρικό filler μπαίνει για βοηθητικούς λόγους, ώστε να έχουν έναν «οδηγό κύλινδρο» και να συστραφούν γύρω του. Αν ορίζαμε την συστροφή γύρω από το νοητό κέντρο του Cable Group, δηλ. το σημείο (0,0), τότε και το RC Filler θα συστρεφόταν γύρω από τον διαμήκη άξονά του. Όμως το ίδιο το κεντρικό filler δεν έχει νόημα να συστραφεί και πολύ περισσότερο δεν πρέπει να συστραφεί, διότι θα καταπονηθεί με μια

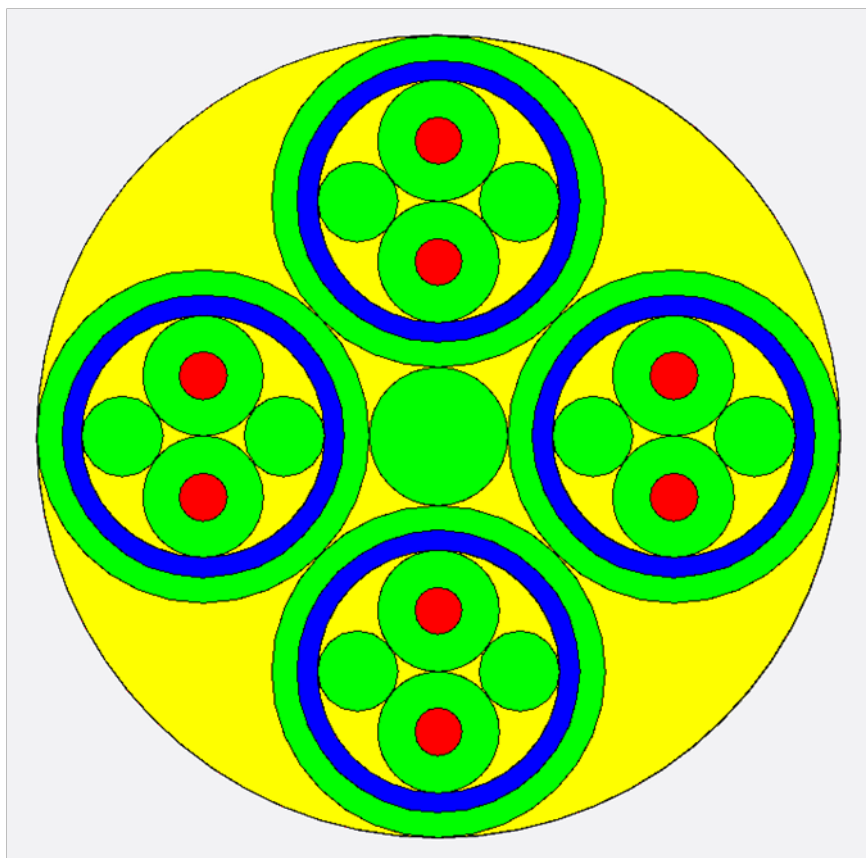
¹⁰⁹ Με την θεώρηση ότι το κέντρο του Cable Group βρίσκεται στο σημείο (0,0) σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm, όπως φαίνεται στο πάνω δεξιά μέρος της Εικόνας 2.51.

ανούσια στρεπτική ροπή, η οποία επιπλέον θα «πιέζει» μονίμως τα 4 SCs γύρω του, καθώς θα τείνει να εκτονωθεί (σαν να στρίβεις μια γομολάστιχα!)¹¹⁰.

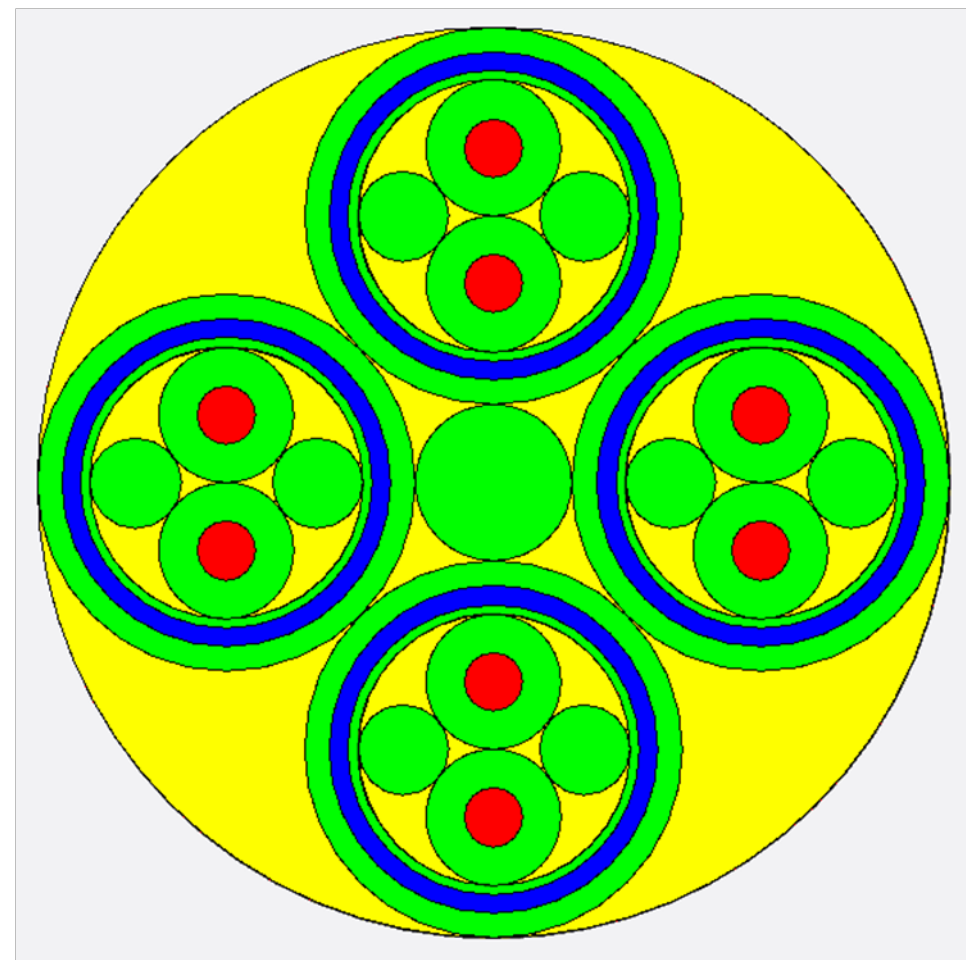
Επισημαίνουμε απλώς ότι για τις εικόνες της υποενότητας αυτής δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ Var. 01 και Var. 02 (πλην των ονομάτων των πυρήνων των SCs και φυσικά των διαφορετικών τιμών στις διαμέτρους), γι' αυτό και δεν παραθέτουμε αντίστοιχες εικόνες από την Var. 02.

Παρακάτω βλέπουμε την προεπισκόπηση της διατομής του πυρήνα του Presentation RC, για τις δύο παραλλαγές. Για οικονομία χώρου τις παραθέτουμε σε οριζόντια διάταξη σελίδας.

¹¹⁰ Φυσικά δεν υπάρχει τέτοιος κίνδυνος σε προσομοιωτικό περιβάλλον, διότι η προσομοίωση, την πληροφορία για συστροφή και του RC Filler θα την υλοποιήσει, διατηρώντας αμετάβλητα τα χαρακτηριστικά του υπολοίπου συστήματός. Απλώς το ορθό είναι να υλοποιήσουμε την συστροφή με τρόπο που να ανταποκρίνεται και στην πραγματικότητα.

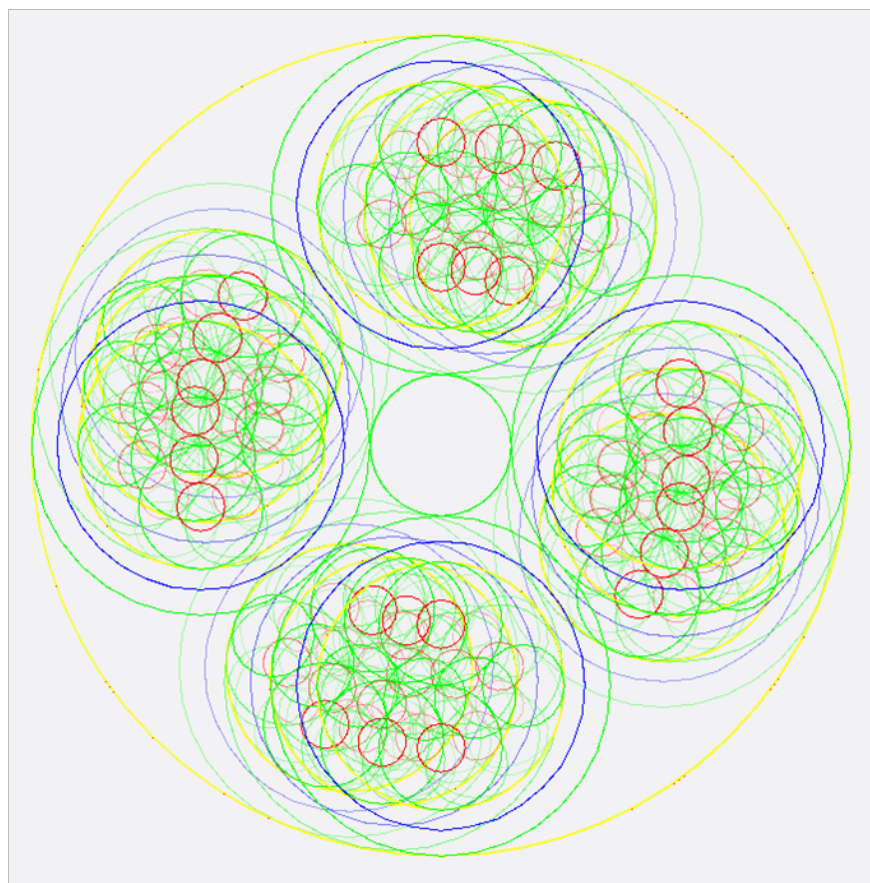


Σχήμα 2.46: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 01) [56].

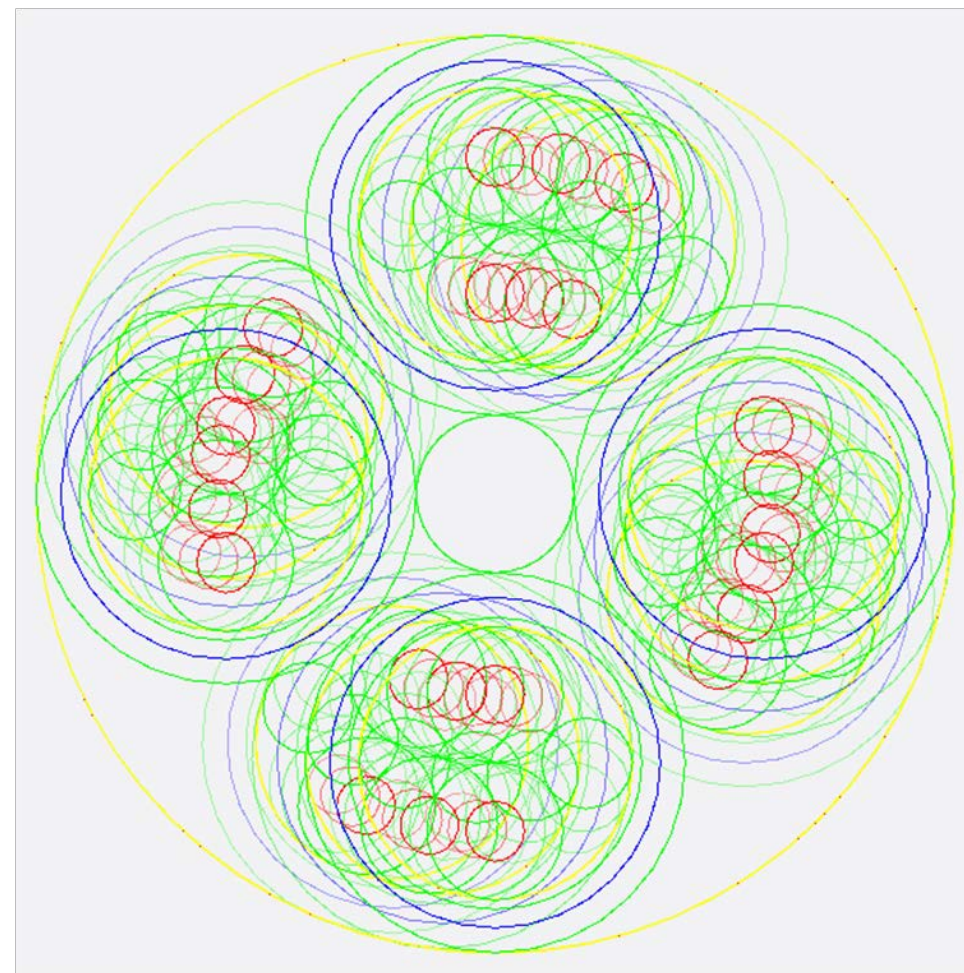


Σχήμα 2.45: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 02) [56].

Και με απενεργοποίηση της επιλογής Display Filled, βλέπουμε και την συστροφή του περιεχομένου των δύο αυτών Cable Groups.



Σχήμα 2.48: Η Συστροφή του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.47: Η Συστροφή του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (Var. 02) [56].

Μάλιστα τώρα φάνηκε και η συστροφή και των 4 SCs γύρω από το RC Filler αλλά και η συστροφή κάθενός SC γύρω από τον διαμήκη άξονά του.

2.8.8.1 Χωρική διάταξη των τεσσάρων SCs εντός του RC

Παρατηρώντας τις συντεταγμένες στην Εικόνα 2.51, διαπιστώνουμε ότι η τοποθέτηση των 4 SCs έχει γίνει έτσι ώστε το SC του σήματος Din να βρίσκεται επάνω, το SC του σήματος Sin να βρίσκεται κάτω, το SC του σήματος Dout να βρίσκεται δεξιά και το SC του σήματος Sout να βρίσκεται αριστερά (για ένα στιγμιότυπο της συστροφής στο οποίο τα καλώδια σχηματίζουν σταυρό, όπως φαίνεται στην προεπισκόπηση των Σχημάτων 2.45 και 2.46). Αυτό ακριβώς φαίνεται καλύτερα και στο Σχήμα 2.6, που προηγήθηκε.

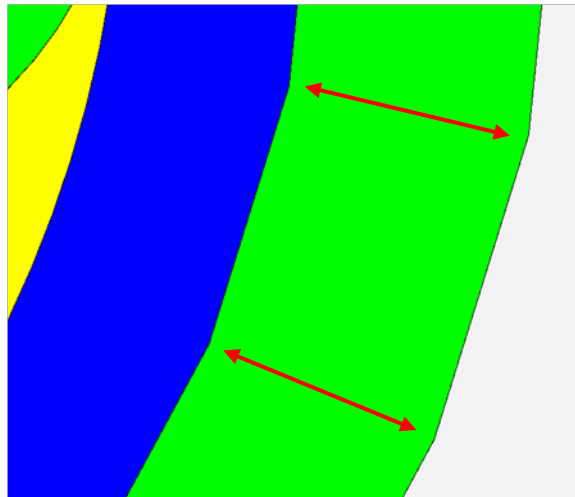
Από την μελέτη του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], αλλά και του ESCC 3902/003 [8] βλέπουμε ότι δεν παρατίθεται κάποια ιδιαίτερη απαίτηση προς τούτο. Απλώς επιλέξαμε, σαν πιο λογική προσέγγιση, να τοποθετήσουμε έτσι τα SCs ώστε απέναντι από κάθε διαφορικό ζεύγος να βρίσκεται το «ομόλογό» του στην Data – Strobe κωδικοποίηση. Η τοποθέτηση αυτή εφαρμόστηκε τόσο στην Var. 01 όσο και στην Var. 02 και στους δύο τύπους Καλωδίου SpW, το Presentation RC και το Simulation RC (τους οποίους θα αναπτύξουμε στις υποενότητες 2.8.9 και 2.8.11).

2.8.8.2 Επαφή των υποκαλωδίων εντός του SpW μεταξύ τους

Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 2.5.3.3, όπου εξηγήσαμε τους λόγους δημιουργίας της παραμέτρου *Min_Distance_between_subcables*, αρχικά, πριν εφαρμόσουμε αυτή την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τεσσάρων SCs, τα είχαμε να εφάπτονται ακριβώς μεταξύ τους και με το κεντρικό filler. Την ακριβέστατη αυτή επαφή κατορθώσαμε με δύο ενέργειες. Η μία, η καθαρά μαθηματική, είναι ότι ορίσαμε τις διαμέτρους των τεσσάρων SCs και του RC_Filler στις ακριβείς τιμές που μας υπαγόρευε η γεωμετρία της διάταξης, όπως την εξηγήσαμε στην παράγραφο 2.5.3.3. Η δεύτερη ενέργεια έχει να κάνει με τον τρόπο που ορίστηκαν τα μονωτικά στρώματα των SCs και θα εξηγηθεί αμέσως.

Το πρόβλημα που παρατηρήθηκε

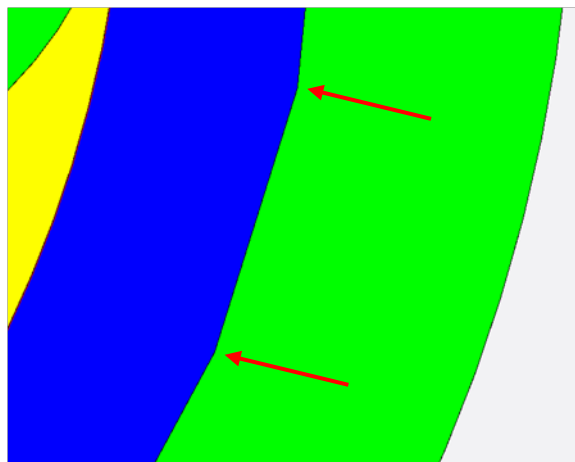
Στην πρώτη προσπάθεια δημιουργίας της διατομής του SC για την Var. 01, το μονωτικό στρώμα το ορίσαμε ως Wrap. Φυσικά στην προεπισκόπηση, το καλώδιο φαινόταν να έχει κυκλικό σχήμα, αφού ο Insulator inside ήταν ορισμένος ως Circle. Άρα και η θωράκιση και το Inner Jacket φαινόταν κυκλικά. Όταν όμως πήγαμε να τοποθετήσουμε τα τέσσερα SCs εντός του RC στις σωστές συντεταγμένες ώστε να εφάπτονται απόλυτα, όπως υπαγόρευε η γεωμετρία, το πρόγραμμα εμφάνισε μήνυμα λάθους και αδυναμίας να προχωρήσει στην υλοποίηση αυτή, με αιτιολόγηση ότι τα υποκαλώδια έχουν επικάλυψη μεταξύ τους. Αυτό μας προβλημάτισε έντονα και μετά από αρκετή διερεύνηση παρατηρήσαμε ότι υπήρχε ένα παράδοξο σημείο στην υλοποίηση των στρωμάτων θωράκισης και μόνωσης των SCs, αντιληπτό μόνο με έντονη μεγέθυνση της προεπισκόπησης. Συγκεκριμένα, όταν εστιάζαμε στην περιφέρεια του SC παρατηρούσαμε ότι τόσο η θωράκιση όσο και το Inner Jacket δεν είχαν περιφέρεια τελείου κύκλου, αλλά ενός κανονικού πολυγώνου, με αρκετές βέβαια κορυφές ώστε να φαίνεται εκ του μακρόθεν ως κύκλος, αλλά εν πάσει περιπτώσει πολυγώνου. Παραθέτουμε ενδεικτικά μια τέτοια εικόνα σε μεγέθυνση για να γίνει αντιληπτό το φαινόμενο.



Σχήμα 2.49: Μεγέθυνση στην περιφέρεια του SC όταν το Inner Jacket είναι ορισμένο σαν Wrap (Var. 01) [56].

Η επίλυση του προβλήματος

Υποθέσαμε λοιπόν ότι αυτή η «γωνιώδης» περιφέρεια των SCs είναι υπεύθυνη για την ελάχιστη επικάλυψη μεταξύ τους (η οποία δεν είναι βέβαια ορατή στην φυσιολογική μεγέθυνση αλλά είναι φυσικά αντιληπτή από το πρόγραμμα). Και για να το αποφύγουμε αυτό δοκιμάσαμε να ορίσουμε το στρώμα του Inner Jacket όχι ως Wrap αλλά ως Circle (βλ. Εικόνα 2.34), δηλ. σαν κοίλο κύλινδρο με εξωτερική ακτίνα αυτή του SC. Με την αλλαγή αυτή πλέον το μήνυμα λάθους έπαψε να εμφανίζεται και το πρόγραμμα αποδέχθηκε κανονικά την τοποθέτηση των τεσσάρων SCs έτσι ώστε να εφάπτονται ακριβώς. Πάλι με μεγέθυνση της περιφέρειας του SC διαπιστώσαμε ότι απέκτησε κυκλικό σχήμα, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.50: Μεγέθυνση στην περιφέρεια του SC όταν το Inner Jacket είναι ορισμένο σαν Circle (Var. 01) [56].

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι η θωράκιση δεν παύει να έχει σχήμα πολυγώνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μόνο τα μονωτικά στρώματα που ορίζονται ως Circle μπορούν να διατηρούν κυκλικό σχήμα περιφέρειας. Οι θωρακίσεις που δεν έχουν από μέσα τους κάποιο μονωτικό στρώμα ορισμένο ως Circle (όπως το binder που έχει το RC πριν την θωράκισή του), αναγκαστικά

εμφανίζουν αυτήν την πολυγωνική μορφή. Όμως αφού η εξωτερική περιφέρεια έχει ιδανικό κυκλικό σχήμα, τα καλώδια εφάπτονται σωστά (κι ας είναι έτσι οι εσωτερικές θωρακίσεις τους).

Τώρα στην περίπτωση του SC της **Var. 02**, επειδή κάτω από την εσωτερική θωράκιση υπάρχει το εσωτερικό δεματικό, ο ορισμός αυτού σαν Circle (βλ. Εικόνα 2.31) καθιστά τέλειο κύκλο και την θωράκιση που ακολουθεί. Οπότε, ως εκ τούτου και το ανώτερο στρώμα του μονωτικού μανδύα μπορεί να οριστεί σαν Wgap (βλ. Εικόνα 2.35) και να είναι πάλι τέλειος κύκλος στην μεγέθυνση

Αυτή η προσέγγιση με σκοπό την επίτευξη μιας περιφέρειας τελείου κύκλου στο SC, πρέπει να ακολουθηθεί (πάντοτε αναλόγως την Variant) και για το Presentation SC και για το Simulation SC, αφού και τα δύο θα χρησιμοποιηθούν για να δομήσουν ένα αντίστοιχο RC. Άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα που αναπτύσσεται στην συνέχεια.

Συμπέρασμα περί του σωστού τρόπου ορισμού των μονωτικών στρωμάτων Binder και Jacket

Με βάσει τις παρατηρήσεις αυτές, καταλήξαμε στο ακόλουθο συμπέρασμα για τον σωστό τρόπο με τον οποίο πρέπει να ορίσουμε τα μονωτικά στρώματα στα καλώδιά μας:

- Το πρώτο μονωτικό στρώμα που θα έλθει μετά τον Insulator inside θα πρέπει να οριστεί ως Circle. Αυτό θα είναι το binder όπου υπάρχει (στο Presentation SC¹¹¹ και στο Simulation SC¹¹² της Var. 02 αλλά και στο Presentation RC¹¹³ και Simulation RC¹¹⁴ και για τις δύο παραλλαγές) ή το Inner Jacket εκεί που δε υπάρχει binder πριν την θωράκιση (στο Presentation SC¹¹⁵ και στο Simulation SC¹¹⁶ της Var. 01).

Ακριβώς αυτές οι ενέργειες ακολουθήθηκαν κατά την υλοποίηση της διατομής τόσο για την Var. 01 όσο και για την Var. 02.

¹¹¹ Βλ. στην υποενότητα 2.8.4 για αυτό το υποκαλώδιο.

¹¹² Βλ. στην υποενότητα 2.8.6 για αυτό το υποκαλώδιο.

¹¹³ Θα αναφερθούμε σε αυτό το καλώδιο στην υποενότητα 2.8.9.

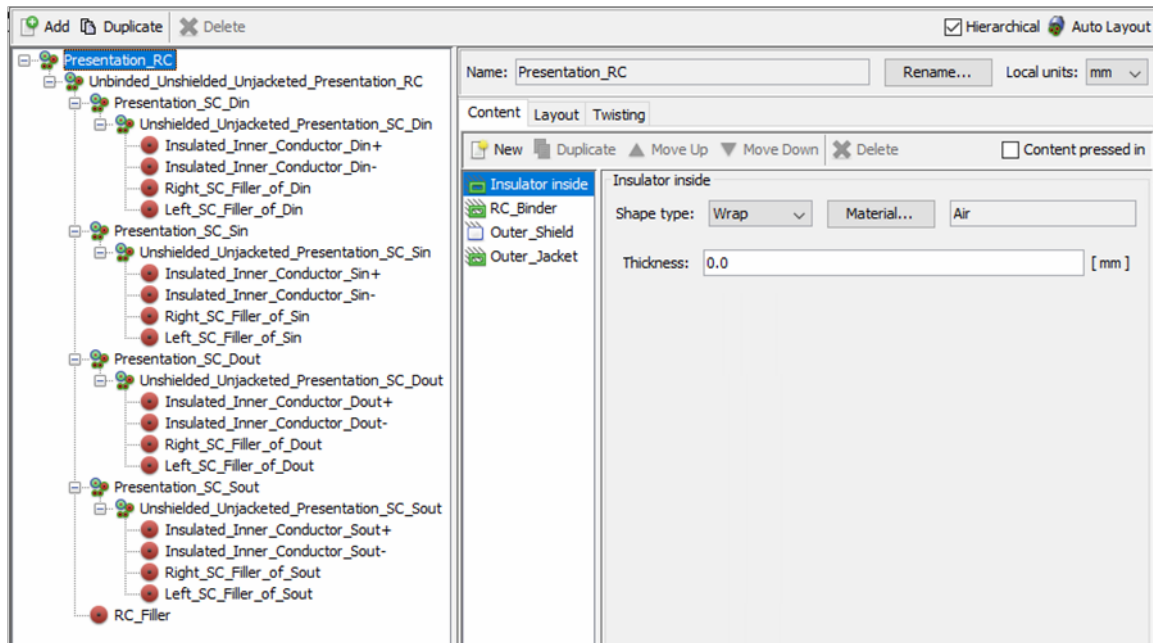
¹¹⁴ Θα αναφερθούμε σε αυτό το καλώδιο στην υποενότητα 2.8.11.

¹¹⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 111.

¹¹⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 112.

2.8.9 Ακριβές Καλώδιο SpW

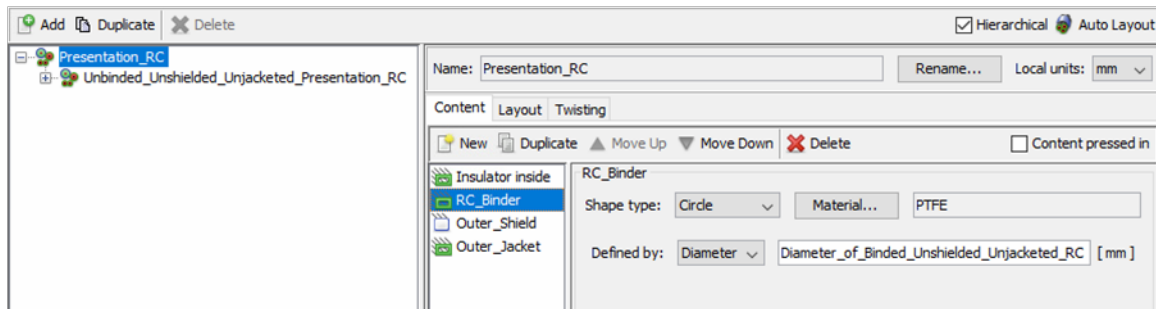
Επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε το **Καλώδιο SpW (Presentation RC)** (με πλήρη ακρίβεια, δηλ. με χρήση των SC Fillers¹¹⁷). Αυτό θα γίνει αν δώσουμε στον πυρήνα του ακριβούς RC, που ήδη ορίσαμε, το εξωτερικό δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμά του. Για τον λόγο αυτό ορίσαμε ένα νέο Cable Group, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στην συνέχεια:



Εικόνα 2.53: Τα περιεχόμενα του *Presentation RC* (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (*Var. 01*) [56].

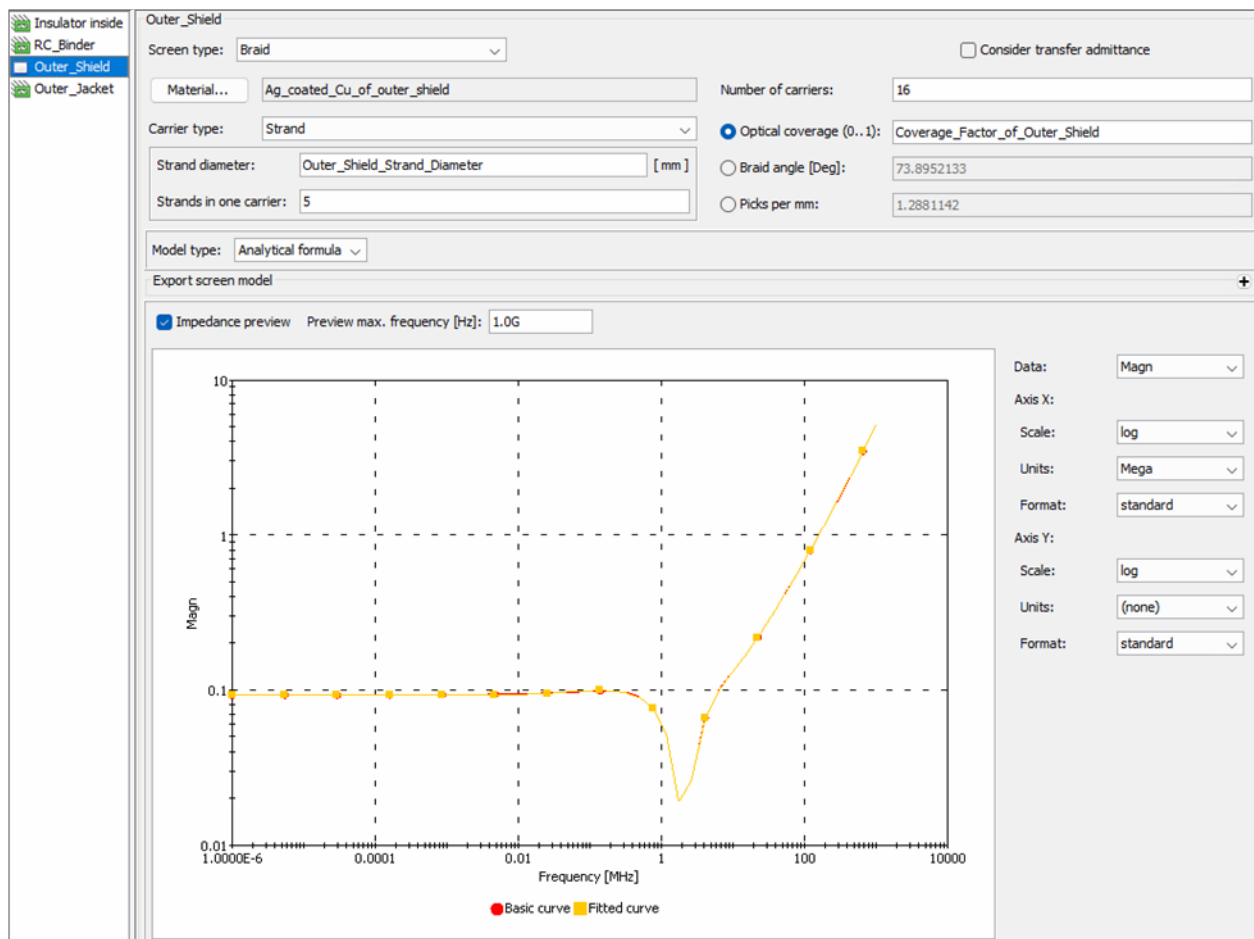
Στην Εικόνα 2.53 έχουμε τις πληροφορίες του εσωτερικού μονωτή. Επειδή ήδη ο πυρήνας του *Presentation RC* έχει εσωτερικό μονωτή (στον οποίο έχουμε αναφερθεί στην υποενότητα 2.8.8), εν προκειμένω δεν ορίσαμε πάλι κάποιον αντίστοιχο μονωτή, εξ' ου και το μηδενικό πάχος αυτού στην πρώτη εικόνα (βλ. και το σχετικό συμπέρασμα στο τέλος της παραγράφου 2.8.3.1). Κατά τα άλλα, όπως κάναμε και με τα προηγούμενα υποκαλώδια, έτσι και εδώ στην εικόνα αυτή, στο αριστερό μέρος του παραθύρου, έχουμε «αναπτύξει» όλα τα περιεχόμενα κάθε Cable Group που χρησιμοποιείται. Φαίνονται και πάλι τα διαφορετικά ονόματα των περιεχομένων υποκαλωδίων.

¹¹⁷ Σε αντίθεση με το απλοποιημένο RC, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια, στις υποενότητες 2.8.10 και 2.8.11.

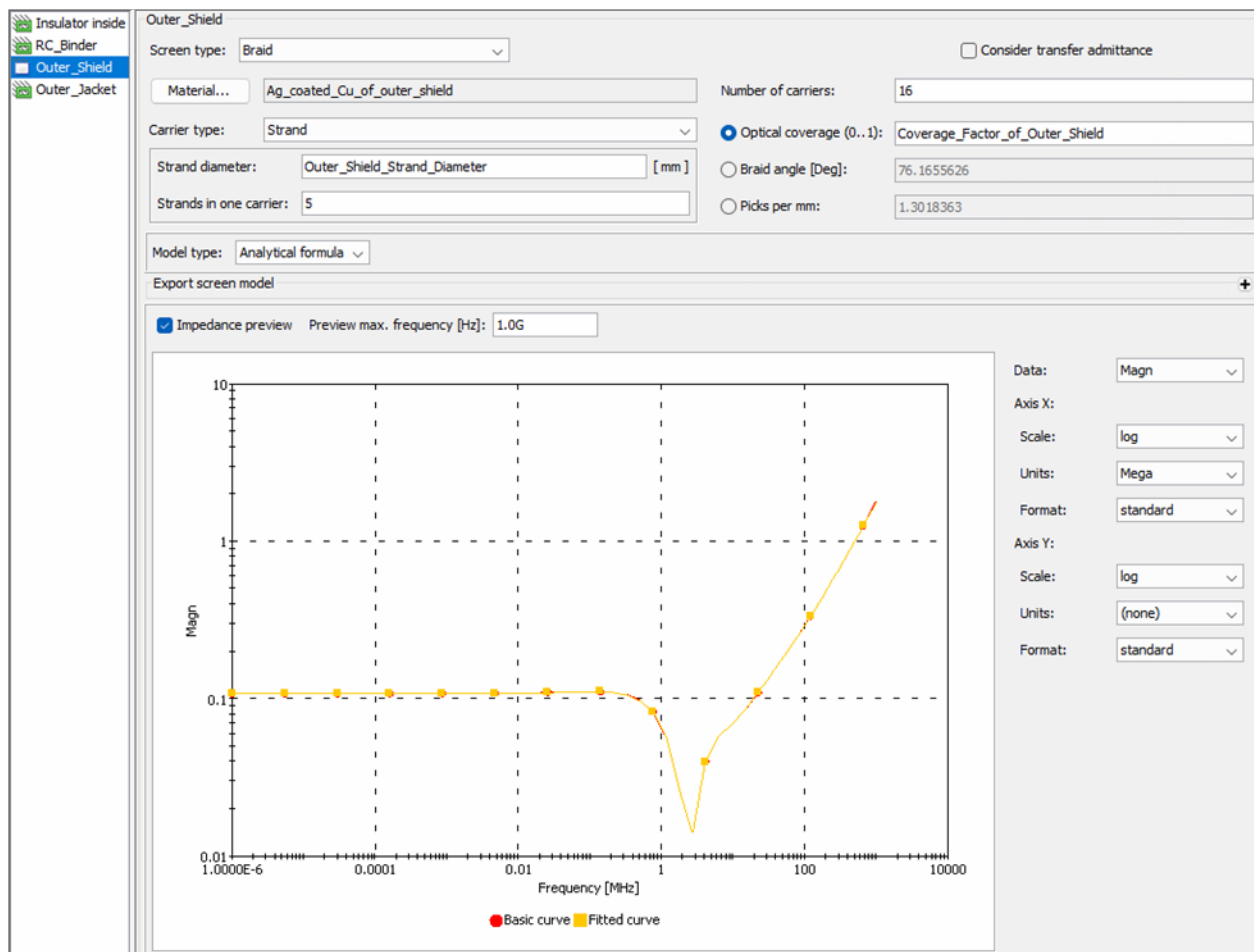


Εικόνα 2.54: Τα περιεχόμενα του Presentation RC (εξωτερικό δεματικό) (Var. 01) [56].

Στην Εικόνα 2.54 βλέπουμε το υλικό και τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού δεματικού (RC Binder). Ως υλικό για το SC Binder δηλώθηκε το PTFE, όπως υπαγόρευε το πρότυπο ESCC 3902/003 [8].



Εικόνα 2.55: Τα περιεχόμενα του Presentation RC (εξωτερική θωράκιση) (Var. 01) [56].



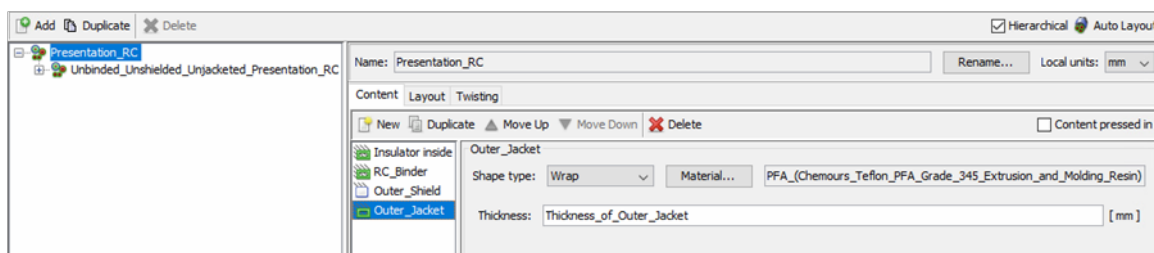
Εικόνα 2.56: Τα περιεχόμενα του Presentation RC (εξωτερική θωράκιση) (Var. 02) [56].

Στις Εικόνες 2.55 και 2.56 (για την Var. 01 και για την Var. 02 αντίστοιχα) έχουμε εστιάσει στα χαρακτηριστικά της θωράκισης του RC [υλικό της θωράκισης, τύπος της θωράκισης (εν προκειμένω «πλεκτή θωράκιση», άρα “Braid” στο πεδίο Screen type) και άλλα]¹¹⁸. Επιπλέον το περιβάλλον αυτό μας δείχνει και ένα γράφημα της εμπεδήσεως της θωράκισης.

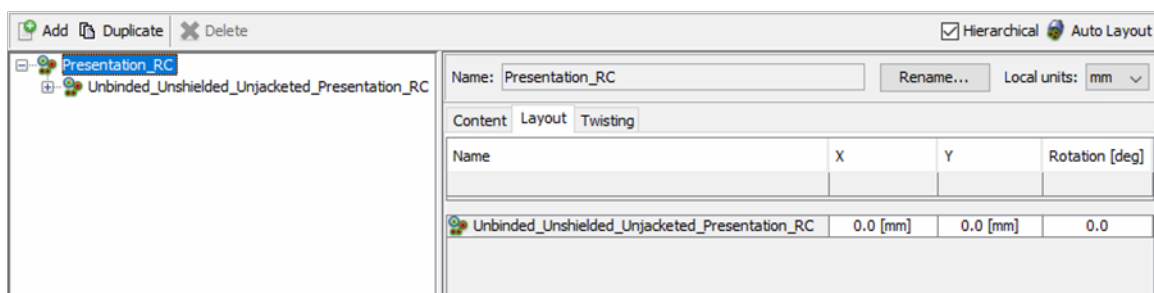
Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές στην εξωτερική θωράκιση μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Όπως συνέβαινε και για τις εσωτερικές θωράξεις, εν προκειμένω και για την εξωτερική θωράκιση τα χαρακτηριστικά του υλικού της και του τρόπου υλοποίησής της (δηλ. η διάμετρος των νημάτων, το πλήθος φερουσών και το πλήθος των νημάτων ανά φέρουσα) είναι ίδια και στην Var. 01 και στην Var. 02. Όμως παρατηρούμε ότι το γράφημα της εμπεδήσεως της θωράκισης δεν είναι ίδιο για τα RCs των Var. 01 και Var. 02. Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι ίδια όπως και στην περίπτωση της εσωτερικής θωράκισης του SC (βλ. το σχόλιο σχετικά με τις διαφορές της εσωτερικής θωράκισης μεταξύ των δύο παραλλαγών, στην υποενότητα 2.8.4). Επειδή στην Var. 02 η διάμετρος του πυρήνα του RC είναι μεγαλύτερη απ’ ότι στην Var. 01, η σταθερή απαίτηση για παράγοντα κάλυψης 90% οδηγεί σε μια πλεκτή θωράκιση με διαφορετική γωνία πλέξεως και διαφορετικό βήμα πλέξεως, απ’ ότι στην Var. 01 (κάτι που παρατηρούμε από τα πεδία Braid angle [Deg] και Picks per mm στις Εικόνες 2.55 και 2.56). Συνεπώς αυτή είναι μια εξήγηση για την διαφορά στην εμπεδήση των δύο θωράξεων.

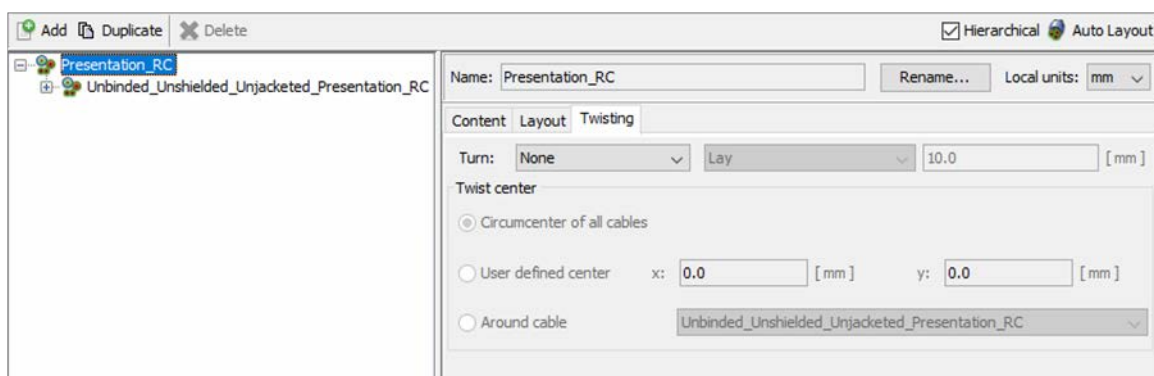
¹¹⁸ Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την πλεκτή θωράκιση μπορεί να βρει κανείς στο Παράρτημα Α.



Εικόνα 2.57: Τα περιεχόμενα του Presentation RC (εξωτερικός μανδύας) (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.58: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Presentation RC (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.59: Η δήλωση της Συστροφής στο Presentation RC (Var. 01) [56].

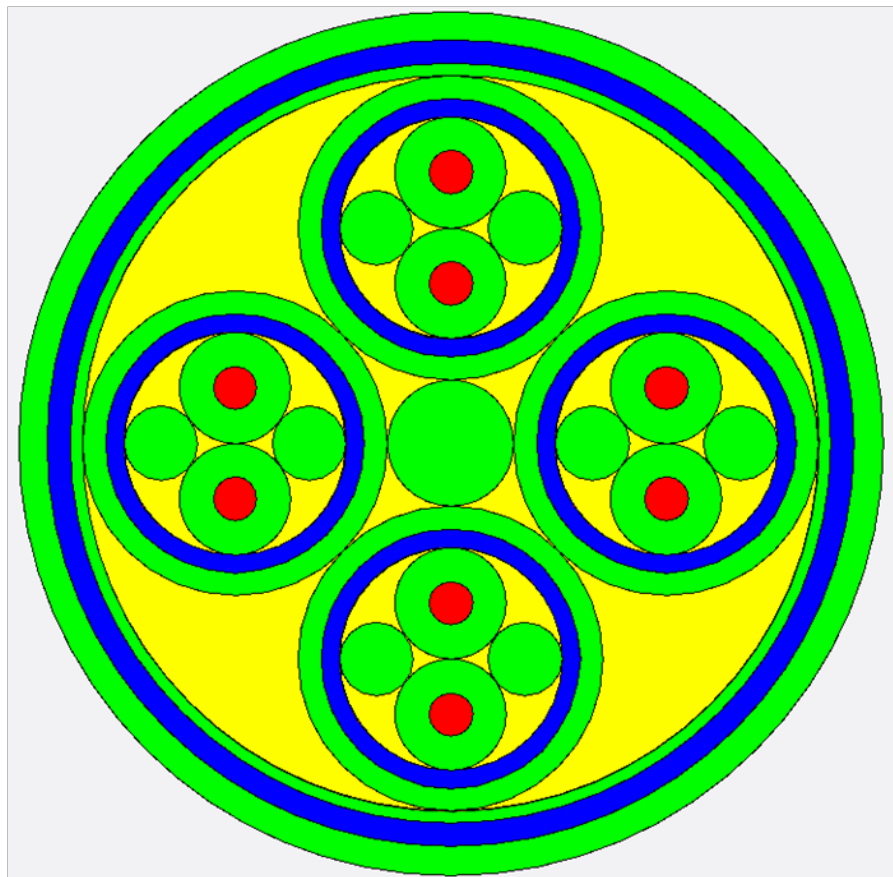
Στην Εικόνα 2.57 βλέπουμε το υλικό και τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος (Outer Jacket). Για αυτό το μονωτικό στρώμα δεν υπήρχε ιδιαίτερος γεωμετρικός λόγος να είναι ορισμένο ως κοίλος κύλινδρος καθοριζόμενος από διάμετρο, δηλ. ως Circle (όπως έπρεπε να ισχύει για τον μανδύα των SCs, βάσει των λεγομένων στην παράγραφο 2.8.8.2), οπότε ορίστηκε ως Wrap.

Στην Εικόνα 2.58 βλέπουμε την διάταξη – τοποθέτηση του περιεχομένου του συγκεκριμένου Cable Group. Επειδή εν προκειμένω υπάρχει ένα και μοναδικό υποκαλώδιο σε αυτό του Cable Group, που απλώς καλύπτεται από τρία διαδοχικά στρώματα (μόνωση, θωράκιση, μόνωση), προφανώς η τοποθέτησή του είναι στο κέντρο του τοπικού συστήματος συντεταγμένων.

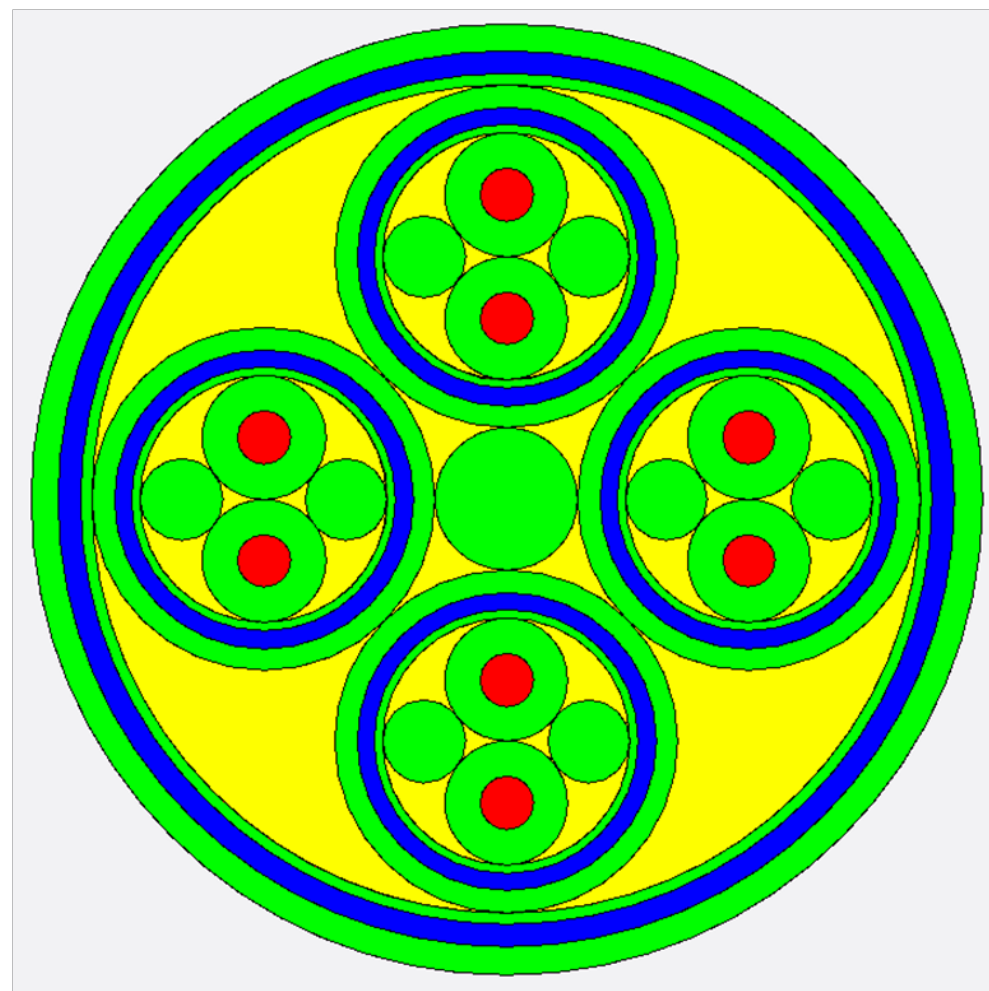
Τέλος στην Εικόνα 2.59 παρατηρούμε ότι γι' αυτό το Cable Group δεν ορίστηκε κάποια συστροφή, γι' αυτό και η αντίστοιχη επιλογή είναι απενεργοποιημένη. Αυτό συμβαίνει διότι η συστροφή υλοποιήθηκε στο περιεχόμενο υποκαλώδιο Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC.

Επισημαίνουμε και εδώ ότι για τις εικόνες της υποενότητας αυτής δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ Var. 01 και Var. 02 (πλην των ονομάτων των πυρήνων των SCs και φυσικά των διαφορετικών τιμών στις διαμέτρους), γι' αυτό και δεν παραθέτουμε αντίστοιχες εικόνες από την Var. 02. Μόνο όσον αφορά στις εξωτερικές θωρακίσεις δώσαμε εικόνες και από τις δύο παραλλαγές, διότι υπήρχαν διαφορές στις τιμές ορισμένων παραμέτρων της θωράκισης, όπως άλλωστε και στα γραφήματα της εμπεδήσεως αυτής.

Ακολουθούν τα σχήματα από την προεπισκόπηση της διατομής, τόσο για την Var. 01 όσο και για την Var. 02 (τα οποία για οικονομία χώρου παραθέτουμε σε οριζόντια διάταξη σελίδος):

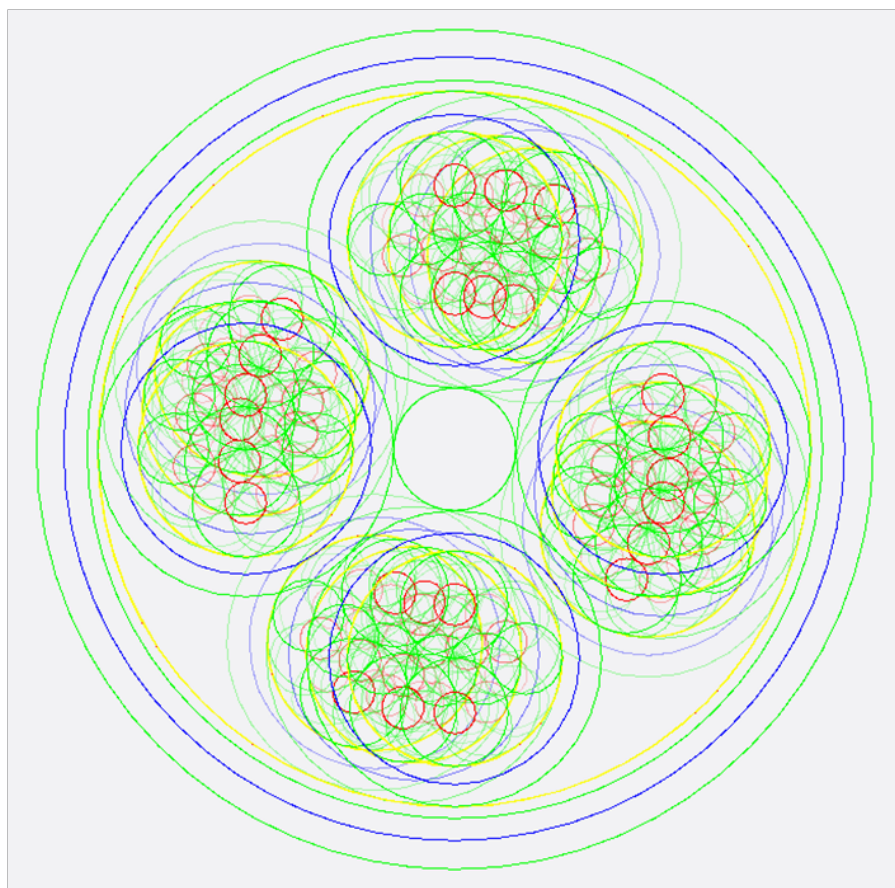


Σχήμα 2.52: Η Διατομή του Presentation RC (Var. 01) [56].

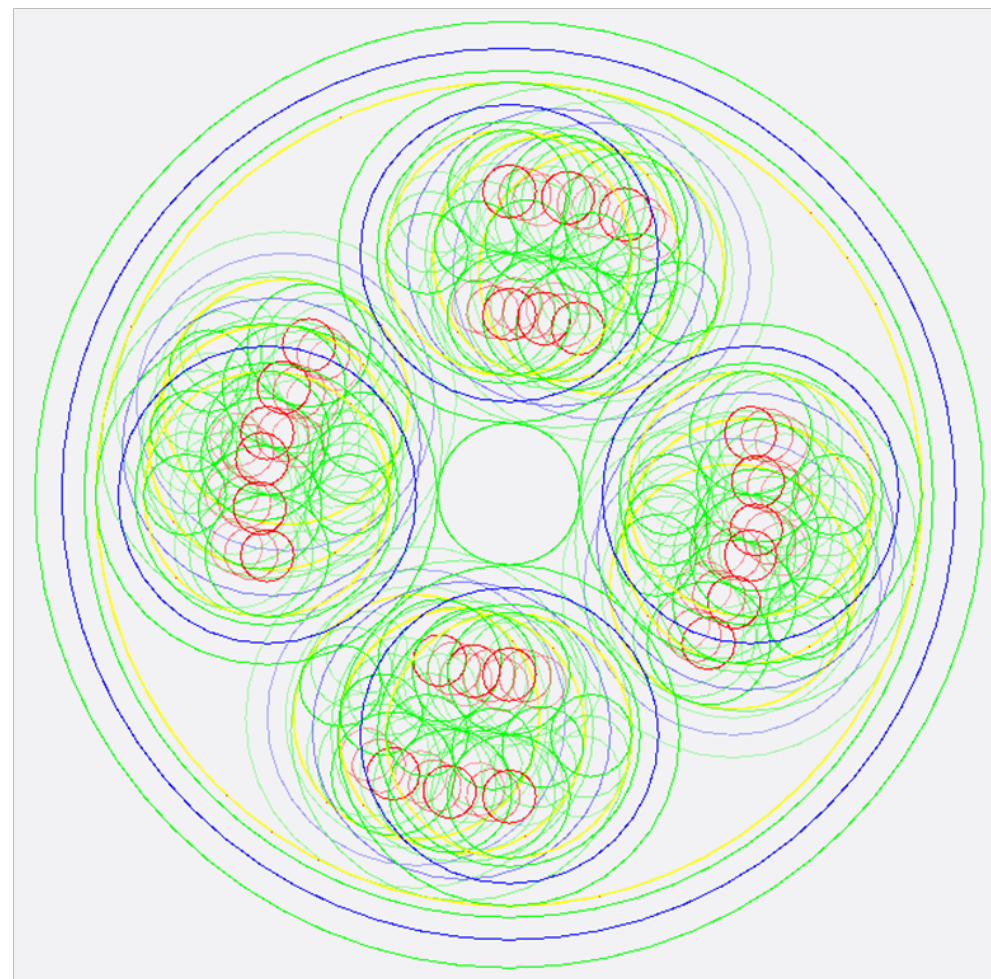


Σχήμα 2.51: Η Διατομή του Presentation RC (Var. 02) [56].

Και με απενεργοποίηση της επιλογής Display Filled, βλέπουμε και την συστροφή του περιεχομένου των δύο αυτών Cable Groups.



Σχήμα 2.54: Η Συστροφή του Presentation RC (Var. 01) [56].



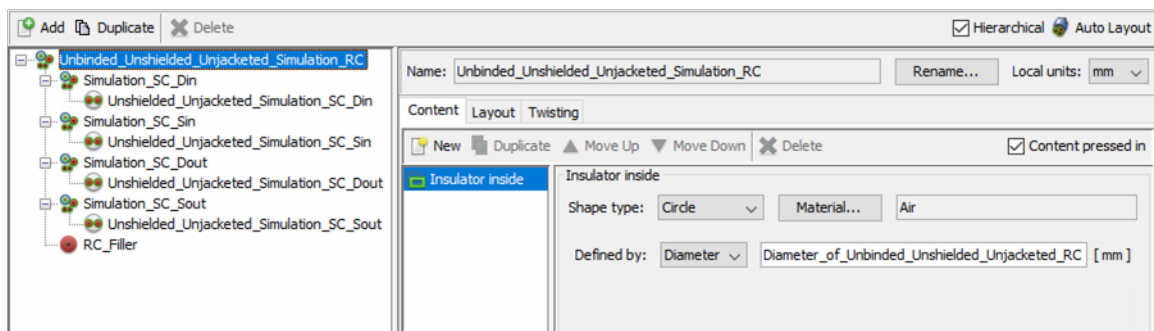
Σχήμα 2.53: Η Συστροφή του Presentation RC (Var. 02) [56].

Όπως και με τα Σχήματα 2.47 και 2.48, τώρα φάνηκε και η συστροφή και των 4 SCs γύρω από το RC Filler αλλά και η συστροφή καθενός SC γύρω από τον διαμήκη άξονά του.

2.8.10 Πυρήνας του Απλοποιημένου Καλωδίου SpW

Όπως εξηγήσαμε πριν (στο σχόλιο στην αρχή της υποενότητας 2.8.5), για λόγους ταχύτητας της προσομοίωσης κάναμε την απόλυτα δικαιολογημένη απλοποίηση του να παραλείψουμε τα δύο SC fillers από το κάθε SC. Άρα για να προχωρήσουμε θα πρέπει να υλοποιήσουμε και μια διατομή του Καλωδίου SpW (δηλ. του RC) με χρήση αυτών των απλοποιημένων SCs, των Simulation SCs. Αυτό θα ονομαστεί Simulation RC και όπως πάντα θα υλοποιηθεί σε δύο βήματα, αφού έχει πυρήνα ο οποίος συντίθεται από συνεστραμμένα τα 4 SCs γύρω από το κεντρικό filler και στην συνέχεια πρέπει να καλυφθεί από επιπλέον στρώματα (θωρακίσεων και μονώσεων).

Αρχικά λοιπόν θα υλοποιήσουμε τον πυρήνα συνδυάζοντας σε ένα Cable Group ως υποκαλώδια τα 4 Simulation SCs και το RC Filler. Αυτός θα είναι ο **Πυρήνας¹¹⁹ του απλοποιημένου** (για λόγους «ελάφρυνσης της προσομοίωσης») **Καλωδίου SpW (Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC)** (δηλ. χωρίς την χρήση των SC Fillers¹²⁰). Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στην συνέχεια.



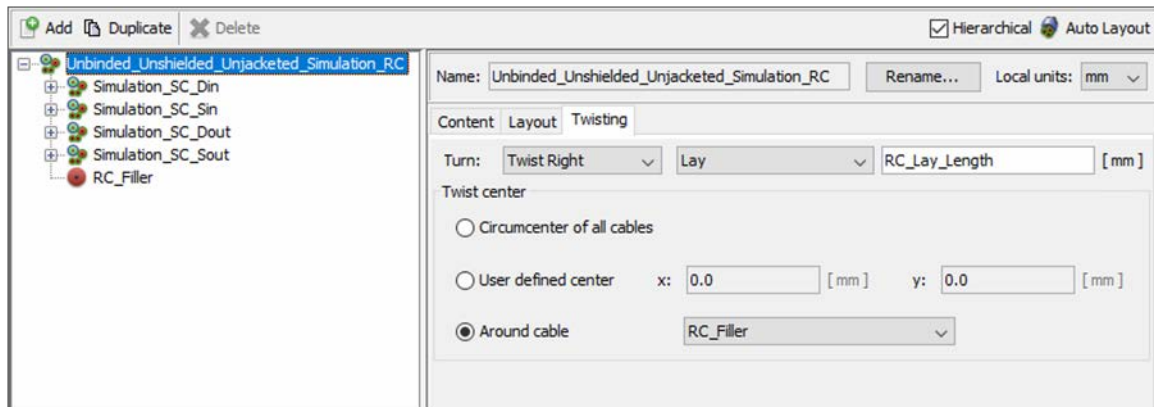
Εικόνα 2.60: Τα περιεχόμενα του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (Var. 01) [56].

Name	X	Y	Rotation [deg]
Simulation_SC_Din	x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Simulation_SC_Sin	x_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	-y_coordinate_of_Upper_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Simulation_SC_Dout	x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	0.0
Simulation_SC_Sout	-x_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_Right_SC_in_the_RC [mm]	0.0
RC_Filler	x_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC [mm]	y_coordinate_of_RC_Filler_in_the_RC [mm]	0.0

Εικόνα 2.61: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (Var. 01) [56].

¹¹⁹ Ο λόγος που είναι απαραίτητο κάθε σύνθετο καλώδιο τύπου Cable Group, το οποίο έχει συστροφή στα περιεχόμενα σε αυτό υποκαλώδια, να υλοποιείται σε δύο βήματα, πρώτα σαν πυρήνας και μετά σαν πλήρες καλώδιο (με στρώματα μονώσεων και θωρακίσεων), εξηγείται στην παράγραφο 2.8.4.1.

¹²⁰ Σε αντίθεση με το ακριβές RC, στο οποίο αναφερθήκαμε πριν, στις υποενότητες 2.8.8 και 2.8.9.



Εικόνα 2.62: Η δήλωση της Συστροφής στο *Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC* (Var. 01) [56].

Να σημειώσουμε ότι τα παραπάνω παράθυρα είναι ουσιαστικά ίδια και στην Var. 01 και στην Var. 02 και ως εκ τούτου δίνονται μόνο για την μία παραλλαγή, για οικονομία χώρου.

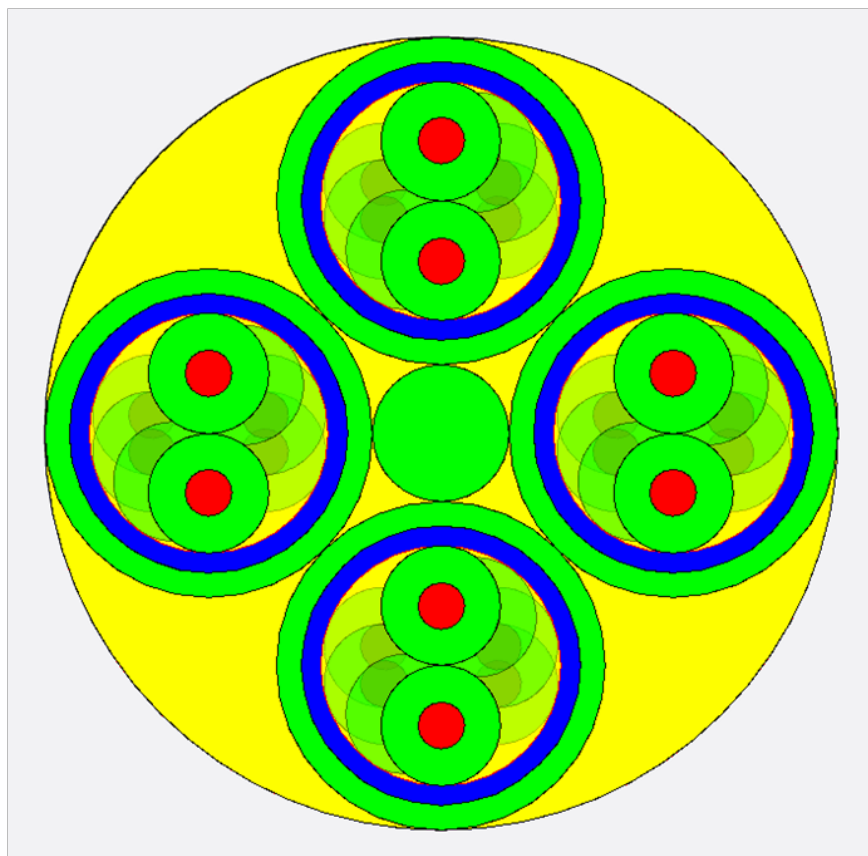
Στην Εικόνα 2.60, στο αριστερό μέρος του παραθύρου, έχουμε «αναπτύξει» όλα τα περιεχόμενα κάθε Cable Group που χρησιμοποιείται και έχουμε ορίσει διακριτά ονόματα, όπως απαιτείται. Στην ίδια εικόνα βλέπουμε ότι, όπως και στην περίπτωση του πυρήνα του Presentation RC, διαγράψαμε τα επιπλέον στρώματα θωράκισης και μόνωσης κρατώντας μόνο τον εσωτερικό μονωτή που θα γεμίζει τα κενά ανάμεσα στα υποκαλώδια που περιλαμβάνει το Cable Group. Ως υλικό γι' αυτό επιλέχθηκε όπως και πριν ο αέρας. Το μονωτικό αυτό ορίστηκε με διάμετρο, δηλ. σαν κύκλος (Circle) και όχι σαν στρώση (Wrap), για τους λόγους που έχουμε ήδη εξηγήσει στην παράγραφο 2.8.3.1 (και ισχύουν όμοια και για τον πυρήνα του Simulation RC).

Στην Εικόνα 2.61 βλέπουμε πώς καθορίζεται η θέση των υποκαλωδίων μέσα σε αυτό το Cable Group, ως γνωστόν από την καρτέλα Layout¹²¹. Και πάλι διαπιστώνουμε πώς η παραμετροποίηση των συντεταγμένων, εξασφαλίζει την διατήρηση των σωστών θέσεων των SCs, ακόμη και αν γίνει μια οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια άλλη παράμετρο (σύμφωνα και με την ανάλυση που προηγήθηκε στην παράγραφο 2.5.3.3). Η τοποθέτηση των τεσσάρων SCs έγινε και πάλι σε συμμόρφωση με τα λεγόμενα στην παράγραφο 2.8.8.1.

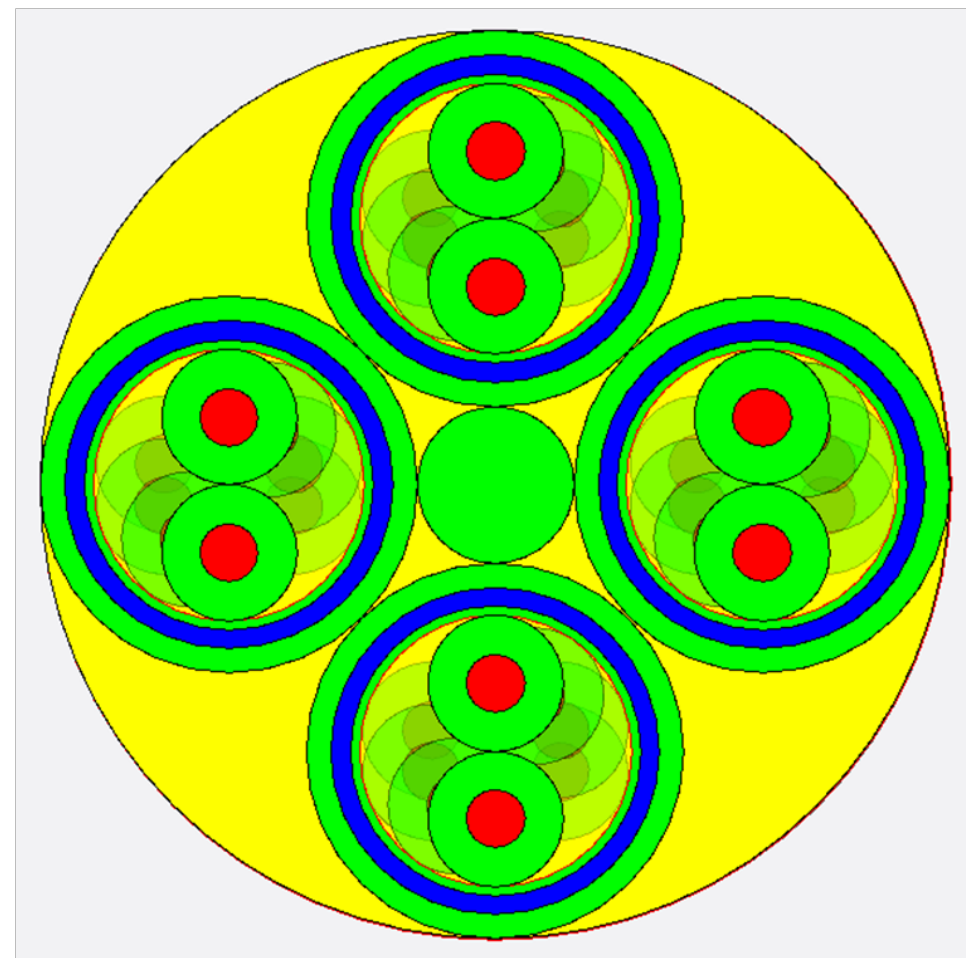
Τέλος στην Εικόνα 2.62 βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιείται η συστροφή (twisting) των υποκαλωδίων ενός Cable Group. Περί της συστροφής αυτής ισχύει ό,τι αναφέραμε και για την περίπτωση του Unbinded Unshielded Unjacketed Presentation RC (βλ. τα λεγόμενα στην υποενότητα 2.8.8).

Ακολουθούν όπως συνήθως τα σχήματα από την προεπισκόπηση της διατομής (σε οριζόντια διάταξη σελίδος):

¹²¹ Με την θεώρηση ότι το κέντρο του Cable Group βρίσκεται στο σημείο (0,0) σε τοπικό σύστημα συντεταγμένων και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm, όπως φαίνεται στο πάνω δεξιά μέρος της Εικόνας 2.61.

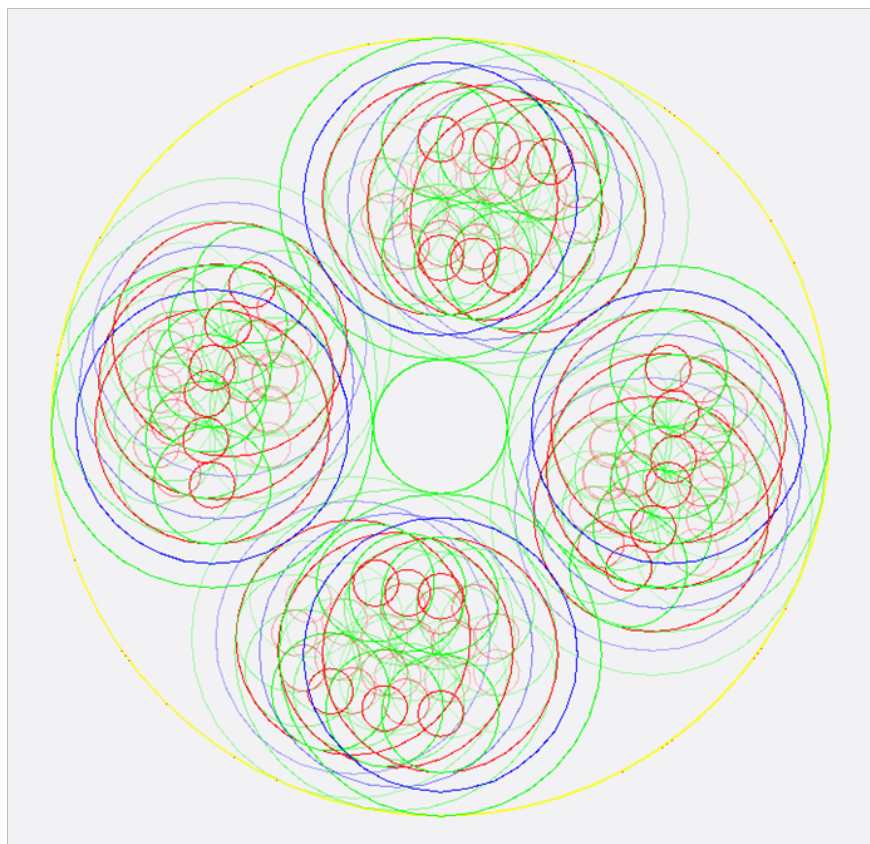


Σχήμα 2.56: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (Var. 01) [56].

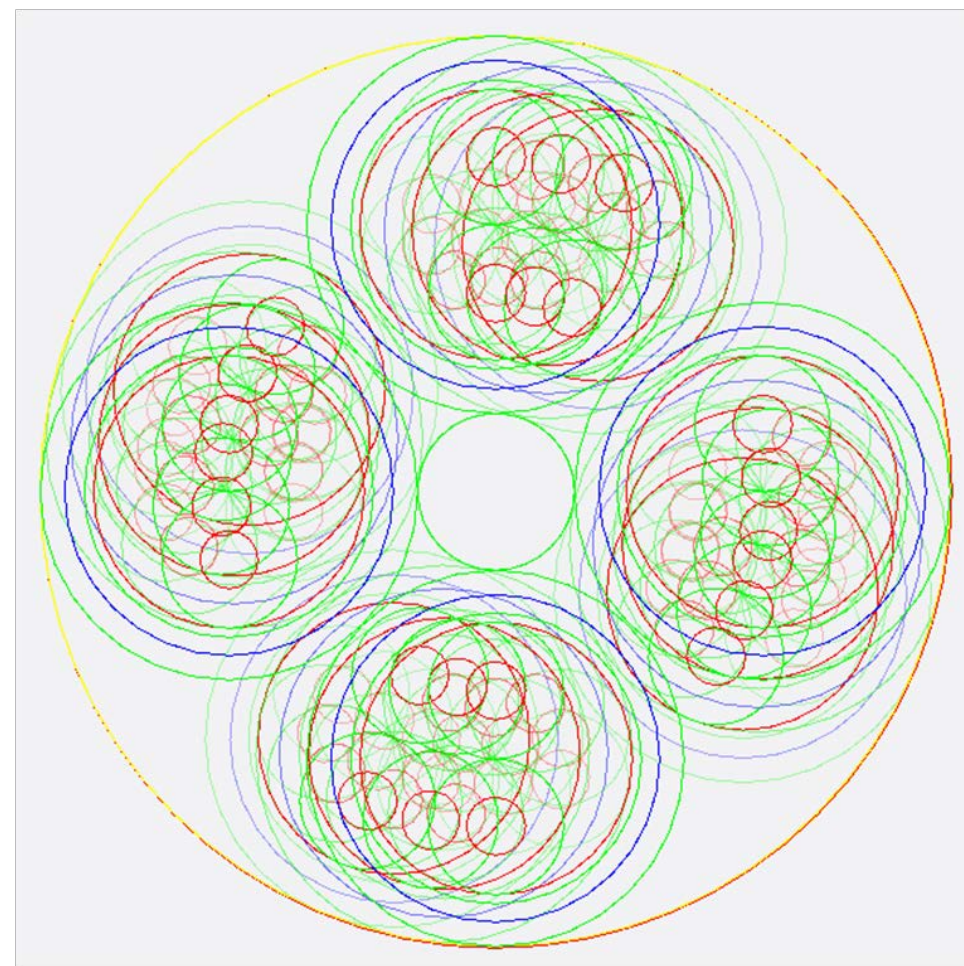


Σχήμα 2.55: Η Διατομή του Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (Var. 02) [56].

Και με απενεργοποίηση της επιλογής Display Filled, βλέπουμε και την συστροφή του περιεχομένου των δύο αυτών Cable Groups.



Σχήμα 2.58: Η Συστροφή του *Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (Var. 01)* [56].

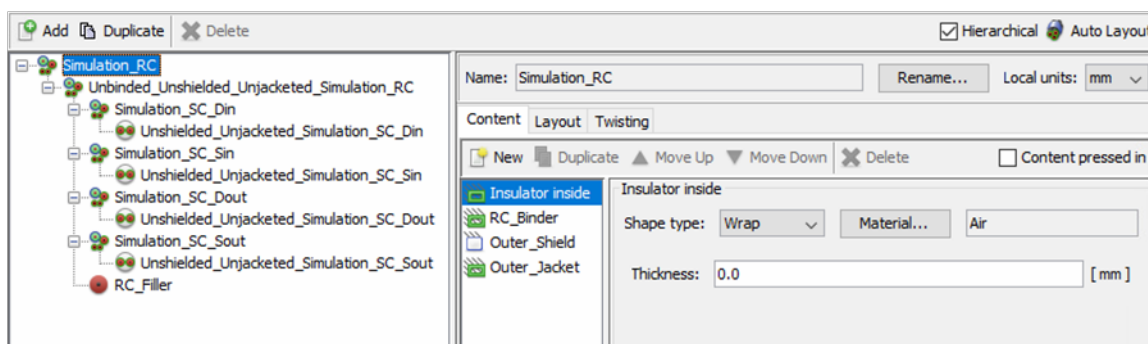


Σχήμα 2.57: Η Συστροφή του *Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC (Var. 02)* [56].

Στις εικόνες αυτές φαίνεται και η συστροφή και των 4 SCs γύρω από το RC Filler αλλά και η συστροφή καθενός SC γύρω από τον διαμήκη άξονά του.

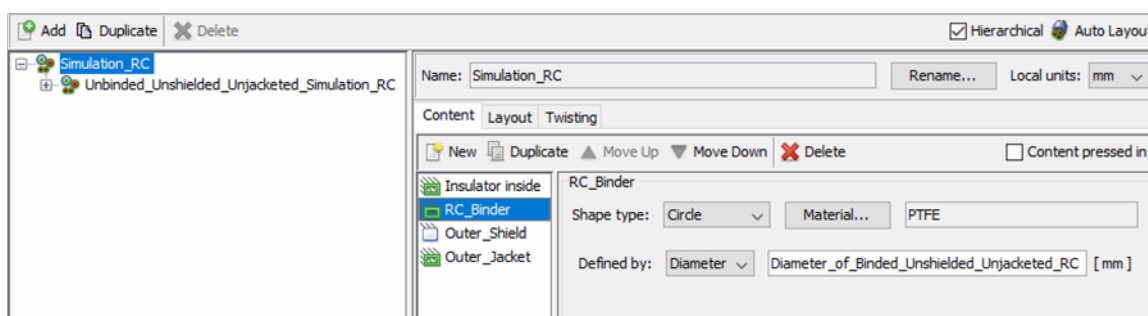
2.8.11 Απλοποιημένο Καλώδιο SpW

Επόμενο και τελευταίο βήμα, όσον αφορά την υλοποίηση των διατομών των καλωδίων που χρειαζόμαστε, είναι να υλοποιήσουμε το **απλοποιημένο** (για λόγους «ελάφρυνσης της προσομοίωσης») **Καλώδιο SpW (Simulation RC)** (δηλ. χωρίς την χρήση των SC Fillers¹²²). Για να γίνει αυτό πρέπει να δώσουμε στο πυρήνα του απλοποιημένου RC, που ήδη ορίσαμε, το εξωτερικό δεματικό, την εξωτερική θωράκιση και τον εξωτερικό μανδύα – κάλυμμά του. Για τον λόγο αυτό ορίσαμε ένα νέο Cable Group, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στην συνέχεια:



Εικόνα 2.63: Τα περιεχόμενα του Simulation RC (υποκαλώδια και εσωτερικός μονωτής) (Var. 01) [56].

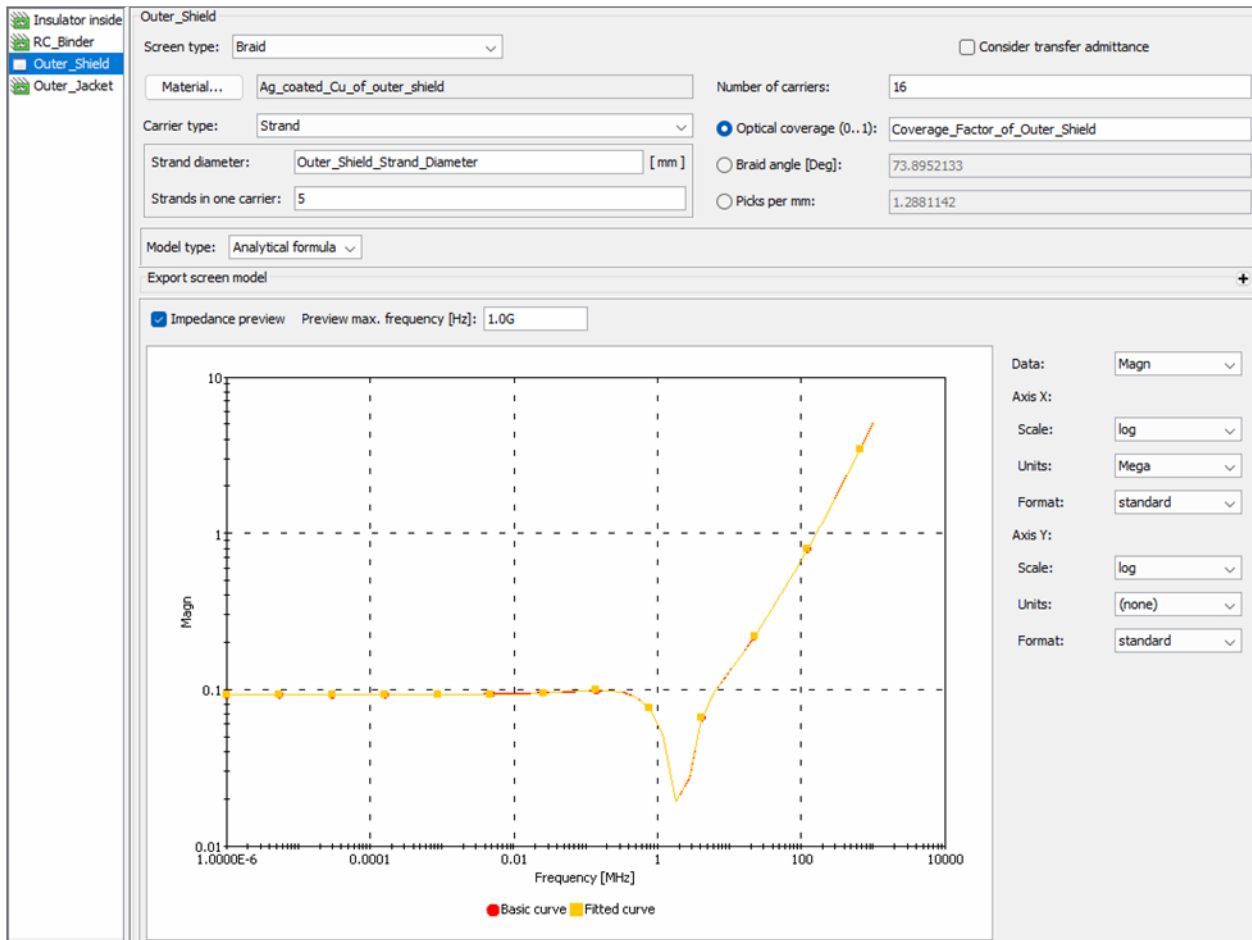
Στην Εικόνα 2.63 έχουμε τις πληροφορίες του εσωτερικού μονωτή. Γι' αυτόν ισχύουν ακριβώς όσα ειπώθηκαν και για τον εσωτερικό μονωτή του Presentation RC (βλ. τα λεγόμενα στην υποενότητα 2.8.9, κάτω από την Εικόνα 2.53). Κατά τα γνωστά, στην εικόνα αυτή έχουμε «αναπτύξει» όλα τα περιεχόμενα κάθε Cable Group που χρησιμοποιείται, ώστε να φανούν οι ονομασίες τους.



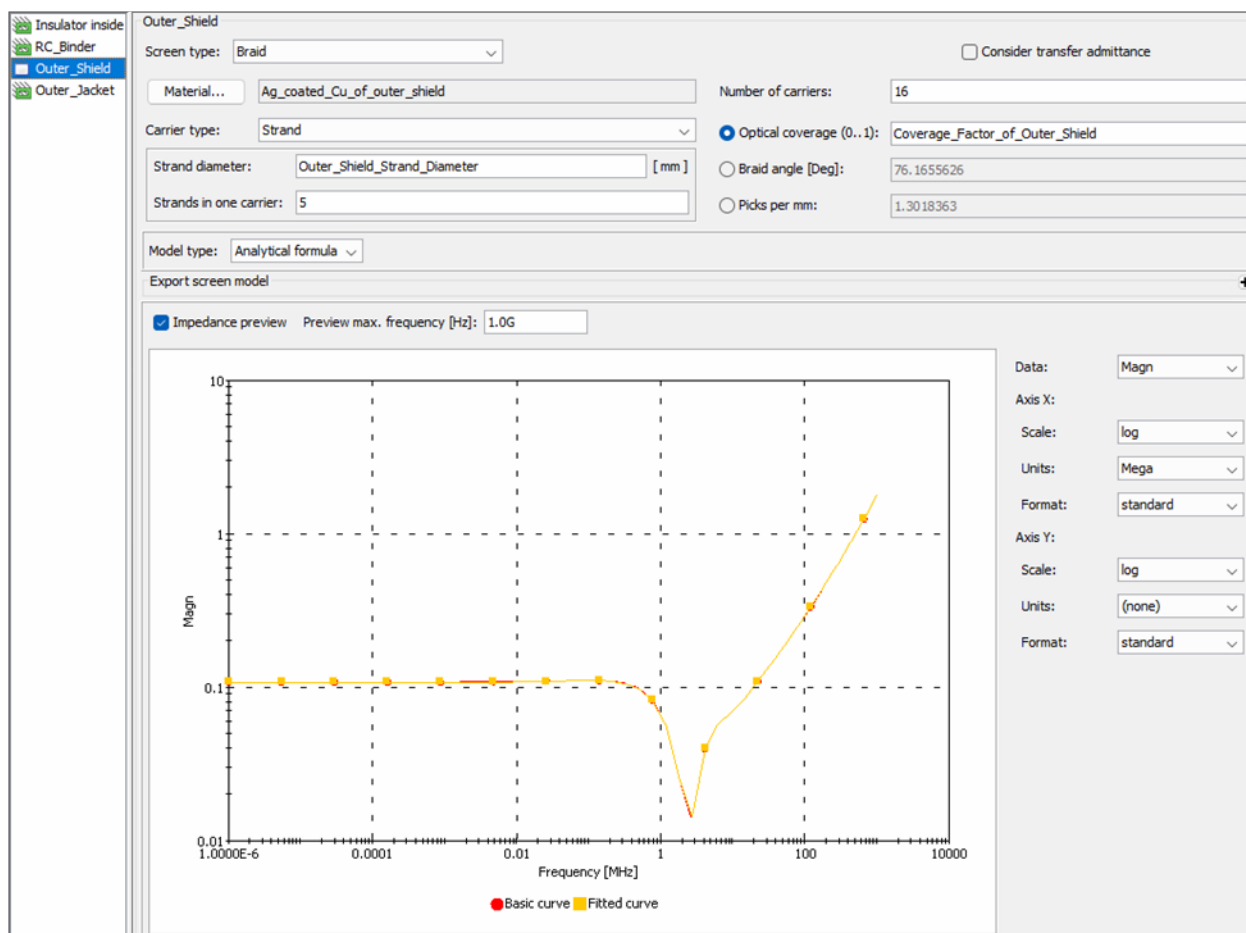
Εικόνα 2.64: Τα περιεχόμενα του Simulation RC (εξωτερικό δεματικό) (Var. 01) [56].

Στην Εικόνα 2.64 βλέπουμε το υλικό και τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού δεματικού (RC Binder). Έχει οριστεί με εντελώς όμοιο τρόπο με το Presentation RC.

¹²² Σε αντίθεση με το ακριβές RC, στο οποίο αναφερθήκαμε πριν, στις υποενότητες 2.8.8 και 2.8.9.



Εικόνα 2.65: Τα περιεχόμενα του Simulation RC (εξωτερική θωράκιση) (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.66: Τα περιεχόμενα του Simulation RC (εξωτερική θωράκιση) (Var. 02) [56].

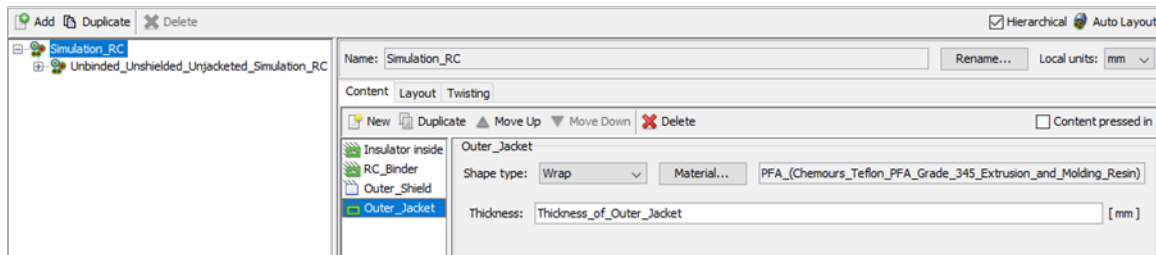
Στις Εικόνες 2.65 και 2.66 (για την Var. 01 και για την Var. 02 αντίστοιχα) έχουμε εστιάσει στα χαρακτηριστικά της θωράκισης του RC [υλικό της θωράκισης, τύπος της θωράκισης (ως γνωστόν «πλεκτή θωράκιση») και άλλα]¹²³. Βλέπουμε επίσης το γνωστό γράφημα της εμπεδήσεως της θωράκισης.

Το σχόλιο σχετικά με τις διαφορές στα χαρακτηριστικά της εξωτερικής θωράκισης μεταξύ Var. 01 και Var. 02, που δόθηκε στην υποενότητα 2.8.9, ισχύει αυτούσιο και εδώ.

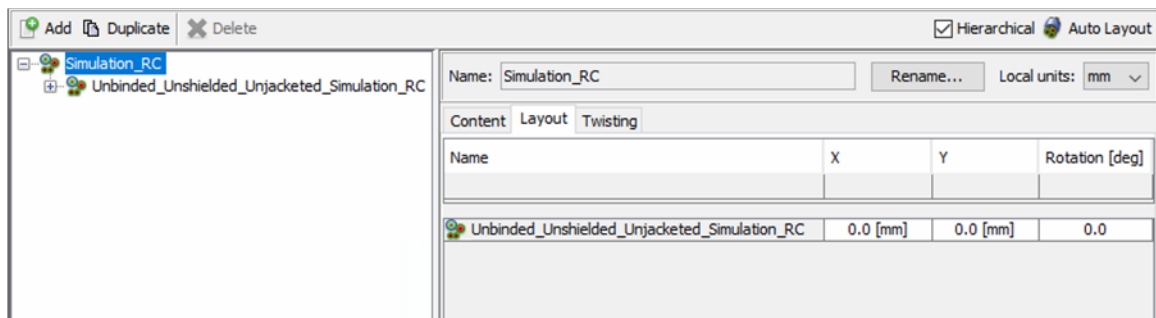
Σχόλιο σχετικά με τις ομοιότητες στην εξωτερική θωράκιση μεταξύ Presentation RC και Simulation RC:

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα της εμπεδήσεως της θωράκισης για Presentation RC και Simulation RC, παρατηρούμε ότι πρακτικά είναι όμοια. Όχι μόνο το πλήθος των φερουσών και των νημάτων ανά φέρουσα είναι ίδιο αλλά και οι τιμές στα πεδία Braid angle [Deg] και Picks per mm είναι απολύτως ίδιες. Αυτό οφείλεται στο ότι ο παράγοντας κάλυψης είναι πάντοτε ίδιος (90%) και, ανά Variant πάντοτε, η διάμετρος του προς θωράκιση πυρήνα είναι ίδια για Presentation RC και Simulation RC.

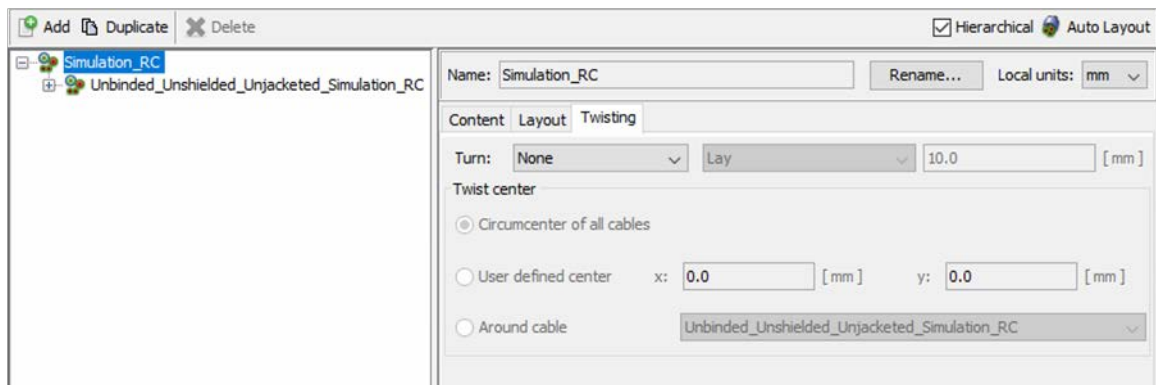
¹²³ Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την πλεκτή θωράκιση μπορεί να βρει κανείς στο Παράρτημα Α.



Εικόνα 2.67: Τα περιεχόμενα του Simulation RC (εξωτερικός μανδύας) (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.68: Η διάταξη των Υποκαλωδίων του Simulation RC (Var. 01) [56].



Εικόνα 2.69: Η δήλωση της Συστροφής στο Simulation RC (Var. 01) [56].

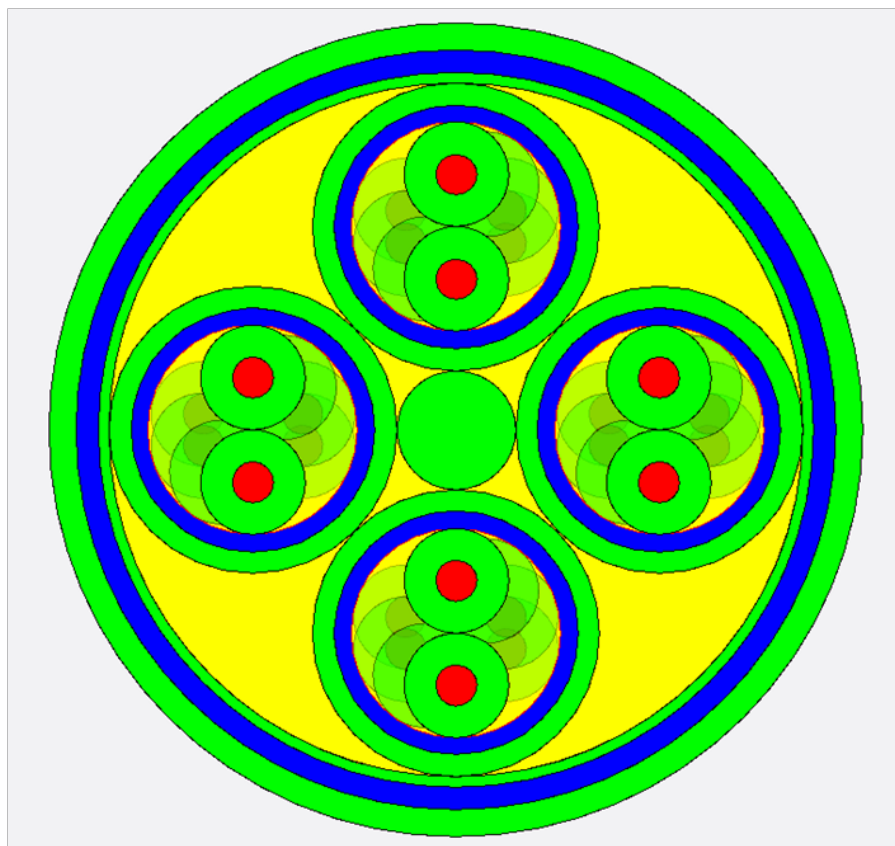
Στην Εικόνα 2.67 βλέπουμε το υλικό και τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού μανδύα – καλύμματος (Outer Jacket). Το στρώμα αυτό ορίστηκε εντελώς όμοια με το Outer Jacket του Presentation RC.

Στην Εικόνα 2.68 βλέπουμε την διάταξη – τοποθέτηση του περιεχομένου του συγκεκριμένου Cable Group. Ως γνωστόν, το ένα και μοναδικό υποκαλώδιο αυτού του Cable Group, που απλώς καλύπτεται από τρία διαδοχικά στρώματα (μόνωση, θωράκιση, μόνωση), τοποθετείται στο κέντρο του τοπικού συστήματος συντεταγμένων.

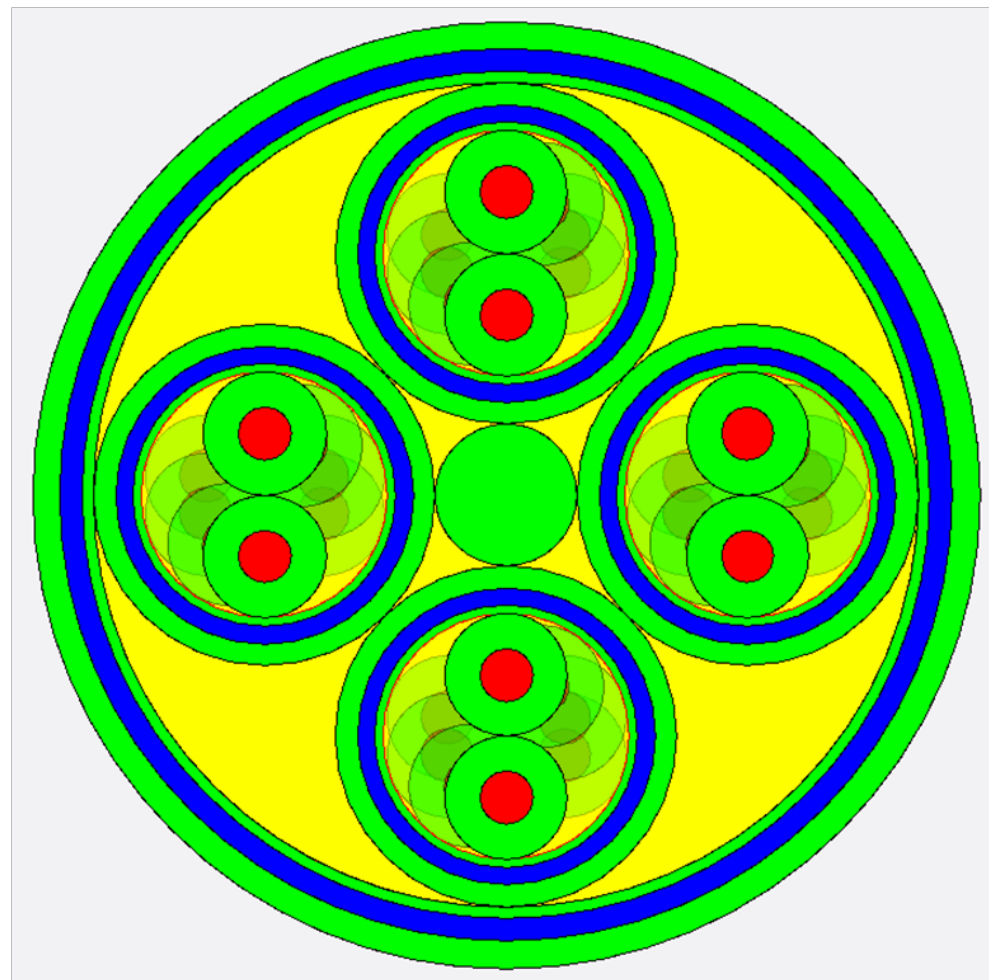
Τέλος στην Εικόνα 2.69 παρατηρούμε ότι γι' αυτό το Cable Group (όπως και για το Presentation RC) δεν ορίστηκε κάποια συστροφή, γι' αυτό και η αντίστοιχη επιλογή είναι απενεργοποιημένη. Αυτό συμβαίνει διότι η συστροφή υλοποιήθηκε στο περιεχόμενο υποκαλώδιο Unbinded Unshielded Unjacketed Simulation RC.

Επισημαίνουμε ότι οι εικόνες που παρετέθησαν, ελήφθησαν ως συνήθως από την Var. 01 (διότι οι αντίστοιχες εικόνες της Var. 02 ήταν πρακτικά οι ίδιες). Εξαιρέση ήταν και πάλι οι εικόνες της εξωτερικής θωρακίσεως, όπου θέλαμε να φανεί η μικρή διαφορά στο γράφημα της εμπέδησης μεταξύ των δύο παραλλαγών (γι' αυτό και παρετέθησαν και από τις δύο παραλλαγές).

Ακολουθεί η προεπισκόπηση της διατομής για τις δύο παραλλαγές (σε οριζόντια διάταξη σελίδος):

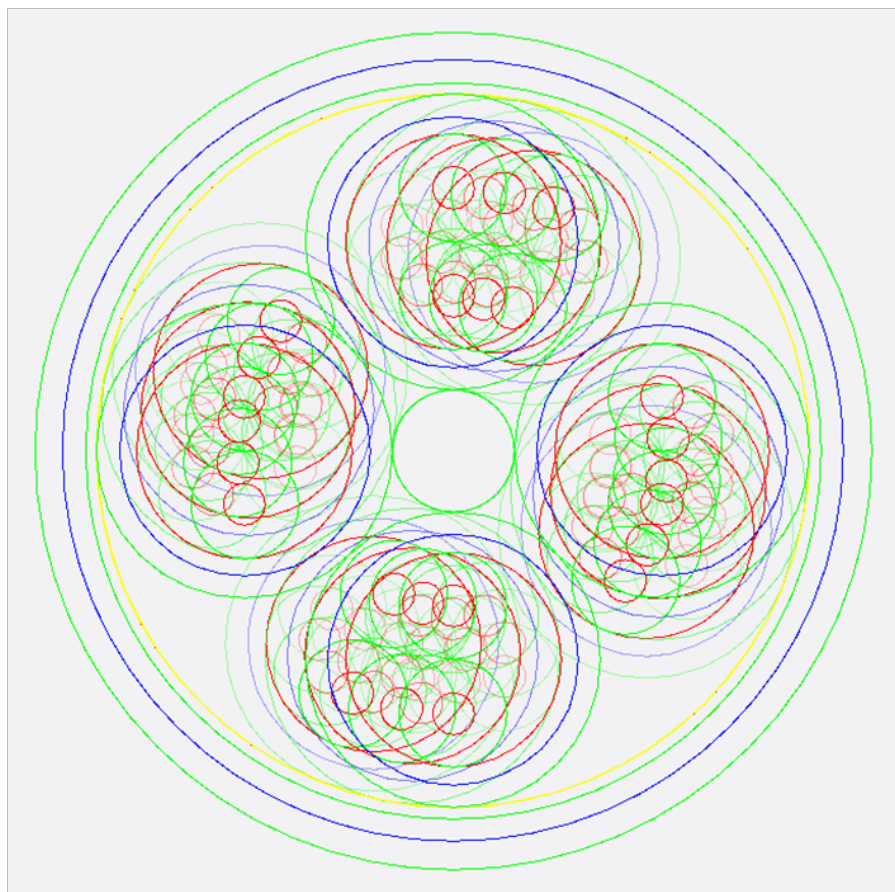


Σχήμα 2.60: Η Διατομή του Simulation RC (Var. 01) [56].

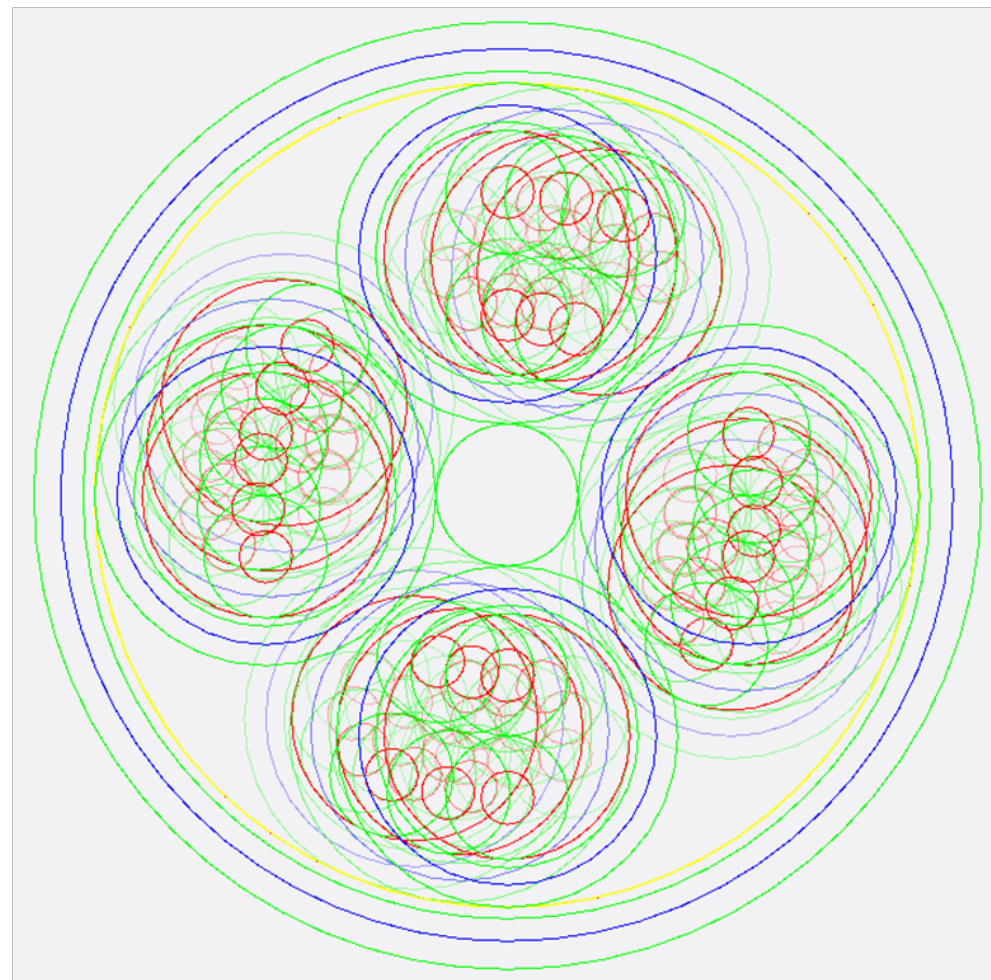


Σχήμα 2.59: Η Διατομή του Simulation RC (Var. 02) [56].

Και απενεργοποιώντας την επιλογή Display Filled, βλέπουμε και την συστροφή του περιεχομένου των δύο αυτών Cable Groups.



Σχήμα 2.62: Η Συστροφή του Simulation RC (Var. 01) [56].



Σχήμα 2.61: Η Συστροφή του Simulation RC (Var. 02) [56].

Όπως συνέβη και με όλα τα προηγούμενα σχήματα από την συστροφή των RCs, φαίνεται τόσο η συστροφή και των 4 SCs γύρω από το RC Filler όσο και η συστροφή καθενός SC γύρω από τον διαμήκη άξονά του.

Κεφάλαιο 3

Οι Σύνδεσμοι του Καλωδίου

Προκειμένου να έχουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο ενός λειτουργικού καλωδίου SpW και έχοντας ολοκληρώσει την υλοποίηση του σε επίπεδο διατομής, επόμενη αναγκαία ενέργεια είναι η δημιουργία των συνδέσμων – βυσμάτων (connectors) στα οποία θα τερματίζει το καλώδιο. Όσον αφορά αυτό το κομμάτι της εργασίας, θα πρέπει πρώτα να γίνει η κατάλληλη επιλογή του τύπου των συνδέσμων (δεδομένου ότι υπάρχει πληθώρα επιλογών) και κατόπιν να δημιουργηθεί το κατάλληλο μοντέλο για αυτούς. Το μοντέλο του συνδέσμων θα υλοποιηθεί πλέον σε 3 διαστάσεις, με την βοήθεια των εργαλείων του 3D modeling, που παρέχει το CST.

3.1 Ανάγκη υλοποίησης των Συνδέσμων στο CST

Η ανάγκη κατασκευής 3D μοντέλου για τους κονέκτορες προέκυψε ως εξής. Η ιδέα ήταν να έχουμε στην άκρη του καλωδίου μας ένα μεταλλικό συσσωμάτωμα, στο οποίο θα γίνεται ο τερματισμός του καλωδίου. Αυτό μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα από πεδιακής – ηλεκτρομαγνητικής πλευράς διότι εκεί θα δίνεται η γείωση του συστήματος. Προκειμένου τώρα το συσσωμάτωμα να έχει σχήμα που να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (και να μην είναι για παράδειγμα ένα απλό μεταλλικό ορθογώνιο, όπερ θα ήταν πολύ ακραία απλούστευση) το ορθό είναι να απαρτίζεται από τους δύο συνδέσμους, αρσενικό και θηλυκό σε δεσμική κατάσταση. Συνεπώς έπρεπε να φτιάξουμε ένα 3D μοντέλο ενός αρσενικού και ενός θηλυκού κονέκτορα για να τους χρησιμοποιήσουμε για τον τερματισμό του καλωδίου SpW, που υλοποιήσαμε ως διατομή (όπως αναπτύξαμε στο Κεφάλαιο 2).

Ο λόγος που χρειαζόμασταν οπωσδήποτε το μοντέλο του αρσενικού συνδέσμου είναι προφανής, αφού πάνω σε αυτό το μεταλλικό σώμα γίνεται ο τερματισμός των αγωγών του καλωδίου. Θα μπορούσαμε ίσως να σταματήσουμε εκεί. Όμως, όπως θα σημειώσουμε και στην υποενότητα 3.6.1, η εισαγωγή των σημάτων στους αγωγούς του καλωδίου γίνεται μέσω των επαφών του θηλυκού συνδέσμου πρώτα και μετά, λόγω της σύνδεσής του με τον αντίστοιχο αρσενικό, περνούν στους αγωγούς του καλωδίου. Άρα αν θέλουμε να είμαστε ακριβέστεροι, το μεταλλικό συσσωμάτωμα που δίνει την γείωση στο καλώδιο δεν έχει σχήμα αρσενικού κονέκτορα, αλλά αρσενικού συνδεδεμένου με θηλυκό. Γι' αυτό και προχωρούμε στην υλοποίηση και των δύο.

3.2 Το 3D Modeling

Η δημιουργία των συνδέσμων του καλωδίου έπρεπε να γίνει, όπως είπαμε, σε 3 διαστάσεις. Το CST διαθέτει ένα ιδιαίτερα ανεπτυγμένο περιβάλλον δημιουργίας – δόμησης αντικειμένων σε 3 διαστάσεις. Το περιβάλλον αυτό, με τα εργαλεία και τις δυνατότητές του, εντοπίζεται στην εργαλειοταινία Modeling στο περιβάλλον του CST.



Εικόνα 3.1: Τα εργαλεία του 3D Modeling [56].

Δεν είναι σκόπιμο να εξηγήσουμε με λεπτομέρεια την λειτουργία όλου αυτού του περιβάλλοντος και σίγουρα όχι σε αυτό το σημείο. Λόγω της πληθώρας εργαλείων και δυνατοτήτων αυτών, αποφασίσαμε να εξηγήουμε, με απλό και κατανοητό τρόπο, μόνο τα εργαλεία εκείνα που χρειαστήκαμε στην δόμηση των διαφόρων μοντέλου μας. Και μάλιστα προτιμήσαμε να παραθέτουμε και να εξηγήουμε όσα στοιχεία είναι χρήσιμα στον αναγνώστη (και μόνο αυτά), την στιγμή ακριβώς που θα τα αξιοποιούμε, σε κάποιο σημείο της εργασίας μας.

Εδώ θα αναφέρουμε, ακροθιγώς μόνο, τις βασικές λειτουργίες του περιβάλλοντος:

- **Καρτέλα Exchange:** εκτός των άλλων, εδώ γίνονται οι ενέργειες συνδυασμού διαφορετικών αρχείων μεταξύ τους (αυτό θα το χρησιμοποιήσουμε στο Κεφάλαιο 5),
- **Καρτέλα Materials:** από εδώ έχουμε πρόσβαση στην (ομολογουμένως πολύ πλούσια βιβλιοθήκη υλικών του 3D Modeling),
- **Καρτέλα Shapes:** από εδώ γίνεται η δημιουργία διαφόρων στερεών σωμάτων,
- **Καρτέλα Tools:** με τα εργαλεία αυτής της καρτέλας γίνονται μορφοποιήσεις των στερεών ή και συνδυασμοί μεταξύ τους,
- **Καρτέλα Curves:** εδώ δίνεται η δυνατότητα ορισμού και επεξεργασίας καμπυλών (την οποία θα εξετάσουμε λίγο βαθύτερα στην ενότητα 4.2),
- **Καρτέλα Picks:** η καρτέλα αυτή είναι αφάνταστα χρήσιμη για να κάνουμε διαφόρων ειδών ενέργειες με τα αντικείμενά μας (όπως θα δούμε σε πολλά σημεία της εργασίας που θα ακολουθήσουν),
- **Καρτέλα Edit:** από εδώ μπορούν να γίνουν διαφόρων ειδών υπολογισμοί (όπως η ενημέρωση παραμέτρων σε νέες τιμές, κ.α.),
- **Καρτέλα WCS:** εδώ ορίζονται τα σχετικά με το σύστημα συντεταγμένων του 3D χώρου και
- **Καρτέλα Sectional View:** από εδώ μπορούμε να ορίζουμε τομές στα τρισδιάστατα μοντέλα μας για εποπτικούς λόγους.

3.3 Τύποι των Συνδέσμων σε Καλώδια SpW

Σύμφωνα με το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], για καλώδια SpW, υπάρχουν 2 τύποι συνδέσμων (ή konektóρων, όπως λέμε συχνά, επηρεασμένοι από την αγγλική ονομασία connectors), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι δύο αυτοί τύποι διακρίνονται ο ένας από τον άλλον με την επωνυμία Type A και Type B. Η κατηγοριοποίηση αυτή σχετίζεται με το κατά πόσον οι σύνδεσμοι υπάγονται σε κάποιο είδος, το οποίο εντάσσεται στην προτυποποίηση της ESA, ή όχι.

3.3.1 Type A SpW Connectors

Οι **Type A SpW Connectors** είναι σύνδεσμοι που μορφολογικά ανήκουν στην γενική κατηγορία micro-miniature D-type συνδέσμων με 9 πρεσαριστές επαφές, και καθορίζονται από τις προδιαγραφές λεπτομερειών ESCC 3401/029 [6] και ESCC 3401/077 [7]. Οι προδιαγραφές αυτές παρέχουν όλες τις λεπτομέρειες για ορθογωνικούς ηλεκτρικούς συνδέσμους τύπου microminiature (βασισμένους στον τύπο MDM δηλ. Micro-D Metal).

Με τους Type A Connectors υλοποιούνται οι δύο συνηθέστεροι τύποι Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW:

- το SpW Cable Assembly Type A, το νεότερο και
- το SpW Cable Assembly Type AL, το παλαιότερο (στους οποίους θα αναφερθούμε διεξοδικά στο Κεφάλαιο 5).

3.3.2 Type B SpW Connectors

Οι **Type B SpW Connectors** δεν καθορίζονται σαφώς από κάποιο πρότυπο. Απλώς υπάρχει αυστηρή απαίτηση να συμμορφώνονται με τα ακόλουθα:

- να έχουν συμβατότητα με καλώδια SpW,
- να έχουν συμβατότητα με το διαστημικό περιβάλλον, όπως περιγράφεται από τα σχετικά πρότυπα της ESA και
- να έχουν ζεύγη επαφών με διαφορετική εμπέδηση $100 \Omega \pm 6 \Omega$, όση δηλ. είναι η εμπέδηση που έχουν μεταξύ τους οι δύο αγωγοί ενός διαφορεικού ζεύγους στο καλώδιο SpW (όπως έχουμε αναφέρει στην υποενότητα 2.7.7).

Ο τύπος B ουσιαστικά έχει εισαχθεί προκειμένου να επιτρέπεται και σε συνδέσμους ελαφρώς διαφορετικούς, άλλων κατασκευαστικών εταιρειών, που δεν εφαρμόζουν την παραπάνω προτυποποίηση της ESA, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύνδεσμοι σε καλώδια SpW και συσκευές που δουλεύουν με το πρωτόκολλο SpW. Απλώς προϋπόθεση είναι η συμμόρφωσή τους με τα παραπάνω (ώστε να καθίστανται συμβατοί με τις εφαρμογές αυτές) (βλ. την §5.3.3.1 του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]).

Με τους Type B Connectors υλοποιείται το, λιγότερο συνηθισμένο, SpW Cable Assembly Type B, το οποίο, όπως και οι Type B σύνδεσμοι, δεν καθορίζεται σαφώς από κάποιο πρότυπο. Και εδώ τα χαρακτηριστικά τα καθορίζει η κατασκευαστική εταιρεία, απλώς το πρότυπο επισημαίνει και πάλι κάποιες απαιτήσεις στις οποίες πρέπει να συμμορφώνεται αυτό το συναρμολόγημα καλωδίου, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές πρωτοκόλλου SpW.

3.4 Διάκριση των Συνδέσμων σε Αρσενικούς και Θηλυκούς

Όπως όλοι οι κονέκτορες, έτσι και αυτοί που χρησιμοποιούνται στο SpW λειτουργούν σε ζεύγη αρσενικού και θηλυκού (ή όπως λέμε ενίοτε κονέκτορα με αρσενικές ή θηλυκές επαφές). Τα κωδικά γράμματα διάκρισης μεταξύ αρσενικού και θηλυκού κονέκτορα είναι [6]:

Πίνακας 3.1: Η κωδική ονομασία των Αρσενικών και Θηλυκών Συνδέσμων.

Κωδικό Γράμμα	Τύπος Βύσματος
P	Αρσενικό (Male)
S	Θηλυκό (Female)

και προέρχονται, το μεν “P” εκ του “Pin”, δηλ. ακίδα, το δε “S” εκ του “Socket”, δηλ. υποδοχή. Δηλ. οι ονομασίες προέρχονται από την μορφή που έχουν οι αγωγοί των επαφών των βυσμάτων. Η κωδική αυτή διάκριση αρσενικού και θηλυκού με αυτά τα δύο γράμματα βρίσκει εφαρμογή σε όλους τους παραγωγούς τέτοιων βυσμάτων (όπως Axon’, Glenair, ITT, MILNEC κ.α.) παρ’ ότι η πλήρης κωδική ονομασία για κάθε είδος βύσματος είναι διαφορετική από εταιρεία σε εταιρεία.

Η μορφή που έχουν οι κονέκτορες, αναλόγως αν είναι αρσενικοί ή θηλυκοί, καθώς και τα λεπτομερή γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά μπορούν να εντοπιστούν στα αντίστοιχα έγγραφα ([6] και [7]), αλλά και σε αναλυτικούς καταλόγους διαφόρων εταιρειών ([38], [40], [41], [42]). Δεν είναι σκόπιμο να παραθέσουμε με λεπτομέρεια τα γεωμετρικά αυτά χαρακτηριστικά και σίγουρα όχι σε αυτό το σημείο. Μια μικρή αναφορά σε αυτά θα γίνει αργότερα και συγκεκριμένα στην υποενότητα 3.6.3, όταν θα μιλήσουμε για τον συγκεκριμένο τύπο συνδέσμου που επιλέχθηκε και για τον έλεγχο της συμμόρφωσής του με τις σχεδιαστικές απαιτήσεις του προτύπου ESCC 3401/029 [6]. Ο ενδιαφερόμενος βέβαια μπορεί ανά πάσα στιγμή να ανατρέξει στα σχετικά έγγραφα.

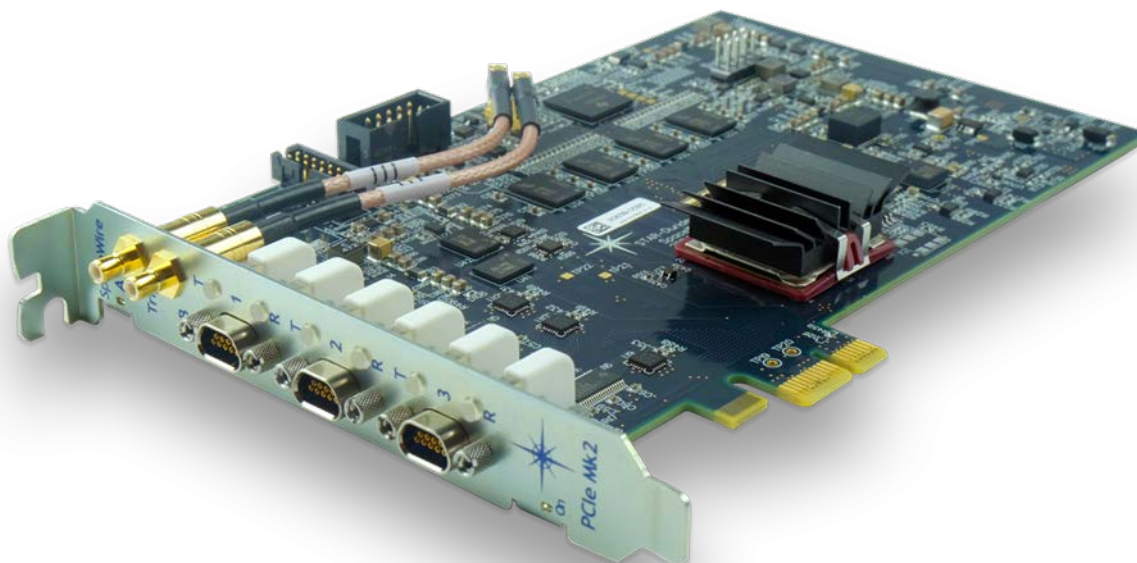
Εδώ θα παραθέσουμε μόνο τα βασικά σημεία, που το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] επισημαίνει και που αφορούν κυρίως στην κατασκευή και στην συνδεσμολογία των επαφών των συνδέσμων, αναλόγως αν είναι θηλυκοί ή αρσενικοί.

Σχόλιο σχετικά με τις εικόνες συνδέσμων που θα ακολουθήσουν:

Να σημειώσουμε ότι πολλές από τις εικόνες των συνδέσμων, που θα παρατεθούν στην συνέχεια, είναι ενδεικτικές ως προς το πλήθος των επαφών, που έχουν οι σύνδεσμοι. Όλα αυτά τα μοντέλα συνδέσμων «βγαίνουν» με πολλά διαφορετικά πλήθη επαφών ([6], [38], [40]). Προφανώς για εφαρμογές SpW θα επιλεγούν σύνδεσμοι με 9 επαφές, όπως θα διαπιστώσουμε στην υποενότητα 3.5.1 στην συνέχεια.

3.4.1 Θηλυκοί Σύνδεσμοι

Οι **θηλυκοί κονέκτορες ή κονέκτορες με θηλυκές επαφές (connectors with female contacts)** χρησιμοποιούνται σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (Printed Circuit Boards ή PCBs) και σε συσκευές που επικοινωνούν με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο και στις οποίες συνεπώς συνδέονται καλώδια SpW.



Εικόνα 3.2: Πλακέτα Ζεύξης SpW στην οποία διακρίνονται οι Θηλυκοί Σύνδεσμοι [54].

Η σύνδεση των θηλυκών επαφών με τα κατάλληλα σημεία ενός PCB (είται αυτό είναι μια «ακάλυπτη» πλακέτα με διάφορα στοιχεία επάνω, αφού είναι μέρος μιας γενικότερου σκοπού ζεύξης SpW, είτε είναι μια «ειδικού σκοπού» πλακέτα στο εσωτερικό ενός συγκεκριμένου οργάνου – συσκευής) γίνεται με 2 τρόπους:

1. είτε με **«ελεύθερα» αγωγήμα σύρματα** [ή **αιωρούμενους αγωγούς (flying leads)**, ονομασία που συναντάμε μερικές φορές στο πρότυπο] που ξεκινούν από το πίσω μέρος του θηλυκού βύσματος,
2. είτε με ειδικής κατασκευής **θηλυκούς συνδέσμους για απ' ευθείας σύνδεση σε PCB**, τους λεγόμενους **PCB mounting connectors** (οι οποίοι από την μια μεριά έχουν την μορφή που συνδέεται με τον αρσενικό σύνδεσμο και από την άλλη εμφανίζουν τις επαφές τους ως αγωγίμες ακίδες για να συνδεθούν με τα κατάλληλα σημεία μιας πλακέτας).

Παρακάτω θα παραθέσουμε και εικόνες θηλυκών συνδέσμων για να φανούν οι διαφορές σε αυτούς τους δύο τρόπους σύνδεσης.

Ανεξαρτήτως πάντως των δύο παραπάνω κατηγοριών θηλυκών επαφών, οι γενικότερες απαιτήσεις του προτύπου του SpW για τους θηλυκούς συνδέσμους (βλ. την §5.3.3.2 του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]) είναι οι εξής:

- Η επαφή νούμερο τρία των θηλυκών συνδέσμων (βλ. τον Πίνακα 3.2 στην ενότητα 3.5.1, που ακολουθεί) πρέπει να είναι συνδεδεμένη στην γείωση του κυκλώματος.
- Για την περίπτωση θηλυκών επαφών που συνδέονται με αγωγήμα σύρματα, η σύνδεση αυτή πρέπει να πραγματοποιείται με απ' ευθείας συγκόλληση ή πρεσάρισμα των αιωρουμένων αγωγών στην επαφές του θηλυκού κονέκτορα. Κάθε τέτοια ενέργεια πρέπει να συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις του αντιστοίχου προτύπου, η συγκόλληση του ECSS-Q-ST-70-08C [3] και το πρεσάρισμα του ECSS-Q-ST-70-26C Rev.1 [4].
- Η ηλεκτρική αντίσταση της σύνδεσης μεταξύ ενός αρσενικού και ενός θηλυκού κονέκτορα σε δεσμική κατάσταση πρέπει να είναι μικρότερη από 10 mΩ σε DC¹²⁴.
- Το σώμα – σασί του θηλυκού κονέκτορα θα πρέπει να συνδέεται τελικώς με την γείωση του συστήματος με μια σύνδεση ηλεκτρικής αντιστάσεως μικρότερης από 10 mΩ σε DC. Η σύνδεση αυτή, σύμφωνα με το πρότυπο, μπορεί να γίνει μέσω μηχανικής τοποθέτησης –

¹²⁴ Η αντίσταση αυτή μεταξύ του σώματος του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου σε δεσμική κατάσταση είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί. Όμως ο ίδιος ο σχεδιασμός της διεπαφής μεταξύ του σώματος των δύο συνδέσμων εξασφαλίζει ότι η αντίσταση αυτή δεν θα υπερβεί το ζητούμενο όριο.

πάκτωσης του κονέκτορα σε μεταλλικό «τοίχο» ή μέσω αγωγίμης σύνδεσης από το σασί του προς κατάλληλα γειωμένα σημεία μιας πλακέτας PCB¹²⁵.

- Επίσης ο θηλυκός κονέκτορας θα πρέπει να περιλαμβάνει και ένα αγωγίμο παρέμβυσμα για βελτίωση της συμπεριφοράς σε Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές (EMI εκ του Electro – Magnetic Interference).

3.4.1.1 Flying Lead Female Connectors

Το πρότυπο συνιστά να χρησιμοποιούνται θηλυκοί σύνδεσμοι με αιωρούμενους αγωγούς και όχι ειδικοί θηλυκοί σύνδεσμοι για απ' ευθείας σύνδεση σε PCB. Οι ελεύθεροι αυτοί αγωγοί θα κατευθυνθούν και θα συνδεθούν εν τέλει στα κατάλληλα σημεία της πλακέτας της ζεύξης SpW. Ειδικά σε συσκευές που χρησιμοποιούνται σε σκάφη (και όχι σε μια μονάδα σε έναν επίγειο σταθμό) η χρήση ελευθέρων αγωγών προτιμάται, διότι βελτιώνει την ευρωστία και την αντοχή του συστήματος σε μηχανικά τραντάγματα, δονήσεις και κραδασμούς (και αυτό γιατί το ελεύθερο και εύκαμπτο τμήμα των αιωρουμένων αγωγών μπορεί να απορροφήσει τους κραδασμούς ενώ ένας PCB mounting connector, που συνδέεται ακλόνητα σε ένα σημείο μιας πλακέτας, πιθανόν να έχανε την συνοχή του με αυτήν ύστερα από μια ισχυρή μηχανική δόνηση) (βλ. την §5.3.3.2g του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]).



Εικόνα 3.4: Πίσω όψη θηλυκού συνδέσμου με ελεύθερους αγωγούς (Micro-D MWDM Solder Cup Metal Shell Connector). Διακρίνονται οι θέσεις συγκόλλησης των συρμάτων στο πίσω μέρος των επαφών [40].



Εικόνα 3.3: Εμπρός όψη θηλυκού συνδέσμου με ελεύθερους αγωγούς (Micro-D MWDM Insulated Wire Metal Shell Connector). Διακρίνονται οι αιωρούμενοι αγωγοί (μονωμένοι) στο πίσω μέρος του συνδέσμου [40].

Για τους αιωρούμενους αυτούς αγωγούς, το πρότυπο έχει δύο βασικές απαιτήσεις:

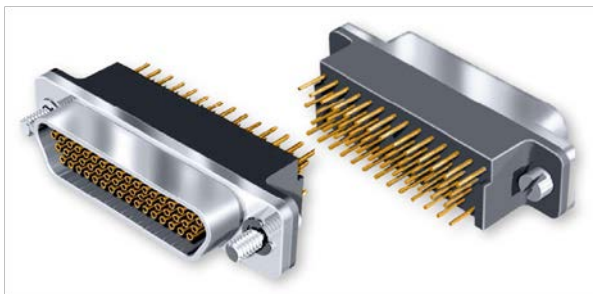
- Θα πρέπει να είναι όλοι τους κομμένοι σε μικρό σχετικά μήκος και συγκεκριμένα λιγότερο από 25 mm.
- Η διαφορά στο μήκος του ενός αγωγού από έναν άλλον πρέπει να είναι μικρότερη από 3 mm.
- Οι δύο αγωγοί που συνιστούν το κάθε διαφορικό ζεύγος θα πρέπει να συστραφούν μαζί (όπως ακριβώς συμβαίνει και στο εσωτερικό του καλωδίου SpW, κάτι που δεν φαίνεται στην Εικόνα 3.3). Ειδικά αυτή η τελευταία απαίτηση βοηθά στο να ελαχιστοποιείται η ασυνέχεια που παρουσιάζεται στην εμπέδηση του καλωδίου εξαιτίας του συνδέσμου (βλ. την §5.3.3.5b2 του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]). Διότι, όπως έχουμε πει (υποενότητα 2.7.7), το κάθε διαφορικό ζεύγος πρέπει να έχει συγκεκριμένη τιμή εμπέδησης ($Z_0 = 100 \pm 6 \Omega$) η οποία αναφέρεται σε όλη την διαδρομή του διαφορικού σήματος. Η διαδρομή αυτή όμως δεν είναι

¹²⁵ Ό,τι αναφέραμε και στην υποσημείωση 124 ισχύει και εδώ, δηλ. η αντίσταση μιας τέτοιας σύνδεσης είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί. Όμως από την υλοποίησή της σύνδεσης και μόνο, εξασφαλίζεται η συμμόρφωση της αντιστάσεώς αυτής προς το όριο.

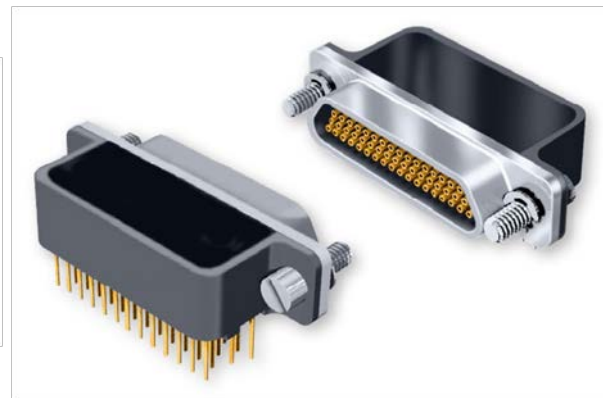
μόνο μέσα στο καλώδιο. Είναι η διαδρομή από την ηλεκτρονική πλακέτα του Transmitter μέχρι την πλακέτα του Receiver. Άρα αν η συστροφή των αγωγών του κάθε διαφορικού ζεύγους σταματούσε στους συνδέσμους, τότε αυτά τα τελευταία χιλιοστά της διαδρομής των αγωγών χωρίς συστροφή μέχρι τα κατάλληλα σημεία της πλακέτας, θα δημιουργούσαν μια σημαντική ασυνέχεια στην τιμή της εμπέδησης. Επομένως η συστροφή επιδιώκουμε να διατηρείται για όσο το δυνατόν περισσότερο σε αυτή την διαδρομή του σήματος και να παύει όσο το δυνατόν κοντινότερα προς τα σημεία σύνδεσης των αγωγών στην πλακέτα (και όχι νωρίτερα). Επιπλέον το να διατηρείται η συστροφή ακόμα και στους αιρουμένους αγωγούς βοηθά στο να διατηρούνται και τα οφέλη του συνεστραμμένου διαφορικού ζεύγους (όπως τα έχουμε συνοπτικά επισημάνει στην υποενότητα 2.5.1).

3.4.1.2 PCB Mounting Female Connectors

Οι ειδικής κατασκευής θηλυκοί σύνδεσμοι για απ' ευθείας σύνδεση σε PCB εμφανίζουν στο πίσω μέρος τους τις ακίδες των επαφών, ούτως ώστε να συνδεθούν σε έτοιμες – προσαρμοσμένες θέσεις της πλακέτας της ζεύξης SpW. Το σχήμα τους μπορεί να είναι ευθύ και άρα η εμπρός και η πίσω όψη τους να είναι παράλληλες (και αυτός ο τρόπος σύνδεσης ονομάζεται vertical mount ή straight mount) ή να σχηματίζει γωνία δηλ. οι εμπρός και η πίσω όψη τους να είναι σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους (και αυτός ο τρόπος σύνδεσης ονομάζεται right angle mount), όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



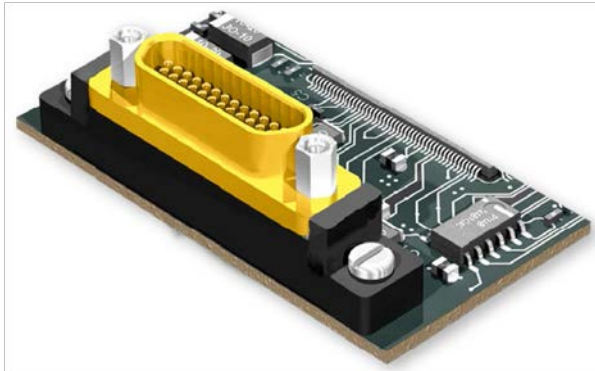
Εικόνα 3.6: Θηλυκοί PCB Mounting Connectors με ευθύ σχήμα (Micro-D GMR7580C Compact Flange Vertical Mount PCB Connectors) [40].



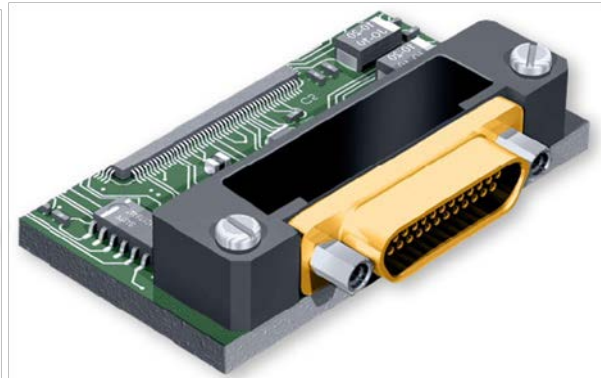
Εικόνα 3.5: Θηλυκοί PCB Mounting Connectors με σχήμα γωνίας (Micro-D GMR7590C Compact Flange Right Angle Mount PCB Connectors) [40].

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 3.4.1.1, το πρότυπο αποθαρρύνει την χρήση PCB mounting connectors. Μάλιστα κάνει μια ιδιαίτερη μνεία (βλ. την §5.3.3.5c και d του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]) για τους PCB mounting connectors οι οποίοι έχουν σχήμα ορθής γωνίας (PCB mounting right – angled connectors). Εκτός της χαμηλότερης αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις (αρνητικό παράγοντα που ήδη επισημάναμε) οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν και ένα ακόμα μειονέκτημα, ηλεκτρικής φύσεως. Ακριβώς λόγω του σχήματος των συνδέσμων αυτών (σχήμα ορθής γωνίας) οι αγωγοί που αντιστοιχούν στην πάνω σειρά επαφών έχουν μεγαλύτερο μήκος εντός του συνδέσμου από τους αντιστοιχούς αγωγούς της κάτω σειράς επαφών. Εξαιτίας αυτής της λεπτομέρειας, αν οι ακροδέκτες ενός τέτοιου συνδέσμου συνδεθούν απ' ευθείας σε μια πλακέτα, στην οποία τα ίχνη (tracks) που αντιστοιχούν στο κάθε σήμα είναι όμοια, τότε θα έχουμε διαφορεικά σήματα των οποίων οι αγωγοί θα έχουν, μικρή μεν αλλά υπολογίσιμη, διαφορά στο μήκος (δηλ. το μήκος του αγωγού για το $D_{in} +$ θα είναι λίγο διαφορετικό από το μήκος του αγωγού για το $D_{in} -$ κ.ο.κ., διότι, όπως έχουμε πει, η διαδρομή του σήματος δεν είναι μόνο μέσα στο καλώδιο, αλλά επεκτείνεται και στην πλακέτα). Η διαφορά αυτή μπορεί να είναι μικρή αλλά είναι ικανή να επιφέρει αλλοιώσεις στο διαφορικό σήμα όπως αυτές που σχετίζονται με τα φαινόμενα skew και jitter.

Στην περίπτωση λοιπόν που παρ' όλα αυτά γίνει χρήση ενός τέτοιου συνδέσμου (φαινόμενο το οποίο είναι συχνό, γι' αυτό και οι εταιρείες έχουν μια πληθώρα επιλογών σε συνδέσμους αυτού του τρόπου σύνδεσης), το πρότυπο υποχρεώνει να γίνεται αντιστάθμιση του μήκους διαδρομής του σήματος μέσω ρύθμισης του μήκους των αντιστοιχών προς τις επαφές ιχνών πάνω στην πλακέτα. Δηλ. τα σήματα που αντιστοιχούν στην πάνω σειρά επαφών του βύσματος (και άρα έχουν μεγαλύτερο μήκος αγωγού εντός του βύσματος) πρέπει να έχουν ίχνος μικρότερου μήκους επί του PCB απ' ότι τα σήματα που αντιστοιχούν στην κάτω σειρά επαφών του βύσματος. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουμε ότι θα διατηρείται και το διαφορικό σήμα αναλλοίωτο σε όλη την έκταση του PCB [25].



Εικόνα 3.8: Θηλυκός PCB Mounting Connector με ευθύ σχήμα επί ενός PCB (Micro-D MWDM-BS Vertical Mount Thru-Hole PCB Connector) [40].



Εικόνα 3.7: Θηλυκός PCB Mounting Connector με σχήμα γωνίας επί ενός PCB (Micro-D MWDM-BR Right Angle Thru-Hole PCB Connector) [40].

3.4.2 Αρσενικοί Σύνδεσμοι

Οι αρσενικοί κονέκτορες ή κονέκτορες με αρσενικές επαφές (connectors with male contacts) χρησιμοποιούνται στα καλώδια SpW ή συναρμολογήματα καλωδίων SpW (SpW cable assemblies), όπως συνηθίζεται να λέγεται στα πρότυπα. Δηλ. το κάθε καλώδιο SpW, στο κάθε άκρο του, τερματίζει σε αρσενικό κονέκτορα.



Εικόνα 3.9: Εμπρός όψη αρσενικού συνδέσμου με ελεύθερους αγωγούς (Micro-D MWDM Metal Shell Uninsulated Wire Connector). Μπροστά διακρίνονται οι μεταλλικές ακίδες των αρσενικών επαφών που εισέρχονται στις μεταλλικές οπές των θηλυκών επαφών. [40].

Το πρότυπο, στο σημείο που αναφέρεται στους αρσενικούς συνδέσμους (στην §5.3.3.3 του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]) δεν δίνει πάρα πολλές πληροφορίες και απαιτήσεις. Το μόνο που επισημαίνει είναι πως οι αγωγοί του καλωδίου SpW πρέπει να συνδέονται με τις αντίστοιχες επαφές του αρσενικού βύσματος με απ' ευθείας συγκόλληση ή πρεσάρισμα τους πάνω σε αυτές και πως οι ενέργειες αυτές πρέπει να γίνονται κατά τις υποδείξεις και συμφώνως προς τις απαιτήσεις των αντιστοίχων προτύπων (του ECSS-Q-ST-70-08C [3] για τη συγκόλληση και του ECSS-Q-ST-70-26C Rev.1 [4] για το πρεσάρισμα, όπως και με τον θηλυκό κονέκτορα).

Περισσότερες πληροφορίες για τον τρόπο τερματισμού του καλωδίου πάνω σε έναν τέτοιον σύνδεσμο θα δοθούν όταν θα μιλήσουμε αναλυτικά για το Συναρμολόγημα του Καλωδίου SpW (στο Κεφάλαιο 5).

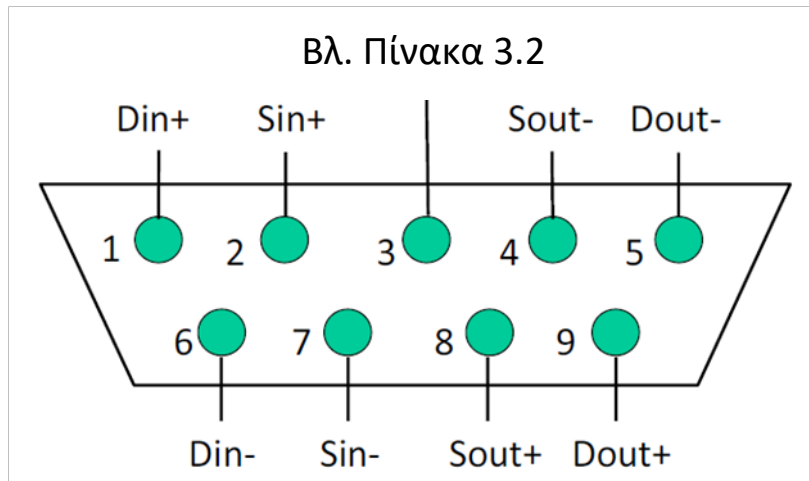
3.5 Ταυτοποίηση των Επαφών των Συνδέσμων

Όπως γνωρίζουμε, κάθε σύνδεσμος έχει κατάλληλο αριθμό από αγωγίμες απολήξεις, τι λεγόμενες επαφές. Στην περίπτωση του αρσενικού συνδέσμου, οι επαφές είναι τα σημεία στα οποία τερματίζονται τα διάφορα αγωγή μέρη του καλωδίου που εξυπηρετούν διάφορα σήματα. Στην περίπτωση του θηλυκού συνδέσμου, οι επαφές είναι τα σημεία από τα οποία ξεκινούν οι αγωγίμες συνδέσεις προς τα κατάλληλα σημεία μιας πλακέτας ενός οργάνου. Η σύνδεση αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου λοιπόν, εξασφαλίζει ότι τα σήματα που εξυπηρετεί το καλώδιο θα οδηγηθούν στα κατάλληλα σημεία της πλακέτας προς περαιτέρω ανάγνωση – επεξεργασία.

Με τον όρο λοιπόν «Ταυτοποίηση Επαφών των Συνδέσμων» (“Connector Contact Identification”) εννοούμε τον ορισμό – αποσαφήνιση του ποιά σήμα – αγωγή μέρος του καλωδίου θα οδηγείται σε κάθε επαφή. Δηλ. το να αποκρυσταλλώσουμε την αντιστοίχιση των επαφών των συνδέσμων με τα αγωγή μέρη του καλωδίου.

3.5.1 Για τους Συνδέσμους Type A

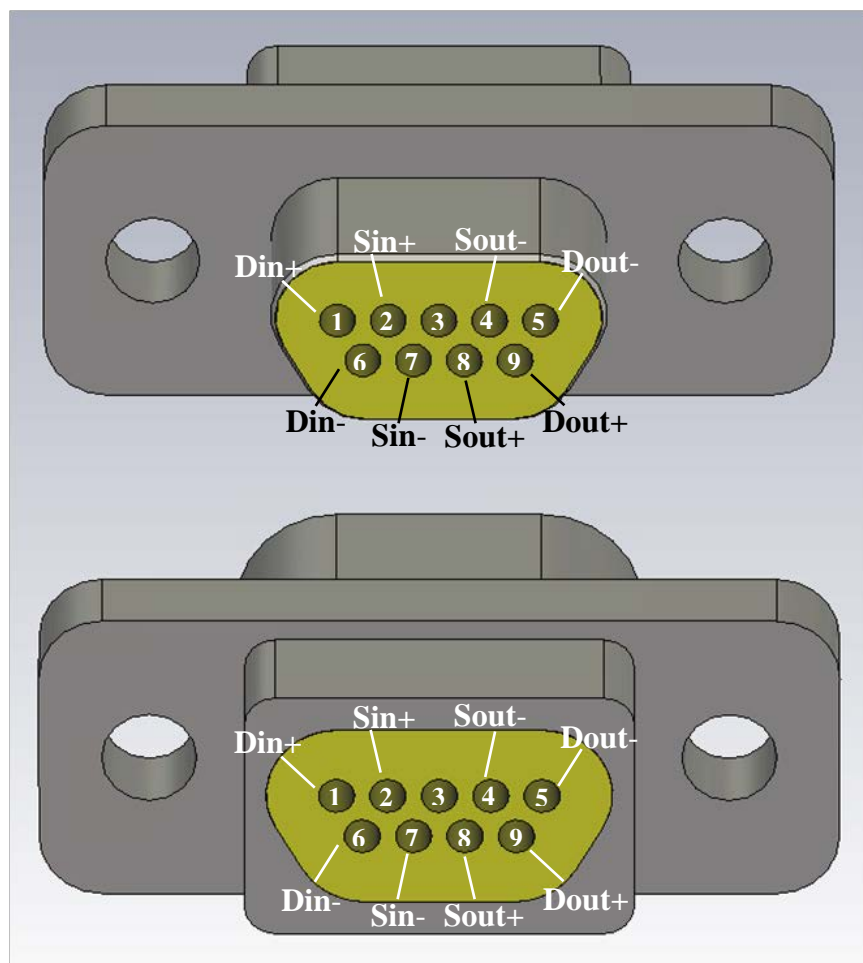
Η ταυτοποίηση των επαφών για τους Type A Connectors είναι πλήρως και με σαφήνεια καθορισμένη στο πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], δεδομένου ότι αυτοί οι σύνδεσμοι συμμορφώνονται πλήρως προς καθιερωμένα πρότυπα ESCC 3401/029 [6] και ESCC 3401/077 [7]. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η ταυτοποίηση των 9 επαφών των συνδέσμων SpW, με την βοήθεια μιας απλοϊκής όψης του βύσματος, προκειμένου να δοθεί έμφαση στο ποιά επαφή εξυπηρετεί το κάθε σήμα.



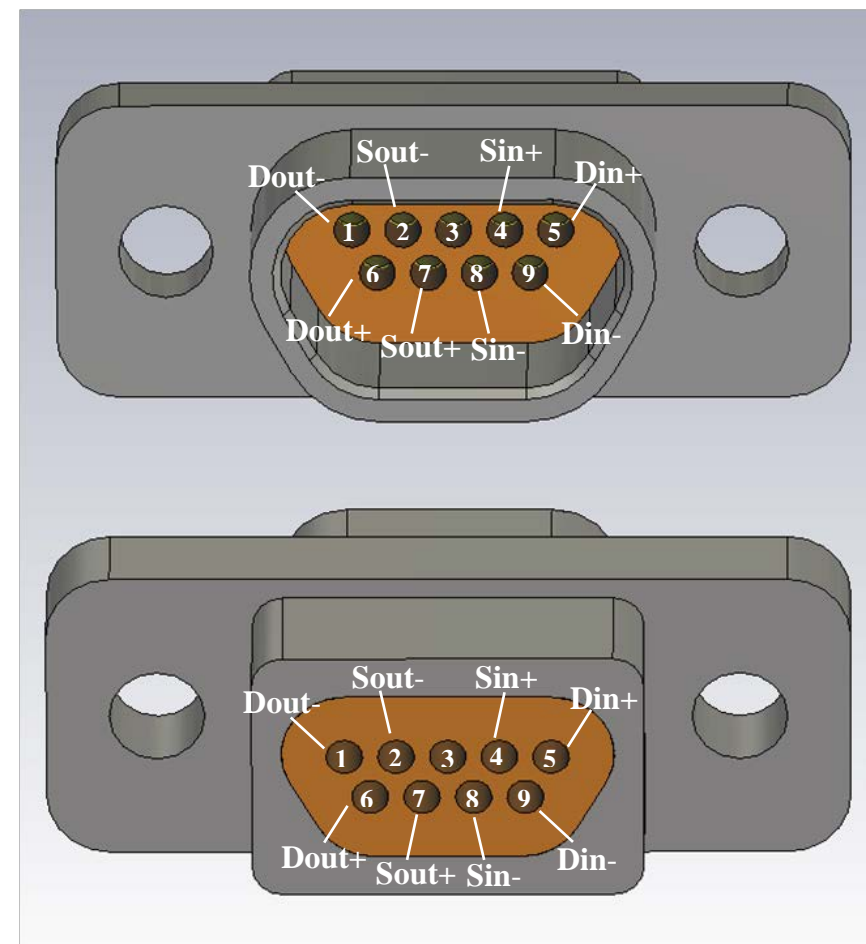
Σχήμα 3.1: Η ταυτοποίηση των επαφών των Type A SpW Connectors (σκαρίφημα ειδομένο από την πίσω όψη του θηλυκού ή την μπροστινή του αρσενικού) [2].

Μαζί παραθέτουμε και δύο εικόνες από τα βύσματα που δημιουργήθηκαν στον 3D Simulator του CST (και στα οποία θα αναφερθούμε διεξοδικά στην συνέχεια) για να γίνει αντιληπτό στον αναγνώστη τι σημαίνει όψη από το πίσω μέρος του θηλυκού και από το μπροστινό μέρος του αρσενικού.

Οι εικόνες αυτές είναι πολύ χρήσιμες, διότι μας δείχνουν και πώς γίνεται η αντιμετάθεση της ονομασίας των άκρων των επαφών, αναλόγως αν «βλέπουμε» από την εμπρός ή την πίσω όψη του κάθε βύσματος, έτσι ώστε πάντοτε η κάθε επαφή να αφορά το ίδιο σήμα.



Εικόνα 3.10: Η Ταυτοποίηση των επαφών των SpW Connectors του μοντέλου μας (στην πίσω όψη του θηλυκού και στην μπροστινή του αρσενικού) [56].



Εικόνα 3.11: Η Ταυτοποίηση των επαφών των SpW Connectors του μοντέλου μας (στην πίσω όψη του αρσενικού και στην μπροστινή του θηλυκού) [56].

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται συγκεντρωτικά οι επαφές αριθμημένες και το σήμα που εκχωρείται σε κάθε μία. Εδώ δίνονται και λίγα περισσότερα επεξηγηματικά σχόλια.

Πίνακας 3.2: Η ταυτοποίηση των επαφών των Type A SpW Connectors [2].

Αριθμός Επαφής	Όνομα Σήματος που εκχωρείται στις Επαφές Αρσενικού Συνδέσμου (ο οποίος είναι στα άκρα ενός συναρμολογήματος καλωδίου)		Όνομα Σήματος που εκχωρείται στις Επαφές Θηλυκού Συνδέσμου (ο οποίος είναι σε μια PCB ή σε μία Συσκευή)	
1	<i>Din +</i>		<i>Din +</i>	
2	<i>Sin +</i>		<i>Sin +</i>	
3	<u>Σε Type A Cable Assembly</u>	<u>Σε Type AL Cable Assembly</u>	<u>Σε Type A Cable Assembly</u>	<u>Σε Type AL Cable Assembly</u>
	Κανένα Σήμα (δηλ. η επαφή είναι ασύνδετη με κάποιον αγωγό από την μεριά του καλωδίου) ¹²⁶	Οι Εσωτερικές Θωρακίσεις των δύο Διαφορικών Ζευγών που μεταφέρουν το ένα σήμα (<i>out</i> ή <i>in</i>) (κωδικοποιημένο σε Data – Strobe) ¹²⁷	Γείωση Κυκλώματος (Circuit Ground) ¹²⁸	Γείωση Κυκλώματος (Circuit Ground) ¹²⁹
4	<i>Sout –</i>		<i>Sout –</i>	
5	<i>Dout –</i>		<i>Dout –</i>	
6	<i>Din –</i>		<i>Din –</i>	
7	<i>Sin –</i>		<i>Sin –</i>	
8	<i>Sout +</i>		<i>Sout +</i>	
9	<i>Dout +</i>		<i>Dout +</i>	

3.5.2 Για τους Συνδέσμους Type B

Στην περίπτωση των συνδέσμων τύπου B, η ανάθεση σημάτων στις επαφές τους γίνεται από τον κατασκευαστή. Και αυτό για τον λόγο ότι δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο που να καθορίζει σαφώς ούτε το σχήμα τους ούτε την τοποθέτηση των επαφών τους. Απλώς το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] εκφράζει τις ακόλουθες απαιτήσεις για αυτούς τους συνδέσμους (όσον αφορά στις επαφές τους τώρα):

- τα δύο σήματα που συνιστούν το κάθε διαφορικό ζεύγος, δηλ. το κάθε σήμα $X +$ με το αντίστοιχο $X -$ (π.χ. το $Din +$ με το $Din -$ κ.ο.κ.), πρέπει να ανατίθενται σε παρακείμενες – διπλανές – συνεχόμενες επαφές του συνδέσμου (είται συνεχόμενες της ίδιας σειράς επαφών είτε συνεχόμενες από την πάνω στην κάτω σειρά επαφών),
- καμία επαφή (του αρσενικού συνδέσμου) δεν πρέπει να συνδέεται σε κάποια από τις θωρακίσεις του καλωδίου (την εξωτερική ή κάποια από τις εξωτερικές)¹³⁰,

¹²⁶ Προφανώς όμως συνδέεται με την αντίστοιχη επαφή νούμερο 3 του θηλυκού συνδέσμου, από την μεριά που γίνεται η σύνδεση αρσενικού και θηλυκού βύσματος.

¹²⁷ Το πώς γίνεται αυτό θα εξηγηθεί καλύτερα στην παράγραφο 5.1.1.2, όταν θα μιλήσουμε για το Συναρμολόγημα καλωδίου Type AL.

¹²⁸ Εδώ αυτή η σύνδεση στη γείωση χρησιμεύει απλώς για να μην είναι στον αέρα η επαφή 3 του αρσενικού βύσματος, όπως θα εξηγήσουμε και στην παράγραφο 5.1.1.1 για το Συναρμολόγημα Καλωδίου Type A.

¹²⁹ Εδώ αυτή η σύνδεση στην γείωση χρησιμεύει για γειώνονται οι εσωτερικές θωρακίσεις των διαφορικών ζευγών, όπως θα εξηγήσουμε και στην παράγραφο 5.1.1.2 για το Συναρμολόγημα Καλωδίου Type AL.

¹³⁰ Αυτό απαιτείται από την νεότερη έκδοση του προτύπου, την ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] (την οποία χρησιμοποιούμε), με βάση την οποία πλέον πρέπει να χρησιμοποιείται το Συναρμολόγημα Type A, όπου καμία από τις θωρακίσεις του καλωδίου δεν συνδέεται με κάποια από τις επαφές του αρσενικού βύσματος (σε αντίθεση με το παλαιότερο συναρμολόγημα Type AL). Τις λεπτομέρειες αυτές σχετικά με τον τερματισμό του

- η εξωτερική θωράκιση του καλωδίου πρέπει να συνδέεται κυκλικά (δηλ. να τερματίζει όπως λέμε κατά 360°) στο σώμα του (αρσενικού) συνδέσμου,
- αν η κατασκευή του συνδέσμου το επιτρέπει, και οι εσωτερικές θωρακίσεις πρέπει να τερματίζουν κυκλικά στο σώμα του συνδέσμου.

3.6 Ο Σύνδεσμος – Βύσμα που επιλέχθηκε

Συνειδητοποιώντας την ανάγκη υλοποίησης των συνδέσμων, επόμενη βήμα ήταν η επιλογή ενός συγκεκριμένου συνδέσμου, του οποίου το μοντέλο θα δημιουργούσαμε. Φυσικό ήταν ότι θα επιλέγαμε να υλοποιήσουμε **Type A συνδέσμους** και αυτό για τον απλούστατο λόγο ότι θα είχαμε για να συμβουλευόμαστε αντίστοιχα πρότυπα με σαφείς οδηγίες κατά την κατασκευή των μοντέλων τους.

Όπως είδαμε παραπάνω (υποενότητα 3.3.1), οι σύνδεσμοι Type A, που χρησιμοποιούνται στο SpW, είναι micro-miniature D-type σύνδεσμοι με 9 πρεσαριστές επαφές (σαν γενική λειτουργική και μορφολογική κατηγοριοποίηση). Όπως βλέπουμε από το σχετικό πρότυπο ESCC 3401/029 [6] αλλά και από τους καταλόγους επαφών εταιρειών όπως η Axon', η Glenair, η ITT και η MILNEC (εταιρείες οι οποίες ακολουθούν την προτυποποίηση αυτή της ESA ή την MIL-DTL-83513 η οποία αποτελεί μέρος του [6], όπως φαίνεται από το Κεφάλαιο 2 "APPLICABLE DOCUMENTS", στην σελίδα 72 αυτού), υπάρχει πληθώρα τέτοιων συνδέσμων (βασισμένων δηλ. στον τύπο MDM), ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους. Ενδεικτικά αναφέρουμε [42]:

- Σύνδεσμοι Mico-D pre-wired (insulated or uninsulated), δηλ. με έτοιμους αγωγούς (μονωμένους ή αμόνωτους) πίσω από τις επαφές, εφαρμοσμένους πρεσαριστά σε αυτές,
- Σύνδεσμοι Mico-D solder cup, δηλ. με διαθέσιμες τις επαφές για συγκόλληση των αγωγών,
- Σύνδεσμοι PCB Mico-D (vertical mount or right – angle mount), δηλ. σύνδεσμοι για PCBs με ευθύγραμμο σχήμα ή σχήμα ορθής γωνίας, κ.α..

Το ερώτημα λοιπόν που ανακύπτει είναι «ποιόν σύνδεσμο να επιλέξουμε;». Η επιλογή μας έγινε με βάση δύο κριτήρια:

1. πώς θα υλοποιηθεί η εισαγωγή σημάτων στην προσομοίωση.
2. τι σύνδεσμοι υπάρχουν στο αντίστοιχο hardware του Εργαστηρίου Υ. Τ. της Σ.Η.Μ.Μ.Υ..

3.6.1 Εισαγωγή των Σημάτων στις Επαφές των Συνδέσμων

Η εισαγωγή των σημάτων προς μετάδοση στο καλώδιο SpW ή αντίστοιχα η λήψη των σημάτων από το καλώδιο προς μέτρηση, θα γίνεται απ' ευθείας από τις επαφές των θηλυκών συνδέσμων. Και όταν λέμε «σημάτων» εννοούμε των πραγματικών κυματομορφών που θα εξυπηρετηθούν από τους αγωγούς του καλωδίου¹³¹. Δηλ. το CST δεν έχει ανάγκη να υλοποιήσουμε και τις ηλεκτρονικές πλακέτες (PCBs) του Transmitter – Driver και του Receiver. Μπορεί απ' ευθείας να εκχωρεί ηλεκτρικά σήματα στους κόμβους που προσομοιώνουν το πέρας κάθε επαφής και αντίστοιχα να λαμβάνει ηλεκτρικά σήματα από τέτοιους κόμβους.

Έχοντας αυτή την γνώση, διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει ανάγκη να υλοποιηθεί και η PCB του οργάνου στο οποίο θα συνδέεται σε ένα πραγματικό σύστημα το καλώδιο. Ως εκ τούτου δεν υπάρχει καμία απολύτως ανάγκη να επιλέξουμε τους PCB Mounting Connectors για τα 3D μοντέλα μας

καλωδίου στα αρσενικά βύσματα σε κάθε τύπο συναρμολογήματος καλωδίου θα τις δούμε, όπως αναφέραμε, στο Κεφάλαιο 5.

¹³¹ Τα σήματα αυτά στο CST, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν είτε μέσω μιας πηγής ρεύματος, που θα επιβάλλει το ρεύμα της στην αντίστοιχη επαφή, είτε σαν μια πηγή τάσεως, που θα επιβάλλει ένα διαφορικό σήμα μεταξύ των επαφών κάθε διαφορικού ζεύγους.

(πόσο μάλλον που είναι και πιο σύνθετοι στην 3D αναπαράστασή τους). Μάλιστα ούτε και ως προς την Η/Μ συμπεριφορά ως συσσωματώματα γείωσης οι PCB Mounting Connectors έχουν να προσφέρουν κάποια σημαντική διαφοροποίηση, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος τους, που διαφοροποιεί το σχήμα τους ώστε να συνδέονται σε PCB, είναι από θερμοπλαστικό [38].

Συνεπώς, το πρώτο από τα δύο κριτήρια επιλογής συγκεκριμένου τύπου συνδέσμων (που παραθέσαμε μόλις πριν) λειτουργεί αποκλείοντας ορισμένους τύπους συνδέσμων.

3.6.2 Σύνδεσμοι που υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ. Τ.

Το Εργαστήριο Υ.Τ. της Σ.Η.Μ.Μ.Υ. διαθέτει στον ποικίλο εξοπλισμό του και hardware σχετικό με το SpW. Συγκεκριμένα διαθέτει:

- 2 καλώδια SpW, ένα μήκους 3 m και ένα μήκους 10 m. Τα καλώδια αυτά είναι Variant 01 και Συναρμολογήματος Type AL (στα χαρακτηριστικά του οποίου θα αναφερθούμε στην παράγραφο 5.1.1.2)
- Μία κονσόλα του προσομοιωτή i-SAFT Simulator, μια συσκευής στην οποία συνδέεται το καλώδιο SpW και πραγματοποιούνται ολοκληρωμένες προσομοιώσεις της λειτουργίας του (δημιουργία ζεύξης, μεταφορά πακέτων δεδομένων κτλ.).

Από τον εξοπλισμό αυτόν έχουμε δυνατότητα να διαπιστώσουμε ιδίως όμμασι τους τύπους των συνδέσμων SpW που χρησιμοποιούνται.

Ως προς μεν τους αρσενικούς συνδέσμους, τους βλέπουμε μόνο στο καλώδιο και κατά το μπροστινό τους μέρος:



Εικόνα 3.13: Όψη αρσενικού συνδέσμου από καλώδιο SpW [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Εικόνα 3.12: Ετέρα όψη αρσενικού συνδέσμου από καλώδιο SpW [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Ως προς δε τους θηλυκούς, μπορούμε να τους δούμε στην κονσόλα του i-SAFT Simulator, κατά το μπροστινό μέρος:



Εικόνα 3.14: Θηλυκοί σύνδεσμοι από από την κονσόλα του i-SAFT Simulator [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Όμως υπάρχει στο εργαστήριο και ένα δείγμα θηλυκού connector με «αιωρούμενους» αγωγούς, το οποίο μπορεί κανείς να παρατηρήσει από όλες του τις πλευρές:



Εικόνα 3.15: Όψη θηλυκού συνδέσμου (με αιωρούμενους αγωγούς) [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Εικόνα 3.16: Ετέρα όψη θηλυκού συνδέσμου (με αιωρούμενους αγωγούς) [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Επειδή λοιπόν αυτό το τελευταίο δείγμα θηλυκού συνδέσμου μας δείνει μεγαλύτερη ευχέρεια στο να μετρήσουμε τις διαστάσεις του και τις διάφορες αποστάσεις σε δεσμική κατάσταση με το αρσενικό βύσμα του καλωδίου, **επιλέξαμε να φτιάξουμε μοντέλα για αυτόν τον τύπο κονέκτορα στο CST (και για το θηλυκό και για το αρσενικό).**

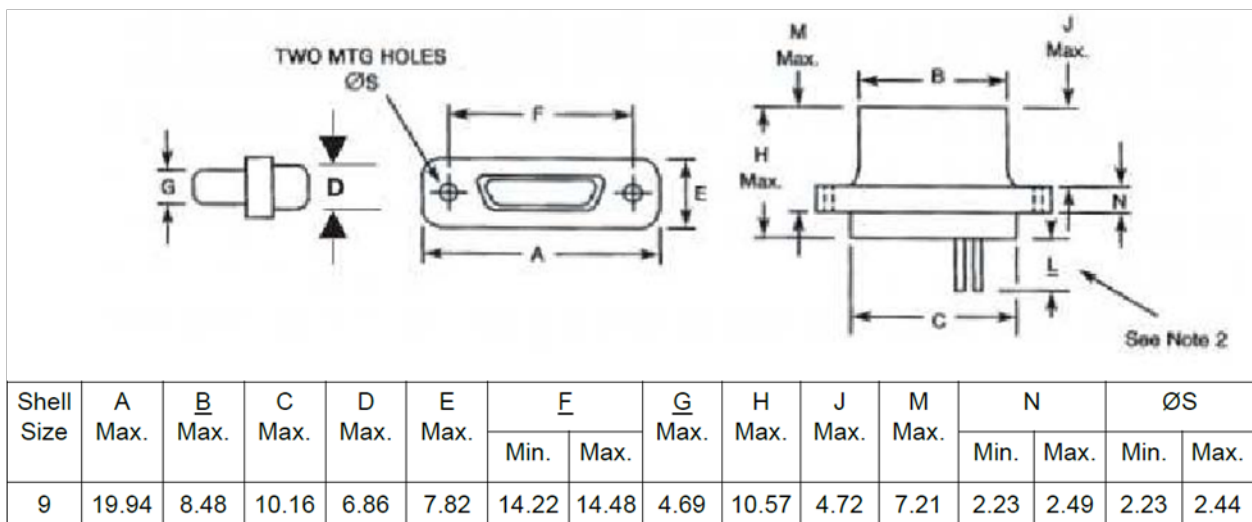
Αρα το δεύτερο κριτήριο (από τα δύο που δώσαμε στην αρχή της ενότητας 3.6) είναι αυτό που μας οδηγεί σε σαφή και τελική επιλογή του συνδέσμου που θα επιλέξουμε να υλοποιήσουμε στο CST.

Φυσικά για να προχωρήσουμε στην υλοποίησή τους, αναγκαίο ήταν να μετρήσουμε με ακρίβεια όλες τις διαστάσεις τους. Η μέτρηση παρατίθεται στην επόμενη υποενότητα, έτσι ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητός ο συμβολισμός των διαστάσεων (μετά την αντιπαραβολή με το [6]).

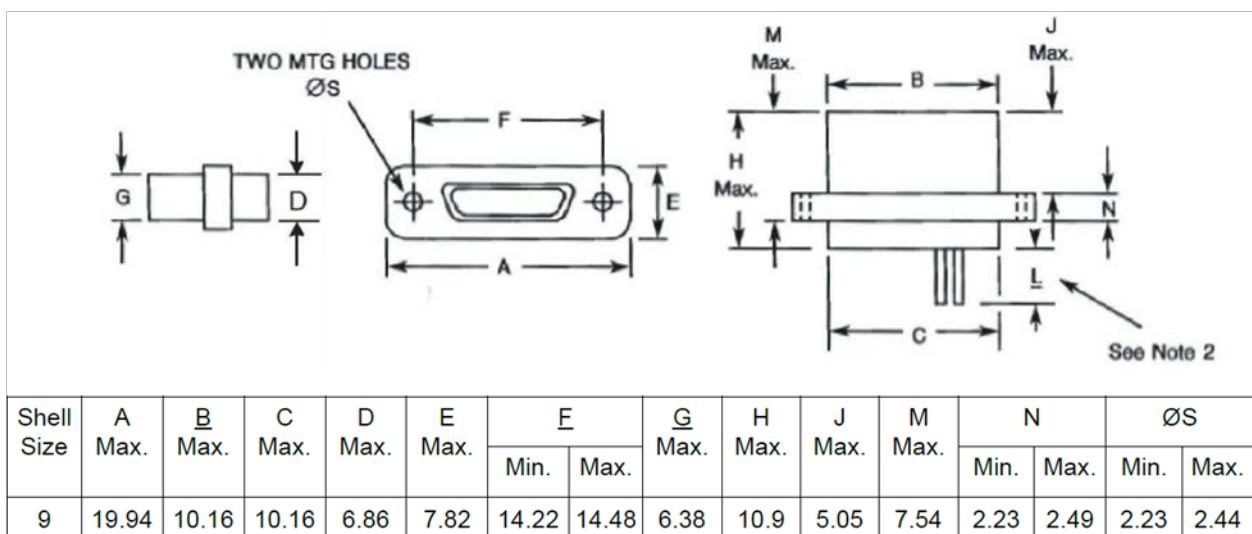
3.6.3 Αντιστοίχιση του επιλεγμένου Συνδέσμου στο Πρότυπο

Ο συγκεκριμένος τύπος κονέκτορα που υπάρχει στο hardware του Εργαστηρίου και εν τέλει επιλέχθηκε προς υλοποίηση, είναι, με βάση το πρότυπο ESCC 3401/029 [6], ο **FR11x** ή **FR12x** (με το x να μπορεί να πάρει τις τιμές, που φαίνονται στην §4.5.3.3 του [6], δηλώνοντας έτσι διαφοροποιήσεις κυρίως ως προς την διάμετρο των επαφών και το μήκος των αγωγών που θα συνδεθούν σε αυτές, είτε είναι οι αγωγοί πίσω από τον θηλυκό κονέκτορα, που θα συνδεθούν σε πλακέτα, είτε πίσω από τον αρσενικό κονέκτορα δηλ. οι αγωγοί του καλωδίου).

Ακολουθούν οι σχετικές εικόνες από το ESCC 3401/029 [6] για τον συγκεκριμένο τύπο σύνδεσμο, τον FR11x ή FR12x, πρώτα για αρσενικό και έπειτα για θηλυκό κονέκτορα (οι διαστάσεις είναι όλες σε mm):



Σχήμα 3.2: Οι όψεις και οι διαστάσεις του αρσενικού συνδέσμου FR11x ή FR12x [6].



Σχήμα 3.3: Οι όψεις και οι διαστάσεις του θηλυκού συνδέσμου FR11x ή FR12x [6].

Για να επιβεβαιώσουμε με απόλυτη σιγουριά ότι οι σύνδεσμοι του Εργαστηρίου Υ. Τ. ανήκουν πράγματι σε αυτόν τον προτυποποιημένο τύπο, προχωρήσαμε σε μια επαλήθευση των διαστάσεων. Δηλ. πραγματοποιήσαμε μέτρηση των διαστάσεων των συνδέσμων του Εργαστηρίου (με την χρήση παχυμέτρου) και τις αντιπαραβάλλαμε με τις τιμές των Σχημάτων 3.2 και 3.3.

Στον πίνακα που ακολουθεί παραθέτουμε τις μετρήσεις που λάβαμε¹³². Για να γίνεται εύκολη αντιπαραβολή με τους πίνακες του Προτύπου (βλ. τα δύο παραπάνω σχήματα), θα χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο συμβολισμό για τις διαστάσεις. Και εδώ όλες οι διαστάσεις είναι σε *mm*.

Πίνακας 3.3: Οι διαστάσεις των συνδέσμων *SpW* του Εργαστηρίου Υ.Τ. [Μέτρηση στο Εργαστήριο].

Shell Size	A	B	C	D	E	F	G	H	J	M	N	ØS	
P	9	19.85	8.46	–	–	7.54	14.45	4.61	–	4.67	7.09	2.42	2.44
S	9	19.82	10.07	9.69	6.49	7.48	14.38	6.29	10.72	5.02	7.4	2.38	2.35

Παρατηρούμε ότι όλες οι μετρούμενες διαστάσεις βρίσκονται σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του προτύπου για τον τύπο FR11x ή FR12x. Η επαλήθευση αυτή λοιπόν στηρίζει – δικαιολογεί την από μέρους μας επιλογή αυτού του τύπου συνδέσμου προς υλοποίηση στο CST.

Σχόλιο σχετικά με τον είδος των επαφών των συνδέσμων του Εργαστηρίου:

Η αλήθεια είναι ότι δεν γνωρίζουμε αν οι κονέκτορες του εργαστηρίου είναι pre-wired ή solder cup, δηλ. αν έχουν έτοιμους εφαρμοσμένους αγωγούς πίσω τους (σαν τον τύπο FR11x ή FR12x του [6]) ή αν έχουν υποδοχές για συγκόλληση αγωγών (σαν τον τύπο FR164 του [6]). Όπως όμως παρατηρήσαμε από τα [38], [40], [41], [42], τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός συνδέσμου με υποδοχές στο πίσω μέρος του προς συγκόλληση αγωγών είναι απολύτως όμοια με αυτά του αντιστοίχου συνδέσμου pre-wired¹³³. Συνεπώς δεν μας απασχολεί και πολύ αν στην πραγματικότητα το καλώδιό μας ή η κονσόλα του i-SAFT έχουν τον έναν ή τον άλλον τύπο συνδέσμων, διότι το 3D μοντέλο που θα υλοποιήσουμε θα είναι το ίδιο. Και θα είναι το ίδιο γιατί, όπως είπαμε, οι μόνες διαφορές στην κατασκευή είναι στο πίσω μέρος του συνδέσμου, στον τρόπο σύνδεσης των αγωγών στις επαφές και όχι στο κέλυφος του και εμείς δεν θα προσομοιώσουμε αυτό τον τρόπο της σύνδεσης (όπως επισημάναμε στην υποενότητα 3.6.1).

3.6.4 Αντίστοιχοι Εμπορικοί Σύνδεσμοι

Ακολουθούν παραδείγματα εμπορικών συνδέσμων, που συμμορφώνονται προς αυτόν τον συγκεκριμένο τύπο του προτύπου ESCC 3401/029 [6], τον FR11x ή FR12x, τον οποίο και επιλέξαμε να υλοποιήσουμε στο CST. Τόσο από τις εικόνες των συνδέσμων, που θα ακολουθήσουν, όσο πολύ περισσότερο και από τις διαστάσεις τους¹³⁴, θα διαπιστώσουμε την συμφωνία τους με τον επιλεγμένο.

¹³² Να σημειώσουμε ότι από τον Πίνακα 3.3 λείπουν οι διαστάσεις, που σχετίζονται με το πίσω μέρος του αρσενικού βύσματος, καθώς δεν μπορούσαν να μετρηθούν εξαιτίας της ύπαρξης ενός μονωτικού στρώματος που σκέπαζε τον τερματισμό της θωράκισης του καλωδίου στο σώμα του βύσματος.

¹³³ Δεν θα δώσουμε εν προκειμένω επιπλέον εικόνες από τους συνδέσμους αυτούς, για οικονομία χώρου. Παραπέμπουμε τον αναγνώστη στους καταλόγους που σημειώσαμε παραπάνω, όπου μπορεί να βρει τα σχέδια των όψεων και τις διαστάσεις των σχετικών συνδέσμων.

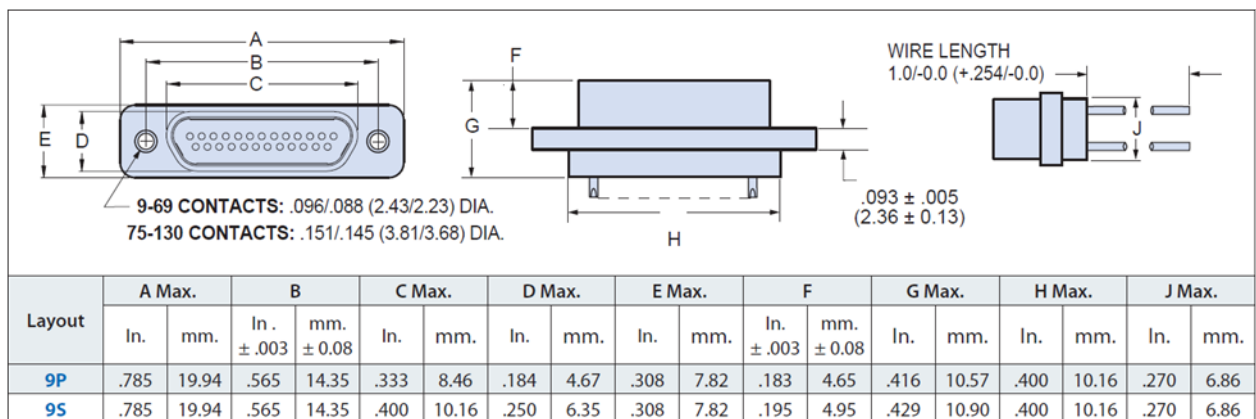
¹³⁴ Στα Σχήματα 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 αλλά και στον Πίνακα 3.3, το μέγεθος Shell Size μας έχει ως τιμή το πλήθος των επαφών του συνδέσμου (γιατί αναλόγως του πλήθους αυτού, αλλάζει και το γεωμετρικό μέγεθος του βύσματος). Συνεπώς για την προκειμένη περίπτωση, όπου οι σύνδεσμοι προορίζονται για εφαρμογές SpW, το μέγεθος τους αυτό έχει τιμή 9 (όσες οι επαφές ενός συνδέσμου SpW). Δεν πρέπει να μας μπερδεύει το γεγονός ότι στις Εικόνες 3.17, 3.18, 3.19 και 3.20 όλων των εμπορικών συνδέσμων που θα ακολουθήσουν, βλέπουμε περισσότερες επαφές. Το πλήθος των επαφών εκεί είναι ενδεικτικό, διότι οι σύνδεσμοι αυτοί προορίζονται και για άλλες εφαρμογές.

- **Micro-D MWDM Insulated Wire Metal Shell Connector (εταιρεία Glenair)**



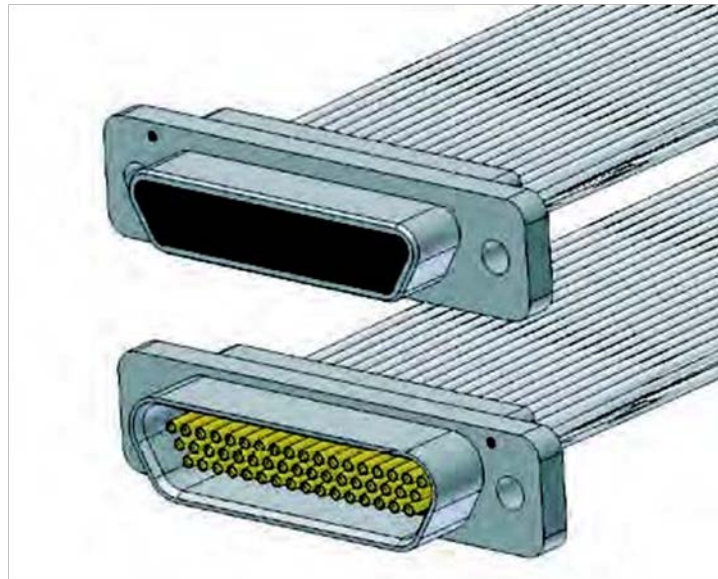
Εικόνα 3.17: Θηλυκός Σύνδεσμος
Micro-D MWDM Insulated Wire
Metal Shell Connector [40].

Δυστυχώς ο κατάλογος επαφών της Glenair δίνει εικόνα μόνο θηλυκού βύσματος για αυτό τον τύπο κονέκτορα. Επίσης δίνει μόνο για το θηλυκό μηχανολογικό σχέδιο όψεων. Πάντως παραθέτει κανονικά τις διαστάσεις και των δύο, θηλυκού και αρσενικού (βλ. το ακόλουθο σχήμα).



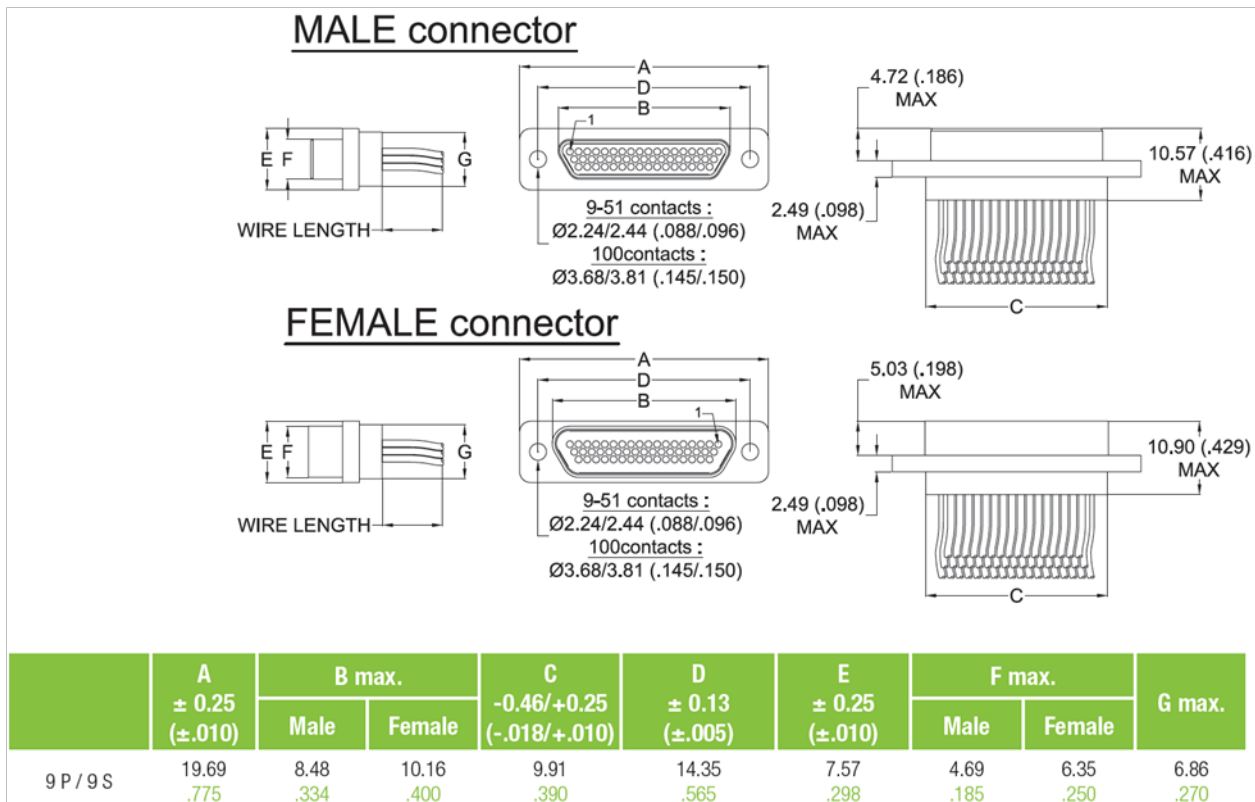
Σχήμα 3.4: Οι όψεις του θηλυκού και οι διαστάσεις του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου Micro-D MWDM Insulated Wire Metal Shell Connector [40].

▪ **Pigtail Connector Metal Shell (MIL-DTL-83513 /03 & /04) (εταιρεία Axon')**



Εικόνα 3.18: Θηλυκός Σύνδεσμος Pigtail Connector Metal Shell (MIL-DTL-83513 /03 & /04) [38].

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συνδέσμου (λεπτομερείς όψεις και διαστάσεις) ακολουθούν. Διευκρινίζουμε για το σχήμα που έπεται, ότι οι διαστάσεις εκτός παρενθέσεων είναι σε mm και εντός παρενθέσεων ή εκτός παρενθέσεων αλλά με πράσινο χρώμα σε inches.



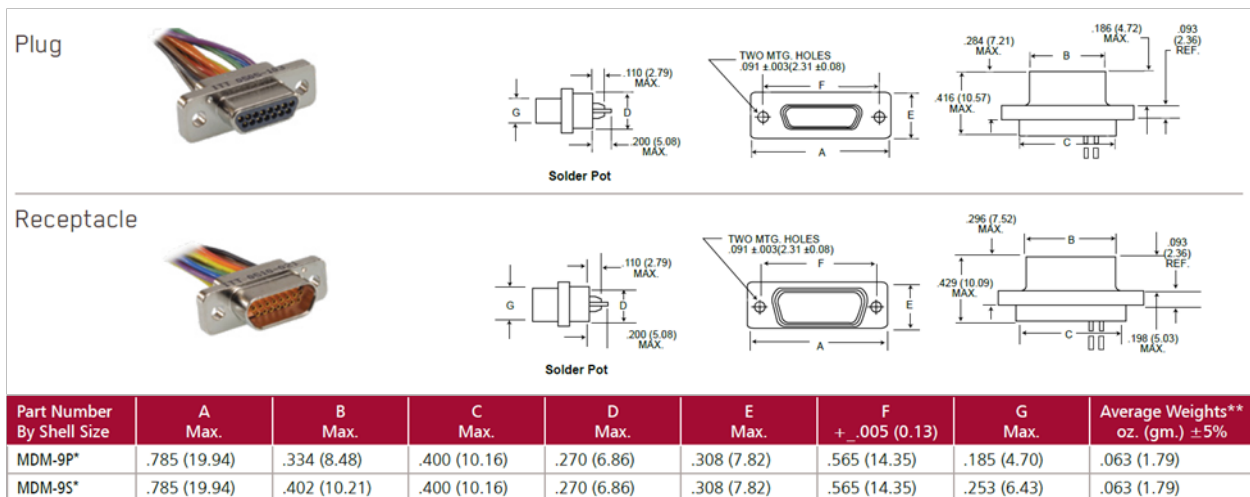
Σχήμα 3.5: Οι όψεις και οι διαστάσεις του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου Pigtail Connector Metal Shell (MIL-DTL-83513 /03 & /04) [38].

▪ **Micro-D Metal Shell - .050'' Contact Spacing (εταιρεία ITT)**



Εικόνα 3.19: Αρσενικός Σύνδεσμος Micro-D Metal Shell - .050'' Contact Spacing [41].

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται και πάλι τα μηχανολογικά σχέδια των όψεων των συνδέσμων (αρσενικού και θηλυκού) με τις διαστάσεις τους. Αυτή την φορά οι διαστάσεις εκτός παρενθέσεων είναι σε inches και εντός παρενθέσεων σε mm)



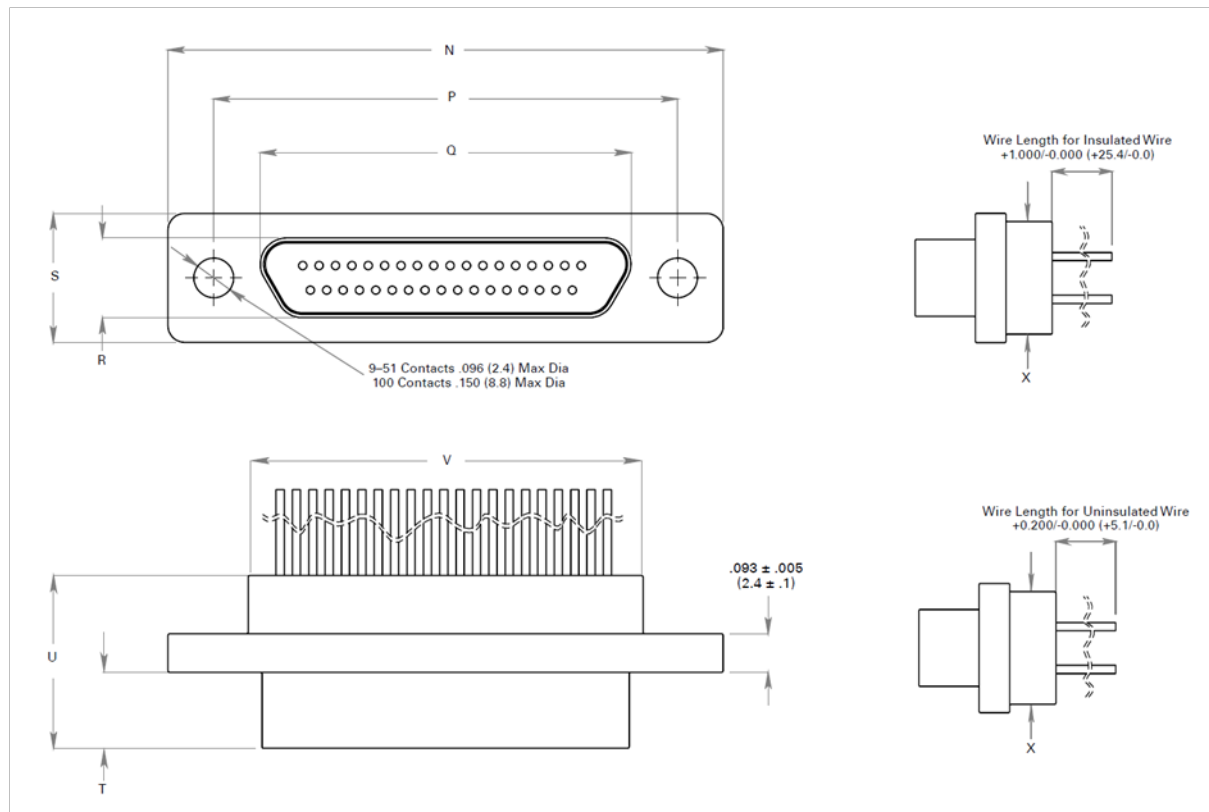
Σχήμα 3.6: Οι όψεις και οι διαστάσεις του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου Micro-D Metal Shell - .050'' Contact Spacing [41].

▪ **Pre-Wired Micro-D (εταιρεία MILNEC)**



Εικόνα 3.20: Αρσενικός Σύνδεσμος Pre-Wired Micro-D [42].

Ο κατάλογος επαφών για αυτή την εταιρεία δίνει εικόνα μόνο του αρσενικού βύσματος για αυτό τον τύπο κονέκτορα. Επίσης δίνει μόνο τις όψεις του αρσενικού σε μηχανολογικό σχέδιο (βλ. Σχήμα 3.7) Πάντως παραθέτει κανονικά τις διαστάσεις και του αρσενικού και του θηλυκού. Διευκρινίζουμε και πάλι ότι οι διαστάσεις εκτός παρενθέσεων είναι σε inches και εντός παρενθέσεων σε mm.



Pre-Wired Micro-D Dimensions

Shell Size	N	P	Q	R	S	T	U	V	X
9P	0.785 (19.9)	0.565 (14.4)	0.333 (8.5)	0.184 (4.7)	0.310 (7.9)	0.183 (4.7)	0.416 (10.6)	0.400 (10.2)	0.270 (6.9)
9S	0.785 (19.9)	0.565 (14.4)	0.400 (10.2)	0.250 (6.4)	0.310 (7.9)	0.195 (5.0)	0.429 (10.9)	0.400 (10.2)	0.270 (6.9)

Σχήμα 3.7: Οι όψεις του αρσενικού και οι διαστάσεις του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου Pre-Wired Micro-D [42].

Από τα σχέδια των όψεων των παραπάνω συνδέσμων και τα συνοδευτικά πινακάκια τιμών με τις διαστάσεις τους, διαπιστώνουμε ότι όλοι τους έχουν τις ίδιες διαστάσεις μεταξύ τους (με ελάχιστες διαφοροποιήσεις σε μερικές μόνο εξ' αυτών των και μάλιστα διαφοροποιήσεις της τάξης του δεκάτου ή του εκατοστού του *mm*). Και όλες αυτές οι διαστάσεις βρίσκονται σε συμφωνία με αυτές που δίνει το ESCC 3401/029 [6] για αυτό τον τύπο συνδέσμου (τον FR11x ή FR12x), τον οποίο και αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε.

3.7 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST

Τα μοντέλα των Συνδέσμων – Βυσμάτων του Καλωδίου SpW, όπως αναπτύχθηκαν κατά την διάρκεια της τελειοποίησής τους (διαδικασία που θα αναλύσουμε παρακάτω), δημιουργήθηκαν και διατηρήθηκαν στα αρχεία CST, που θα παραθέσουμε αμέσως τώρα (εξηγώντας και τους λόγους που διατηρήθηκαν όλα τα αρχεία αυτά).

- SpW_Connectors_Separated.cst
- SpW_Connectors_Separated_Aligned.cst

- **SpW_Connectors_Separated_Mounting_Condition.cst**
- **SpW_Connectors_Mounting_Condition.cst**
- **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors.cst**
- **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**

Και στα 6 αυτά αρχεία, τα 3D αντικείμενα των συνδέσμων έχουν φτάσει στην «σωστή» τους μορφή (μετά την υλοποίηση των διορθώσεων, που θα αναφέρουμε στην παράγραφο 3.8.1.1). Επίσης τους έχουν ανατεθεί τα κατάλληλα υλικά (βλ. υποενότητα 3.8.2).

Το αρχείο **SpW_Connectors_Separated.cst** έχει τους δύο κονέκτορες, αρσενικό και θηλυκό, να είναι σωστά ευθυγραμμισμένοι, αλλά να έχουν μια απόσταση ο ένας από τον άλλον, απόσταση ικανή για να ληφθούν επεξηγηματικές εικόνες από όλες τους τις πλευρές (π.χ. η Εικόνα 3.55). από την άλλη, στο αρχείο **SpW_Connectors_Separated_Aligned.cst**, οι δύο παραπάνω κονέκτορες, παραμένοντας πάντα σε ευθυγράμμιση ως προς τις οπές των επαφών τους, έχουν λάβει την σωστή μεταξύ τους απόσταση, όπως θα ήταν στην δεσμική κατάσταση.

Το αρχείο **SpW_Connectors_Separated_Mounting_Condition.cst** είναι η συνέχεια του προηγούμενου. Στο αρχείο αυτό έχει οριστεί ένα στερεό σώμα σε σχήμα δακτυλίου, το οποίο θα υλοποιήσει την διεπαφή των δύο συνδέσμων, αρσενικού και θηλυκού (και στο οποίο θα αναφερθούμε στην παράγραφο 3.8.3.3). Αυτό το στερεό παραμένει ακόμα άλλο αντικείμενο από τα κελύφη των συνδέσμων. Στο επόμενο αρχείο, το **SpW_Connectors_Mounting_Condition.cst**, το στερεό αυτό καθώς και τα μεταλλικά κελύφη των δύο συνδέσμων, σε δεσμική κατάσταση, ενώνονται, ώστε να αποτελέσουν ένα ενιαίο στερεό.

Στα δύο τελευταία αρχεία φτιάχνουμε από ένα αντίγραφο του κάθε συνδέσμου, αρσενικού και θηλυκού και στην συνέχεια δημιουργούμε τα δύο συσσωματώματα των συνδέσμων, αρσενικού και θηλυκού, σε δεσμική κατάσταση, ένα συσσωμάτωμα για το κάθε άκρο του καλωδίου (τον συμβατικό πομπό και τον συμβατικό δέκτη). Στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors.cst** τα συσσωματώματα είναι απλώς μόνα τους στον χώρο, ενώ στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst** έχουν δημιουργηθεί επάνω τους και οι επαφές.

Με τις ενέργειες που θα αναφέρουμε στην συνέχεια, θα ολοκληρωθεί το μοντέλο των συνδέσμων, παραμετροποιημένο πλήρως και έτοιμο για την σύνδεση με το καλώδιο. Να σημειώσουμε ότι από τα 6 παραπάνω αρχεία, τα 4 πρώτα διατηρούνται περισσότερο για λόγους κατανόησης της πορείας δημιουργίας των συνδέσμων. Στην πραγματικότητα τα δύο τελευταία και ειδικά το **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**, είναι εκείνα τα οποία έχουν τα μοντέλα των συνδέσμων στην τελική τους μορφή, έτοιμα προς σύνδεση με το καλώδιο. Συνεπώς και αυτά είναι κατά βάση τα αρχεία των συνδέσμων που είναι απαραίτητα για την περαιτέρω πορεία της εργασίας. Για αυτό και σε αυτά έχει οριστεί και η σχετική λίστα παραμέτρων. Ακολουθεί ο σχετικός Πίνακας με το ποιές παραμέτρους χρησιμοποιεί κάθε αρχείο.

Πίνακας 3.4: Υπόμνημα των Παραμέτρων που χρησιμοποιεί κάθε Project.

Όνομασία Project	Λίστα Παραμέτρων
SpW_Connectors_Separated.cst	Το Project δεν έχει παραμέτρους.
SpW_Connectors_Separated_Aligned.cst	Το Project δεν έχει παραμέτρους.
SpW_Connectors_Separated_Mounting_Condition.cst	Το Project δεν έχει παραμέτρους.
SpW_Connectors_Mounting_Condition.cst	Το Project χρησιμοποιεί μόνο τις παραμέτρους 6, 7 και 8 από αυτές του Πίνακα 3.6.
Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 3.6.
Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 3.6.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές τιμών παραμέτρων στα αρχεία της καμπύλης του καλωδίου:

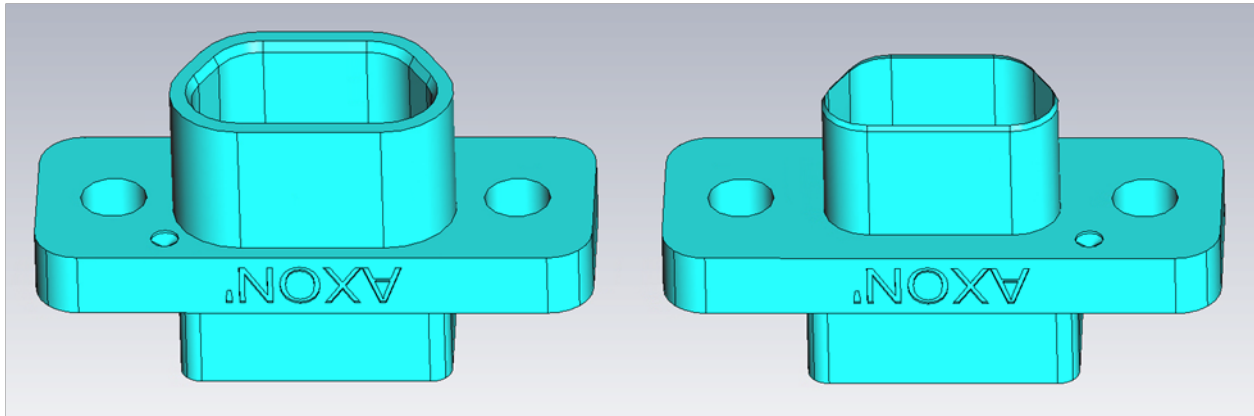
Όπως είπαμε και για τα αρχεία της διατομής (στην ενότητα 2.4), το τελικό αρχείο των συνδέσμων (Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst) θα συνδυαστεί και αυτό με άλλα, προς δημιουργία του τελικού μας μοντέλου ενός πλήρως λειτουργικού καλωδίου SpW. Κατά τον συνδυασμό του με αυτά, θα προκύψουν, όπως θα δούμε παρακάτω, αρχεία προσανατολισμένα επακριβώς για Var. 01 ή για Var. 02 καλώδιο [ενώ εδώ ακόμα αυτή η διάκριση δεν φαίνεται και οι αρχικές τιμές στις παραμέτρους έχουν δοθεί για Var. 01 (δηλ. στον Πίνακα 3.6 δίνουμε τις διαφορετικές τιμές για τις δύο παραλλαγές, αλλά επί του παρόντος, στο αρχείο είναι εν χρήση οι τιμές που αφορούν στην Var. 01)]. Είναι σημαντικό να μην ξεχάσουμε, όταν δημιουργηθούν τα σχετικά αρχεία, να ενημερώσουμε την παράμετρο *Variant_of_SpW_Cable* στην σωστή τιμή (01 ή 02, αναλόγως).

3.8 3D Μοντέλο των Συνδέσμων

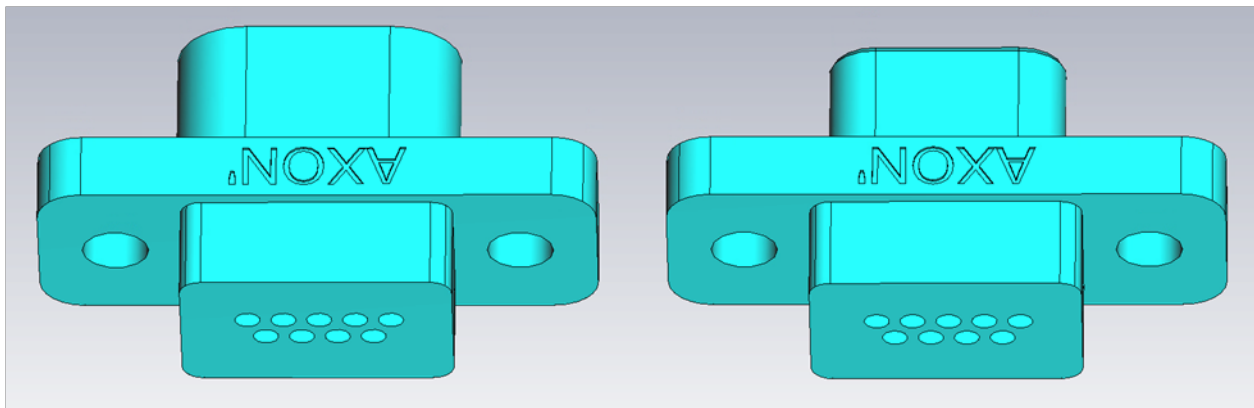
Έχοντας καταλήξει στον τύπο συνδέσμου που θα υλοποιήσουμε, επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του 3D μοντέλου στο CST. Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 3.1, έπρεπε να δημιουργήσουμε τρισδιάστατο μοντέλο και τον αρσενικό και τον θηλυκό κονέκτορα.

3.8.1 Αρχικά Μοντέλα της Axon' και επεξεργασία τους

Λίαν βοηθητικό στην διαδικασία της δημιουργίας των μοντέλων μας υπήρξε το γεγονός της ευρέσεως δύο αρχείων CAD, τα οποία περιείχαν τα μοντέλα ενός κονέκτορα αυτού ακριβώς του τύπου, του FR11x ή FR12x. Συγκεκριμένα, τα αρχεία αυτά περιείχαν τα 3D μοντέλα ενός αρσενικού και ενός θηλυκού βύσματος τύπου micro-D της εταιρείας Axon'. Επρόκειτο για βύσματα που είχαν μοντελοποιηθεί χωρίς τις επαφές, πράγμα εξυπηρετικό για εμάς αφού, ως προς την 3D μοντελοποίηση, κυρίως το κέλυφος του βύσματος μας ενδιέφερε από Η/Μ πλευράς (όπως εξηγήσαμε στην ενότητα 3.1). Οι επαφές θα υλοποιούνταν διαφορετικά (βλ. την ενότητα 3.9). Ακριβώς τώρα επειδή δεν είχαν επαφές, τα μοντέλα αυτά είχαν ένα απλό «κλείσιμο» στο πίσω μέρος τόσο του αρσενικού όσο και του θηλυκού βύσματος. Λόγω του γεγονότος αυτού, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο για pre-wired όσο και για solder cup κονέκτορες (με τις σχετικές βέβαια τροποποιήσεις), συνεπώς ήταν με μια πρώτη ματιά κατάλληλα για την δική μας προσομοίωση (για την οποία δεν είχε ενδιαφέρον αυτός ο τρόπος σύνδεσης των επαφών του θηλυκού συνδέσμου με το σύστημα πίσω από αυτόν, όπως εξηγήσαμε στην υποενότητα 3.6.1). Παρακάτω παραθέτουμε εικόνες από τα δύο αυτά βύσματα:

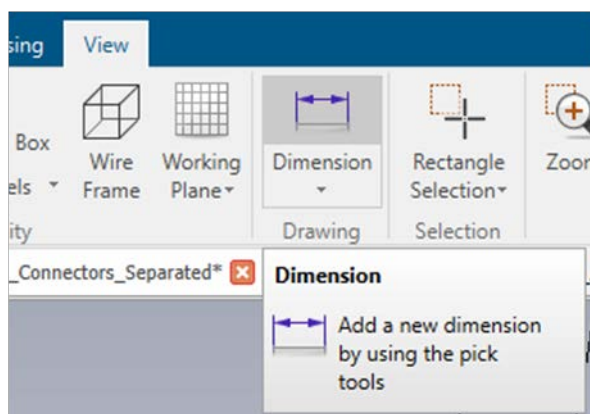


Εικόνα 3.21: Όψη των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου της εταιρείας Axon' [56].



Εικόνα 3.22: Ετέρα όψη των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου της εταιρείας Axon' [56].

Πριν όμως προχωρήσουμε στην αποδοχή αυτών των μοντέλων, σαν βάση για το δικό μας, έπρεπε να βεβαιωθούμε ότι οι διαστάσεις τους ήταν σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του προτύπου για τον τύπο σύνδεσμου FR11x ή FR12x αλλά και με τις διαστάσεις των συνδέσμων που υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ.Τ.. Άρα οφείλαμε να κάνουμε μια μέτρηση των διαστάσεων σε αυτά τα μοντέλα και να προχωρήσουμε σε μια αντιπαραβολή τους με αυτές των Σχημάτων 3.2 και 3.3 και του Πίνακα 3.3. Η μέτρηση αυτή μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με την βοήθεια του εργαλείου Dimensions της καρτέλας Drawing που βρίσκεται στην εργαλειοταινία View.



Εικόνα 3.23: Το εργαλείο μέτρησης διαστάσεων στο CST [56].

Οι τιμές που λάβαμε με τις μετρήσεις μας αυτές παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα. Και πάλι για λόγους εύκολης αντιπαραβολής, θα χρησιμοποιήσουμε τον ίδιο συμβολισμό για τις διαστάσεις με αυτόν που χρησιμοποιεί το πρότυπο ESCC 3401/029 [6]. Και εδώ όλες οι διαστάσεις είναι σε *mm*.

Πίνακας 3.5: Οι διαστάσεις των συνδέσμων *SpW* των 3D μοντέλων της *Axon'* [56].

Shell Size		A	B	C	D	E	F	G	H	J	M	N	ØS
P	9	19.81	8.42	9.64	6.45	7.47	14.35	4.59	10.41	4.65	7.03	2.38	2.36
S	9	19.81	10.10	9.64	6.45	7.47	14.35	6.25	10.67	4.98	7.36	2.38	2.36

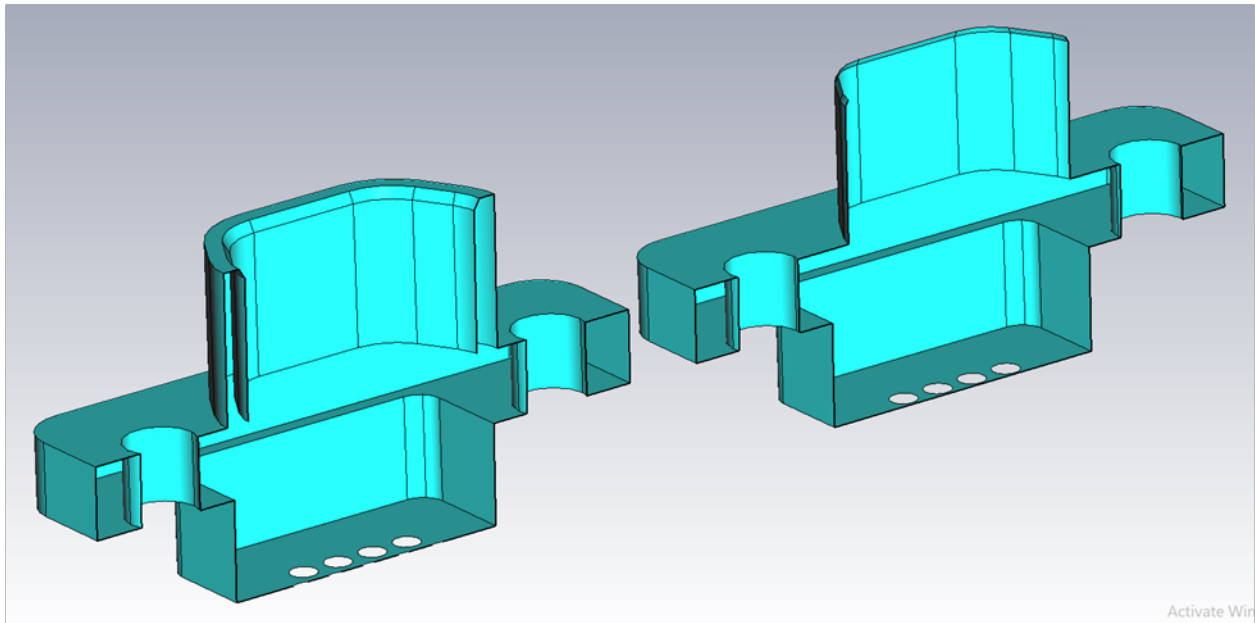
Παρατηρώντας τον Πίνακα 3.5 και τα Σχήματα 3.2 και 3.3, διαπιστώνουμε ότι όλες οι μετρούμενες διαστάσεις βρίσκονται σε συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του προτύπου για τον τύπο FR11x ή FR12x. Η επαλήθευση αυτή λοιπόν μας επιτρέπει τελικώς να χρησιμοποιήσουμε τα μοντέλα αυτά για την προσομοίωσή μας. Επίσης αντιπαραβάλλοντας τους Πίνακες 3.3 και 3.5, παρατηρούμε ότι οι διαστάσεις αυτών των μοντέλων της *Axon'* ήταν και πολύ κοντά με τις αντίστοιχες διαστάσεις των συνδέσμων που ευρίσκονται στο εργαστήριο. Άρα αυτό είναι και μια εξασφάλιση ότι η προσομοίωση που θα υλοποιήσουμε θα είναι κατά το δυνατόν κοντά στο φυσικό σύστημα.

3.8.1.1 Τα προβλήματα των μοντέλων και ο τρόπος που διορθώθηκαν

Τα έτοιμα μοντέλα της *Axon'* που εντοπίσαμε (και που ελέγξαμε την καταλληλότητά τους από πλευράς διαστάσεων) είχαν κάποια ουσιώδη προβλήματα, που δεν τους επέτρεπαν να χρησιμοποιηθούν ως είχαν στην προσομοίωσή μας. Απαραίτητο λοιπόν ήταν να γίνουν ορισμένες βασικές διορθώσεις, οι οποίες θα τα καθιστούσαν κατάλληλα και τις οποίες θα εξηγήσουμε στην συνέχεια.

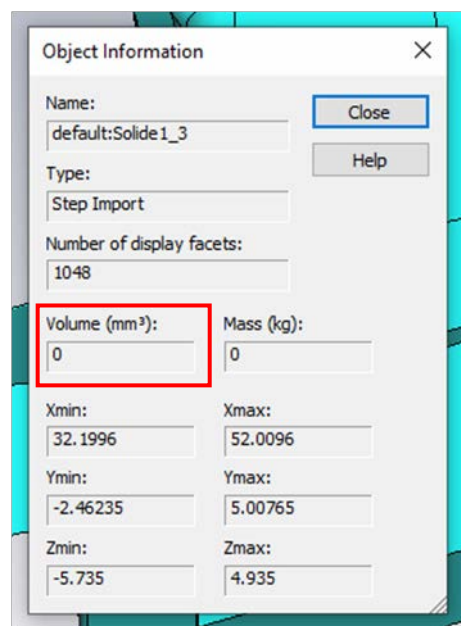
Το μηδενικό πάχος των επιφανειών των συνδέσμων

Το πρώτο και βασικότερο ίσως πρόβλημα ήταν ότι τα μοντέλα αυτά ήταν, όπως θα λέγαμε απλοϊκά, «κούφια». Δηλ. το 3D αντικείμενο «βύσμα» ήταν δομημένο από ένα άθροισμα επιφανειών μηδενικού πάχους, κάτι δηλ. σαν φύλλα μετάλλου αν μπορούμε να πούμε, τα οποία βέβαια ήταν ενωμένα ως ενιαίο υλικό. Αυτό γίνεται αντιληπτό αν παρατηρήσουμε τους παραπάνω συνδέσμους σε τομή:



Εικόνα 3.24: Τομή των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου της εταιρείας Axon', για να φανεί ότι δεν είναι συμπαγοποιημένα [56].

Επίσης το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται αν προβάσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υλικών αυτών. Συγκεκριμένα αν επιλέξουμε κάθε ένα από τα δύο αυτά στερεά, και με δεξί κλικ επιλέξουμε τις Πληροφορίες για το Αντικείμενο (Object Information), θα πάρουμε την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.25: Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στερεού που μοντελοποιεί τον θηλυκό σύνδεσμο της Axon' [56].

Στην εικόνα αυτή φαίνεται ότι το αντικείμενο αυτό έχει μηδενικό όγκο, πράγμα που εξηγείται μόνο επειδή οι επιφάνειές του έχουν μηδενικό πάχος.

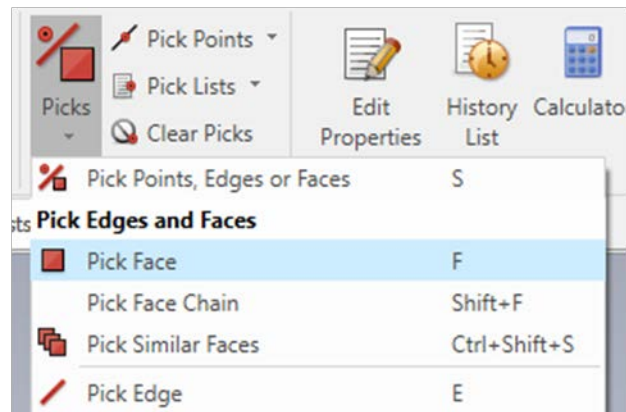
Αυτό είναι προφανώς ένα θεμελιώδες πρόβλημα, καθώς δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σαν σώμα γείωσης ένα τέτοιο αντικείμενο. Έπρεπε λοιπόν με κάποιον τρόπο να «γεμίσουν» αυτά τα μοντέλα με υλικό, να γίνουν συμπαγή.

Η λύση που δόθηκε

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα της «συμπαγοποίησης» των μοντέλων της Axon', δόθηκε με το εργαλείο Loft. Το εργαλείο αυτό χρησιμεύει για να γεμίζει ο χώρος μεταξύ δύο επιφανειών με ένα ενιαίο στερεό. Επίσης αντί για δύο επιφάνειες, μεταξύ των οποίων θα οριστεί το στερεό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δύο κλειστές καμπύλες (όπως θα δούμε και στην πράξη).

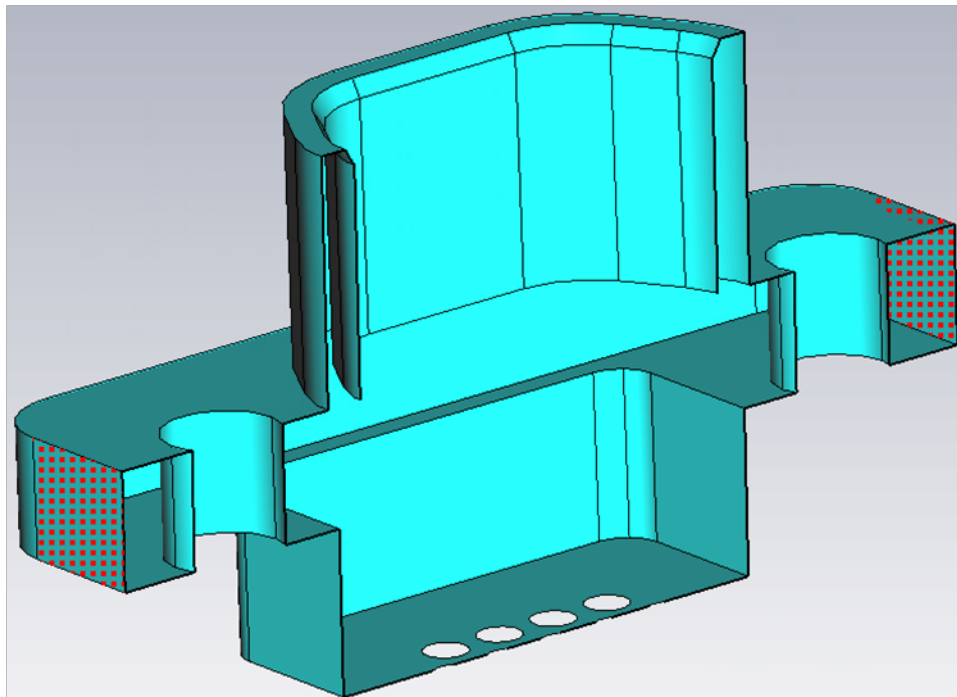
Η λειτουργία αυτού του εργαλείου του 3D Modeling θα περιγραφεί στην συνέχεια, μέσα από εξήγηση της εφαρμογής του σε αυτά τα μοντέλα της Axon'. Ενδεικτικά ξεκινάμε με την περιγραφή της συμπαγοποίησης του θηλυκού συνδέσμου.

Αρχικά επιλέγουμε δύο επιφάνειες (faces). Η επιλογή αυτή γίνεται από την καρτέλα Picks στην εργαλειοταμιά Modeling και συγκεκριμένα από την επιλογή Pick Face:



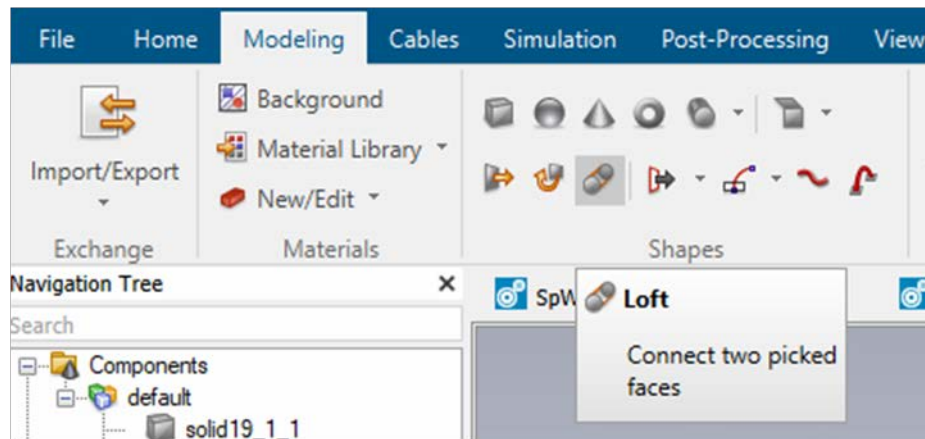
Εικόνα 3.26: Το εργαλείο της επιλογής επιφανειών σε 3D αντικείμενα [56].

Παρακάτω δίνουμε μια εικόνα από την πρώτη τέτοια επιλογή επιφανειών που έγινε στο μοντέλο του θηλυκού συνδέσμου.



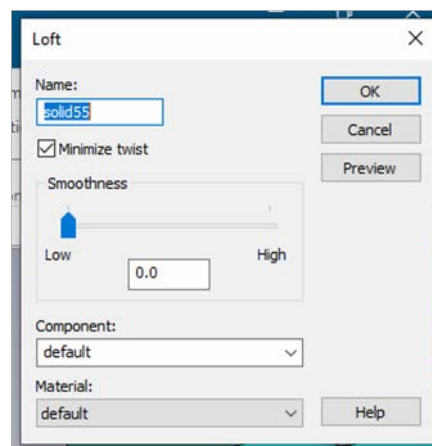
Εικόνα 3.27: Η επιλογή δύο επιφανειών του μοντέλου του θηλυκού συνδέσμου (προς δημιουργία συμπαγούς στερεού ανάμεσά τους) [56].

Ακολουθώντας επιλέγουμε το εργαλείο Loft από την καρτέλα Shapes στην εργαλειοταβιά Modeling:



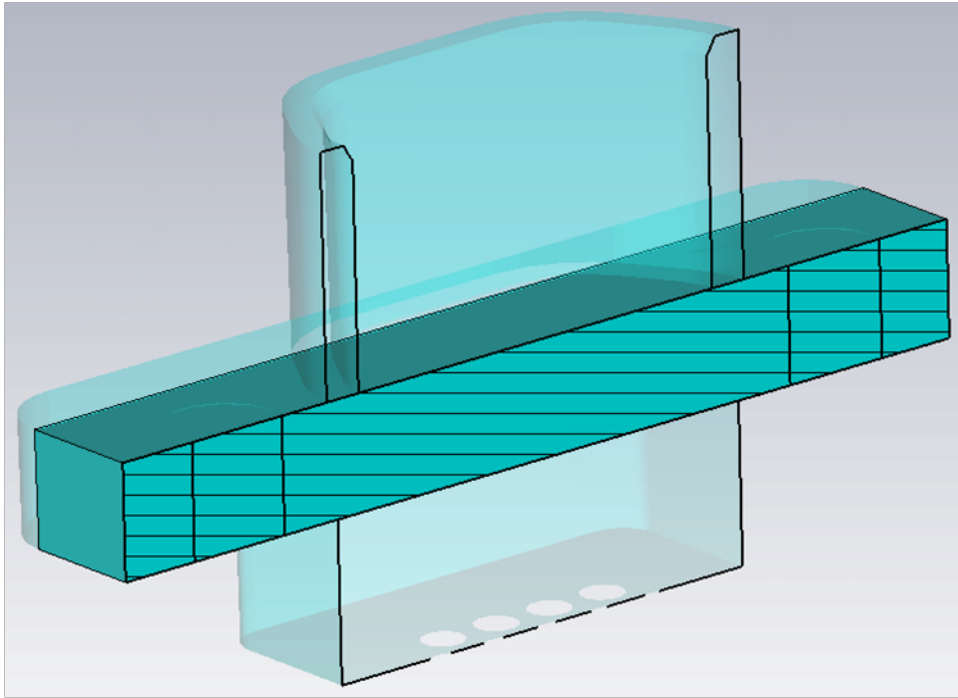
Εικόνα 3.28: Το εργαλείο Loft του 3D Modeling [56].

και από το παράθυρο που προκύπτει (βλ. την Εικόνα 3.29, που ακολουθεί) δημιουργούμε ένα στερεό.



Εικόνα 3.29: Το συνοπτικό μενού των χαρακτηριστικών ενός στερεού που δημιουργείται με το εργαλείο Loft [56].

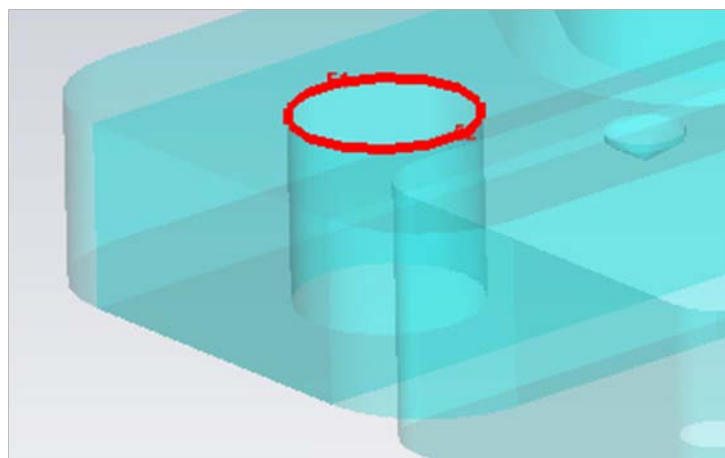
Όπως βλέπουμε και από την Εικόνα 3.30, που ακολουθεί, το στερεό αυτό προκύπτει από «γέμισμα» με υλικό του χώρου ακριβώς ανάμεσα στις δύο επιλεγμένες επιφάνειες (με όρια το περίγραμμα των επιφανειών αυτών). Στην εικόνα αυτή έχουμε επιλέξει το νέο αυτό στερεό (γι' αυτό και ο υπόλοιπος σύνδεσμος είναι πιο αχνός χρωματικά), ενώ από την διαγράμμιση του (όπως το έχει «κόψει» η τομή του σχήματος) καταλαβαίνουμε ότι το αντικείμενο είναι συμπαγές.



Εικόνα 3.30: Το συμπαγές στερεό, που δημιουργήθηκε με το εργαλείο Loft από τις δύο επιφάνειες του μοντέλου του θηλυκού συνδέσμου που επιλέχθηκαν στην Εικόνα 3.27 [56].

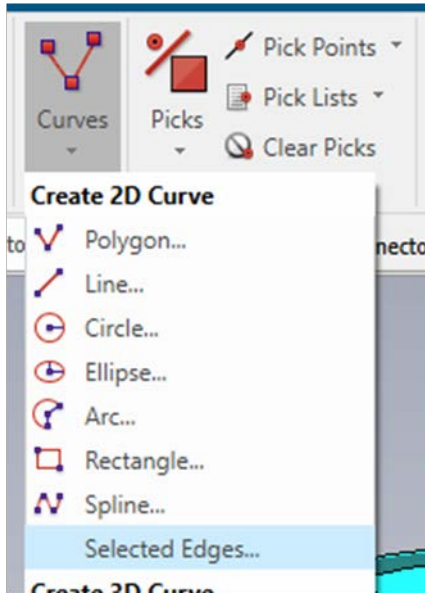
Προφανώς αυτό είναι μόλις το πρώτο βήμα για να δημιουργηθεί ένας σύνδεσμος συμπαγής. Εννοείται ότι στην συνέχεια πρέπει να γίνουν και άλλες ενέργειες, όπως για παράδειγμα να αφαιρεθούν κάποια τμήματα από τα διάφορα στερεά που δημιουργούνται με το εργαλείο Loft.

Ένα παράδειγμα είναι στην παραπάνω εικόνα να ξαναδημιουργηθούν κενά στις θέσεις των οπών για τους κοχλίες, στα πλάγια του συνδέσμου. Κάτι τέτοιο γίνεται ως εξής: πρώτα δημιουργούμε ένα στερεό στην θέση που θέλουμε να δημιουργήσουμε κενό. Εν προκειμένω δηλ. πρέπει να φτιάξουμε δύο κυλίνδρους στις θέσεις των κοχλιών. Ένας τρόπος για να υλοποιήσουμε έναν κύλινδρο έχοντας τους κύκλους που ορίζουν τις δύο βάσεις του είναι ο ακόλουθος: Πάλι μέσω του εργαλείου Picks επιλέγουμε, ακμές αυτή την φορά (επιλογή Pick Edge από την Εικόνα 3.26), και συγκεκριμένα εκείνες που ορίζουν τις κυκλικές βάσεις του κυλίνδρου:

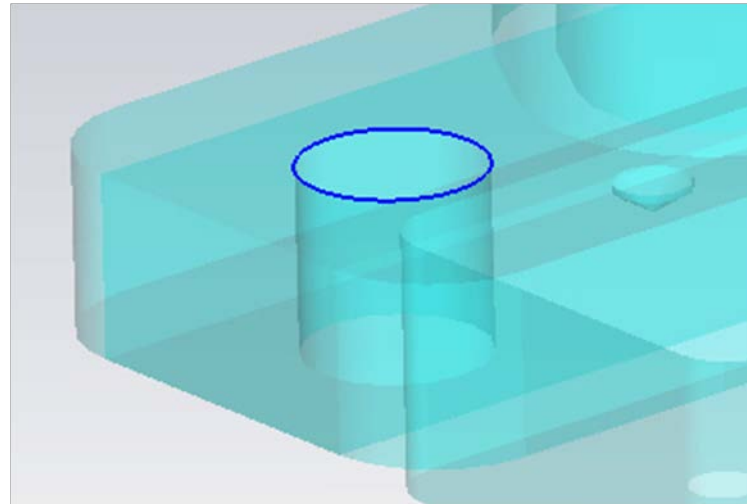


Εικόνα 3.31: Η επιλογή της κυκλικής ακμής που ορίζει την βάση ενός νοητού κυλίνδρου (προς δόμηση αυτού του κυλίνδρου σε συμπαγή μορφή) [56].

Στην συνέχεια, από την καρτέλα Curves του 3D Modeling δημιουργούμε μια καμπύλη από την επιλεγμένη ακμή (με την επιλογή Selected Edges από τις επιλογές των 2D καμπυλών, βλ. την Εικόνα 3.33). Σαν αποτέλεσμα η παραπάνω ακμή από κόκκινη (βλ. Εικόνα 3.31) γίνεται μπλε (βλ. Εικόνα 3.32), γιατί αποτελεί πλέον ένα σαφές αντικείμενο (απλώς 2 διαστάσεων).

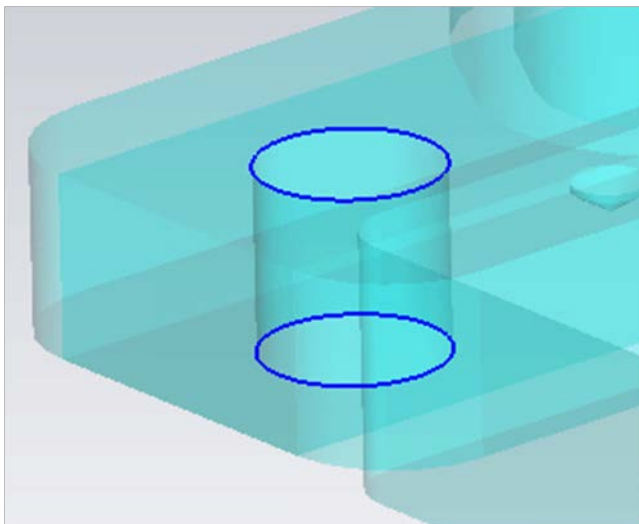


Εικόνα 3.33: Το εργαλείο της δημιουργίας καμπυλών από επιλεγμένες 2D ακμές [56].

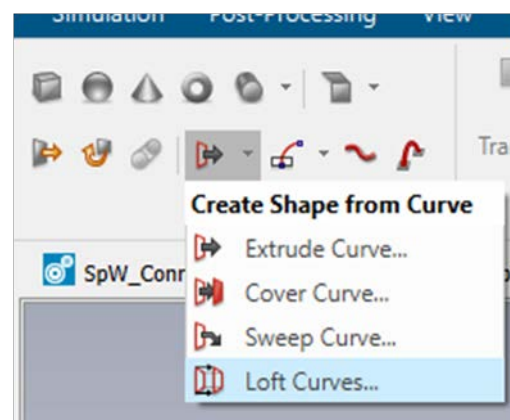


Εικόνα 3.32: Η καμπύλη που δημιουργήθηκε από την επιλεγμένη ακμή της Εικόνας 3.31 [56].

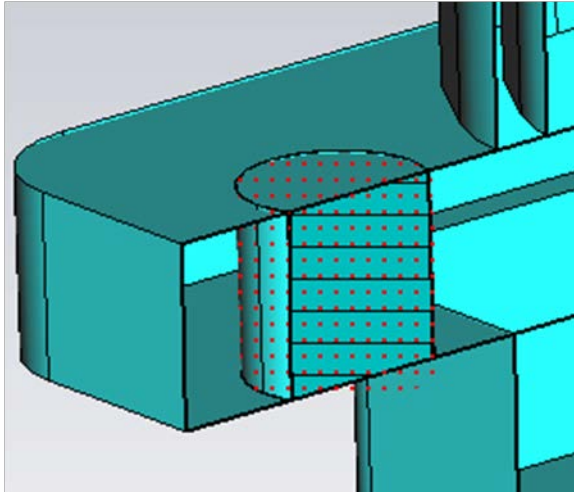
Επαναλαμβάνουμε τις ενέργειες αυτές και για την άλλη βάση του κυλίνδρου (με το αποτέλεσμα να φαίνεται στην Εικόνα 3.34) και κατόπιν δημιουργούμε ένα στερεό με ανάλογο τρόπο όπως το Loft Faces, αυτή την φορά όμως με το εργαλείο Loft Curves. Το εργαλείο αυτό είναι υποεπιλογή, που βρίσκεται στο εργαλείο Create Shape from Curve, το οποίο με την σειρά του εντοπίζεται στην καρτέλα Shapes του 3D Modeling (βλ. Εικόνα 3.35).



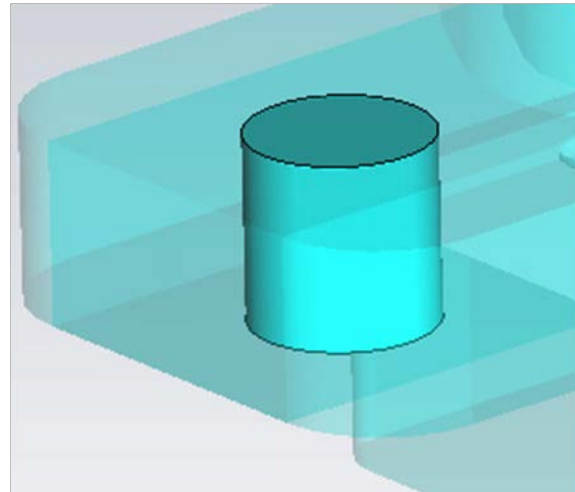
Εικόνα 3.34: Οι δύο καμπύλες που δημιουργήθηκαν από τις επιλεγμένες βάσεις του κυλίνδρου, που θέλουμε να καταστήσουμε συμπαγή [56].



Εικόνα 3.35: Το εργαλείο Loft Curves του 3D Modeling [56].



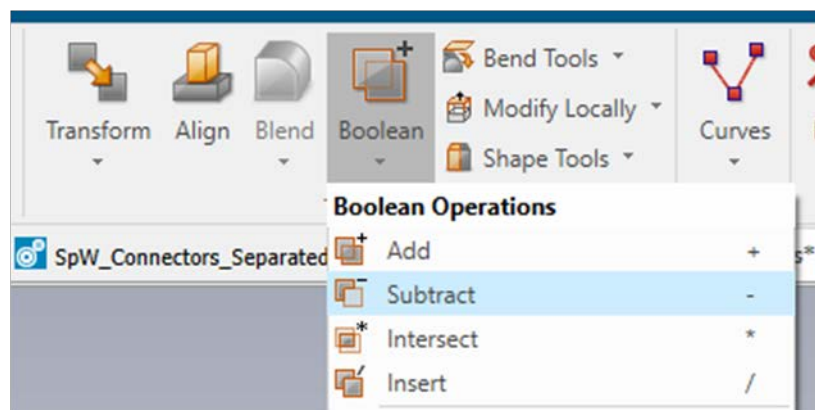
Εικόνα 3.37: Το συμπαγές στερεό (σε τομή), που δημιουργήθηκε με το εργαλείο *Loft Curves* από τις δύο καμπύλες του μοντέλου του θηλυκού συνδέσμου που δημιουργήθηκαν στην Εικόνα 3.34 [56].



Εικόνα 3.36: Το συμπαγές στερεό (ολόκληρο), που δημιουργήθηκε με το εργαλείο *Loft Curves* από τις δύο καμπύλες του μοντέλου του θηλυκού συνδέσμου που δημιουργήθηκαν στην Εικόνα 3.34 [56].

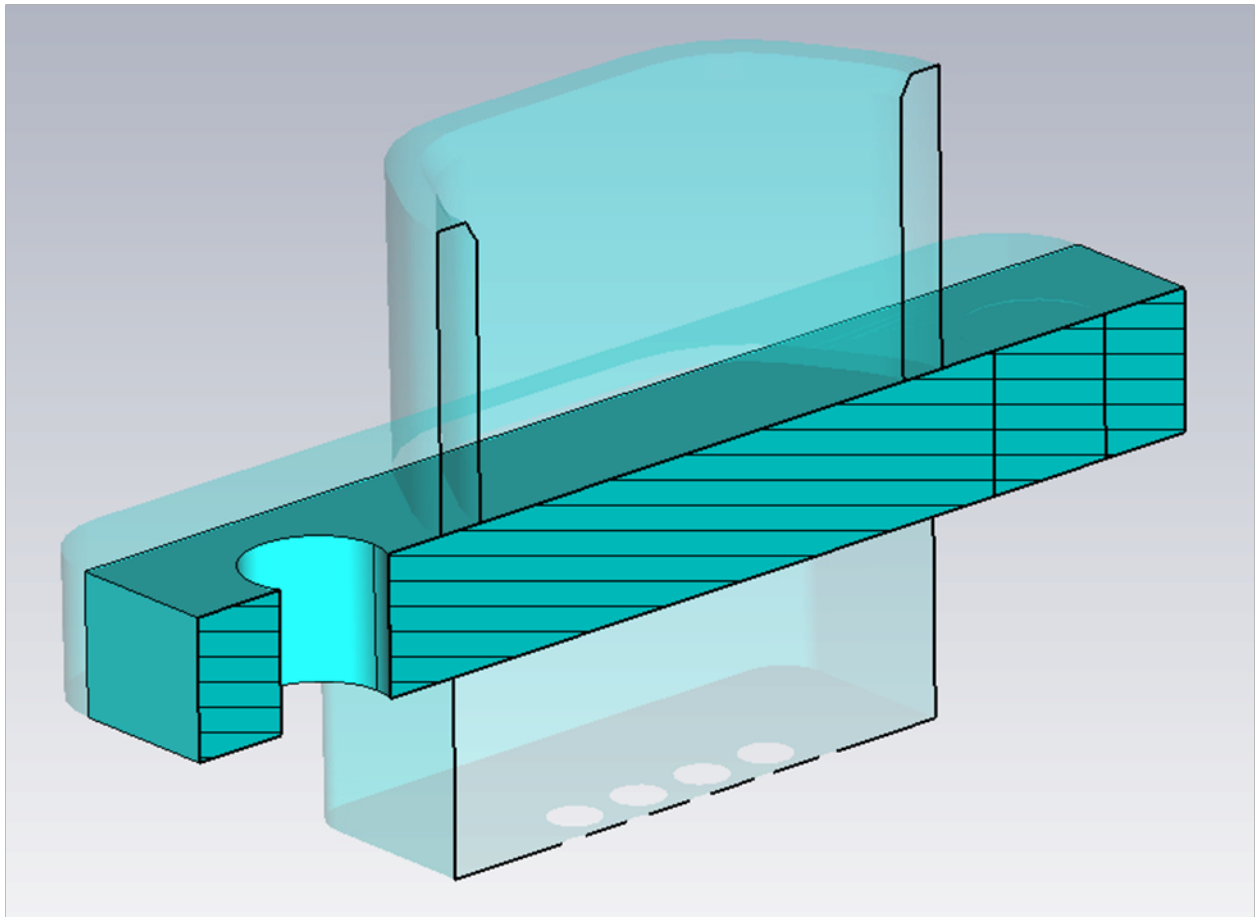
Επιλέγουμε λοιπόν το εν λόγω εργαλείο και κατόπιν ακολουθούμε τις οδηγίες που μας εμφανίζει το πρόγραμμα, δηλ. απλοϊκά, επιλέγουμε τις δύο καμπύλες που θέλουμε και τις «ενώνουμε» δημιουργώντας ένα στερεό. Αυτό το στερεό, που δημιουργείται, το βλέπουμε στις δύο εικόνες που ακολουθούν, σε τομή στην Εικόνα 3.37 και ολόκληρο στην Εικόνα 3.36.

Τέλος, έχοντας δημιουργήσει ένα στερεό σώμα ουσιαστικά «μέσα» σε ένα άλλο στερεό (αυτό της Εικόνας 3.30) στην θέση που θα θέλαμε να υπάρχει κενό, αξιοποιούμε την δυνατότητα του 3D modeling του CST να κάνει «πράξεις» μεταξύ στερεών. Συγκεκριμένα επιλέγουμε από το αριστερό μέρος της οθόνης, από το Navigation Tree, το στερεό από το οποίο θα αφαιρέσουμε τον κύλινδρο. Κατόπιν από την καρτέλα Tools του 3D Modeling και συγκεκριμένα από το εργαλείο Boolean (δηλ. το εργαλείο που κάνει Boolean πράξεις μεταξύ στερεών) επιλέγουμε την αφαίρεση (Subtract) και στην συνέχεια επιλέγουμε το στερεό που θέλουμε να αφαιρεθεί (δηλ. εδώ τον κύλινδρο). Ουσιαστικά το πρώτο στερεό που επιλέγουμε είναι ο μειωτέος και το δεύτερο ο αφαιρετέος της αφαίρεσης αυτής.



Εικόνα 3.38: Η αφαίρεση στερεών από το εργαλείο *Boolean* του 3D Modeling [56].

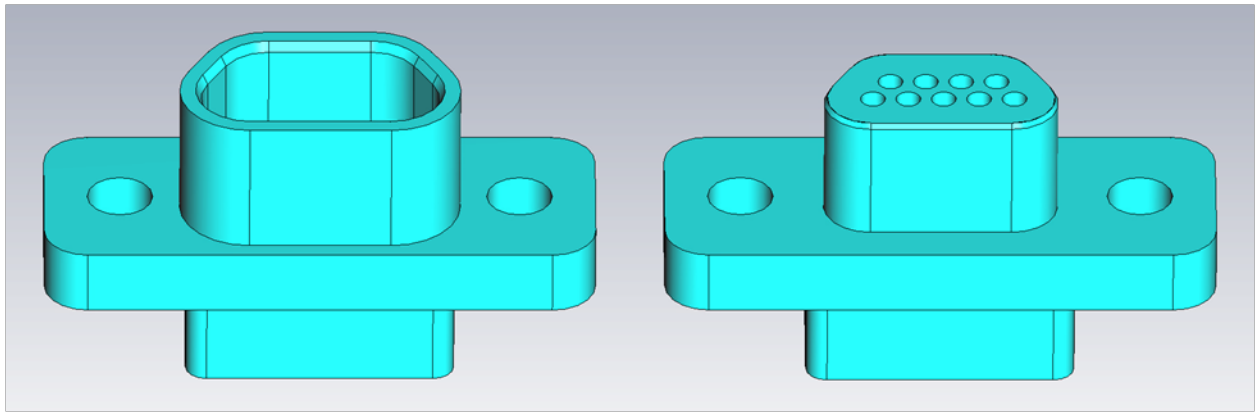
Έτσι προκύπτει το ζητούμενο στερεό, το οποίο βλέπουμε σε τομή στην εικόνα που ακολουθεί.



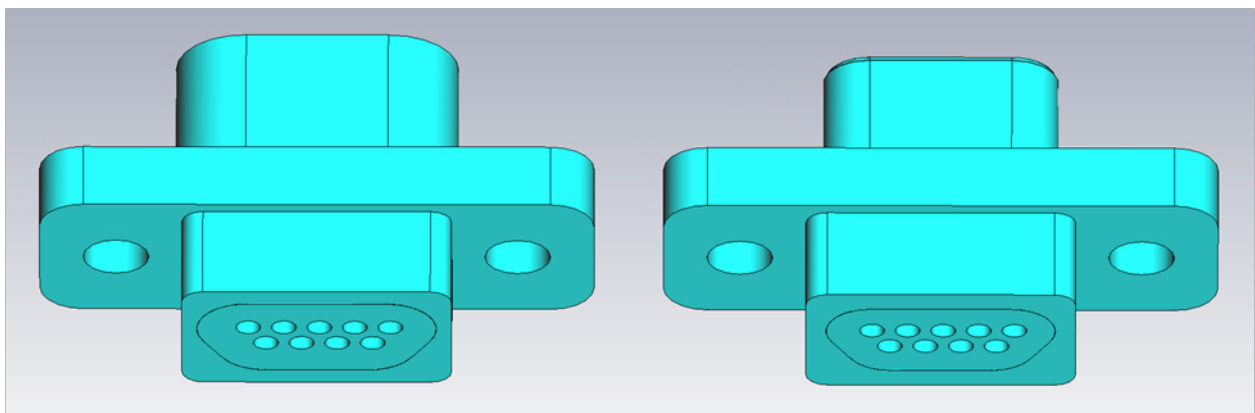
Εικόνα 3.39: Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης των στερεών των Εικόνων 3.30 και 3.37 [56].

Αντίστοιχες ενέργειες πρέπει να γίνουν και σε άλλα σημεία του βύσματος, όσο αυτό γίνεται σιγά σιγά συμπαγές. Για παράδειγμα κάτι αντίστοιχο πρέπει να γίνει και με τις οπές για τις επαφές. Δεν κρίνουμε σκόπιμο να δείξουμε με περισσότερες λεπτομέρειες τις ενέργειες αυτές. Μετά την ανάλογη εξάσκηση στο 3D Modeling του CST και στις ενέργειες που αυτό μπορεί να κάνει με τα στερεά, μπορούν να ευρεθούν τρόποι για να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

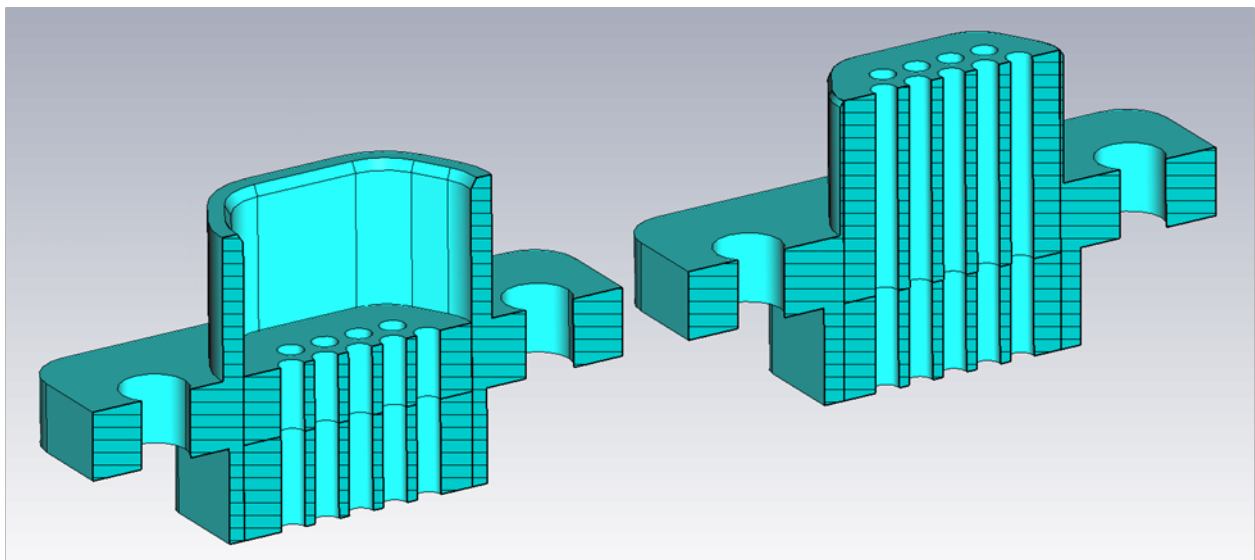
Γεγονός είναι ότι, με τις κατάλληλες κινήσεις, καταλήξαμε να έχουμε πλέον ένα κονέκτορα που αποτελείται από κομμάτια, καθένα όμως από τα οποία ήτο ένα συμπαγές στερεό. Μετά την δημιουργία λοιπόν των απαιτούμενων συμπαγών στερεών σωμάτων ακολούθησε η ένωσή τους σε ένα ενιαίο σώμα. Η ένωση αυτή, που πραγματοποιήθηκε με την αντίστοιχη Boolean πράξη της πρόσθεσης, έγινε φυσικά μόνο για τα μέρη εκείνα του 3D μοντέλου που θα αποτελούσαν το αγωγικό κέλυφος του κονέκτορα. Σαν χωριστά σώματα, πάντοτε βέβαια συμπαγή, παρέμειναν τα μονωτικά του εσωτερικού του κονέκτορα. Αφού λοιπόν «συμπαγοποιήσαμε» τους κονέκτορες, πετάξαμε πια και τα έτοιμα μοντέλα, τα οποία μας χρησίμευσαν ουσιαστικά ως «καλούπι» για την δημιουργία των δικών μας μοντέλων. Παρακάτω παραθέτουμε εικόνες από τα στερεά που δημιουργήθηκαν με την διαδικασία που περιεγράφη.



Εικόνα 3.40: Όψη των συμπαγών 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου που δημιουργήθηκαν με βάση τα μοντέλα της εταιρείας Axon' [56].



Εικόνα 3.41: Ετέρα όψη των συμπαγών 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου που δημιουργήθηκαν με βάση τα μοντέλα της εταιρείας Axon' [56].



Εικόνα 3.42: Τομή των συμπαγών 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου που δημιουργήθηκαν με βάση τα μοντέλα της εταιρείας Axon' [56].

Η έλλειψη ευθυγράμμισης των οπών των επαφών με το σώμα του συνδέσμου

Το δεύτερο πρόβλημα που παρατηρήθηκε στα μοντέλα της Axon' ήταν το εξής: όταν τα μοντέλα των δύο συνδέσμων, αρσενικού και θηλυκού, τοποθετήθηκαν το ένα απέναντι στο άλλο, για να έρθουν σε δεσμική κατάσταση (ενέργεια που θα περιγράψουμε παρακάτω, στην υποενότητα 3.8.3), παρατηρήσαμε ότι αν ευθυγραμμίζαμε τα κελύφη των βυσμάτων, τότε οι οπές του αρσενικού δεν ήταν στην ίδια ευθεία με τις αντίστοιχες οπές του θηλυκού. Αυτό οφειλόταν σε ατέλεια του αρχικού μοντέλου της Axon', αφού με μετρήσεις των σχετικών αποστάσεων διαπιστώσαμε ότι η εννιάδα των οπών δεν ήταν σωστά κεντραρισμένη στο σώμα του βύσματος, τόσο στο αρσενικό όσο και στο θηλυκό.

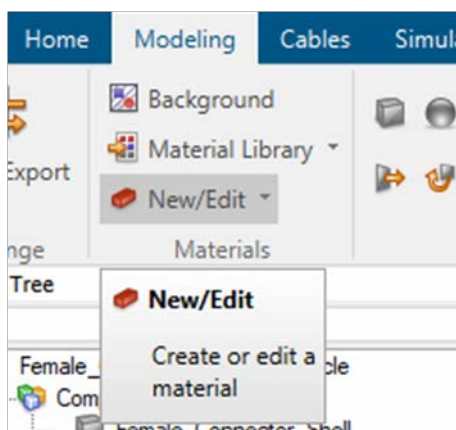
Η λύση που δόθηκε

Προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα καταφύγαμε και πάλι στις Boolean πράξεις μεταξύ στερεών. Δεν θα δώσουμε ούτε εδώ περισσότερες λεπτομέρειες. Η βασική ιδέα πάντως, δοσμένη απλοϊκά, ήταν ότι «κόψαμε» ένα στερεό που περιείχε τις εννέα οπές και ήταν εντός του τραπεζοειδούς σχήματος (δηλ. σχήματος D) «πύρου» του αρσενικού και του θηλυκού βύσματος και το κεντράραμε ως προς το σώμα του κάθε βύσματος. Πολύ χρήσιμο σε αυτές τις ενέργειες υπήρξε το γεγονός ότι το CST μας δείχνει στο κάτω αριστερά μέρος τις οθόνης του 3D Modeling τις καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων που επιλέγουμε. Οπότε με επιλογές καταλλήλων σημείων πάνω στα στερεά μας (με το εργαλείο Picks) και με παρατήρηση των συντεταγμένων τους καταλαβαίναμε τι είδους μετακινήσεις και κατά πόση απόσταση έπρεπε να κάνουμε στα διάφορα στερεά για να πετύχουμε την σωστή ευθυγράμμιση.

3.8.2 Υλικά του Μοντέλου των Συνδέσμων

Μετά την ολοκλήρωση της σωστής κατασκευής των μοντέλων των συνδέσμων, το επόμενο βασικό ζήτημα, που πρέπει να εξετάσουμε, είναι τα υλικά τους. Στο CST, το κάθε καινούργιο 3D μοντέλο που δημιουργείται, από προεπιλογή υλοποιείται με ένα υποθετικό υλικό, τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι ουσιαστικά αυτά του κενού (και φαίνεται με αυτό το γαλάζιο χρώμα που βλέπουμε στις εικόνες που προηγήθηκαν). Έπρεπε λοιπόν, μετά την «συμπαγοποίηση» των μοντέλων μας, να επιλέξουμε τα υλικά, που θα εκχωρούσαμε σε κάθε μέρος τους, στο αγωγίμο κέλυφός του και στα μονωτικά στο εσωτερικό κάθε συνδέσμου. Για τον σκοπό αυτό συμβουλευτήκαμε και πάλι το ESCC 3401/029 [6] αλλά και τον κατάλογο της εταιρείας Glenair [40].

Κατά τον ίδιο τρόπο με τον οποίο κινηθήκαμε όταν δημιουργούσαμε την διατομή του καλωδίου στο Cable Studio, κινούμαστε και εδώ στο 3D Modeling. Ως προς τα υλικά δηλ., στις περιπτώσεις που μπορούσαμε να βρούμε στο Material Library ό,τι μας υποδείκνυε το πρότυπο, το επιλέγαμε από εκεί. Όμως εάν κάποιο υλικό απουσίαζε από την βιβλιοθήκη του προγράμματος, προχωρήσαμε στην δημιουργία του, ως νέου υλικού. Η δημιουργία αυτή γίνεται από την επιλογή New/Edit στην καρτέλα Materials του 3D Modeling.



Εικόνα 3.43: Δημιουργία νέων υλικών στο 3D Modeling [56].

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πριν (στην ενότητα 2.6) και όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς με την χρήση, το Material Library στο 3D Modeling είναι ασύγκριτα «πλουσιότερο» σε πλήθος διαφορετικών υλικών και σε δυνατότητες δημιουργίας, σε σχέση με αυτό του Cable Studio. Ενδεικτικά μόνο αναφέρουμε ότι, εκτός από συνήθεις μονωτές και μέταλλα, μπορεί κανείς να ορίσει και ανισοτροπικά υλικά ή υλικά με χαρακτηριστικά θερμοκρασιακά εξαρτώμενα. Αυτό όμως δεν είναι το μοναδικό του προτέρημα. Είναι επίσης αναλυτικότερο ως προς τις ιδιότητες των υλικών που περιέχει (ή αυτών που μπορείς να ορίσεις). Ενώ δηλ. το Material Library στο Cable Studio, για τις ηλεκτρικές ιδιότητες ενός μονωτή για παράδειγμα, μας παρέχει μόνο την σχετική διηλεκτρική σταθερά, την σχετική μαγνητική διαπερατότητα και μια τιμή της $\tan \delta$ για μία μόνο συχνότητα, στο 3D Modeling έχουμε επιπλέον δυνατότητα ορισμού και ειδικής αγωγιμότητας αλλά μπορούμε να έχουμε και σαφώς καλύτερα ορισμένη εξάρτηση των παραμέτρων αυτών (από την συχνότητα ή την θερμοκρασία για παράδειγμα). Μπορούμε ακόμη και να αξιοποιήσουμε μια μαθηματική καμπύλη για τον ορισμό ενός τέτοιου μεγέθους, εισάγοντάς την ως πίνακα τιμών. Τέλος, το Material Library στο 3D Modeling είναι σαφώς πλουσιότερο ως προς τις διαφορετικές ιδιότητες που μπορεί να μοντελοποιήσει (ηλεκτρικές, μαγνητικές, θερμικές, μηχανικές).

3.8.2.1 Τα διαφορετικά Υλικά που χρησιμοποιούνται και οι Ιδιότητές τους

3.8.2.1.1 Αγωγή Υλικά

Στην πραγματικότητα ένα είναι το βασικό αγωγίμο υλικό που μας απασχολεί στην περίπτωση των συνδέσμων και αυτό είναι το υλικό του σώματός τους (του κελύφους τους, όπως λέμε, επηρεασμένοι από την ονομασία connector shell).

Το κράμμα μετάλλου στο κέλυφος του συνδέσμου

Μελετώντας το ESCC 3401/029 [6] εντοπίζουμε ότι το βασικό υλικό, από το οποίο δομείται το κέλυφος – σασί του κονέκτορα, είναι κράμα αλουμινίου (aluminium alloy). Στην συνέχεια ακολουθεί μια κατάλληλη επιμετάλλωση. Μάλιστα με βάση τα υλικά της επιμετάλλωσης αυτής διακρίνουμε και δύο τύπους – παραλλαγές (variants) των συνδέσμων¹³⁵:

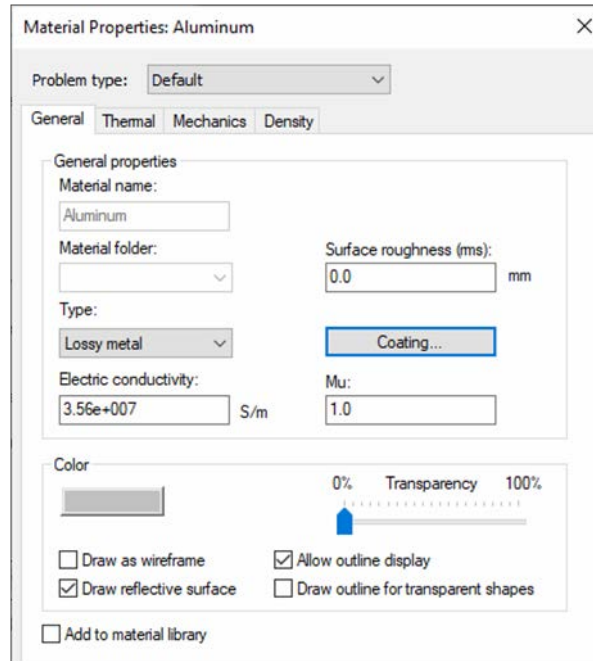
- στην Variant 01 έχουμε επιμετάλλωση νικελίου με ελάχιστο πάχος 25.4 μm ενώ,

¹³⁵ Να σημειώσουμε ότι αυτή η διάκριση σε Variant 01 και Variant 02 Connectors ουδεμία σχέση έχει με την διάκριση στις δύο παραλλαγές του καλωδίου SpW. Εκείνη έχει να κάνει με τις διαμέτρους των εσωτερικών αγωγών και των άλλων υποκαλωδίων του SpW, ενώ αυτή τώρα σχετίζεται με το υλικό των συνδέσμων microminiature based on type MDM. Και πάντως, βασικότερη είναι η διάκριση ως προς το καλώδιο, δηλ. όταν π.χ. αναφερόμαστε σε Καλώδιο SpW Var. 01, εννοούμε Καλώδιο SpW με εσωτερικούς αγωγούς αυτούς που υποδεικνύει η Variant 01.

- στην Variant 02 έχουμε πρώτα επιμετάλλωση νικελίου με ελάχιστο πάχος 25.4 μm , όπως και πριν, αλλά επιπλέον ακολουθεί από πάνω νέα επιμετάλλωση χρυσού με πάχος τουλάχιστον 0.7 μm .

Και στις δύο περιπτώσεις η επίστρωση του νικελίου πρέπει να έχει επιτευχθεί με την διαδικασία χημικής (και όχι ηλεκτρικής) επιμετάλλωσης (electroless plating).

Συνεπώς από την βιβλιοθήκη, σε πρώτη φάση, να επιλέξουμε το Αλουμίνιο (Aluminum ή Al), του οποίου την αρχική εικόνα των χαρακτηριστικών παραθέτουμε παρακάτω:



Εικόνα 3.44: Τα χαρακτηριστικά του Al από την βιβλιοθήκη υλικών του 3D Modeling [56].

Τα βασικά χαρακτηριστικά του, όπως τα δίνει το CST είναι:

- Ειδική Αγωγιμότητα $\sigma = 3.56 \cdot 10^7 \text{ S/m}$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- Πυκνότητα $d = 2700 \text{ kg/m}^3$.

Σχόλιο σχετικά με την επιμετάλλωση του Al των συνδέσμων στο 3D Modeling:

Τώρα στην βιβλιοθήκη υλικών του 3D Modeling έχουμε την δυνατότητα να ορίσουμε επίστρωση (coating) για ένα μεταλλικό υλικό που χρησιμοποιούμε και εν συνεχεία να το αποθηκεύσουμε σαν νέο υλικό. Παρ' όλα αυτά εμείς επιλέξαμε να μην προχωρήσουμε στην υλοποίηση της επίστρωσης στο σασί των συνδέσμων. Αυτό το κάναμε κυρίως για να μην «βαρύνουμε» υπερβολικά και με μάλλον περιττά στοιχεία την προσομοίωση. Διότι αν προχωρούσαμε σε επιμεταλλώσεις τόσο μικρού πάχους, θα εξαναγκάζαμε το πλέγμα υπολογισμών, που θα δημιουργούσε το CST, να γίνει πάρα πολύ πυκνό σε όλη την περιοχή γύρω από τους κόνεκτορες, με συνακόλουθα έντονη αύξηση του χρόνου της οποιασδήποτε προσομοίωσης (όπως έχουμε αναφέρει ξανά στις υποενότητες 1.3.1 και 2.8.5). Άλλωστε, όπως έχουμε επισημάνει και παραπάνω στην ενότητα 3.1, τα 3D μοντέλα των συνδέσμων μας χρειάζονται μόνο ως συσσωματώματα γείωσης. Δηλ. θέλουμε να υπάρχουν και να έχουν φυσικά το σωστό σχήμα, αλλά μόνο για να δοθεί σωστά η γείωση στα κατάλληλα μέρη του καλωδίου. Πέραν τούτου, δεν μας απασχολεί ιδιαίτερα τόσο ακρίβεια στο υλικό τους (όταν μπορούμε να κερδίσουμε σημαντικά σε απλούστευση και επιτάχυνση της προσομοίωσης).

3.8.2.1.2 Διηλεκτρικά Υλικά

Όπως βλέπουμε, συμβουλευόμενοι το ESCC 3401/029 [6], τρία είναι τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των συνδέσμων (εκ των οποίων τα δύο είναι τα βασικά, όπως θα πούμε παρακάτω). Θα τα παραθέσουμε και θα εξηγήσουμε πώς επιλέχθηκαν ή ορίστηκαν από την βιβλιοθήκη, με την σειρά που δίνονται και στο πρότυπο. Στην επόμενη παράγραφο, την 3.8.2.2, θα διευκρινίσουμε σε ποιο μέρος του κάθε συνδέσμου χρησιμοποιείται το κάθε μονωτικό.

Σχόλιο σχετικά με την δημιουργία νέου διηλεκτρικού υλικού στην βιβλιοθήκη του 3D Modeling:

Παρατηρώντας διάφορα άλλα μονωτικά υλικά, που υπήρχαν στο Material Library, διαπιστώσαμε ότι για να ορίσουμε ένα νέο διηλεκτρικό, το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για μια προσομοίωση H/M πεδίων, ουσιαστικά το μόνο που απαιτείται είναι:

- η σχετική διηλεκτρική σταθερά ή σχετική επιτρεπτότητα (relative permittivity) ϵ_r και
- η σχετική μαγνητική διαπερατότητα (relative permeability) μ_r του (οι παράμετροι αυτές επισημαίνονται ως Epsilon και Mu στο μενού δημιουργίας νέου υλικού).

Αν το επιθυμούμε και αν βέβαια έχουμε αντίστοιχα στοιχεία από κάπου, μπορούμε να δηλώσουμε για το διηλεκτρικό μας:

- είτε την ειδική αγωγιμότητα (electrical conductivity) σ (S/m),
- είτε τον συντελεστή (ηλεκτρικών) απωλειών $\tan \delta$ ή παράγοντα διάχυσης (dissipation factor) ή γωνία απωλειών (loss angle).

Κάποια διηλεκτρικά στην βιβλιοθήκη υλικών έχουν δηλωμένη τιμή για την ειδική αγωγιμότητα, που επισημαίνεται ως El. conductivity (όπως π.χ. η Μίκα με $\sigma = 10^{-14} S/m$) ενώ κάποια άλλα έχουν δηλωμένη τιμή για τον συντελεστή απωλειών, που επισημαίνεται ως Tangent delta el. (το el. σημειώνεται για να γίνεται διάκριση μεταξύ επαπτομένης ηλεκτρικών και μαγνητικών απωλειών). Αν δοθεί τιμή για την $\tan \delta$ τότε πρέπει να δοθεί και η συχνότητα στην οποία η $\tan \delta$ αποκτά αυτή την τιμή (όπως π.χ. συμβαίνει με το PTFE όπου $\tan \delta = 0.0002$ στα $10 GHz$).

- Τέλος καλό θα ήταν να δηλώσουμε για το νέο υλικό μας και την πυκνότητα (density) ή ρ (kg/m^3) (που επισημαίνεται ως Material density Rho).

Στο μενού δημιουργίας νέου υλικού θα μπορούσαμε να δηλώσουμε και άλλα χαρακτηριστικά για το υλικό μας, όπως χαρακτηριστικά που σχετίζονται με μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, όμως αυτά δεν μας χρησιμεύουν σε κάτι για τις πεδιακές προσομοιώσεις, που εν προκειμένου μας ενδιαφέρουν, οπότε δεν είναι και αναγκαίο να έχουν κάποια τιμή (για τέτοιου είδους προσομοιώσεις πάντοτε).

ι. Το μονωτικό υλικό που το πρότυπο ESCC 3401/029 [6] ονομάζει “Insert”

Το ένα από τα δύο βασικά μονωτικά του κονέκτορα είναι είναι αυτό που ονομάζεται “Insert” («γέμισμα») αν μπορούμε να το πούμε, βλ. και την §4.4 του [6]). Αυτό το μονωτικό γέμισμα θα πρέπει, να φτιαχτεί από πολυμερές του φθαλικού διαλλυλεστέρα (εστέρα του φθαλικού οξέος με δύο μόρια προπενόλης) ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (glass fibre-filled diallylphthalate resin) ή από άλλο κατάλληλο θερμοπλαστικό υλικό.

Ένα θερμοπλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται πολύ για αυτές τις εφαρμογές είναι το Liquid Crystal Polymer (LCP), 30% Glass Fiber Filled ([38], [40], [41], [42]). Το εν λόγω υλικό όμως δεν υπήρχε στην Βιβλιοθήκη Υλικών (Material Library) του CST. Ως εκ τούτου έπρεπε να το δημιουργήσουμε εμείς και να το ενσωματώσουμε στην βιβλιοθήκη.

Με βάσει το Σχόλιο, που προηγήθηκε, αναζητούσαμε για το υλικό μας, το Liquid Crystal Polymer (LCP), 30% Glass Fiber Filled, το ϵ_r , το μ_r , την πυκνότητα, d και την $\tan \delta$ ή την ειδική αγωγιμότητα σ . Ιδιαίτερα χρήσιμη σε αυτή την αναζήτηση είναι και πάλι η on-line βάση δεδομένων MatWeb [50], την οποία χρησιμοποιήσαμε ξανά και κατά την αναζήτηση των μονωτικών υλικών της διατομής (στην παράγραφο 0). Αυτή η βάση δεδομένων, όπως λέει και το όνομά της, έχει αποθηκευμένες τις πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες (φυσικές, μηχανικές, ηλεκτρικές, θερμικές) ενός τεραστίου πλήθους υλικών, μετάλλων, κεραμικών, πλαστικών, κ.α., από τα πιο απλά (καθαρά στοιχεία) μέχρι τα πιο σύνθετα (κράματα, πολυμερή με διάφορες προσμίξεις κ.α.). Μάλιστα το αξιοσημείωτο με αυτή την βάση δεδομένων είναι ότι έχει για κάθε υλικό (π.χ. το

PTFE ή το Liquid Crystal Polymer) τεράστια ποικιλία εμπορικών ειδών αυτού από πάρα πολλές εταιρείες.

Από τις αρκετές (κάποιες δεκάδες) επιλογές για υλικό Liquid Crystal Polymer (LCP), 30% Glass Fiber Filled διαφόρων εταιρειών, που υπήρχαν στην ιστοσελίδα του MatWeb, εκλέξαμε τελικώς το E-Polymers SEPAZ® C130GP 30% Glass Fiber Reinforced LCP Resin. Καταλήξαμε σε αυτή την επιλογή, γιατί το μονωτικό αυτό της συγκεκριμένης εταιρείας χρησιμοποιείται κατ' εξοχήν σε κονέκτορες, αισθητήρες και άλλες ηλεκτρονικές συνιστώσες συσκευών. Επίσης έχει εξαιρετική διηλεκτρική αντοχή (dielectric strength), σχετικά μεγάλη τιμή ϵ_r και αρκετά μικρή $\tan \delta$. Πιο συγκεκριμένα, το υλικό αυτό έχει:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 3.9$ (σε συχνότητα 1 MHz, διότι στην πραγματικότητα η σχετική διηλεκτρική σταθερά επηρεάζεται από την συχνότητα του πεδίου, αν και εμείς στο CST δηλώνουμε απλώς την τιμή αυτή),
- Συντελεστή (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta = 0.027$ (σε συχνότητα 1 MHz),
- Ειδική αντίσταση $\rho = 10^{14} \Omega \cdot cm = 10^{12} \Omega \cdot m$, άρα ειδική αγωγιμότητα $\sigma = 10^{-12} S/m$,
- Διηλεκτρική Αντοχή 29 kV/mm,
- Πυκνότητα $d = 1.62 g/cm^3 = 1620 kg/m^3$ και
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$ (όπως συμβαίνει και με όλα τα διηλεκτρικά, κάτι που έχουμε επισημάνει σε σχετικό Σχόλιο, στην παράγραφο 2.6.1.2)

Έχοντας αυτά τα στοιχεία μπορούσαμε πλέον να υλοποιήσουμε το υλικό αυτό. Αυτό έγινε κατά τον τρόπο που εξηγήσαμε στην αρχή της παραγράφου. Επιλέξαμε να ορίσουμε τις διηλεκτρικές απώλειες μέσω της $\tan \delta$. Το όνομα που δώσαμε στο υλικό είναι: **LCP 30% Glass Fiber Filled (E-Polymers SEPAZ C130GP 30% Glass Fiber Reinforced LCP Resin)**. Όπως κάναμε και με το PFA που δημιουργήσαμε στο Cable Studio, επιλέξαμε να δώσουμε το πλήρες όνομα που έχει το υλικό αυτό και στον ιστότοπο του MatWeb, για το ενδεχόμενο που κάποιος άλλος χρήστης θελήσει αργότερα να υλοποιήσει και άλλες μορφές θερμοπλαστικού LCP.

ii. Το μονωτικό υλικό του Interfacial Seal

Ένα άλλο μονωτικό, που χρησιμοποιείται στα βύσματα είναι αυτό που δομεί το παρέμβυσμα – τσιμουχά διεπαφής, αυτό που στο πρότυπο ESCC 3401/029 [6] ονομάζεται “Interfacial Seal”, το οποίο, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, συναντάται μόνο στο θηλυκό βύσμα. Αυτή η τσιμουχά, σύμφωνα με το πρότυπο είναι ένα λάστιχο με βάση την σιλκόνη.

Σε αντίθεση με τα άλλα διηλεκτρικά των συνδέσμων, το υλικό αυτό δεν βρίσκεται εκεί επειδή έχει κάποιον ιδιαίτερο μονωτικό ρόλο. Κυριότερη δουλειά του είναι να εξυπηρετεί τον ομαλό τερματισμό της εισόδου του αρσενικού στο θηλυκό βύσμα και να βοηθάει στην σταθερή συγκράτηση των βυσμάτων στην δεσμική κατάσταση. Αυτός ο ρόλος είναι σαφώς χρήσιμος σε ένα πραγματικό συσσωμάτωμα βυσμάτων, όμως σε ένα προσομοιωτικό μοντέλο δεν είναι απαραίτητος. Και αυτό γιατί η συγκράτηση των βυσμάτων στην δεσμική κατάσταση είναι δεδομένη σε ένα μοντέλο στον H/Y, απ' την στιγμή που οι θέσεις τους είναι σαφώς καθορισμένες στον χώρο και δεν αλλάζουν χωρίς την βούληση του χρήστη. Δεν πρόκειται δηλ. να υπάρξουν στην προσομοίωση δυνάμεις που ίσως μετακινήσουν ελαφρώς τα δύο βύσματα κατά την δεσμική κατάσταση, όπως θα μπορούσε να γίνει στο πραγματικό σύστημα.

Συνεπώς, για λόγους περιορισμού της πολυπλοκότητας του μοντέλου, επιλέξαμε να μην υλοποιήσουμε αυτό το παρέμβυσμα (γι' αυτό και δεν αναζητήσαμε περισσότερες πληροφορίες για το υλικό του). Φυσικά, όπως αναφέραμε και στην περίπτωση των fillers στα SCs του SpW (στο σχόλιο στην υποενότητα 2.8.5), η παράλειψη – απλοποίηση αυτή ουδεμία επίπτωση έχει στις H/M ιδιότητες του μοντέλου μας και στην συμπεριφορά των συνδεδεμένων βυσμάτων ως συσσωματώματος γείωσης.

iii. Το μονωτικό υλικό που το ESCC 3401/029 [6] ονομάζει “Rear Potting”

Το δεύτερο από τα δύο βασικά μονωτικά του κονέκτορα είναι αυτό που ονομάζεται “Rear Potting” (βλ. την §4.4 του [6]) και θα μπορούσαμε να το μεταφράσουμε ως «το υλικό που “πλάθεται” ή “χύνεται” σε ρευστή μορφή για να γεμίσει το πίσω μέρος των συνδέσμων). Αυτό το μονωτικό

γέμισμα θα πρέπει, σύμφωνα με το ESCC 3401/029 [6], να φτιαχτεί από εποξική ρητίνη (epoxy resin). Και όντως από εποξική ρητίνη το υλοποιούν και οι 4 εταιρείες των οποίων τους καταλόγους συμβουλευόμαστε ([38], [40], [41], [42]).

Η εποξική ρητίνη υπάρχει στην βιβλιοθήκη και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 4$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1$ (όπως συμβαίνει και με όλα τα διηλεκτρικά, βλ. το σχετικό Σχόλιο, στην παράγραφο 2.6.1.2) και
- Πυκνότητα $d = 1.62 \text{ g/cm}^3 = 1620 \text{ kg/m}^3$.

Το συγκεκριμένο μονωτικό, το CST το θεωρεί άνευ διηλεκτρικών απωλειών, αφού το ορίζει με μηδενική ειδική αγωγιμότητα.

Προκειμένου να είμαστε πιο κοντά στην πραγματικότητα, αποφασίσαμε να ορίσουμε και μια νέα εποξική ρητίνη, η οποία να μην είναι ιδανική από μονωτικής πλευράς. Για τον λόγο αυτόν κάναμε μια σύντομη βιβλιογραφική αναζήτηση ([27], [48], [50]). Στην αναζήτηση αυτή επικεντρωθήκαμε σε τιμές των χαρακτηριστικών που ψάχναμε, οι οποίες αναφέρονταν για θερμοκρασίες στην περιοχή των 20°C. Και αυτό διότι, σύμφωνα με το πρότυπο ESCC 3401/029 [6], οι μετρήσεις για την εξακρίβωση της συμμόρφωσης των βυσμάτων με τις προτυποποιημένες απαιτήσεις γίνονται σε θερμοκρασία δωματίου (η οποία συγκεκριμενοποιείται ως $22^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ στην §4.6.1 του [6]). Ως εκ τούτου διαπιστώσαμε ότι μια σχετικά καλή τιμή για την ειδική αντίσταση της εποξικής ρητίνης είναι $\rho = 0.1 \text{ T}\Omega \cdot \text{m} = 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ (αναφερόμενη στους 25°C), άρα η ειδική αγωγιμότητα είναι: $\sigma = 10^{-11} \text{ S/m}$ [48]. Επίσης αντιπροσωπευτική τιμή για την εφαπτομένη απωλειών είναι κάτι ≤ 0.05 στο 1 MHz . Επειδή το [27] δίνει ενίοτε και μεγαλύτερες τιμές στην $\tan \delta$, εμείς επιλέξαμε να κρατήσουμε την μεγαλύτερη τιμή, που έδινε το [48], δηλ.

Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta = 0.05$ σε συχνότητα 1 MHz .

Τέλος, ως προς την διηλεκτρική αντοχή, ένα εύρος που περιλαμβάνει την πλειονότητα των ρητινών είναι από 11.8 kV/mm έως και 21.7 kV/mm [50]. Ειδικότερα το [48] αναφέρει ότι, σαν γενικό κανόνα για τους 23°C, μπορεί κανείς να θυμάται τα 500 V/mil , όπου $1 \text{ mil} = (1/1000) \text{ in} = (1/1000) \cdot 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ mm}$. Αυτή λοιπόν την τιμή θα επιλέξουμε και εμείς να κρατήσουμε ως διηλεκτρική αντοχή της εποξικής ρητίνης, δηλ. τα $500 \text{ V/mil} = 500 \text{ V}/(0.0254 \text{ mm}) \cong 19.7 \text{ kV/mm}$, η οποία είναι εντός του τυπικού εύρους του [50] αλλά και του [27].

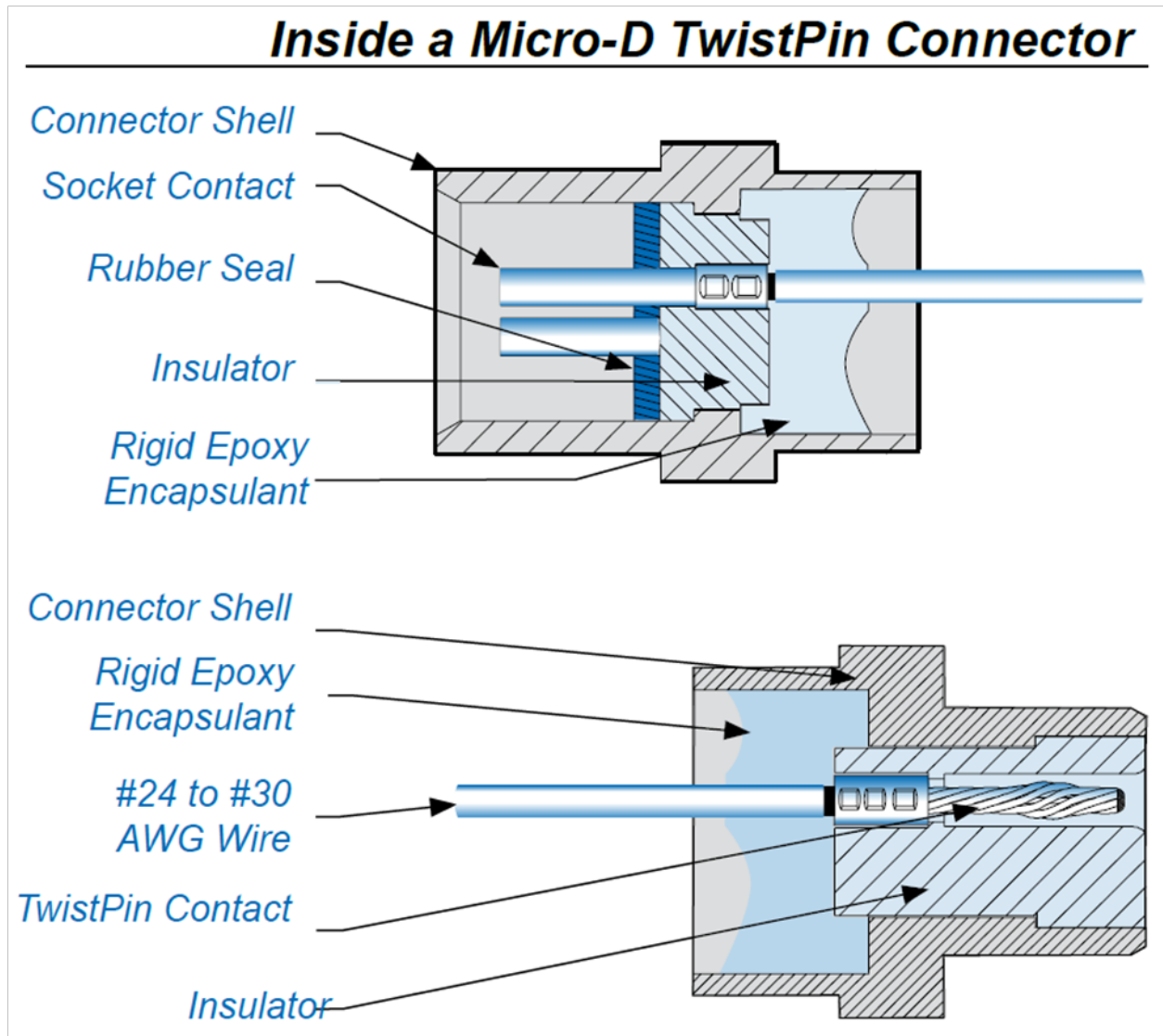
Αξιοποιώντας τώρα την τιμή της εφαπτομένης απωλειών και κρατώντας απαράλλακτα όλα τα άλλα χαρακτηριστικά που είχε το built in υλικό Epoxy resin (ακόμα και αυτά των θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων), δημιουργήσαμε ένα νέο υλικό και το προσθέσαμε στην βιβλιοθήκη, με την ονομασία **Epoxy resin (lossy)**, δηλ. εποξική ρητίνη αλλά με (διηλεκτρικές) απώλειες. Τα χαρακτηριστικά του, που είναι χρήσιμα για εμάς, είναι συγκεντρωτικά:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 4$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1$ (όπως συμβαίνει και με όλα τα διηλεκτρικά).
- Συντελεστή (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta = 0.05$ (σε συχνότητα 1 MHz),
- Διηλεκτρική Αντοχή 19.7 kV/mm ,
- Πυκνότητα $d = 1.62 \text{ g/cm}^3 = 1620 \text{ kg/m}^3$.

3.8.2.2 Επιλογή του Υλικού που εκχωρείται σε κάθε μέρος των Συνδέσμων

Ως προς τα αγωγή μέρη του συνδέσμου, αυτά είναι το κέλυφος και οι επαφές. Όμως για τις επαφές θα μιλήσουμε χωριστά, στην ενότητα 3.9, διότι θα υλοποιηθούν διαφορετικά και όχι μέσω του 3D Modeling, οπότε δεν θα μας απασχολήσουνε εδώ.

Ως προς τα μονωτικά μέρη, κατ' αρχάς για να καταλάβουμε ποιά μέρη στο εσωτερικό του κονέκτορα είναι μονωτικά, μας βοήθησε πολύ η ακόλουθη εικόνα, η οποία προέρχεται από τον αναλυτικό κατάλογο βυσμάτων της εταιρείας Glenair [40]. Στο πάνω μέρος της εικόνας αυτής είναι ο θηλυκός σύνδεσμος και στο κάτω ο αρσενικός.



Εικόνα 3.45: Τομές στον θηλυκό και αρσενικό σύνδεσμο Micro-D, που καταδεικνύουν τα μονωτικά υλικά που περιέχουν [40].

Βλέπουμε λοιπόν ότι δύο είναι τα βασικά μονωτικά του βύσματος, το διηλεκτρικό στο εσωτερικό του (insulator) και η εποξική ρητίνη στο πίσω μέρος του (rigid epoxy encapsulant). Το διηλεκτρικό, που η Glenair ονομάζει “Insulator” στην παραπάνω εικόνα, είναι αυτό, που στο ESCC 3401/029 [6], στην §4.4 ονομάζεται “Insert” («γέμισμα» αν μπορούμε να το πούμε). Μάλιστα την ονομασία “Insert” χρησιμοποιεί και η Axon’ (όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.61, που θα ακολουθήσει αργότερα, στην ενότητα 3.9). από την άλλη, το άλλο διηλεκτρικό, που η Glenair ονομάζει “ Rigid Epoxy Encapsulant” είναι αυτό, που στο ESCC 3401/029 [6] ονομάζεται “Rear Potting”. Οι όροι “Potting” και “Encapsulation” χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την διαδικασία προστασίας και μόνωσης ηλεκτρονικών διατάξεων και συνιστωσών με την επένδυση – επικάλυψη με μονωτικό [45].

Βασισμένοι στον τρόπο που η Εικόνα 3.45 δείχνει να τοποθετούνται τα δύο αυτά διηλεκτρικά και στο πόσο «μέρος» του κάθε συνδέσμου (αρσενικού και θηλυκού) καταλαμβάνει το κάθε ένα τους, διακρίναμε και τα στερεά σώματα που γεμίζουν το εσωτερικό των δύο συνδέσμων στα 3D Μοντέλα μας (βλ. Εικόνα 3.42).

Το τελευταίο διηλεκτρικό των βυσμάτων είναι το παρέμβυσμα – τσιμούχα διεπαφής, αυτό που στο ESCC 3401/029 [6] ονομάζεται “Interfacial Seal”. Το μονωτικό αυτό συναντάται μόνο στο θηλυκό βύσμα, όπως δείχνει η Εικόνα 3.45. Αυτό το ελαστικό, όπως εξηγήσαμε στην υποπαράγραφο

3.8.2.1.2, έχει κυρίως μηχανικό ρόλο και όχι μονωτικό. Για τον λόγο αυτόν αποφασίσαμε να μην βαρύνουμε την προσομοίωση υλοποιώντας και αυτό.

Μετά λοιπόν την δημιουργία και επιλογή των καταλλήλων υλικών και την κατανόηση της τοποθέτησής τους στους συνδέσμους, έγινε η εκχώρησή τους στα αντίστοιχα μέρη αυτών. Ακολούθως θα παραθέσουμε συγκεντρωμένα όλα τα διαφορετικά μέρη των συνδέσμων που υλοποιήθηκαν, ξεκινώντας από τον εξωτερικό και προχωρώντας προς το εσωτερικό τους και για κάθε μέρος του θα σημειώνουμε το αντίστοιχο υλικό.

1) Το Κέλυφος – Σώμα – Σασί του Συνδέσμου (Connector Shell):

Το κέλυφος των συνδέσμων θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο από κατάλληλο κράμμα αλουμινίου, επιμεταλλωμένο με έναν από τους δύο τρόπους που αναφέραμε στην υποπαράγραφο 3.8.2.1.1. Όπως όμως εξηγήσαμε στην υποπαράγραφο αυτήν, προτιμήσαμε να αναθέσουμε απλώς του αλουμίνιο σαν υλικό για το κέλυφος. Τα δύο αυτά 3D αντικείμενα, το κέλυφος του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου, ονομάστηκαν στο 3D Modeling με τα ακόλουθα ονόματα:

- Male_Connector_Shell,
- Female_Connector_Shell.

2) Η Ρητίνη που γεμίζει το πίσω μέρος των Συνδέσμων (Rigid Epoxy Encapsulant or Rear Potting):

Το 3D αντικείμενο που γεμίζει το πίσω μέρος τόσο του αρσενικού όσο και του θηλυκού κονέκτορα έπρεπε (σύμφωνα με το πρότυπο ESCC 3401/029 [6] και την Εικόνα 3.45) να είναι κατασκευασμένο από εποξική ρητίνη, άρα του εκχωρήθηκε το μονωτικό υλικό iii (βλ. υποπαράγραφο 3.8.2.1.2). Τα δύο αυτά 3D αντικείμενα ονομάστηκαν ως εξής:

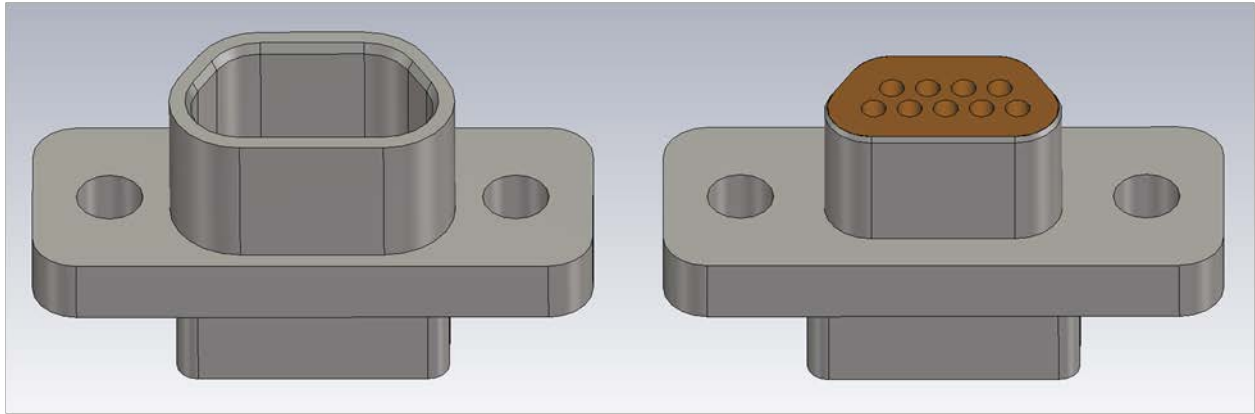
- Male_epoxy_resin_Encapsulant,
- Female_epoxy_resin_Encapsulant.

3) Το Μονωτικό Γέμισμα του Συνδέσμου (Connector Insert or Insulator):

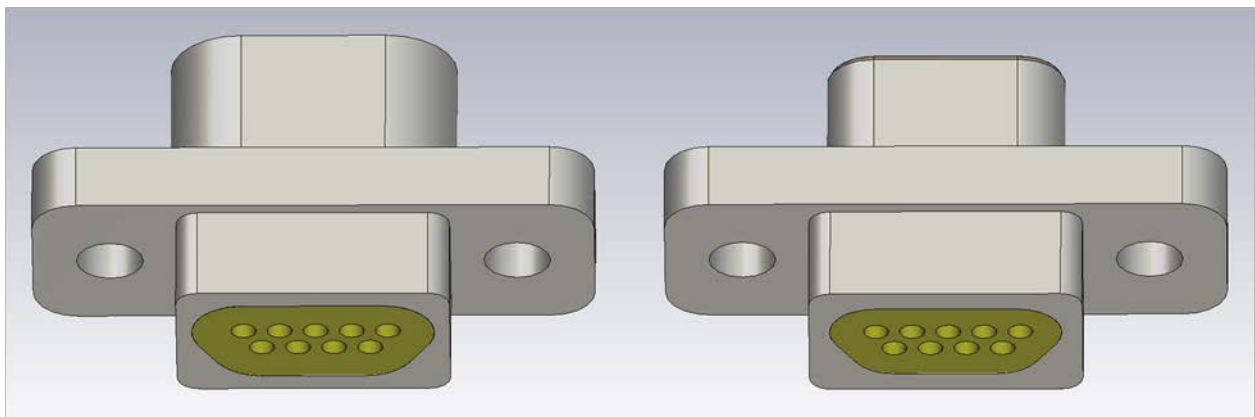
Το 3D αντικείμενο που γεμίζει το εσωτερικό τόσο του αρσενικού όσο και του θηλυκού κονέκτορα έπρεπε (σύμφωνα με το πρότυπο ESCC 3401/029 [6] και την Εικόνα 3.45) να είναι κατασκευασμένο από glass fibre-filled diallylphthalate resin, οπότε του εκχωρήθηκε το μονωτικό υλικό i (βλ. υποπαράγραφο 3.8.2.1.2). Τα δύο αυτά 3D αντικείμενα ονομάστηκαν ως εξής:

- Insulator_inside_Male_Connector,
- Insulator_inside_Female_Connector.

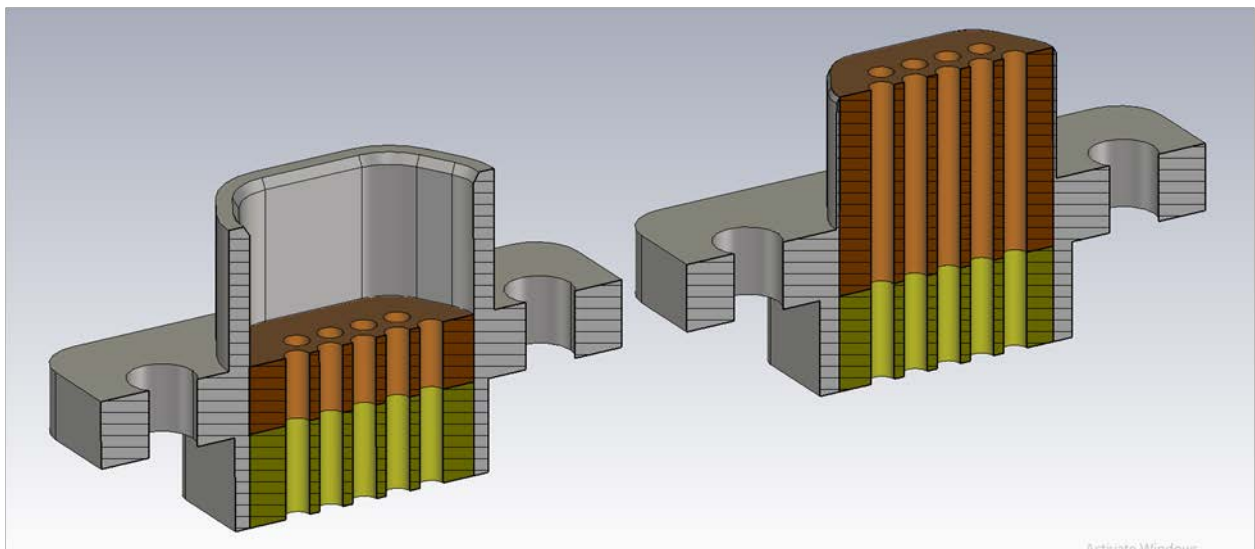
Στις ακόλουθες εικόνες παρουσιάζουμε και πάλι τους δύο συνδέσμους (από δύο όψεις τους καθώς και σε τομή), τώρα όμως είναι διακριτά και τα διαφορετικά υλικά τους. Συγκεκριμένα με ασημί φαίνεται το μεταλλικό κέλυφος αλουμινίου, με μπεζ η εποξική ρητίνη που γεμίζει το πίσω μέρος κάθε κονέκτορα και με κεραμιδί το εσωτερικό μονωτικό του από LCP 30% Glass Fiber Filled.



Εικόνα 3.46: Όψη των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου μετά την ανάθεση υλικών [56].



Εικόνα 3.47: Ετέρα όψη των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου μετά την ανάθεση υλικών [56].



Εικόνα 3.48: Τομή των 3D μοντέλων θηλυκού και αρσενικού συνδέσμου μετά την ανάθεση υλικών [56].

3.8.3 Σύνδεσμοι σε Δεσμική Κατάσταση

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την σωστή υλοποίηση των δύο συνδέσμων χωριστά, επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του συσσωματώματος των δύο συνδέσμων, αρσενικού και θηλυκού, σε δεσμική κατάσταση. Για τον λόγο αυτόν έπρεπε να γίνουν σχετικές κινήσεις του ενός συνδέσμου, ως προς τον άλλον. Αυτό απαιτούσε, όπως θα δούμε, την κατάλληλη ομαδοποίηση των συνιστωσών τους πρώτα. Τέλος, μετά την ευθυγράμμιση τους, θα έπρεπε να συνδεθούν τελικά σε ένα συσσωμάτωμα. Στην συνέχεια θα εξηγήσουμε αυτές τις ενέργειες, με την σειρά που έπρεπε να γίνουν.

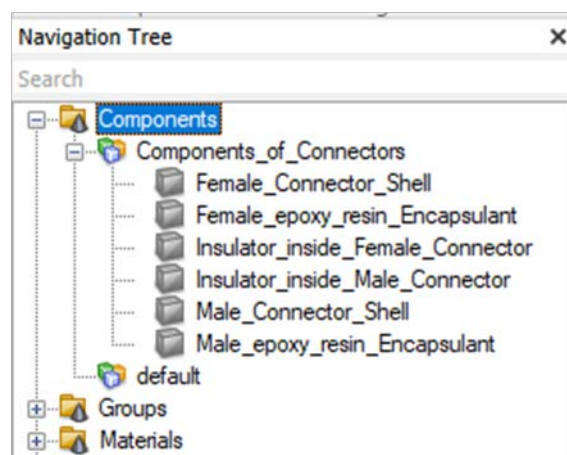
3.8.3.1 Ομαδοποίηση των Συνιστωσών των Συνδέσμων

Για να μπορέσουμε να κάνουμε τις κατάλληλες μετατοπίσεις στους συνδέσμους μας, η εντολή που εν γένει χρησιμοποιείται είναι η εντολή “Transform” (βλ. την Εικόνα 3.1 ή για πιο καθαρά την Εικόνα 3.38). Γενικά αυτή είναι η εντολή με την οποία μπορούμε να μετακινούμε 3D αντικείμενα. Όμως κάθε 3D αντικείμενο στο CST αντιμετωπίζεται ξεχωριστά για τέτοιες ενέργειες και δεν μπορούμε να επιλέξουμε ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα αντικείμενα και να τα μετατοπίσουμε στον χώρο. Και εν προκειμένω, κέλυφος και εσωτερικά μονωτικά είναι όλα διαφορετικά αντικείμενα. Ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να μετακινούμε πολλά αντικείμενα μαζί είναι να τα ομαδοποιήσουμε σε ένα ενιαίο Group.

Οι Συνιστώσες (Components) 3D αντικειμένων

Επειδή κάθε αντικείμενο που δημιουργούμε αποτελεί μια συνιστώσα του μοντέλου, απ’ ευθείας ενσωματώνεται στον φάκελο “Components” στο Navigation Tree, στα αριστερά του παραθύρου του CST. Αρχικά τα αντικείμενα αυτά εμπεριέχονται σε μια αυτομάτως δημιουργηθείσα «ενότητα» με όνομα “default”. Εμείς δημιουργήσαμε μία ενότητα με όνομα “Components_of_Connectors” και εκεί μέσα εντάξαμε όλα τα αντικείμενά μας. Η μετακίνηση ενός αντικειμένου από μία «ενότητα» συνιστωσών σε μία άλλη γίνεται με δεξί κλικ στο αντικείμενο αυτό από το Navigation Tree και επιλογή της δυνατότητας “Change Component...”.

Εκεί, από τον φάκελο δηλ. “Components”, μπορούμε να κάνουμε και μετονομασίες στα αντικείμενά μας. Το να δώσουμε σε κάθε αντικείμενο κατάλληλο όνομα ήταν αναγκαίο προκειμένου στην συνέχεια να μπορούμε να τα εντάξουμε στα κατάλληλα Groups. Ακολούθως φαίνονται τα αντικείμενα αυτά με τα ονόματά τους (όπως τα δώσαμε και στην παράγραφο 3.8.2.2).

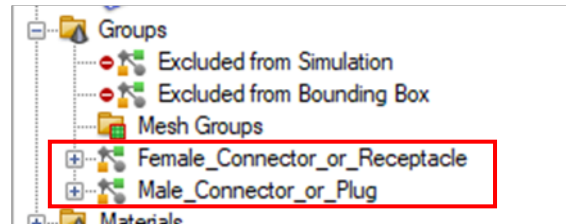


Εικόνα 3.49: Τα διαφορετικά 3D αντικείμενα – συνιστώσες των συνδέσμων [56].

Οι Ομάδες (Groups) 3D αντικειμένων

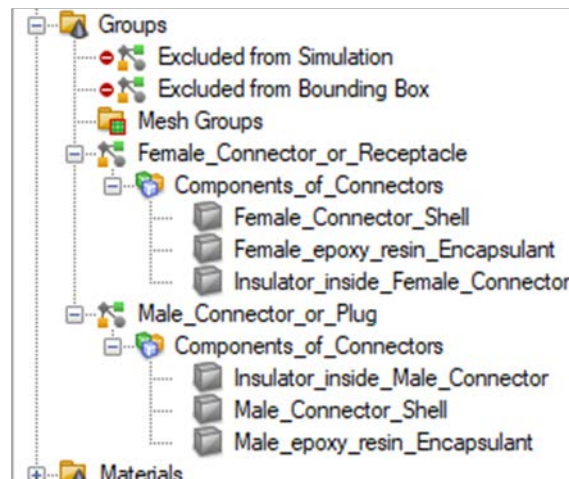
Επόμενο βήμα τώρα είναι να ομαδοποιήσουμε όσα αντικείμενα θέλουμε, ώστε να αποτελέσουν ένα ενιαίο σύνολο. Τα σύνολα αυτά ονομάζονται “Groups” και φαίνονται επίσης στα Navigation Tree, στα αριστερά του παραθύρου του CST. Εκεί λοιπόν με δεξί κλικ προχωρούμε στην δημιουργία των Groups που θέλουμε. Εν προκειμένω χρειαζόμασταν δύο, αυτό του αρσενικού και αυτού του θηλυκού κονέκτορα, τα οποία ονομάσαμε αντίστοιχα:

- Male_Connector_or_Plug και
- Female_Connector_or_Receptacle.



Εικόνα 3.50: Τα Groups του αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου, την στιγμή που δημιουργήθηκαν [56].

Ακολουθώς, η τοποθέτηση ενός αντικειμένου σε ένα Group γίνεται και πάλι με επιλογή του από τον φάκελο “Components” στο Navigation Tree, δεξί κλικ και επιλογή της δυνατότητας “Change Group...”. Με τον τρόπο αυτό τοποθετήσαμε κάθε 3D αντικείμενο στο Group που έπρεπε, όπως βλέπουμε στην εικόνα που ακολουθεί.

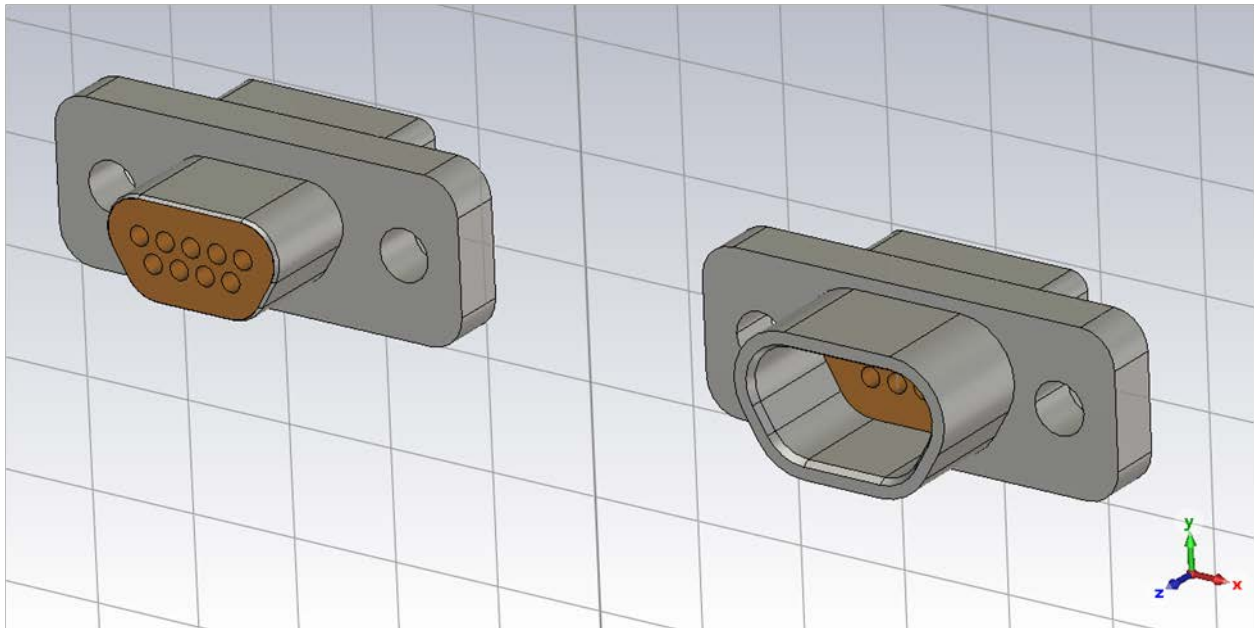


Εικόνα 3.51: Τα Groups του αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου, μετά την ενσωμάτωση σε αυτά των καταλλήλων συνιστωσών – αντικειμένων [56].

3.8.3.2 Μετακίνηση και Ευθυγράμμιση των Συνδέσμων

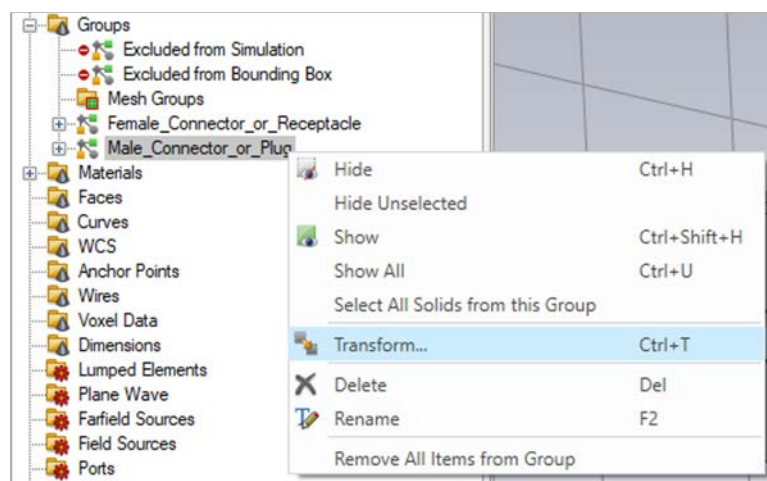
Έχοντας ολοκληρώσει την ομαδοποίηση των συνιστωσών κάθε συνδέσμου σε Groups, πλέον έχουμε την δυνατότητα να κινούμε κάθε βύσμα σαν σύνολο. Έτσι μπορούμε να προχωρήσουμε στην τοποθέτηση των βυσμάτων στον χώρο έτσι ώστε να οδηγηθούμε στο ενιαίο συσσωμάτωμα αυτών.

Πρώτη ενέργεια για να καταλήξουμε εκεί είναι να περιστρέψουμε έναν από τους δύο συνδέσμους ως προς τον άλλον. Και αυτό γιατί, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.52, που ακολουθεί, κατά την δημιουργία των μοντέλων μας, είχαμε τους συνδέσμους τον έναν δίπλα στον άλλον.



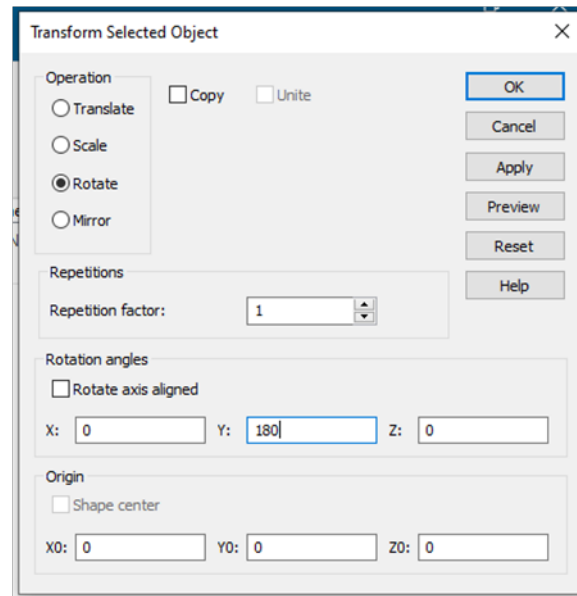
Εικόνα 3.52: Η αρχική τοποθέτηση των συνδέσμων στον χώρο, ο ένας δίπλα στον άλλον [56].

Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι μία δυνατότητα είναι να περιστρέψουμε το αρσενικό βύσμα γύρω από τον y άξονα κατά 180° . Αυτό γίνεται με δεξί κλικ στο όνομα του Group που θέλουμε να κινήσουμε και επιλογή της δυνατότητας Transform.



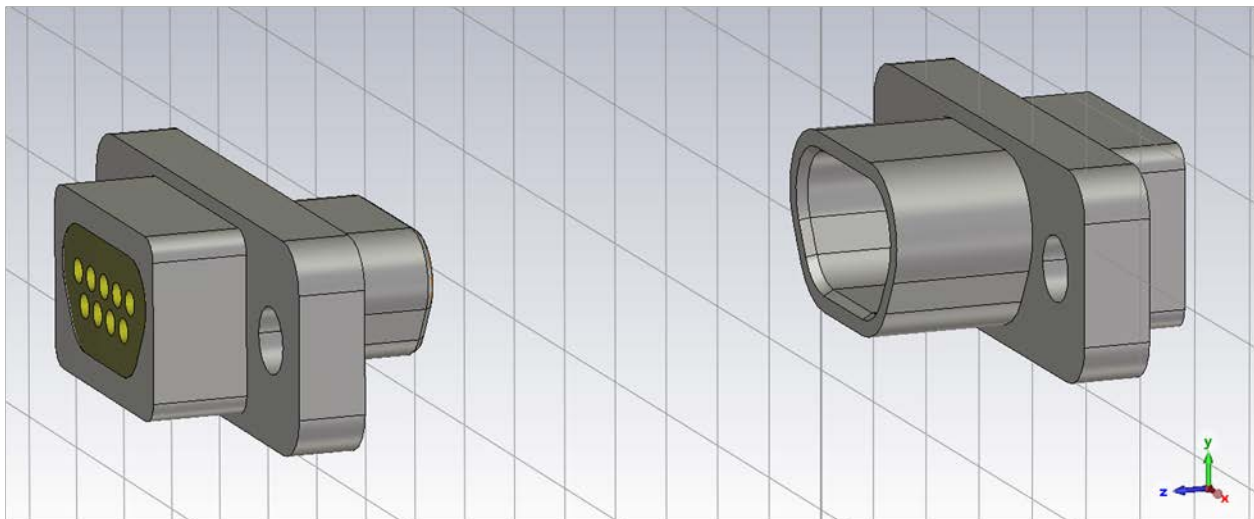
Εικόνα 3.53: Η περιστροφή του αρσενικού συνδέσμου, Βήμα 1^ο [56].

Έπειτα, στο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγουμε την επιθυμητή ενέργεια δηλ. εν προκειμένω την περιστροφή (Rotate) και ορίζουμε τον αριθμό των μοιρών κατά τις οποίες θέλουμε να περιστραφεί το επιλεγμένο Group γύρω από τον αντίστοιχο άξονα (180° γύρω από τον y άξονα εν προκειμένω).



Εικόνα 3.54: Η περιστροφή του αρσενικού συνδέσμου, Βήμα 2^ο [56].

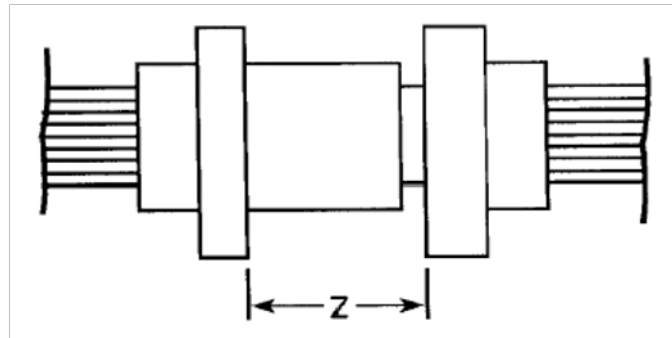
Αφού ολοκληρωθεί αυτή η κίνηση θα πρέπει με κατάλληλες κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις κατά τους x και y άξονες να φροντίσουμε να ευθυγραμμίσουμε τα δύο βύσματα. Δεν θα κουράσουμε τον αναγνώστη με πολλές λεπτομέρειες για αυτή την διαδικασία. Απλώς θα αναφέρουμε ότι μια καλή μέθοδος είναι η επιλογή δύο «ομολόγων» σημείων στα δύο βύσματα (π.χ. τα κέντρα δύο αντιστοίχων επαφών ή ένα χαρακτηριστικό σημείο του κελύφους) και η μετακίνηση του ενός Group μέχρι να ταυτιστούν οι x και y συντεταγμένες τους. Ακολούθως παραθέτουμε το αποτέλεσμα μιας τέτοιας σωστής ευθυγράμμισης.



Εικόνα 3.55: Η τοποθέτηση των συνδέσμων στον χώρο, του ενός απέναντι στον άλλον, με σωστή ευθυγράμμιση [56].

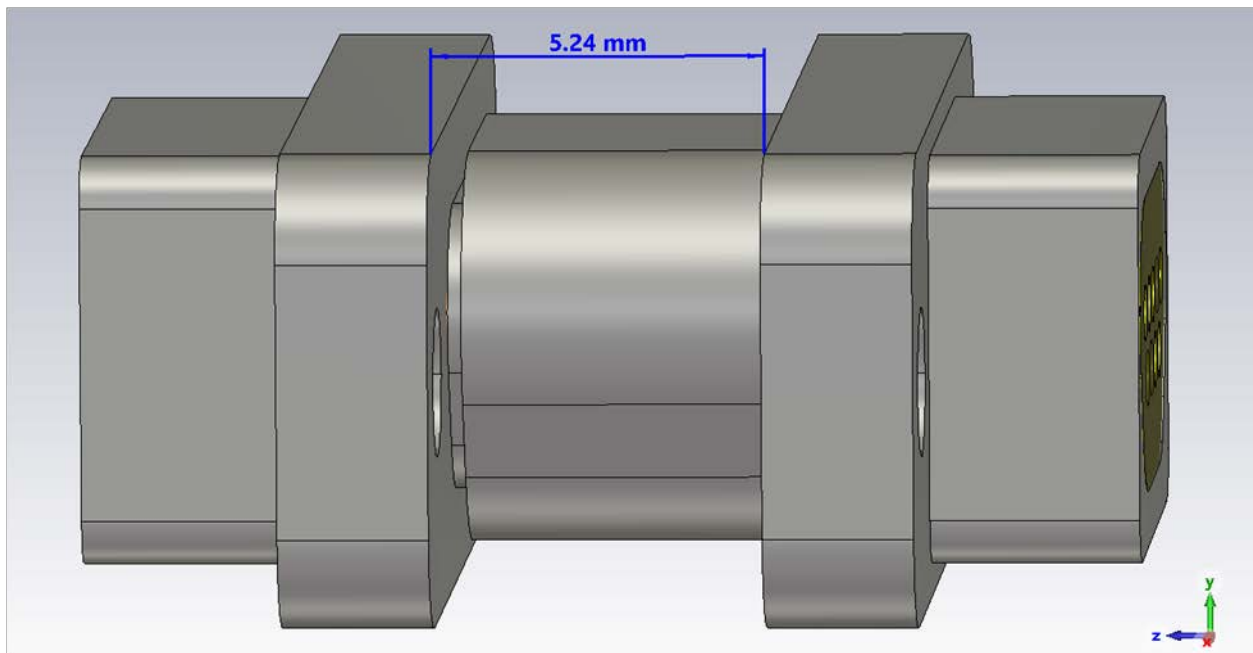
Επόμενο βήμα τώρα είναι η μετατόπιση του ενός βύσματος ως προς το άλλο, ώστε να φτάσουν στην δεσμική κατάσταση. Η μετατόπιση αυτή πρέπει να γίνει κατά τον z άξονα, όπως αντιλαμβανόμαστε και από την Εικόνα 3.55. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να γνωρίζουμε την απόσταση που τα δύο βύσματα έχουν όταν βρίσκονται σε δεσμική κατάσταση, κατά τον z άξονα. Αυτή είναι μια

απόσταση, που αφ' ενός μπορεί να μετρηθεί στους πραγματικούς συνδέσμους και αφ' ετέρου είναι προτυποποιημένη κατά την μέγιστη δυνατή της τιμή. Συγκεκριμένα, στο ESCC 3401/029 [6], έχουμε το ακόλουθο σχήμα:

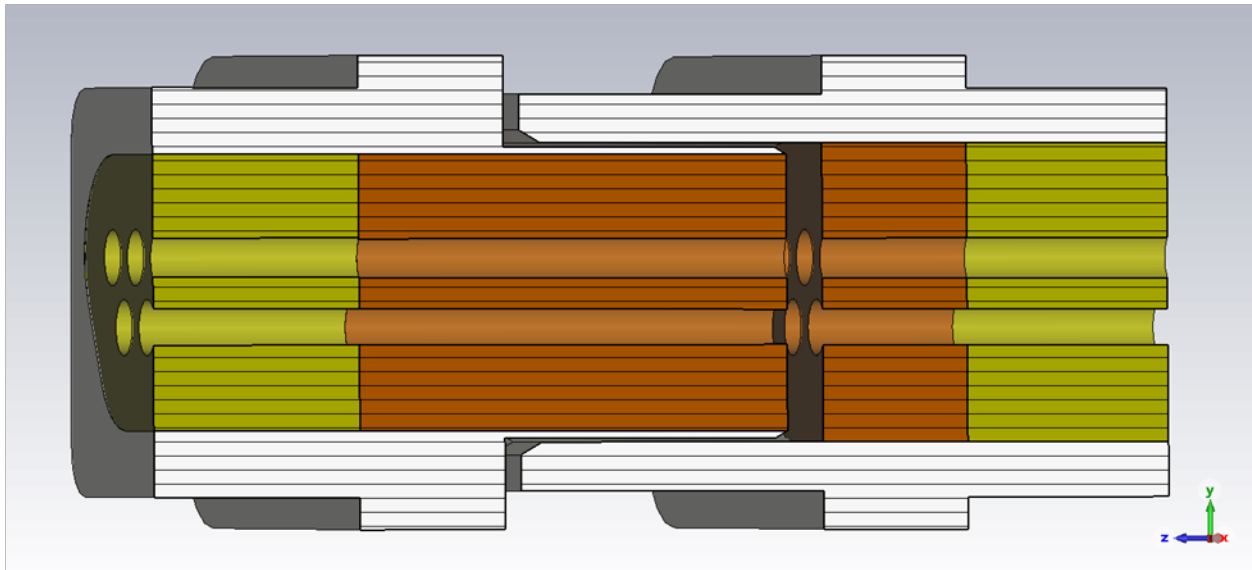


Σχήμα 3.8: Η εσωτερική απόσταση των δύο συνδέσμων στην δεσμική κατάσταση [6].

Στο Σχήμα 3.8 υποδεικνύεται η «εσωτερική» απόσταση Z , των δύο βυσμάτων σε δεσμική κατάσταση. Η απόσταση αυτή έχει μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή από το πρότυπο τα 5.49 mm . Μετρώντας με παχύμετρο την απόσταση αυτή σε δύο βύσματα σε δεσμική κατάσταση στο πραγματικό σύστημα SpW του Εργαστηρίου, την βρήκαμε 5.24 mm . **Αυτή είναι λοιπόν και η τιμή που επιλέξαμε να υιοθετήσουμε και στο μοντέλο του CST.** Άρα μετατοπίσαμε το ένα βύσμα προς το άλλο κατά την διεύθυνση του z άξονα, μέχρις ότου αυτή η απόσταση, έγινε $Z = 5.24\text{ mm}$. Όπως έχουμε πει, αυτό το ελέγχουμε παρατηρώντας τις συντεταγμένες «ομολόγων» σημείων των δύο βυσμάτων (και συγκεκριμένα τις z συντεταγμένες τους). Το αποτέλεσμα της μετακίνησης αυτής φαίνεται στις δύο εικόνες που ακολουθούν, σε προοπτική μορφή και σε τομή.



Εικόνα 3.56: Όψη της τοποθέτησης των συνδέσμων, του ενός μέσα στον άλλον [56].



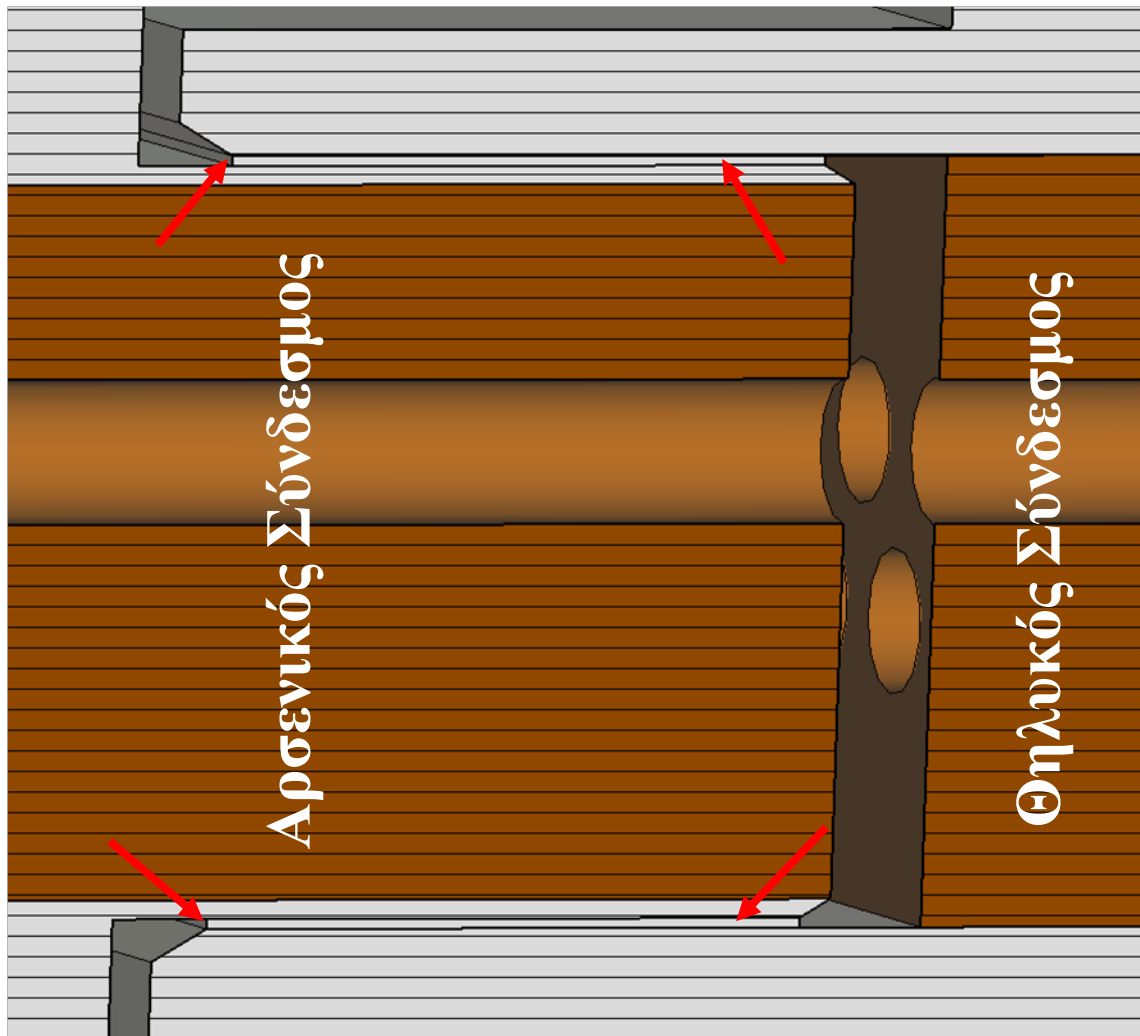
Εικόνα 3.57: Τομή της τοποθέτησης των συνδέσμων, του ενός μέσα στον άλλον [56].

3.8.3.3 Δημιουργία του Συσσωμάτωματος των Συνδέσμων σε Δεσμική Κατάσταση

Στην κατάσταση στην οποία φέραμε τα μοντέλα των συνδέσμων στο τέλος της προηγούμενης παραγράφου (η οποία φαίνεται στις Εικόνες 3.56 και 3.57), τα δύο βύσματα εξακολουθούν να αποτελούν δύο χωριστά σώματα, αυτό του αρσενικού και αυτό του θηλυκού βύσματος. Αν λοιπόν θέλουμε να οδηγηθούμε στο ενιαίο συσσωμάτωμα γείωσης, όπου θα τερματίζει η άκρη του καλωδίου SpW, πρέπει να κάνουμε ένα βήμα παραπέρα. Συγκεκριμένα πρέπει με κάποιον τρόπο να συνδέσουμε αγωγίμα τα δύο αυτά βύσματα.

Στο πραγματικό σύστημα, οι διαστάσεις αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου είναι τέτοιες ώστε, κατά την δεσμική κατάσταση, να υπάρχει επαφή στα μεταλλικά κελύφη τους, οπότε να εξασφαλίζεται αγωγή σύνδεση αυτών. Μάλιστα και το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] δίνει και συγκεκριμένη απαίτηση για την DC αντίσταση της επαφής αυτής του κελύφους αρσενικού και θηλυκού, συγκεκριμενοποιώντας την σε τιμή $< 10 m\Omega$. Συνεπώς, μέσω της αγωγίμου αυτής επαφής, η γείωση του συστήματος, η οποία δίνεται από την πλακέτα στο κέλυφος του θηλυκού συνδέσμου, φτάνει στο κέλυφος του αρσενικού, στο οποίο τερματίζονται οι θωρακίσεις του καλωδίου.

Στο προσομοιωτή όμως, όπως βλέπουμε στις Εικόνες 3.56 και 3.57, δεν υπάρχει επαφή των κελύφων κατά την δεσμική κατάσταση. Και μάλιστα δεν θα ήταν σωστό να υπάρχει, αφού θα προέκυπτε σφάλμα στην 3D μοντελοποίηση, μιας και δύο στερεά θα ήταν το ένα μέσα στο άλλο (θα είχαν επικάλυψη). Πρέπει λοιπόν με κάποιον τρόπο να συνδέσουμε τα δύο αυτά μεταλλικά αντικείμενα. Ο απλούστερος τρόπος, τον οποίο και υιοθετήσαμε, ήταν η δημιουργία ενός ακόμα στερεού που «πληρώνει» – γεμίζει τον χώρο μεταξύ των δύο μεταλλικών κελύφων στα σημεία που θα γινόταν η διεπαφή τους. Το στερεό αυτό ήταν πρακτικά ένας δακτύλιος στο σχήμα της τύπου D οπής των συνδέσμων και υλοποιήθηκε επίσης από Αλουμίνιο, όπως και τα κελύφη. Παρακάτω βλέπουμε πάλι σε τομή τους δύο συνδέσμους, με μεγαλύτερη μεγέθυνση ώστε να φανεί και το στερεό αυτό (το οποίο επισημαίνεται με κόκκινα βέλη).

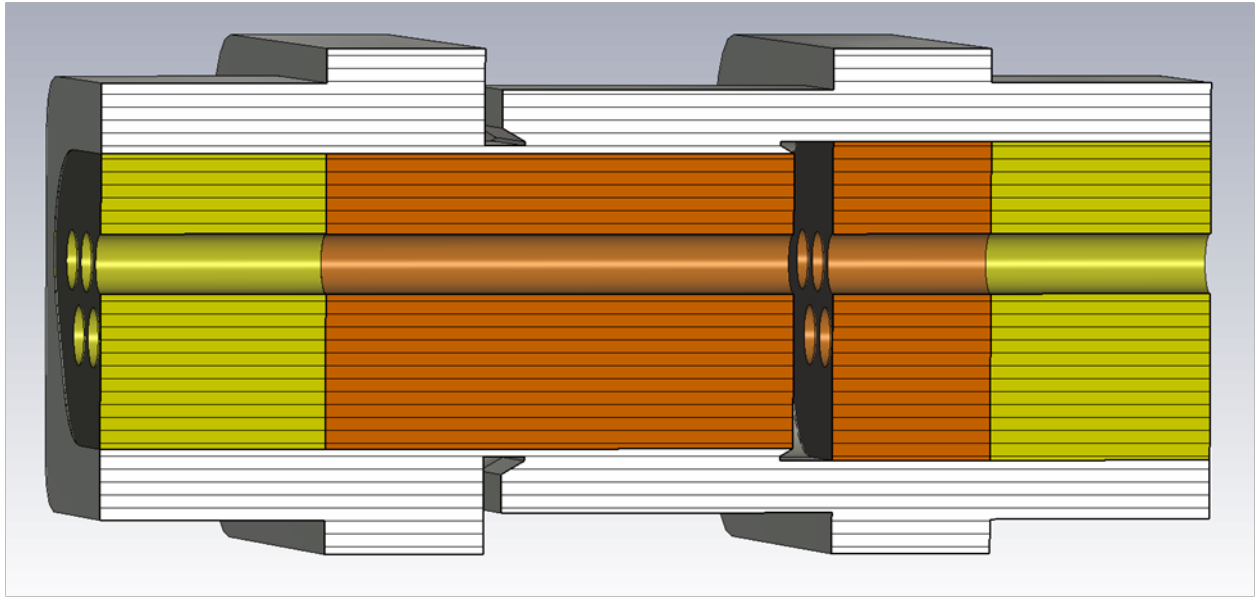


Εικόνα 3.58: Μεγέθυνση στην περιοχή διεπαφής αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου, ώστε να φανεί το στερεό που υλοποιεί την διεπαφή [56].

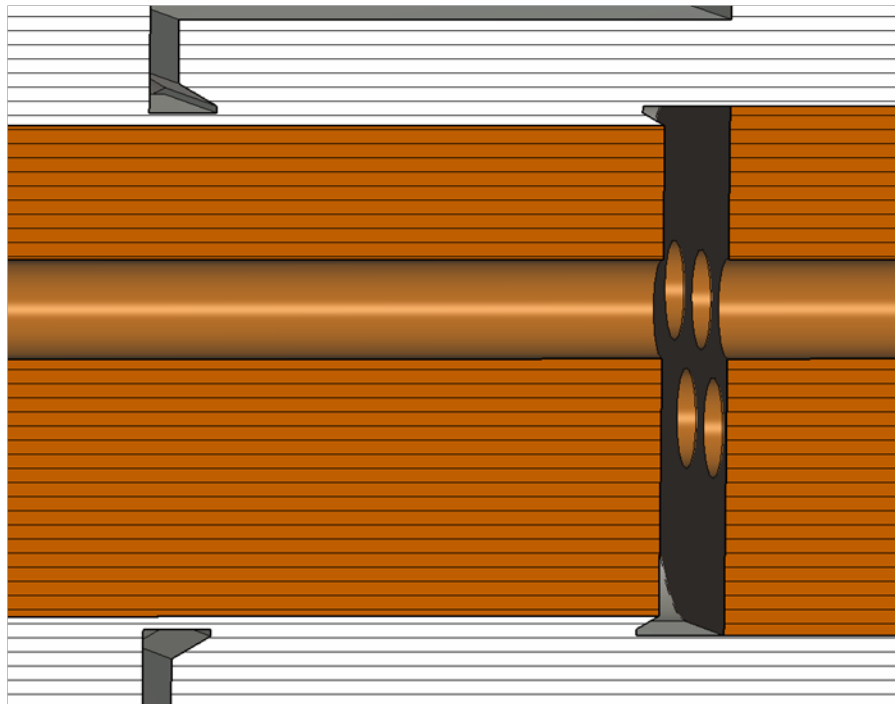
Το μεταλλικό αυτό δακτυλίδι που γεμίζει τον χώρο της διεπαφής αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου, ονομάστηκε:

- Interfacial_Metal_between_male's_shell_and_female's_shell.

Τέλος, το προφανές πλέον, προκειμένου να ενωθούν σε ένα συσσωμάτωμα τα δύο κελύφη, ήταν να «προσθεθούν» τα τρία μεταλλικά στερεά, το κέλυφος του αρσενικού, το κέλυφος του θηλυκού και το μεταλλικό δακτυλίδι της διεπαφής τους, με την χρήση της Boolean πράξης της πρόσθεσης. Το αποτέλεσμα φαίνεται και πάλι σε τομή, στις δύο εικόνες που ακολουθούν. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 3.59 φαίνεται από πιο μακριά όλο το συσσωμάτωμα των δύο βυσμάτων, ενώ στην Εικόνα 3.60 φαίνεται σε μεγέθυνση η περιοχή της διεπαφής τους. Εκεί βλέπουμε ότι πλέον το στερεό της Εικόνας 3.58 έχει γίνει ένα με τα μεταλλικά κελύφη και των δύο συνδέσμων.



Εικόνα 3.59: Τομή του συσσωματώματος των συνδέσμων σε δεσμική κατάσταση [56].



Εικόνα 3.60: Μεγέθυνση του συσσωματώματος των συνδέσμων σε δεσμική κατάσταση στην περιοχή διεπαφής αρσενικού και θηλυκού συνδέσμου, ώστε να φανεί ότι όλα τα μεταλλικά μέρη έχουν γίνει ένα σώμα [56].

Πλέον όλα τα μεταλλικά μέρη των δύο βυσμάτων σε δεσμική κατάσταση αποτελούν ένα στερεό σώμα, στο οποίο δώσαμε νέο όνομα:

- Male's_and_Female's_Connector_Shells_at_Mounting_Condition.

Επίσης, δεν είχε νόημα πλέον να έχουμε δύο διαφορετικά Groups, αρσενικού και θηλυκού κονέκτορα, αφού πλέον μόνο σαν συσσωμάτωμα θα μεταχειριζόμαστε τους δύο συνδέσμους. Οπότε καταργήσαμε τα δύο προηγούμενα Groups (που αναφέραμε στην παράγραφο 3.8.3.1) και ενσωματώσαμε όλα τα 3D αντικείμενα σε ένα νέο Group, το οποίο ονομάσαμε:

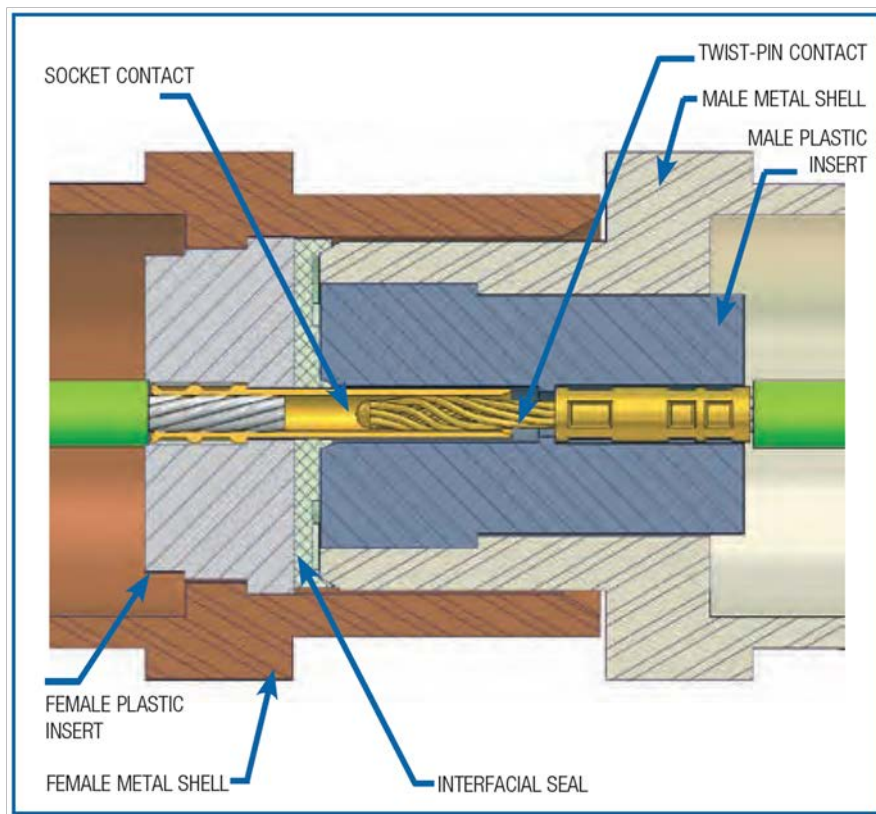
- Male_and_Female_Connectros_at_Mounting_Condition.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι, αφού τα δύο βύσματα έγιναν ένα ενιαίο υλικό πλέον δεν χρειάζεται να μας απασχολεί η αντίσταση της σύνδεσης των κελύφων αρσενικού και θηλυκού (που αναφέρει το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 στην §5.3.3.2d και που θίξαμε παραπάνω, στην αρχή αυτής της παραγράφου). Το γεγονός ότι όλα αποτελούν ένα σώμα από αλουμίνιο, αφ' εαυτού εξασφαλίζει ότι η αντίσταση σύνδεσης είναι απειροελάχιστη¹³⁶.

3.9 Επαφές των Συνδέσμων

Η μετάδοση των σημάτων που εξυπηρετεί το καλώδιο προς τα κατάλληλα σημεία της πλακέτας ενός οργάνου στο οποίο θα συνδεθεί, γίνεται χάρη στις μεταλλικές επαφές που διαθέτουν οι σύνδεσμοι. Κατά την δεσμική κατάσταση τώρα του αρσενικού με το θηλυκό βύσμα, οι αντίστοιχες επαφές (αυτές δηλ. που αντιστοιχούν στο ίδιο σήμα) συνδέονται αγώγιμα και έτσι το σήμα συνεχίζει αναλλοίωτη την πορεία του.

Ως προς το σχήμα και τον τρόπο σύνδεσης των επαφών, λίαν επεξηγηματική είναι η παρακάτω εικόνα της Axon³, που δείχνει σε δεσμική κατάσταση τους δύο κονέκτορες (δεξιά είναι ο αρσενικός και αριστερά ο θηλυκός).



Εικόνα 3.61: Η αγώγιμη σύνδεση των επαφών των συνδέσμων, κατά την δεσμική κατάσταση [38].

¹³⁶ Άλλωστε και το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] μας επισημαίνει στην §5.3.3.2, στην σημείωση της επισήμανσης b, ότι η αντίσταση αυτή μεταξύ του σώματος του αρσενικού και του θηλυκού συνδέσμου σε δεσμική κατάσταση είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί. Στην πράξη, την εξασφάλιση ότι δεν θα υπερβαίνει τα 10 mΩ σε DC, την έχουμε από την σχεδίαση της διεπαφής μεταξύ του σώματος των δύο συνδέσμων.

Παρατηρούμε ότι οι επαφές του θηλυκού κονέκτορα έχουν σχήμα υποδοχών – κοιλοτήτων (sockets εξ' ου και "S" ο κωδικός συμβολισμός του θηλυκού) ενώ οι επαφές του αρσενικού κονέκτορα έχουν σχήμα ακίδων (pins εξ' ου και "P" ο κωδικός συμβολισμός του αρσενικού). Στο πίσω μέρος και των θηλυκών επαφών και των αρσενικών επαφών συνδέονται οι αγωγοί των αντιστοιχών σημάτων (που φαίνονται ως αγωγοί με συνεστραμμένα συρματίδια και πράσινο μονωτικό). Το σχήμα και η διάμετρος των υποδοχών και των ακίδων είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται αγωγή επαφή μεταξύ τους κατά την δεσμική κατάσταση των δύο βυσμάτων.

Ως προς την διάμετρο των επαφών, αυτή θα πρέπει να συμμορφώνεται με την διάμετρο των αντιστοιχών αγωγών. Δηλ. για εφαρμογές SpW, όπου η διάμετρος κάθε συνεστραμμένου εσωτερικού αγωγού είναι 28 AWG (στην Var. 01) ή 26 AWG (στην Var. 02), αντιστοίχως και η διάμετρος των επαφών θα είναι 28 AWG (για την Var. 01) ή 26 AWG (για την Var. 02).

3.9.1 Δημιουργία – Υλοποίηση των Επαφών

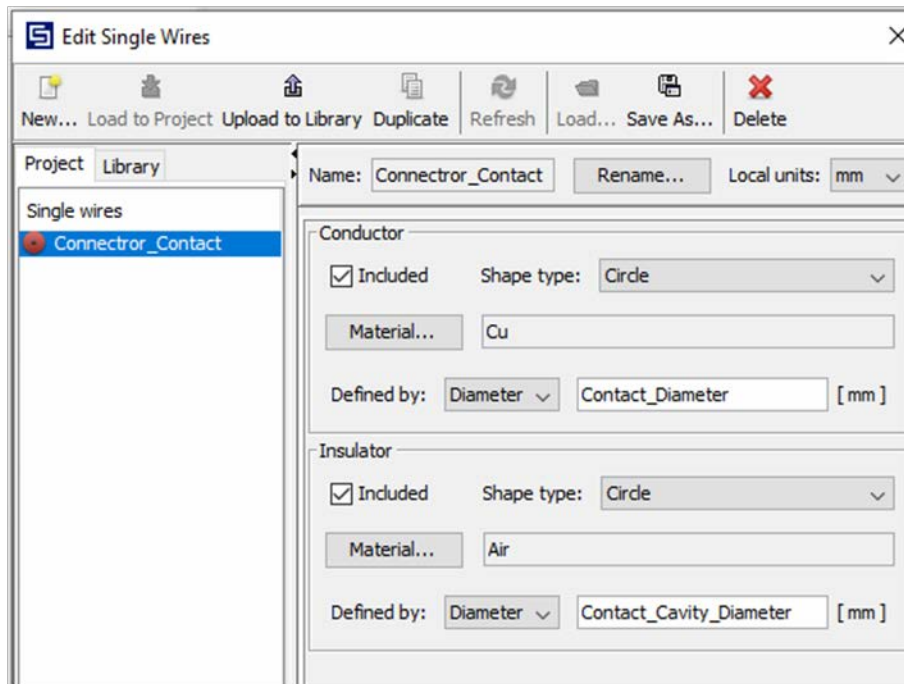
Προκειμένου το μοντέλο των βυσμάτων να είναι ολοκληρωμένο, έπρεπε να προσθέσουμε και τις επαφές. Να σημειώσουμε εδώ το εξής. Κανονικά θα μπορούσε κάποιος να φτιάξει χωριστά τις επαφές για τον αρσενικό και για τον θηλυκό κονέκτορα. Όμως στις προσομοιώσεις μας δεν πρόκειται ποτέ να μελετήσουμε μια διάταξη καλωδίου που δεν θα τερματίζει πουθενά, ώστε να έχουμε μόνο αρσενικούς κονέκτορες, ασύνδετους με αντιστοιχούς θηλυκούς. Επομένως σε κάθε περίπτωση που θα εξετάσουμε στο πρόγραμμα, θα έχουμε πάντοτε αρσενικό και θηλυκό κονέκτορα συνδεδεμένους. Άρα δεν έχει νόημα να φτιάξουμε χωριστά αρσενικό κονέκτορα με επαφές και χωριστά θηλυκό κονέκτορα με επαφές. Το πιο εύκολο και γρήγορο, αλλά και ουσιαστικά το μόνο αναγκαίο, είναι να προσθέσουμε επαφές στο ενιαίο συσσωμάτωμα αρσενικού και θηλυκού κονέκτορα σε δεσμική κατάσταση.

Όσον αφορά στον ακριβή τρόπο υλοποίησης των επαφών, αναλογιστήκαμε ότι, το να υλοποιήσουμε τις επαφές με τόσο μεγάλη ακρίβεια, όπως είναι στην πραγματικότητα δηλ. όπως βλέπουμε στην Εικόνα 3.61, ήταν υπερβολικά σύνθετο και μάλλον έξω από τους στόχους της προσομοίωσής μας. Αυτό δηλ. που μας ενδιαφέρει εμάς και έχει ουσιαστικά νόημα είναι να έχουμε μια αγωγή «ράβδο», που να ξεκινά από το πίσω μέρος του θηλυκού και να καταλήγει στο πίσω μέρος του αρσενικού, στην δεσμική κατάσταση. Δεν μας προσφέρει ουσιαστικά ιδιαίτερη πληροφορία ο τρόπος που συνδέονται οι επαφές αρσενικού και θηλυκού και το ακριβές σχήμα τους.

Βάσει λοιπόν του παραπάνω συλλογισμού, αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε την κάθε επαφή ως ένα απλό ευθύγραμμο καλώδιο, χωρίς μόνωση (δηλ. από το Cable Studio), το οποίο θα ξεκινά από το πίσω μέρος του θηλυκού και θα τελειώνει στο πίσω μέρος του αρσενικού, στην θέση της κάθε μίας από τις 9 οπές.

Αρα πρώτο βήμα είναι η δημιουργία της επαφής, ως διατομής. Έτσι δημιουργήσαμε ένα απλό ευθύγραμμο καλώδιο (το απλούστερο του Cable Studio, δηλ. το Single Wire) το οποίο ονομάστηκε **Επαφή του Συνδέσμου (Connector Contact)**. Ως μόνωση για το καλώδιο αυτό επιλέξαμε τον αέρα. Και αυτό γιατί, όπως βλέπουμε κοιτώντας έναν πραγματικό σύνδεσμο (βλ. π.χ. τις Εικόνες 3.13, 3.14, 3.15), ή και την Εικόνα 3.61, μέσα στην οπή, που προορίζεται για κάθε επαφή, ο κενός χώρος μεταξύ επαφής και μονωτικού «γεμίσματος» του βύσματος ουσιαστικά γεμίζει από αέρα. Η διάμετρος του αγωγού, που προσομοιώνει την επαφή, θα δοθεί παραμετρικά και θα σχετίζεται με το τι Variant είναι το καλώδιο SpW, που χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο (όπως έχουμε αναφέρει στην αρχή της ενότητας 3.9). Επίσης παραμετρικά θα δοθεί και η διάμετρος της επαφής μαζί με τον αέρα που την περιβάλλει, διάμετρος, η οποία φυσικά ταυτίζεται με την διάμετρο της οπής του συνδέσμου.

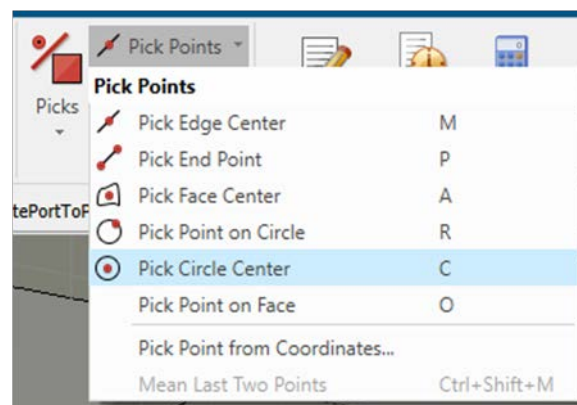
Παρακάτω δίνουμε τα χαρακτηριστικά του καλωδίου – επαφής. Για την παραμετροποίηση στην διάμετρο αγωγού και αγωγού με μόνωση αέρα και για τις τιμές των παραμέτρων αυτών θα κάνουμε μνεία παρακάτω, στην ενότητα 3.11, όπου θα δώσουμε συγκεντρωτικά όλες τις παραμέτρους, που αφορούν τα μοντέλα των συνδέσμων.



Εικόνα 3.62: Τα χαρακτηριστικά της διατομής του καλωδίου Connector Contact (Var. 01) [56].

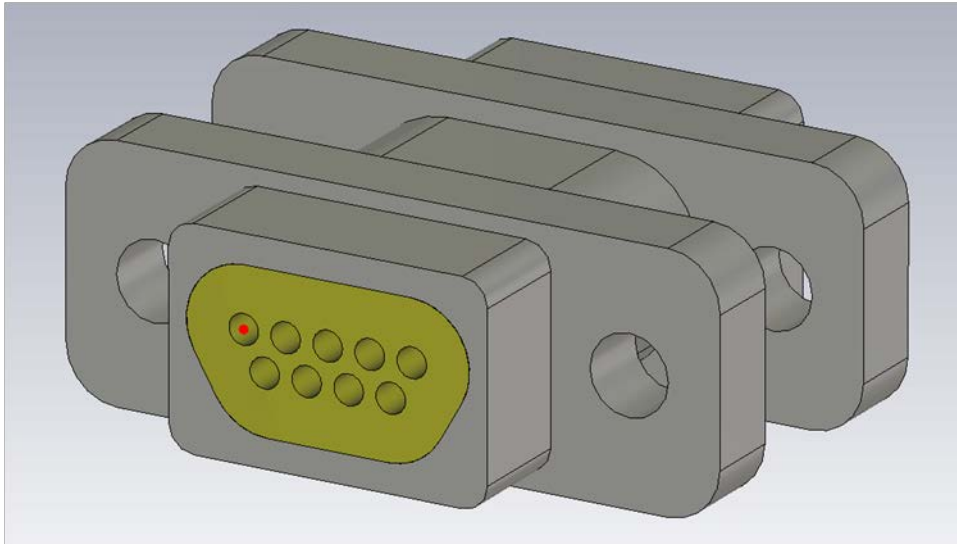
Όπως βλέπουμε από την παραπάνω εικόνα, ως υλικό για τον αγωγό που προσομοιώνει την επαφή επιλέξαμε τον χαλκό. Αυτό θα το εξηγήσουμε λίγο περισσότερο στην επόμενη υποενότητα, την 3.9.2.

Έχοντας ετοιμάσει το καλώδιο ως διατομή στο Cable Studio, αυτό που απομένει είναι να το ορίσουμε και στον 3D χώρο, στην θέση κάθε οπής. Η διαδικασία για να γίνει κάτι τέτοιο είναι, συνοπτικά η εξής. Αρχικά επιλέγουμε το κέντρο μιας οπής επαφής, αυτό στο πίσω μέρος του θηλυκού ή αυτό στο πίσω μέρος του αρσενικού. Αυτό γίνεται με την δυνατότητα επιλογής κέντρου κύκλου, που δίνεται στο εργαλείο Pick Points της καρτέλας Picks του 3D Modeling.



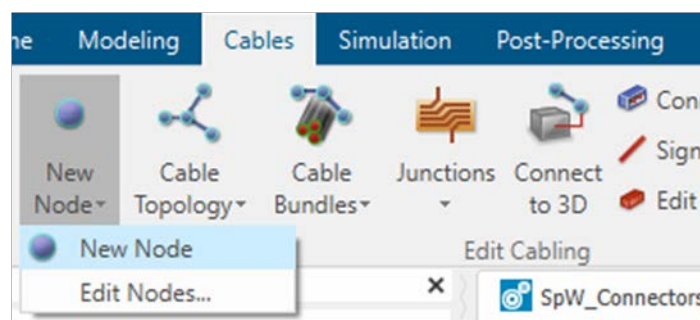
Εικόνα 3.63: Το εργαλείο της επιλογής σημείων σε αντικείμενα στο CST [56].

Το επιλεγμένο σημείο επισημαίνεται στο αντικείμενό μας με κόκκινη κουκκίτσα, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



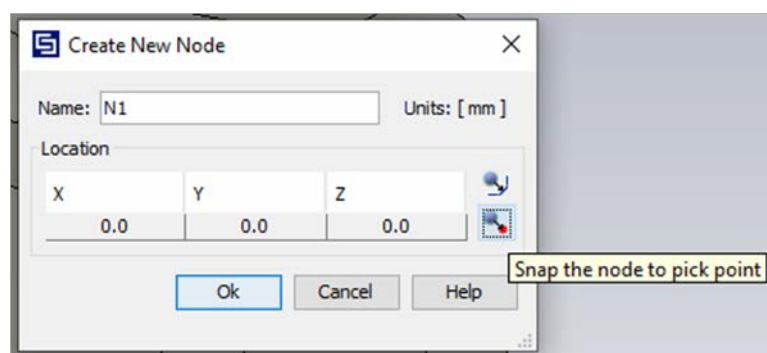
Εικόνα 3.64: Η επιλογή του κέντρου μιας οπής επαφής προς δημιουργία τεραματικού κόμβου για το καλώδιο, που θα προσομοιώνει την επαφή [56].

Μετά την επιλογή του σημείου αυτού, πρέπει να εκχωρήσουμε σε αυτό έναν κόμβο έναρξης καλωδίου. Για τον λόγο αυτόν επιλέγουμε την εντολή New Node από την καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio:



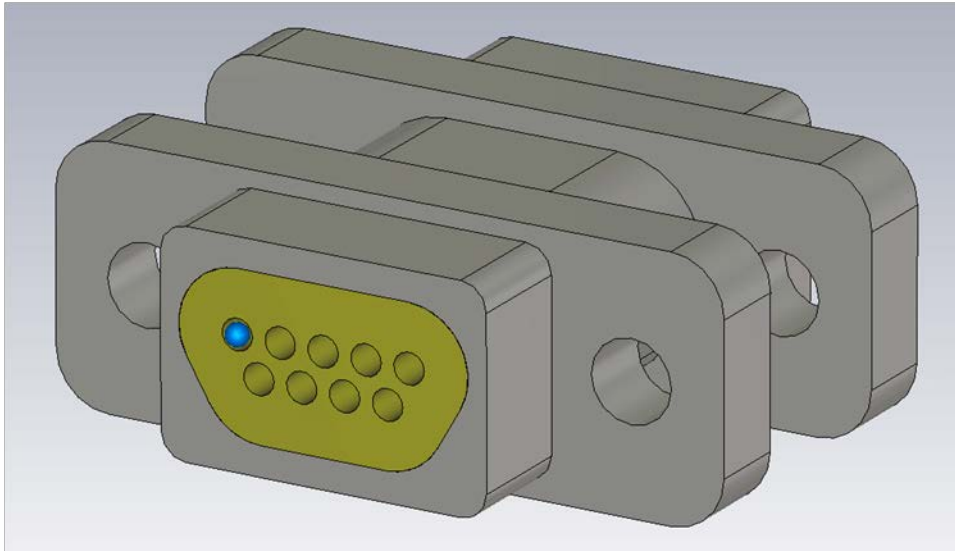
Εικόνα 3.65: Το εργαλείο της δημιουργίας νέων κόμβων για καλώδια στο Cable Studio [56].

Στο παράθυρο που προκύπτει, επιλέγουμε, από τα δύο κουμπιά δεξιά, εκείνο που δίνει την δυνατότητα ο νέος κόμβος να ταυτιστεί με το σημείο, το οποίο είναι στην τρέχουσα επιλογή (το σημείο δηλ. που φαινόταν με κόκκινη κουκίδα στην Εικόνα 3.64):



Εικόνα 3.66: Η ταύτιση νέου κόμβου με επιλεγμένο σημείο [56].

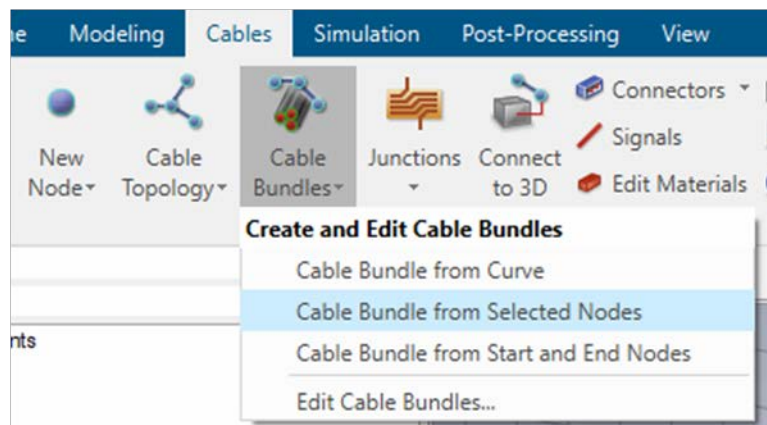
Ο νέος κόμβος, όπως όλοι οι ελεύθεροι κόμβοι, επισημαίνονται με μπλε σφαιρίδιο, όπως βλέπουμε στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.67: Ο τερματικός κόμβος του καλωδίου, που θα προσομοιώνει την επαφή [56].

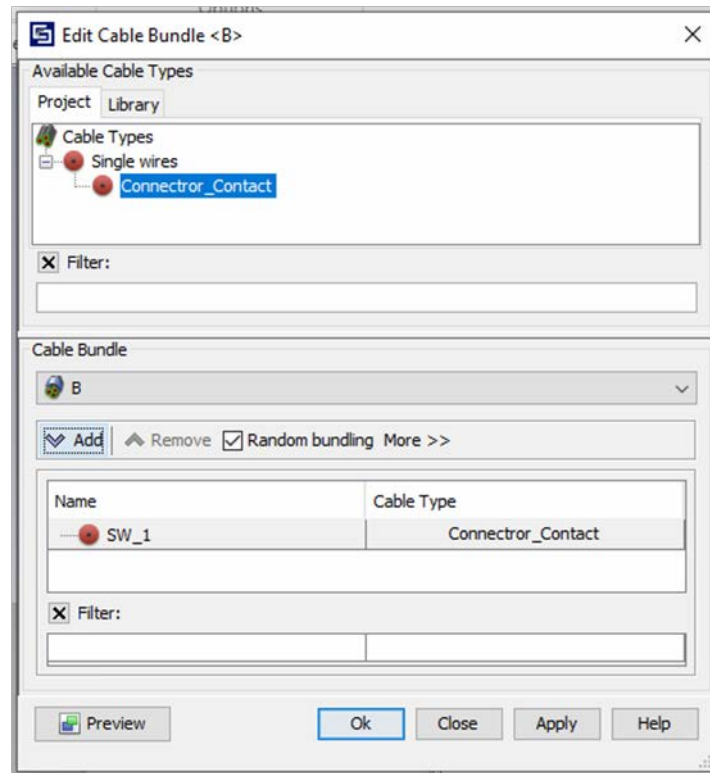
Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία αυτούσια, για να δημιουργήσουμε και τον απέναντι κόμβο της επαφής αυτής.

Στην συνέχεια πρέπει μεταξύ των κόμβων αυτών να ορίσουμε το καλώδιο, που θα προσομοιώνει την επαφή. Έχοντας λοιπόν το καλώδιο έτοιμο, σαν διατομή δημιουργημένη στο Cable Studio, ο τρόπος για να το «τοποθετήσουμε» μεταξύ των δύο παραπάνω κόμβων είναι με την χρήση του εργαλείου Cable Bundles, αυτού δηλ. που εισάγει στον τρισδιάστατο χώρο «πραγματικά» καλώδια ή δεσμίδες καλωδίων από διατομές που έχουν δημιουργηθεί σαν Cable Types. Συγκεκριμένα από την καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio και από το εργαλείο Cable Bundles επιλέγουμε την δυνατότητα Cable Bundle from Selected Nodes.



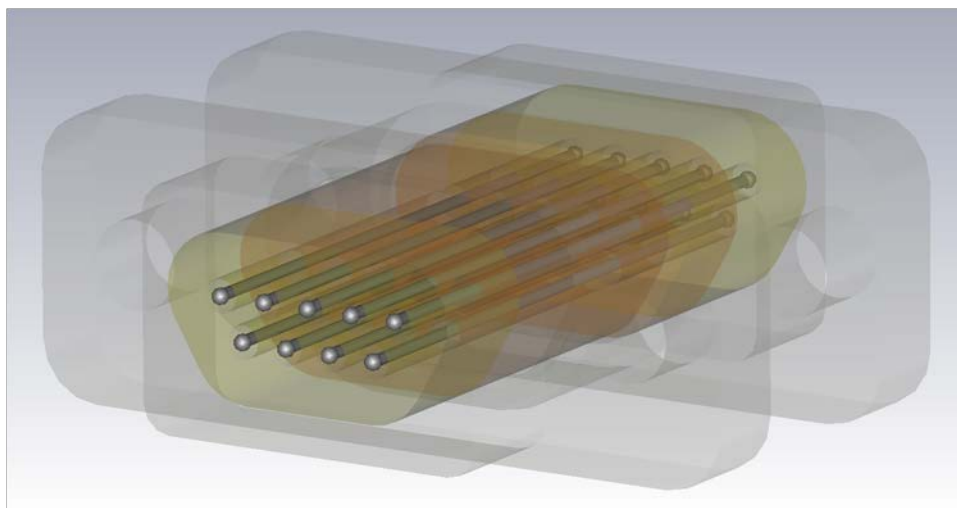
Εικόνα 3.68: Το εργαλείο της δημιουργίας καλωδίων στον 3D χώρο, από υπάρχουσες διατομές [56].

Στην συνέχεια, από τον 3D χώρο επιλέγουμε τους δύο κόμβους που μας ενδιαφέρουν, με διπλό κλικ επάνω τους, και στην πατούμε Enter. Στο παράθυρο που ανοίγει, από το πάνω μέρος επιλέγουμε τον τύπο καλωδίου που επιθυμούμε, δηλ. το Connector_Contact και στην συνέχεια πατούμε το Add από το μέσον του παραθύρου.



Εικόνα 3.69: Η ανάθεση συγκεκριμένης διατομής σε ένα νεοδημιουργηθέν καλώδιο στον 3D χώρο [56].

Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία δημιουργούμε και τις 9 επαφές των συνδέσμων μας σε δεσμική κατάσταση. Παρακάτω βλέπουμε τις επαφές αυτές (με το στερεό των συνδέσμων να φαίνεται ημιδιαφανές καθώς δεν είναι επιλεγμένο).



Εικόνα 3.70: Τα 9 καλώδια που προσομοιώνουν τις επαφές στον συναρμολόγημα των συνδέσμων σε δεσμική κατάσταση [56].

Σχόλιο σχετικά με την γνώση της ακριβούς θέσεως των κόμβων των επαφών στον 3D χώρο:

Σχετικά με την ακριβή θέση (δηλ. τις συντεταγμένες) κάθε κόμβου που αποτελεί τερματικό σημείο μιας επαφής, πρέπει να σημειώσουμε το εξής. Ο ορισμός των κόμβων των επαφών, όπως έγινε

παραπάνω, χρησιμοποιεί το αυτοματοποιημένο εργαλείο του 3D Modeling που επιλέγει το κέντρο ενός κύκλου (βλ. Εικόνα 3.63), χωρίς να μας πληροφορεί για τις συντεταγμένες του σημείου αυτού. Ως εκ τούτου πλέον δεν είχαμε την δυνατότητα παραμετρικού ελέγχου των θέσεων των επαφών. Παρ' ότι λοιπόν αυτή ήταν η πρώτη μας προσέγγιση, εν τούτοις, όταν προχωρήσαμε στην υλοποίηση δύο τέτοιων συσσωματωμάτων για τον τερματισμό του καλωδίου (κάτι στο οποίο θα αναφερθούμε λίγο παρακάτω, στην ενότητα 3.10), επιλέξαμε να ακολουθήσουμε μια ελαφρώς διαφορετική προσέγγιση στον ορισμό των κόμβων, έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε παραμετροποιημένες τις συντεταγμένες τους. Την προσέγγιση αυτή θα αναπτύξουμε στην παράγραφο 3.11.4.2, στην συνέχεια.

3.9.2 Υλικό των Επαφών

Το υλικό από το οποίο πρέπει να είναι κατασκευασμένες οι επαφές των συνδέσμων, θηλυκών και αρσενικών, περιγράφεται λεπτομερώς στο πρότυπο ESCC 3401/029 [6], στην §4.4.3. Εκεί διαβάζουμε ότι:

Οι **επαφές των θηλυκών συνδέσμων** έχουν δύο δυνατότητες ως προς το υλικό κατασκευής τους.

- a) Η πρώτη είναι να είναι κατασκευασμένες από κράμα χαλκού (copper alloy) με δύο διαδοχικές επιμεταλλώσεις, πρώτη επιμετάλλωση, ελαχίστου πάχους $1\mu\text{m}$, πάλι από χαλκό αλλά αυτή τη φορά σύμφωνα με το πρότυπο SAE-AMS 2418 και δεύτερη επιμετάλλωση, ελαχίστου πάχους $1.27\mu\text{m}$, από χρυσό που συμμορφώνεται προς τον χρυσό Type 2, Grade C του προτύπου MIL-DTL-45204.
- b) Η δεύτερη δυνατότητα κατασκευής είναι κατά τον τύπο N2 της ESCC Basic Specification 23500 [5]. Συμβουλευόμενοι την §3.2 αυτής της προδιαγραφής [5], βλέπουμε ότι ο τύπος υλικού N είναι φωσφορούχος μπρούτζος (phosphor bronze), δηλ. κράμα χαλκού με κασσίτερο (όπερ ονομάζεται μπρούτζος) με προσθήκη φωσφόρου σε κατάλληλο ποσοστό. Η αρίθμηση 2 στον τύπο N2, εξηγείται στην §3.3 της [5], όπου βλέπουμε ότι υποδηλώνει επιμετάλλωση με χρυσό, ο οποίος εναποτίθεται με διαδικασία ηλεκτρικής επιμετάλλωσης. Ο χρυσός αυτός πρέπει να είναι πρακτικά καθαρός (δηλ. το υλικό της επιμετάλλωσης πρέπει να είναι χρυσός κατά το 99.7% τουλάχιστον όπως επισημαίνει το πρότυπο) και το πάχος της επιστρώσεώς του να είναι από $1.3\mu\text{m}$ κατ' ελάχιστον έως και $5.7\mu\text{m}$ κατ' ελάχιστον. Όμως το πρότυπο ESCC 3401/029 [6] επισημαίνει ακόμη ότι θα πρέπει, πριν την επικάλυψη χρυσού, να προηγηθεί εσωτερική επιμετάλλωση (underplating) συμφώνως προς την σημείωση 3(b) της §3.3 της [5]. Αυτή είναι εσωτερική επίστρωση νικελίου πάχους από $1.3\mu\text{m}$ κατ' ελάχιστον έως και $3.8\mu\text{m}$ κατ' ελάχιστον.

Αυτό το κράμα της δεύτερης δυνατότητας b), με τις σχετικές επιμεταλλώσεις, επιλέγει και η εταιρεία MILNEC (βλ. την σελ. 10 του [42]). Και οι εταιρείες Axon' [38] και Glenair [40] συμφωνούν, απλώς δεν αναφέρουν ρητά ότι το κράμα χαλκού είναι φωσφορούχος μπρούτζος.

Οι **επαφές των αρσενικών συνδέσμων** έχουν και αυτές δύο δυνατότητες ως προς το υλικό κατασκευής τους.

- a) Η πρώτη ταυτίζεται ακριβώς με την πρώτη δυνατότητα κατασκευής των θηλυκών επαφών (η a) που αναφέραμε παραπάνω).
- b) Η δεύτερη δυνατότητα κατασκευής είναι κατά τον τύπο M2 της [5]. Και πάλι στην §3.2 αυτής της προδιαγραφής βλέπουμε ότι, ο τύπος υλικού M είναι χαλκοβηρύλλιο (beryllium copper) δηλ. κράμα χαλκού – βηρυλλίου σε κατάλληλο ποσοστό. Η αρίθμηση 2 στον τύπο M2, αναφέρεται στην επιμετάλλωση χρυσού, όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Όπως για τις θηλυκές, έτσι και για τις αρσενικές επαφές, που θα κατασκευαστούν από το υλικό που αναφέρει η [5], το πρότυπο ESCC 3401/029 [6] επισημαίνει ακόμη ότι θα πρέπει, πριν την επικάλυψη χρυσού, να προηγηθεί η γνωστή εσωτερική επιμετάλλωση (underplating) νικελίου (συμφώνως προς την σημείωση 3(b) της §3.3 της [5]).

Και πάλι, όπως και στις θηλυκές επαφές, αυτό το κράμα δεύτερης δυνατότητας b), με τις σχετικές επιμεταλλώσεις, επιλέγουν και οι εταιρείες Axon', Glenair και MILNEC ([38], [40], [42]).

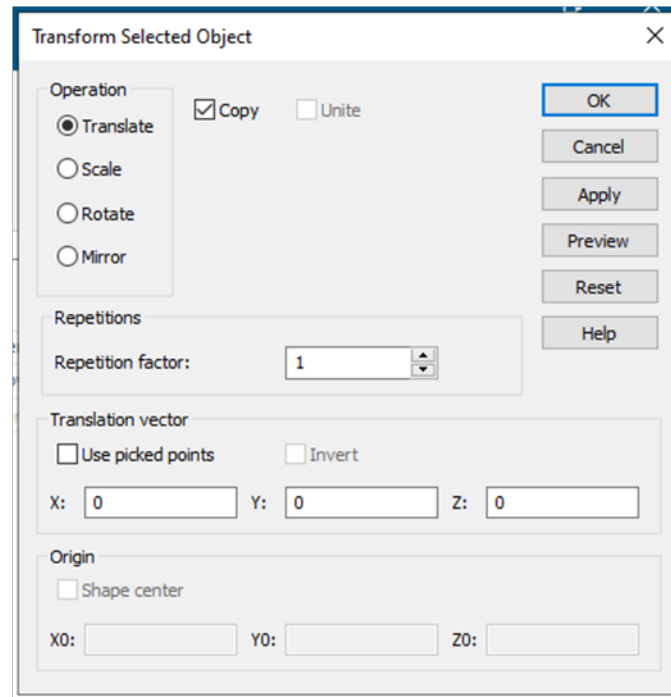
Ερχόμενοι τώρα στο ζήτημα της ανάθεσης ενός υλικού στις επαφές, όπως υλοποιήθηκαν στο CST, ενθυμούμαστε ότι, όπως έχουμε εξηγήσει και σε προγενέστερο σημείο (στην παράγραφο 2.6.1.1), δεν μπορούμε να ορίζουμε υλικά με επιστρώσεις όταν δουλεύουμε στο Cable Studio. Αφού λοιπόν επιλέξαμε μια τέτοια κατασκευαστική υλοποίηση για τις επαφές μας, αναγκαστικά θα καταλήξουμε και σε μια πιο απλή υλοποίηση και ως προς το υλικό, που θα τους αναθέσουμε. Προτιμήσαμε λοιπόν να αναθέσουμε σαν υλικό για αυτές απλώς τον χαλκό, δεδομένου ότι αυτός είναι και η βάση όλων των παραπάνω υλικών, που αναφέρονται στα πρότυπα. Συνεπώς αυτός είναι ο λόγος που στην διατομή του καλωδίου **Connector Contact** (που μοντελοποιεί την επαφή), ως υλικό του αγωγού επιλέξαμε τον χαλκό (όπως είδαμε στην Εικόνα 3.62).

Αυτή η απλουστευμένη (ως προς το υλικό) υλοποίησή μας δεν είναι παράλογη, αν αναλογιστεί κανείς το μικρό μήκος, που έχει το συσσωμάτωμα των δύο συνδέσμων, σε σχέση με το μήκος του καλωδίου SpW , το οποίο ενώνει τα δύο συσσωματώματα. Συγκεκριμένα, τα μήκη καλωδίων είναι της τάξεως των m (τα δύο δείγματα που υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ.Τ. είναι $3m$ και $10m$), ενώ το συνολικό μήκος του συσσωματώματος των βυσμάτων σε δεσμική κατάσταση είναι, όπως μετρήθηκε στο CST, 16.69 mm . Καταλαβαίνουμε ότι η απλοποιημένη αυτή προσέγγιση στην υλοποίηση των επαφών είναι σαφώς προτιμητέα και απολύτως δικαιολογημένη, αν αναλογιστούμε την υπερβολική αύξηση της πολυπλοκότητας, που θα είχαμε αν υλοποιούσαμε τις επαφές όπως πραγματικά είναι, με αντίστοιχα αναλυτικά 3D μοντέλα και μεγαλύτερη ακρίβεια στα υλικά (με τόσο μικρά πάχη επιμεταλλώσεων).

3.10 Τελικά Μοντέλα των Συνδέσμων – Συσσωματώματα Transmitter και Receiver

Το κάθε άκρο του καλωδίου, όπως έχουμε αναφέρει, τερματίζει σε έναν αρσενικό κονέκτορα. Αυτός στην συνέχεια θα συνδεθεί με έναν θηλυκό, ο οποίος θα βρίσκεται σε μια συσκευή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας SpW (για το Εργαστήριο Υ. Τ., η συσκευή αυτή είναι η στην κονσόλα του iSAFT Simulator). Συνεπώς κάθε άκρο του καλωδίου τελικά τερματίζει σε ένα συσσωμάτωμα αρσενικού και θηλυκού κονέκτορα σε δεσμική κατάσταση.

Αρα προκειμένου να προχωρήσουμε στην υλοποίηση ενός αρτίου συναρμολογήματος καλωδίου, με σωστό τερματισμό, πρώτη μας ενέργεια είναι να αντιγράψουμε το συσσωμάτωμα αυτό και ακολούθως να το επικολλήσουμε δίπλα στο πρώτο, σε κατάλληλη απόσταση (ώστε να έχουμε δύο σημεία τερματισμού, για τα δύο άκρα του καλωδίου SpW). Για να αντιγραφεί όλο το συσσωμάτωμα, η εντολή Copy εφαρμόστηκε στο Group Male_and_Female_Connectors_at_Mounting_Condition. Αυτό γίνεται με δεξί κλικ στο Group από το Navigation Tree, επιλογή της δυνατότητας Transform και έπειτα, στο παράθυρο που ανοίγει, επιλογή του κουτιού Copy (βλ. την Εικόνα 3.71, που ακολουθεί).



Εικόνα 3.71: Η αντιγραφή του συσσωματώματος των συνδέσμων [56].

Με την παραπάνω κατάσταση του παραθύρου της αντιγραφής (χωρίς δηλ. και κάποιο επιπλέον μη μηδενικό διάνυσμα μετατόπισης), η επικόλληση γίνεται ακριβώς επάνω στο προηγούμενο αντικείμενο. Επομένως προκύπτουν τα σχετικά παράθυρα, που ρωτούν αν επιθυμούμε κάποια Boolean πράξη μεταξύ των στερεών. Σε όλα αυτά επιλέγουμε το None (δηλ. καμία τέτοια πράξη). Σαν αποτέλεσμα δημιουργείται από ένα αντίγραφο για το κάθε στερεό 3D αντικείμενο (αγωγίμο και μονωτικό). Όλα όμως τα νέα στερεά αυτομάτως ενσωματώνονται στην ίδια ενότητα Components και στο ίδιο Group με το αρχικό. Άρα επόμενο βήμα είναι η δημιουργία μιας νέας ενότητας στον φάκελο Component και ενός νέου Group και η μετακίνηση των νέων στερεών σε αυτά. Με κατάλληλες λοιπόν μετονομασίες στα Components, στα Groups και στα αντικείμενα, που αυτά θα περιλαμβάνουν, καταλήγουμε σε:

δύο ενότητες Συνιστωσών (Components), τις:

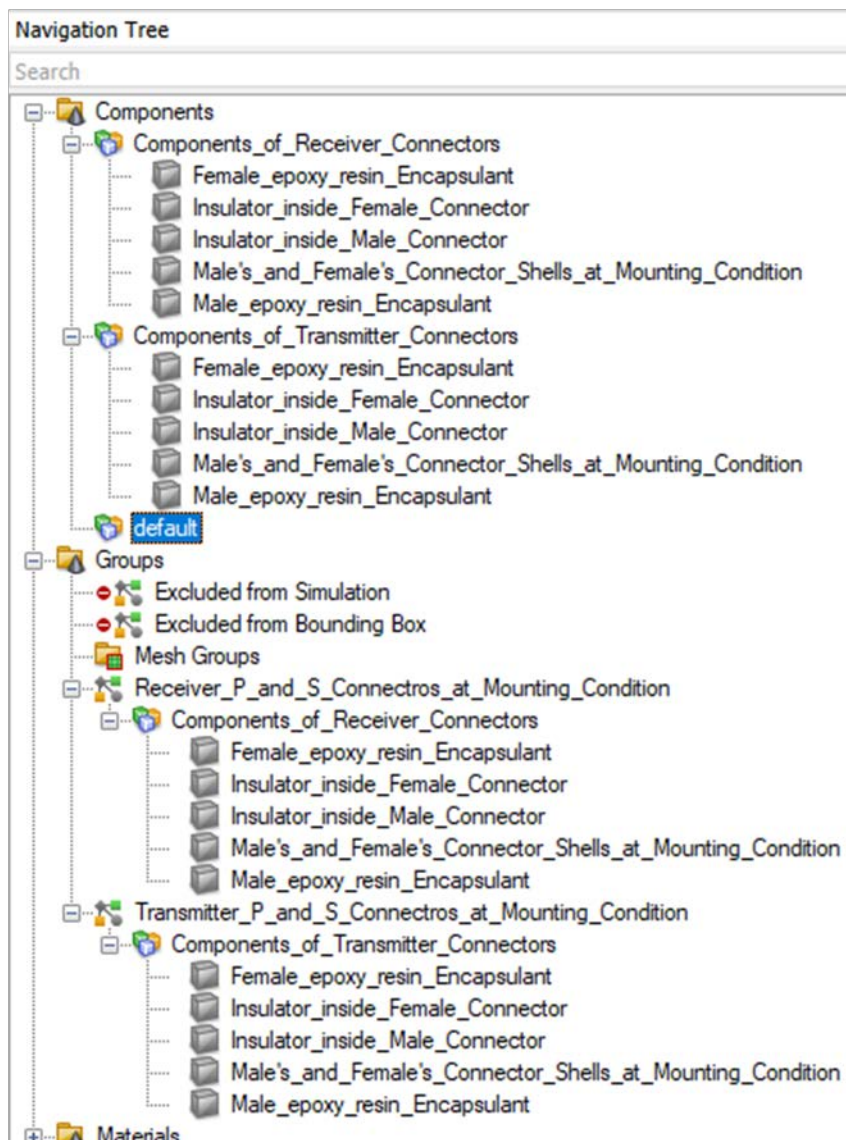
- Components_of_Transmitter_Connectors και
- Components_of_Receiver_Connectors

δηλ. συνιστώσες των συνδέσμων του πομπού (Transmitter) και του δέκτη (Receiver) αντίστοιχα, και δύο Ομάδες (Groups), τις:

- Transmitter_P_and_S_Connectros_at_Mounting_Condition και
- Receiver_P_and_S_Connectros_at_Mounting_Condition

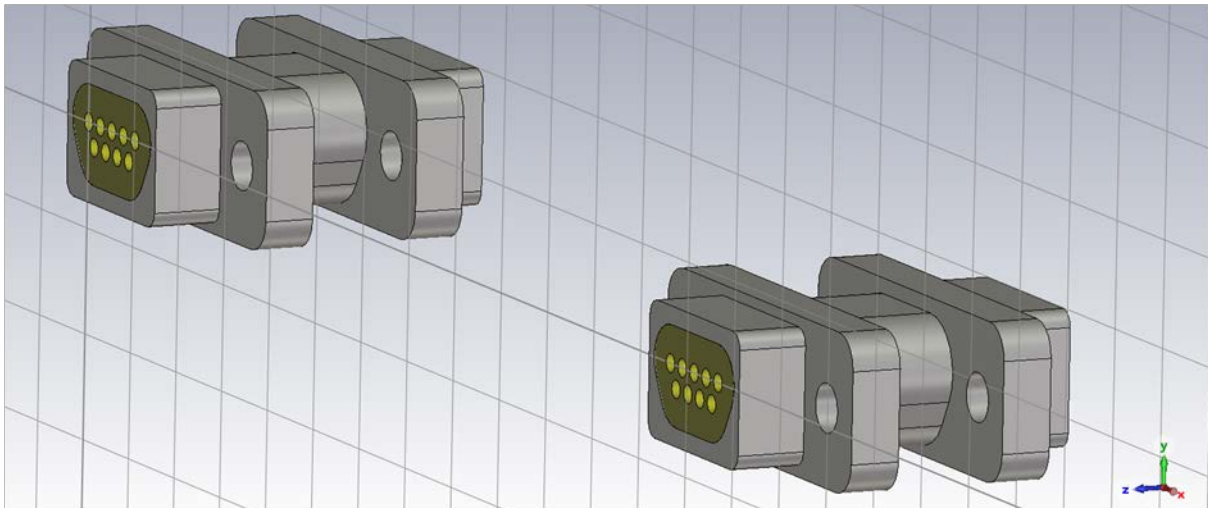
δηλ. συσσωμάτωμα αρσενικού (P) και θηλυκού (S) συνδέσμου του πομπού (Transmitter) και του δέκτη (Receiver) αντίστοιχα.

Τα αντικείμενά τους φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.72: Τα 3D αντικείμενα – συνιστώσες των συσσωματωμάτων των συνδέσμων Transmitter και Receiver και η ομαδοποίησή τους σε Groups [56].

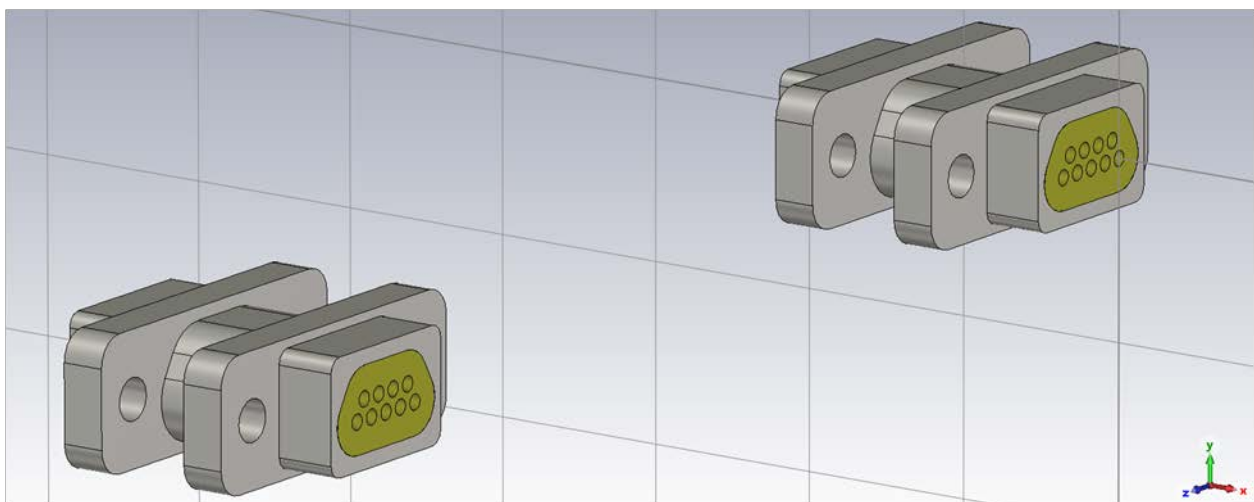
Επόμενη ενέργεια είναι να γίνει μετατόπιση του ενός απ' τα δύο αυτά Groups, ώστε να αποκτήσουν την κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση. Αυτό θα γίνει με μια απόσταση δοσμένη παραμετρικά (στην πρέπουσα τιμή). Απλώς εδώ θα παραθέσουμε κατ' ευθείαν το αποτέλεσμα της μετατόπισης (για λόγους εποπτικούς) και στην παράμετρο θα αναφερθούμε στην ενότητα 3.11, όπου θα μιλήσουμε αναλυτικά για την παραμετροποίηση του μοντέλου των συνδέσμων. Ως γνωστόν η μετατόπιση γίνεται από την εντολή Transform επί του ενός Group. Το αποτέλεσμά της φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.73: Η αρχική διάταξη στον 3D χώρο των συσσωματωμάτων των συνδέσμων του Transmitter και του Receiver [56].

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, η τρέχουσα τοποθέτηση των δύο συσσωματωμάτων συνδέσμων είναι τέτοια, που η πίσω όψη του θηλυκού είναι επί του $x - y$ επιπέδου. Επίσης επάνω είναι οι 5-άδα των επαφών και κάτω η 4-άδα, από τις 9 επαφές του βύσματος.

Όπως όμως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4, που θα ακολουθήσει, ο τρόπος και ο προσανατολισμός με τον οποίο έχει στηθεί το πείραμα με το καλώδιο SpW έχει ως εξής: η κονσόλα του iSAFT Simulator, στη οποία τερματίζει το καλώδιο, είναι τοποθετημένη έτσι που η πλευρά της με τις θύρες σύνδεσης του καλωδίου είναι παράλληλη του $y - z$ επιπέδου. Επίσης οι θύρες είναι βιδωμένες στην κονσόλα έτσι που οι 4 από τις 9 επαφές είναι πάνω και οι 5 είναι κάτω. Άρα θα πρέπει να στρέψουμε τα δύο συσσωματώματα, που βλέπουμε στην Εικόνα 3.73, κατά 90° γύρω από τον y άξονα και στην συνέχεια κατά 180° γύρω από τον x άξονα. Οι ενέργειες αυτές γίνονται με διαδοχικές εφαρμογές της εντολής Transform και της δυνατότητας Rotate στα αντίστοιχα Groups. Φυσικά πρέπει στο τέλος να φροντίσουμε να έχουν τα συσσωματώματα την σωστή μεταξύ τους απόσταση (που θα εξηγήσουμε πώς παραμετροποιήθηκε παρακάτω). Μετά την εφαρμογή των παραπάνω μετατοπίσεων, λαμβάνουμε την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.74: Η τελική διάταξη στον 3D χώρο των συσσωματωμάτων των συνδέσμων του Transmitter και του Receiver [56].

Με αυτή την τοποθέτηση των βυσμάτων, πλέον θεωρείται ότι η κονσόλα του Simulator εκτείνεται προς τα θετικά του x άξονα.

Σχόλιο σχετικά με την ονομασία των Συσσωματωμάτων:

Συμβατικά έχουμε επιλέξει να ονομάσουμε το πίσω συσσωμάτωμα Transmitter (αυτό δηλ., που είναι στο βάθος της Εικόνας 3.74, προς τις μικρότερες τιμές του z άξονα) και το μπροστά Receiver (αυτό δηλ., που είναι στο μπροστά μέρος της Εικόνας 3.74, προς τις μεγαλύτερες τιμές του z άξονα). Επειδή η κάθε ζεύξη SpW είναι πλήρως αμφίδρομη, κάθε άκρο του καλωδίου έχει ρόλο τόσο αποδέκτη όσο και αποστολέα δεδομένων. Οπότε η ονομασία αυτή δίνεται απλά για λόγους διακρίσεως.

3.11 Παραμετροποίηση του Μοντέλου των Συνδέσμων

Όπως έχουμε αναφέρει στην ενότητα 2.5, αποτελεί συνεχή επιδίωξή μας να παραμετροποιούμε, όσο περισσότερο γίνεται, τα μοντέλα που δημιουργούμε στο CST. Εν προκειμένω όμως, δεν μπορούσε να υπάρξει παραμετροποίηση στον ορισμό των 3D αντικειμένων που συγκρότησαν τα συσσωματώματα των βυσμάτων. Και μάλιστα ούτε και χρειαζόταν, δεδομένου ότι τα αντικείμενα αυτά δεν επρόκειτο ποτέ να τροποποιηθούν στο σχήμα τους. Εκεί που η παραμετροποίηση ήταν δυνατόν να εισαχθεί και μάλιστα και αναγκαίο, θα λέγαμε, ήταν στον ορισμό της θέσεως των βυσμάτων στον χώρο και στον ορισμό των θέσεων των κόμβων των επαφών.

3.11.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης

Όσον αφορά στα συσσωματώματα των συνδέσμων, αυτό που χρειάζεται να αλλάξει είναι η θέση στον χώρο τόσο των 3D μοντέλων τους όσο και των καλωδίων, που προσομοιώνουν τις επαφές. Ο λόγος που αυτή η μετακίνηση είναι ανάγκη να γίνεται παραμετρικά είναι ο εξής. Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5, όταν θα γίνει ο συνδυασμός του project, που περιέχει τους συνδέσμους με αυτό που θα περιέχει την διάταξη όδευσης του καλωδίου (η δημιουργία της οποίας θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 4), θα πρέπει τα συσσωματώματα των συνδέσμων Transmitter και Receiver να μετατοπιστούν στην κατάλληλη θέση. Μαζί με αυτά φυσικά θα πρέπει να μετατοπιστούν και τα καλώδια που προσομοιώνουν τις επαφές, διατηρώντας πάντοτε τις σωστές τους θέσεις, μέσα στα 3D μοντέλα των συνδέσμων. Μάλιστα επειδή, όπως θα δούμε αναλυτικότερα στις υποενότητες 4.1.3.1 και 4.2.3.1, η διάταξη οδεύσεως του καλωδίου συχνά μπορεί να τροποποιείται (για την εκτέλεση του ίδιου πειράματος σε τροποποιημένη τοποθέτηση του καλωδίου), συχνά θα χρειάζεται και εκ νέου μετακίνηση των συνδέσμων και των επαφών τους (εκτός της αρχικής αυτής μετακίνησης). Καθίσταται λοιπόν σαφές πόσο χρήσιμη είναι η παραμετροποίηση αυτών των ενεργειών.

3.11.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτουμε την Λίστα των Παραμέτρων, που ορίστηκαν για το τελικό Μοντέλο των Συνδέσμων, όπως δημιουργήθηκε στα σχετικά αρχεία του CST, **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors.cst** και **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**.

Λόγω του μακροσκελούς ονόματος ορισμένων παραμέτρων, αυτή και η επόμενη υποενότητα αναπτύσσονται σε οριζόντιο προσανατολισμό σελίδος.

Πίνακας 3.6: Λίστα Παραμέτρων του τελικού Μοντέλου των Συνδέσμων SpW (απο το Project **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors.cst**¹³⁷).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ¹³⁸
1	<i>x_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S</i>	0 mm
	Η τετμημένη του κόμβου αναφοράς ¹³⁹ .	
2	<i>y_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S</i>	0 mm
	Η τεταγμένη του κόμβου αναφοράς ¹⁴⁰ .	
3	<i>z_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S</i>	0 mm
	Η κατηγμένη του κόμβου αναφοράς ¹⁴¹ .	
4	<i>Distance_between_adjacent_SpW_Ports</i>	21.075 mm
	Η απόσταση (σε mm) δύο διαδοχικών θυρών SpW στην κονσόλα του iSAFT.	
5	<i>Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver</i>	0.378 mm
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον z άξονα, των συσσωματωμάτων συνδέσμων πομπού και δέκτη.	
6	<i>Distance_between_Contact_Centres</i>	1.27 mm
	Η απόσταση (σε mm) μεταξύ των κέντρων δύο διαδοχικών επαφών.	

¹³⁷ Φυσικά είναι και άλλα τα Projects που χρησιμοποιούν αυτές τις παραμέτρους, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 3.4. Απλώς εδώ στον τίτλο του Πίνακα των παραμέτρων, επιλέγουμε να βάλουμε το πρώτο αρχείο στο οποίο ορίστηκαν οι παράμετροι αυτές. Το ποιά άλλα αρχεία τις χρησιμοποιούν θα φανεί από τους σχετικούς Πίνακες (σαν τον Πίνακα 3.4), που θα παραθέτουμε στα κατάλληλα σημεία της εργασίας.

¹³⁸ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.

¹³⁹ Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm.

¹⁴⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 139.

¹⁴¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 139.

7	<i>Distance_between_Contact_Rows</i>	1.1 mm	
	Η κατακόρυφη απόσταση (σε mm) μεταξύ των δύο σειρών επαφών.		
8	<i>Contact_Length</i>	1.2 mm	
	Το μήκος (σε mm) της κάθε επαφής.		
9	<i>Variant_of_SpW_Cable</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Η παραλλαγή του καλωδίου SpW, που θα συνδεθεί στα εν λόγω συσσωματώματα συνδέσμων.	01	02
10	<i>AWG_Size_of_the_Contacts</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Η διάμετρος των αγωγών των επαφών (κατά το σύστημα AWG).	28	26
11	<i>Contact_Diameter</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Η διάμετρος (σε mm) των αγωγών των επαφών.	0.321093854250543 mm	0.404891874505651 mm
12	<i>Contact_Cavity_Diameter</i>	0.90 mm	
	Η διάμετρος (σε mm) των οπών των επαφών.		
13	<i>Dx_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node</i>	16.69 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, από το κέντρο της πίσω επιφάνειας του αρσενικού βύσματος (του Transmitter), μέχρι την θέση του κόμβου αναφοράς ¹⁴² .		
14	<i>Dy_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node</i>	0.652072 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον y άξονα, από το κέντρο της πίσω επιφάνειας του αρσενικού βύσματος (του Transmitter), μέχρι την θέση του κόμβου αναφοράς ¹⁴³ .		
15	<i>Dz_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node</i>	2.54 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον z άξονα, από το κέντρο της πίσω επιφάνειας του αρσενικού βύσματος (του Transmitter), μέχρι την θέση του κόμβου αναφοράς ¹⁴⁴ .		

¹⁴² Η παράμετρος αυτή και ο λόγος ύπαρξής της θα γίνουν περισσότερο κατανοητά στην παράγραφο 3.11.4.2.

¹⁴³ Βλ. ανωτ. υποσ. 142.

¹⁴⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 142.

3.11.3 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων

Όπως κάνουμε μετά από κάθε παράθεση πίνακα παραμέτρων, έτσι και εδώ, θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε κάθε μία από τις παραμέτρους, που συγκεντρωτικά παραθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, εξηγώντας αρχικά σε τί αντιστοιχεί η κάθε παράμετρος και ποιός είναι ο ρόλος της και ακολούθως παραθέτοντας τον τύπο υπολογισμού και την τιμή της.

- 1) ***x_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S:***
- 2) ***y_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S:***
- 3) ***z_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S:***

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για να έχουμε παραμετρικά την τοποθέτηση των συνδέσμων αλλά και των επαφών τους, πρέπει να ορίσουμε ένα **σημείο, το οποίο θα λάβουμε ως αναφορά** και ως προς το οποίο θα ορίζουμε τις συντεταγμένες των κόμβων των επαφών και τις διάφορες μετατοπίσεις. Το σημείο αυτό επιλέξαμε να είναι το κέντρο της οπής της επαφής, η οποία αντιστοιχεί στο σήμα *Din +* του Transmitter στην πίσω επιφάνεια του θηλυκού (S) συνδέσμου. Στο σημείο αυτό θα ορίσουμε στην συνέχεια τον κόμβο **Transmitter_Din+(S)**. Ορίσαμε λοιπόν ως παραμέτρους τις συντεταγμένες αυτές και ακολούθως τους δώσαμε τιμή 0, αφού το σημείο αυτό θα είναι το (0,0,0).

$$x_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S = 0 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$y_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S = 0 \text{ mm} \quad (3.2)$$

$$z_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S = 0 \text{ mm} \quad (3.3)$$

- 4) ***Distance_between_adjacent_SpW_Ports:***

Η κονσόλα του iSAFT του Εργαστηρίου Υ. Τ. έχει 4 θύρες για συνδέσμους SpW. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών τέτοιων θυρών μετρήθηκε (με την βοήθεια παχυμέτρου) στην τιμή:

$$Distance_between_adjacent_SpW_Ports = 21.075 \text{ mm} \quad (3.4)$$

- 5) ***Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver:***

Για να συνδέσουμε το καλώδιο στην κονσόλα του εργαστηρίου, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τις πιο απομακρυσμένες θύρες, δηλ. την 1^η και την 4^η. Άρα μεταξύ των δύο συσσωματωμάτων μας μεσολαβεί απόσταση ίση με τρεις φορές την απόσταση δύο διαδοχικών θυρών, δηλ.:

$$Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver = 3 \cdot Distance_between_adjacent_SpW_Ports \stackrel{(3.4)}{\implies} \\ Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver = 63.225 \text{ mm} \quad (3.5)$$

6) Distance_between_Contact_Centres:

Η απόσταση των κέντρων των οπών δύο διαδοχικών επαφών του κονέκτορα μετρήθηκε, από το μοντέλο του CST, στην τιμή¹⁴⁵:

$$Distance_between_Contact_Centres = 1.27 \text{ mm} \quad (3.6)$$

7) Distance_between_Contact_Rows:

Η κατακόρυφη (δηλ. κατά τον y άξονα) απόσταση της μιας σειράς από την άλλη σειρά επαφών του κονέκτορα μετρήθηκε, από το μοντέλο του CST, στην τιμή¹⁴⁶:

$$Distance_between_Contact_Rows = 1.1 \text{ mm} \quad (3.7)$$

8) Contact_Length:

Το μήκος της κάθε επαφής ουσιαστικά είναι η απόσταση από το πίσω μέρος του αρσενικού μέχρι το πίσω μέρος του θηλυκού σε δεσμική κατάσταση. Πρόκειται δηλ. για το συνολικό μήκος των επαφών αρσενικού και θηλυκού, όταν ευρίσκονται σε δεσμική κατάσταση. Η απόσταση αυτή μετρήθηκε από το μοντέλο μας στην τιμή:

$$Contact_Length = 16.69 \text{ mm} \quad (3.8)$$

9) Variant_of_SpW_Cable:

Το ποιά παραλλαγή του καλωδίου θα συνδεθεί στους συνδέσμους αυτού του Project μας χρειάζεται για λόγο που θα εξηγηθεί αμέσως μετά. Οι δυνατές «τιμές» αυτής της παραμέτρου είναι δύο: 01 ή 02.

10) AWG_Size_of_the_Contacts:

Όπως γνωρίζουμε, η βασική διαφορά που έχουν οι δύο παραλλαγές του καλωδίου SpW είναι η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού του σήματος. Αυτή μπορεί να είναι 28 AWG στην Var. 01 ή 26 AWG στην Var. 02. Για τον λόγο αυτό και οι σύνδεσμοι έχουν επαφές είτε 28 AWG είτε 26 AWG [6]. Επομένως στην παράμετρο αυτή δώσαμε έναν ορισμό υπό συνθήκη. Συγκεκριμένα δηλώσαμε:

$$AWG_Size_of_the_Contacts = If(Variant_of_SpW_Cable = 01,28,26) \quad (3.9)$$

Αυτή είναι μια συνάρτηση που χρησιμοποιείται στο CST. Η συγκεκριμένη σύνταξη μεταφράζεται ως εξής: εάν η τιμή της *Variant_of_SpW_Cable* είναι 01, τότε επιστρέφει μου την τιμή 28 στην μεταβλητή *AWG_Size_of_the_Contacts*. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση (που φυσικά είναι μόνο μία, να είναι δηλ. *Variant_of_SpW_Cable* = 02), επιστρέφει μου την τιμή 26 στην μεταβλητή *AWG_Size_of_the_Contacts*.

¹⁴⁵ Η τιμή αυτή βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με τα λεγόμενα στην σελ. 71 του προτύπου ESCC 3401/029 [6].

¹⁴⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 145.

11) Contact Diameter:

Η διάμετρος που θα έχουν οι επαφές, όπως είπαμε, εξαρτάται από το τι παραλλαγή καλωδίου θα κουμπωθεί σε αυτές. Άρα αναλόγως τι τιμή θα έχει η παράμετρος *Variant_of_SpW_Cable* και συνεπώς και η *AWG_Size_of_the_Contacts*, θα καθοριστεί και η τιμή της διαμέτρου των επαφών. Για να υπολογίσουμε την διάμετρο d σε mm (όταν γνωρίζουμε τον AWG αριθμό της, έστω n) θα καταφύγουμε σε γνωστό τύπο της βιβλιογραφίας [53]:

$$d = 0.127 \cdot 92^{\left(\frac{36-n}{39}\right)} \quad (3.10)$$

Άρα στο CST γράψαμε:

$$Contact_Diameter = 0.127 \cdot (92^{((36 - AWG_Size_of_the_Contacts)/39)}) \quad (3.11)$$

Για μεν την Var. 01 η τιμή προκύπτει:

$$Contact_Diameter = 0.321093854250543 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Για δε την Var. 02 η τιμή προκύπτει:

$$Contact_Diameter = 0.404891874505651 \text{ mm} \quad (3.13)$$

12) Contact Cavity Diameter:

Η διάμετρος που έχουν οι οπές των συνδέσμων για τις επαφές μετρήθηκαν από το μοντέλο μας και είναι:

$$Contact_Cavity_Diameter = 0.90 \text{ mm} \quad (3.14)$$

13) *Dx_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node:***14) *Dy_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node:*****15) *Dz_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node:***

Ο λόγος που δημιουργήθηκαν αυτές οι παράμετροι και η φιλοσοφία πίσω από την επιλογή της τιμής της εξηγούνται στην επόμενη υποενότητα, την 3.11.4. Οι τιμές, που δόθηκαν σε αυτές τις παραμέτρους είναι:

$$Dx_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node = Contact_Length \overset{(3.8)}{\iff} 16.69 \text{ mm} \quad (3.15)$$

$$Dy_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node = 0.652072 \text{ mm} \quad (3.16)$$

$$Dz_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node = 2.54 \text{ mm} \quad (3.17)$$

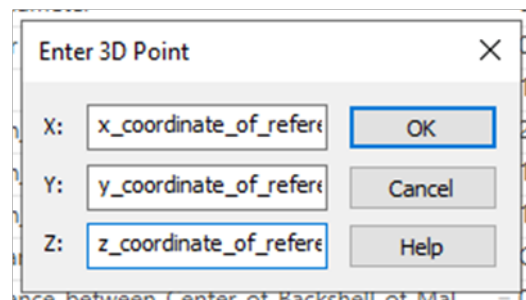
3.11.4 Επεξήγηση και Εφαρμογή της Παραμετροποίησης

3.11.4.1 Εφαρμογή στην Μετατόπιση των Συνδέσμων

Η σωστή τοποθέτηση του συσσωματώματος του Transmitter, ώστε το κέντρο της οπής της επαφής αναφοράς να συμπίπτει με το (0,0,0), ασχέτως του σε ποιά θέση βρίσκεται το αντικείμενο μετά την περιστροφή του, γίνεται ως εξής. Επιλέγουμε το σημείο που θέλουμε σαν αναφορά μέσω του εργαλείου Pick Points σαν κέντρο κύκλου (Pick Circle Center, βλ. την Εικόνα 3.63). Έπειτα επιλέγουμε πάλι ένα σημείο, αυτή την φορά μέσω δηλώσεως συντεταγμένων, δηλ. με την επιλογή Pick Point from Coordinates..., από την Εικόνα 3.63. Στο παράθυρο που προκύπτει βάζουμε τις τρεις παραμέτρους:

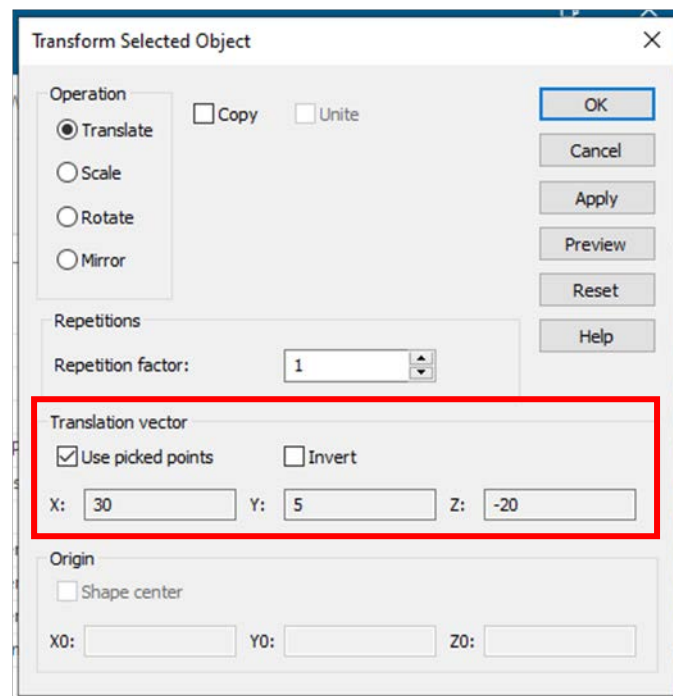
- *x_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S*,
- *y_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S* και
- *z_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S*,

ώστε να επιλεγεί το σημείο που θέλουμε ως αναφορά.



Εικόνα 3.75: Ο ορισμός του σημείου αναφοράς για την μετακίνηση των συνδέσμων και τον ορισμό των επαφών, μέσω συντεταγμένων [56].

Τώρα λοιπόν που έχουμε επιλεγμένα 2 σημεία του 3D χώρου, μπορούμε να μετατοπίσουμε τα συσσωματώματα Transmitter και Receiver, με την βοήθεια σαφούς διανύσματος μετατοπίσεως και μάλιστα ορισμένου παραμετρικά. Αυτό γίνεται με την εξής διαδικασία: επιλέγουμε από το Navigation Tree το Group Transmitter_P_and_S_Connectors_at_Mounting_Condition και με δεξί κλικ επιλέγουμε Transform. από το γνωστό παράθυρο, στο οποίο καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης, βλέπουμε ότι είναι επιλεγμένη η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σαν διάνυσμα μετατόπισης αυτό που ορίζεται από τα δύο προεπιλεγμένα σημεία. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν το Group μας θα πάει και θα τοποθετηθεί έτσι ώστε ο ζητούμενος κόμβος θα συμπίπτει ακριβώς με την αρχή του συστήματος συντεταγμένων.



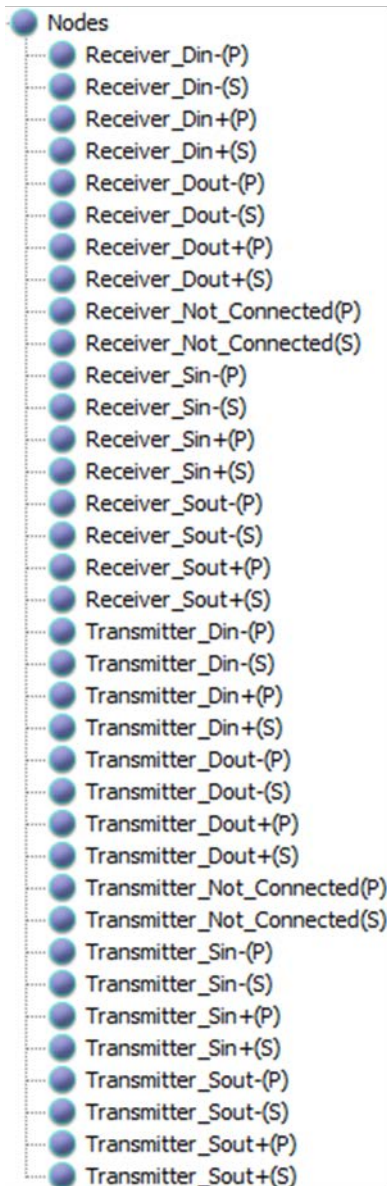
Εικόνα 3.76: Η μετακίνηση του συσσωματώματος του Transmitter με την χρήση διανύσματος μετατόπισης [56].

Μετά την ολοκλήρωση της σωστής μετατόπισης του συσσωματώματος του Transmitter, η παράμετρος **Horizontal Displacement of Transmitter to Receiver**, είναι ακριβώς αυτή που θα χρησιμοποιηθεί για να τοποθετηθεί εν τέλει σωστά και το συσσωμάτωμα του Receiver. Πρώτα με τον ίδιο τρόπο με πριν, δηλ. με επιλογή καταλλήλων σημείων και με χρήση του διανύσματος μετατόπισης, μεταφέρουμε το Group Receiver_P_and_S_Connectors_at_Mounting_Condition ώστε να συμπέσει ακριβώς με αυτό του Transmitter. Έπειτα, με σημεία αυτή την φορά την θέση του κόμβου Transmitter_Din+(S) ως αρχή και ένα σημείο με ίδιες x και y συντεταγμένες αλλά z συντεταγμένη μεγαλύτερη κατά την **Horizontal Displacement of Transmitter to Receiver** ως πέρασ, δημιουργούμε το αντίστοιχο διάνυσμα μετατόπισης και υλοποιούμε το Transform του Group Receiver_P_and_S_Connectors_at_Mounting_Condition. Έτσι τα συσσωματώματα των συνδέσμων αποκτούν την τελική τους θέση και μάλιστα παραμετρικά. Δηλ. το CST θυμάται ότι τα διανύσματα μετατόπισης έχουν παραμετρικές συντεταγμένες και σε περίπτωση αλλαγής τιμές σε αυτές θα γίνει και η αντίστοιχη μετατόπιση των συνδέσμων.

3.11.4.2 Εφαρμογή στην Δημιουργία των Επαφών

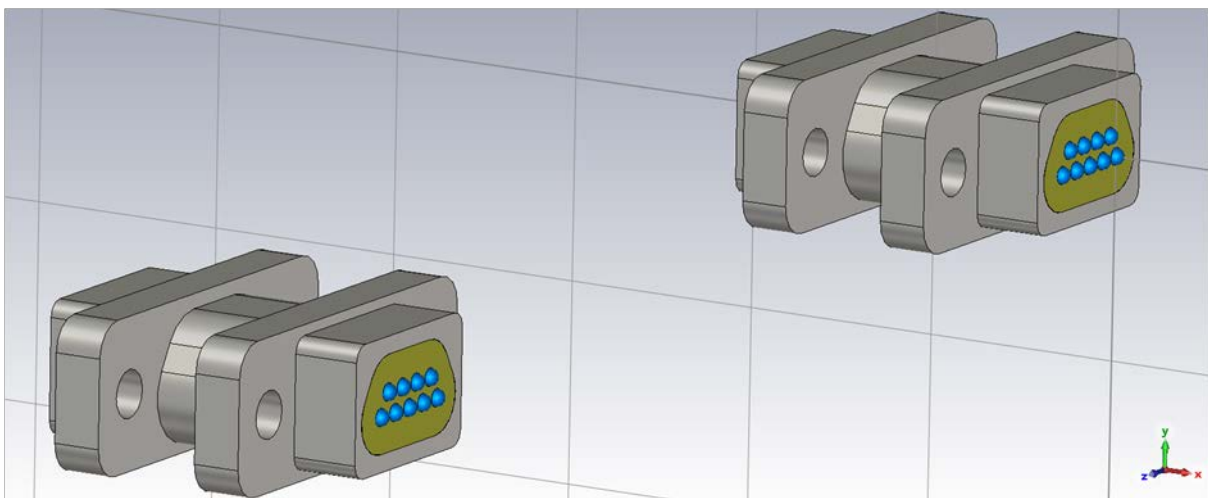
Με την δημιουργία της παραπάνω λίστας παραμέτρων, μπορούμε να ορίσουμε, παραμετρικά πλέον τις θέσεις των κόμβων, που θα προσομοιώνουν τα άκρα των επαφών των συνδέσμων σε δεσμική κατάσταση. Για να το κάνουμε αυτό, ορίζουμε κατά τα γνωστά διαδοχικά νέους κόμβους (όπως εξηγήσαμε στην υποενότητα 3.9.1), απλώς, αντί να τους αντιστοιχίσουμε με προεπιλεγμένα σημεία (βλ. την Εικόνα 3.63) επιλέγοντας κατόπιν το πλήκτρο “Snap the node to pick point” στην Εικόνα 3.66, τώρα τους ορίζουμε με βάση τις συντεταγμένες τους, στις οποίες μάλιστα βάζουμε πράξεις παραμέτρων. Στην Εικόνα 3.77 φαίνονται τα ονόματα των κόμβων από το Cable Navigation Tree.

Κάθε κόμβος προκύπτει με βάση τον αρχικό κόμβο αναφοράς Transmitter_Din+(S) [οι συντεταγμένες του οποίου δίνονται από τις σχέσεις (3.1), (3.2) και (3.3)]. Οι θέσεις των κόμβων κατά τον y άξονα καθορίζονται με την απόσταση **Distance between Contact Rows**, κατά τον z



άξονα καθορίζονται με την απόσταση **Distance_between_Contact_Centres** (σε κατάλληλα πολλαπλάσια) και επιπλέον με την προσθήκη της απόστασης **Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver** (για τους κόμβους του Receiver) και κατά τον x άξονα καθορίζονται με την απόσταση **Contact_Length**. Το αποτέλεσμα της δημιουργίας των κόμβων των επαφών στις σωστές παραμετρικά θέσεις φαίνεται στην Εικόνα 3.78.

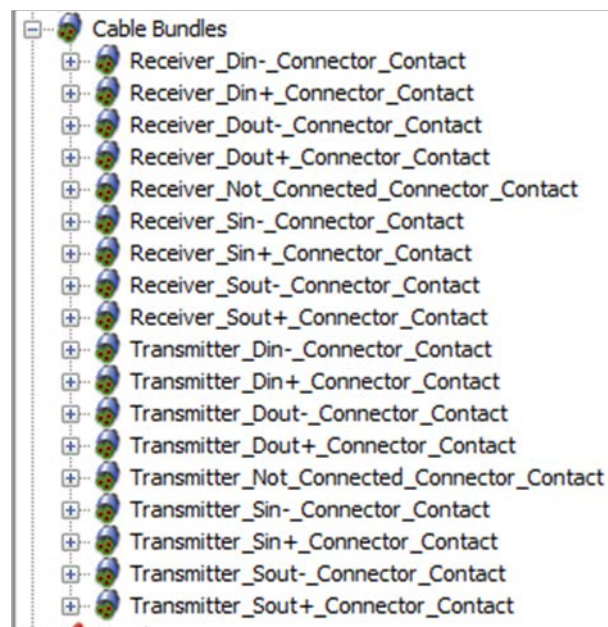
Εικόνα 3.77: Οι ονομασίες των κόμβων των καλωδίων των επαφών [56].



Εικόνα 3.78: Η τοποθέτηση των κόμβων των επαφών στα συσσωματώματα των συνδέσμων του Transmitter και του Receiver [56].

Έχοντας λοιπόν ολοκληρώσει την κατασκευή των τελικών 3D μοντέλων και έχοντας δημιουργήσει τις αναγκαίες παραμέτρους, ορίσαμε, παραμετρικά πλέον, και τα καλώδια που προσομοιώνουν τις επαφές. Ο ορισμός τους, σαν διατομή πρώτα, εξηγήθηκε στην υποενότητα 3.9.1. Οι παράμετροι, που χρησιμοποιούνται στον παραμετρικό ορισμό της διατομής του καλωδίου Connector_Contact (το οποίο δημιουργήσαμε από το Cable Studio για να προσομοιώνει την επαφή), είναι οι **Contact_Diameter** και **Contact_Cavity_Diameter**. Στην Εικόνα 3.62 είδαμε ότι ο αγωγός ορίζεται συμπαγής με διάμετρο την **Contact_Diameter**. Για λόγους τυπικούς ορίζουμε και μονωτικό στρώμα, αλλά φυσικά σαν υλικό βάζουμε τον αέρα. Ο αγωγός που προσομοιώνει την επαφή, μαζί με τον αέρα που τον περιβάλλει έχει προφανώς διάμετρο όση αυτή της οπής (εδώ χρησιμεύει η παράμετρος **Contact_Cavity_Diameter**).

Μετά την υλοποίηση της επαφής στο Cable Studio προχωρούμε στην δημιουργία καλωδίων στον 3D χώρο, στις θέσεις των επαφών. Η διαδικασία αυτή εξηγήθηκε στην υποενότητα 3.9.1. Με βάση το σε ποίο συσσωμάτωμα ανήκουν οι επαφές (του Transmitter ή του Receiver) και με βάση το σε ποίο σήμα αντιστοιχούν (με βάση το Contact Identification, που παραθέσαμε στις Εικόνες 3.10 και 3.11) τα καλώδια των επαφών ονομάστηκαν καταλλήλως. Παραθέτουμε σε εικόνα τα ονόματα αυτά, από το Cable Navigation Tree:



Εικόνα 3.79: Τα ονόματα των καλωδίων των επαφών [56].

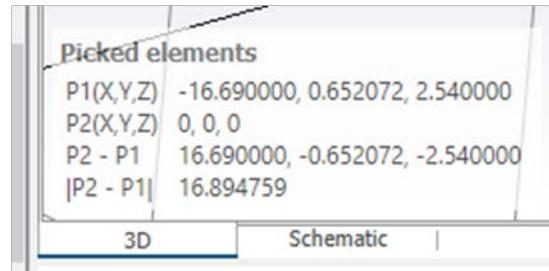
Πριν κλείσει αυτή η παράγραφος, χρήσιμο είναι να δώσουμε και μια σύντομη εξήγηση για τους λόγους της δημιουργίας των παραμέτρων¹⁴⁷:

- ***Dx_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node***
- ***Dy_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node***
- ***Dz_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node***

Οι αποστάσεις αυτές ορίστηκαν για τον εξής λόγο. Όπως ξέρουμε το καλώδιο θα τερματίσει στο πίσω μέρος του αρσενικού συνδέσμου. Αυτός ο τερματισμός θα γίνει στο κέντρο της πίσω επιφάνειας του μεταλλικού κελύφους του αρσενικού συνδέσμου. Εκεί λοιπόν θα οριστεί ο κόμβος, ο οποίος θα είναι ο τερματικός κόμβος του καλωδίου. Όπως θα δούμε στην υποενότητα 5.4.2, από αυτό το σημείο, που θα είναι το άκρο της καμπύλης πάνω στην οποία θα φορτωθεί το καλώδιο, θα πρέπει

¹⁴⁷ Οι παράμετροι αυτές δεν χρησιμοποιούνται άμεσα σε αυτά τα αρχεία CST. Δημιουργήθηκαν για να χρησιμοποιηθούν, όταν θα εισαχθεί εδώ και το τραπέζι της ESD δοκιμής (ενέργεια για την οποία θα αναφερθούμε στο Κεφάλαιο 5). Απλώς ορίστηκαν από αυτό το μοντέλο, γιατί εδώ, που τα συσσωμάτωμα των βυσμάτων είναι μόνα τους στον χώρο, ήταν ευκολότερο να μετρηθούν οι αποστάσεις αυτές.

στην συνέχεια, παραμετρικά πάντοτε (δηλ. προσθαφαιρώντας τις κατάλληλες παραμέτρους), να «φτάσουμε» στην θέση του κόμβου Transmitter_Din+(S), με βάση τον οποίο στην συνέχεια ορίζονται οι συντεταγμένες όλων των άλλων κόμβων. Οπότε μας χρειάζεται μέτρηση και παραμετρική αποθήκευση των κατά τους τρεις άξονες αποστάσεων του κέντρου της πίσω επιφάνειας του αρσενικού από την θέση του κόμβου Transmitter_Din+(S). Με επιλογή λοιπόν των δύο αυτών σημείων με το εργαλείο Pick Points (για το μέσον της πίσω επιφάνειας του αρσενικού κάνουμε χρήση της επιλογής Pick Face Center από την Εικόνα 3.63) βλέπουμε τις κατά κάθε άξονα κάθετες αποστάσεις τους στο κάτω αριστερά μέρος της οθόνης του 3D χώρου (βλ. την Εικόνα 3.80). Και τις τιμές αυτές αποθηκεύουμε στις εν λόγω παραμέτρους¹⁴⁸. Φυσικά η κατά τον x άξονα απόσταση ταυτίζεται με το μήκος της επαφής, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 3.80: Οι κατά τους τρεις άξονες αποστάσεις του κέντρου της πίσω όψης του αρσενικού συνδέσμου από τον κόμβο αναφοράς [56].

Να σημειώσουμε ότι οι αποστάσεις αυτές προκύπτουν αν επιλέξουμε ως κέντρο της πίσω όψεως του αρσενικού το Face Center της επιφάνειας του μεταλλικού κελύφους (από το στερεό Male's_and_Female's_Connector_Shells_at_Mounting_Condition) και όχι του μονωτικού (από το στερεό Male_epoxy_resin_Encapsulant). Είναι σημαντική αυτή η διάκριση, διότι τα δύο αυτά σημεία έχουν μια ελαφριά απόκλιση θέσεως, μεταξύ τους. Άλλωστε και στην πραγματικότητα, κατά τον τερματισμό θα «κεντράραμε» το καλώδιο ως προς το μεταλλικό κέλυφος.

¹⁴⁸ Να σημειώσουμε ότι, λάβαμε τις αποστάσεις αυτές κατ' απολυτο για αποφυγή συγχύσεως, αφού θα γνωρίζουμε ότι έχουν πάντα θετική τιμή. Όταν λοιπόν θα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κάποια πράξη (όπως θα δούμε στην υποενότητα 5.4.2), θα τοποθετείται το κατάλληλο πρόσημο, ύστερα προφανώς από παρατήρηση του σχήματος.

Κεφάλαιο 4

Η Διάταξη της Οδεύσεως του

Καλωδίου

Στο σημείο αυτό της εργασίας μας, έχουμε κατά βάση έτοιμα τα δομικά εργαλεία για να υλοποιήσουμε ένα καλώδιο SpW, αφού τόσο η διατομή του όσο και οι σύνδεσμοι, στους οποίους τερματίζει, είναι έτοιμα.

Όμως ένα καλώδιο SpW δεν έχει νόημα να υπάρχει «μόνο του» στον χώρο, χωρίς καμία αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Και με τον όρο «αλληλεπίδραση» εννοούμε H/M αλληλεπίδραση. Προκειμένου λοιπόν να έχει νόημα ο ορισμός του καλωδίου στον χώρο, θα πρέπει να οριστεί γι' αυτό και ένας κατάλληλος «περίγυρος». Και ο «περίγυρος» αυτός θα αποτελείται από οτιδήποτε μπορεί να επηρεάσει ηλεκτρομαγνητικά το καλώδιο, να «αντιδράσει» ηλεκτρομαγνητικά με αυτό.

Υπάρχουν διάφορα πειράματα – δοκιμές στις οποίες μπορεί να υποβληθεί ένα καλώδιο SpW και οι οποίες σχετίζονται με τις H/M του ιδιότητες. Τέτοιες θα μπορούσαν να είναι διαφόρων ειδών δοκιμές αντοχής και συμμόρφωσης του καλωδίου προς τις απαιτήσεις του προτύπου (όπως αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 2.7) ή άλλες δοκιμές Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (Electro-Magnetic Compatibility or EMC), όπως η δοκιμή Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης (Electro-Static Discharge or ESD) ή ένας απ' ευθείας «βομβαρδισμός» με πεδίο ενός ευθυγράμμου τμήματος οδεύσεως του καλωδίου. Κάθε τέτοιο πείραμα έχει και την δική του διάταξη, δηλ. τον δικό του τρόπο ορισμού μιας όδευσης του καλωδίου στον χώρο και τα δικά του συνοδευτικά αντικείμενα.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε μια ζεύξη SpW υποβαλλόμενη σε μια δοκιμή ESD. Γι' αυτό και θα αφιερώσουμε την ενότητα 4.1 για να αναφερθούμε, συνοπτικά στα χαρακτηριστικά αυτής της πειραματικής διατάξεως και στον τρόπο που υλοποιήθηκε. Οπότε, εν προκειμένω, το μοντέλο της οδεύσεως του καλωδίου θα φτιαχτεί έτσι ώστε να συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις μιας δοκιμής ESD σε επικοινωνιακό καλώδιο. Κάλιστα βέβαια θα μπορούσαμε να είχαμε επιλέξει μια διαφορετική τοποθέτηση της καμπύλης του καλωδίου, αντιστοιχούσα σε ένα άλλου είδους πείραμα EMC. Γι' αυτό και η ανάλυσή μας στο κεφάλαιο αυτό θα δώσει γενικά στοιχεία για το πώς μπορεί να υλοποιηθεί σωστά μια όδευση ενός καλωδίου στον χώρο. Απλώς τυγχάνει, εν προκειμένω, όλα όσα θα πούμε να υλοποιούνται στα πλαίσια μιας δοκιμής ESD.

4.1 Δοκιμή ESD σε Καλώδιο

Μια από τις διάφορες ηλεκτρομαγνητικές δοκιμές, στις οποίες μπορεί να υποβληθεί το συγκεκριμένο καλώδιο, είναι και η δοκιμή Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης (Electro-Static Discharge ή ESD). Η δοκιμή αυτή, όπως λέει και το όνομά της, γίνεται προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσον ένα καλώδιο μπορεί να «αντέξει» σε μια τυχούσα ηλεκτροστατική εκφόρτιση, χωρίς να επηρεαστεί το

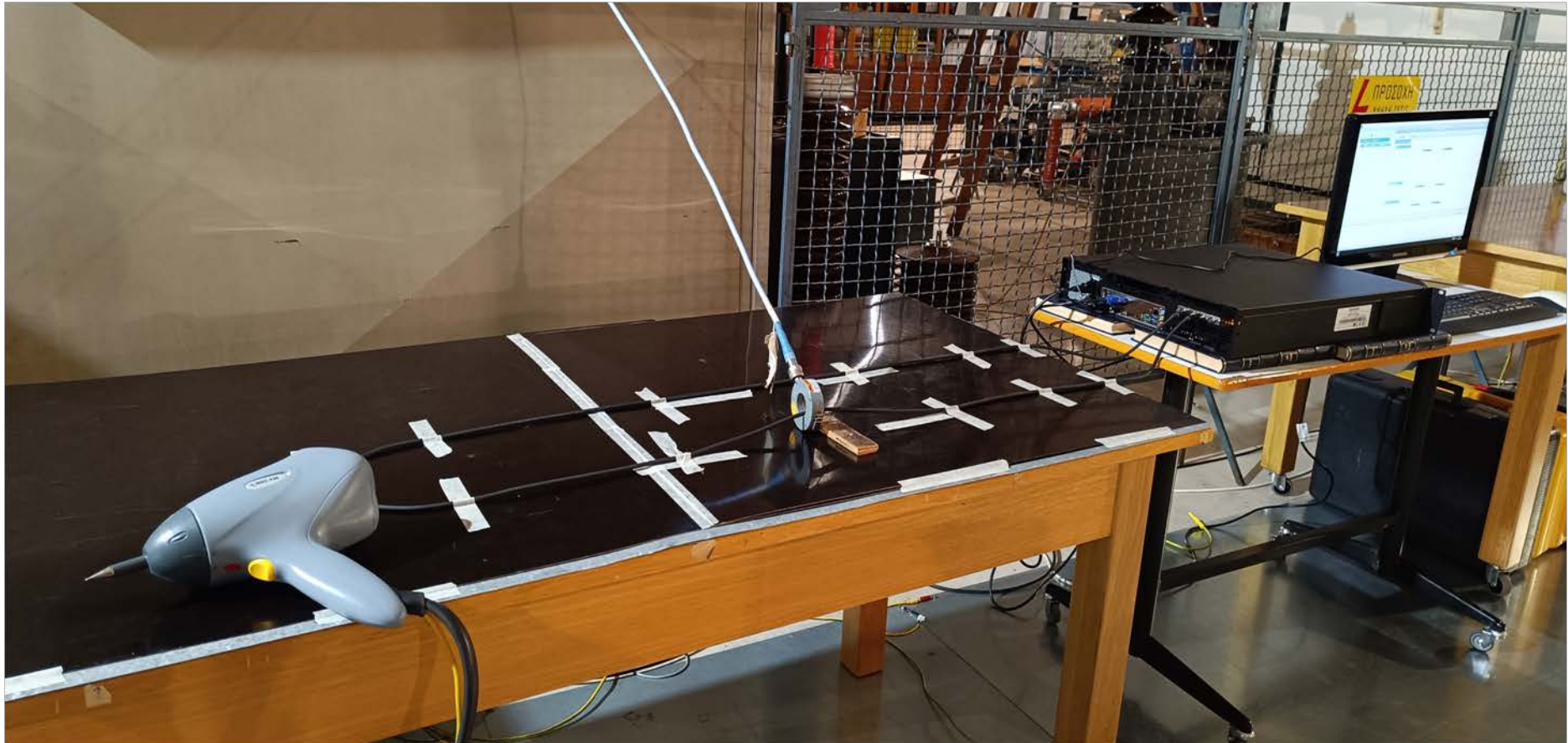
μεταδιδόμενο σήμα. Ενίοτε τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής σε ένα επικοινωνιακό καλώδιο δίνονται ως το ανώτατο ύψος κρουστικής εκφόρτισης στην οποία μπορεί να υποβληθεί το καλώδιο χωρίς να χαθεί η ακεραιότητα του σήματος (signal integrity).

Το βασικό εργαλείο της δοκιμής αυτής είναι το «πιστόλι της ηλεκτροστατικής εκφορτίσεως». Το εργαλείο αυτό (που έχει όντως σχήμα ογκώδους πιστολιού), μαζί με την συσκευή κρουστικής γεννήτριας που το συνοδεύει, παράγει μια κρουστική υπέρταση, την οποία διοχετεύει σε ένα δοκίμιο, ως κρουστική εκφόρτιση, μέσω της μεταλλικής αιχμής του πιστολιού.

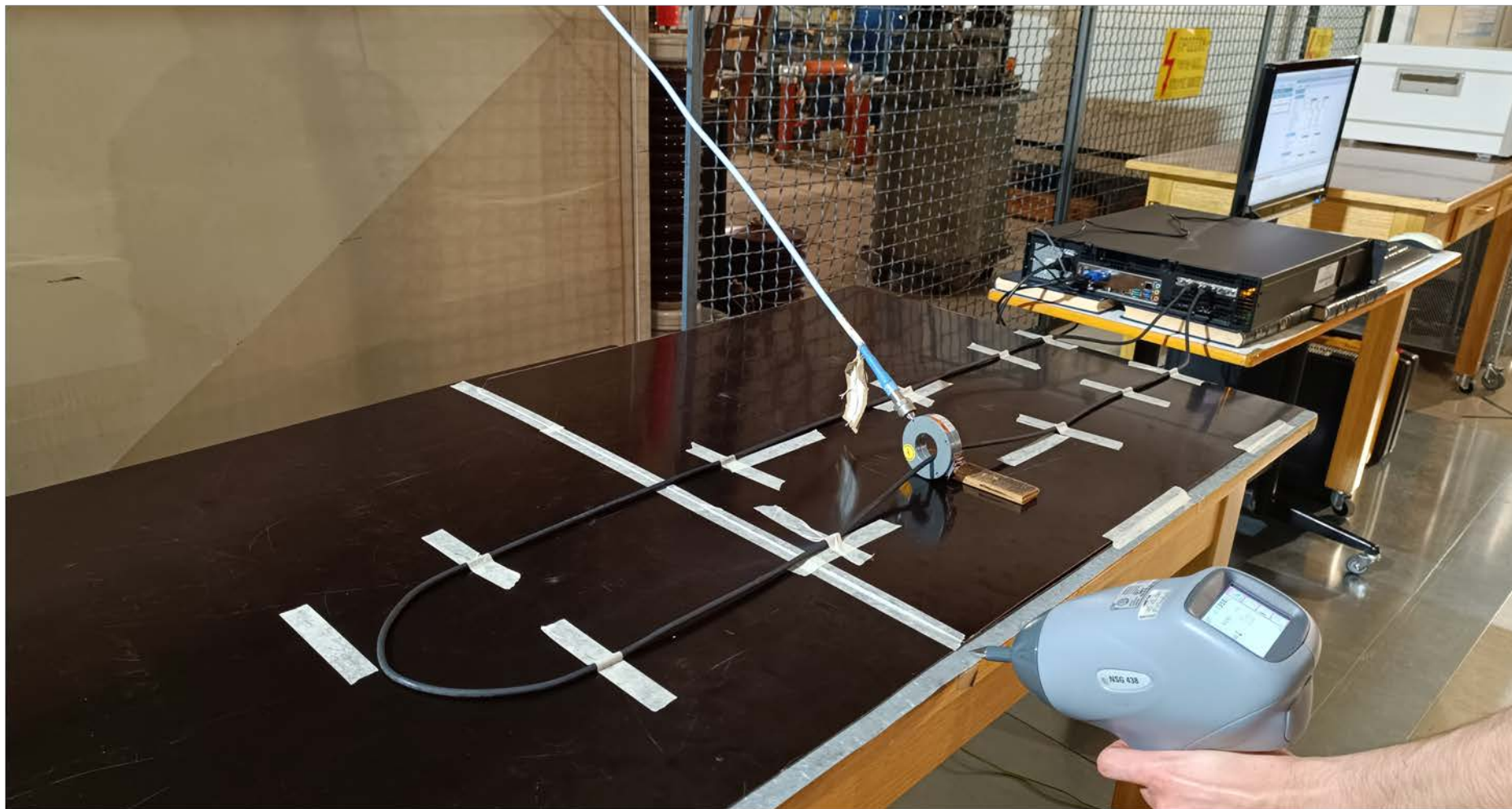
Η δοκιμή ESD σε Καλώδιο μπορεί να είναι είτε μια Άμεση Ηλεκτροστατική εκφόρτιση (στην οποία το πιστόλι της δοκιμής διοχετεύει την κρουστική υπέρταση απ' ευθείας επάνω στο καλώδιο), είτε μια Έμμεση Ηλεκτροστατική Εκφόρτιση (στην οποία το πιστόλι διοχετεύει την κρουστική υπέρταση επάνω στην αγωγίμη επιφάνεια, επί της οποίας βρίσκεται απλωμένο το καλώδιο και όχι απ' ευθείας επάνω σε αυτό). Εν προκειμένω, εμείς εξετάσαμε μια Έμμεση Ηλεκτροστατική Εκφόρτιση.

4.1.1 Πειραματική Διάταξη της Δοκιμής

Τα πειράματα ESD σε επικοινωνιακά καλώδια (άρα και στο καλώδιο SpW) είναι κάτι που γίνεται συχνά στο Εργαστήριο Υ. Τ.. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται έχει ως εξής (με βάση πάντοτε τις επιταγές του IEC 61000-4-2 [11], του προτύπου που περιγράφει το πείραμα ESD): χρησιμοποιείται ένα ξύλινο τραπέζι (με ορθογώνια την επιφάνεια πάνω στην οποία εκτελείται το πείραμα και 4 πόδια στις γωνίες). Το τραπέζι αυτό είναι τοποθετημένο επί ενός φύλλου αλουμινίου, το οποίο είναι στο δάπεδο και συνδέεται με το σύστημα γείωσης του εργαστηρίου δημιουργώντας έτσι το απαραίτητο δάπεδο γείωσης για το πείραμα. Το επίπεδο αυτό ονομάζεται **Επίπεδο Γείωσης Αναφοράς (Ground Reference Plane ή GRP)**. Στην πάνω επιφάνεια του τραπεζιού είναι βιδωμένο ένα άλλο φύλλο αλουμινίου. Το φύλλο αυτό ονομάζεται **Οριζόντιο Επίπεδο Ζεύξης (Horizontal Coupling Plane ή HCP)** διότι ορίζει το πού θα απλωθεί το καλώδιο και άρα θα υλοποιηθεί η ζεύξη SpW, που θα υποβληθεί στην δοκιμή ESD. Το φύλλο αυτό καλύπτει ακριβώς όλη την πάνω επιφάνεια του τραπεζιού, χωρίς να περισσεύει, δηλ. τα όριά του ταυτίζονται με τα όρια του τραπεζιού (γι' αυτό και στις παραμέτρους, που θα δούμε παρακάτω, αρκεί το μήκος και το πλάτος του HCP και έτσι δεν έχουν οριστεί παράμετροι για μήκος και πλάτος τραπεζιού, το οποίο άλλωστε, σαν μονωτικό, είναι αδιάφορο από Η/Μ πλευράς). Αυτή η αγωγίμη επιφάνεια αλουμινίου συνδέεται με το γειωμένο δάπεδο μέσω δύο εν σειρά αντιστάσεων, οι οποίες ονομάζονται bleeders, μίας λίγο κάτω από την επιφάνεια του τραπεζιού και μιας λίγο πάνω από το GRP. Πάνω από την επιφάνεια αυτή του αλουμινίου είναι επιπλέον απλωμένο ένα **φύλλο μονωτικού**, εν προκειμένω ένας **Βακελίτης** και επί αυτού τοποθετείται – απλώνεται το **Καλώδιο SpW** (έτσι που να σχηματίζει έναν απλό βρόχο επί του Βακελίτη, έχοντας από την ίδια μεριά τα δύο άκρα του). Στην συνέχεια τα άκρα του καλωδίου, τα φέροντα τα αρσενικά βύσματα, συνδέονται στην **κονσόλα του iSAFT Simulator**, η οποία βρίσκεται σε διπλανό τραπέζι. Μια ενδεικτική εικόνα της πειραματικής διατάξεως είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 4.1: Η Πειραματική Διάταξη της Εμμέσου Δοκιμής ESD στο καλώδιο SpW των 3 m [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Εικόνα 4.2: Εκτέλεση μιας εκφόρτισης ESD στο καλώδιο SpW των 3 m [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής, το καλώδιο θα μεταβιβάζει ένα σήμα. Το σήμα αυτό, όντας γνωστό, παραγόμενο από τον iSAFT Simulator, τροφοδοτεί το ένα άκρο του καλωδίου και μετράται ξανά όταν φτάνει στο άλλο άκρο του. Το πιστόλι ηλεκτροστατικής εκφορτίσεως «πυροβολεί» ένα σημείο της επιφάνειας αλουμινίου του HCP, ακάλυπτο από τον βακελίτη. Το φορτίο αυτό σταδιακά θα αποχωρήσει προς την γη μέσω των δύο bleeders. Φυσικά όμως, αν και η κρουστική υπέρταση δεν «πίπτει» απ' ευθείας επί του καλωδίου, η επίδραση του πεδίου της εκφορτίσεως αυτής επί του HCP θα γίνει αισθητή από το καλώδιο (Εμμεση Ηλεκτροστατική Εκφόρτιση). Ακολούθως λοιπόν, μετρώντας το σήμα στην «έξοδο» του καλωδίου και συγκρίνοντάς το με αυτό με το οποίο τροφοδοτήθηκε η «είσοδος» βλέπουμε την επίδραση που είχε το ESD στο συγκεκριμένο καλώδιο.

Έχει σημασία στο πείραμα αυτό (όπως το απαιτεί η προτυποποίησή της εκτέλεσής του) το καλώδιο, καθ' όλο το μήκος του το οποίο ευρίσκεται επί του πρώτου τραπέζιου, να έχει διαρκώς από κάτω του το διηλεκτρικό και να μην έρχεται σε επαφή με το αλουμίνιο. Επίσης είναι σημαντικό και το διπλανό τραπέζι πάνω στο οποίο είναι τοποθετημένη η κονσόλα, να ευρίσκεται σε κάποια απόσταση από το πρώτο τραπέζι, διότι αν είναι πολύ κοντά υπάρχει κίνδυνος να δεχθεί άμεσο επηρεασμό η κονσόλα από το ESD. Σε μια τέτοια μάλιστα περίπτωση, η παραμόρφωση του σήματος, που θα μετρηθεί στην έξοδο, δεν θα οφείλεται μόνο στον επηρεασμό του καλωδίου από το ESD αλλά και στον απ' ευθείας επηρεασμό των ηλεκτρονικών συστημάτων της κονσόλας. Όμως το ζητούμενο της δοκιμής είναι να παρατηρηθεί πόσο είναι επιρρεπές στο ESD αυτό καθ' αυτό το καλώδιο.

Έχοντας λοιπόν υπ' όψιν μας τα χαρακτηριστικά της πειραματικής διάταξης του εργαστηρίου, πρέπει να προχωρήσουμε στην μοντελοποίησή της στο CST.

Σχόλιο σχετικά με απλοποιήσεις στην 3D μοντελοποίηση της πειραματικής διάταξης:

Μια απλοποίηση που μπορεί να γίνει στην μοντελοποίησή αυτή σχετίζεται με την υλοποίηση του τραπέζιου στο πρόγραμμα και είναι η εξής. Το τραπέζι είναι ξύλινο και προφανώς μπορεί να κατασκευαστεί ως 3D object με υλικό wood (από το Material Library). Όμως από ηλεκτρομαγνητικής σκοπιάς μας είναι αδιάφορο, δεδομένου ότι είναι μονωτικό και η απαγωγή του φορτίου του ESD γίνεται μέσω αγωγίμου δρόμου (2 αντιστάσεων). Ο μόνος πρακτικά λόγος ύπαρξής του είναι να φέρει το φύλλο αλουμινίου, τον βακελίτη και το καλώδιο σε ένα επιθυμητό ύψος πάνω από το επίπεδο γείωσης. Στην πράξη ο αέρας είναι αυτός που μονώνει το αλουμίνιο ως προς το επίπεδο γείωσης και όχι το τραπέζι. Για τον λόγο αυτό επιλέξαμε να μην παρουσιάσουμε καθόλου στο αντίστοιχο project το τραπέζι ως ξεχωριστό 3D object, αλλά να ορίσουμε μόνο τα αντικείμενα που παρουσιάζουν ηλεκτρομαγνητικό ενδιαφέρον, δηλ. το επίπεδο γείωσης κάτω και στην συνέχεια το φύλλο αλουμινίου και το φύλλο βακελίτη σε κατάλληλο ύψος από το επίπεδο γείωσης (σαν να είναι κρεμασμένα στον αέρα). Η απλοποίηση αυτή είναι απολύτως θεμιτή γιατί, όπως εξηγήσαμε, αφήνει απολύτως ανεπηρέαστα τα ηλεκτρομαγνητικά δεδομένα της προσομοίωσης. Επιπλέον είναι και χρήσιμη, διότι μη κατασκευάζοντας το ξύλινο τραπέζι γλυτώνουμε από τις επιφάνειες διεπαφής των ποδιών του με το επίπεδο γείωσης και της πάνω επιφάνειάς του με το φύλλο αλουμινίου και άρα από την συνακόλουθη πύκνωση του πλέγματος υπολογισμών στα σημεία αυτά και την αύξηση της πολυπλοκότητας της προσομοίωσης.

Μια ακόμη απλοποίηση της προσομοίωσής μας είναι το ότι δεν υλοποιούμε το διπλανό τραπέζι πάνω στο οποίο βρίσκεται ο iSAFT Simulator. Αυτό γίνεται διότι, όπως αναφέραμε, μας ενδιαφέρει να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά σε ESD του καλωδίου και των βυσμάτων του. Άρα στην προσομοίωση χρειαζόμαστε το καλώδιο και τα συσσωματώματα των συνδέσμων στα άκρα του, τα οποία θα είναι καταλλήλως γειωμένα, αφού γειωμένο είναι το σασί της κονσόλας του iSAFT Simulator. Ακολούθως, στις επαφές του ενός συνδέσμου θα γίνεται η εισαγωγή των προς μετάδοση σημάτων και από τις επαφές του άλλου συνδέσμου θα γίνεται η μέτρηση των σημάτων που μεταδόθηκαν, αφού δέχθηκαν την επίδραση του ESD. Για την εξαγωγή λοιπόν των συμπερασμάτων μας δεν χρειαζόμαστε καν προσομοίωση και της κονσόλας και πολύ περισσότερο του τραπέζιου, πάνω στο οποίο αυτή τοποθετείται.

4.1.2 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST

Το μοντέλο της πειραματικής διάταξης της ESD δοκιμής δομήθηκε στο αρχείο CST με τίτλο:

- **Table_for_ESD_Test.cst**

Το αρχείο αυτό περιέχει όλα τα στοιχεία, που συνιστούν το περιβάλλον του καλωδίου κατά την δοκιμή ESD και συνοδεύεται από σχετική λίστα παραμέτρων, την οποία θα αναπτύξουμε στην παράγραφο 4.1.3.2. Επάνω σε αυτό το αρχείο θα σχεδιαστεί στην συνέχεια η όδευση του καλωδίου, πράγμα που θα δούμε στην επόμενη ενότητα, την 4.2. Για λόγους γρήγορου εντοπισμού των καταλλήλων πινάκων παραμέτρων θα παραθέσουμε και εδώ έναν πίνακα που θα μας λέει ποιές παράμετροι χρησιμοποιούνται από αυτό το Project (παρ' ότι μοιάζει λίγο περιττό να γίνει αυτό για ένα μόνο αρχείο, σε αντίθεση π.χ. με τους Πίνακες 2.1 και 3.4).

Πίνακας 4.1: Υπόμνημα των Παραμέτρων που χρησιμοποιεί κάθε Project.

Όνομασία Project	Λίστα Παραμέτρων
Table_for_ESD_Test.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 4.2.

4.1.3 Παραμετροποίηση του Μοντέλου της ESD Δοκιμής

Όπως παραμετροποιήσαμε κάθε ποσότητα, που ορίστηκε στην διατομή του καλωδίου, αλλά και την τοποθέτηση στον χώρο των συνδέσεων, έτσι μπορούμε να ορίσουμε παραμετρικά και κάθε ποσότητα αλλά και κάθε τοποθέτηση στα αντικείμενα του 3D μοντέλου της πειραματικής διατάξεως.

4.1.3.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης

Τα βασικά αντικείμενα, που συνθέτουν το περιβάλλον της διάταξης ESD, δηλ. το GRP, το HCP και ο Βακελίτης, είναι 3D αντικείμενα πολύ απλά στο σχήμα τους (απλά παραλληλεπίπεδα). Συνεπώς είναι πολύ εύκολο να οριστούν – κατασκευαστούν με παραμετρικό τρόπο. Αυτό εξυπηρετεί στον να μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν οι διαστάσεις τους, αναλόγως προς τις απαιτήσεις του χρήστη. Π.χ. αν θέλει να δοκιμάσει ένα μεγαλύτερο σε εμβαδόν GRP. Η αλήθεια είναι βέβαια ότι τα αντικείμενα αυτά κατασκευάστηκαν συμφώνως με τα αντίστοιχα αντικείμενα στο Εργαστήριο Υ. Τ.. Οπότε το να αλλάξει κανείς τις διαστάσεις τους και να επαναλάβει την δοκιμή σε προσομοιωτικό περιβάλλον, ίσως να μην είναι πολύ συνηθισμένο, διότι δεν θα υπάρχει δυνατότητα εύκολα να επαναληφθεί το πείραμα αυτό στην πραγματικότητα (αν δεν ευρεθούν άλλα κατάλληλα αντικείμενα). Πάντως καλό είναι να δίνεται αυτή η ευελιξία στον χρήστη του προγράμματος, ασχέτως αν θα αξιοποιηθεί πολύ ή λίγο.

Η μεγάλη χρησιμότητα της δημιουργίας παραμέτρων στο Project της δοκιμής ESD φαίνεται από τις παραμέτρους εκείνες, που ελέγχουν αυτές καθ' αυτές τις ενέργειες του πειράματος. Δηλ. το σημείο, όπου γίνεται η έγχυση ρεύματος στο HCP (η οποία προσομοιώνει την ηλεκτροστατική εκφόρτιση) και η θέση των αντιστάσεων, που εξυπηρετούν την απαγωγή του φορτίου του ESD προς την γη. Κατά βάση το σημείο στο οποίο γίνεται η έγχυση του κρουστικού ρεύματος (σε σχέση με την θέση των αντιστάσεων αποφόρτισης) είναι το δεδομένο εκείνο, το οποίο διαρκώς ο πειραματιζόμενος μπορεί να αλλάζει και ο παραμετρικός ορισμός του εξασφαλίζει το ότι αντίστοιχες δοκιμές ενός πραγματικού πειράματος θα μπορούν να επαληθευθούν και από την προσομοίωση. Η θέση των αντιστάσεων είναι συγκεκριμένη στην πειραματική διάταξη του εργαστηρίου (διότι το σύρμα που τις συνδέει με την γείωση είναι πακτωμένο στο μπροστινό αριστερό άκρο του HCP), αλλά βέβαια κανείς δεν μας εμποδίζει να πειραματιστούμε θεωρητικά και με αυτήν την παράμετρο.

Παρ' ότι, όπως είπαμε, στο Εργαστήριο Υ.Τ. πολλά από τα γεωμετρικά δεδομένα των συνιστωσών του πειράματος ESD (όπως οι διαστάσεις των διαφόρων αντικειμένων) είναι λίγο πολύ αμετάβλητα, εντούτοις η παραμετροποίηση, που τηρήσαμε πρακτικά σε κάθε φάση της δημιουργίας της διάταξης, μας παρέχει την δυνατότητα να προσαρμόζουμε αυτόματα το CST project στα γεωμετρικά δεδομένα οποιουδήποτε άλλου αντίστοιχου πειράματος, το οποίο έχει ελαφρώς διαφορετικά μεγέθη και τοποθέτηση των αντικειμένων αυτών. Απλά δίνουμε τις νέες σωστές τιμές στις κατάλληλες παραμέτρους. Έτσι π.χ. μπορούμε να επαληθεύσουμε αντίστοιχα πειράματα ESD, που γίνονται και από άλλα ενδεχομένως εργαστήρια, με διατάξεις που έχουν διαφορετικά μεγέθη των αντιστοιχών συνιστωσών.

4.1.3.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτουμε την Λίστα των Παραμέτρων, που αφορούν στα δεδομένα της Δοκιμής ESD. Οι παράμετροι αυτές δημιουργήθηκαν εν πρώτοις στο σχετικό αρχείο του CST, **Table_for_ESD_Test.cst** (και λέμε εν πρώτοις γιατί οι παράμετροι αυτές διατηρήθηκαν και επόμενα αρχεία CST).

Πίνακας 4.2: Λίστα Παραμέτρων του Μοντέλου του Τραπεζιού της ESD Δοκιμής (απο το Project *Table_for_ESD_Test.cst*¹⁴⁹).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ¹⁵⁰
Πειραματική Διάταξη Δοκιμής ESD		
1	<i>GRP_Length</i> Το μήκος ¹⁵¹ (σε mm) του GRP.	2600 mm
2	<i>GRP_Width</i> Το πλάτος ¹⁵² (σε mm) του GRP.	1800 mm
3	<i>GRP_Thickness</i> Το πάχος ¹⁵³ (σε mm) του GRP.	1.01667 mm
4	<i>Table_Height</i> Το ύψος ¹⁵⁴ (σε mm) του τραπεζιού επί του οποίου πραγματοποιείται η δοκιμή ESD.	800 mm
5	<i>HCP_Length</i> Το μήκος ¹⁵⁵ (σε mm) του HCP.	1600 mm
6	<i>HCP_Width</i> Το πλάτος ¹⁵⁶ (σε mm) του HCP.	800 mm

¹⁴⁹ Φυσικά είναι και άλλα τα Projects που χρησιμοποιούν αυτές τις παραμέτρους, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 4.3. Απλώς εδώ στον τίτλο του Πίνακα των παραμέτρων, επιλέγουμε να βάλουμε το πρώτο αρχείο στο οποίο ορίστηκαν οι παράμετροι αυτές. Το ποιά άλλα αρχεία τις χρησιμοποιούν θα φανεί από τους σχετικούς Πίνακες (σαν τον Πίνακα 4.3), που θα παραθέτουμε στα κατάλληλα σημεία της εργασίας.

¹⁵⁰ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.

¹⁵¹ Ως μήκος των GRP, HCP και Βακελίτη ορίζεται η μεγάλη τους διάσταση, η οποία στο CST project βρίσκεται παράλληλα προς τον x άξονα του τρισσορθογωνίου global συστήματος συντεταγμένων (βλ. Εικόνα 4.16).

¹⁵² Ως πλάτος των GRP, HCP και Βακελίτη ορίζεται η μικρή τους διάσταση, η οποία στο CST project βρίσκεται παράλληλα προς τον z άξονα του τρισσορθογωνίου global συστήματος συντεταγμένων (βλ. Εικόνα 4.16).

¹⁵³ Το ύψος του Τραπεζιού και τα πάχη των στρωμάτων GRP, HCP και Βακελίτη βρίσκονται παράλληλα προς τον y άξονα του τρισσορθογωνίου global συστήματος συντεταγμένων (βλ. Εικόνα 4.17).

¹⁵⁴ Βλέπε ανωτέρω υποσημείωση 153.

¹⁵⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 151.

¹⁵⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 152.

7	<i>HCP_Thickness</i>	0.60125 mm
	Το πάχος ¹⁵⁷ (σε mm) του HCP.	
8	<i>Support_Distance_front</i>	20 mm
	Η απόσταση (σε mm) της μπροστινής ¹⁵⁸ άκρης του στρώματος βακελίτη από την μπροστινή άκρη του HCP.	
9	<i>Support_Distance_back</i>	0 mm
	Η απόσταση (σε mm) της πίσω ¹⁵⁹ άκρης του στρώματος βακελίτη από την πίσω άκρη του HCP.	
10	<i>Support_Distance_left</i>	0 mm
	Η απόσταση (σε mm) της αριστερής ¹⁶⁰ άκρης του στρώματος βακελίτη από την αριστερή άκρη του HCP.	
11	<i>Support_Distance_right</i>	0 mm
	Η απόσταση (σε mm) της δεξιάς ¹⁶¹ άκρης του στρώματος βακελίτη από την δεξιά άκρη του HCP.	
12	<i>Bakelite_Insulating_Layer_Length</i>	1600 mm
	Το μήκος ¹⁶² (σε mm) του μονωτικού στρώματος βακελίτη.	
13	<i>Bakelite_Insulating_Layer_Width</i>	780 mm
	Το πλάτος ¹⁶³ (σε mm) του μονωτικού στρώματος βακελίτη.	
14	<i>Bakelite_Insulating_Layer_Thickness</i>	1 mm
	Το πάχος ¹⁶⁴ (σε mm) του μονωτικού στρώματος βακελίτη.	
15	<i>Injection_Distance</i>	800 mm
	Η απόσταση (σε mm) του σημείου που γίνεται η έγχυση του κρουστικού ρεύματος του ESD ¹⁶⁵ από την μπροστινή αριστερή γωνία του HCP.	
16	<i>Bleeder_Distance_along_x_axis</i>	30 mm
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, του κατακορύφου αγωγού πάνω με τον οποίο συνδέονται τα Bleeders από την μπροστινή αριστερή γωνία του HCP.	
17	<i>Bleeder_Distance_along_y_axis</i>	20 mm
	Η κατακόρυφη απόσταση (σε mm), κατά τον y άξονα, του κάτω Bleeder (Bleeder 2) από την άνω επιφάνεια του GRP και του άνω Bleeder (Bleeder 1) από την κάτω επιφάνεια του HCP.	
18	<i>Bleeder_Resistance</i>	470000 Ω
	Η τιμή της αντιστάσεως του κάθε Bleeder (σε Ω).	
19	<i>Bleeder_Wire_Diameter</i>	0.5 mm
	Η διάμετρος (σε mm) του σύρματος που ενώνει τα Bleeders.	

¹⁵⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 153.

¹⁵⁸ Όπως κοιτούμε το τραπέζι της ESD Δοκιμής από την θέση του εκτελεστή του πειράματος (βλ. την Εικόνα 4.2).

¹⁵⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 158.

¹⁶⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 158.

¹⁶¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 158.

¹⁶² Βλ. ανωτ. υποσ. 151.

¹⁶³ Βλ. ανωτ. υποσ. 152.

¹⁶⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 153.

¹⁶⁵ Θεωρούμε ότι η έγχυση του ρεύματος του ESD γίνεται πάντοτε στην μπροστινή ακμή του HCP (βλ. την Εικόνα 4.2).

4.1.3.3 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων

Στην παράγραφο αυτή θα παραθέσουμε τους τύπους υπολογισμού και τις τιμές όλων των παραπάνω παραμέτρων, με την σειρά, με την οποία παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4.2 και θα εξηγήσουμε τους υπολογισμούς, όπου υπάρχουν.

1) GRP_Length:

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$GRP_Length = 2600 \text{ mm} \quad (4.1)$$

2) GRP_Width:

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$GRP_Width = 1800 \text{ mm} \quad (4.2)$$

3) GRP_Thickness:

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$GRP_Thickness = 1.01667 \text{ mm} \quad (4.3)$$

4) Table_Height:

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$Table_Height = 800 \text{ mm} \quad (4.4)$$

5) HCP_Length = 1600 mm

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$HCP_Length = 1600 \text{ mm} \quad (4.5)$$

6) HCP_Width = 800 mm

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$HCP_Width = 800 \text{ mm} \quad (4.6)$$

7) HCP_Thickness = 0.60125 mm

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$HCP_Thickness = 0.60125 \text{ mm} \quad (4.7)$$

8) Support_Distance_front:

Η παράμετρος *Support_Distance_front* χρησιμοποιείται προκειμένου να μπορούμε να εμφανίσουμε μια ακάλυπτη ζώνη αλουμινίου του HCP μπροστά από το μονωτικό στρώμα βακελίτη. Αυτή η ζώνη μας χρειάζεται προκειμένου να μπορεί να γίνει η ηλεκτροστατική εκφόρτιση από το πιστόλι ESD. Βέβαια στο περιβάλλον του προσομοιωτή αυτό δεν θα ήταν απολύτως απαραίτητο γιατί η έγχυση του ρεύματος γίνεται σημειακά, οπότε θα της αρκούσε ένα απειροελάχιστο περιθώριο ακάλυπτου από βακελίτη αλουμινίου. Όμως στην πραγματική πειραματική διάταξη στο εργαστήριο, αυτό το περιθώριο πρέπει να υπάρχει, ώστε να μπορεί να σημαδέψει με άνεση ο πειραματιζόμενος με το πιστόλι. Οπότε, προκειμένου να έχουμε την προσομοιούμενη πειραματική διάταξη όσο το δυνατόν πιο όμοια με την πραγματική, δημιουργούμε και στο CST project αυτό το περιθώριο.

Εν προκειμένω επιλέχθηκε:

$$Support_Distance_front = 20 \text{ mm} \quad (4.8)$$

9) Support_Distance_back:**10) Support_Distance_left:****11) Support_Distance_right:**

Να παρατηρήσουμε ότι αυτό το περιθώριο ακάλυπτου από βακελίτη αλουμινίου, που μόλις αναφέραμε στην επεξήγηση της παραμέτρου 8, μπορεί δυνητικά να υπάρξει από όλες τις πλευρές του τραπεζιού. Για τον λόγο αυτό ορίστηκαν οι σχετικές παράμετροι (και ορίστηκαν και οι διαστάσεις του βακελίτη με βάση αυτές, όπως θα δούμε στις παραμέτρους 12 και 13, που θα ακολουθήσουν). Τώρα, ως προς την πίσω και την αριστερή πλευρά του τραπεζιού, με τον τρόπο που τοποθετήθηκε ο βακελίτης στο εργαστήριο, δεν περίσσεψε ακάλυπτο αλουμίνιο και ως εκ τούτου οι τιμές των αντιστοίχων παραμέτρων είναι:

$$\text{Support_Distance_back} = 0 \text{ mm} \quad (4.9)$$

$$\text{Support_Distance_left} = 0 \text{ mm} \quad (4.10)$$

Ειδικότερα για την πλευρά του τραπεζιού από την οποία τα άκρα του καλωδίου φεύγουν προς το δεύτερο τραπέζι, όπου βρίσκεται ο iSAFT Simulator, δηλ. την δεξιά όπως κοιτά το τραπέζι ο πειραματιζόμενος (βλ. την Εικόνα 4.2), και πάλι ο βακελίτης καλύπτει ακριβώς το αλουμίνιο. Δηλ. έχουμε:

$$\text{Support_Distance_right} = 0 \text{ mm} \quad (4.11)$$

Όμως αυτό έχει σημασία (σε αντίθεση με την πίσω και αριστερή πλευρά του τραπεζιού) και γίνεται γιατί είναι ηλεκτρομαγνητικώς αναγκαία προϋπόθεση το καλώδιο καθ' όλο το μήκος του, το οποίο ευρίσκεται επί του πρώτου τραπεζιού, να έχει διαρκώς από κάτω του το διηλεκτρικό και να μην έρχεται σε επαφή με το βομβαρδιζόμενο από το ESD αλουμίνιο του HCP.

12) Bakelite_Insulating_Layer_Length:

Το μήκος του μονωτικού στρώματος βακελίτη ορίζεται με την βοήθεια του μήκους του HCP και των αποστάσεων *Support_Distance_right* και *Support_Distance_left*, ως εξής:

$$\text{Bakelite_Insulating_Layer_Length} = \text{HCP_Length} - \text{Support_Distance_right} - \text{Support_Distance_left} \xrightarrow{(4.5),(4.8),(4.9)}$$

$$\text{Bakelite_Insulating_Layer_Length} = 1600 \text{ mm} \quad (4.12)$$

αφού το μήκος του βακελίτη είναι όσο το μήκος του HCP αν αφαιρέσουμε από δεξιά και από αριστερά το περιθώριο, που δυνητικά μπορούμε να αφήσουμε ακάλυπτο το αλουμίνιο.

13) Bakelite_Insulating_Layer_Width:

Το πάχος του μονωτικού στρώματος βακελίτη ορίζεται με την βοήθεια του πάχους του HCP και των αποστάσεων *Support_Distance_front* και *Support_Distance_back*, ως εξής:

$$\text{Bakelite_Insulating_Layer_Width} = \text{HCP_Width} - \text{Support_Distance_front} - \text{Support_Distance_back} \xrightarrow{(4.6),(4.8),(4.9)}$$

$$\text{Bakelite_Insulating_Layer_Width} = 780 \text{ mm} \quad (4.13)$$

αφού το πάχος του βακελίτη είναι όσο το πάχος του HCP αν αφαιρέσουμε από πάνω και από κάτω το περιθώριο, που δυνητικά μπορούμε να αφήσουμε ακάλυπτο το αλουμίνιο.

14) Bakelite_Insulating_Layer_Thickness:

Η παράμετρος αυτή μετρήθηκε στην τιμή:

$$\text{Bakelite_Insulating_Layer_Thickness} = 1 \text{ mm} \quad (4.14)$$

15) Injection_Distance:

Η απόσταση, κατά τον x άξονα (βλ. την Εικόνα 4.16), από την μπροστινή αριστερή γωνία του HCP μέχρι το σημείο, στο οποίο γίνεται η ηλεκτροστατική εκφόρτιση, επιλέχθηκε να είναι:

$$\text{Injection_Distance} = 800 \text{ mm} \quad (4.15)$$

Προφανώς η παράμετρος αυτή μπορεί να αλλάζει κατά βούλησιν του χρήστη, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 4.1.3.1.

16) *Bleeder_Distance_along_x_axis*:

Οι δύο αντιστάσεις αποφόρτισης είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους εν σειρά με έναν αγωγό, ο οποίος είναι κατακόρυφος και καταλήγει στην γείωση του συστήματος. Άρα είναι πάνω στην ίδια ευθεία γεωμετρικά (ή η αντίσταση αποφόρτισης είναι συνδεδεμένη με την γείωση του συστήματος με έναν κατακόρυφο αγωγό). Η κατά τον x άξονα απόσταση της ευθείας αυτής από την μπροστινή αριστερή γωνία του HCP είναι:

$$\text{Bleeder_Distance_along_x_axis} = 30 \text{ mm} \quad (4.16)$$

17) *Bleeder_Distance_along_y_axis*:

Τόσο η πάνω αντίσταση (Bleeder 1) όσο και η κάτω (Bleeder 2), απέχουν μια κατακόρυφη απόσταση από τις αντίστοιχες αγωγίμες επιφάνειες. Δηλ. την πάνω επιφάνεια του GRP και την κάτω επιφάνεια του HCP. Η απόσταση αυτή, που είναι ίδια και για τις δύο αντιστάσεις, είναι:

$$\text{Bleeder_Distance_along_y_axis} = 20 \text{ mm} \quad (4.17)$$

18) *Bleeder_Resistance*:

Η τιμή της ωμικής αντίστασης, που έχει κάθε ένα από τα Bleeders, είναι:

$$\text{Bleeder_Resistance} = 470000 \Omega = 470 \text{ k}\Omega \quad (4.18)$$

19) *Bleeder_Wire_Diameter*:

Οι δύο αντιστάσεις αποφόρτισης συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά με την βοήθεια ενός μονωμένου¹⁶⁶ σύρματος με διάμετρο:

$$\text{Bleeder_Wire_Diameter} = 0.5 \text{ mm} \quad (4.19)$$

Σχόλιο σχετικά με τις παραμέτρους που ορίζονται απ' ευθείας σε ένα νούμερο:

Όσες παράμετροι ορίζονται απ' ευθείας με μια συγκεκριμένη τιμή προέρχονται από άμεση μέτρηση του αντιστοίχου μεγέθους στην πειραματική διάταξη του Εργαστηρίου Υ.Τ.. Ειδικά τα πάχη των GRP, HCP και Βακελίτη, μετρήθηκαν με παχύμετρο από πολλές πλευρές του φύλλου και ελήφθη η μέση τιμή.

4.1.4 Ορισμός των 3D αντικειμένων της Δοκιμής

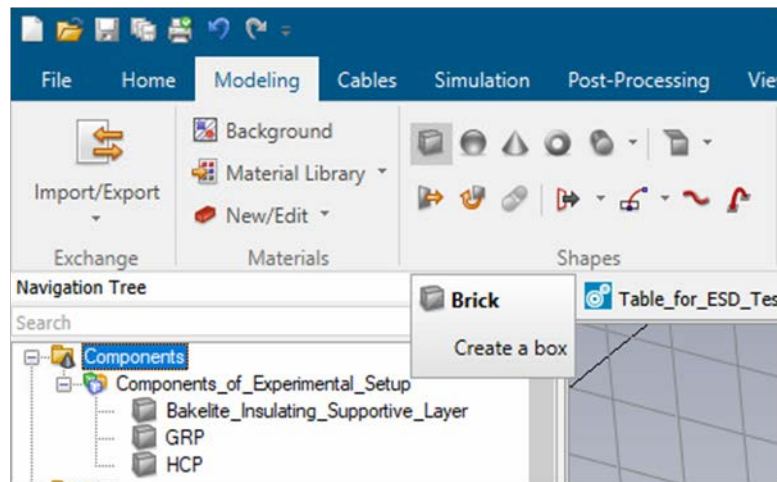
4.1.4.1 Παραμετρική Κατασκευή των Αντικειμένων

Με βάση την παραπάνω λίστα παραμέτρων προχωρήσαμε στην υλοποίηση όλων των 3D αντικειμένων της πειραματικής διάταξης για την ESD δοκιμή καθώς και των σχετικών τοποθετήσεών τους.

Ο παραμετρικός ορισμός ενός στερεού είναι μια δυνατότητα που παρέχει το 3D Modeling του CST. Δηλ. αντί να φτιάξουμε ένα στερεό εντελώς «με το χέρι» δηλ. χωρίς απόλυτη ακρίβεια στις διαστάσεις του, το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να του ορίσουμε σαφώς από ποιά μέχρι ποιά τιμή συντεταγμένης θα εκτείνεται στον κάθε άξονα. Και μάλιστα όχι μόνο αυτό, αλλά τα πεδία των συντεταγμένων αυτών μπορούν κάλλιστα να συμπληρωθούν με την χρήση παραμέτρων. Αυτό γίνεται

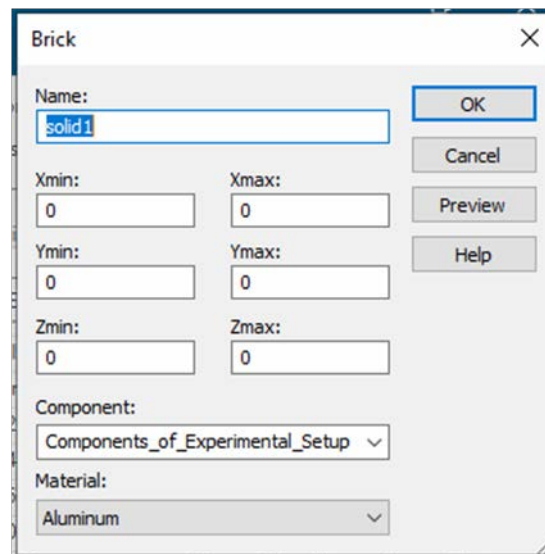
¹⁶⁶ Φυσικά στο CST δεν χρειάζεται να ορίσω μόνωση σε αυτό το αγωγίμο σύρμα, αφού δεν θα υπάρχει κίνδυνος να έρθει σε επαφή με άλλα αγωγίμα σημεία της διατάξεως, όπως συμβαίνει σε ένα πραγματικό πείραμα.

ως εξής. Πρώτα επιλέγουμε το είδος του στερεού που θέλουμε να φτιάξουμε από την καρτέλα Shapes της εργαλειοταινίας του Modeling.



Εικόνα 4.3: Το εργαλείο της δημιουργίας παραλληλεπιπέδου στο 3D Modeling [56].

Στην συνέχεια, αντί να εισέλθουμε στον χώρο σχεδίασης και να φτιάξουμε ένα στερεό «με το χέρι», πατούμε Esc και ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο, στο οποίο μπορούμε να ορίσουμε το στερεό μας με σαφήνεια συντεταγμένων, αλλά και παραμετρικά.



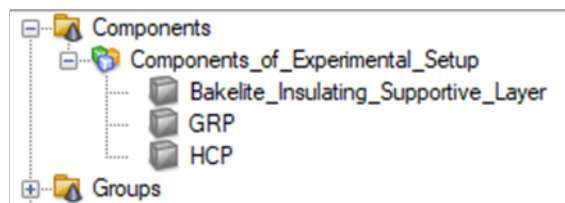
Εικόνα 4.4: Ο ορισμός ενός παραλληλεπιπέδου στο 3D Modeling μέσω σαφών συντεταγμένων [56].

Έτσι, με την χρήση των παραμέτρων που παραθέσαμε πιο πάνω (στην παράγραφο 4.1.3.2) και της δυνατότητας του 3D Modeling που μόλις εξηγήσαμε, μπορέσαμε να υλοποιήσουμε όλα τα 3D

αντικείμενα της πειραματικής διάταξης παραμετρικά, ελέγχοντας απόλυτα τον χώρο που θα καταλαμβάνουν, δεδομένης της θέσεως του σημείου $(0,0,0)$ ¹⁶⁷ Συγκεκριμένα:

- Το αλουμινένιο επίπεδο της γείωσης, GRP, εκτείνεται:
 - στον x άξονα από το $-GRP_Length/2$ μέχρι και το $GRP_Length/2$,
 - στον y άξονα από το 0 μέχρι και το $GRP_Thickness$ και
 - στον z άξονα από το $-GRP_Width/2$ μέχρι και το $GRP_Width/2$.
- Το αλουμινένιο επίπεδο της ζεύξης, HCP, εκτείνεται:
 - στον x άξονα από το $-HCP_Length/2$ μέχρι και το $HCP_Length/2$,
 - στον y άξονα από το $GRP_Thickness + Table_Height$ μέχρι και το $GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness$ και
 - στον z άξονα από το $-HCP_Width/2$ μέχρι και το $HCP_Width/2$.
- Το μονωτικό υποστηρικτικό στρώμα Βακελίτη, εκτείνεται:
 - στον x άξονα από το $(-HCP_Length/2) + Support_Distance_left$ μέχρι και το $(HCP_Length/2) - Support_Distance_right$,
 - στον y άξονα από το $GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness$ μέχρι και το $GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness$ και
 - στον z άξονα από το $(-HCP_Width/2) + Support_Distance_back$ μέχρι και το $(HCP_Width/2) - Support_Distance_front$.

Τα αντικείμενα αυτά, όπως όλα τα 3D αντικείμενα, φαίνονται από τα αριστερά στον φάκελο Components του Navigation Tree (βλ. την Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Τα διαφορετικά 3D αντικείμενα της πειραματικής διάταξης του ESD [56].

Σχόλιο ως προς τα πάχη και τα ύψη των αντικειμένων της πειραματικής διάταξης:

Δεδομένης της θέσεως του κέντρου των αξόνων ή σημείου αναφοράς του project (όπως επεξηγείται στη υποσημείωση 167), προκύπτει ότι όλα τα αντικείμενα της πειραματικής διάταξης θα βρίσκονται υψηλότερα από την αναφορά αυτή, δηλ. θα βρίσκονται σε θετικές τιμές της τεταγμένης y . Τώρα δεδομένου του πάχους του GRP, του ύψους του τραπεζιού (που όπως είπαμε δεν προσομοιώνεται αλλά υφίσταται μόνο ως ένας υψομετρικός διαχωρισμός του GRP και του HCP), του πάχους του HCP και του πάχους του μονωτικού στρώματος βακελίτη, έχουμε ότι εκεί που τελειώνει το ένα στρώμα ξεκινά το άλλο.

4.1.4.2 Υλικά των Αντικειμένων

Μετά την ολοκλήρωση της σωστής κατασκευής των στερεών, που χρειαζόνταν για να συσταθεί το περιβάλλον της ESD δοκιμής, επόμενο βήμα ήταν, κατά τα γνωστά, η ανάθεση των καταλλήλων υλικών σε αυτά. Όπως κάναμε μέχρι τώρα, υλικά, που εντοπίζουμε στην βιβλιοθήκη, τα χρησιμοποιούμε κανονικά, ενώ όταν αυτά απουσιάζουν, τα δημιουργούμε εμείς και τα εντάσσουμε στην βιβλιοθήκη. Έτσι, ανά στερεό ανατέθηκαν τα ακόλουθα υλικά.

¹⁶⁷ Στο συγκεκριμένο project η αρχή των αξόνων του global καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων, δηλ. το σημείο $(0,0,0)$, είναι στο κέντρο της κάτω επιφάνειας του GRP. Με βάση το σημείο αυτό δομούνται και τοποθετούνται όλα τα αντικείμενα του project.

1) Επίπεδο Γείωσης Αναφοράς (GRP):

Το επίπεδο GRP είναι κατασκευασμένο από Αλουμίνιο. Συνεπώς για την υλοποίησή του επιλέξαμε το υλικό Aluminum του Material Library. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Ειδική Αγωγιμότητα $\sigma = 3.56 \cdot 10^7 S/m$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$,
- Πυκνότητα $d = 2700 kg/m^3$.

2) Οριζόντιο Επίπεδο Ζεύξεως (HCP):

Το επίπεδο HCP είναι και αυτό κατασκευασμένο από Αλουμίνιο, οπότε επιλέξαμε και πάλι το υλικό Aluminum του Material Library.

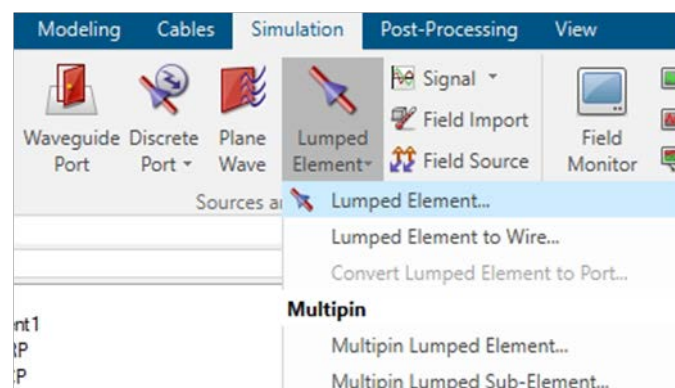
3) Υποστηρικτικό Μονωτικό Στρώμα Βακελίτη (Bakelite Insulating Supportive Layer):

Τα μονωτικά στρώματα Βακελίτη κατασκευάζονται συνήθως από εμποτισμό χαρτιού με ρητίνες φαινόλης – φορμαλδεΐδης. Αντίστοιχο όμως υλικό δεν υπήρχε στο Material Library. Έτσι προχωρήσαμε σε μια σύντομη βιβλιογραφική αναζήτηση για το υλικό αυτό και τις ηλεκτρικές του ιδιότητες ([30], [49], [51]). Έτσι προχωρήσαμε στην υλοποίηση του και την ένταξή του στην βιβλιοθήκη με την ονομασία: Bakelite (lossy). Το ονομάσαμε έτσι διότι του δηλώσαμε και τιμή για τον συντελεστή ηλεκτρικών απωλειών. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά $\epsilon_r = 5$,
- Συντελεστής (ηλεκτρικών) Απωλειών $\tan \delta$ ή Παράγοντας Διάχυσης (Dissipation Factor) ή Γωνία Απωλειών (Loss Angle) $\tan \delta = 0.045$ σε συχνότητα $1 MHz$,
- Σχετική Μαγνητική Διαπερατότητα $\mu_r = 1.0$ (προφανώς ως μονωτικό) και
- Πυκνότητα $d = 1.35 g/cm^3 = 1350 kg/m^3$.

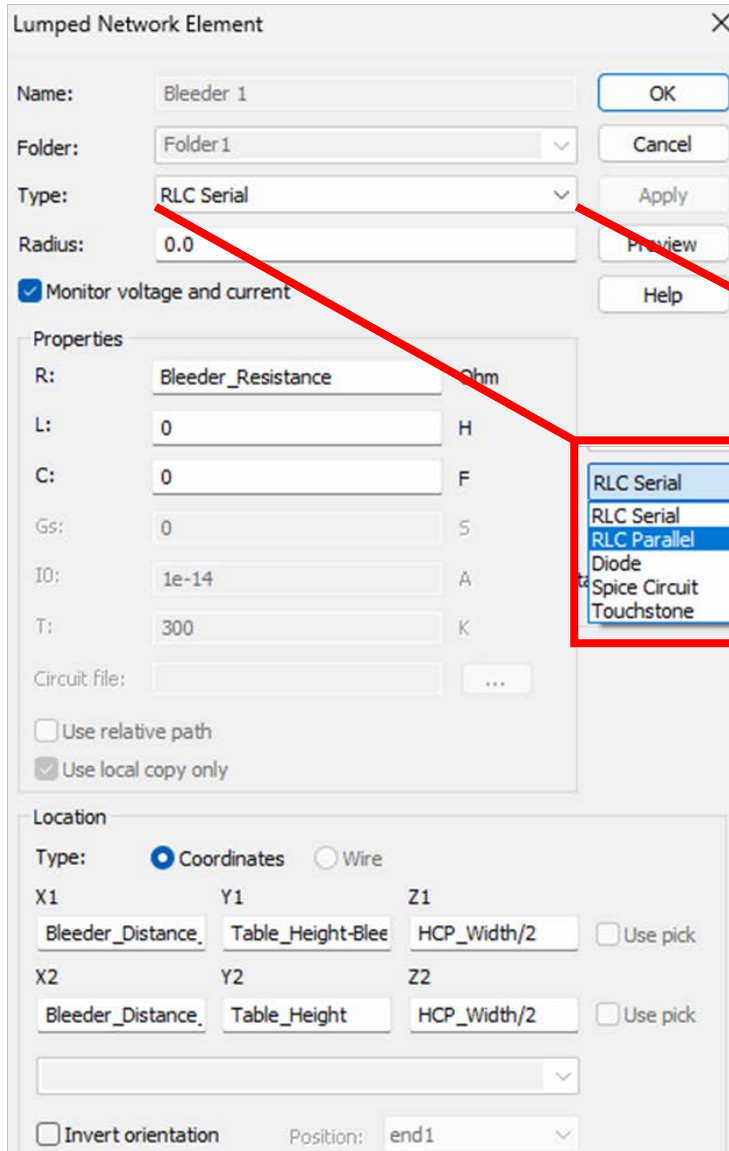
4.1.5 Ορισμός των Αντιστάσεων Αποφορτίσεως

Προκειμένου να ορίσουμε μία ωμική αντίσταση στον 3D χώρο, πρέπει να κάνουμε χρήση του εργαλείου που δημιουργεί συγκεντρωμένα στοιχεία (lumped elements). Το εργαλείο αυτό εντοπίζεται στην καρτέλα “Sources and Loads” της εργαλειοταινίας “Simulation”.



Εικόνα 4.6: Το εργαλείο του ορισμού συγκεντρωμένων κυκλωματικών στοιχείων στον 3D χώρο [56].

Με το εργαλείο αυτό ορίζουμε στον 3D χώρο ένα συγκεντρωμένο κυκλωματικό στοιχείο, το οποίο στην γενική περίπτωση μπορεί να είναι οτιδήποτε. Μπορεί να είναι ένα σύμπλεγμα εν σειρά ή εν παραλλήλω στοιχείων με οποιαδήποτε συμπεριφορά (ωμική, επαγωγική, χωρητική ή συνδυασμό τους, συμπεριφορά διόδου κ.α.). Μπορεί όμως και να είναι και κάτι πιο σύνθετο. Ακόμα και ένα σύνθετο κύκλωμα (δημιουργημένο εκτός CST, π.χ. με Spice), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7.



Για το πείραμα ESD η ακρίβεια της διατάξεως απαιτεί να υπάρχουν 2 αντιστάσεις απαγωγής του φορτίου, μία κοντά στο HCP και μία κοντά στο GRP [11]. Αυτές συνδέονται μεταξύ τους με έναν αγωγό και τέλος με το γεωμετρικό GRP. Για να τις ορίσουμε στον χώρο αξιοποιούμε την δυνατότητα του εργαλείου “Lumped Elements” να ορίζει

συγκεντρωμένα στοιχεία με σαφείς συντεταγμένες. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 4.7, για κάθε τέτοιο στοιχείο ορίζεται ένα σημείο σαν αρχή και ένα σημείο σαν πέρασ και μεταξύ τους ορίζεται το στοιχείο. Και μάλιστα οι συντεταγμένες των σημείων αυτών μπορούν να παραμετροποιηθούν, πράγμα που φυσικά εκμεταλλευτήκαμε απόλυτα (βλ. τις σχετικές παραμέτρους του Πίνακα 4.2). Οι θέσεις των δύο bleeders είναι:

Εικόνα 4.7: Τα ηλεκτρικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αντιστάσεως *Bleeder 1* [56].

Για το Bleeder 1:

1^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness} + \text{Table_Height} - \text{Bleeder_Distance_along_y_axis},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

2^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness} + \text{Table_Height},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

Για το Bleeder 2:

1^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

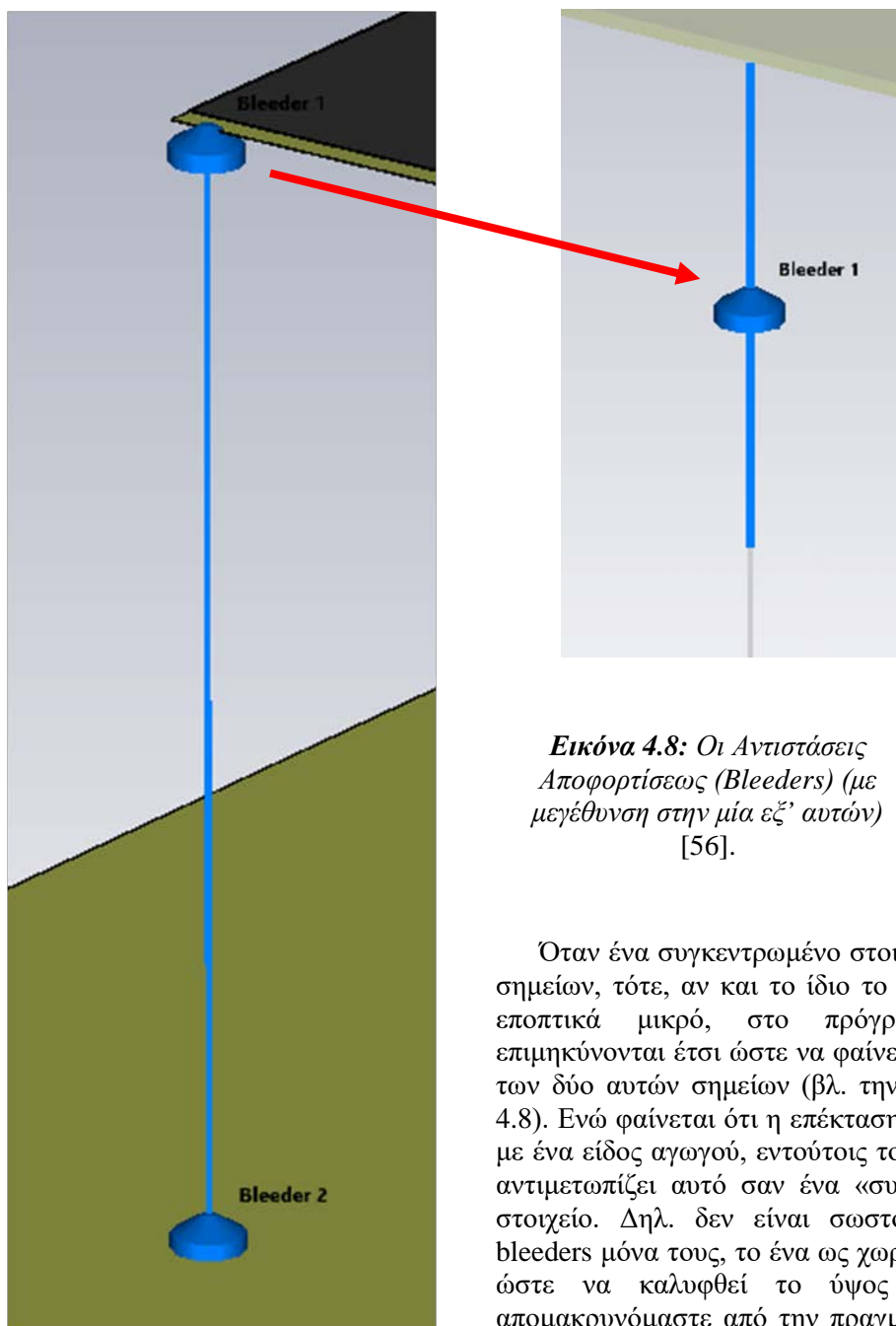
2^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness} + \text{Bleeder_Distance_along_y_axis},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

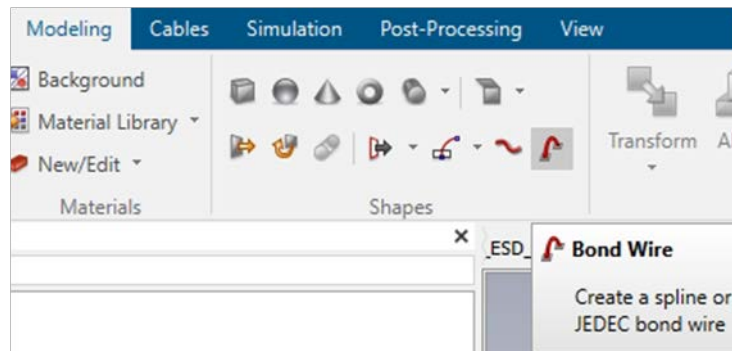
Παρατηρούμε ότι και τα δύο bleeders είναι κατακόρυφα και έχουν μήκος $\text{Bleeder_Distance_along_y_axis} = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$.



Εικόνα 4.8: Οι Αντιστάσεις Αποφορτίσεως (Bleeders) (με μεγέθυνση στην μία εξ' αυτών) [56].

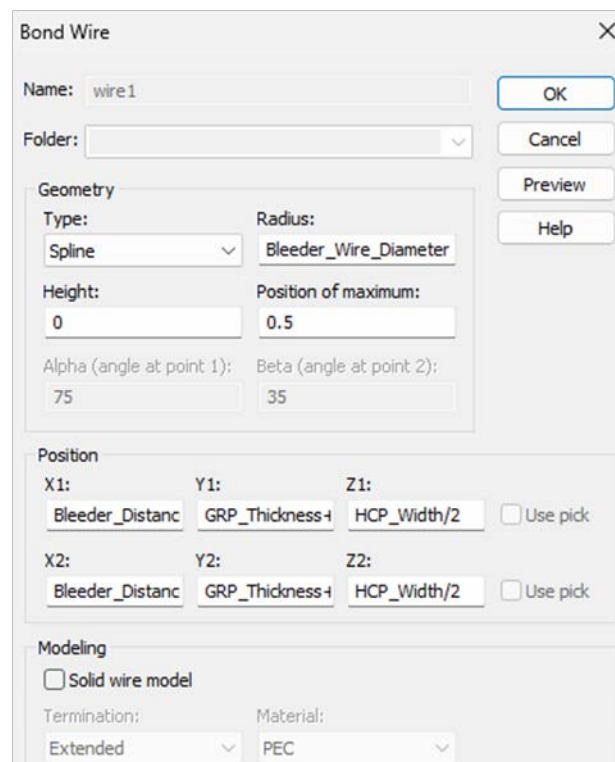
Όταν ένα συγκεντρωμένο στοιχείο ορίζεται μεταξύ δύο σημείων, τότε, αν και το ίδιο το στοιχείο μπορεί να είναι οπτικά μικρό, στο πρόγραμμα τα άκρα του επιμηκύνονται έτσι ώστε να φαίνεται ότι εκτείνεται μεταξύ των δύο αυτών σημείων (βλ. την μεγέθυνση της Εικόνας 4.8). Ενώ φαίνεται ότι η επέκταση αυτή των άκρων γίνεται με ένα είδος αγωγού, εντούτοις το CST εξακολουθεί να το αντιμετωπίζει αυτό σαν ένα «συμπαγές» συγκεντρωμένο στοιχείο. Δηλ. δεν είναι σωστό να ορίσουμε τα δύο bleeders μόνα τους, το ένα ως χωρική συνέχιση του άλλου, ώστε να καλυφθεί το ύψος του τραπεζιού, διότι απομακρυνόμαστε από την πραγματικότητα. Το ορθότερο

είναι να ορίσουμε και ένα αγωγίμο σύρμα που τα συνδέει. Αυτό γίνεται με το εργαλείο “Wire”. Αυτό το εργαλείο υπάρχει σε δύο μορφές: “Wire from Curve” και “Bond Wire”, οι οποίες εντοπίζονται αμφότερες στην καρτέλα “Shapes” της εργαλειοταινίας “Modeling” (βλ. Εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9: Το εργαλείο “Wire” (είναι επιλεγμένη η μορφή του εργαλείου με τίτλο “Bond Wire”, ενώ ακριβώς αριστερά βρίσκεται η μορφή “Wire from Curve”) [56].

Στην περίπτωση μας δεν μας εξυπηρετούσε το εργαλείο “Wire from Curve”, διότι θέλαμε απλά ένα κατακόρυφο σύρμα προς τα κάτω (το “Wire from Curve” θα εξυπηρετούσε αν θέλαμε να ορίσουμε αγωγό σύνθετης διαδρομής, που μόνο με ορισμό κατάλληλης καμπύλης θα μπορούσαμε να την χαράξουμε). Συνεπώς αυτό που ταίριαζε εδώ ήταν το εργαλείο “Bond Wire”. Με την χρήση λοιπόν αυτού του εργαλείου κατασκευάσαμε το σύρμα που ενώνει τα δύο bleeders. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 4.10: Τα χαρακτηριστικά του αγωγού που ενώνει τα Bleeders [56].

Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε στο κάτω μέρος τον ορισμό των άκρων του σύρματος, μέσω σαφών συντεταγμένων και προφανώς παραμετρικά. Οι συντεταγμένες που επιλέξαμε είναι:

Για το Σύρμα που ενώνει τα Bleeders:

1^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness} + \text{Bleeder_Distance_along_y_axis},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

2^ο άκρο:

$$x = \text{Bleeder_Distance_along_x_axis} - (\text{HCP_Length}/2),$$

$$y = \text{GRP_Thickness} + \text{Table_Height} - \text{Bleeder_Distance_along_y_axis},$$

$$z = \text{HCP_Width}/2.$$

Πάλι από την Εικόνα 4.10, από το πάνω μέρος της βλέπουμε ότι σαν τύπο σύρματος επιλέξαμε το “Spline”. Αυτός ο τύπος, όπως και με τις καμπύλες (βλ. την Εικόνα 4.15 και τα λεγόμενα στην υποενότητα 4.2.4) δημιουργεί ένα σύρμα που σχηματίζει μια γραμμή με τυχαία καμπυλότητα (όσο πιο φυσική θα λέγαμε) μεταξύ των δύο άκρων που έχουμε ορίσει. Φυσικά λοιπόν εν προκειμένω, η πιο φυσική διαδρομή είναι μία ευθεία. αφού οι x και z συντεταγμένες των άκρων του σύρματος είναι ίδιες, αντίστοιχα. Επίσης έχουμε ορίσει παραμετρικά την διάμετρο του αγωγίμου σύρματος. Οι άλλοι παράγοντες (“Height” και “Position of maximum”) δεν θα μας απασχολήσουν, καθώς αξιοποιούνται περισσότερο όταν το σύρμα “Bond Wire” χρησιμοποιείται για να συνδέσει τερματικά επί ενός επιπέδου, σχηματίζοντας «γέφυρα» μεταξύ τους (όπως σε πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων).

Τοιοτοτρόπως έχουμε ολοκληρώσει την κατασκευή των Αντιστάσεων Αποφορτίσεως του φαινομένου ESD, από το αλουμίνιο της επιφανείας του HCP.

Σχόλιο σχετικά με την αγωγή σύνδεση συγκεντρωμένων στοιχείων και άλλων αντικειμένων:

Όταν ένα συγκεντρωμένο στοιχείο (lumped element) ή ένα σύρμα (wire) έχει ένα άκρο σε ίδιες συντεταγμένες με ένα άλλο μεταλλικό αντικείμενο (είται 3D, είτε άλλο κυκλωματικό στοιχείο ή σύρμα), τότε αυτομάτως θεωρείται ότι υπάρχει αγωγή σύνδεση μεταξύ των αντικειμένων στο άκρο με τις κοινές συντεταγμένες. Αυτό δηλ. αρκεί για το CST για να σηματοδοτήσει αγωγή σύνδεση (χωρίς να χρειάζεται άλλη υπόδειξη). Απλώς δηλ. και μόνον το γεγονός της έκτασης ενός σύρματος (είται απλού σύρματος είτε άκρου συγκεντρωμένου στοιχείου, το οποίο φαίνεται σαν σύρμα) ακριβώς μέχρι το σημείο όπου ξεκινά ένα μεταλλικό 3D αντικείμενο (ή το άκρο ενός συγκεντρωμένου στοιχείου), διασφαλίζει από μόνο του την αγωγή σύνδεση σύρματος με το 3D αντικείμενο ή το συγκεντρωμένο στοιχείο.

Σχόλιο σχετικά με τις Αντιστάσεις Αποφορτίσεως στο Εργαστήριο Y. T.:

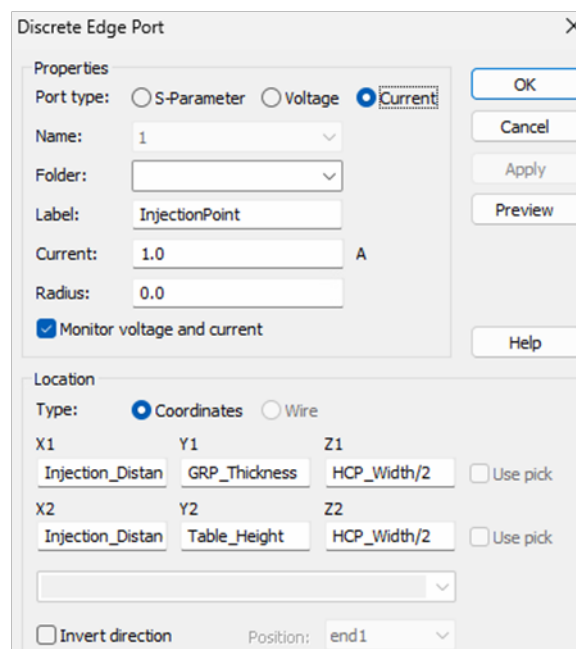
Καλό είναι να σημειώσουμε ότι στο Εργαστήριο Y. T., αντί για δύο αντιστάσεις, χρησιμοποιείται μία αντίσταση αποφορτίσεως (bleeder) με κατάλληλη τιμή. Και επίσης η οδήγησή της στο γειωμένο GRP, δεν γίνεται με αγωγή δρόμο απολύτως κατακόρυφο (όπως στην Εικόνα 4.8), αλλά με πιο ακανόνιστη καμπύλη γραμμή. Εμείς βέβαια προτιμήσαμε να κατασκευάσουμε το Project αυτό με τον πιο σωστό τρόπο, όσον αφορά τις δοκιμές ESD, αν και στο Εργαστήριο αυτό δεν έχει επιτευχθεί απόλυτα. Μάλιστα για τον λόγο αυτόν, όταν θα αναφερθούμε στην επαλήθευση του μοντέλου μας μέσω αντιστοίχου πειράματος στο Εργαστήριο (στο Κεφάλαιο 6), θα δημιουργήσουμε ένα άλλο Project για το τραπέζι του ESD (αντίστοιχο με αυτό), στο οποίο θα έχουμε ένα μόνο bleeder και ένα σύρμα, που θα το οδηγεί στο GRP, με πιο ακανόνιστο σχήμα, έτσι ώστε να πλησιάσουμε τις συνθήκες του εργαστηριακού πειράματος¹⁶⁸.

¹⁶⁸ Σε αυτό θα αναφερθούμε και στην παράγραφο 6.3.1.4.

4.1.6 Ορισμός της Εγγύσεως του Κρουστικού Ρεύματος

Για να οριστεί στον 3D χώρο του CST μία έγχυση ρεύματος, όπως και κάθε είδους διέγερση, πρέπει να οριστεί μια κατάλληλη «θύρα» εισαγωγής του σήματος της διέγερσης αυτής. Οι θύρες αυτές ονομάζονται “Discrete Ports” και το εργαλείο εισαγωγής τους εντοπίζεται στην καρτέλα “Sources and Loads” της εργαλειοταινίας “Simulation” (όπως συμβαίνει και για τα συγκεντρωμένα στοιχεία, βλ. την Εικόνα 4.6).

Επιλέγοντας το εργαλείο αυτό, μπορούμε να διαλέξουμε το είδος της διεγέρσεως που θα ορίσουμε, μεταξύ διεγέρσεως με σήμα τάσεως, με σήμα ρεύματος, ή με πηγή περιγραφόμενη από τις λεγόμενες Scattering Parameter, ή S-Parameters (οι οποίες συνηθίζονται για ηλεκτρονικά κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων). Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται το παράθυρο στο οποίο ορίζονται τα χαρακτηριστικά της θύρας.



Εικόνα 4.11: Τα χαρακτηριστικά της θύρας διεγέρσεως port1 [56].

Για τον ορισμό στον χώρο μιας θύρας διεγέρσεως, το εργαλείο “Discrete Ports” διαθέτει την δυνατότητα να ορίζει θέση με σαφείς συντεταγμένες (όπως και το εργαλείο “Lumped Elements”). Κατά τα γνωστά πλέον, η κάθε θύρα έχει ένα σημείο σαν αρχή και ένα σημείο σαν πέρας, που μεταξύ τους ορίζεται χωρικά, ως πηγή διέγερσης. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών μπορούν φυσικά να παραμετροποιηθούν, όπερ και εγένετο (βλ. τις σχετικές παραμέτρους του Πίνακα 4.2).

Σχόλιο σχετικά με τον τρόπο τοποθέτησης της θύρας διεγέρσεως στον χώρο:

Μια θύρα διεγέρσεως, όταν είναι θύρα ρεύματος, όπως στην προκειμένη περίπτωση, μπορεί να οριστεί και μεταξύ γειωμένης επιφάνειας και δοκιμίου που διεγείρεται, αλλά μπορεί και να οριστεί απ’ ευθείας επάνω στο δοκίμιο, σημειακά, ως έγχυση φορτίου. Εν αρχή επιλέξαμε να την ορίσουμε μεταξύ του GRP και του HCP, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.16, που θα ακολουθήσει. Όμως εν τέλει, στην προσομοίωση του πειράματος ESD (για την οποία θα μιλήσουμε στην ενότητα 6.3), επιλέξαμε να την ορίσουμε ως σημειακή έγχυση φορτίου στο μέσον της μπροστινής ακμής του HCP (βλ. την Εικόνα 6.12). Ανά περίπτωση λοιπόν, θα γίνει και ο κατάλληλος ορισμός συντεταγμένων, κατά την γνωστή πλέον διαδικασία. Προφανώς θα συμμετέχει η παράμετρος *Injection_Distance*, η οποία σχετίζεται κατ’ εξοχήν με το σημείο, όπου εφαρμόζεται η διέγερση.

4.2 Η Καμπύλη Οδεύσεως του Καλωδίου

Έχοντας υλοποιήσει ένα περιβάλλον κατάλληλο για να «φιλοξενήσει» πειραματικά ένα καλώδιο SpW, επόμενο βήμα είναι να δημιουργήσουμε το καλώδιο αυτό. Προκειμένου να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει να «χαράξουμε» έναν «δρόμο», μία «όδευση» πάνω στην οποία θα οριστεί το καλώδιό μας. Ακολούθως θα περιγράψουμε το πώς έγινε αυτό και το πώς παραμετροποιήθηκε. Οι ενέργειες που θα περιγραφούν στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο CST Project, το Table_for_ESD_Test.cst, στο οποίο δημιουργήθηκε το περιβάλλον της ESD Δοκιμής, εμπλουτίζοντάς το. Η αποθήκευση όμως των νέων Projects έγινε με άλλα ονόματα (βλ. την υποενότητα 4.2.2), για να διαφυλάσσονται οι διάφορες μορφές της διάταξης στα στάδια εμπλουτισμού της. Να σημειώσουμε ότι ορισμένες από τις υποενότητες και παραγράφους, που θα ακολουθήσουν, θα αναπτυχθούν σε οριζόντιο προσανατολισμό σελίδος, λόγω μακρόσυρτων μαθηματικών σχέσεων αλλά και μεγάλων εικόνων.

4.2.1 Ορισμός Καλωδίου στις 3 Διαστάσεις

Όπως αναλυτικά αναπτύξαμε στο Κεφάλαιο 2, το καλώδιο έχει υλοποιηθεί ως διατομή σε δύο σχετικά Projects, ένα για την Var. 01 και ένα για την Var. 02. Η διατομή αυτή έχει οριστεί σε 2 διαστάσεις. Προκειμένου αυτή η διατομή να αποκτήσει υπόσταση καλωδίου, πρέπει να γίνει προβολή της στην 3 διάσταση, αυτή του βάρους. Ως εκ τούτου θα προκύψει ένα τμήμα καλωδίου με την συγκεκριμένη διατομή.

Ο ορισμός – δημιουργία ενός καλωδίου, το οποίο οδεύει στον 3D χώρο, μπορεί να γίνει κατά βάσιν με δύο τρόπους, με την δημιουργία κόμβων και την επιλογή τους ώστε να ενωθούν με ένα τμήμα καλωδίου, ή με την δημιουργία μιας ενιαίας καμπύλης πάνω στην οποία θα «φορτωθεί» το καλώδιο.

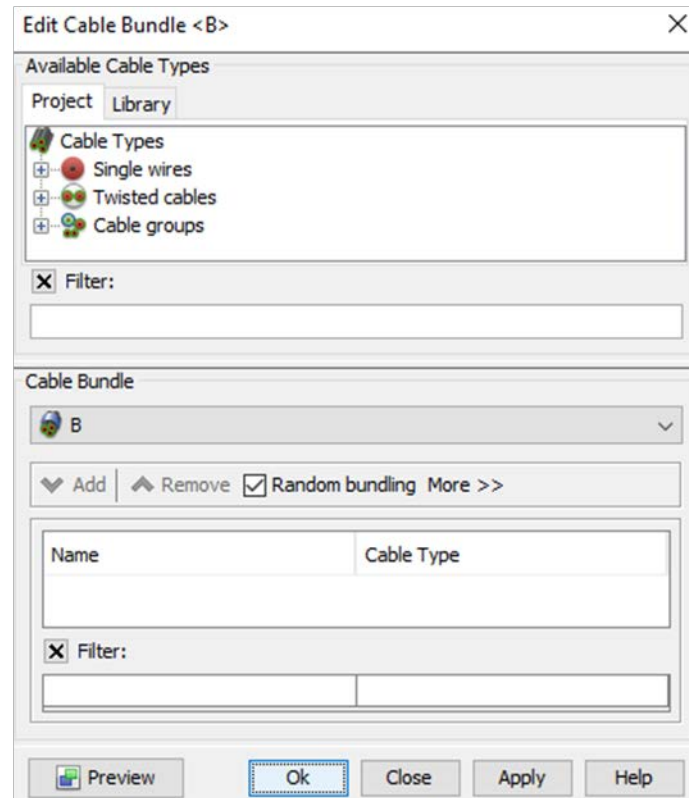
4.2.1.1 Με Δημιουργία Κόμβων

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο εργασίας, δημιουργούμε πρώτα όσους κόμβους (nodes) θέλουμε, από το Cable Studio, επιλέγοντας το σημείο του χώρου, όπου θέλουμε να οριστεί καθένας (οι αντίστοιχες εντολές έχουν εξηγηθεί στο Κεφάλαιο 3, στην υποενότητα 3.9.1, με τις Εικόνες 3.65 και 3.66, στην οποία τελευταία διαλέγουμε αν ο κόμβος μας θα αντιστοιχηθεί σε προεπιλεγμένο σημείο ή θα οριστεί με συγκεκριμένες συντεταγμένες.

Στην συνέχεια, αφού δημιουργήσουμε όσους κόμβους θέλουμε, τους ενώνουμε ανά δύο με ένα τμήμα καλωδίου, που έχει την συγκεκριμένη διατομή. Αυτό γίνεται με το εργαλείο της δημιουργίας νέας δέσμης καλωδίων, το Cable Bundles, από την καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio. Η χρήση του εργαλείου αυτού για την ένωση κόμβων με τμήματα καλωδίου που οδεύει στο 3D χώρο γίνεται και πάλι με δύο τρόπους:

A) Απ' ευθείας, με την επιλογή “Cable Bundle from Selected Nodes”:

Από τις επιλογές του Εργαλείου Cable Bundles, οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 3.68, διαλέγουμε εκείνη, που έχει όνομα: “Cable Bundle from Selected Nodes”. Ακολούθως επιλέγουμε με διπλό κλικ όσους κόμβους θέλουμε. Στην συνέχεια πατούμε Enter και προκύπτει το ακόλουθο παράθυρο:

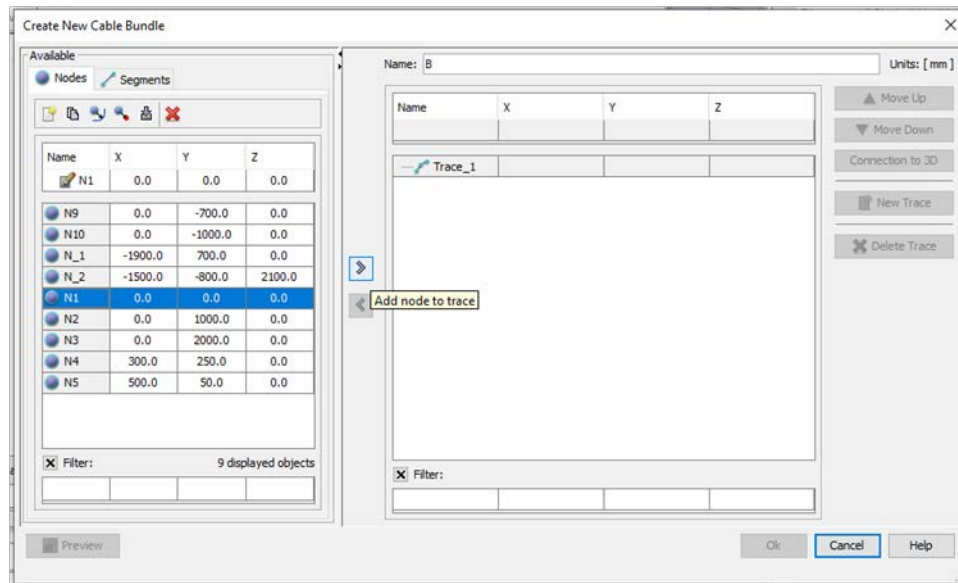


Εικόνα 4.12: Η ανάθεση συγκεκριμένης διατομής σε ένα γεοδημιουργηθέν καλώδιο στον 3D χώρο [56].

Από το πάνω μέρος του παραθύρου επιλέγουμε με τί είδος (δηλ. τί διατομή) καλωδίου, απ' όσα έχουμε φτιάξει ή υπάρχουν στην βιβλιοθήκη, θα ενωθούν οι κόμβοι αυτοί. Στην συνέχεια πατούμε Add από την μέση του παραθύρου και στο κάτω μέρος αυτού εμφανίζεται το καλώδιο που επιλέξαμε. Τέλος με το πάτημα του Ok δημιουργείται το καλώδιό μας. Όσους κόμβους κι αν έχουμε επιλέξει, με την παραπάνω ενέργεια θα δημιουργηθεί ένα καλώδιο που θα τους ενώνει, διαδοχικά τον κάθε έναν με τον επόμενο του, με την σειρά που τους επιλέξαμε.

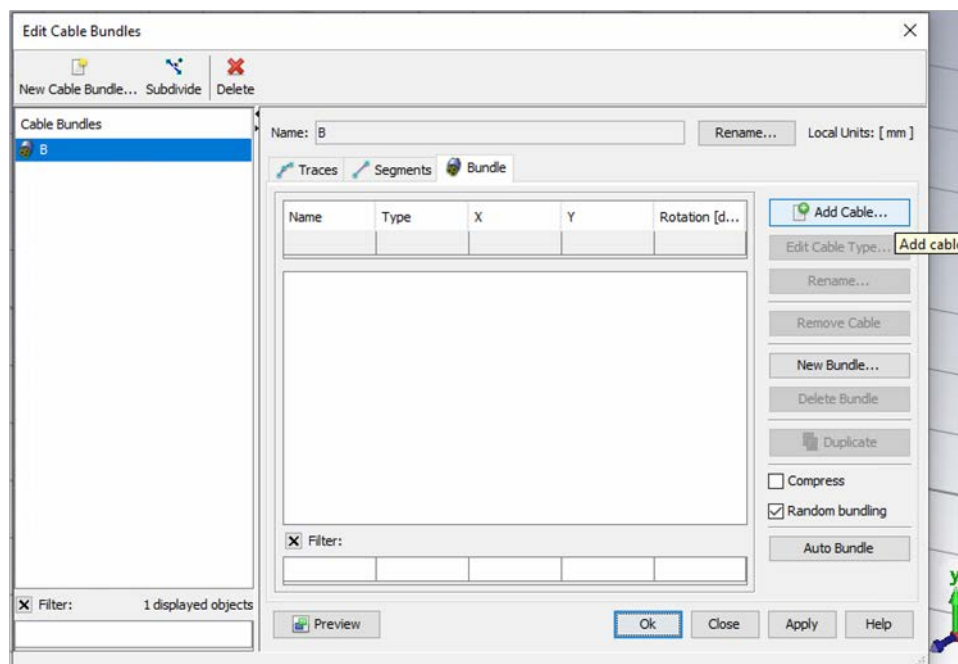
A) Συστηματικά, με την επιλογή “Edit Cable Bundles...”:

Ο πιο συστηματικός τρόπος δημιουργίας καλωδίου από κόμβους είναι από την επιλογή “Edit Cable Bundles...”, εξ' αυτών που φαίνονται στην Εικόνα 3.68. Στο πρώτο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγουμε το New Cable Bundle, πάνω αριστερά. Ακολούθως ανοίγει ένα άλλο παράθυρο, όπως αυτό που ενδεικτικά παραθέτουμε εδώ:



Εικόνα 4.13: Η συστηματική επιλογή των κόμβων για την δημιουργία ενός καλωδίου στον 3D χώρο [56].

Αυτό είναι το βασικό περιβάλλον δημιουργίας καλωδίων από κόμβους που έχουν ήδη οριστεί. από το αριστερό μέρος του παραθύρου αυτού, επιλέγουμε έναν έναν τους κόμβους, που θέλουμε να συμπεριλάβουμε στο καλώδιό μας και για κάθε έναν πατούμε το δεξιό βελάκι στην μέση του παραθύρου. Έτσι οι κόμβοι εισάγονται στο ίχνος πάνω στο οποίο θα φορτωθεί το καλώδιό μας. Μετά πατούμε Ok. Τέλος, στο νέο παράθυρο που μας ανοίγεται, πατούμε δεξιά το πλήκτρο Add Cable και επιλέγουμε, από το μενού που θα ανοίξει, τι καλώδιο θέλουμε να φορτώσουμε στην τεθλασμένη γραμμή, που προκύπτει από τους κόμβους που επιλέξαμε.

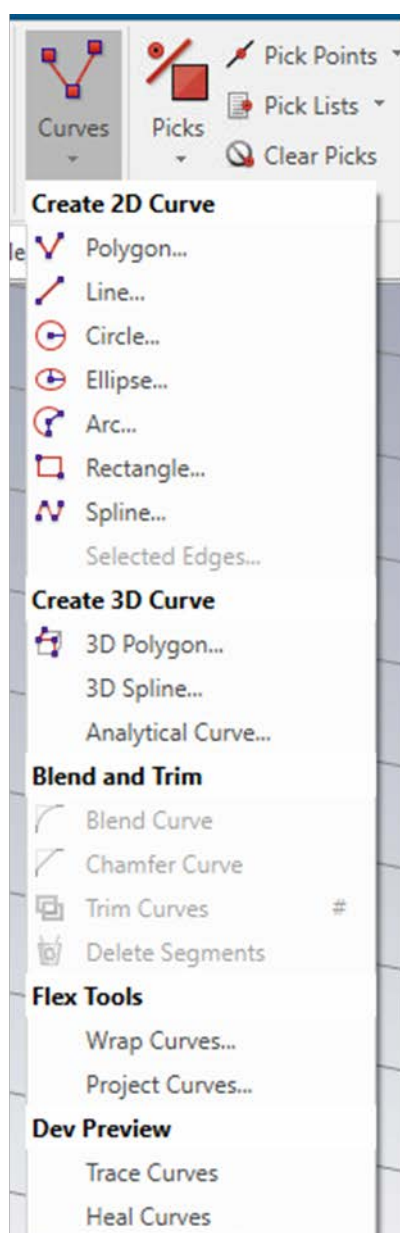


Εικόνα 4.14: Η ανάθεση συγκεκριμένης διατομής σε ένα νεοδημιουργηθέν καλώδιο στον 3D χώρο, από την επιλογή “Edit Cable Bundles...” [56].

Το προφανές μειονέκτημα είναι ότι και με τους δύο παραπάνω τρόπους της παραγράφου αυτής, μπορούμε δημιουργούμε μόνο ευθύγραμμα τμήματα καλωδίου, αυτόνομα (από 2 κόμβους) ή ενωμένα μεταξύ τους (από περισσότερους των 2 κόμβων), δηλ. τεθλασμένες γραμμές πάνω στις οποίες είναι ορισμένο ένα καλώδιο Γι' αυτό και για την υλοποίηση των «καλωδίων» που προσομοίωσαν τις επαφές των συνδέσμων σε δεσμική κατάσταση οι παραπάνω τρόποι ήταν απόλυτα εξυπηρετικοί (βλ. υποενότητα 3.9.1). Δεν ισχύει όμως αυτό και στην προκειμένη περίπτωση, όπου θέλουμε να φτιάξουμε ένα τμήμα καλωδίου SpW με κατάλληλη καμπυλότητα.

4.2.1.2 Με Δημιουργία Καμπύλης

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο εργασίας, δημιουργούμε πρώτα μια καμπύλη στον χώρο του 3D Modeling. Έπειτα πάνω σε αυτή την καμπύλη «φορτώνουμε» το καλώδιο που έχουμε έτοιμο σαν διατομή από το Cable Studio.



Εικόνα 4.15: Τα διαφορετικά είδη καμπυλών στο 3D Modeling [56].

Υπάρχουν πολλά είδη καμπυλών, που μπορούν να φτιαχτούν στο 3D Modeling του CST. Στην Εικόνα 4.15 βλέπουμε ποιά είναι αυτά, όπως παρουσιάζονται στην καρτέλα Curves, από την εργαλειοταξινόμηση του Modeling.

Αναλόγως τι είδος καμπύλης θέλουμε να έχει το καλώδιο, επιλέγουμε αντίστοιχα. Προφανώς αφού η καμπύλη αυτή προορίζεται να λειτουργήσει σαν «οδηγός» οδεύσεως ενός καλωδίου, οφείλει να είναι ανοικτή, δηλ. με ορατά άκρα και όχι κλειστή, έτσι ώστε τα άκρα της να είναι τα τερματικά άκρα του καλωδίου.

Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τώρα, απ' ότου έχουμε ορίσει την καμπύλη στον χώρο, ακόμη κι αν είναι τεθλασμένη γραμμή (όπως π.χ. η 3D polygon από την Εικόνα 4.15), μπορούμε να της εισάγουμε καμπυλότητα στα επιθυμητά σημεία. Αυτό γίνεται πολύ εύκολα με την δυνατότητα Blend Curve, που φαίνεται και αυτή στην παραπάνω εικόνα. Μάλιστα η καμπυλότητα αυτή είναι ελεγχόμενη, αφού η ακτίνα της ορίζεται από εμάς (θα εξηγήσουμε την λειτουργία αυτής της δυνατότητας στην παράγραφο 4.2.4.2).

Στην συνέχεια, αφού δημιουργήσουμε την καμπύλη μας, μεταβαίνουμε στην εργαλειοταξινόμηση του Cable Studio και από τις επιλογές του Εργαλείου Cable Bundles, οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 3.68, διαλέγουμε εκείνη, που έχει όνομα: “Cable Bundle from Curve”. Ακολούθως επιλέγουμε με διπλό κλικ από τον 3D χώρο την ανοικτή (δηλ. με αρχή και πέρας και όχι κλειστή) καμπύλη πάνω στην οποία θέλουμε να ορίσουμε το καλώδιό μας και στην συνέχεια ανοίγει και πάλι το παράθυρο που παραθέσαμε στην Εικόνα 4.12. από το πάνω μέρος του παραθύρου αυτού επιλέγουμε τί είδος (δηλ. τί διατομή) καλωδίου, απ' όσα έχουμε φτιάξει ή υπάρχουν στην βιβλιοθήκη, θα φορτωθεί πάνω στην καμπύλη. Στην συνέχεια πατούμε Add από την μέση του παραθύρου και στο κάτω μέρος αυτού εμφανίζεται το καλώδιο που επιλέξαμε. Τέλος με το πάτημα του Ok δημιουργείται το καλώδιό μας. Μάλιστα με τον τρόπο αυτό, το CST από μόνο του δημιουργεί δύο κόμβους στο νέο καλώδιο, έναν στην αρχή και έναν στο πέρας της καμπύλης.

Ακριβώς λόγω της δυνατότητας εισαγωγής καμπυλότητας, αυτός είναι και ο τρόπος ορισμού της καμπύλης οδεύσεως του καλωδίου που εν τέλει επιλέξαμε.

4.2.2 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST

Στην υποενότητα αυτή θα παραθέσουμε, όπως συνηθίζουμε, όλα εκείνα τα αρχεία του CST, τα οποία κρίναμε σκόπιμο να διατηρήσουμε. Θα εξηγήσουμε μάλιστα και τους λόγους που έγινε η επιλογή αυτών των αρχείων.

Η όδευση του καλωδίου (δηλ. η καμπύλη πάνω στην οποία θα φορτωθεί) «χαράχθηκε» – σχεδιάστηκε επάνω στο τραπέζι της ESD δοκιμής (δηλ. στο ήδη υπάρχον Project Table_for_ESD_Test.cst). Προκειμένου όμως να διατηρηθεί και η μορφή του πειραματικού τραπεζιού χωρίς κάτι άλλο επάνω του (ώστε να μπορεί εν δυνάμει να χρησιμοποιηθεί και για τον σχεδιασμό μιας άλλης καμπύλης ή και για μια άλλη εφαρμογή), αποθηκεύσαμε εκ νέου με άλλο όνομα το αρχείο στο οποίο ξεκινήσαμε τον σχεδιασμό της καμπύλης. Εν τέλει, από την εργασία μας αυτή, δύο είναι τα αρχεία που προκύπτουν:

- **Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_unblended.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst**

Το πρώτο αρχείο είναι αυτό στο οποίο η καμπύλη βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της τεθλασμένης γραμμής, ενώ το δεύτερο είναι αυτό, στο οποίο αυτή έχει λάβει και τις σωστές καμπυλότητες. Επιλέξαμε να κρατήσουμε, εκτός από το αρχείο με την καμπύλη στην τελική της μορφή, και το αρχείο στο οποίο η καμπύλη είναι ακόμη τεθλασμένη γραμμή (όπως θα εξηγήσουμε και στην παράγραφο 4.2.4.2, που θα ακολουθήσει). Και τα δύο αυτά αρχεία έχουν την ίδια λίστα παραμέτρων (αφού το δεύτερο προέρχεται από εκ νέου αποθήκευση του πρώτου και απλή εφαρμογή καμπυλότητας σε κάποια σημεία). Επίσης να αναφέρουμε ότι τα αρχεία αυτά έχουν στις παραμέτρους τους τις τιμές εκείνες, που δίνουν καμπύλη για καλώδιο 3 m (από τα δύο δυνατά μήκη καλωδίου, 3 m και 10 m, στα οποία θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στην υποενότητα 4.2.5).

Όπως θα εξηγήσουμε και στην συνέχεια, η παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών της καμπύλης θα μας παράσχει την δυνατότητα, με απλή αλλαγή τιμών παραμέτρων, να δημιουργούμε μια καμπύλη διαφορετικού μήκος από την αρχική. Όπως είπαμε μόλις, αλλά και θα αναλύσουμε και αργότερα, εκτός της δυνατότητας για αυθαίρετη δοκιμή διαφορετικών μηκών καλωδίου, υπάρχει και ανάγκη να μπορούν να προσομοιωθούν δύο συγκεκριμένα μήκη καλωδίου SpW (των 3 m και 10 m), διότι αυτά υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ. Τ.. Δεν ήταν όμως τόσο εύχρηστο να έχουμε διατηρήσει μόνο ένα Project με την καμπύλη (δηλ. το Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst) και όταν αργότερα συνδυαστεί με την διατομή του καλωδίου και τους συνδέσμους (κάτι που θα δούμε στο Κεφάλαιο 5), να πρέπει να αλλάζουμε διαρκώς τιμή στις παραμέτρους του, ώστε να αφορά μία το καλώδιο των 3 m και μία το καλώδιο των 10 m. Προκειμένου λοιπόν να έχουμε δυνατότητα να αποθηκεύουμε και να χειριζόμαστε και τα δύο μήκη καλωδίου, σώσαμε μία φορά το Project Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst με τις παραμέτρους να έχουν τιμές που σχετίζονται με το καλώδιο 3 m και έπειτα, αφού κάναμε την αλλαγή τιμής στην κατάλληλη παράμετρο (την l1, όπως θα δούμε στις επόμενες υποενότητες), ξανασώσαμε το αρχείο με νέο όνομα. Πλέον δηλ. έχουμε δύο αρχεία, τα οποία ονομάσαμε:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve.cst**

Αυτό ήταν αναγκαίο, διότι, αν έχουμε μόνο ένα αρχείο της καμπύλης (έστω το Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst) και με βάση αυτό δημιουργήσουμε ένα πλήρες συναρμολόγημα καλωδίου SpW μήκους π.χ. 3 m (κάτι που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο), αν κατόπιν θέλουμε να αλλάξουμε τα χαρακτηριστικά του Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst, ώστε να ανταποκρίνονται σε καλώδιο 10 m (με σκοπό να φτιάξουμε και ένα δεύτερο αρχείο συναρμολογήματος καλωδίου SpW μήκους 10 m) τότε θα επηρεαστεί και το πρώτο αρχείο του συναρμολογήματος του καλωδίου των 3 m, και αυτό διότι το «αρχείο βάσεως» ή το Sub-Project (όπως θα το ονομάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο) Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst είναι κοινό και στα δύο τελικά αρχεία συναρμολογήματος.

Με μια γρήγορη ματιά θα μπορούσαμε να πούμε ότι, πλέον διαθέτουμε τα αρχεία που χρειαζόμαστε για να συνεχίσουμε την εργασία μας. Όμως, με λίγη περισσότερη προσοχή κάναμε τις ακόλουθες σκέψεις. Όπως θα αναπτύξουμε και θα εξηγήσουμε και αργότερα, στο Κεφάλαιο 5, τα αρχεία της καμπύλης πρόκειται πρώτα να συνδυαστούν με τα αρχεία των βυσμάτων. Αυτό φυσικά γίνεται με ακριβώς τον ίδιο τρόπο για κάθε μήκος καμπύλης, χωρίς πρόβλημα. Εκεί που χρειάζεται προσοχή είναι όταν τα αρχεία αυτά, καμπύλης και συνδέσμων, συνδυαστούν με τα αρχεία της διατομής του κάθε καλωδίου. Όπως θα δούμε στην υποενότητα 5.5.1, για τον συνδυασμό αυτόν είναι αναγκαίο να έχουμε φορτώσει από πριν στα αρχεία της καμπύλης και την λίστα παραμέτρων της διατομής του SpW, που πρόκειται να συνδυαστεί. Υποθέτουμε λοιπόν, ενδεικτικά μιλώντας, ότι στο αρχείο `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst` φορτώνουμε τις παραμέτρους της Var. 01 του SpW, ώστε να δημιουργήσουμε ένα αρχείο συναρμολογήματος καλωδίου SpW, Var. 01, μήκους 3 m. Αν στην συνέχεια, θέλοντας να δημιουργήσουμε και ένα αρχείο συναρμολογήματος καλωδίου SpW, Var. 02, μήκους 3 m, επιχειρήσουμε να φορτώσουμε στο `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst` τις παραμέτρους της Var. 02, τότε θα έχουμε αναπόφευκτα την εμφάνιση μηνυμάτων λαθών, λόγω του ότι θα υπάρχουν παράμετροι με ίδιο όνομα αλλά διαφορετικούς τύπους υπολογισμού. Εκτός λοιπόν από την ανάγκη διακρίσεως μεταξύ των αρχείων της καμπύλης για τα δύο δυνατά μήκη καλωδίου, είναι απαραίτητο να υπάρξει διάκριση και ως προς τον τύπο του καλωδίου (αν δηλ. είναι Var. 01 ή Var. 02). Δηλ. είναι αναγκαίο να έχουμε χωριστά αρχεία καμπύλης καλωδίου και για την μελλοντική προοπτική των δύο δυνατοτήτων παραλλαγής του καλωδίου SpW. Συνδυαστικά λοιπόν χρειαζόμαστε 4 διαφορετικά αρχεία (που βέβαια ξεκινούν όλα ως αντίγραφα του ίδιου αρχείου, του `Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst`), τα οποία όμως είναι αναγκαίο να είναι διακριτά σε όνομα για να γίνονται χωρίς πρόβλημα οι εισαγωγές τους σαν Sub-Projects στα τελικά αρχεία και οι εισαγωγές σε αυτά άλλων παραμέτρων ή/και οι πιθανές αλλαγές σε τιμές των παραμέτρων τους (χωρίς να υπάρχει επηρεασμός μεταξύ τους). Τα 4 διαφορετικά αυτά αρχεία είναι τα ακόλουθα:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**

Εκ των τεσσάρων αυτών αρχείων, τα δύο πρώτα προέρχονται από εκ νέου αποθήκευση του `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst` (άρα οι παράμετροί τους είναι ενημερωμένες για το μήκος των 3 m) και τα δύο τελευταία από εκ νέου αποθήκευση του `Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve.cst` (άρα οι παράμετροί τους είναι ενημερωμένες για το μήκος των 10 m).

Στην παρούσα φάση τους, τα αρχεία αυτά έχουν ανά δύο ίδιες τιμές σε όλες τις παραμέτρους τους (τα δύο αρχεία που αφορούν στα 3 m μεταξύ τους και τα δύο αρχεία που αφορούν στα 10m μεταξύ τους). Όταν βέβαια συνδυαστούν με τα αρχεία των διατομών, τότε θα υπάρξουν και άλλες αλλαγές καθώς η λίστα παραμέτρων τους θα εμπλουτιστεί με τις παραμέτρους της κάθε διατομής. Αυτή η αλλαγή μάλιστα έχει και συνέπεια χωροταξική για την καμπύλη, καθώς η παράμετρος `to_be_replaced_with_Cable_Diameter`, θα λάβει διαφορετικές τιμές μεταξύ Var. 01 και Var. 02 και επειδή η παράμετρος αυτή συμμετέχει στην τοποθέτηση της καμπύλης, κατά συνέπεια θα υπάρξουν μικρές αλλαγές και στην θέση της στον χώρο.

Σχόλιο σχετικά με τις διαφορές τιμών παραμέτρων στα αρχεία της καμπύλης του καλωδίου:

Στην κατάσταση αυτή των αρχείων μας (πριν τον περαιτέρω συνδυασμό τους, που θα τον αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο), το σημαντικό είναι να μην ξεχάσουμε να ενημερώσουμε τις παραμέτρους που υπάρχουν και σχετίζονται με το μήκος του καλωδίου και την παραλλαγή της διατομής του. Αυτές, όπως θα δούμε στην υποενότητα 4.2.3, είναι η παράμετρος `l1` (που λαμβάνει δύο τιμές, αναλόγως αν είμαστε στην καμπύλη μήκους 3 m ή 10 m) και η παράμετρος `Variant_of_SpW_Cable` (που λαμβάνει προφανώς τιμές 01 ή 02, αναλόγως την παραλλαγή).

Εκ των ανωτέρω αρχείων, φυσικά τα πιο σημαντικά και αυτά τα οποία θα συνεχίσουμε να τα χρησιμοποιούμε στην εργασία μας (όπως θα αναφέρουμε στην υποενότητα 5.3.2, που ακολουθεί) είναι τα τελευταία 4. Όλα τα προηγούμενα έχουν διατηρηθεί, ως βασικά αρχεία στην όλη πορεία της

εργασίας αλλά και για το ενδεχόμενο που κάποιος ενδιαφερόμενος θέλει να πειραματιστεί με αυτά. Ακολουθεί ο σχετικός Πίνακας με το ποιές παραμέτρους χρησιμοποιεί κάθε αρχείο.

Πίνακας 4.3: Υπόμνημα των Παραμέτρων που χρησιμοποιεί κάθε Project.

Ονομασία Project	Λίστα Παραμέτρων
Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_unblended.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4. Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4. Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4. Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4. Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4 ¹⁶⁹ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4 ¹⁷⁰ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4 ¹⁷¹ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 4.2 και 4.4 ¹⁷² . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m.

¹⁶⁹ Μέχρι αυτό το σημείο, αυτές είναι οι παράμετροι αυτού του αρχείου. Όπως όμως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο (και συγκεκριμένα στην παράγραφο 5.3.2.2), το Parameter List αυτού του αρχείου θα πρέπει να εμπλουτιστεί περισσότερο.

¹⁷⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 169.

¹⁷¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 169.

¹⁷² Βλ. ανωτ. υποσ. 169.

4.2.3 Παραμετροποίηση της Καμπύλης του Καλωδίου

Όπως αναφέραμε στην αρχή της ενότητας 4.2, ευρισκόμενοι πάντοτε στο ίδιο Project στο CST, το Table_for_ESD_Test.cst (το οποίο περιλαμβάνει και την Πειραματική Διάταξη του ESD), έπρεπε να προχωρήσουμε στην δημιουργία της καμπύλης, που θα όριζε την οδευση του καλωδίου στον χώρο. Πλέον λοιπόν το αποθηκεύσαμε με νέο όνομα, ξεκινώντας από το Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_unblended.cst (και σταδιακά προχωρήσαμε και στα επόμενα αρχεία του Πίνακα 4.3). Ακολουθώντας πάντοτε την τακτική της πλήρους παραμετροποίησης των ενεργειών μας, έπρεπε πρώτα να εμπλουτίσουμε την μέχρι τώρα δημιουργηθείσα λίστα παραμέτρων (όπως παρουσιάστηκε στον Πίνακα 4.2). Προκειμένου λοιπόν να εξηγήσουμε το πώς ορίστηκε η καμπύλη του καλωδίου στον χώρο, θα παραθέσουμε πρώτα τις σχετικές παραμέτρους που δημιουργήθηκαν.

4.2.3.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης

Η ανάγκη της δημιουργίας παραμέτρων, οι οποίες θα ελέγχουν την καμπύλη οδεύσεως του καλωδίου SpW, είναι απολύτως λογική. Όπως έχουμε αναφέρει στην υποενότητα 4.1.1, το καλώδιο θα δημιουργεί έναν βρόχο επάνω στο φύλλο του Βακελίτη, έχοντας τα δύο άκρα του να ξεκινούν και να τερματίζουν στην ίδια μεριά του τραπεζιού, στην κονσόλα του iSAFT Simulator. Είναι λοιπόν προφανές ότι συχνά θα χρειάζεται να δοκιμαστεί ένα διαφορετικό άπλωμα του καλωδίου. Π.χ. μπορεί ο εκάστοτε πειραματιζόμενος να θέλει να δοκιμάσει έναν βρόχο με πιο μικρή ή πιο μεγάλη καμπυλότητα. Επίσης μπορεί να θέλει να δοκιμάσει να έχει περισσότερο ή λιγότερο μήκος καλωδίου πάνω στο τραπέζι της ESD δοκιμής. Συνεπώς, με το να έχουμε ορίσει παραμετρικά όλες τις γεωμετρικές λεπτομέρειες της καμπύλης, στην οποία θα φορτωθεί το καλώδιο, μπορούμε να εξασφαλίσουμε πολύ εύκολη και γρήγορη προσαρμογή του προσομοιωτικού μας μοντέλου στα τροποποιούμενα δεδομένα του φυσικού συστήματος.

4.2.3.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Οι παράμετροι, που περιγράφουν την οδευση του καλωδίου, δηλ. σχετίζονται με την θέση της καμπύλης (και χρειάστηκαν στα Projects του Πίνακα 4.3, επιπλέον αυτών που αφορούσαν την πειραματική διάταξη του ESD και που παρετέθησαν παραπάνω, στην παράγραφο 4.1.3.2) είναι:

Πίνακας 4.4: Λίστα Παραμέτρων της Καμπύλης Οδεύσεως του Καλωδίου (απο το Project Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_unblended.cst¹⁷³).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ¹⁷⁴	
Καμπύλη Οδεύσεως του Καλωδίου			
1	<i>to_be_replaced_with_Cable_Diameter</i>	0 mm	
	Η διάμετρος (σε mm) του καλωδίου SpW, που θα φορτωθεί στην καμπύλη.		
2	<i>d1</i>	200 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον z άξονα, του μπροστινού ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης από την μπροστινή άκρη του βακελίτη.		
3	<i>d2</i>	400 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον z άξονα, του πίσω ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης από την μπροστινή άκρη του βακελίτη.		
4	<i>d3</i>	440 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, του αριστερού ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης (όταν είναι ακόμη τεθλασμένη) από την αριστερή άκρη του βακελίτη.		
5	<i>Minimum_Insulating_Distance</i>	100 mm	
	Η ελάχιστη απόσταση (σε mm) που το καλώδιο πρέπει να έχει από το άκρο του βακελίτη.		
6	<i>x_coordinate_of_dimension_d1</i>	400 mm	
	Η τετμημένη των σημείων, που χρησιμοποιήθηκαν για να ορίσουν την απόσταση <i>d1</i> εποπτικά στην διάταξή μας ¹⁷⁵ .		
7	<i>distance_between_dimensions_d1_and_d2</i>	100 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, που χρησιμοποιείται για να διαχωρίζονται εποπτικά οι αποστάσεις <i>d1</i> και <i>d2</i> .		
8	<i>l1</i>	Για καλώδιο 3 m:	Για καλώδιο 10 m:
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, ξεκινώντας από την δεξιά άκρη του HCP μέχρι την πρώτη γωνία της τεθλασμένης γραμμής έξω από το τραπέζι.	92.5 mm	3592.5 mm

¹⁷³ Βλ. ανωτ. υποσ. 149.¹⁷⁴ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.¹⁷⁵ Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το κέντρο (0,0,0) του καθολικού (global) συστήματος συντεταγμένων είναι στο κέντρο της κάτω επιφανείας του GRP και ότι οι άξονες έχουν βαθμονομηθεί σε mm.

9	<i>l2</i>	Για καλώδιο 3 m:	Για καλώδιο 10 m:
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, από την πρώτη γωνία της τεθλασμένης γραμμής έξω από το τραπέζι μέχρι την δεύτερη γωνία αυτής.	28 mm	28 mm
10	<i>l3</i>	Για καλώδιο 3 m:	Για καλώδιο 10 m:
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον x άξονα, από την δεύτερη γωνία της τεθλασμένης γραμμής έξω από το τραπέζι μέχρι το πέρας της.	137.7 mm	137.7 mm
11	<i>Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector</i>	5 mm	
	Η απόσταση (σε mm) από το άκρο της καμπύλης μέχρι την πίσω επιφάνεια του αρσενικού βύσματος.		
12	<i>Distance_between_adjacent_SpW_Ports</i>	21.075 mm	
	Η απόσταση (σε mm) δύο διαδοχικών θυρών SpW στην κονσόλα του iSAFT.		
13	<i>Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver</i>	63.225 mm	
	Η απόσταση (σε mm), κατά τον z άξονα, των άκρων της καμπύλης του καλωδίου.		
14	<i>h</i>	107 mm	
	Το ύψος (σε mm), κατά μήκος του y άξονα, από το κέντρο του καλωδίου, όταν είναι επί του βακελίτη μέχρι το κέντρο της πίσω όψης του κονέκτορα.		
15	<i>Variant_of_SpW_Cable</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Η παραλλαγή του καλωδίου SpW, που θα φορτωθεί στην καμπύλη.	01	02
16	<i>Minimum_Bend_Radius</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Η ελάχιστη ακτίνα κάμψεως (σε mm), που επιτρέπεται να έχει το καλώδιο SpW.	45 mm	60 mm
17	<i>Inner_Bend_Radiious_1_near_connectors</i>	71.7 mm	
	Η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) στο πρώτο σημείο καμπής του καλωδίου, αμέσως μετά τους κονέκτορες.		
18	<i>Inner_Bend_Radiious_2_near_connectors</i>	46.6 mm	
	Η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) στο δεύτερο σημείο καμπής του καλωδίου, αμέσως μετά τους κονέκτορες.		
19	<i>Bend_Radiious_1_near_connectors</i>	71.7 mm	
	Η ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) στο πρώτο σημείο καμπής του καλωδίου, αμέσως μετά τους κονέκτορες.		
20	<i>Bend_Radiious_2_near_connectors</i>	46.6 mm	
	Η ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) στο δεύτερο σημείο καμπής του καλωδίου, μετά τους κονέκτορες.		

21	<i>Inner_Bend_Radious_near_bleeders</i>	100 mm	
	Η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) της καμπής του καλωδίου κοντά στα Bleeders.		
22	<i>Bend_Radious_near_bleeders</i>	100 mm	
	Η ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) της καμπής του καλωδίου κοντά στα Bleeders.		
23	<i>x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End</i>	Για καλώδιο 3 m:	Για καλώδιο 10 m:
	Η τετμημένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Transmitter ¹⁷⁶ .	1058.2 mm	4558.2 mm
24	<i>y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End</i>	909.53903 mm	
	Η τεταγμένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Transmitter ¹⁷⁷ .		
25	<i>z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End</i>	48.3875 mm	
	Η κατηγμένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Transmitter ¹⁷⁸ .		
26	<i>x_coordinate_of_Receiving_Cable_End</i>	Για καλώδιο 3 m:	Για καλώδιο 10 m:
	Η τετμημένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Receiver ¹⁷⁹ .	1058.2 mm	4558.2 mm
27	<i>y_coordinate_of_Receiving_Cable_End</i>	909.53903 mm	
	Η τεταγμένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Receiver ¹⁸⁰ .		
28	<i>z_coordinate_of_Receiving_Cable_End</i>	111.6125 mm	
	Η κατηγμένη του άκρου της καμπύλης, που αντιστοιχεί στον Receiver ¹⁸¹ .		

4.2.3.3 Σχέσεις Υπολογισμού των Παραμέτρων

Σε αυτή την παράγραφο θα παραθέσουμε τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων, και θα εξηγήσουμε τον ρόλο κάθε μίας. Προκειμένου να γίνει ευκολότερα αντιληπτό το τί μέγεθος αντικατοπτρίζει η κάθε παράμετρος αλλά και η χρησιμότητά της, είναι αναγκαίο να εξηγήσουμε την ιδέα της διάταξης του καλωδίου. Για καλύτερη κατανόηση των λεγομένων που θα ακολουθήσουν, παραθέτουμε μια κάτοψη, που σχεδιάστηκε πριν υλοποιηθεί η καμπύλη, αλλά και μια εικόνα από την καμπύλη που δημιουργήθηκε (σαν τεθλασμένη γραμμή ακόμης).

¹⁷⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.

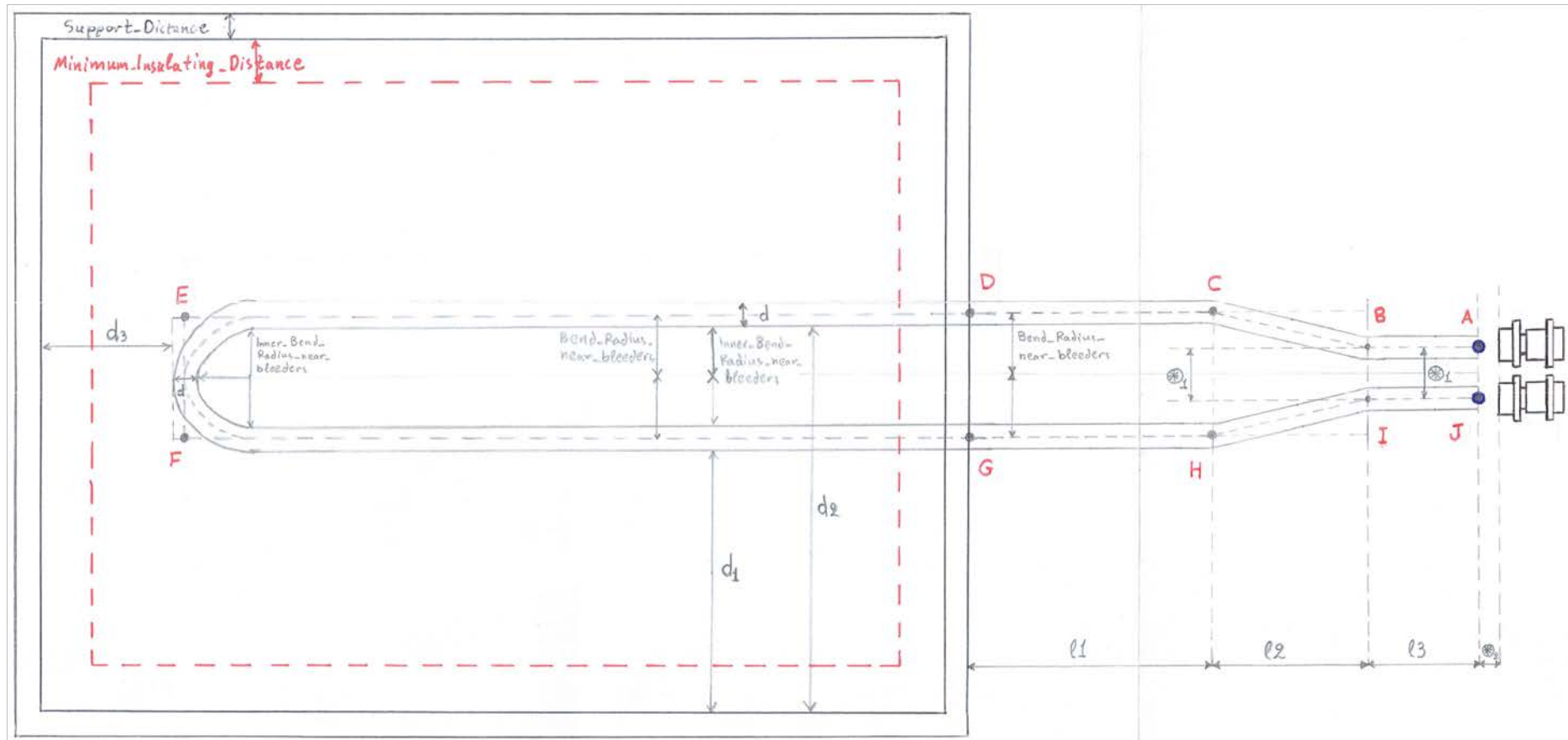
¹⁷⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.

¹⁷⁸ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.

¹⁷⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.

¹⁸⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.

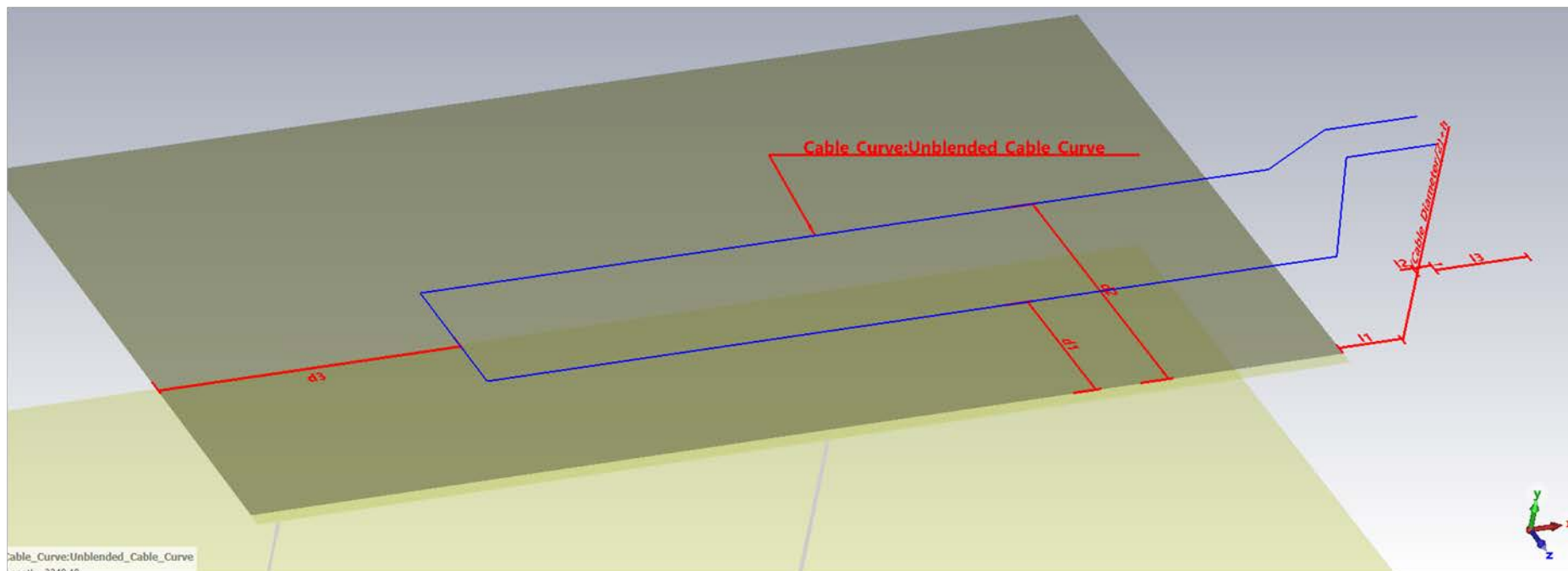
¹⁸¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 175.



Σχήμα 4.1: Πρόχειρο σκαρίφημα της οδεύσεως του καλωδίου επί του τραπέζιού του πειράματος [προσωπικές σημειώσεις του γράφοντος].

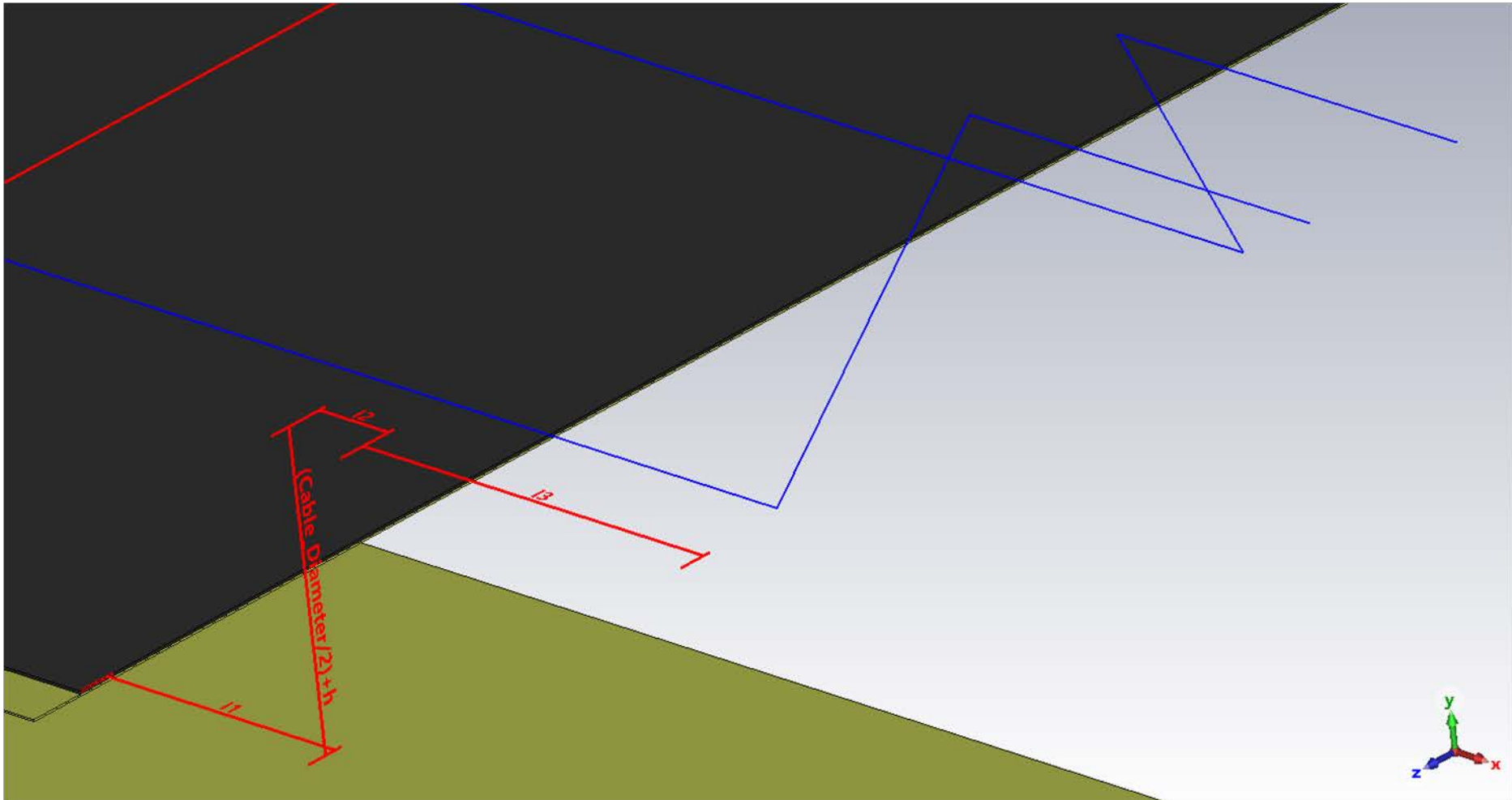
Στην κάτοψη αυτή, όσον αφορά στο καλώδιο, με μαύρη διακεκομμένη γραμμή έχει σχεδιαστεί η τεθλασμένη γραμμή, που θα υλοποιηθεί εν πρώτοις στο πρόγραμμα και αποτελεί τον διαμήκη άξονα αυτού. Με συνεχόμενη γραμμή έχει γίνει μια πρόχειρη εκτίμηση πώς περίπου θα είναι όταν φορτωθεί το καλώδιο σε αυτήν (το οποίο φυσικά έχει μη μηδενικό πάχος). Όσον αφορά τώρα στο τραπέζι της δοκιμής, το εξώτατο ορθογώνιο αντιστοιχεί στο HCP. Το

πιο μέσα ορθογώνιο αντιστοιχεί στο μονωτικό στρώμα βακελίτη¹⁸². Το ορθογώνιο με την κόκκινη διακεκομμένη γραμμή δεν είναι κάποιο επιπλέον στρώμα. Τόσο αυτό όσο και τα υπόλοιπα γραφόμενα στην κάτοψη αυτή θα εξηγηθούν στην συνέχεια.



Εικόνα 4.16: Η καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου, στο στάδιο της τεθλασμένης γραμμής (η καμπύλη φαίνεται με μπλε χρώμα) [56].

¹⁸² Να σχολιάσουμε ότι στο Σχήμα 4.1 δείχνουμε τον βακελίτη να είναι πιο μέσα από το HCP από όλες τις πλευρές, κατά απόσταση *Support_Distance*. Όπως όμως έχουμε ήδη σημειώσει στην παράγραφο 4.1.3.3, μόνο από την μπροστινή πλευρά έχουμε τέτοια απόσταση (οι υπόλοιπες είναι μηδενικές).



Εικόνα 4.17: Μεγέθυνση στην καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου (στο στάδιο της τεθλασμένης γραμμής) ώστε να φανεί η λεπτομέρεια της εξόδου της από το τραπέζι της ESD δοκιμής [56].

Όπως έχουμε αναφέρει, για το εν λόγω πείραμα, έχουμε απλωμένο το καλώδιο πάνω στο στρώμα βακελίτη και σε ένα τραπέζι πιο δεξιά (προς την κατεύθυνση του x άξονα) έχουμε την κονσόλα του iSAFT Simulator, όπου το καλώδιο θα συνδεθεί. Συνεπώς τα δεξιά άκρα της καμπύλης είναι αντιστοίχως η αρχή και το πέρας του καλωδίου (καθώς και τα δύο συνδέονται πάνω στην κονσόλα). Θεωρούμε ότι το πίσω¹⁸³ άκρο της καμπύλης αντιστοιχεί στο άκρο, από όπου ξεκινά η μετάδοση πληροφορίας από το καλώδιο (Transmitting End) και ότι το μπροστινό¹⁸⁴ άκρο αντιστοιχεί στο άκρο, όπου καταλήγει η μετάδοση πληροφορίας από το καλώδιο (Receiving End). Έτσι το πίσω άκρο της καμπύλης αντιστοιχεί στον Transmitter και το μπροστινό στον Receiver¹⁸⁵. Με αντίστοιχο τρόπο άλλωστε έχουμε ονομάσει και τα συσσωματώματα των βυσμάτων σε δεσμική κατάσταση, όπως έχουμε πει στο σχετικό σχόλιο, στο τέλος της ενότητας 3.10. Όταν στην καμπύλη φορτωθεί το καλώδιο, στα άκρα αυτά θα δημιουργηθούν οι τερματικοί κόμβοι του SpW, τους οποίους θα ονομάσουμε αντίστοιχα Transmitting_Cable_End και Receiving_Cable_End. Έχουμε κάνει την θεώρηση ότι οι τερματικοί αυτοί κόμβοι, γεωμετρικά, θα βρίσκονται στο μέσον της πίσω επιφανείας των αντιστοιχών αρσενικών συνδέσμων, στους οποίους τερματίζει το καλώδιο (στο μέσον της πίσω επιφανείας του backshell τους, όπως συναντούμε συχνά σαν έκφραση). Τα άκρα αυτά της καμπύλης είναι κάπως υψηλότερα (δηλ. σε μεγαλύτερες τιμές του y άξονα) από το τραπέζι της ESD δοκιμής, καθώς έχει ένα πεπερασμένο ύψος και η κονσόλα (στην οποία θεωρείται ότι καταλήγουν), από εκεί, το καλώδιο κατεβαίνει προς το τραπέζι (φυσικά με καμπυλότητα και όχι σαν τεθλασμένη γραμμή) και επί του τραπεζιού κάνει μια «κουλούρα» και επιστρέφει στην κονσόλα.

Οι τιμές και οι τύποι υπολογισμού των παραμέτρων είναι:

1) *to_be_replaced_with_Cable_Diameter*:

Η παράμετρος αυτή είναι η διατομή του καλωδίου SpW, που θα φορτωθεί στην καμπύλη. Ο λόγος που είναι ονομασμένη έτσι είναι διότι, όσο ακόμα δεν έχει φορτωθεί κάποιο καλώδιο SpW (Var. 01 ή Var. 02) στην καμπύλη, η παράμετρος αυτή έχει τιμή:

$$to_be_replaced_with_Cable_Diameter = 0 \text{ mm} \quad (4.20)$$

Όταν όμως φορτώσουμε κάποιο καλώδιο ως Sub-Project (κάτι που θα εξηγήσουμε στο Κεφάλαιο 5), τότε ως τιμή στην παράμετρο αυτή θα τοποθετήσουμε την εξωτερική διάμετρο του καλωδίου, που θα φορτώσουμε (την *RC_Diameter* όπως την έχουμε ονομάσει στα Projects της διατομής του SpW).

2) *d1*:

3) *d2*:

4) *d3*:

Οι παράμετροι αυτές είναι οι αποστάσεις, που εν πολλοίς καθορίζουν την τοποθέτηση του καλωδίου πάνω στο τραπέζι και είναι κατ' εξοχήν στην ευχέρεια του χρήστη να τις ορίσει. Και ορίστηκαν στο μοντέλα μας ακριβώς για να δοθεί η δυνατότητα στον χρήστη του συγκεκριμένου Project να τοποθετεί την καμπύλη στο προσομοιωτικό περιβάλλον με όμοιο τρόπο όπως και στο πραγματικό περιβάλλον του πειράματος. Δηλ. όταν θα απλωθεί το καλώδιο στον

¹⁸³ Βλ. ανωτ. υποσ. 158.

¹⁸⁴ Βλ. ανωτ. υποσ. 158.

¹⁸⁵ Φυσικά, όπως έχουμε αναφέρει, η ζεύξη SpW είναι πλήρως αμφίδρομη, οπότε η ροή πληροφορίας γίνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις. Άρα η ονομασία αυτή είναι μόνο για λόγους διακρίσεως (αφού στην πράξη και τα δύο άκρα λειτουργούν και ως Transmitting End και ως Receiving End).

βακελίτη, θα στερεωθεί με χαρτοταινία, έτσι ώστε να σχηματίζει μια όδευση όπως στην κάτοψη του Σχήματος 4.1. Για να καθοριστεί σαφώς μια τέτοια όδευση χρειαζόμαστε τις τρεις αυτές αποστάσεις. Μετρούμε συνεπώς σε πρώτη φάση την απόσταση του μπροστά και του πίσω ευθυγράμμου τμήματος του καλωδίου από το μπροστά άκρο του βακελίτη. Στην προσομοίωση, οι αποστάσεις αυτές μετρώνται κατά μήκος του z άξονα. Επίσης μετρούμε την απόσταση του αριστερότερου άκρου της κουλούρας του καλωδίου από το αριστερό άκρο του μονωτικού φύλλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1, απόσταση που μετράται επί του x άξονος. Άρα αναλόγως του πού τοποθετείται και στερεώνεται το καλώδιο στο πραγματικό πείραμα, μετρώνται οι σχετικές αποστάσεις και οι τιμές τους δηλώνονται στις αντίστοιχες παραμέτρους στο πρόγραμμα. Οι τιμές που εμείς επιλέξαμε γι' αυτές τις παραμέτρους είναι¹⁸⁶:

$$d1 = 200 \text{ mm} \quad (4.21)$$

$$d2 = 400 \text{ mm} \quad (4.22)$$

$$d3 = 440 \text{ mm} \quad (4.23)$$

Όπως θα γινόταν και στην πραγματικότητα και όπως φαίνεται στην κάτοψη του Σχήματος 4.1, οι αποστάσεις αυτές μετρώνται από τα άκρα του βακελίτη μέχρι και την εξωτερική περιφέρεια του καλωδίου (και όχι τον νοητό άξονα στο κέντρο του, διότι αυτόν δεν τον βλέπει ο πειραματιζόμενος). Απλώς όταν δημιουργούμε την καμπύλη, που αποτελεί τον νοητό άξονα του καλωδίου, όσο ακόμη δεν έχει φορτωθεί το καλώδιο, φαίνεται ότι οι αποστάσεις αυτές φτάνουν μέχρι τον άξονα του. Για όσο η καμπύλη είναι ακόμα τεθλασμένη, το αριστερό της τμήμα είναι σαν μια ευθεία. Όταν όμως γίνει καμπύλη, βλέπουμε πάλι από την κάτοψη του Σχήματος 4.1, ότι η απόσταση $d3$, που ξεκινά από την αριστερή άκρη του βακελίτη, καταλήγει στην νοητή εφαπτόμενη του καλωδίου στην εξωτερική καμπυλότητα αυτού. Οπότε από τον νοητό άξονα του καλωδίου υπολείπεται και η οριζόντια απόσταση d , (όπως σημαίνεται στην ίδια κάτοψη), όπου d είναι ακριβώς διάμετρος του καλωδίου, δηλ. η παράμετρος *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* εν προκειμένω.

5) *Minimum Insulating Distance*:

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-4-2 [11] που περιγράφει τις δοκιμές ESD σε καλώδια ή άλλες συσκευές, πρέπει το υπό εξέτασιν δοκίμιο να μην βρίσκεται πολύ κοντά στα όρια του μονωτικού στρώματος βακελίτη. Συγκεκριμένα, υπάρχει μια γενική απαίτηση ότι το δοκίμιο πρέπει να βρίσκεται κατά μια ικανή απόσταση εντός της επιφανείας του μονωτικού. Εν προκειμένω η απόσταση αυτή είναι $10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$. Εμείς δεν δεσμεύσαμε με κάποιον τρόπο την υλοποίηση για κάτι τέτοιο, απλώς παραθέτουμε στην λίστα παραμέτρων και την ελάχιστη αυτή απόσταση, εποπτικά και μόνο, ώστε να την ενθυμείται ο χρήστης. Δηλ. θέσαμε:

$$\text{Minimum_Insulating_Distance} = 100 \text{ mm} \quad (4.24)$$

Αυτή είναι και η περιοχή με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στην κάτοψη του Σχήματος 4.1. Δηλ. η γραμμή αυτή, απλώς μας υποδεικνύει μέχρι ποίου σημείου μπορούμε να αφήσουμε το καλώδιό μας να πλησιάσει την μπροστά και πίσω άκρη του τραπεζιού. Γι' αυτό και το ότι μετρούμε τις αποστάσεις $d1$, $d2$, $d3$ από τα όρια του μονωτικού φύλλου βακελίτη και όχι από τα όρια της πάνω επιφάνειας του τραπεζιού (που είναι σκεπασμένη με το φύλλο αλουμινίου)

¹⁸⁶ Οι τιμές που δώσαμε στις παραπάνω παραμέτρους δεν είναι απολύτως αυθαίρετες. Στην πραγματικότητα έχουν να κάνουν με το συνολικό μήκος του καλωδίου αλλά και το πόσο επιθυμούσαμε να διαχωρίσουμε το μπροστινό από το πίσω τμήμα της οδεύσεως του καλωδίου.

δεν είναι απολύτως άνευ σημασίας. Αυτό γίνεται γιατί βλέπουμε άμεσα, από τις τιμές των παραμέτρων αυτών, πόσο εντός του μονωτικού βρίσκεται το δοκίμιό μας.

6) $x_coordinate_of_dimension_d1$:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την τετμημένη που επιλέξαμε για να τοποθετήσουμε χωρικά την διάσταση $d1$ πάνω στον βακελίτη. Εντελώς αυθαίρετα επιλέξαμε:

$$\begin{aligned} x_coordinate_of_dimension_d1 &= HCP_Length/4 \stackrel{(4.5)}{\implies} \\ x_coordinate_of_dimension_d1 &= 400 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.25)$$

7) $distance_between_dimensions_d1_and_d2$:

Και αυτή η παράμετρος έχει οριστεί για καθαρά εποπτικούς λόγους. Απλώς δηλ. διαχωρίζουμε κατά την απόσταση αυτή της δύο διαστάσεις $d1$ και $d2$ στο σχήμα μας. Επιλέξαμε εδώ την τιμή:

$$distance_between_dimensions_d1_and_d2 = 100 \text{ mm} \quad (4.26)$$

Σχόλιο: Οι δύο παραπάνω παράμετροι θα χρησιμοποιηθούν, όπως θα δούμε λίγο πιο κάτω (στην παράγραφο 4.2.4.3), στην τοποθέτηση των διαστάσεων πάνω στον βακελίτη.

8) $l1$:

9) $l2$:

10) $l3$:

Οι παράμετροι αυτές μας δίνουν τα κατά τον x άξονα μήκη της καμπύλης δεξιά και έξω από το τραπέζι του ESD, όταν αυτή είναι σε μορφή τεθλασμένης γραμμής. Το πρώτο από αυτά τα μήκη, $l1$, μετράται από την δεξιά άκρη του HCP, και κάθε επόμενο ξεκινά από εκεί που τελειώνει το προηγούμενό του. Στο τέλος του τελευταίου είναι πλέον η θέση των βυσμάτων (κατά τον x άξονα πάντοτε). Όπως αναφέραμε και στις παραμέτρους $d1$, $d2$, $d3$, οι τιμές δεν είναι αυθαίρετες. Σχετίζονται με το μήκος του καλωδίου που θα επιλέξουμε να προσομοιώσουμε. Και μάλιστα αν επιλέγουμε να διατηρούμε σταθερές τις τιμές των $d1$, $d2$, $d3$ για προσομοιώσεις διαφόρων μηκών καλωδίων (όπερ και κάναμε), οι παράμετροι $l1$, $l2$ και $l3$ είναι αυτές που υποχρεωτικά πρέπει να αλλάζουν και να λαμβάνουν τις κατάλληλες τιμές, ώστε να δημιουργηθεί εν τέλει ένα καλώδιο με το επιθυμητό μήκος. Στην περίπτωση των δικών μας προσομοιώσεων είχαμε στο Εργαστήριο δύο καλώδια, ένα των 3 m και ένα των 10 m. Οπότε οι τιμές των παραμέτρων αυτών στις οποίες καταλήξαμε (με τρόπο που θα εξηγηθεί παρακάτω) είναι:

- Για το καλώδιο των 3 m:

$$l1 = 92.5 \text{ mm} \quad (4.27)$$

$$l2 = 28 \text{ mm} \quad (4.28)$$

$$l_3 = 137.7 \text{ mm} \quad (4.29)$$

- Για το καλώδιο των 10 m:

$$l_1 = 3592.5 \text{ mm} \quad (4.30)$$

$$l_2 = 28 \text{ mm} \quad (4.31)$$

$$l_3 = 137.7 \text{ mm} \quad (4.32)$$

11) *Distance between Cable End Node and Backshell of Male Connector:*

Η απόσταση αυτή είναι μεταξύ του κόμβου, που θα αποτελεί το πέρας του καλωδίου (του Transmitting_Cable_End ή του Receiving_Cable_End) και του κέντρου της πίσω επιφάνειας του αρσενικού βύσματος, στο οποίο τερματίζει το καλώδιο. Η απόσταση αυτή μας «μοντελοποιεί» το μήκος που απαιτείται προκειμένου να γίνει η «διάσπαση» (“break out”) των αγωγών των διαφορικών ζευγών, έτσι ώστε να οδηγηθούν στις κατάλληλες επαφές του αρσενικού βύσματος¹⁸⁷. Προφανώς η τιμή της αποστάσεως αυτής δεν μπορεί να είναι μηδενική, δεν είναι δυνατόν δηλ. ο τερματισμός των αγωγών του SpW και των θωρακίσεών του να γίνεται ακριβώς πάνω στο backshell του αρσενικού βύσματος, αφού απαιτεί οπωσδήποτε ένα μικρό μήκος ώστε να βγουν οι αγωγοί από την συστροφή τους. Κατ’ εκτίμησιν λοιπόν (απλά παρατηρώντας το μοντέλο στον 3D χώρο) θέσαμε στην παράμετρο αυτή τιμή:

$$\text{Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector} = 5 \text{ mm} \quad (4.33)$$

Η απόσταση αυτή είναι εκείνη που σημειώνεται ως *2 στην κάτοψη του Σχήματος 4.1. Η αίσθηση της αποστάσεως αυτής γίνεται κάπως αντιληπτή από την Εικόνα 5.4, στο Κεφάλαιο 5. Προφανώς, όπως θα φανεί και από την εικόνα που μόλις αναφέραμε, για αυτό το μικρό μήκος, οι αγωγοί του καλωδίου βρίσκονται «εκτεθειμένοι» στον αέρα. Φυσικά σε ένα πραγματικό καλώδιο, ο τερματισμός πάντοτε υπερκαλύπτεται από την εξωτερική θωράκιση (η οποία τερματίζεται εκ περιστροφής) και βέβαια και τον εξωτερικό μανδύα. Οπότε στην πραγματικότητα δεν θα είναι ποτέ οι αγωγοί άνευ προστασίας, ηλεκτρομαγνητικής, μονωτικής και μηχανικής. Όμως κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο να υλοποιηθεί στο μοντέλο μας. Και αυτό γιατί, χτίζοντας το καλώδιο σαν 2D διατομή στο Cable Studio (προκειμένου να εκμεταλλευτούμε τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα αυτού του προσομοιωτή), δεν μπορούμε να έχουμε ακρίβεια σε επίπεδο 3D για τον τερματισμό των αγωγών στο βύσμα. Συνεπώς δεν μπορούμε να έχουμε έναν περισσότερο ιδανικό τερματισμό, με φανερή διάσπαση στο twisting των αγωγών κτλ.. Φυσικά ο τερματισμός θα υλοποιηθεί ως ηλεκτρική σύνδεση των αγωγών που πρέπει στα σημεία που πρέπει (με τρόπο που θα αναπτυχθεί στο Κεφάλαιο 5), όμως δεν θα υπάρχει, γι’ αυτό το μικρό μήκος των 5 mm, συμφωνία του μοντέλου με το πραγματικό καλώδιο. Παρ’ όλα αυτά, επιλέγουμε να κάνουμε αυτή την απλοποιητική παραδοχή, μιας και το βάρος της προσομοιώσεώς μας πέφτει στο μήκος του καλωδίου και όχι τόσο στους συνδέσμους στα άκρα του.

¹⁸⁷ Το ίδιο πρέπει φυσικά να γίνει και με τα συρματίδια των θωρακίσεων. Φυσικά όμως, του πού θα οδηγηθούν (σε κατάλληλη επαφή του βύσματος ή απλά στο σασί του βύσματος) για τερματισμό, εξαρτάται από τον τύπο του συναρμολογήματος καλωδίου, κάτι που θα αναπτύξουμε στο Κεφάλαιο 5.

Να σημειώσουμε μάλιστα ότι δηλώσαμε την απόσταση αυτή παραμετρικά για την περίπτωση που κάποιος θέλει στο μέλλον να εξετάσει ένα ενδεχόμενο να μεσολαβούν περισσότερα ή λιγότερα *mm* μεταξύ του καλωδίου και του βύσματος, στο οποίο τερματίζει. Έτσι μπορεί και να αντιληφθεί εάν και κατά πόσον η αλλαγές στην τιμή αυτής της παραμέτρου επηρεάζουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

12) *Distance_between_adjacent_SpW_Ports:*

Η κονσόλα του iSAFT έχει 4 θύρες για συνδέσμους SpW. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών τέτοιων θυρών μετρήθηκε:

$$Distance_between_adjacent_SpW_Ports = 21.075 \text{ mm} \quad (4.34)$$

13) *Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver:*

Για να συνδέσουμε το καλώδιο στην κονσόλα του εργαστηρίου, επιλέξαμε τα χρησιμοποιήσουμε τις πιο απομακρυσμένες θύρες, δηλ. την 1^η και την 4^η. Άρα μεταξύ των άκρων του καλωδίου μας μεσολαβεί απόσταση ίση με τρεις φορές την απόσταση δύο διαδοχικών θυρών, δηλ.:

$$Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver = 3 \cdot Distance_between_adjacent_SpW_Ports \stackrel{(3.4)}{\implies} \\ Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver = 63.225 \text{ mm} \quad (4.35)$$

Η απόσταση αυτή είναι εκείνη που σημειώνεται ως *1 στο Σχήμα 4.1 της κατόψεως της οδεύσεως του καλωδίου. Η απόσταση αυτή είναι προφανώς και η απόσταση μεταξύ των συσσωματωμάτων Transmitter και Receiver.

14) *h:*

Η απόσταση αυτή δηλώνει το ύψος, κατακόρυφα κατά την διεύθυνση του *y* άξονα, από το κέντρο του καλωδίου, όταν είναι επί του βακελίτη, μέχρι το κέντρο του backshell του αρσενικού βύσματος, όταν συνδέεται στην κονσόλα. Στο εργαστήριο μετρήθηκε η κατακόρυφη απόσταση από το επίπεδο του βακελίτη μέχρι το κέντρο της πίσω όψης του βύσματος (όταν συνδέεται στην κονσόλα του iSAFT, στο διπλανό τραπέζι) και ήταν 107 *mm*. Η απόσταση αυτή είναι όμως επαυξημένη κατά το μισό της διαμέτρου του καλωδίου, όταν θα φορτωθεί πάνω στην καμπύλη. Δηλ. έχουμε ότι:

$$(to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h = 107 \text{ mm} \Leftrightarrow \\ h = 107 \text{ mm} - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) \stackrel{(4.20)}{\implies} \\ h = 107 \text{ mm} \quad (4.36)$$

για όσο δεν έχει φορτωθεί κάποιο καλώδιο στην καμπύλη και άρα $to_be_replaced_with_Cable_Diameter = 0 \text{ mm}$.

15) *Variant_of_SpW_Cable:*

Το ποιά παραλλαγή του καλωδίου θα φορτωθεί στην καμπύλη αυτού του Project μας χρειάζεται για λόγο που θα εξηγηθεί αμέσως μετά. Οι «τιμές» αυτής της παραμέτρου είναι δύο: 01 ή 02.

16) *Minimum_Bend_Radius:*

Στο καλώδιο, όπως αναφέραμε, θα δοθούν καμπυλότητες σε κάποια σημεία. Όμως το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] αναφέρει ότι υπάρχει μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας κάτω από την οποία δεν πρέπει να «εκβιάζουμε» το καλώδιο. Οι τιμές αυτή είναι, αναλόγως την παραλλαγή:

- για την Var. 01: 45 mm,
- για την Var. 02: 60 mm.

Στην παράμετρο αυτή λοιπόν δώσαμε έναν ορισμό υπό συνθήκη. Συγκεκριμένα δηλώσαμε:

$$\text{Minimum_Bend_Radius} = \text{If}(\text{Variant_of_SpW_Cable} = 01, 45, 60) \quad (4.37)$$

Αυτή είναι μια συνάρτηση που χρησιμοποιείται στο CST. Η συγκεκριμένη σύνταξη μεταφράζεται ως εξής: εάν η τιμή της *Variant_of_SpW_Cable* είναι 01, τότε επιστρέφει μου την τιμή 45 στην μεταβλητή *Minimum_Bend_Radius*. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση (που φυσικά είναι μόνο μία, να είναι δηλ. *Variant_of_SpW_Cable* = 02), επιστρέφει μου την τιμή 60 στην μεταβλητή *Minimum_Bend_Radius*.

Σχόλιο σχετικά με την ανάγκη διακρίσεως μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής ακτίνας καμπυλότητας του καλωδίου:

Σε ένα καλώδιο με πεπερασμένο πάχος, μπορούμε να εντοπίσουμε δύο ακτίνες καμπυλότητας, αυτήν της εσωτερικής επιφάνειάς του και αυτήν της εξωτερικής (εσωτερικής και εξωτερικής για την στροφή που κάνει το καλώδιο). Προφανώς η εσωτερική επιφάνεια του καλωδίου κάμπτεται πάντα πιο πολύ, οπότε εκεί πρέπει να γίνει ο έλεγχος με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα καμπυλότητας. Επομένως μας χρειάζεται να είναι εμφανής στο Parameter List η εσωτερική ακτίνα κάθε καμπυλότητας του καλωδίου, διότι αυτή είναι που πρέπει πρώτα να ελέγχουμε αν φτάνει στο κατώτατο όριο του προτύπου. Βάσει του σχολίου αυτού, θα προχωρήσουμε στον ορισμό των ακολούθων παραμέτρων.

Σχόλιο σχετικά με την ακτίνα καμπυλότητας της καμπύλης οδεύσεως του καλωδίου:

Λόγω του ότι το καλώδιό μας έχει ένα συγκεκριμένο πάχος, κατά την κάμψη του η εσωτερική του περιφέρεια κάμπτεται πιο πολύ από την εξωτερική. Συγκεκριμένα οι δύο αυτές ακτίνες καμπυλότητας, εσωτερική και εξωτερική, διαφέρουν κατά την διάμετρο του καλωδίου. Το θέμα είναι τώρα ποια ακτίνα πρέπει να επιλέξουμε για να δηλώσουμε καμπυλότητα στην τεθλασμένη γραμμή. Η σωστή επιλογή είναι να επιλέξουμε την εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας επαυξημένη κατά το μισό της διαμέτρου του καλωδίου, διότι έτσι οδηγούμαστε από την εσωτερική της καμπής περιφέρεια του καλωδίου στον νοητό άξονα στο κέντρο του (βλ. και το Σχήμα 4.1 της κάτωφης).

17) Inner_Bend_Radious_1_near_connectors:

18) Inner_Bend_Radious_2_near_connectors:

Η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας (σε mm) είναι η ακτίνα καμπυλότητας της εσωτερικής μεριάς της περιφέρειας του καλωδίου. Οι δύο παράμετροι αυτές λοιπόν έχουν τις τιμές των αντιστοίχων ακτινών για τα δύο πρώτα σημεία που θα δοθεί καμπυλότητα στο καλώδιο, αμέσως μετά τους κονέκτορες. Οι τιμές που επιλέχθηκαν για τις παραμέτρους αυτές είναι:

$$\text{Inner_Bend_Radious_1_near_connectors} = 71.7 \text{ mm} \quad (4.38)$$

$$\text{Inner_Bend_Radious_2_near_connectors} = 46.6 \text{ mm} \quad (4.39)$$

19) Bend_Radiious_1_near_connectors:**20) Bend_Radiious_2_near_connectors:**

Η ακτίνα καμπυλότητας (σε *mm*) του καλωδίου είναι η ακτίνα καμπυλότητας του νοητού άξονα στο κέντρο του καλωδίου. Οι παραπάνω δύο παράμετροι λοιπόν δίνουν τις τιμές των αντιστοίχων ακτινών για τα δύο πρώτα σημεία που θα δοθεί καμπυλότητα στο καλώδιο, αμέσως μετά τους κονέκτορες. Ο τρόπος που δίνεται τιμή στις παραμέτρους αυτές είναι πάλι μέσω συνθήκης:

$$\begin{aligned} \text{Bend_Radiious_1_near_connectors} = & \text{If}(\text{Inner_Bend_Radiious_1_near_connectors} \\ & > \text{Minimum_Bend_Radius}, (\text{Inner_Bend_Radiious_1_near_connectors} \\ & + (\text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter}/2)), (\text{Minimum_Bend_Radius} + (\text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter}/2))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bend_Radiious_2_near_connectors} = & \text{If}(\text{Inner_Bend_Radiious_2_near_connectors} \\ & > \text{Minimum_Bend_Radius}, (\text{Inner_Bend_Radiious_2_near_connectors} \\ & + (\text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter}/2)), (\text{Minimum_Bend_Radius} + (\text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter}/2))) \end{aligned}$$

Οι έλεγχοι αυτοί λένε το εξής (αντίστοιχα για το κάθε σημείο): αν η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη επιτρεπόμενη, τότε ως ακτίνα καμπυλότητας του άξονα του καλωδίου επιστρέφει μου την εσωτερική επαυξημένη κατά το μισό της διαμέτρου του καλωδίου. Αλλιώς, αν δηλ. η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας που δηλώθηκε από τον χρήστη είναι μικρότερη ή ίση με το κατώτατο όριο, τότε επιστρέφει την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα επαυξημένη κατά το μισό της διαμέτρου (μην αφήσεις δηλ. να δημιουργηθεί καλώδιο που κάμπτεται υπέρ το δέον). Βλέπουμε λοιπόν ότι, επειδή (όπως έχουμε πει στα πιο πάνω σχόλια) η εσωτερική επιφάνεια του καλωδίου κάμπτεται πάντα πιο πολύ, έχουμε κάνει τους ελέγχους για τις εσωτερικές ακτίνες.

Εν προκειμένω οι τιμές των παραμέτρων αυτών ταυτίζονται με αυτές των αντιστοίχων εσωτερικών ακτινών, λόγω του ότι προσωρινά η διάμετρος του καλωδίου είναι μηδενική. Δηλ. οι έλεγχοι δίνουν:

$$\text{Bend_Radiious_1_near_connectors} = 71.7 \text{ mm} \quad (4.40)$$

$$\text{Bend_Radiious_2_near_connectors} = 46.6 \text{ mm} \quad (4.41)$$

21) Inner_Bend_Radiious_near_bleeders:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει την εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας για την καμπή που το καλώδιο κάνει επί του τραπεζιού της ESD δοκιμής, προς το αριστερό μέρος του τραπεζιού, κοντά στα Bleeders. Η σχέση υπολογισμού της παραμέτρου αυτής είναι:

$$\begin{aligned} \text{Inner_Bend_Radiious_near_bleeders} = & \text{If}(((d2 - d1 - \text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter})/2) \\ & > \text{Minimum_Bend_Radius}, ((d2 - d1 - \text{to_be_replaced_with_Cable_Diameter})/2), \text{Minimum_Bend_Radius}) \end{aligned}$$

Η σχέση αυτή προέρχεται από την γεωμετρία της καμπύλης, όπως φαίνεται στην κάτοψη του Σχήματος 4.1. Δηλ. η καμπυλότητα αυτή ορίζεται από τις αποστάσεις $d1$ και $d2$, έτσι ώστε η καμπή αυτή να είναι ένα τέλειο ημικύκλιο. Αν λοιπόν οι τιμές των $d1$ και $d2$ είναι τέτοιες που η εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας είναι εντός του ορίου, τότε επιστρέφεται η αντίστοιχη τιμή. Αν όμως οι αποστάσεις $d1$ και $d2$, που έδωσε ο χρήστης είναι τέτοιες που ζορίζουν υπέρμετρα το καλώδιο σε καμπτική κατάσταση, τότε η εσωτερική αυτή ακτίνα καμπυλότητας θα γίνει ίση με την ελάχιστη δυνατή. Δηλ. η υλοποίηση αυτή δεν αφήνει το καλώδιο να «καταπονηθεί» έστω κι αν ο χρήστης δηλώσει τέτοιες τιμές στις παραμέτρους $d1$ και $d2$. Αυτό θα το δούμε και όταν δώσουμε τις συντεταγμένες των σημείων της καμπύλης. Εν προκειμένω, βάσει των τιμών των παραπάνω παραμέτρων, αυτή η συνθήκη δίνει:

$$Inner_Bend_Radious_near_bleeders = 100 \text{ mm} \quad (4.42)$$

22) Bend Radious near bleeders:

Η σχέση που μας δίνει την ακτίνα καμπυλότητας του νοητού άξονα του καλωδίου, στην καμπή του πάνω στο τραπέζι είναι:

$$Bend_Radious_near_bleeders = Inner_Bend_Radious_near_bleeders + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) \Rightarrow \\ Bend_Radious_near_bleeders = 100 \text{ mm} \quad (4.43)$$

δηλ. εδώ δεν χρειάζεται να γίνει ξανά ο έλεγχος του ορίου (αφού έγινε στην αντίστοιχη εσωτερική ακτίνα). Απλώς γίνεται η προσθήκη του μισού της διαμέτρου στην εσωτερική ακτίνα. Και πάλι, λόγω του ότι προσωρινά η διάμετρος του καλωδίου είναι μηδενική, η τιμή της παραμέτρου αυτής δεν αλλάζει σε σχέση με την $Inner_Bend_Radious_near_bleeders$.

23) x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End:

Η x συντεταγμένη του πίσω άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Transmitter είναι προφανώς (με βάση τα προηγούμενα):

$$x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = (HCP_Length/2) + l1 + l2 + l3 \quad (4.44)$$

Εφ' όσον στον υπολογισμό συμμετέχει και η παράμετρος $l1$, η οποία εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου, άρα και η παράμετρος αυτή θα έχει δύο τιμές, αναλόγως του μήκους του καλωδίου, που εξετάζουμε:

- Για το καλώδιο των 3 m:

$$(4.44) \xrightarrow{(4.5),(4.27),(4.28),(4.29)} x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = 1058.2 \text{ mm} \quad (4.45)$$

- Για το καλώδιο των 10 m:

$$(4.44) \xrightarrow{(4.5),(4.30),(4.31),(4.32)} x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = 4558.2 \text{ mm} \quad (4.46)$$

Αυτή θα είναι και η τετμημένη του κόμβου $Transmitting_Cable_End$, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη.

24) y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End:

Η y συντεταγμένη του πίσω άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Transmitter είναι προφανώς (με βάση τα προηγούμενα):

$$y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h$$

$$\xrightarrow{(4.3),(4.4),(4.7),(4.14),(4.20),(4.36)} y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = 909.53903 \text{ mm} \quad (4.47)$$

Αυτή θα είναι και η τεταγμένη του κόμβου Transmitting_Cable_End, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη.

25) z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End:

Η z συντεταγμένη του πίσω άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Transmitter δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End =$$

$$= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - (2$$

$$\cdot Bend_Radiious_near_bleeders) + ((2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders)$$

$$- Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver)/2) \xrightarrow{(4.6),(4.8),(4.21),(4.20),(4.43),(3.5)}$$

$$z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End = 48.3875 \text{ mm} \quad (4.48)$$

Αυτή θα είναι και η κατηγμένη του κόμβου Transmitting_Cable_End, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη. Η φιλοσοφία της παραπάνω σχέσεως εξηγείται αν προσπαθήσουμε, με βάση το Σχήμα 4.1 της κατόψεως, να εντοπίσουμε την θέση του σημείου A, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι τα δύο άκρα της καμπύλης θέλουμε να είναι κεντραρισμένα ως προς την «κουλούρα», που δημιουργείται επί του βακελίτη. Άρα κινούμενοι μόνο κατά την z διάσταση, ξεκινώντας από το (0,0,0) στο κέντρο του τραπεζιού, πηγαίνουμε προς τα θετικά (δηλ. προς τα κάτω βάση των αξόνων του 3D χώρου του CST) κατά $HCP_Width/2$ και ακολούθως αρχίζουμε να γυρνάμε προς τα αρνητικά, πρώτα κατά $Support_Distance_front$, μετά κατά $d1$, στην συνέχεια κατά $(to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2)$ και έπειτα κατά $(2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders)$. Τοιουτοτρόπως έχουμε φτάσει στην z συντεταγμένη των σημείων C, D, E. Τέλος, θέλουμε τα σημεία A και J να πλησιάσουν το ένα το άλλο (το A να κατέλθει προς τα θετικά σε σχέση με την z συντεταγμένη των C, D, E και το J να ανέλθει προς τα αρνητικά σε σχέση με την z συντεταγμένη των F, G, H) κινούμενα κατά μία απόσταση, που θα τα οδηγήσει να απέχουν μεταξύ τους όσο τα βύσματα στις θέσεις που επιλέξαμε. Η απόσταση αυτή είναι, βάσει πάντα του Σχήματος 4.1, $((2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders) - Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver)/2$.

26) x_coordinate_of_Receiving_Cable_End:

Η x συντεταγμένη του μπροστά άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Receiver είναι ίδια με αυτή του Transmitter:

$$x_coordinate_of_Receiving_Cable_End = x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End \quad (4.49)$$

Προφανώς, όπως και η παράμετρος $x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$, έτσι και αυτή θα εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου. Άρα οι τιμές της θα είναι:

- Για το καλώδιο των 3 m:

$$(4.49) \xrightarrow{(4.45)} x_coordinate_of_Receiving_Cable_End = 1058.2 \text{ mm} \quad (4.50)$$

- Για το καλώδιο των 10 m:

$$(4.49) \stackrel{(4.46)}{\implies} x_coordinate_of_Receiving_Cable_End = 4558.2 \text{ mm} \quad (4.51)$$

Αυτή θα είναι και η τετμημένη του κόμβου Receiving_Cable_End, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη.

27) *y*_coordinate_of_Receiving_Cable_End:

Η *y* συντεταγμένη του μπροστά άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Receiver είναι ίδια με αυτή του Transmitter:

$$y_coordinate_of_Receiving_Cable_End = y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End \stackrel{(4.47)}{\implies} \\ y_coordinate_of_Receiving_Cable_End = 909.53903 \text{ mm} \quad (4.52)$$

Αυτή θα είναι και η τετμημένη του κόμβου Receiving_Cable_End, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη.

28) *z*_coordinate_of_Receiving_Cable_End:

Η *z* συντεταγμένη του μπροστά άκρου της καμπύλης, που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στον Receiver δίνεται προφανώς από την σχέση:

$$z_coordinate_of_Receiving_Cable_End = z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End + Horizontal_Displacement_of_Transmitter_to_Receiver \\ \stackrel{(4.48),(3.5)}{\implies} z_coordinate_of_Receiving_Cable_End = 111.6125 \text{ mm} \quad (4.53)$$

Αυτή θα είναι και η τετμημένη του κόμβου Receiving_Cable_End, που θα δημιουργηθεί όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη.

4.2.4 Κατασκευή της Καμπύλης

Έχοντας ολοκληρώσει τον ορισμό των καταλλήλων παραμέτρων, μπορούμε να προχωρήσουμε στην καθ' αυτό κατασκευή της καμπύλης. Εν προκειμένω, το καλώδιο ουσιαστικά θα κάνει μια «κουλούρα», αφού θα ξεκινά από μία θύρα SpW του προσομοιωτή και θα καταλήγει σε μία διπλανή της πρώτης θύρας (όπως περιγράφεται στο Σχήμα 4.1). Άρα ο τρόπος υλοποίησης του καλωδίου, που εξυπηρετεί καλύτερα στην προκειμένη περίπτωση είναι ο ορισμός μιας καμπύλης γραμμής στον χώρο πάνω στην οποία θα οριστεί το καλώδιο. Το σίγουρο τώρα είναι ότι η καμπύλη μας θα πρέπει να είναι ορισμένη και στις 3 διαστάσεις (και όχι απλώς επί ενός επιπέδου), δεδομένου ότι οι θύρες του προσομοιωτή, όπου τερματίζουν τα άκρα του καλωδίου, είναι λίγο υψηλότερα από το επίπεδο του τραπέζιου, επί του οποίου είναι απλωμένο το καλώδιο.

Για μια εφαρμογή δημιουργίας καμπύλης σαν την δική μας, δύο είναι κατά βάση τα συμφερότερα είδη (από αυτά της Εικόνας 4.15), η 3D Spline και η 3D Polygon.

- Η 3D Spline είναι μια καμπύλη, η οποία ορίζεται πρώτα ως τεθλασμένη γραμμή και στην συνέχεια δίνεται στις κορυφές της μια τυχαία καμπυλότητα από το πρόγραμμα. Το θετικό στοιχείο της 3D Spline είναι ότι προσφέρει μια αληθοφάνεια καθώς η καμπυλότητα που αποκτά δεν είναι απολύτως συμμετρική και προσιδιάζει στην εν γένει τυχαία καμπυλότητα, που αποκτά το καλώδιο κάθε φορά που το απλώνει στο τραπέζι της δοκιμής ο πειραματιζόμενος. Το αρνητικό όμως είναι ότι ακριβώς λόγω αυτής της τυχαιότητας, δεν μπορούμε να έχουμε έλεγχο πάνω στα χαρακτηριστικά της

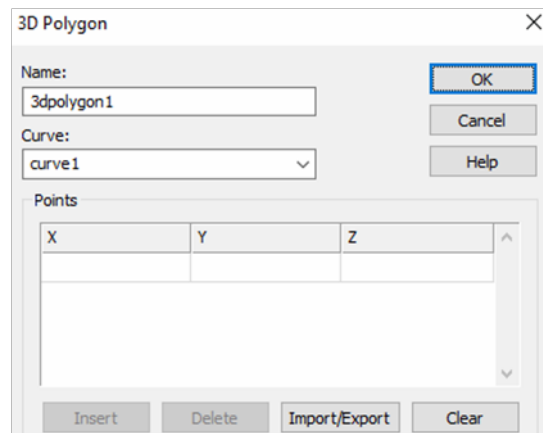
καμπύλης (π.χ. μήκη των ευθυγράμμων τμημάτων που προκύπτουν μετά την εφαρμογή της καμπυλότητας, ακτίνες καμπυλότητας κτλ.), πολύ δε περισσότερο δεν δυνάμεθα να τα παραμετροποιήσουμε.

- Την λύση σε αυτό το πρόβλημα μας την προσφέρει η 3D polygon. Η 3D polygon ορίζεται και αυτή σημείο προς σημείο, ως τεθλασμένη γραμμή. Όμως μπορούμε στην συνέχεια να της προσθέσουμε εμείς (ελεγχόμενα δηλ.) και καμπυλότητα. Τα σημεία της μπορεί να προέρχονται από Picked Points, όμως μπορούν να οριστούν και με βάση τις συντεταγμένες τους στο global coordinate system.

Συνεπώς για την εφαρμογή ας αυτή, επιλέξαμε το είδος καμπύλης 3D polygon και ακριβώς για τον λόγο ότι παρέχει ελεγχόμενης κατασκευής καμπύλης, κάτι που μας δελεάζει πολύ, δεδομένων των παραμετροποιήσεών μας.

4.2.4.1 Ορισμός των Σημείων της Καμπύλης

Μετά την επιλογή της 3D polygon από το μενού της Εικόνας 4.15, πατούμε το Esc και ανοίγει ένα παράθυρο, που μας επιτρέπει να ορίσουμε τα σημεία της καμπύλης, μέσω των συντεταγμένων τους (και όχι π.χ. απλά μέσω των Picked Points).



Εικόνα 4.18: Το παράθυρο ορισμού των συντεταγμένων των σημείων μιας 3D polygon [56].

Μάλιστα το μοναδικό είναι ότι ως συντεταγμένες των σημείων αυτών μπορούν να τοποθετηθούν και παράμετροι ή πράξεις παραμέτρων. Αυτό μας παρέχει την δυνατότητα να έχουμε απόλυτο έλεγχο της θέσης της καμπύλης του καλωδίου πάνω στο τραπέζι της ESD δοκιμής και γι' αυτό και προτιμούμε αυτόν τον τρόπο ορισμού της καμπύλης.

Όπως φάνηκε και στην κάτοψη του Σχήματος 4.1, η τεθλασμένη γραμμή ορίστηκε με βάση 10 σημεία. Οι συντεταγμένες τους είναι οι ακόλουθες:

Σημείο A:

$x = x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End,$
 $y = y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End,$
 $z = z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End.$

Σημείο B:

$x = (HCP_Length/2) + l1 + l2,$
 $y = y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End,$
 $z = z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End.$

Σημείο C:

$$x = (HCP_Length/2) + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - (2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders).$$

Σημείο D:

$$x = HCP_Length/2 - Support_Distance_right,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - (2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders).$$

Σημείο E:

$$x = -(HCP_Length/2) + Support_Distance_left + d3 + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - (2 \cdot Bend_Radiious_near_bleeders).$$

Σημείο F:

$$x = -(HCP_Length/2) + Support_Distance_left + d3 + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2).$$

Σημείο G:

$$x = HCP_Length/2 - Support_Distance_right,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2).$$

Σημείο H:

$$x = (HCP_Length/2) + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2),$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2).$$

Σημείο I:

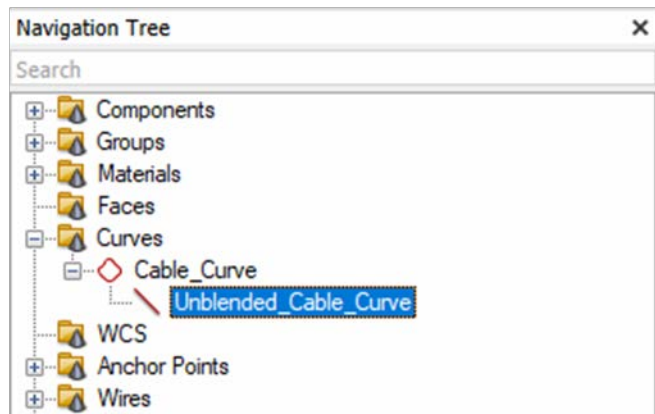
$$x = (HCP_Length/2) + l1 + l2,$$

$$y = y_coordinate_of_Receiving_Cable_End,$$

$$z = z_coordinate_of_Receiving_Cable_End.$$

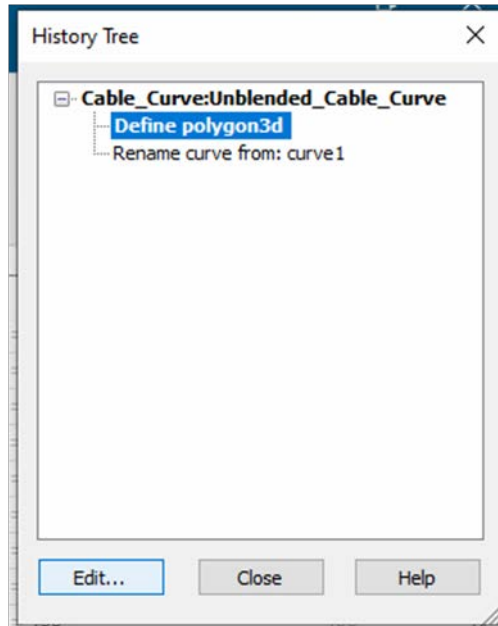
Σημείο J:
 $x = x_coordinate_of_Receiving_Cable_End,$
 $y = y_coordinate_of_Receiving_Cable_End,$
 $z = z_coordinate_of_Receiving_Cable_End.$
Σχόλιο σχετικά με την υλοποίηση του ελέγχου για την μη κάμψη του καλωδίου πέρα από το όριο:

Επίτηδες έχουμε επιλέξει την συνεισφορά της τιμής της $d2$ στην τοποθέτηση των πίσω σημείων της καμπύλης να την δίνουμε μέσω της $Bend_Radiious_near_bleeders$, ώστε να προηγείται ο έλεγχος ότι δεν πέφτουμε κάτω από την ελάχιστη ακτίνα κάμψεως.

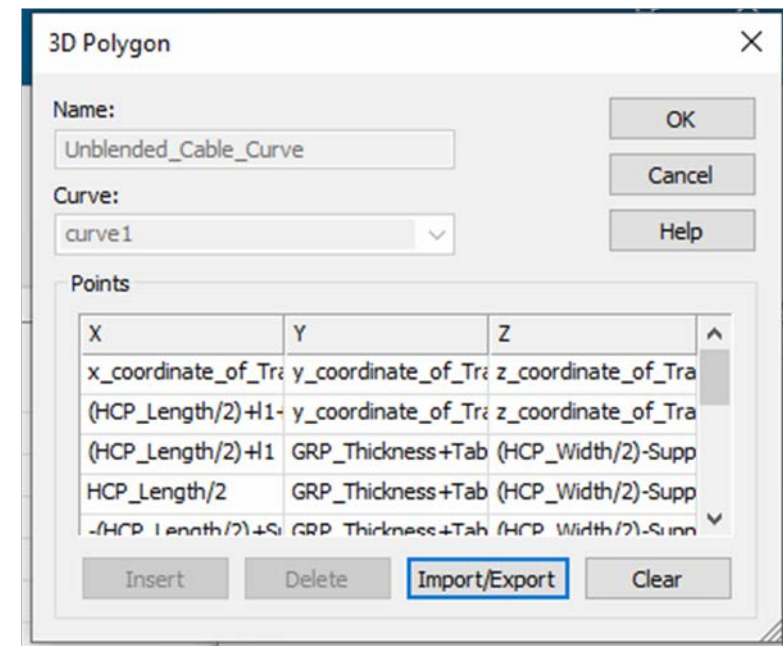


Εικόνα 4.19: Ο εντοπισμός της καμπύλης από το Navigation Tree [56].

Τις συντεταγμένες αυτές τις δηλώνουμε στο παράθυρο ορισμού της καμπύλης (αυτό της Εικόνας 4.18) Ανά πάσα στιγμή μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε αυτές τις συντεταγμένες και να τις τροποποιούμε. Αυτό γίνεται με επιλογή της καμπύλης μας με διπλό κλικ από το Navigation Tree στο αριστερό μέρος της οθόνης του CST. Στην συνέχεια ανοίγει ένα παράθυρο με πληροφορίες για την αλληλουχία ενεργειών που οδήγησε στην δημιουργία αυτής της καμπύλης. Σε αυτό επιλέγουμε Define Polygon 3D και κατόπιν πατούμε Edit (βλ. την Εικόνα 4.21). Και έτσι θα μας ανοίξει το παράθυρο, που είδαμε και προηγουμένως (στην Εικόνα 4.18), στο οποίο πλέον θα φαίνονται οι συντεταγμένες των σημείων της καμπύλης (βλ. την Εικόνα 4.20).



Εικόνα 4.21: Το παράθυρο με την (χρονική) αλληλουχία ενεργειών που ακολουθήθηκαν μέχρι την δημιουργία της καμπύλης [56].



Εικόνα 4.20: Το παράθυρο ορισμού των συντεταγμένων των σημείων της 3D polygon που κατασκευάσαμε [56].

4.2.4.2 Εισαγωγή της Καμπυλότητας

Με την διαδικασία που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η καμπύλη μας ορίζεται με απόλυτη ακρίβεια, εν πρώτοις σαν **τεθλασμένη γραμμή** στον 3D χώρο. Επειδή εξυπηρετεί εποπτικά να φαίνεται και ως τεθλασμένη γραμμή η καμπύλη, προκειμένου να φαίνονται οι θέσεις των κορυφών της, προτού εισάγουμε σε αυτή την καμπυλότητα (με τρόπο που θα εξηγήσουμε παρακάτω), επιλέξαμε να διατηρήσουμε και ένα Project στο οποίο η καμπύλη είναι ακόμα στην μορφή της τεθλασμένης γραμμής. Το Project αυτό έχει όνομα Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_unblended.cst, όπως έχουμε αναφέρει στην υποενότητα 4.2.2.

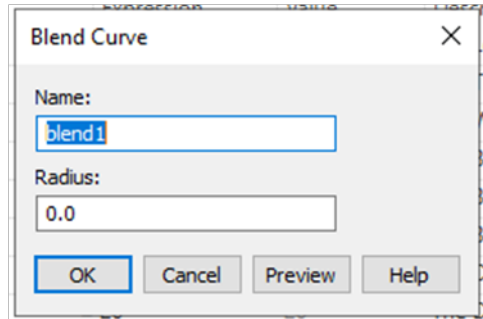
Αφ' ότου οριστεί η 3D polygon λοιπόν, μπορεί να δοθεί καμπυλότητα στις κορυφές της, αυτή την φορά όμως όχι τυχαία (όπως συμβαίνει με την 3D Spline), αλλά με συγκεκριμένη ακτίνα καμπυλότητας, που καθορίζεται από τον χρήστη. Μάλιστα, όπως και με τις συντεταγμένες, έτσι και με την ακτίνα

καμπυλότητα, ισχύει ότι μπορεί να δοθεί παραμετρικά. Η καμπυλότητα στα κατάλληλα σημεία της 3D curve δόθηκε σε διαφορετικό project, το Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_.cst, το οποίο προέρχεται από εκ νέου και με νέο όνομα αποθήκευση του προηγούμενου και κατά τα άλλα είναι απολύτως ίδιο με αυτό (π.χ. η λίστα παραμέτρων είναι ίδια).

Η διαδικασία του ορισμού καμπυλότητας είναι η εξής: είτε με διπλό κλικ στον χώρο είτε από το Navigation Tree επιλέγουμε την τεθλασμένη γραμμή.

Στην συνέχεια, από τα εργαλεία που αφορούν τις καμπύλες επιλέγουμε το Blend Curve (βλ. την Εικόνα 4.15). Πλέον μπορούμε να επιλέξουμε με διπλό κλικ από την καμπύλη τις γωνίες, στις οποίες θέλουμε να δώσουμε καμπυλότητα. Επιλέγοντας κάθε τέτοιο σημείο προκύπτει το παράθυρο της Εικόνας 4.22. Εδώ μπορούμε να δηλώσουμε την παραμετρική τιμή της ακτίνας καμπυλότητας που επιθυμούμε. Με τον τρόπο αυτόν δημιουργείται ένα μικρό καμπύλο τμήμα πάνω στην μέχρι πρότινος τεθλασμένη μας γραμμή. Μάλιστα σε αυτό το τμήμα μπορεί να δοθεί και συγκεκριμένο όνομα (όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα).

Τα σημεία της τεθλασμένης στα οποία πρέπει να εισαχθεί καμπυλότητα είναι, βάσει του σχήματος της κατόψεως (βλ. Σχήμα 4.1) τα: B, C, E, F, H και I. Το όνομα του αντιστοίχου τμήματος και η ακτίνα καμπυλότητας, που δηλώθηκε για το κάθε σημείο, είναι:



Εικόνα 4.22: Το παράθυρο ορισμού της καμπυλότητας σε ένα σημείο μιας 3D polygon [56].

Για το Σημείο B:

καμπύλο τμήμα: first_blend_near_transmitter

ακτίνα: Bend_Radious_1_near_connectors

Για το Σημείο C:

καμπύλο τμήμα: second_blend_near_transmitter

ακτίνα: Bend_Radious_2_near_connectors

Για το Σημείο E:

καμπύλο τμήμα: back_blend_near_bleeders

ακτίνα: Bend_Radious_near_bleeders

Για το Σημείο F:

καμπύλο τμήμα: front_blend_near_bleeders

ακτίνα: Bend_Radious_near_bleeders

Για το Σημείο H:

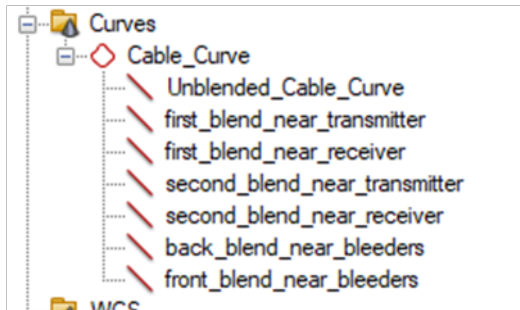
καμπύλο τμήμα: second_blend_near_receiver

ακτίνα: Bend_Radious_2_near_connectors

Για το Σημείο I:

καμπύλο τμήμα: first_blend_near_receiver

ακτίνα: Bend_Radiious_1_near_connectors



Εικόνα 4.23: Η καμπύλη του καλωδίου με όλα τα τμήματα από τα οποία τελικά αποτελείται, όπως εντοπίζεται στο Navigation Tree [56].

Μετά την δημιουργία κάθε ενός τέτοιου καμπύλου τμήματος, ουσιαστικά η αρχική curve «σπάει» σε κομμάτια και το CST θεωρεί ότι αποτελείται πλέον από τμήματα. Δηλ. στο εξής κάθε καμπύλο τμήμα θεωρείται σαν μια άλλη καμπύλη και από την αρχική τεθλασμένη (η Unblended_Cable_Curve στην Εικόνα 4.23, που ακολουθεί) απομένει το σύνολο ευθυγράμμων τμημάτων, αν της αφαιρέσουμε τα καμπύλα τμήματα που δημιουργήθηκαν. Όλα αυτά τα τμήματα καμπυλών ανήκουν βέβαια στην ίδια αρχική curve (η Cable_Curve στην Εικόνα 4.23) και φαίνονται στο Navigation Tree. από εκεί μπορούμε να επεξεργαζόμαστε ανά πάσα στιγμή τα χαρακτηριστικά τους, ως επίσης και να τα μετονομάσουμε κατά βούλησιν.

4.2.4.3 Εισαγωγή των Διαστάσεων

Όπως διαπιστώσαμε, οι παράμετροι $d1$, $d2$, $d3$, $l1$, $l2$, $l3$ και h είναι εκείνες που είναι υπεύθυνες, ώστε ο χρήστης – πειραματιζόμενος να ορίσει στον προσομοιωτή την θέση του καλωδίου του επί του τραπεζιού (ακολουθώντας το τρόπο που αυτή ορίστηκε στο πραγματικό πείραμα). Για να είναι λοιπόν εποπτικά εμφανής η σημασία και ο ρόλος των παραμέτρων και σε έναν άλλον χρήστη του συγκεκριμένου Project (και όχι μόνο στον δημιουργό) αποφασίστηκε να οριστούν και ως διαστάσεις (dimensions) και να φαίνονται επί του τραπεζιού.

Κάθε μία από αυτές τις διαστάσεις ορίζεται με δύο σημεία, που επιλέγουμε ως Pick Points. Προκειμένου όμως να έχουμε έλεγχο της θέσεως των διαστάσεων, και να αλλάζουν αυτόματα όταν αλλάζει και η τιμή που δίνει σε αυτές ο χρήστης, τα σημεία αυτά τα καθορίσαμε με παραμετρικές συντεταγμένες. Αυτό γίνεται αν επιλέξουμε να ορίσουμε τα σημεία μέσω συντεταγμένων, με την επιλογή “Pick Point from Coordinates...” από τις δυνατότητες της Εικόνας 3.63. Στην συνέχεια στο παράθυρο που προκύπτει (όπως αυτό που βλέπουμε π.χ. στην Εικόνα 3.75), δηλώνουμε την παράμετρο ή τις πράξεις παραμέτρων που θέλουμε σε κάθε συντεταγμένη του σημείου μας. Αφ’ ης στιγμής λοιπόν επιλέξουμε δύο σημεία (με την ακρίβεια της παραπάνω διαδικασίας), για να ορίσουμε την αντίστοιχη διάσταση πηγαίνουμε στο μενού της εργαλειοταξινίας View και κάνουμε χρήση του εργαλείου Dimensions από την καρτέλα Drawing (βλ. Εικόνα 3.23).

Ακολουθώς παραθέτουμε τις συντεταγμένες των δύο άκρων κάθε διαστάσεως:

Για την $d1$:

1^ο άκρο:

$$\begin{aligned}x &= x_coordinate_of_dimension_d1, \\y &= GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness, \\z &= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.\end{aligned}$$

2^ο άκρο:

$$\begin{aligned}x &= x_coordinate_of_dimension_d1, \\y &= GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness, \\z &= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1.\end{aligned}$$

Για την $d2$:

1^ο άκρο:

$$\begin{aligned}x &= x_coordinate_of_dimension_d1 + distance_between_dimensions_d1_and_d2^{188}, \\y &= GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness, \\z &= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.\end{aligned}$$

2^ο άκρο:

$$\begin{aligned}x &= x_coordinate_of_dimension_d1 + distance_between_dimensions_d1_and_d2^{189}, \\y &= GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness, \\z &= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d2^{190}.\end{aligned}$$

Για την $d3$:

1^ο άκρο:

$$\begin{aligned}x &= (-HCP_Length/2) + Support_Distance_left, \\y &= GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness, \\z &= (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - Bend_Radious_near_bleeders^{191}.\end{aligned}$$

¹⁸⁸ Η προσθήκη της αποστάσεως $distance_between_dimensions_d1_and_d2$ γίνεται απλώς για να διαχωριστούν οπτικά μεταξύ τους οι δύο διαστάσεις.

¹⁸⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 188.

¹⁹⁰ Για το δεύτερο άκρο της διαστάσεως $d2$ και για την z συντεταγμένη του, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε την ίδια την παράμετρο $d2$ (και όχι μια πράξη με την $d1$ και την ακτίνα καμπυλότητας, όπως κάναμε στον ορισμό των σημείων της καμπύλης, στην παράγραφο 4.2.4.1). Αυτό το προτιμήσαμε διότι θέλαμε να βλέπουμε τα αποτελέσματα του ελέγχου ώστε η ακτίνα κάμψεως του καλωδίου να μην ξεπεράσει το επιτρεπόμενο όριο. Δηλ., σε περίπτωση που η $d2$ δοθεί πολύ μικρή, ο έλεγχος που εφαρμόσαμε μέσω του ορισμού των σημείων της καμπύλης δεν θα αφήσει το καλώδιο να καμφθεί τόσο όσο υπαγορεύει η μικρή τιμή της $d2$. Οπότε, επί του σχήματος η μεν διάσταση $d2$ θα τελειώνει νωρίτερα, δηλ. κοντύτερα προς την μπροστινή άκρη του βακελίτη, ενώ η καμπύλη του καλωδίου θα εκτείνεται και λίγο πιο βαθιά σε αυτόν, όσο υπαγορεύει η ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψεως (που θα έχει εφαρμοστεί για το καμπύλο τμήμα δίπλα στα bleeders).

2^ο άκρο:

$$x = (-HCP_Length/2) + Support_Distance_left + d3,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front - d1 - (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) - Bend_Radious_near_bleeders^{192}.$$

Για την l1:

1^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

2^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

Για την $(Cable\ Diameter/2) + h^{193}$:

1^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

2^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

Για την l2:

1^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

¹⁹¹ Η παράμετρος *Bend_Radious_near_bleeders* ήδη περιλαμβάνει τον σχετικό έλεγχο.

¹⁹² Βλ. ανωτ. υποσ. 191.

¹⁹³ Εδώ έχουμε ορίσει την διάσταση αυτή με ακρίβεια, συμπεριλαμβάνοντας και το πάχος του καλωδίου (ασχέτως που ακόμη αυτό είναι μηδενικό, λόγω της τιμής της παραμέτρου *to_be_replaced_with_Cable_Diameter*) καθώς όταν θα φορτωθεί το καλώδιο θα ανέλθει κατά το μισό της διαμέτρου.

2^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1 + l2,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

Για την l3:

1^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1 + l2,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

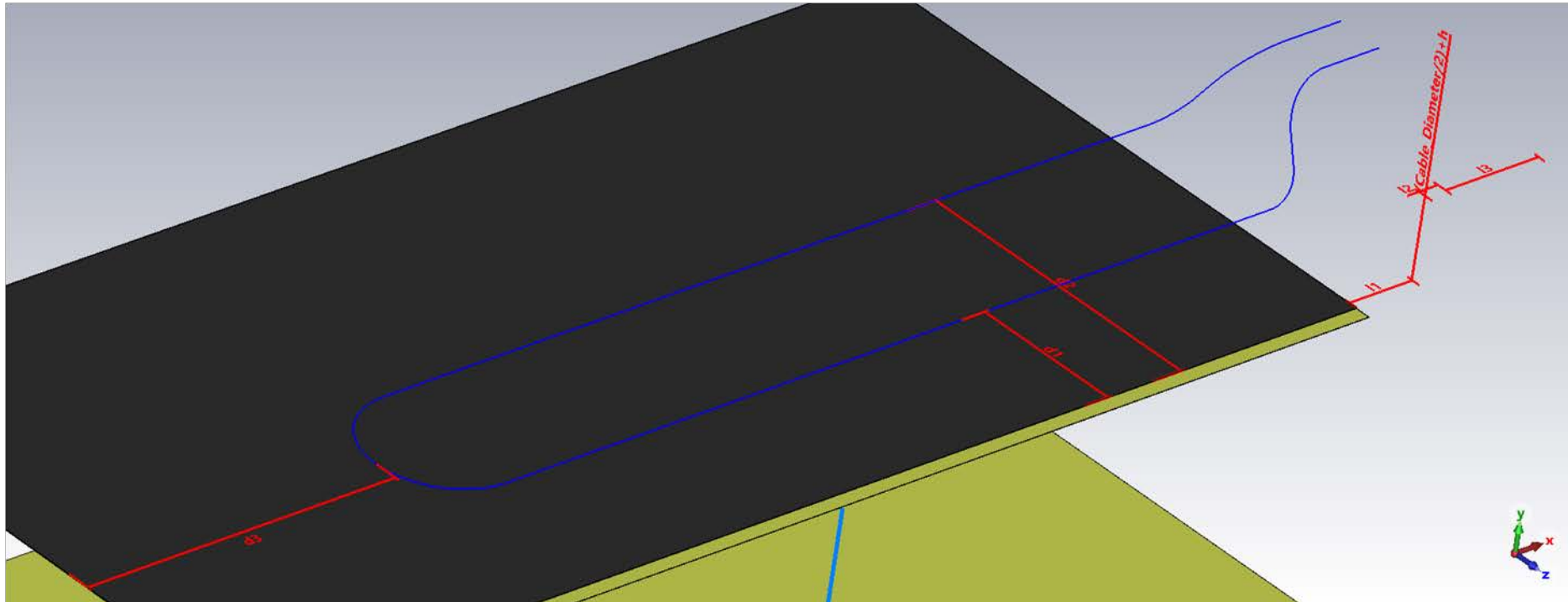
2^ο άκρο:

$$x = HCP_Length/2 + l1 + l2 + l3,$$

$$y = GRP_Thickness + Table_Height + HCP_Thickness + Bakelite_Insulating_Layer_Thickness + (to_be_replaced_with_Cable_Diameter/2) + h,$$

$$z = (HCP_Width/2) - Support_Distance_front.$$

Οι διαστάσεις αυτές φαίνονται και στις Εικόνες 4.16 και 4.17, στις οποίες η καμπύλη είναι ακόμη τεθλασμένη, αλλά φαίνονται και στο τελικό αρχείο όπου δόθηκε η καμπυλότητα. Εικόνα αυτού παραθέτουμε από κάτω.



Εικόνα 4.24: Η καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου, στην τελική της μορφή (για το καλώδιο των 3 m), επί της οποίας διακρίνονται και οι σχετικές διαστάσεις [56].

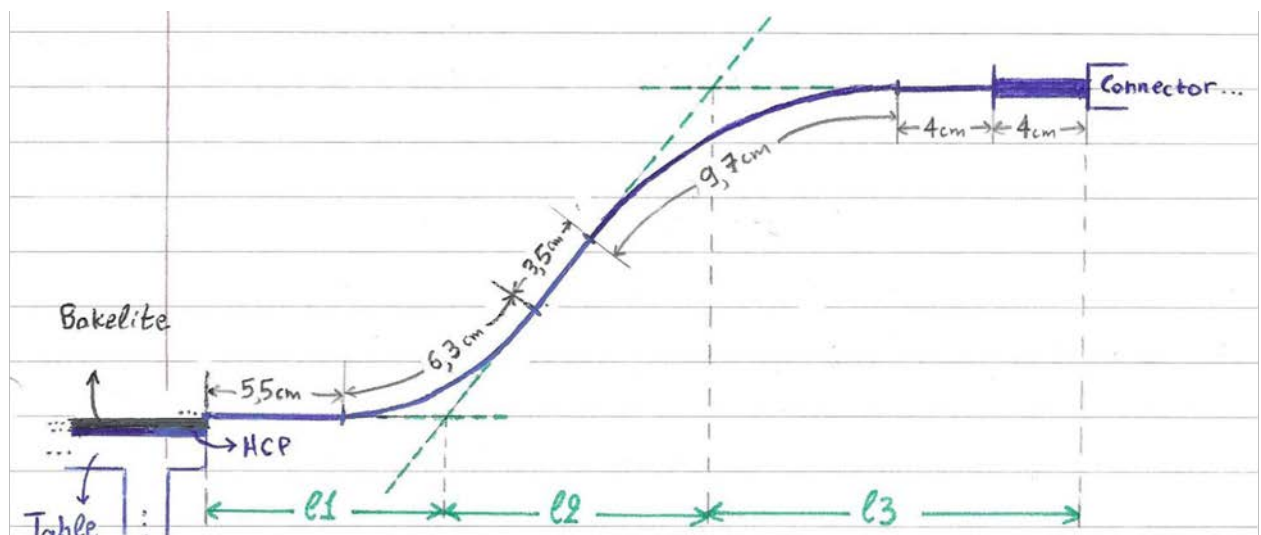
4.2.5 Τα 2 δυνατά Μήκη Καλωδίου

Όπως έχουμε πει ξανά (στην παράγραφο 4.2.3.3), διευκρινίζουμε πάλι ότι, κατά την τοποθέτηση του καλωδίου, οι διαστάσεις $d1$, $d2$, $d3$, $l1$, $l2$, $l3$, αλλά και οι καμπυλότητες $Inner_Bend_Radiouss_1_near_connectors$ και $Inner_Bend_Radiouss_2_near_connectors$ είναι μεν στην ευχέρεια του χρήστη, αλλά δεν είναι απολύτως ανεξάρτητες. Στην πραγματικότητα εμμέσως αλληλεξαρτώνται, διότι πρέπει οι τιμές όλων να είναι τέτοιες ώστε να δίνουν εν τέλει στην τελική καμπύλη μήκος τόσο όσο το μήκος του καλωδίου που προσομοιώνουμε. Και αν μεν η προσομοίωση είναι «ελεύθερη» ως προς αυτό, δηλ. γίνονται θεωρητικά πειράματα για διάφορα μήκη καλωδίου, τότε έχει καλώς. Όμως αν γίνεται προσομοίωση ενός πραγματικού συστήματος, εκεί πρέπει να φροντίσουμε να δώσουμε στις παραμέτρους τέτοιες τιμές, ώστε να έχουμε συνολικό μήκος καμπύλης όσο αυτό του πραγματικού καλωδίου.

Στην προκειμένη περίπτωση, όπως αναφέραμε, έχουμε **στο Εργαστήριο Υ. Τ. 2 δοκίμια καλωδίου SpW, ένα των 3 m και ένα των 10 m**. Αυτά βέβαια είναι τα ονομαστικά τους μήκη. Στην πραγματικότητα μετρήθηκαν στις τιμές 3.08 m και 10.08 m αντίστοιχα, διότι πριν από κάθε βύσμα υπάρχει και ένα θωρακισμένο και μονωμένο μήκος 4 cm, όπου γίνεται ο τερματισμός του καλωδίου επάνω στο σώμα του αρσενικού κονέκτορα.

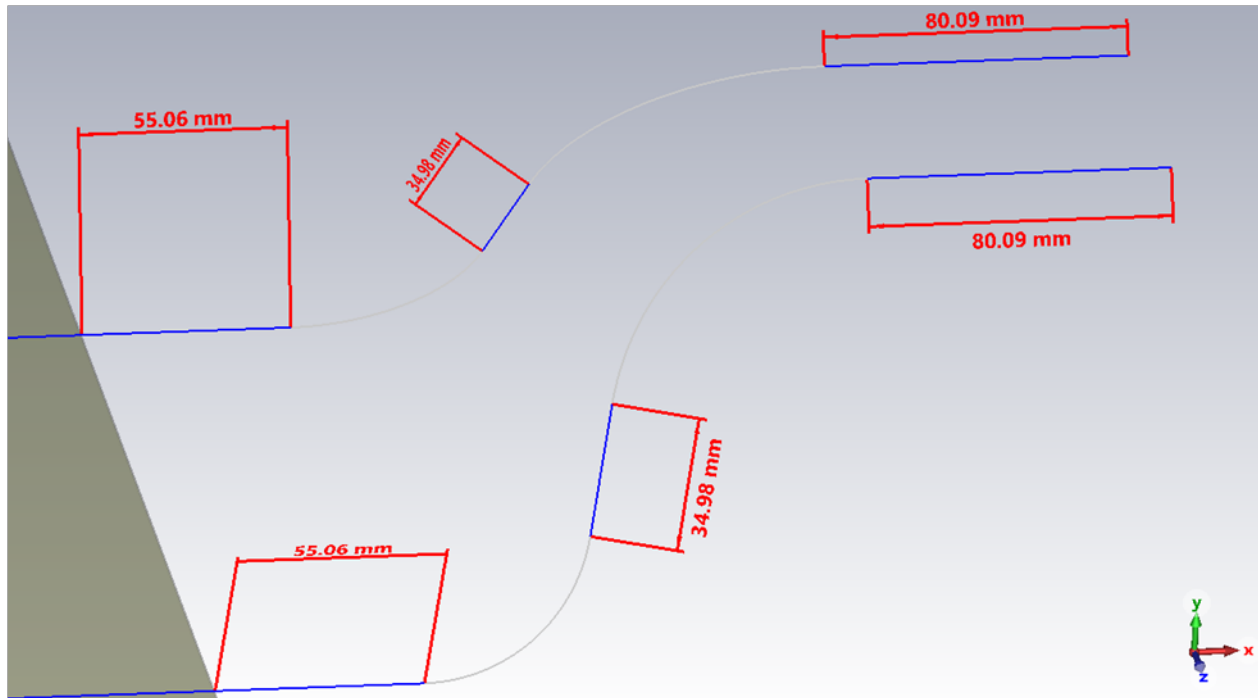
Κατά την τοποθέτησή τους, στα αντίστοιχα πειράματα ESD, επιλέξαμε να διατηρήσουμε τις τιμές των αποστάσεων $d1$, $d2$ και $d3$ ίδιες και για τα δύο μήκη καλωδίου (και συγκεκριμένα στις τιμές που παραθέσαμε νωρίτερα, στην παράγραφο 4.2.3.2). Οι τιμές των αποστάσεων αυτών μετρήθηκαν στο εργαστήριο και περάστηκαν αυτούσιες στο CST. Επομένως η διαφορά των μηκών των δύο δοκιμίων καλωδίου SpW θα καθοριστεί από τις τιμές μερικών από τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε τι τιμές θα δώσουμε στις υπόλοιπες παραμέτρους έπρεπε να κάνουμε κάποια μέτρηση. Όμως οι αποστάσεις $l1$, $l2$, $l3$, αν και είναι εύληπτες όταν έχουμε την τεθλασμένη γραμμή, στην πραγματικότητα δεν είναι εύκολο να εντοπιστούν σε μία καμπύλη. Οπότε καταφύγαμε στην εξής διαδικασία: πρώτα με την μέθοδο του σπάγγου μετρήσαμε στο εργαστήριο το καμπύλο τμήμα του τερματισμού του καλωδίου των 3 m. Σε πρόοψη αυτό φαίνεται στο ακόλουθο πρόχειρο σκαρίφημα:

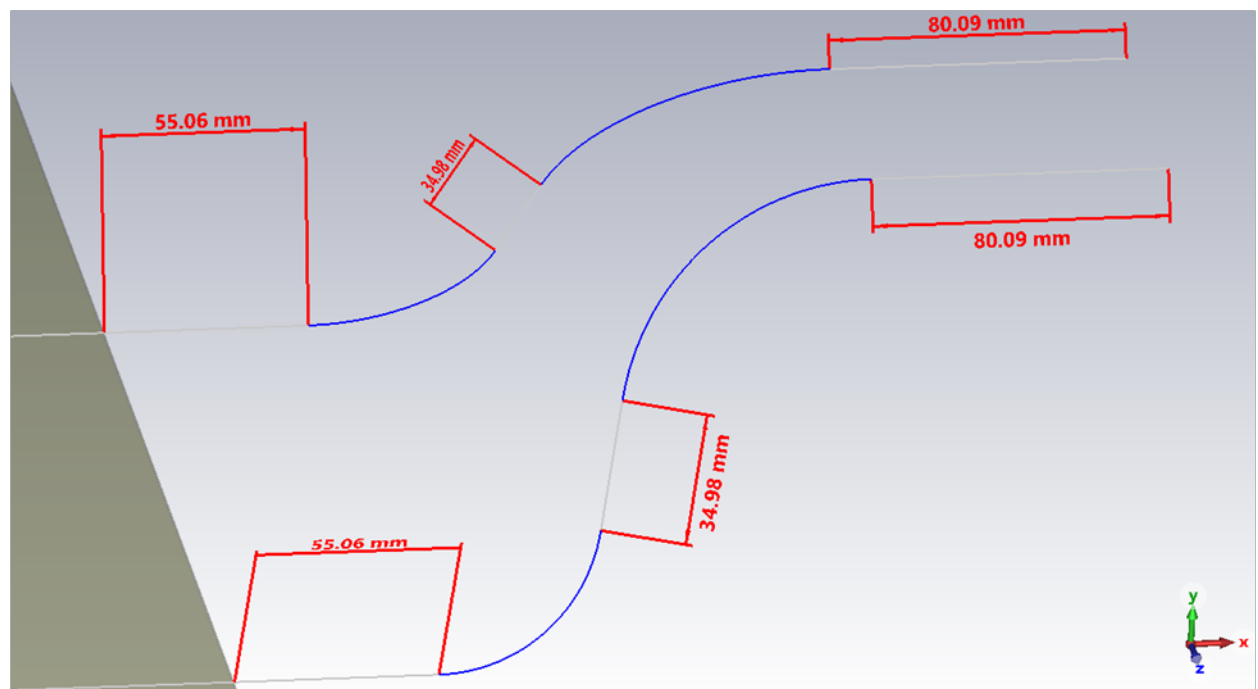


Σχήμα 4.2: Σκαρίφημα του τερματισμού του καλωδίου των 3 m, όπου φαίνονται τα μήκη των καμπύλων και ευθυγράμμων τμημάτων του καλωδίου στην περιοχή αυτή [προσωπικές σημειώσεις του γράφοντος].

Μπορούμε λοιπόν προχέως να διακρίνουμε καμπύλα και ευθύγραμμα τμήματα στο καλώδιο μας στην περιοχή του, που καταλήγει στην κονσόλα. Με τον ίδιο τρόπο, σε καμπύλα και ευθύγραμμα τμήματα χωρίζεται και η καμπύλη στο CST. Τα τμήματα αυτά μπορούμε να τα εντοπίσουμε εύκολα, αν κάνουμε τις κατάλληλες επιλογές από το Navigation Tree (βλ. την Εικόνα 4.23). Παρακάτω παραθέτουμε δύο σχετικές εικόνες (ενδεικτικά από την καμπύλη των 3 m).



Εικόνα 4.25: Τα ευθύγραμμα τμήματα της καμπύλης του καλωδίου στην περιοχή τερματισμού του (με μπλε χρώμα), από επιλογή της *Unblended_Cable_Curve* [56].



Εικόνα 4.26: Τα καμπύλα τμήματα της καμπύλης του καλωδίου στην περιοχή τερματισμού του (με μπλε χρώμα), από επιλογή των *first_blend_near_transmitter*, *second_blend_near_transmitter*, *second_blend_near_receiver* και *first_blend_near_receiver* [56].

Προκειμένου να επαληθεύσουμε τις μετρήσεις μας από το καλώδιο στο εργαστήριο, έπρεπε να κάνουμε μια αντίστοιχη μέτρηση και στο μοντέλο του CST. Οπότε για τα μεν ευθύγραμμα τμήματα μπορούμε να μετρούμε εύκολα το μήκος με το εργαλείο Dimensions (κάτι που φαίνεται και στις δύο παραπάνω εικόνες). Για τα καμπύλα τμήματα όμως, δεν υπάρχει εργαλείο, που να δείχνει το συνολικό τους μήκος σαν διάσταση. Όμως όταν τα επιλέγουμε από το Navigation Tree, στο κάτω αριστερό μέρος της οθόνης μας δείχνει το όνομα του καμπύλου τμήματος και το συνολικό του μήκος, από αυτόματη μέτρηση που κάνει το CST.

Συνεπώς η δουλειά που κάναμε τώρα ήταν η εξής: με διαρκείς δοκιμές στις τιμές των παραμέτρων $l1$, $l2$, $l3$ αλλά και των *Inner_Bend_Radiious_1_near_connectors* και *Inner_Bend_Radiious_2_near_connectors* (και των Inner διότι αυτές είναι ελεύθερες, ενώ οι αντίστοιχες ακτίνες του άξονα του καλωδίου υπολογίζονται από συνθήκη με βάση τις Inner ακτίνες), κατορθώσαμε να φτάσουμε αυτά τα ευθύγραμμα και καμπύλα τμήματα σε τιμές όσο κοντινότερες μπορούσαμε με αυτές που μετρήθηκαν (και φαίνονται στο σκαρίφημα του Σχήματος 4.2). Οι τιμές λοιπόν, στις οποίες καταλήξαμε μετά από δοκιμές, είναι αυτές που παρετέθησαν παραπάνω, στην παράγραφο 4.2.3.2. Παρατηρούμε ότι μόνο η παράμετρος $l1$ είναι αυτή που έχει διαφορετική τιμή από το καλώδιο των 3 m στο καλώδιο των 10 m. Και αυτό γιατί ο τερματισμός τους στην κονσόλα έγινε με την ίδια πρακτικά καμπυλότητα.

Με τις εν λόγω τιμές, το συνολικό μήκος της καμπύλης του καλωδίου στο CST προέκυψε να είναι:

- για το καλώδιο των 3 m: 3.0947232 m
και
- για το καλώδιο των 10 m: 10.0947232 m

και μάλιστα καταλήξαμε στις τιμές αυτές μετά από αρκετές δοκιμές τιμών στις σχετικές παραμέτρους. Επομένως το σφάλμα μας σε σχέση με τα πραγματικά καλώδια ήταν μόλις 1.47232 cm σε μήκος της τάξεως των μέτρων, άρα πραγματικά άνευ σημασίας.

Τοιουτοτρόπως έχουμε ολοκληρώσει την σωστή και κατά πάντα παραμετροποιημένη κατασκευή της καμπύλης, επάνω στην οποία θα «φορτωθεί» εν συνεχεία το καλώδιο SpW. Φυσικά οι παραπάνω ενέργειες της κατασκευής έγιναν μία φορά, για το μήκος των 3 m. Ακολούθησε μια απλή, εκ νέου και με νέο όνομα, αποθήκευση του Project και μια απλή αλλαγή της τιμής της παραμέτρου $l1$ (στην τιμή που υπαγορεύει ο Πίνακας 4.4), έτσι ώστε να δημιουργηθεί η καμπύλη των 10 m (απλώς παραθέσαμε τις εικόνες από το Project της καμπύλης των 3 m). Φυσικά δεν πρέπει να ξεχνούμε την ενημέρωση και της παραμέτρου *Variant_of_SpW_Cable*, όπως υπαγορεύει το σχετικό σχόλιο, που διατυπώσαμε στην υποενότητα 4.2.2.

Κεφάλαιο 5

Το Συναρμολόγημα του

Καλωδίου

Με τον όρο «Συναρμολόγημα Καλωδίου SpW» (“SpW Cable Assembly”) εννοούμε το ολοκληρωμένο τμήμα καλωδίου SpW με τους συνδέσμους «κουμπωμένους» στα δύο άκρα του, το οποίο είναι απολύτως έτοιμο για χρήση, για να συνδεθεί δηλ. σε συσκευές, που λειτουργούν με το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων – πακέτων SpW και να υποστηρίξει μια τέτοια μετάδοση σωστά. Για να περιγράψουμε το αποτέλεσμα της δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου καλωδίου SpW, δανειζόμαστε τον όρο *συναρμολόγημα* από το [25], σαν μια προσπάθεια μεταφράσεως του όρου *assembly*, παρ’ ότι είναι κάπως αδόκιμος.

Για να οδηγηθούμε στο πλήρες Συναρμολόγημα του Καλωδίου SpW θα συνδυάσουμε όλες τις μέχρι τώρα επί μέρους εργασίες. Δηλ. την διατομή του, τους συνδέσμους στους οποίους καταλήγει και την διάταξη στην οποία θα οδεύει. Ο συνδυασμός διαφορετικών αρχείων στο CST είναι μια διαδικασία, που είναι πολύ χρήσιμη, αλλά πρέπει να γίνει με πολλή προσοχή, έτσι ώστε τα προκύπτοντα τελικά αρχεία να είναι λειτουργικά και να μην χρειάζονται συνεχείς διορθώσεις.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, αφού δώσουμε τα βασικά θεωρητικά στοιχεία, που απαιτούνται για την κατανόηση των ενεργειών μας, θα αναλύσουμε το πώς γίνεται ο σωστός συνδυασμός των επιμέρους αρχείων, και θα εξηγήσουμε τα τελικά αρχεία CST (ποιά είναι, γιατί είναι αυτά, πώς δημιουργήθηκαν – προέκυψαν, πώς τα διαχειριζόμαστε).

5.1 Είδη Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW

Σύμφωνα με το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], 3 είναι τα διαφορετικά είδη Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW, τα οποία μπορεί να συναντήσει κανείς:

1. Το Συναρμολόγημα, που χρησιμοποιεί δύο Type A συνδέσμους αρσενικών επαφών, ενωμένους με ένα μήκος καλωδίου. Αυτό δύναται να εμφανιστεί σε δύο μορφές, διαφοροποιούμενες με βάση τον τρόπο τερματισμού των εσωτερικών θωρακίσεων, το Συναρμολόγημα Type A και το συναρμολόγημα Type AL.
2. Το Συναρμολόγημα, που χρησιμοποιεί δύο Type B συνδέσμους αρσενικών επαφών, ενωμένους με ένα μήκος καλωδίου. Αυτό ονομάζεται και Συναρμολόγημα Type B.
3. Το Συναρμολόγημα, που χρησιμοποιεί έναν Type A αρσενικό σύνδεσμο και ένα Type B αρσενικό σύνδεσμο ενωμένους με ένα τμήμα καλωδίου.

Εμείς θα αναπτύξουμε αναλυτικά τα συναρμολογήματα Type A και Type AL, διότι αυτά είναι που υλοποιήσαμε και στο μοντέλο μας. Μόνο για λόγους πληρότητας και πάλι μόνο επιγραμματικά, θα αναφερθούμε στα 2 τελευταία είδη συναρμολογήματος, το Type B και το σύνθετο.

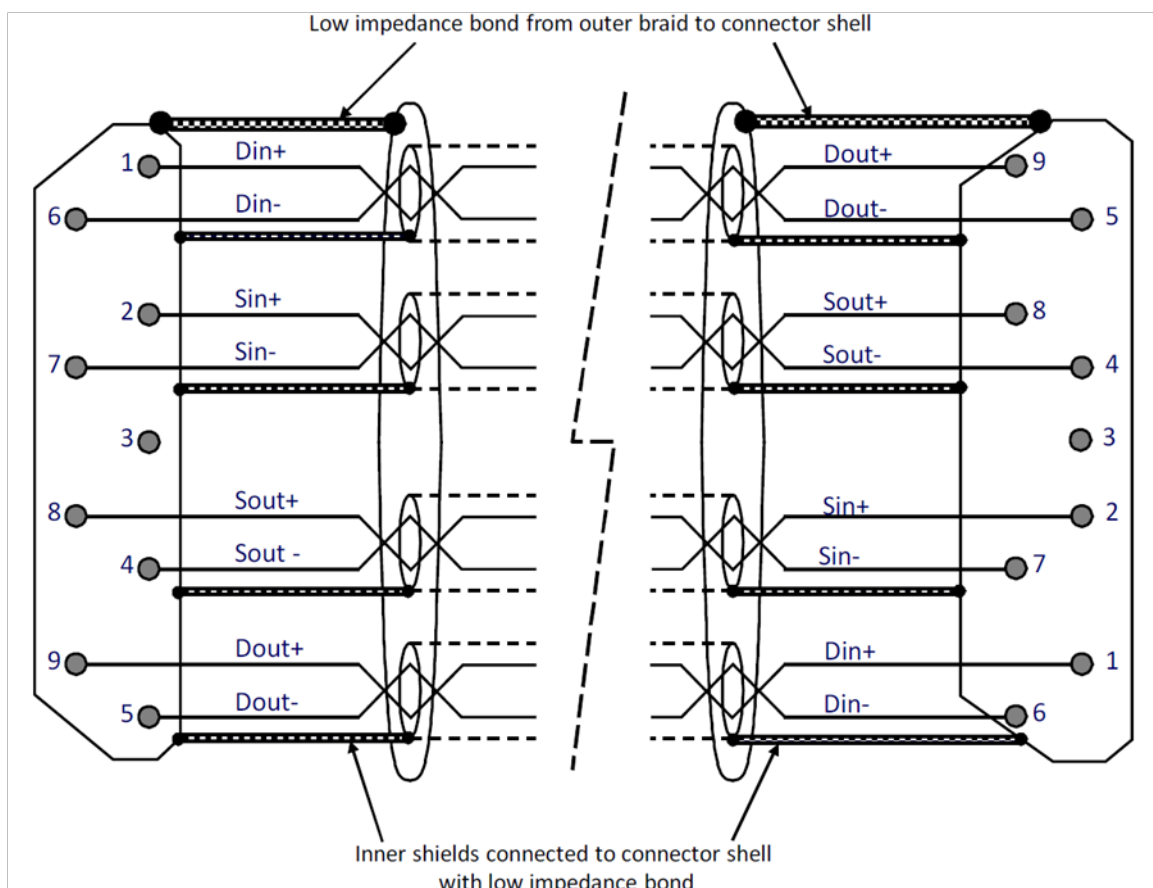
5.1.1 Συναρμολόγημα με Type A Συνδέσμους

Όπως είπαμε, με συνδέσμους Type A, δύο είναι τα τυποποιημένα επιτρεπτά Συναρμολογήματα Καλωδίου SpW, το Type A και το Type AL. Τα δύο αυτά είδη διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο τερματισμού των εσωτερικών τους θωρακίσεων. Ακολούθως θα αναπτύξουμε τα δύο αυτά συναρμολογήματα και τις διαφορές τους.

5.1.1.1 Συναρμολόγημα Type A

Το Συναρμολόγημα Type A Καλωδίου SpW, χρησιμοποιεί συνδέσμους Type A (αυτούς δηλ. που καθορίζονται από τα πρότυπα ESCC 3401/029 [6] και ESCC 3401/077 [7]), ενωμένους με ένα μήκος καλωδίου SpW με διαφορετικά ζεύγη και θωρακίσεις υλοποιημένες κατά τις επιταγές των προτύπων ESCC 3902/003 [8] και ESCC 3902/004 [9].

Ο τερματισμός των επαφών και των θωρακίσεων (εσωτερικών και εξωτερικής) στο Συναρμολόγημα Type A γίνεται με τον τρόπο που βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.1: Ο τερματισμός των θωρακίσεων σε Συναρμολόγημα Type A [2].

Στο παραπάνω σχήμα, στα αριστερά και δεξιά δίνονται πρόχειρα σκαριφήματα του πίσω μέρους των αρσενικών συνδέσμων, στους οποίους καταλήγει το καλώδιο, ενώ ενδιάμεσως φαίνονται οι

αγωγοί των διαφορικών ζευγών και οι θωρακίσεις (εσωτερικές και εξωτερική) και το σε ποιές επαφές των συνδέσεων συνδέονται. Παρατηρούμε τα εξής:

- Όπως μας επισημαίνει το πρότυπο (μέσω του Σχήματος 5.1), και όπως άλλωστε αντιλαμβανόμαστε και λογικά, οι αγωγοί των σημάτων του καλωδίου διασταυρώνονται κατάλληλα ώστε να γίνεται σωστά ο τερματισμός τους στις επαφές που ταιριάζουν, από πλευράς μετάδοσης και λήψης. Π.χ. ο αγωγός, που στον ένα κονέκτορα είναι *Din +* (άρα σε αυτόν εισάγονται δεδομένα), στον άλλον κονέκτορα πρέπει να καταλήγει στην επαφή του *Dout +* (διότι από εκεί θα εξάγονται δεδομένα).
- Η εξωτερική θωράκιση τερματίζεται πάνω στο κέλυφος του κονέκτορα (με τρόπο που θα εξηγήσουμε στην υποενότητα 5.2.1, που θα ακολουθήσει).
- Επίσης όλες οι εσωτερικές θωρακίσεις τερματίζονται και αυτές στο κέλυφος του κονέκτορα και από τις δύο πλευρές του καλωδίου.
- Η επαφή του αρσενικού βύσματος με αριθμό 3 (βάσει της ταυτοποίησης επαφών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2, στην υποενότητα 3.5.1) θα παραμείνει ασύνδετη και από τις δύο πλευρές του συναρμολογήματος. Επειδή τώρα, όπως έχουμε πει στις υποενότητες 3.4.1 και 3.5.1 η επαφή 3 του θηλυκού κονέκτορα συνδέεται στην γείωση του συστήματος, έτσι εμμέσως γειώνεται και το pin 3 του αρσενικού κονέκτορα (και δεν είναι «στον αέρα») (βλ. και τις υποσημειώσεις 126 και 128).
- Όπως έχουμε αναφέρει ξανά (στην υποενότητα 3.4.1), το σώμα του θηλυκού κονέκτορα συνδέεται με την γείωση του συστήματος μέσω της συσκευής ή της πλακέτας στην οποία τοποθετείται. Η σύνδεση τώρα του μεταλλικού κελύφους του αρσενικού με αυτό του θηλυκού κονέκτορα (όταν βρίσκονται σε δεσμική κατάσταση) είναι μια σύνδεση πολύ χαμηλής αντιστάσεως, συνεπώς έτσι γειώνεται και το σασί του αρσενικού κονέκτορα. Μέσω τώρα των συνδέσεων όλων των θωρακίσεων με το σασί του αρσενικού κονέκτορα εξασφαλίζεται η γείωση όλων των θωρακίσεων (και από τις δύο τους πλευρές στο εν λόγω Συναρμολόγημα).

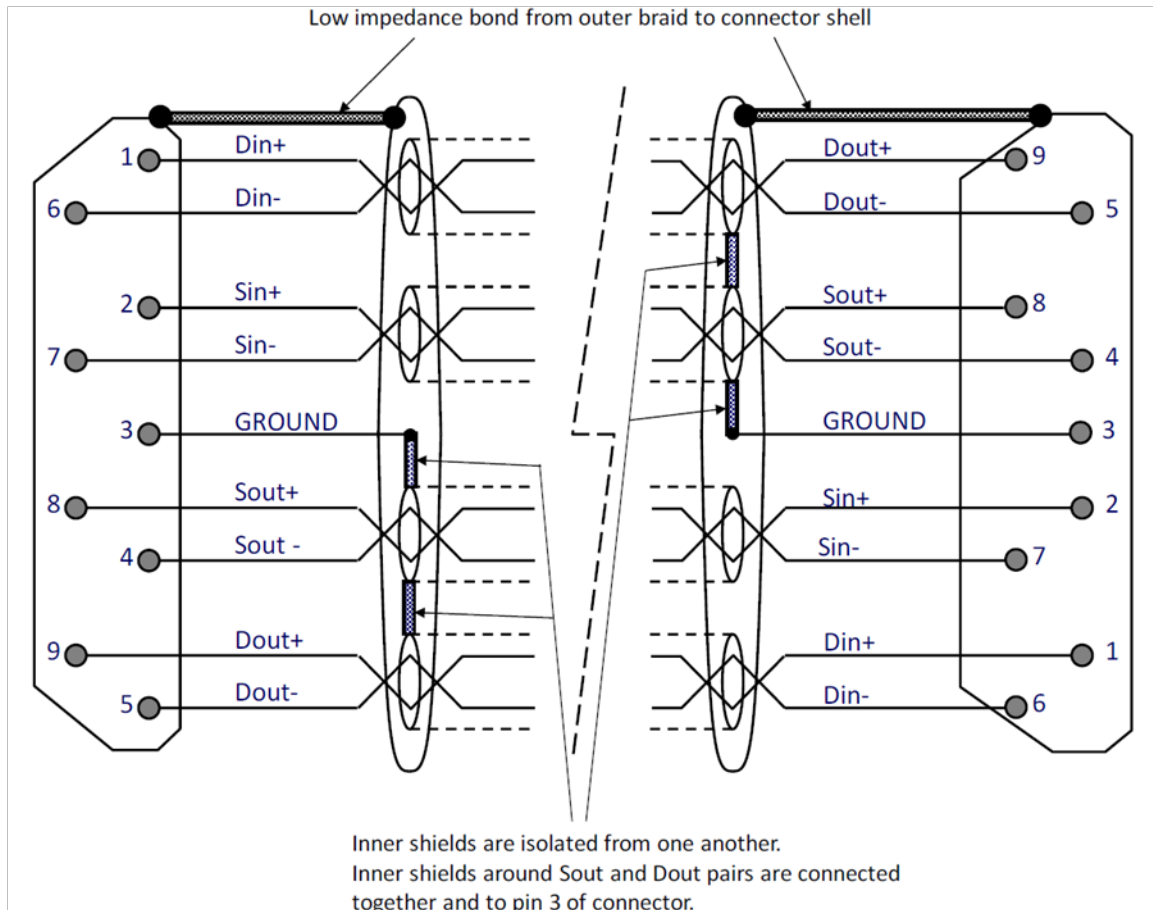
Οι συνδέσεις που περιεγράφησαν παραπάνω, θα δοθούν και στον Πίνακα 5.3, στην παράγραφο 5.6.2.1, με συγκεκριμένα πλέον ονόματα τερματικών, όπως ακριβώς υλοποιήθηκαν.

5.1.1.2 Συναρμολόγημα Type AL

Το Συναρμολόγημα Type AL (όπου το “L” προέρχεται από την λέξη “Legacy”) είναι το πρώτο και παλαιότερο συναρμολόγημα καλωδίου SpW που χρησιμοποιήθηκε. Λόγω ακριβώς της παλαιότητός του, το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] δεν το συνιστά πλέον για νέα σχέδια ζεύξεων SpW. Όμως επειδή πάρα πολλές εφαρμογές με SpW, που έχουν υλοποιηθεί και βρίσκονται ακόμη σε λειτουργία, αυτό χρησιμοποιούν, γι’ αυτό και το πρότυπο αναφέρεται με λεπτομέρεια στα χαρακτηριστικά του (για παράδειγμα και τα συναρμολογήματα SpW που υπάρχουν στο Εργαστήριο Υ. Τ. είναι Type AL).

Από τα λεγόμενα λοιπόν του ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], μαθαίνουμε ότι, το Συναρμολόγημα Type AL καλωδίου SpW χρησιμοποιεί και αυτό συνδέσμους Type A (αυτούς δηλ. που καθορίζονται από τα ESCC 3401/029 [6] και ESCC 3401/077 [7]), ενωμένους με ένα μήκος καλωδίου SpW με διαφορεικά ζεύγη και θωρακίσεις υλοποιημένες κατά τις επιταγές των ESCC 3902/003 [8] και ESCC 3902/004 [9].

Ο τερματισμός των επαφών και των θωρακίσεων (εσωτερικών και εξωτερικής) στο Συναρμολόγημα Type AL γίνεται με τον τρόπο που βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2: Ο τερματισμός των θωρακίσεων σε Συναρμολόγημα Type AL [2].

Το παραπάνω σχήμα έχει ακριβώς την ίδια φιλοσοφία με το Σχήμα 5.1, δηλ. και πάλι δείχνει τους δύο αρσενικούς συνδέσμους και τα αγωγίμα μέρη του καλωδίου SpW ανάμεσά τους με τις αντίστοιχες συνδέσεις τους. Παρατηρούμε τα εξής:

- Ως προς τον τερματισμό των επαφών των συνδέσμων, που αντιστοιχούν στα σήματα των τεσσάρων διαφορικών ζευγών, δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των δύο συναρμολογημάτων, Type A και Type AL. Και πάλι το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] μας επισημαίνει να προσέξουμε ώστε οι αγωγοί των σημάτων του καλωδίου να διασταυρωθούν κατάλληλα, προκειμένου να γίνεται σωστά ο τερματισμός τους στις επαφές που ταιριάζουν, από πλευράς μετάδοσης και λήψης. Π.χ. ο αγωγός που στον ένα κονέκτορα είναι *Din +* (άρα σε αυτόν εισάγονται δεδομένα), στον άλλον κονέκτορα πρέπει να καταλήγει στην επαφή του *Dout +* (διότι από εκεί θα εξάγονται δεδομένα).
- Επίσης δεν υπάρχει καμία διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο τερματισμού της εξωτερικής θωρακίσεως. Και πάλι αυτή τερματίζεται πάνω στο κέλυφος του κονέκτορα (κατά τον τρόπο που θα εξηγήσουμε στην υποενότητα 5.2.1).
- Οι αλλαγές τους εντοπίζονται μόνο ως προς τον τρόπο τερματισμού των εσωτερικών θωρακίσεων. Πιο συγκεκριμένα:
 - Οι εσωτερικές θωρακίσεις πρέπει να είναι όλες απομονωμένες (ηλεκτρικά) από την εξωτερική θωράκιση.
 - Οι εσωτερικές θωρακίσεις των διαφορικών ζευγών των σημάτων *Sout* (*Sout +*, *Sout -*) και *Dout* (*Dout +*, *Dout -*) συνδέονται μεταξύ τους και με την επαφή με νούμερο 3 στον αρσενικό κονέκτορα της μίας μόνο πλευράς του καλωδίου (δηλ. τα δύο ζεύγη που έχουν ονομασία *Sout* και *Dout* από την μεριά, έστω αυτή, που συμβατικά αντιστοιχεί στον Transmitter, θα έχουν τις θωρακίσεις τους ενωμένες μεταξύ τους και με το pin 3 του αρσενικού κονέκτορα του Transmitter και τα άλλα δύο ζεύγη, που από την μεριά του

Transmitter αντιστοιχούν στα σήματα Din και Sin και από την μεριά του Receiver στα σήματα Dout και Sout, θα έχουν τις θωρακίσεις τους ενωμένες μεταξύ τους και με το pin 3 του αρσενικού κονέκτορα του Receiver).

- ο Οι δύο εσωτερικές θωρακίσεις που συνδέονται στο Pin 3 του αρσενικού κονέκτορα στην μία άκρη του καλωδίου θα πρέπει να είναι απομονωμένες (ηλεκτρικά) από τις άλλες δύο εσωτερικές θωρακίσεις που συνδέονται στο Pin 3 του κονέκτορα της άλλης μεριάς του καλωδίου.
- Όπως ισχύει και για το Type A Συναρμολόγημα (και έχουμε αναφέρει ξανά στην υποενότητα 3.4.1) το σώμα του θηλυκού κονέκτορα συνδέεται με την γείωση του συστήματος μέσω της συσκευής ή της πλακέτας στην οποία τοποθετείται. Η σύνδεση τώρα του μεταλλικού κελύφους του αρσενικού με αυτό του θηλυκού κονέκτορα είναι μια σύνδεση πολύ χαμηλής αντιστάσεως, συνεπώς έτσι γειώνεται και το σασί του αρσενικού κονέκτορα και μέσω αυτού και η εξωτερική θωράκιση.
- Επίσης, όπως έχουμε πει στην υποενότητα 3.4.1, η επαφή 3 του θηλυκού κονέκτορα συνδέεται στην γείωση του συστήματος, έτσι εμμέσως γειώνεται και το pin 3 του αρσενικού κονέκτορα και μέσω αυτού γειώνονται και οι εσωτερικές θωρακίσεις (από την μία μεριά της μόνο η κάθε μία). Αυτή η τακτική του να γειώνεται η εσωτερική θωράκιση μόνο στο ένα άκρο του καλωδίου είναι η λεγόμενη Single End Shield Termination, η οποία εσυναντάτο αρκετά συχνά στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα παλαιότερα.

Οι συνδέσεις που περιεγράφησαν παραπάνω θα δοθούν και στον Πίνακα 5.4, στην παράγραφο 5.6.2.2, με συγκεκριμένα πλέον ονόματα τερματικών, όπως υλοποιήθηκαν.

5.1.2 Συναρμολόγημα με Type B Συνδέσμους ή Συναρμολόγημα Type B

Το Συναρμολόγημα Type B είναι ένα συναρμολόγημα καλωδίου, το οποίο καθορίζεται από τον κατασκευαστή – προμηθευτή. Το συναρμολόγημα αυτό θα χρησιμοποιεί και από τις δύο πλευρές του συνδέσμους Type B, όπως περιεγράφησαν στην παράγραφο 3.3.2. Οι δύο αυτοί σύνδεσμοι θα συνδέονται με ένα τμήμα καλωδίου SpW. Το καλώδιο αυτό θα είναι προφανώς υλοποιημένο κατά τις επιταγές των ESCC 3902/003 [8] και ESCC 3902/004 [9]. Όμως σε αυτό το συναρμολόγημα δίνεται επιπλέον η δυνατότητα, εκτός από τους συνδέσμους (που καθορίζονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή), να χρησιμοποιηθεί και κάποια παραλλαγμένη μορφή καλωδίου. Προϋπόθεση απλώς είναι να χρησιμοποιεί 4 διαφορεικά ζεύγη σήματος και να πληροί τις απαιτήσεις που θέτει το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] ως προς τις προδιαγραφές μετάδοσης για ζεύξεις SpW (στις §5.3.2.3 έως και §5.3.2.6). Οι θωρακίσεις των 4 διαφορεικών ζευγών, τέλος, θα πρέπει να συνδέονται πάνω στο σασί των αρσενικών συνδέσμων (όπως συμβαίνει με το συναρμολόγημα Type A). Προφανώς το ίδιο πρέπει να συμβαίνει και με την εξωτερική θωράκιση.

5.1.3 Σύνθετο Συναρμολόγημα με δύο ειδών Συνδέσμους

Το τρίτο αυτό Συναρμολόγημα είναι γενικά πιο σπάνιο. Ανάγκη για την κατασκευή τέτοιου συναρμολογήματος θα μπορούσε να υπάρξει μόνο όταν θέλουμε να συνδέσουμε με ζεύξη πρωτοκόλλου SpW συσκευές εκ των οποίων η μία φέρει συνδέσμους Type A και η άλλη φέρει διαφορετικούς συνδέσμους, ανήκοντες στην κατηγορία Type B. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί αν π.χ. η μία συσκευή είναι αρκετά παλαιότερη από την άλλη ή όταν οι δύο συσκευές προέρχονται από διαφορετικές κατασκευαστικές εταιρείες. Αν και πλέον όλο και πιο συχνά οι συσκευές υιοθετούν την διεπαφή των συνδέσμων Type A.

Προφανώς για ένα τέτοιο συναρμολόγημα, από την πλευρά του συνδέσμου Type A θα πρέπει να ακολουθούνται οι επιταγές του προτύπου για τον τερματισμό του καλωδίου σε σύνδεσμο Type A,

ενώ από την πλευρά του συνδέσμου Type B θα πρέπει να ακολουθούνται οι επιταγές του προτύπου για τον τερματισμό του καλωδίου σε σύνδεσμο Type B. Εφ' όσον στον Type B σύνδεσμο οι εσωτερικές θωρακίσεις τερματίζονται όλες στο backshell (όπως και στο Type A Cable Assembly) και αφού άλλωστε το πρότυπο αποθαρρύνει γενικώς από την μεθοδολογία τερματισμού του Type AL συναρμολογήματος ως πιο ξεπερασμένης, καλό είναι και από την μεριά του Type A συνδέσμου ο τερματισμός των θωρακίσεων να γίνει κατά τις επιταγές του Type A συναρμολογήματος.

5.2 Τερματισμός της Θωρακίσεως του Καλωδίου

Μία από τις ενέργειες «κλειδιά» στην σωστή κατασκευή ενός Συναρμολογήματος Καλωδίου SpW είναι ο σωστός τερματισμός των θωρακίσεων. Αν οι θωρακίσεις έχουν οδηγηθεί και έχουν συνδεθεί με σωστό τρόπο επάνω στο σώμα των αρσενικών συνδέσμων, τότε έχει έχουμε την βάση έτσι ώστε το καλώδιό μας να επιδειξει σωστή ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά, κατά την λειτουργία του.

Και για τα τρία αυτά είδη συναρμολογήματος, το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] έχει ορισμένες κοινές βασικές κατασκευαστικές απαιτήσεις ως προς τον τερματισμό των θωρακίσεων. Συγκεκριμένα:

- a. Για κάθε σύνδεσμο πρέπει να χρησιμοποιείται και ένα επιπρόσθετο μεταλλικό «κέλυφος», το οποίο ονομάζεται “backshell” και έχει κύριο ρόλο να δημιουργεί μαζί με την εξωτερική θωράκιση ένα ενιαίο αγωγίμο «ντύσιμο – περιφραγμό» στο συναρμολόγημα και δευτερεύοντα ρόλο να διευκολύνει τον τερματισμό των εσωτερικών θωρακίσεων. Το κέλυφος αυτό θα πρέπει να συνδέεται με το κυρίως σώμα – σασί του κονέκτορα με μια σύνδεση χαμηλής εμπεδήσεως (από ηλεκτρικής πλευράς), που να έχει DC αντίσταση $< 10 \text{ m}\Omega$ ¹⁹⁴.
- b. Η εξωτερική θωράκιση θα πρέπει να τερματίζεται κατά 360° (δηλ. κυκλικά) στο backshell, συνδεόμενη σε αυτό με μια επίσης χαμηλής εμπεδήσεως σύνδεση που να έχει DC αντίσταση $< 10 \text{ m}\Omega$ ¹⁹⁵.
- c. Για τις εσωτερικές θωρακίσεις, όταν συνδέονται στο backshell, θα πρέπει και σε αυτές η σύνδεση να είναι χαμηλής εμπεδήσεως με αντίσταση στο DC $< 10 \text{ m}\Omega$ ¹⁹⁶. από άλλο σημείο του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] (συγκεκριμένα από την §5.3.3.4.2e) μαθαίνουμε ότι αν και εφ' όσον υπάρχει η δυνατότητα, προτιμάται η σύνδεση και των εσωτερικών θωρακίσεων με το backshell να γίνει κυκλικά. Αλλά επειδή συχνά αυτό δεν είναι εφικτό, χρησιμοποιείται και ο τρόπος σύνδεσης μέσω «πλεξίδων – ουρών» συρματιδίων (“pigtailed”). Στην δεύτερη περίπτωση, οι οποιεσδήποτε “pigtailed”, που τυχόν θα χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση των εσωτερικών θωρακίσεων στο backshell, θα πρέπει να έχουν μήκος μικρότερο των 2 cm.

¹⁹⁴ Όπως το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] έχει αναφέρει σχετικά με την σύνδεση αρσενικού και θηλυκού βύσματος και έχουμε επισημάνει και στην υποσημείωση 124, στην υποενότητα 3.4.1, έτσι και εδώ, το πρότυπο διευκρινίζει ότι οι αντιστάσεις αυτές είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν. Την εξασφάλιση ότι οι τιμές τους δεν θα υπερβαίνουν το όριο την έχουμε από τον τρόπο σχεδιασμού και υλοποίησης της σύνδεσης [είναι πρόκειται για την διεπαφή του σώματος του αρσενικού βύσματος και του backshell είτε για τον τερματισμό των θωρακίσεων (εξωτερικής και εσωτερικών) στο backshell του αρσενικού βύσματος].

¹⁹⁵ Βλ. ανωτ. υποσ. 194.

¹⁹⁶ Βλ. ανωτ. υποσ. 194.

5.2.1 Χρησιμότητα του Backshell

Όπως είπαμε, το backshell είναι ένα επιπλέον μεταλλικό κέλυφος, το οποίο περιβάλλει το πίσω μέρος των αρσενικών συνδέσμων σε ένα συναρμολόγημα καλωδίου. Ενδεικτικές εικόνες για backshells ακολουθούν στην συνέχεια:



Εικόνα 5.2: Το Backshell τύπου 507T088, Top Entry, Composite EMI/RFI Banding Backshell, Round Cable Entry [40].



Εικόνα 5.1: Το Backshell τύπου 507-178 EMI/RFI Micro-D Split Banding Backshell with Elliptical Banding Porch [40].

Επιλέξαμε μάλιστα να παραθέσουμε και μια εικόνα από έναν σύνδεσμο ενός SpW Cable Assembly, έτσι ώστε να φανεί καλύτερα πώς αυτός είναι στην πραγματικότητα, με το Backshell και την μόνωση γύρω από το σημείο τερματισμού των θωρακίσεων σε αυτό.



Εικόνα 5.3: Σύνδεσμος σε Συναρμολόγημα SpW όπου φαίνεται το Backshell (πρόκειται για το Micro-D GSWM SpaceWire Cable Assembly) [40].

Το πώς η προσθήκη αυτού του backshell διευκολύνει πολύ τον τερματισμό των θωρακίσεων φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, από τον κατάλογο επαφών της Glenair. Η εικόνα αυτή δείχνει τον τρόπο που η Glenair έχει υιοθετήσει για να επιτυγχάνει την σύνδεση των θωρακίσεων με τον κονέκτορα.



Βήμα 1^ο: Προετοιμασία των θωρακίσεων (για να καταλήγουν κυκλικά στο backshell).



Βήμα 2^ο: Εφαρμογή της μεταλλικής ταινίας γύρω από τις θωρακίσεις και σύσφιξη.



Βήμα 3^ο: Περικοπή των τμημάτων των θωρακίσεων που περισσεύουν από την μεταλλική ταινία σύσφιξης.

Εικόνα 5.4: Τα βήματα του τερματισμού των θωρακίσεων ενός συναρμολογήματος καλωδίου σύμφωνα με την μέθοδο BandMaster® ATS Shield Termination System της Glenair [40].

Αυτή η μέθοδος τερματισμού των θωρακίσεων έχει ονομαστεί από την Glenair “BandMaster® ATS Shield Termination System”. Όπως καταλαβαίνουμε και μόνο από την Εικόνα 5.4, πρόκειται για μια απλή, εύκολα και πολύ αποτελεσματική μέθοδο, καθώς απλώς και μόνο η επαρκής σύσφιξη των θωρακίσεων επάνω στο μεταλλικό backshell με την ταινία αυτή δίνει ικανοποιητικότερη αγωγή σύνδεση.

Στην πραγματικότητα λοιπόν είναι απαραίτητο να υπάρχει το backshell, διότι χωρίς αυτό ο τερματισμός των θωρακίσεων θα ήταν σαφώς δυσκολότερος και θα απαιτούσε ίσως και συγκόλληση, αφού θα έπρεπε να γίνει στο πίσω μέρος του αρσενικού συνδέσμου απ’ ευθείας (η μορφή του οποίου φαίνεται επί παραδείγματι στην Εικόνα 3.9).

Σχόλιο σχετικά με την απλοποιητική προσέγγιση μη υλοποιήσεως του Backshell:

Παρά την αδιαμφισβήτητη χρησιμότητα του Backshell, όπως την εξηγήσαμε σε αυτή την υποενότητα, εμείς στο μοντέλο μας δεν έχουμε υλοποιήσει κάποιου είδους backshell, αλλά ο σύνδεσμος σταματά σε μια μορφή αντίστοιχη με αυτή της Εικόνας 3.9 (που αναφέραμε ακριβώς από πάνω). Αυτό γίνεται διότι, όπως έχουμε επανειλημμένως επισημάνει, σκοπός της δημιουργίας αυτού του προσομοιωτικού μοντέλου ήταν η μελέτη της H/M συμπεριφοράς ενός τμήματος καλωδίου SpW, ικανού μήκους. Το τμήμα καλωδίου θα είναι αυτό, που θα δεχτεί τις, κάθε φορά προσομοιούμενες από τον χρήστη, παρεμβολές και συνεπώς κυρίαρχο ρόλο στην ορθότητα και στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων θα διαδραματίζει το να είναι υλοποιημένο σωστά το καλώδιο, ως διατομή δηλαδή. Τα βύσματα εξυπηρετούν στο να δοθεί η γείωση στο σύστημα και να δοθεί φυσικά με έναν σωστό και σχετικά κοντά στην πραγματικότητα τρόπο. Εφόσον λοιπόν η εργασία μας δεν έχει σαν αντικείμενο την λεπτομερή μελέτη των συνδέσμων, δεν μας απασχολεί σε αυτό το συσσωμάτωμα γείωσης περισσότερη ακρίβεια (απ’ όση ήδη δώσαμε) και άρα δεν υπάρχει λόγος να «βαρύνουμε» περισσότερο την προσομοίωση με ένα τόσο λεπτομερές συσσωμάτωμα συνδέσμων, που θα συμπεριλαμβάνει και το backshell.

5.3 Συνδυασμός Αρχείων στο CST

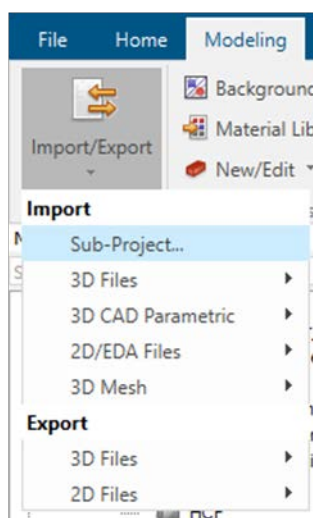
Έχοντας δώσει τα αναγκαία θεωρητικά στοιχεία για τα συναρμολογήματα καλωδίου, σιγά σιγά μπορούμε να προχωρήσουμε στην εξήγηση του πώς έγιναν οι σχετικές υλοποιήσεις στο CST. Αφού είχαμε πλέον ολοκληρώσει σε χωριστά αρχεία τις διατομές για τις δύο παραλλαγές του καλωδίου, τα βύσματα στα οποία θα τερματίζει το καλώδιο και την πειραματική διάταξη στην οποία θα τοποθετηθεί, αυτό που απομένει είναι να γίνει να συνδυαστούν τα παραπάνω χωριστά αρχεία, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σταδιακά στα κατάλληλα τελικά αρχεία, που θα μοντελοποιούν πλήρως

λειτουργικά Συναρμολογήματα Καλωδίου SpW. Το πώς ακριβώς γίνεται ο συνδυασμός απλούστερων αρχείων προς δημιουργία πιο συνθέτων εξηγείται αμέσως στην συνέχεια.

5.3.1 Εισαγωγή ενός αρχείου σε ένα άλλο (Import Sub-Project)

Στο CST συχνά συμφέρει να φτιάχνει κανείς ένα μεγάλο Project βήμα βήμα, δημιουργώντας χωριστά αρχεία, που το κάθε ένα είναι πιο μικρό και πιο απλό, δηλ. με λιγότερη πολυπλοκότητα. Αυτό εξυπηρετεί πολύ ειδικά όταν τα «κομμάτια» από τα οποία αποτελείται ένα μεγάλο έργο είναι εν πολλοίς ανεξάρτητα, οπότε είναι πιο εύκολο και γρήγορο να υλοποιηθούν χωριστά. Επίσης όμως εξυπηρετεί αφάνταστα στην περίπτωση που είναι αναγκαίο αυτά ακριβώς τα «κομμάτια» να υφίστανται τροποποιήσεις, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, οδηγώντας το τελικό έργο σε μια διαφορετική «έκφανση». Ακριβώς αυτό είναι που συμβαίνει στην περίπτωση της εν λόγω εργασίας. Δηλ. δυνάμεθα να διακρίνουμε το όλο έργο σε «κομματάκια», που το κάθε ένα απ' αυτά, αφ' ενός μεν είναι υλοποιήσιμο αφ' εαυτού (κάτι που είναι και ευκολότερο για τον δημιουργό), αφ' ετέρου δε μπορεί και πρέπει να λαμβάνει άλλες μορφές ανεξάρτητα από τα άλλα, ώστε να οδηγήει το όλο έργο σε μια διαφορετική τελική μορφή, αναγκαία για τον μελετητή. Π.χ. το «κομματάκι» που λέγεται διατομή του καλωδίου μπορεί και πρέπει να λαμβάνει δύο μορφές, αυτές των Var. 01 και 02, ακόμα και αν το υπόλοιπο έργο είναι σταθερό π.χ. σε καλώδιο 3 m και συναρμολόγημα Type AL. Έτσι μόνο μπορούμε να έχουμε μπροστά μας προς μελέτη τις μορφές του έργου: 3 m, Var. 01, Type AL και 3 m, Var. 02, Type AL (και φυσικά αντίστοιχα όλοι οι συνδυασμοί που μπορούν να μας δώσουν τελικές επιθυμητές μορφές συναρμολογήματος, όπως θα τους δώσουμε στην παράγραφο 5.3.2.1).

Έχοντας λοιπόν υλοποιήσει σε χωριστά αρχεία τα «κομματάκια» αυτά (διατομή, σύνδεσμοι, καμπύλη), επόμενη ενέργεια, προκειμένου να οδηγηθούμε στα τελικά αρχεία, που θα υλοποιούν τις διαφορετικές ολοκληρωμένες μορφές συναρμολογήματος, είναι να συνδυάσουμε με κάποιον τρόπο τα χωριστά αρχεία που έχουμε ήδη υλοποιήσει. Ο πιο κουραστικός και ακατάλληλος τρόπος να γίνει αυτός ο συνδυασμός θα ήταν, μέσα σε ένα από όλα αυτά τα αρχεία, να ξαναφτιαχτούν ένα ένα όλα τα μοντελάκια, που έγιναν μέχρι τώρα (αντιγράφοντας τις σχετικές ενέργειες, όπως παρουσιάστηκαν στα Κεφάλαια Κεφάλαιο 2, Κεφάλαιο 3 και Κεφάλαιο 4). Ευτυχώς όμως, δεν χρειάζεται κάτι τέτοιο. Το CST μας δίνει την λύση άμεσα και αυτόματα με την **δυνατότητα εισαγωγής ενός αρχείου μέσα σε ένα άλλο**. Πρόκειται για την δυνατότητα Import Subproject... από την καρτέλα Exchange, στην εργαλειοταξία του 3D Modeling.



Εικόνα 5.5: Το εργαλείο της εισαγωγής ενός Project μέσα σε ένα άλλο [56].

Ευρισκόμενοι δηλ. εντός ενός αρχείου, κάνουμε την παραπάνω ενέργεια και έτσι έχουμε την δυνατότητα να εισάγουμε ένα άλλο αρχείο, που έχουμε δημιουργήσει και αποθηκεύσει πιο πριν. Το αρχείο που εισάγεται λέγεται Sub-Project. Το νέο αρχείο, που προκύπτει από τον συνδυασμό αυτόν, συνήθως το αποθηκεύουμε με νέο όνομα (ώστε να διατηρούμε και την μορφή του πριν την εισαγωγή). Αυτό το σύνθετο αρχείο θα το ονομάζουμε, όπου χρειάζεται, Super-Project.

Στην συνέχεια θα παραθέσουμε ορισμένες λεπτομέρειες, οι οποίες αφορούν στην ενέργεια της εισαγωγής ενός Project σε ένα άλλο και τις οποίες πρέπει να προσέχει κάποιος όταν προχωρά στην ενέργεια αυτή.

5.3.1.1 Πότε είναι εφικτή η εισαγωγή ενός αρχείου σε ένα άλλο

Προκειμένου να γίνει η εισαγωγή ενός Sub-Project μέσα σε ένα άλλο αρχείο, πρέπει και τα δύο αυτά αρχεία να έχουν αποθηκευθεί, δηλ. να έχουν γίνει Save μετά και τις τελευταίες τροποποιήσεις τους (να μην εκκρεμεί δηλ. η εντολή αυτή του Save). Αυτό φυσικά είναι απολύτως αναγκαίο για το πρς εισαγωγή Sub-Project (καθώς αν δεν έχει σωθεί θα προκύψει μήνυμα λάθους). Για το υποψήφιο Super-Project δεν είναι ζήτημα που θα δώσει μήνυμα λάθους, αν δεν το έχουμε σώσει μέχρι τότε, απλώς καλό είναι να έχει γίνει η αποθήκευση (για λόγους συνεπείας και για το ενδεχόμενο που θέλουμε να διατηρήσουμε την μορφή του πριν την εισαγωγή, όπως είπαμε μόλις πριν).

5.3.1.2 Μέχρι πόσα αρχεία μπορούν να εισαχθούν σε ένα άλλο

Σε ένα αρχείο μπορούν να εισαχθούν οσαδήποτε άλλα διαφορετικά αρχεία θέλουμε ως Sub-Projects. Επίσης μπορεί να γίνει και το εξής, ένα αρχείο να εισαχθεί σε ένα άλλο σαν Sub-Project και το δημιουργθέν Super-Project να εισαχθεί εκ νέου σε ένα άλλο αρχείο (δηλ. ένα Super-Project να λάβει ρόλο καινούργιου Sub-Project και να εισαχθεί σε ένα άλλο αρχείο, δημιουργώντας ένα καινούργιο Super-Project). Βέβαια κάτι τέτοιο δεν εξυπηρετεί πολύ σαν τακτική, διότι δυσκολεύει τον χρήστη να θυμάται τις εξαρτήσεις των αρχείων αυτών μεταξύ τους (και, όπως θα δούμε πιο κάτω, είναι χρήσιμο να υπάρχει μνεία για τις εξαρτήσεις αυτές).

5.3.1.3 Τοποθέτηση των αντικειμένων στον 3D χώρο κατά την εισαγωγή ενός Sub-Project

Κατά την εισαγωγή ενός Sub-Project μέσα σε ένα άλλο αρχείο (το οποίο θα σωθεί πλέον σαν Super-Project), όλα τα υλοποιηθέντα στο Sub-Project αντικείμενα (3D Objects και τα σχετικά Components και Groups, Nodes, Curves, Cable Bundles, Lumped Elements, Ports ή οτιδήποτε άλλο μπορεί να έχει σαφώς ορισμένη στον χώρο θέση) θα τοποθετηθούν στον 3D χώρο του Super-Project ακριβώς στις ίδιες θέσεις, στις οποίες ευρίσκοντο και στο Sub-Project. Π.χ. ένας κόμβος του Sub-Project που βρίσκεται σε συντεταγμένες (200,300,550) (στην κλίμακα μήκους που έχει ενεργοποιημένη το CST), όταν ολοκληρωθεί η φόρτωση, θα ευρίσκεται στον 3D χώρο του Super-Project σε συντεταγμένες ξανά (200,300,550).

5.3.1.4 Διαστάσεις που έχουν οριστεί στον 3D χώρο ενός Sub-Project

Για λόγους εποπτικών και επεξηγηματικών είναι συχνά χρήσιμο να ορίζουμε πάνω σε αντικείμενα του 3D χώρου διαστάσεις (dimensions). Αυτό το έχουμε και εμείς εφαρμόσει σε διάφορα σημεία στην πορεία της εργασίας και βασικότερα στα αρχεία που αποτυπώνουν την πειραματική διάταξη του ESD. Όταν όμως ένα αρχείο, στο οποίο έχουν οριστεί τέτοιες διαστάσεις, φορτώνεται ως Sub-Project σε ένα άλλο αρχείο, δυστυχώς οι διαστάσεις αυτές δεν μεταφέρονται στο Super-Project. Άρα, αν είναι απαραίτητο να εξακολουθήσουν να υπάρχουν και στο Super-Project, εκεί θα πρέπει αναγκαστικά να οριστούν εκ νέου.

5.3.1.5 Λίστα Παραμέτρων του Sub-Project – Φόρτωση Παραμέτρων σε άλλο αρχείο

Όταν φορτώνεται ένα Sub-Project σε ένα άλλο αρχείο, δυστυχώς δεν μεταφέρεται μαζί του και η Λίστα Παραμέτρων του (Parameter List). Το ίδιο το Sub-Project φυσικά δεν χάνει την

παραμετροποίησή του και μπορεί να αλλάξει με βάση αυτήν. Επίσης το νέο Super-Project μπορεί να ενημερώνεται και να ανανεώνεται με βάση τις αλλαγές του Sub-Project του (με τρόπο που θα εξηγήσουμε παράγραφο 5.3.1.7, που ακολουθεί). Όμως **στο Parameter List του Super-Project δεν μεταφέρονται και οι παράμετροι του Sub-Project.**

Συχνά όμως, υπάρχει περίπτωση να χρειαζόμαστε να χρησιμοποιήσουμε και στο Super-Project παραμέτρους, που υπάρχουν στο Parameter List του Sub-Project (π.χ. ως συστατικά σε πράξεις άλλων παραμέτρων). Θα πρέπει λοιπόν με κάποιον τρόπο να τις μεταφέρουμε. Φυσικά θα μπορούσαμε μία μία να τις αντιγράψουμε και να δημιουργούμε αντίστοιχες παραμέτρους στο Parameter List του Super-Project. Όμως ο καλύτερος τρόπος είναι ο εξής. Αρχικά αποθηκεύουμε τις παραμέτρους του Sub-Project σε ένα αρχείο .txt. Αυτό γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο Parameter List του Sub-Project και επιλέγοντας την ενέργεια “Save Parameters to File...”. Στην συνέχεια ευρισκόμενοι στο Parameter List του Super-Project αυτή την φορά, κάνουμε δεξί κλικ, επιλέγουμε την ενέργεια “Load Parameters from File...” και φορτώνουμε το .txt αρχείο, που δημιουργήσαμε.

Σχόλιο σχετικά με την αποθήκευση των αναγκαίων Parameter Lists:

Κατανοώντας την ανάγκη να υπάρξουν εμπλουτισμοί των Parameter Lists ορισμένων αρχείων με Παραμέτρους άλλων και για λόγους συνεπείας και αποφυγής λαθών, σε όσα αρχεία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμούς με άλλα (ονόματος έστω Project.cst) αποθηκεύσαμε και το Parameter List τους με όνομα Project_PARAMETER_LIST.txt. Το αρχείο .txt το αποθηκεύσαμε στον ίδιο πάντα χώρο όπου βρίσκεται αποθηκευμένο και το Project, από το οποίο προέρχεται.

5.3.1.6 Παράμετροι με το ίδιο όνομα σε αρχεία που συνδυάζονται

Όπως αναφέραμε μόλις πριν, συχνά είναι χρήσιμο να μεταφέρεις και το Parameter List ενός αρχείου σε ένα άλλο. Για παράδειγμα, κάτι το οποίο θα δούμε και παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο, στην υποενότητα 5.4.2, το Super-Project, που δημιουργείται από την εισαγωγή του αρχείου με το τραπέζι του ESD και την καμπύλη του καλωδίου στο αρχείο των βυσμάτων χρειάζεται και παραμέτρους, που υπάρχουν μόνο στο πρώτο αρχείο, που εισάγεται ως Sub-Project (οι οποίες δεν μεταφέρονται, όπως είπαμε), διότι πρέπει και τα βύσματα να μετακινηθούν παραμετρικά σε θέσεις, που υπολογίζονται βάσει παραμέτρων όπως οι $l1$, $l2$, $l3$ κ.α..

Ένα σημείο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, όταν φορτώνεται ένα Parameter List σε ένα άλλο, είναι όταν υπάρχουν μία ή περισσότερες παράμετροι με το ίδιο ακριβώς όνομα. Μέσα από δοκιμές διαπιστώσαμε ότι κατά την φόρτωση ενός Parameter List B σε ένα Parameter List A, αν υπάρχει μια παράμετρος (ή περισσότερες φυσικά) με το ίδιο ακριβώς όνομα, έστω x, συμβαίνουν τα εξής, ανά περίπτωση:

- Η x του B θα κάνει overwrite την x του A, αν η έκφραση που ορίζει την παραμέτρου x στο B είναι απλό νούμερο ή πράξεις παραμέτρων που προϋπάρχουν στο A.
- Η x του B δεν μπορεί να κάνει overwrite την x του A, αν η έκφραση που ορίζει την παραμέτρου x στο B είναι πράξεις παραμέτρων που δεν προϋπάρχουν στο A. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται μήνυμα λάθους και αδυνατεί να ολοκληρωθεί σωστά η φόρτωση.

Σε κάθε περίπτωση, για αποφυγή συγχύσεως, είναι καλό να μην χρησιμοποιούνται παράμετροι με το ίδιο όνομα σε αρχεία, που έχουν προοπτική να συνδυάσουν τα Parameter Lists τους. Αυτός είναι και ο λόγος που ονομάσαμε *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* την παράμετρο, που δίνει την διάμετρο του καλωδίου στο αρχείο με την καμπύλη (και όχι *RC_Diameter*, όπως ονομάζεται στα αρχεία των διατομών). Έτσι όταν συνδυαστούν τα αρχεία αυτά και τα Parameter Lists τους, δεν υπάρχει φόβος να προκύψει κάποιο πρόβλημα.

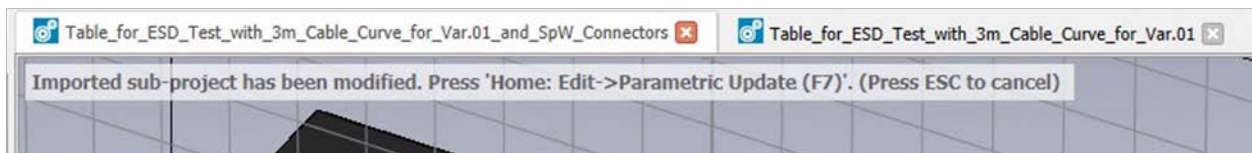
Σε άλλες όμως περιπτώσεις, που αναγκαστικώς υπάρχουν παράμετροι με το ίδιο όνομα, καλό είναι να αρχίσουμε να διαχωρίζουμε τα αρχεία. Για παράδειγμα δεν μπορούμε το ίδιο σύνθετο αρχείο, που έχει την καμπύλη του καλωδίου και τα βύσματα, να το χρησιμοποιήσουμε για να φορτώσουμε τόσο την Var. 01 όσο και την Var. 02 της διατομής, χωρίς να προκύψει πρόβλημα (διότι εκεί είναι πολλαπλές οι παράμετροι που έχουν ίδιο όνομα και διαφορετικό τύπο υπολογισμού). Για τον λόγο αυτό, εκεί πλέον εξυπηρετεί καλύτερα να ετοιμάσουμε διαφορετικά αρχεία για να φορτωθούν οι δύο

διατομές, όπως θα φανεί παρακάτω στην παράγραφο 5.3.2.1. Αυτή η ενέργεια, η δημιουργία δηλ. πολλαπλών αντιγράφων του ίδιου αρχείου θα εξηγηθεί και στην παράγραφο 5.3.2.2.

5.3.1.7 Ενημέρωση του Super-Project για αλλαγές στο Sub-Project

Πολύ συχνά συμβαίνει να πρέπει να γίνουν αλλαγές σε ένα Sub-Project, όπως π.χ. για να εξεταστεί μια διαφορετική τοποθέτηση του καλωδίου στο τραπέζι της ESD δοκιμής. Αυτό είναι επόμενο ότι θα συμβαίνει και είναι προφανές ότι θα πρέπει με κάποιον τρόπο το Super-Project να «ενημερώνεται» για τις αλλαγές που υφίστανται ένα ή περισσότερα από τα Sub-Projects του.

Πραγματικά το CST έχει δυνατότητα να ανιχνεύει αλλαγές που υφίσταται ένα Sub-Project ενός Super-Project και ακόμη να ενημερώνει – αναβαθμίζει το Super-Projects για τις αλλαγές αυτές. Αυτό γίνεται ως εξής. Κάθε φορά που κάνουμε μια αλλαγή σε ένα Sub-Project πρέπει υποχρεωτικά να το αποθηκεύσουμε ξανά (να επαναληφθεί η εντολή Save). Στην συνέχεια, αν ανοίξουμε το Super-Project που χρησιμοποιεί το Sub-Project αυτό, θα δούμε στο πάνω μέρος της οθόνης, στον χώρο της 3D σχεδίασης, ένα μήνυμα, το οποίο θα μας ενημερώνει ότι το εισαχθέν Sub-Project έχει υποστεί αλλαγές και θα μας προτρέπει να «εφαρμόσουμε» τις αλλαγές αυτές και στο αρχείο αυτό, ώστε να ανανεωθεί στην σωστή μορφή. Αυτό γίνεται με την διαδικασία Parametric Update (την οποία έχουμε ξαναδεί, όταν αναφερθήκαμε στις παραμέτρους της διατομής του καλωδίου και συγκεκριμένα στην υποενότητα 2.5.2). Το μήνυμα δηλ. που βλέπουμε είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 5.6: Το μήνυμα που ειδοποιεί ότι έχουν γίνει τροποποιήσεις στο Sub-Project και εκκρεμεί να εφαρμοστούν και στο Super-Project [56].

Απαραίτητη όμως προϋπόθεση ώστε το Super-Project να ανιχνεύσει τις αλλαγές του Sub-Project του είναι, όπως είπαμε, να έχει προηγηθεί η εκ νέου αποθήκευση του Sub-Project. Αν κάνουμε αλλαγές στο Sub-Project χωρίς να τις αποθηκεύουμε τότε δεν πρόκειται ποτέ το Super-Project να τις ακολουθήσει και υπάρχει κίνδυνος να φέρουμε τα αρχεία μας σε ανεπιθύμητες ασυμφωνίες.

5.3.1.8 Τόπος Αποθήκευσης του Sub-Project

Οπουδήποτε κι αν είναι αποθηκευμένα στον σκληρό δίσκο δύο αρχεία CST, μπορεί το ένα να εισαχθεί στο άλλο σαν Sub-Project. Η εισαγωγή είναι εφικτή ακόμα κι αν τα προς συνδυασμό αρχεία ενδέχεται να βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία του δίσκου (δηλ. σε διαφορετικούς φακέλους). Αυτό που όμως είναι καθοριστικής σημασίας είναι το εξής: αφ' ης στιγμής ένα Sub-Project εισαχθεί σε ένα άλλο αρχείο, πλέον ο προορισμός στον οποίο είναι αποθηκευμένο το Sub-Project, δηλ. το Destination Path του, δεν επιτρέπεται να αλλάξει ούτε στο παραμικρό γράμμα. Δηλ. δεν πρέπει ούτε να αλλάξει όνομα το ίδιο το Sub-Project, ούτε να μετακινηθεί σε άλλον φάκελο, ούτε οποιοσδήποτε από τους υπερκειμένους φακέλους του να μετακινηθεί αλλού ή να αλλάξει όνομα. Αυτό συμβαίνει επειδή, από την στιγμή που γίνεται μια φόρτωση ενός Sub-Project, πλέον το Super-Project διατηρεί μνεία για το όνομα και την τοποθεσία του Sub-Project που «χρησιμοποιεί». Κάθε φορά λοιπόν που το Super-Project ανοίγει ξανά σε ένα παράθυρο του CST, «αναζητά» εν πρώτοις, το Sub-Project του (για να αναγνωρίσει τυχούσες αλλαγές σε αυτό και να ζητήσει από τον χρήστη ενημέρωση). Αν δεν το βρει εκεί όπου θυμάται ότι έχει αποθηκευτεί, δηλ. στο σχετικό path (είτε γιατί λείπει είτε γιατί έχει αλλάξει όνομα), τότε θα δώσει μήνυμα λάθους και φυσικά θα πάψει να είναι λειτουργικό, τουλάχιστον όπως θα το θέλαμε ως Super-Project.

Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να μην αλλάζουμε τόπο αποθήκευσης στα αρχεία CST που δημιουργούμε. Πριν λοιπόν από την στιγμή κατά την οποία θα ξεκινήσουμε σταδιακά τον συνδυασμό των μέχρι τώρα δημιουργηθέντων αρχείων μας, αποφασίσαμε να μεταφέρουμε όλα τα απαιτούμενα αρχεία σε ένα συγκεκριμένο σημείο στον δίσκο του H/Y του εργαστηρίου Υ.Τ.. Το σημείο αυτό είναι ο φάκελος **PANAGIOTIS KAMTSIOS – FINAL PROJECTS**, ο οποίος ευρίσκεται εντός του φακέλου **CST SpaceWire**, που με την σειρά του είναι αποθηκευμένος στο **Desktop** του H/Y του Εργαστηρίου. Στον φάκελο αυτόν μεταφέραμε όλα τα έτοιμα προς φόρτωση υποψήφια Sub-Projects, καθώς και όλα τα υποψήφια Super-Projects αλλά και όλα τα αρχεία, που είχαν κάποια χρησιμότητα κατά την εκτέλεση της εργασίας (π.χ. το αρχείο στο οποίο ολοκληρώθηκε η κατασκευή των βυσμάτων πριν γίνουν ένα συσσωμάτωμα, ή το αρχείο στο οποίο έγινε η μέτρηση της εμπεδήσεως των διατομών των καλωδίων SpW). Μόνο τα αρχικά αρχεία δοκιμών δεν μεταφέρθηκαν εκεί (αλλά παρέμειναν στον φάκελο CST SpaceWire στο Desktop). Και πλέον, από εδώ και στο εξής κάθε νέο αρχείο που θα δημιουργηθεί, κυρίως δηλ. κάθε Super-Project, θα αποθηκεύεται σε αυτό το σημείο, δηλ. το Destination Path για όλα τα αναγκαία για την δημιουργία αλλά και την μελέτη της εργασίας αρχεία είναι: C:\Users\HV-PKP\Desktop\CST_SpaceWire\PANAGIOTIS KAMTSIOS - FINAL PROJECTS.

5.3.2 Υπόμνημα Δημιουργηθέντων Αρχείων στο CST

Κατόπιν της σχετικής διερεύνησης για την εισαγωγή ενός αρχείου σε ένα άλλο και της κατανόησης των λεπτών σημείων, που πρέπει να προσέχουμε κατά την εισαγωγή αυτή (όπως τα περιγράψαμε στις παραπάνω παραγράφους), καταλήξαμε στην πορεία ενεργειών και δημιουργίας αρχείων, που θα περιγράψουμε αμέσως στην συνέχεια.

Η ανάλυση που θα δοθεί σε αυτή την υποενότητα κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, διότι θα αποκρυσταλλώσει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνονται οι εισαγωγές Sub-Projects (δηλ. ποιά αρχεία σε ποιά) αλλά και την σειρά των εισαγωγών αυτών (ποια αρχεία πρώτα και ποια δεύτερα). Η σαφής γνώση αυτών των ζητημάτων είναι βασικότατη, έτσι ώστε αφ' ενός να είναι δυνατή η δημιουργία των επιθυμητών τελικών αρχείων και αφ' ετέρου να είναι τα τελικά αυτά αρχεία εύχρηστα και με εύκολη δυνατότητα τροποποίησής τους.

Στις δύο παραγράφους που θα ακολουθήσουν, όταν θα δίδεται το όνομα ενός αρχείου, που είναι διατηρητέο για την πορεία της εργασίας μας, αυτό θα γίνεται με στρογγυλό bullet και bold γραμματοσειρά, (όπως έγινε μέχρι τώρα, όταν δίναμε το Υπόμνημα των CST Projects).

5.3.2.1 Το πλήθος των αναγκαίων αρχείων

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις ως προς το με ποιά σειρά μπορεί κανείς να συνδυάσει τα μέχρι τώρα δημιουργηθέντα αρχεία, για να προκύψει το τελικό συναρμολόγημα του καλωδίου. Αυτό που πρέπει να λάβει κανείς υπ' όψιν, όταν σχεδιάζει αυτές τις κινήσεις, είναι το τι αντίγραφα αρχείων θα πρέπει να δημιουργηθούν για να καλύπτονται οι διάφορες περιπτώσεις καλωδίων. Όπως έχουμε αναφέρει και στην υποενότητα 4.2.2, έχουμε 2 διαφορετικές παραλλαγές της διατομής του καλωδίου SpW, αλλά και δύο διαφορετικά μήκη αυτού. Επίσης από την ενότητα 5.1 διαπιστώσαμε ότι έχουμε 2 βασικά είδη συναρμολογήματος καλωδίου να προσομοιώσουμε, το Type AL και το Type A. Συνδυαστικά λοιπόν, αν θέλουμε να προσφέρουμε στον μελλοντικό μελετητή όλες τις δυνατότητες προσομοιωμένων συναρμολογημάτων καλωδίων SpW, θα πρέπει να υλοποιήσουμε τα ακόλουθα Συναρμολογήματα Καλωδίων SpW:

- 3 m, Var. 01, Type AL,
- 3 m, Var. 01, Type A,
- 3 m, Var. 02, Type AL,
- 3 m, Var. 02, Type A,
- 10 m, Var. 01, Type AL,
- 10 m, Var. 01, Type A,

- 10 m, Var. 02, Type AL,
- 10 m, Var. 02, Type A.

Συνεπώς, τα διαφορετικά τελικά αρχεία στα οποία θα καταλήξουμε έχουν να κάνουν με τις δύο παραλλαγές του καλωδίου (Var. 01 ή Var. 02), τα δύο διαφορετικά μήκη καλωδίου που χρησιμοποιούνται και στο Εργαστήριο Υ. Τ. (3 m ή 10 m) και τις δύο διαφορετικές δυνατότητες τερματισμού του καλωδίου στους συνδέσμους (Type AL ή Type A).

Για αρχή λοιπόν, εκ πρώτης όψεως θα έλεγε κανείς ότι αρκούν τα δύο αρχεία της διατομής (SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst και SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst), το αρχείο με το τραπέζι της ESD Δοκιμής και την καμπύλη οδεύσεως του καλωδίου (Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst) και το αρχείο με τα βύσματα έτοιμα σε δεσμική κατάσταση με τις επαφές τους (Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst). Θα ξεκινούσαμε λοιπόν φορτώνοντας το αρχείο Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst (καθώς και το Parameter List του) στο αρχείο Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst και θα προέκυπτε ένα Super-Project που θα το ονομάζαμε, έστω Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_and_SpW_Connectors.cst. Όμως στην επόμενη φάση από αυτήν θα προέκυπταν δύο προβλήματα (καθένα από τα οποία μας κατευθύνει σε αντίστοιχο συμπέρασμα σχετικά με το πόσο αρχεία θα χρειαστούμε εν τέλει). Τα προβλήματα αυτά, εν συντομία τα αναφέραμε και στην υποενότητα 4.2.2, εδώ όμως θα τα εξηγήσουμε με σαφήνεια.

- ο Σχετικά με τα δύο διαφορετικά μήκη καλωδίου.

Αρχικά θα είχαμε «σετάρει» το Sub-Project Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst στο μήκος των 3 m καλωδίου. Επομένως και το αντίστοιχο Super-Project Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_and_SpW_Connectors.cst θα αναπαριστούσε καλώδιο 3 m. Αν τώρα αλλάζαμε τις παραμέτρους στο Sub-Project ώστε να «σεταριστεί» στα 10 m, τότε το Super-Project θα ενημερωνόταν για να αλλάξει και αυτό στα 10 m. Δεν θα μπορούσαμε όμως ποτέ να έχουμε σε αντιπαράθεση δύο τελικά αρχεία, ένα για 3 m και ένα για 10 m, ακόμη κι αν αποθηκεύαμε το Super-Project δύο φορές με διαφορετικό όνομα. Και τούτο διότι, μιας και το Sub-Project τους θα ήταν κοινό, θα είχε πάντα διαθέσιμη μόνο μία δυνατότητα μήκους ενεργοποιημένη και φυσικά, αφού ήδη έχει χρησιμοποιηθεί ως Sub-Project, δεν θα μπορούσε πλέον να γίνει 2 αντίγραφα με διαφορετικά ονόματα, ώστε να σηματοδοτεί τα διαφορετικά μήκη του καλωδίου (διότι, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 5.3.1.8, απαγορεύεται ένα Sub-Project να αλλάζει όνομα).

Αυτό λοιπόν το πρόβλημα μας οδηγεί στην ανάγκη να έχουμε 2 αντίγραφα αυτού του Sub-Project, έστω με ονόματα:

Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve.cst και

Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve.cst.

- ο Σχετικά με τις δύο διαφορετικές παραλλαγές του καλωδίου.

Επόμενη κίνησή μας θα ήταν να εισαγάγουμε το αρχείο της διατομής της Var. 01, SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst, σαν επιπλέον Sub-Project μέσα στο ήδη υπάρχον αρχείο Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_and_SpW_Connectors.cst, το οποίο θα μπορούσε πλέον (και θα ήταν και σωστότερο) να αποθηκευθεί με νέο όνομα, έστω ως Table_for_ESD_Test_with_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst. Επειδή όμως η θέση της καμπύλης και των βυσμάτων, τόσο καθ' ύψος όσο και κατά πλάτος (δηλ. επί της επιφανείας του τραπεζιού), επηρεάζεται άμεσα από την διάμετρο του καλωδίου, RC_Diameter (και απώτερα από όλες τις παραμέτρους πάχους της διατομής που την διαμορφώνουν), θα ήταν αναγκαίο να φορτώσουμε μαζί και το SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt, τόσο στο Sub-Project, Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst (αφού η θέση της καμπύλης αλλάζει μόνο μέσα από αυτό) όσο και στο νέο Super-Project (από το οποίο γίνεται η οποιαδήποτε αλλαγή στην θέση των βυσμάτων)¹⁹⁷. Αν όμως τώρα θελήσουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο Super-Project με την διατομή της Var. 02, προσκρούουμε σε αδιέξοδο, διότι θα πρέπει να φορτώσουμε το

¹⁹⁷ Θα αναφερθούμε αναλυτικότερα σε αυτή την αναγκαιότητα της φόρτωσης των παραμέτρων της διατομής, έτσι ώστε να γίνονται σωστά οι μετακινήσεις καμπύλης και βυσμάτων, στην υποενότητα 5.5.1.

SpW_Cable_Var.02_cross_section_PARAMETER_LIST.txt και στο Super-Project αλλά και στο άλλο Sub-Project, Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst, οπότε θα έχουμε conflicts και συνακόλουθα errors με τα ονόματα των παραμέτρων (μιας και ήδη θα είναι φορτωμένο εκεί το Parameter List της Var. 01).

Αυτό λοιπόν το πρόβλημα μας οδηγεί στην ανάγκη να έχουμε 2 αντίγραφα αυτού του Sub-Project, έστω με ονόματα:

Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_for_Var.01.cst και

Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_for_Var.02.cst.

Διαπιστώνουμε συνεπώς ότι, δεν είναι το πρόβλημα πόσα διαφορετικά Super-Project θα αποθηκεύσουμε, αφού το Super-Project μπορεί να αλλάζει όνομα και ρυθμίσεις χωρίς πρόβλημα. Το ζήτημα ανακύπτει με τον τρόπο που θα χειριστούμε το Sub-Project, ώστε να έχουμε όλες τις μορφές του καλωδίου μας σε τελικά αρχεία. Οι παρατηρήσεις λοιπόν αυτές, συνδυαζόμενες, μας οδηγούν στην ανάγκη να έχουμε εν τέλει 4 διαφορετικά αρχεία με το τραπέζι της ESD Δοκιμής και την καμπύλη του καλωδίου, όλα φυσικά προερχόμενα από αντίγραφα του αρχικού (Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst), τα οποία ονομάσαμε με διαφορετικό τρόπο. Αυτά είναι τα:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**

Τα αρχεία αυτά φυσικά έχουν δημιουργηθεί από προηγούμενα βήματα και έχουμε αναφερθεί σε αυτά στην υποενότητα 4.2.2. Δημιουργήθηκαν δηλ. στα πλαίσια την ολοκλήρωσης της οδεύσεως του καλωδίου, οπότε η πρώτη αναφορά σε αυτά έγινε στο Κεφάλαιο 4. Όμως τα παραθέτουμε εδώ ξανά, αφ' ενός για λόγους πληρότητας των λεγομένων σε αυτή την υποενότητα, αφ' ετέρου γιατί η λίστα παραμέτρων τους πρόκειται να εμπλουτιστεί και αυτό είναι μια ενέργεια που μόνο στα πλαίσια του Κεφάλαιο 5 μπορεί να εξηγηθεί σωστά και να γίνει αντιληπτή.

5.3.2.2 Ενέργειες συνδυασμού των καταλλήλων αρχείων και νέα αρχεία που δημιουργήθηκαν

Στην παράγραφο αυτή θα απαριθμήσουμε τις ενέργειες, που πρέπει να λάβουν χώρα, έτσι ώστε να οδηγηθούμε στα τελικά λειτουργικά αρχεία των Συναρμολογημάτων Καλωδίων SpW, που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Οι ενέργειες θα εξηγηθούν εδώ πολύ συνοπτικά (αφού θα τις αναπτύξουμε με λεπτομέρειες στις υποενότητες 5.4 και 5.5), αλλά παρ' όλα αυτά θα δοθούν με σαφήνεια και χωρίς να παραλείψουμε μέχρι και την απλούστερη αλλαγή τιμής παραμέτρων.

Ενέργεια 1^η:

Όπως είπαμε, πρώτη και βασική δουλειά είναι η δημιουργία των τεσσάρων αρχείων που αναφέραμε ακριβώς από πάνω. Δηλ. των:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst**

Η δημιουργία τους έχει περιγραφεί στην υποενότητα 4.2.2 και στην ακριβώς από πάνω παράγραφο, την 5.3.2.1.

Ενέργεια 2^η:

Σε κάθε ένα από τα 4 αρχεία της 1^{ης} Ενέργειας, αμέσως μετά την δημιουργία του ως αντιγράφου του Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst, κάνουμε τις κατάλληλες αλλαγές τιμών στις στοιχειώδεις παραμέτρους (κατά τις επιταγές του σχολίου, στο τέλος της υποενότητας 4.2.2).

Ενέργεια 3^η:

Όπως έχουμε εξηγήσει στην παράγραφο 5.3.1.5, αφού αυτά τα αρχεία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμούς με άλλα, αποθηκεύσαμε και το Parameter List για το καθένα από αυτά (με τον γνωστό τρόπο ονομασίας που αναφέραμε στο σχετικό σχόλιο της παραγράφου 5.3.1.5).

Ενέργεια 4^η:

Επόμενο βήμα είναι να εισαγάγουμε κάθε ένα τέτοιο αρχείο, στο Project Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst. Τα 4 διαφορετικά Super-Projects, που θα προκύψουν, θα τα ονομάσουμε:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**

Ενέργεια 5^η:

Απλά για λόγους πληρότητας και ως εκ περισσού, σε κάθε ένα από τα 4 νέα Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας, αποθηκεύουμε την λίστα παραμέτρων.

Ενέργεια 6^η:

Συμπληρωματικά με την παραπάνω εισαγωγή αρχείων, σε κάθε ένα από τα 4 νέα Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας, που μόλις δημιουργήθηκαν, φορτώνουμε και το Parameter List του αντιστοίχου Sub-Project της 1^{ης} Ενεργείας. Αυτό είναι αναγκαίο, όπως θα δούμε και στις υποενότητες 5.4.2 και 5.4.3, διότι οι παράμετροι του αρχείου της καμπύλης χρειάζονται και στο Super-Project καμπύλης – συνδέσμων έτσι ώστε να γίνει η σωστή μετακίνηση των συνδέσμων και των επαφών τους. Συνεπώς, για την ώρα, κάθε αρχείο από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας έχει τις παραμέτρους 2 αρχείων: του Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst και του αντιστοίχου (ως προς Var. και μήκος καλωδίου) Sub-Project από τα 4 της 1^{ης} Ενεργείας.

Ενέργεια 7^η:

Λόγω του εμπλουτισμού παραμέτρων των τεσσάρων Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας (που έγινε στην 6^η Ενέργεια), αποθηκεύουμε εκ νέου το Parameter List τους.

Ενέργεια 8^η:

Στο σημείο αυτό, για κάθε ένα από τα Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας, πραγματοποιήσαμε την μετακίνηση των καλωδίων, που προσομοίωναν τις επαφές των συνδέσμων, στις κατάλληλες θέσεις. Αυτό έγινε με την ανάθεση καταλλήλων τιμών στις αντίστοιχες παραμέτρους (μαζί με μια κατάλληλη μετονομασία κάποιων παραμέτρων) και θα εξηγηθεί αναλυτικά στην υποενότητα 5.4.2.

Ενέργεια 9^η:

Επόμενη δουλειά είναι, πάλι για κάθε ένα από τα Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας, η μετακίνηση των συσσωματωμάτων των συνδέσμων στην κατάλληλη θέση (στην οποία έχουν ήδη μετακινηθεί οι επαφές). Αυτή η ενέργεια εξηγείται επίσης στην υποενότητα 5.4.3.

Ενέργεια 10^η:

Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει ο συνδυασμός και των αρχείων των 2 διατομών του καλωδίου. Για τον λόγο αυτόν, πρώτη ενέργεια είναι να αποθηκεύσουμε το Parameter List από τα 2 σχετικά αρχεία: SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst και SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst.

Ενέργεια 11^η:

Ακολουθώντας πρέπει, σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας, να εισαγάγουμε ως Sub-Project το αντίστοιχο αρχείο της διατομής του καλωδίου, είτε το SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst είτε το SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst. Τα 4 νέα Super-Projects που προκύπτουν, τα αποθηκεύουμε με νέο όνομα και συγκεκριμένα ως εξής:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**

Ενέργεια 12^η:

Απαραίτητο είναι στο σημείο αυτό να φορτώσουμε το Parameter List των 2 αρχείων των διατομών του καλωδίου στα 4 Super-Projects, που δημιουργήθηκαν μόλις πριν, στην 11^η Ενέργεια. Αυτό είναι αναγκαίο έτσι ώστε να μπορούν να μετακινούνται σωστά τα βύσματα, όταν αλλάζει η διατομή του καλωδίου (κάτι που θα εξηγήσουμε στην υποενότητα 5.5.1). Πλέον λοιπόν, κάθε αρχείο από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας έχει τις παραμέτρους 3 αρχείων: του Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst, του αντιστοίχου (ως προς Var. και μήκος καλωδίου) Sub-Project από τα 4 της 1^{ης} Ενεργείας και του αντιστοίχου αρχείο της διατομής του καλωδίου (είτε του SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst είτε του SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst).

Ενέργεια 13^η:

Αμέσως μετά από αυτό τον εμπλουτισμό του Parameter List των τεσσάρων Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας, καλό είναι να αποθηκεύσουμε εκ νέου τα Parameter Lists αυτά.

Ενέργεια 14^η:

Επίσης αναγκαίο είναι να φορτώσουμε το Parameter List των 2 αρχείων των διατομών του καλωδίου και στα 4 Sub-Projects, που υλοποιήσαμε στην 1^η Ενέργεια (το κάθε ένα στο κατάλληλο αρχείο προφανώς). Αυτό, όπως θα εξηγήσουμε πάλι στην υποενότητα 5.5.1, είναι απαραίτητο προκειμένου να μετακινείται σωστά και η καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου, όταν πραγματοποιείται κάποια αλλαγή στην διατομή του καλωδίου. Συνεπώς πλέον, κάθε αρχείο από τα 4 Sub-Projects της 1^{ης} Ενεργείας έχει τις παραμέτρους 2 αρχείων: τις δικές του και αυτές του αντιστοίχου αρχείου της διατομής του καλωδίου.

Ενέργεια 15^η:

Αμέσως μετά από αυτό τον εμπλουτισμό του Parameter List των τεσσάρων Sub-Projects της 1^{ης} Ενεργείας, είναι σημαντικό να αποθηκεύσουμε εκ νέου τα Parameter Lists αυτά.

Ενέργεια 16^η:

Χωρίς να είναι ζωτικής σημασίας (επειδή τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας δεν θα χρησιμοποιηθούν ξανά άμεσα, ει μη μόνον αν θέλει κάποιος να κάνει δοκιμές), μπορούμε να φορτώσουμε τις παραμέτρους των 2 αρχείων των διατομών του καλωδίου στα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας (το κάθε Parameter List στο κατάλληλο αρχείο προφανώς). Αυτό το κάνουμε αν θέλουμε, απλά για λόγους συνεπείας, αυτά τα 4 αρχεία να ακολουθούν την σωστή μετακίνηση της καμπύλης, αναλόγως των αλλαγών στην διατομή. Πλέον λοιπόν κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας έχει τις παραμέτρους 3 αρχείων: του Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst, του αντιστοίχου (ως προς Var. και μήκος καλωδίου) Sub-Project από τα 4 της 1^{ης} Ενεργείας και του αντιστοίχου αρχείο της διατομής του καλωδίου (είτε του SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst είτε του SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst).

Ενέργεια 18^η:

Λόγω του εμπλουτισμού παραμέτρων των τεσσάρων Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας (που έγινε στην 16^η Ενέργεια), αποθηκεύουμε εκ νέου το Parameter List τους (απλώς για λόγους πληρότητας).

Ενέργεια 19^η:

Σε κάθε ένα από τα 4 Sub-Projects της 1^{ης} Ενεργείας, ενημερώνουμε την παράμετρο *to_be_replaced_with_Cable_Diameter*, βάζοντας ως τιμή σε αυτήν την *RC_Diameter*. Έτσι η καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου θα λάβει την σωστή της θέση στον χώρο.

Ενέργεια 20^η:

Λόγω της παραπάνω αλλαγής της 19^{ης} Ενεργείας, αποθηκεύουμε εκ νέου το Parameter List καθενός από τα 4 Sub-Projects της 1^{ης} Ενεργείας.

Ενέργεια 21^η:

Σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας (αλλά και σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας) εφαρμόζουμε Parametric Update, έτσι ώστε η καμπύλη να λάβει και σε αυτά την σωστή θέση (ενημερωνόμενη από την σχετική αλλαγή στο αντίστοιχο Sub-Project, η οποία έγινε στην 19^η Ενέργεια).

Ενέργεια 22^α:

Σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας (αλλά και σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας) εφαρμόζουμε την ίδια αλλαγή στην τιμή της παραμέτρου *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* (δίνοντάς την την τιμή *RC_Diameter*, έτσι ώστε και οι σύνδεσμοι να λάβουν την σωστή τους θέση (ακολουθώντας την σωστή επανατοποθέτηση της καμπύλης, που έγινε από την 21^η Ενέργεια).

Ενέργεια 23^η:

Λόγω της παραπάνω αλλαγής της 22^{ης} Ενεργείας, αποθηκεύουμε εκ νέου το Parameter List καθενός από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας αλλά και καθενός από τα 4 Super-Projects της 4^{ης} Ενεργείας.

Ενέργεια 24^η:

Σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας, «φορτώνουμε» επάνω στην καμπύλη της οδεύσεως του καλωδίου την αντίστοιχη διατομή του SpW. Έτσι δημιουργείται το Cable Bundle του καλωδίου SpW.

Ενέργεια 25^η:

Τέλος, σε κάθε ένα από τα 4 Super-Projects της 11^{ης} Ενεργείας, θα πρέπει να γίνουν κατάλληλες ενέργειες (δηλ. να προετοιμαστούν οι συνδέσεις επαφών και θωρακίσεων) ώστε να προκύψουν τα δύο διαφορετικά είδη συναρμολογήματος καλωδίου, Type AL και Type A. Συνεπώς κάθε τέτοιο αρχείο θα αποθηκευθεί εκ νέου 2 φορές, με αποτέλεσμα να οδηγηθούμε στα τελικά αρχεία:

- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst**
- **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst**

Ως αντίγραφα των αρχείων της 11^{ης} Ενεργείας, τα αρχεία αυτά έχουν τις παραμέτρους 3 αρχείων: του *Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst*, του αντιστοίχου (ως προς Var. και μήκος καλωδίου) Sub-Project από τα 4 της 1^{ης} Ενεργείας και του αντιστοίχου αρχείου της διατομής του καλωδίου (είτε του *SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst* είτε του *SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst*).

Ενέργεια 26^η:

Για κάθε ένα από τα 8 νέα αρχεία Super-Projects της 25^{ης} Ενεργείας αποθηκεύσαμε το Parameter List του.

Ενέργεια 27^η:

Εμπλουτίσαμε το Parameter List καθενός από τα 8 Super-Projects της 25^{ης} Ενεργείας με λίγες επιπλέον παραμέτρους (αυτές που δίνονται στον Πίνακα 5.2), αναγκαίες για την παραμετροποίηση του τερματισμού του.

Ενέργεια 28^η:

Σε κάθε ένα από τα 8 νέα αρχεία Super-Projects της 25^{ης} Ενεργείας προχωρήσαμε στις ανά περίπτωση κατάλληλες κινήσεις, ώστε να ολοκληρωθεί ο σωστός τερματισμός του καλωδίου στους συνδέσμους, σύμφωνα πάντα με τις υποδείξεις του προτύπου ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] για τον κάθε τύπο συναρμολογήματος.

Όπως είδαμε, από τις ενέργειες που παρουσιάσαμε παραπάνω, εκτός από τα Sub-Projects (για τα οποία είναι αναγκαίο), επιλέξαμε να αποθηκεύσουμε το Parameter List και σε όλα τα Super-Projects, που σταδιακά δημιουργήθηκαν (ως εκ περισσού και για λόγους πληρότητας). Επίσης να σημειώσουμε ότι, κάθε νέα τροποποίηση στην μορφή κάθε ενός Super-Project (π.χ. εισαγωγή νέου Sub-Project) την αποθηκεύαμε σε νέο αρχείο, έτσι ώστε να είναι διακριτή στον μελλοντικό χρήστη η πορεία της εργασίας, αλλά και να έχει πρόσβαση σε προηγούμενες μορφές των αρχείων, αν το θελήσει για τον οποιονδήποτε λόγο.

Επιλέξαμε τέλος να διατηρήσουμε και μία μορφή των αρχείων πριν γίνει η διάκριση για τις παραλλαγές της διατομής του καλωδίου και τα διαφορετικά μήκη αυτού. Δηλ. χρησιμοποιώντας το υπάρχον αρχείο `Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve.cst`, το εισαγάγαμε ως Sub-Project στο Project `Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst`, με αποτέλεσμα να προκύψει το αρχείο:

- **`Table_for_ESD_Test_with_Cable_Curve_and_SpW_Connectors.cst`**

Ο λόγος που διατηρούμε και αυτό το αρχείο είναι για το ενδεχόμενο που κάποιος χρήστης θέλει να δημιουργήσει ένα διαφορετικό, θεωρητικό συνδυασμό διατομής και μήκους.

Για όλα τα Project, που αναφέραμε στην παράγραφο αυτή, θα δώσουμε αμέσως στην συνέχεια τον πίνακα, ο οποίος επισημαίνει το ποιές παραμέτρους χρησιμοποιούν.

Πίνακας 5.1: Υπόμνημα των Παραμέτρων που χρησιμοποιεί κάθε Project.

Όνομασία Project	Λίστα Παραμέτρων
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 4.2 και 4.4 ¹⁹⁸ . Από τον Πίνακα 4.4 Πίνακας 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 4.2 και 4.4 ¹⁹⁹ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 4.2 και 4.4 ²⁰⁰ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 4.2 και 4.4 ²⁰¹ . Από τον Πίνακα 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m.

¹⁹⁸ Σε αυτό το σημείο έγινε ο εμπλουτισμός του Parameter List αυτού του αρχείου, όπως είχαμε προαναφέρει και στην υποσημείωση 169.

¹⁹⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 198.

²⁰⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 198.

²⁰¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 198.

Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 3 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 3 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.2, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 01 και το μήκος των 10 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.
Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst	Το Project χρησιμοποιεί τις παραμέτρους των Πινάκων 2.3, 3.6, 4.2 και 4.4. Από τους Πίνακες 3.6 και 4.4 χρησιμοποιούνται οι παράμετροι, που σχετίζονται με την Var. 02 και το μήκος των 10 m. Επιπλέον χρησιμοποιεί τις παραμέτρους του Πίνακα 5.2.

Κατόπιν λοιπόν της κατανόησης και αποκρυστάλλωσης του πόσα και ποιά είναι τα διαφορετικά τελικά αρχεία στα οποία θέλουμε να καταλήξουμε, θα εξηγήσουμε ακολούθως αναλυτικά το πώς έγιναν οι συνδυασμοί των αρχείων, που εν τάχει περιγράψαμε μόλις, και θα αναφερθούμε σε όλες τις συνοδευτικές ενέργειες, που απαιτήθηκαν για να αποκτήσουν τα αρχεία την τελική και απόλυτα λειτουργική τους μορφή.

5.4 1^η Εισαγωγή Αρχείου – Συνδυασμός Καμπύλης Καλωδίου με Συνδέσμους

Πρώτο βήμα είναι να τοποθετηθούν στα άκρα της καμπύλης του καλωδίου τα βύσματα του πομπού και του δέκτη (σε δεσμική κατάσταση αρσενικού θηλυκού), έτσι ώστε ακολούθως, όταν φορτωθεί το καλώδιο στην καμπύλη να μπορούν τα άκρα του να συνδεθούν στις κατάλληλες επαφές. Για να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει να συνδυαστούν τα δύο αρχεία, αυτό της καμπύλης του καλωδίου επί του τραπέζιού ESD και αυτό των βυσμάτων Transmitter και Receiver με τις επαφές τους. Φυσικά, όπως είπαμε, δεν χρειάζεται να ξαναφτιαχτούν τα αντικείμενα του ενός αρχείου μέσα στο άλλο αρχείο. Ο συνδυασμός γίνεται με την εισαγωγή Sub-Project.

Προτιμήσαμε για λόγους καλύτερης αντιλήψεως του χώρου και χρήσης των παραμέτρων κατά τις μετακινήσεις των αντικειμένων (κάτι που θα φανεί πιο κάτω, όταν θα εξηγήσουμε το πώς γίνονται οι αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων), να μεταχειριστούμε σαν Sub-Project το αρχείο της καμπύλης του καλωδίου και να το φορτώσουμε στο αρχείο των συνδέσμων. Όπως λοιπόν αναφέραμε στην υποενότητα 5.3.2, έχουμε ως Sub-Projects, τα 4 αρχεία που περετέθησαν στην 1^η Ενέργεια της παραγράφου 5.3.2.2 και για κάθε ένα από αυτά έχουμε αποθηκεύσει και το Parameter List.

Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί τώρα (και που εν τάχει την περιγράψαμε στην παράγραφο 5.3.2.2) είναι:

- Το αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst** εισάγεται σαν Sub-Project στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα, και συγκεκριμένα: **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**. Σε αυτό το αρχείο γίνεται ο αναγκαίος εμπλουτισμός των παραμέτρων με την εισαγωγή του **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.PARAMETER_LIST.txt**.
- Το αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst** εισάγεται σαν Sub-Project στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα, και συγκεκριμένα: **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**. Σε αυτό το αρχείο γίνεται ο αναγκαίος εμπλουτισμός των παραμέτρων με την εισαγωγή του **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.PARAMETER_LIST.txt**.

Και προφανώς η ίδια διαδικασία θα ακολουθηθεί και για το μήκος των 10 m, δηλ.:

- Το αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst** εισάγεται σαν Sub-Project στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα, και συγκεκριμένα: **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst**. Σε αυτό το αρχείο γίνεται ο αναγκαίος εμπλουτισμός των παραμέτρων με την εισαγωγή του **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.PARAMETER_LIST.txt**.
- Το αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst** εισάγεται σαν Sub-Project στο αρχείο **Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst**. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα, και συγκεκριμένα: **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst**. Σε αυτό το αρχείο γίνεται ο αναγκαίος εμπλουτισμός των παραμέτρων με την εισαγωγή του **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.PARAMETER_LIST.txt**.

Ακολούθως θα περιγράψουμε αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας αυτής και τις επιπλέον ενέργειες, που χρειάζεται να γίνουν (πέραν της απλής φορτώσεως του ενός αρχείου στο άλλο), ώστε να φτάνει το κάθε νέο Super-Project στην σωστή μορφή. Ενδεικτικά και όταν χρειάζεται αναφορά σε νούμερα και παράθεση εικόνων, θα χρησιμοποιούμε το μήκος των 3 m και την παραλλαγή Var. 01 του καλωδίου. Φυσικά *ό,τι αναφέρουμε επαναλαμβάνεται αυτούσιο για την Var. 02 και φυσικά και για το μήκος των 10 m (και για Var. 01 και για Var. 02)*. Απλά στο άλλο μήκος του καλωδίου θα

αλλάζουν οι κατά x άξονα αποστάσεις. Αν ακολουθηθούν από τον χρήστη οι ενέργειες, όπως περιγράφονται για τα αρχεία των 3 m με Var. 01, με την διαφορά ότι θα γίνει χρήση των καταλλήλων κάθε φορά αρχείων (τα οποία θα περιέχουν στο Parameter List τις κατάλληλες τιμές), τότε τα αποτελέσματα θα είναι, με απόλυτη ασφάλεια, τα σωστά.

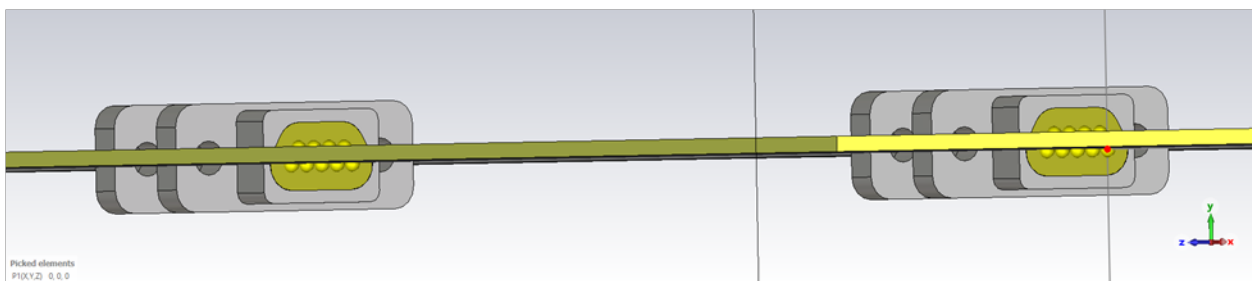
5.4.1 Βήμα 1^ο: Εισαγωγή του Αρχείου

Έχοντας ανοικτό το αρχείο Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst εισάγουμε, όπως περιγράψαμε, ως Sub-Project, το αρχείο με ονομασία Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst. Το αρχείο που προκύπτει, όπως είπαμε, το ονομάζουμε Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst.

Στο αρχείο αυτό εν πρώτοις παρατηρούμε το εξής: η αρχή των αξόνων (0,0,0) ήταν, ως γνωστόν στον κόμβο Transmitter_Din+(S). Κατά την φόρτωση τώρα του ενός αρχείου στο άλλο, όλα τα 3D αντικείμενα του Sub-Project θα «πέσουν» στον χώρο του νέου Super-Project στις ίδιες θέσεις που ήταν και στο «δικό τους» αρχείο (όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 5.3.1.3). Επομένως, αφού στο Super-Project η αρχή των αξόνων είναι στο μέσον του GRP, από την κάτω επιφάνειά του, όταν γίνει η εισαγωγή θα διαπιστώσουμε ότι ο κόμβος Transmitter_Din+(S) θα πέσει πάνω στο (0,0,0), δηλ. κάτω από το GRP, άρα τα βύσματα είναι «μέσα» στο GRP (βλ. τις Εικόνες 5.7 και 5.8).



Εικόνα 5.7: Η αλληλοεπικάλυψη των συνδέσμων με το GRP, αμέσως μετά την εισαγωγή του αρχείου της καμπύλης σε αυτό των συνδέσμων [56].



Εικόνα 5.8: Έτερα όψη της αλληλοεπικάλυψης των συνδέσμων με το GRP, αμέσως μετά την εισαγωγή του αρχείου της καμπύλης σε αυτό των συνδέσμων [56].

5.4.2 Βήμα 2^ο: Φόρτωση Παραμέτρων και Μετακίνηση των Επαφών

Προκειμένου λοιπόν να μεταφερθούν τα βύσματα και οι επαφές στα άκρα της καμπύλης του καλωδίου, θα πρέπει οι συντεταγμένες του κόμβου αναφοράς Transmitter_Din+(S) να τροποποιηθούν κατάλληλα (αξιοποιώντας και παραμέτρους από αυτές που περιγράφουν την καμπύλη). Για τον λόγο αυτόν θα χρειαστούν κατάλληλες πράξεις παραμέτρων από αυτές που έχουν δημιουργηθεί. Όμως το αρχείο Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst, στο οποίο έγινε η εισαγωγή, έχει μόνο τις δικές του παραμέτρους (βλ. τον Πίνακα 3.4) και του λείπει η γνώση για την παραμετροποίηση της καμπύλης. Επειδή τώρα, όταν γίνεται import ένα Sub-Project, δυστυχώς δεν εισάγεται μαζί και το Parameter List του (βλ. παράγραφο 5.3.1.5), θα πρέπει, όπως εξηγήσαμε στην 6^η Ενέργεια, στην παράγραφο 5.3.2.2, εμείς να μεταφέρουμε τις παραμέτρους του Sub-Project Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst, στο νέο αρχείο μας Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst (με τον απλό τρόπο, που ήδη δώσαμε στην παράγραφο 5.3.1.5). Επομένως λοιπόν το νέο αρχείο έχει όλες τις παραμέτρους των δύο άλλων αρχείων από τα οποία συνετέθη (βλ. την 6^η Ενέργεια, από την παράγραφο 5.3.2.2). Δεν θα επαναλάβουμε εδώ τους ορισμούς των παραμέτρων αυτών. Παραπέμπουμε τον αναγνώστη, που επιθυμεί να τις θυμηθεί, στις παραγράφους 3.11.2, 4.1.3.2 και 4.2.3.2.

Στο νέο αυτό Super-Project, οι περισσότερες από αυτές τις παραμέτρους δεν πρόκειται να υποστούν καμία μεταβολή. Μόνο τρεις παράμετροι πρέπει να αλλάξουν τιμή και τύπο υπολογισμού. Αυτές είναι οι:

$$\begin{aligned}x_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S &= 0\text{ mm} \\y_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S &= 0\text{ mm} \\z_coordinate_of_reference_node_Transmitter_Din_plus_S &= 0\text{ mm}\end{aligned}$$

Όπως είπαμε στην υποενότητα 3.11.3, οι παράμετροι αυτές έχουν λάβει όλες τιμή 0. Όμως τώρα πρέπει να αποκτήσουν κατάλληλες τιμές ώστε να «μεταφέρουν» τις επαφές και τα βύσματα στην θέση που πρέπει, στα άκρα της καμπύλης²⁰². Οπότε κάναμε δύο ενέργειες:

- a) Μετονομάσαμε τις παραμέτρους αυτές, αφαιρώντας την λέξη *reference* διότι πλέον ο κόμβος αυτός δεν θα συμπίπτει με την αναφορά (0,0,0) του συστήματος συντεταγμένων. Άρα καταλήξαμε στις:

$$\begin{aligned}x_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S \\y_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S \\z_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S\end{aligned}$$

Και πάλι βέβαια με βάση αυτό το σημείο ορίζονται οι υπόλοιπες επαφές. Όμως θέλαμε να έχουμε πλέον και διαφορετικό όνομα στις παραμέτρους αυτές για λόγους αποφυγής συγχύσεως, διότι στην περίπτωση του νέου αυτού αρχείου Super-Project, Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst, είναι διαφορετικές οι τιμές τους από το αρχείο που είναι μόνοι τους οι σύνδεσμοι, Transmitter_and_Receiver_SpW_Connectors_with_Contacts.cst.

- b) Δώσαμε στις παραμέτρους αυτές, τον κατάλληλο παραμετρικό τύπο υπολογισμού (που γίνεται κατανοητός αν ανατρέξει κανείς στους ορισμούς και στην επεξήγηση των αντιστοίχων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, βλ. τις παραγράφους 4.2.3.3 και 3.11.4.2):

²⁰² Η μετακίνηση αυτή των βυσμάτων θα μπορούσε να γίνει και πριν την εισαγωγή του Sub-Project, μόνο με φόρτωση του Parameter List του, όμως εξυπηρετεί καλύτερα να γίνει τώρα για λόγους εποπτικής κατανόησης του πού τοποθετούνται τα βύσματα (αφού έχει έλθει στον χώρο και η καμπύλη και θα είναι εμφανές ότι τα βύσματα θα καταλήξουν στα άκρα της).

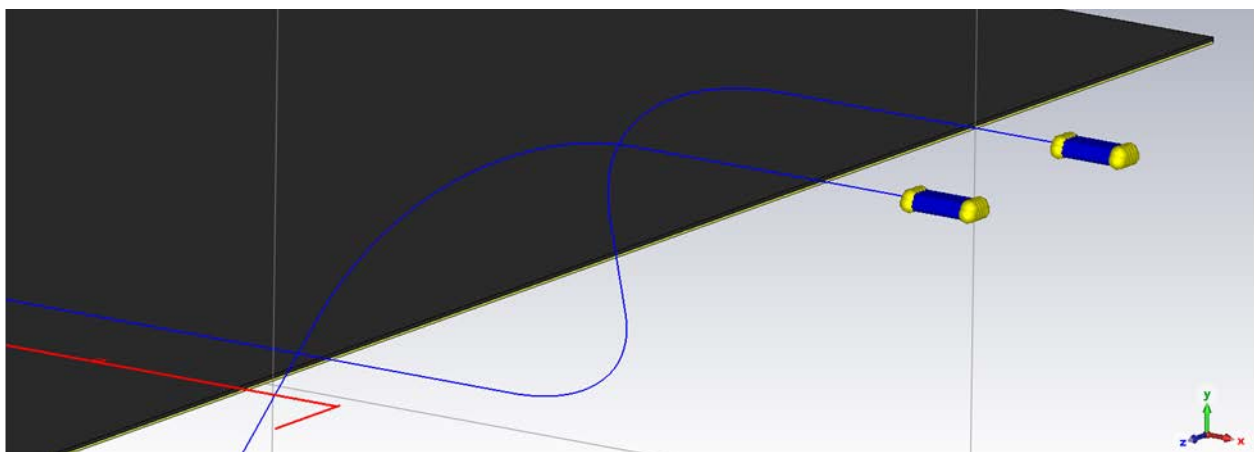
$$\begin{aligned}
 &x_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S \\
 &= x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End \\
 &+ Dx_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node \\
 &+ Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector \xleftrightarrow{(4.45),(3.15),(4.33)} \\
 &x_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S = 1074.89 \text{ mm} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &y_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S \\
 &= y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End \\
 &- Dy_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node \\
 &\xleftrightarrow{(4.47),(3.16)} \\
 &y_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S = 908.886958 \text{ mm} \quad (5.2)
 \end{aligned}$$

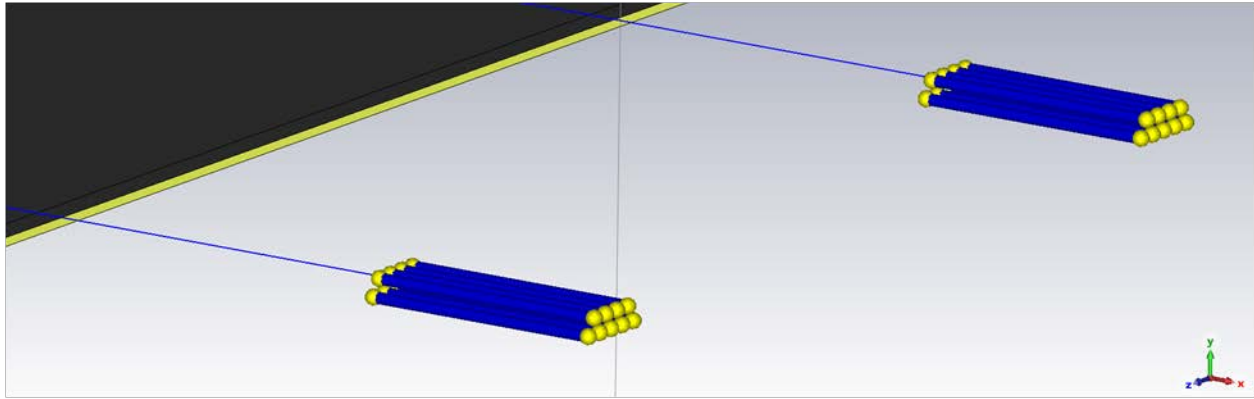
$$\begin{aligned}
 &z_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S \\
 &= z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End \\
 &- Dz_absolute_distance_between_Center_of_Backshell_of_Male_Connector_and_reference_node \\
 &\xleftrightarrow{(4.48),(3.17)} \\
 &z_coordinate_of_node_Transmitter_Din_plus_S = 45.8475 \text{ mm} \quad (5.3)
 \end{aligned}$$

Η ιδέα των σχέσεων αυτών είναι ότι, από το σημείο, όπου είναι το πέρας της καμπύλης (και προσδιορίζεται από τις παραμέτρους $x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$, $y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$ και $z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$) απομακρυνόμαστε ακόμη λιγάκι (τόσο όσο είναι η απόσταση τερματισμού των αγωγών πάνω στον σύνδεσμο, δηλ. $Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector$,) και, ενώ βρισκόμαστε στο κέντρο της πίσω όψης του αρσενικού συνδέσμου, μεταφερόμαστε στην πίσω όψη του θηλυκού και μάλιστα στην θέση του κόμβου Transmitter_Din+(S) (του οποίου οι συντεταγμένες χρησιμοποιούνται ως αναφορά για όλους τους άλλους κόμβους).

Μετά από την εφαρμογή των παραπάνω ενεργειών και την Παραμετρική Ανανέωση (Parametric Update) του μοντέλου, παρατηρούμε ότι οι επαφές, διατηρώντας την παραμετροποίηση των σχετικών θέσεων μεταξύ τους, έχουν μετατοπιστεί ακριβώς εκεί που επιθυμούμε. Μόνο όμως οι επαφές και όχι και τα μοντέλα των συνδέσμων (βλ. τις 2 εικόνες που ακολουθούν).



Εικόνα 5.9: Οι επαφές των συνδέσμων, έχοντας λάβει την τελική τους θέση [56].



Εικόνα 5.10: Μεγέθυνση στις επαφές των συνδέσμων, όταν έχουν λάβει την τελική τους θέση [56].

5.4.3 Βήμα 3^ο: Μετακίνηση των Συνδέσμων

Για να μετακινηθούν τα 3D αντικείμενα που αποτελούν τα συσσωματώματα των συνδέσμων, χρειάζεται κατά τα γνωστά η εντολή Transform. Ακολούθως θα εξηγήσουμε πώς θα κάνουμε αυτή την ενέργεια έτσι ώστε να κινούνται πλέον αυτόματα (βάσει της παραμετροποίησης) και τα μοντέλα των συνδέσμων. Όπως έχουμε αναφέρει ξανά, θέλουμε το κάθε άκρο της καμπύλης να καταλήγει στο κέντρο της πίσω όψεως του backshell του αρσενικού συνδέσμου του αντιστοίχου συσσωματώματος συνδέσμων (λαμβάνοντας υπ' όψιν και την παραμετρικά δοσμένη απόσταση κατά τον x άξονα, *Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector*). Προκειμένου λοιπόν να μετατοπιστούν εκεί τα βύσματα, θα κάνουμε Transform με την χρήση διανύσματος μετατόπισης, το οποίο όμως θα οριστεί από σημεία επιλεγμένα από εμάς. Τα σημεία, τα οποία είναι τα κέντρα της πίσω όψεως των backshells των δύο αρσενικών συνδέσμων θα επιλεγούν με την δυνατότητα Pick Face Center (από τα Pick Points, βλ. την Εικόνα 3.63) και τα σημεία στα άκρα της καμπύλης θα επιλεγούν μέσω παραμετρικά δοσμένων συντεταγμένων (επιλογή “Pick Point from Coordinates...” και πάλι από την Εικόνα 3.63).

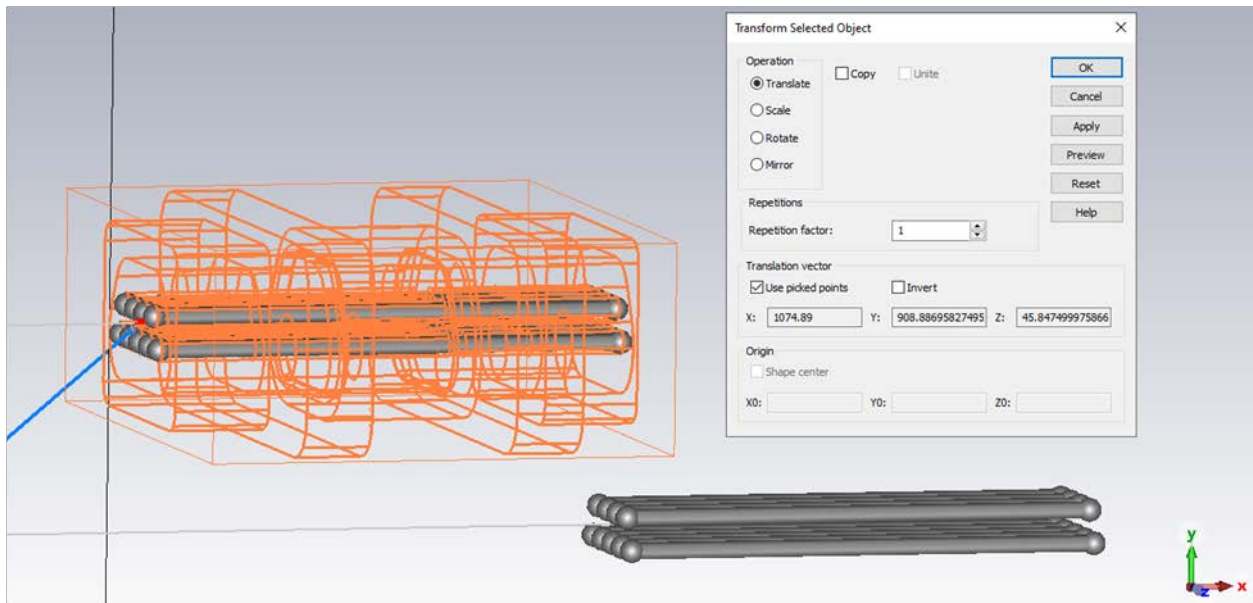
Αρχίζοντας λοιπόν από το Group του Transmitter κάνουμε την επιλογή των σημείων αυτών. Πρώτο σημείο που επιλέγουμε (άρα αρχή του διανύσματος μετατόπισης) είναι το κέντρο της πίσω όψεως του αρσενικού στην θέση που έχει βρεθεί μετά το Import Sub-Project (δηλ. κάτω από το GRP) και δεύτερο σημείο που επιλέγουμε (άρα πέρας του διανύσματος) είναι το σημείο με συντεταγμένες:

$$x = x_coordinate_of_Transmitting_Cable_End + Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector$$

$$y = y_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$$

$$z = z_coordinate_of_Transmitting_Cable_End$$

Κάνοντας Transform λοιπόν στο αντίστοιχο Group αντικειμένων και χρησιμοποιώντας διάνυσμα μετατόπισης (Translation vector) βλέπουμε ότι το συσσωμάτωμα μετακινείται ακριβώς εκεί που θέλουμε. Το καταλαβαίνουμε από την ακόλουθη εικόνα, στην οποία με μπλε γραμμή φαίνεται το πέρας του διανύσματος μετατόπισης και με πορτοκαλί περίγραμμα είναι η προεπισκόπηση της μετατόπισης.



Εικόνα 5.11: Προεπισκόπηση της παραμετρικής μετατόπισης του συσσωματώματος των συνδέσεων του Transmitter [56].

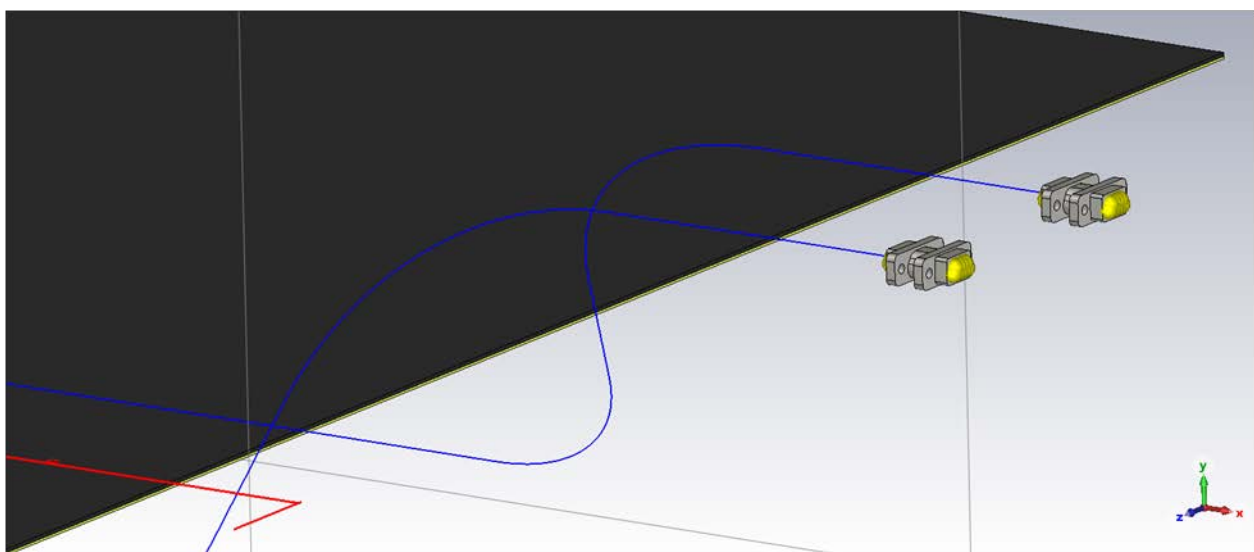
Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία αυτή και για το Group του Receiver. Δηλ. αρχή του διανύσματος το κέντρο της πίσω όψεως του αρσενικού, πέρας το σημείο με συντεταγμένες:

$$x = x_coordinate_of_Receiving_Cable_End + Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector$$

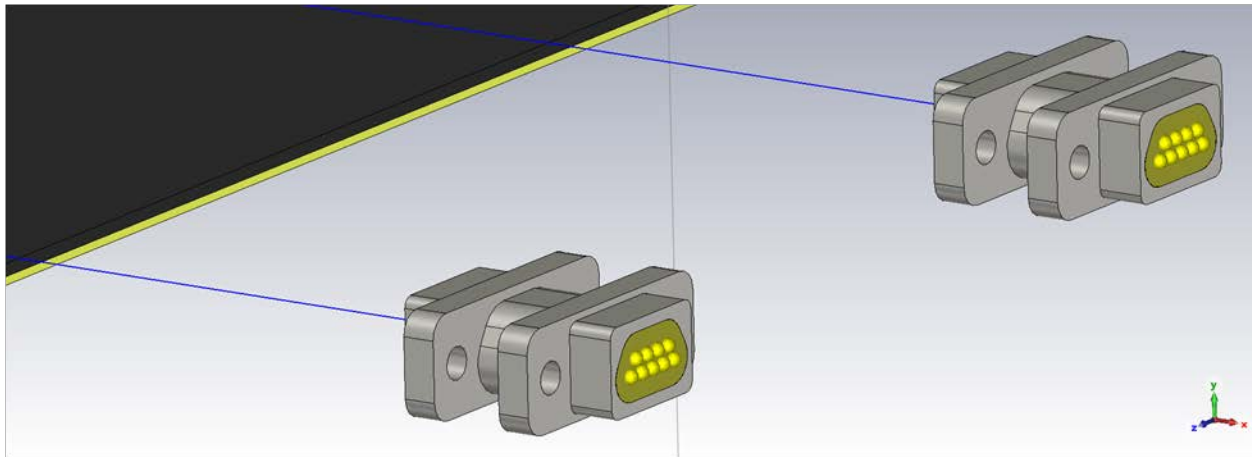
$$y = y_coordinate_of_Receiving_Cable_End$$

$$z = z_coordinate_of_Receiving_Cable_End$$

Κάνοντας Transform λοιπόν και σε αυτό το Group αντικειμένων βλέπουμε ότι το συσσωμάτωμα του Receiver αποκτά και αυτό την σωστή του θέση.



Εικόνα 5.12: Τα συσσωματώματα των συνδέσεων, έχοντας λάβει την τελική τους θέση [56].



Εικόνα 5.13: Μεγέθυνση στα συσσωματώματα των συνδέσεων, όταν έχουν λάβει την τελική τους θέση [56].

Τοιοτρόπως, με τις παραπάνω ενέργειες, αποθηκεύεται στην μνήμη του CST ότι, όταν θα αλλάζουν τιμές οι σχετικές παράμετροι, τα Groups των συνδέσεων θα μετατοπίζονται με βάση το διάνυσμα που έχει αρχή το face center της πίσω όψης του αρσενικού και πέρας την θέση του Cable_end_node (αυξημένη στον x άξονα κατά την ποσότητα *Distance_between_Cable_End_Node_and_Backshell_of_Male_Connector*).

Στο σημείο αυτό, που έχει ολοκληρωθεί η τελική και σωστή τοποθέτηση των συνδέσεων, υπενθυμίζουμε ότι (όπως έχουμε επισημάνει ξανά και στην υποενότητα 3.10) με αυτή την τοποθέτηση των βυσμάτων πλέον θεωρείται ότι η κονσόλα του Simulator εκτείνεται πίσω από την πίσω μεριά των θηλυκών συνδέσεων και προς τα θετικά του x άξονα.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι αντίστοιχες ενέργειες (δηλ. τα τρία αυτά βήματα, με τις υποενέργειές τους) έγιναν και στο αρχείο της καμπύλης του καλωδίου 3 m που αντιστοιχεί στην Var. 02 αλλά και στα αρχεία που αφορούσαν την καμπύλη του καλωδίου των 10 m (και για τις δύο παραλλαγές).

Σχόλιο σχετικά με τις διαστάσεις πάνω στο μοντέλο του τραπέζιού ESD στα νέα Super-Projects:

Όπως επισημάναμε στην παράγραφο 5.3.1.4, στην αρχή του κεφαλαίου, όταν γίνεται η φόρτωση ενός Sub-Project σε ένα άλλο, δυστυχώς οι διαστάσεις, που είναι σημειωμένες στο Sub-Project, δεν μεταφέρονται στο Super-Project. Συνεπώς προκειμένου να συνεχίσουμε να βλέπουμε πάνω στο τραπέζι τις βασικότερες διαστάσεις, ώστε να γίνεται αντιληπτός ο τρόπος τοποθέτησης του καλωδίου, θα πρέπει να τις ξαναορίσουμε. Αυτό θα γίνει με τον τρόπο που περιγράψαμε στην παράγραφο 4.2.4.3 του Κεφάλαιο 3.

5.4.3.1 Δυνατότητα Αλλαγής Τιμών στις Παραμέτρους της Καμπύλης και Απαραίτητες Ενέργειες

Όταν ο πειραματιζόμενος θέλει να εξετάσει ένα διαφορετικό άπλωμα του καλωδίου (δηλ. μια αλλαγή τιμών σε παραμέτρους όπως οι $d1$, $d2$, $d3$, $l1$, $l2$, $l3$, οι ακτίνες καμπυλότητας κ.α.), τότε, όταν θα περάσει στο πρόγραμμα, πρέπει πρώτα να κάνει τις αντίστοιχες αλλαγές τιμών στο αρχείο, στο οποίο βρίσκεται μόνο η καμπύλη του καλωδίου, δηλ. στο αρχείο Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst, που χρησιμοποιήθηκε σαν Sub-Project, και να κάνει αποθήκευση. Τότε στο σύνθετο αρχείο (Super-Project) Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst, με την καμπύλη και τους συνδέσμους, αν πατήσει Parametric Update, οι αλλαγές στην καμπύλη θα εφαρμοστούν. Χρειάζεται όμως προσοχή διότι δεν τελειώνει εδώ η δουλειά. Οι νέες τιμές στις παραμέτρους δεν έχουν περάσει και στο Parameter List του συνθέτου αρχείου. Ως εκ τούτου, η

καμπύλη έχει πάρει την νέα μορφή (αφού οι αλλαγές σε αυτήν ελέγχονται από το Sub-Project), όμως τα βύσματα θα είναι ακόμα στην προηγούμενη θέση τους (διότι αποτελούν μέρος του Super-Project μόνο και δεν μπορεί να τα ελέγξει ο χρήστης, παρά μόνο από το ίδιο το Super-Project). Πρέπει συνεπώς όποιες αλλαγές τιμών έγιναν στις παραμέτρους που αναφέραμε, να επαναληφθούν και στο σύνθετο αρχείο `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst` (το Super-Project) και να πατηθεί δεύτερη φορά το Parametric Update. Τότε πλέον θα είμαστε στην τελική κατάσταση που επιθυμούμε.

Αυτο είναι η γενική σειρά ενεργειών που ακολουθείται στα improved Sub-Projects στην εργασία μας, δηλ. **πρώτα γίνεται η αλλαγή στο Sub-Project, αυτό αποθηκεύεται εκ νέου και ύστερα εφαρμόζεται Parametric Update στο Super-Project. Και τέλος οι αλλαγές τιμών των παραμέτρων του Sub-Project μεταφέρονται και στο Parameter List του Super-Project και εκ νέου γίνεται Parametric Update.** Τέλος να μην ξεχνάμε να αποθηκεύουμε ξανά όλα τα Parameter Lists που υπέστησαν αλλαγές, έτσι ώστε να είμαστε συνεπείς με τα αρχεία μας (δηλ. τόσο το Parameter List του Sub-Project όσο και αυτό του Super-Project).

5.5 2^η Εισαγωγή Αρχείου – Συνδυασμός Διατομής Καλωδίου με Καμπύλη Καλωδίου και Συνδέσμους

Η επόμενη δουλειά για να φτάσουμε στο ολοκληρωμένο συναρμολόγημα καλωδίου είναι να «φορτώσουμε» την διατομή. Για να γίνει κάτι τέτοιο πρέπει να συνδυαστούν και πάλι δύο αρχεία, αυτό στο οποίο σχεδιάστηκε η διατομή του SpW και το Super-Project που δημιουργήσαμε και στο οποίο αναφερθήκαμε μόλις παραπάνω, δηλ. αυτό που περιέχει την καμπύλη του καλωδίου πάνω στο τραπέζι της ESD δοκιμής αλλά και τους συνδέσμους με τις επαφές.

Ως Sub-Project θα μεταχειριστούμε εδώ το αρχείο της διατομής του καλωδίου (αυτό δηλ. στο οποίο έχουμε δημιουργήσει την διατομή σε 2D) και θα το εισαγάγουμε στο αρχείο με την καμπύλη και τους συνδέσμους (αυτό που μόλις δημιουργήσαμε). Πρέπει να κρατούμε στο μυαλό ότι για κάθε μήκος καλωδίου, 3 m και 10 m, μπορούμε να έχουμε καλώδιο SpW σε δύο δυνατές παραλλαγές, Var. 01 και Var. 02. Βέβαια στο εργαστήριο τα δείγματα που υπάρχουν είναι Var. 01, αλλά πάντοτε μπορεί ο πειραματιζόμενος να θέλει να κάνει μια θεωρητική σύγκριση μεταξύ των δύο παραλλαγών, οπότε στην προσομοίωση δημιουργούμε όλες τις δυνατές παραλλαγές. Έχουμε λοιπόν 2 αρχεία σαν Sub-Projects, τα:

- SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst και
- SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst.

και για κάθε ένα από αυτά έχουμε αποθηκεύσει και το Parameter List (όπως έχουμε αναφέρει στην 10^η Ενέργεια της παραγράφου 5.3.2.2).

Αρα συνοπτικά, η διαδικασία που θα ακολουθηθεί τώρα (και που εν τάχει την περιγράψαμε στην παράγραφο 5.3.2.2) είναι:

- Το αρχείο `SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst` εισάγεται σαν Sub-project στο αρχείο `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst`. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα και συγκεκριμένα, `Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst`. Σε αυτό το αρχείο εισάγεται και το `SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt`. Αυτό το Parameter List θα εισαχθεί όμως και σε άλλα 2 αρχεία: το Sub-Project `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst` και το Super-Project `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst`.
- Το αρχείο `SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst` εισάγεται σαν Sub-project στο αρχείο `Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst`. Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα και συγκεκριμένα,

Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst. Σε αυτό το αρχείο εισάγεται και το **SpW_Cable_Var.02_cross_section_PARAMETER_LIST.txt.** Αυτό το Parameter List θα εισαχθεί όμως και σε άλλα 2 αρχεία: το Sub-Project **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02.cst** και το Super-Project **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst.**

Φυσικά η διαδικασία αυτή θα επαναληφθεί για το μήκος των 10 m, δηλ.:

- Το αρχείο **SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst** εισάγεται σαν Sub-project στο αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst.** Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα και συγκεκριμένα, **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst.** Σε αυτό εισάγεται και το **SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt.** Αυτό το Parameter List θα εισαχθεί όμως και σε άλλα 2 αρχεία: το Sub-Project **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01.cst** και το Super-Project **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst.**
- Το αρχείο **SpW_Cable_Var.02_cross_section.cst** εισάγεται σαν Sub-project στο αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst.** Το νέο αρχείο, που προκύπτει, αποθηκεύεται με νέο όνομα και συγκεκριμένα, **Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst.** Σε αυτό εισάγεται και το **SpW_Cable_Var.02_cross_section_PARAMETER_LIST.txt.** Αυτό το Parameter List θα εισαχθεί όμως και σε άλλα 2 αρχεία: το Sub-Project **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02.cst** και το Super-Project **Table_for_ESD_Test_with_10m_Cable_Curve_for_Var.02_and_SpW_Connectors.cst.**

Ακολουθώντας θα περιγράψουμε αναλυτικά τα βήματα της διαδικασίας αυτής και τις επιπλέον ενέργειες που χρειάζεται να γίνουν (πέραν της απλής φορτώσεως του ενός αρχείου στο άλλο) ώστε να φτάνει το κάθε νέο Super-Project στην σωστή μορφή. Ενδεικτικά και όταν χρειάζεται αναφορά σε νούμερα και παράθεση εικόνων, θα χρησιμοποιούμε και πάλι την Var. 01 στο μήκος των 3 m. Φυσικά ό,τι αναφέρουμε επαναλαμβάνεται αυτούσιο για την Var. 02 σε αυτό το μήκος καλωδίου αλλά και για τις Var. 01 και 02 στο καλώδιο μήκους των 10 m. Πάντοτε βέβαια πρέπει να γίνεται χρήση των σωστών αρχείων και των σωστών Parameter Lists. Η πιστή εφαρμογή των παρακάτω βημάτων και στα υπόλοιπα αρχεία, οδηγεί πάντοτε στο σωστό αποτέλεσμα, με σιγουριά.

5.5.1 Βήμα 1^ο: Εισαγωγή του Αρχείου και Φόρτωση των Παραμέτρων

Έχοντας λοιπόν ανοικτό στο περιβάλλον του προγράμματος CST το αρχείο **Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst** εισάγουμε, με τον γνωστό πλέον τρόπο, το αρχείο **SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst.** Το αρχείο που προκύπτει, όπως είπαμε (βλ. τα λεγόμενα στην παράγραφο 5.3.2.2), το ονομάζουμε **Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst.**

Γενικά η εισαγωγή της διατομής δεν περιλαμβάνει σύνθετες χωροταξικές κινήσεις, όπως έγινε κατά την εισαγωγή του αρχείου της καμπύλης. Η βασική ενέργεια, που πρέπει να γίνει, είναι να φορτωθεί η διατομή πάνω στην καμπύλη ώστε να σχηματιστεί το καλώδιο. Πριν όμως γίνει κάτι τέτοιο πρέπει να προσέξουμε το εξής επόμενο. Όπως επισημάναμε, η καμπύλη επί του παρόντος, είναι ακριβώς επί του βακελίτη «τοποθετημένη», δηλ. απέχει από αυτόν μηδενική απόσταση. Το σκεπτικό είναι, όταν φορτωθεί το καλώδιο, να ανέλθει σε ύψος όσο το μισό της διαμέτρου του, οπότε το καλώδιο πλέον να «ακουμπά» στον βακελίτη αλλά όχι και να «μπαίνει μέσα σε αυτόν». Για τον λόγο αυτόν, όπως είπαμε στην παράγραφο 4.2.3.3, έχουμε ορίσει την παράμετρο *to_be_replaced_with_Cable_Diameter*, η οποία θα λάβει την τιμή της διαμέτρου του καλωδίου όταν αυτό φορτωθεί. Πώς όμως θα γίνει αυτό; Όπως ήδη αναφέραμε πιο πάνω, στην παράγραφο 5.3.1.5, η εισαγωγή ενός Sub-Project σε ένα άλλο αρχείο, δεν συνοδεύεται από εισαγωγή και των παραμέτρων του στο Parameter List του «αρχείου προορισμού – Super-Project». Άρα η πρώτη σκέψη

θα ήταν απλώς να αναθέσουμε στην παράμετρο *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* αριθμητική τιμή, όσο η διάμετρος του καλωδίου, τιμή την οποία θα λαμβάναμε από το αρχείο της διατομής. Έτσι όμως δεν θα μπορούμε να έχουμε παραμετρικό έλεγχο στην τιμή της παραμέτρου *to_be_replaced_with_Cable_Diameter*. Να γιατί λοιπόν είναι αναγκαίο να μεταφέρουμε όλες τις παραμέτρους της διατομής στο νέο αρχείο, παρ' όλο που μόνο η *RC_Diameter* είναι αυτή που φαινομενικά χρησιμοποιείται άμεσα. Διότι για να μπορέσει η *RC_Diameter* να αποκτήσει στο νέο αρχείο την σωστή τιμή, ύστερα από μια αλλαγή στο Sub-Project της διατομής, χρειάζεται μαζί της στο νέο αρχείο όλες τις άλλες παραμέτρους, που εμμέσως οδηγούν στον υπολογισμό της. Και όταν δοθεί και σε αυτές η ίδια αλλαγή, που θα έχει δοθεί και στο Sub-Project, τότε θα μπορέσει η *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* να φτάσει στην σωστή τιμή και έτσι να έχουμε το καλώδιο SpW στην τελική κατάσταση που επιθυμούμε. Άρα αυτό που θα κάνουμε είναι, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 5.3.2.2, να φορτώσουμε και την λίστα παραμέτρων του αρχείου της διατομής, *SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt*, στην λίστα παραμέτρων των καταλλήλων αρχείων. Ποιά όμως είναι τα αρχεία που θα πρέπει να εμπλουτίσουν το Parameter List τους με αυτή την ενέργεια:

- a) Ο έλεγχος της θέσεως της καμπύλης μπορεί να επιτευχθεί μόνο από το Sub-Project *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst*. Επομένως πρέπει σίγουρα σε αυτό το αρχείο να φορτώσουμε την λίστα παραμέτρων *SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt*, έτσι ώστε οι αλλαγές στην διάμετρο του καλωδίου να μπορούν να μεταφέρονται σε σωστή μετατόπιση της καμπύλης (με τρόπο που θα εξηγήσουμε παρακάτω και συγκεκριμένα στην υποενότητα 5.5.2). Το *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_PARAMETER_LIST.txt* αποθηκεύεται εκ νέου, μετά τον εμπλουτισμό του αυτόν.
- b) Εκτός αυτού όμως, αναγκαίο είναι να μετακινηθούν σωστά και τα βύσματα. Όπως μπορεί εύκολα να διαπιστώσει κανείς, ο έλεγχος της θέσεως των βυσμάτων γίνεται μόνο από το Super-Project, το οποίο εν προκειμένω είναι αυτό που έχουμε ονομάσει *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst*. Επομένως πρέπει υποχρεωτικά και σε αυτό το αρχείο να φορτώσουμε το *SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt*, έτσι ώστε οι αλλαγές στην διάμετρο του καλωδίου να μπορούν να μεταφέρονται σε σωστή μετατόπιση και των βυσμάτων (με τρόπο που θα εξηγήσουμε παρακάτω, στην υποενότητα 5.5.2). Το *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors_PARAMETER_LIST.txt* αποθηκεύεται εκ νέου μετά τον εμπλουτισμό του αυτόν.
- c) Τέλος, χωρίς να είναι υποχρεωτικό, καλό είναι να φορτώσουμε το *SpW_Cable_Var.01_cross_section_PARAMETER_LIST.txt* και στο Super-Project *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst* (δηλ. στην αρχική μορφή του Super-Project, πριν εισαχθεί η διατομή του καλωδίου). Αυτό γίνεται απλά και μόνο για λόγους συνεπείας και ομοιομορφίας των αρχείων μας, διότι δεν μας ενδιαφέρει να ξαναχρησιμοποιήσουμε άμεσα το αρχείο αυτό, αφού πλέον οι αλλαγές μας θέλουμε να μεταφέρονται απ' ευθείας στο νεότερο Super-Project, *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst*. Καλόν όμως είναι να ακολουθεί και αυτό το πιο παλιό Super-Project τις αλλαγές που γίνονται στα υπόλοιπα αρχεία (της a και b περίπτωσης, από πάνω), αφού είναι σχετιζόμενο απόλυτα με αυτά και ως προς το μήκος του καλωδίου και ως προς την Variant. Το *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors_PARAMETER_LIST.txt* αποθηκεύεται εκ νέου μετά τον εμπλουτισμό του αυτόν.

5.5.2 Βήμα 2^ο: Ενημέρωση Παραμέτρων για τελική Μετατόπιση της Καμπύλης και των Συνδέσμων

Μετά τον εμπλουτισμό αυτό των Parameter Lists των αρχείων των τριών παραπάνω περιπτώσεων, επόμενη ενέργειά μας είναι να εκχωρήσουμε στην παράμετρο *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* ως τιμή την διάμετρο του καλωδίου SpW, δηλ.:

$$to_be_replaced_with_Cable_Diameter = RC_Diameter$$

Η ενέργεια αυτή πρέπει να γίνει στα αρχεία και των τριών παραπάνω περιπτώσεων. Κινούμαστε λοιπόν συστηματικά:

- a) Αρχικά κάνουμε την παραπάνω ενημέρωση της τιμής της παραμέτρου *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* στο Sub-Project που έχει μόνο την καμπύλη, δηλ. στο *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst* και πατώντας Parametric Update η καμπύλη μετατοπίζεται κατάλληλα. Ακολούθως σώζουμε το ίδιο το αρχείο αλλά και το *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_PARAMETER_LIST.txt* εκ νέου (λόγω της αλλαγής που υπέστη).
- b) Στην συνέχεια ανοίγουμε το νεότερο αρχείο Super-Project *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst* και εφαρμόζουμε Parametric Update, οπότε η μετατόπιση της καμπύλης περνά και στο αρχείο αυτό. Όμως πρέπει και εδώ να ενημερώσουμε την παράμετρο *to_be_replaced_with_Cable_Diameter* στην τιμή *RC_Diameter* και να ξανακάνουμε Parametric Update, έτσι ώστε να ακολουθήσουν και τα βύσματα την μετατόπιση της καμπύλης. Τέλος αποθηκεύουμε το αρχείο αυτό αλλά και το *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors_PARAMETER_LIST.txt* εκ νέου (λόγω της αλλαγής που υπέστη).
- c) Τέλος, απλώς και μόνον για λόγους συνεπείας όπως είπαμε, εφαρμόζουμε ό,τι αναφέραμε παραπάνω στην περίπτωση b και στο παλαιότερο αρχείο Super-Project *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst*. Δηλ. το ανοίγουμε, κάνουμε Parametric Update (οπότε η μετατόπιση της καμπύλης εφαρμόζεται και σε αυτό), εφαρμόζουμε *to_be_replaced_with_Cable_Diameter = RC_Diameter* και ξανακάνουμε Parametric Update (οπότε και τα βύσματα μετατοπίζονται κατάλληλα) και τέλος αποθηκεύουμε το αρχείο αυτό αλλά και το Parameter List του.

5.5.2.1 Δυνατότητα Αλλαγής τιμών στις Παραμέτρους της Διατομής και Απαραίτητες Ενέργειες

Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι αν προβούμε σε μια αλλαγή τιμής παραμέτρου της διατομής με συνακόλουθη αλλαγή στην τιμή της *RC_Diameter*, τότε η αλλαγή αυτή θα πρέπει να μεταφερθεί και στο αρχείο της καμπύλης αλλά και στα αρχεία των βυσμάτων. Άρα όταν ο πειραματιζόμενος θέλει να εξετάσει μια ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση της διατομής του καλωδίου (δηλ. μια αλλαγή τιμών σε παραμέτρους όπως τα πάχη των μονωτικών στρωμάτων, οι παράγοντες καλύψεως των θωρακίσεων, κ.α.), τότε πρέπει πρώτα να κάνει τις αντίστοιχες αλλαγές τιμών στο αρχείο που είναι μόνο η διατομή του καλωδίου, δηλ. στο αρχείο *SpW_Cable_Var.01_cross_section.cst*, που χρησιμοποιήθηκε σαν Sub-Project, και να κάνει αποθήκευση. Ακολούθως θα περάσει τις νέες τιμές των παραμέτρων στο Parameter List του αρχείου (το οποίο διαδραματίζει επίσης ρόλο Sub-Project) *Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01.cst*, που είναι αυτό που ελέγχει την θέση της καμπύλης. Αυτό το αρχείο δεν έχει μέσα του την διατομή σαν Sub-Project αλλά έχοντας στο Parameter List του τις παραμέτρους της διατομής, θα μετατοπίσει σωστά την καμπύλη, μετά από την οποιαδήποτε αλλαγή τιμών κάνουμε.

Στην συνέχεια πρέπει να ανοίξουμε το σύνθετο αρχείο (Super-Project) *Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst*. Πατώντας σε αυτό

Parametric Update, η καμπύλη θα μετατοπιστεί στην νέα σωστή της θέση. Χρειάζεται όμως προσοχή να θυμηθούμε να περάσουμε την αλλαγή αυτή και στην θέση των βυσμάτων. Ως εκ τούτου θα μεταφέρουμε και εδώ τις αλλαγές στο Parameter List και (αφού από αυτό το αρχείο ελέγχεται η θέση των βυσμάτων) και με Parametric Update, τα βύσματα θα λάβουν και αυτά την νέα σωστή τους θέση.

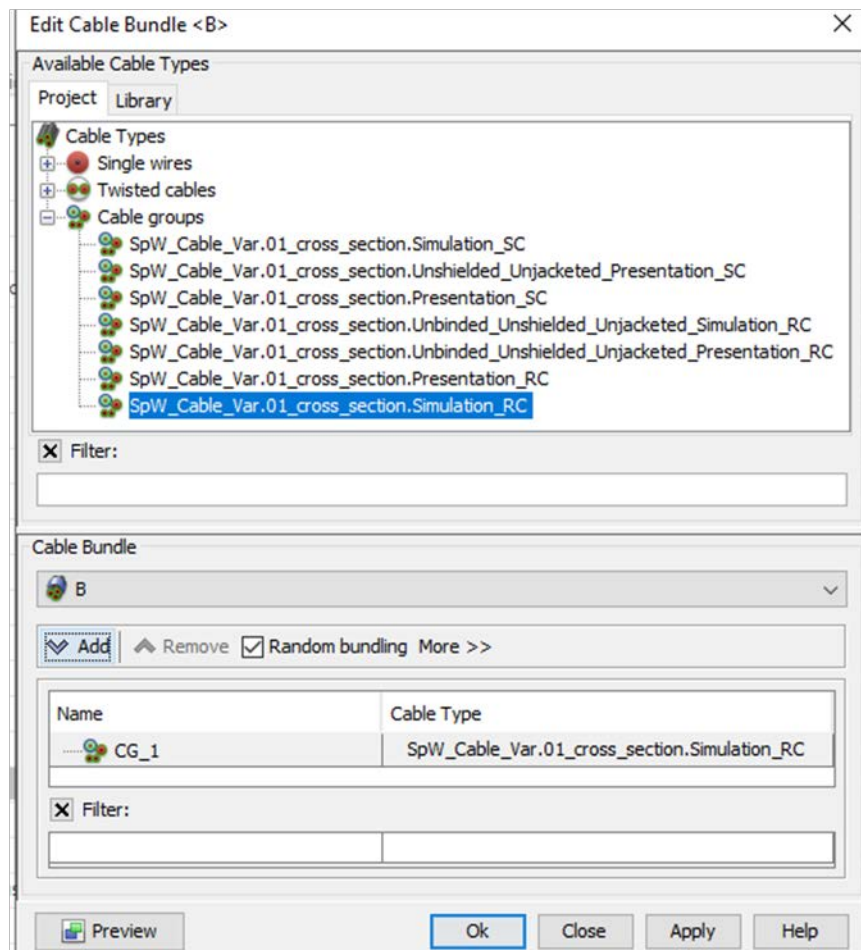
Σαν κατακλείδα, καλό είναι να επαναλάβουμε τις ενέργειες αυτές (Parametric Update, ενημέρωση Parameter List με τις νέες τιμές και εκ νέου Parametric Update) και για το αρχείο Table_for_ESD_Test_with_3m_Cable_Curve_for_Var.01_and_SpW_Connectors.cst (δηλ. την πρώτη μορφή του Super-Project), όπως είπαμε στην υποενότητα 5.5.2.

Πάντοτε δηλ. ακολουθούμε την γενική σειρά ενεργειών για τα improted Sub-Projects της εργασία μας, όπως την περιγράψαμε και στο τέλος της παραγράφου 5.4.3.1, δηλ. **πρώτα γίνεται η αλλαγή στο Sub-Project, αυτό αποθηκεύεται εκ νέου και ύστερα εφαρμόζεται Parametric Update στο Super-Project. Και τέλος οι αλλαγές τιμών των παραμέτρων του Sub-Project μεταφέρονται και στο Parameter List του Super-Project και εκ νέου γίνεται Parametric Update. Η μικρή διαφοροποίηση είναι ότι οι αλλαγές στο Sub-Project της διατομής πρέπει να μεταφέρονται και στο επίσης Sub-Project της καμπύλης.** Τέλος να μην ξεχνάμε να αποθηκεύουμε ξανά όλα τα Parameter Lists που υπέστησαν αλλαγές, έτσι ώστε να είμαστε συνεπείς με τα αρχεία μας [δηλ. το Parameter List του αρχείου της διατομής, του Sub-Project της καμπύλης, του νεότερου Super-Project (καμπύλης και βυσμάτων και διατομής) αλλά και του παλαιότερου Super-Project (καμπύλης και βυσμάτων μόνο)].

5.5.3 Βήμα 3^ο: Φόρτωση της Διατομής του Καλωδίου στην Καμπύλη

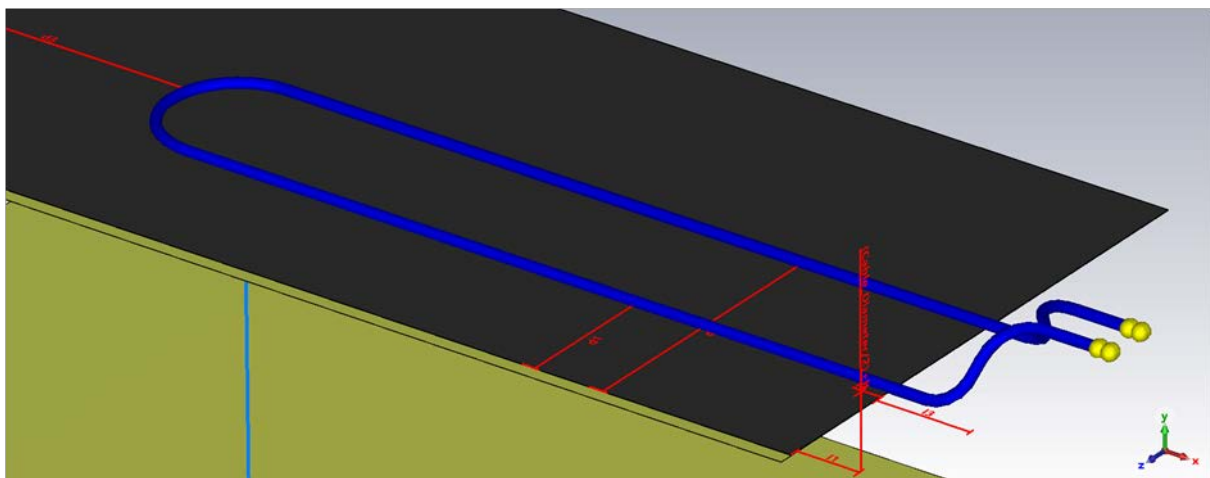
Έχοντας ολοκληρώσει τις ενέργειες αυτές, προχωρούμε στην δημιουργία του καλωδίου. Αυτή θα γίνει προφανώς με την μέθοδο της «φόρτωσης» μιας διατομής καλωδίου πάνω σε μια καμπύλη. Όπως έχουμε εξηγήσει και στην παράγραφο 4.2.1.2, επιλέγουμε το εργαλείο Cable Bundle from Curve, από τα προτεινόμενα για δημιουργία δέσμης καλωδίων (βλ. την Εικόνα 3.68). από το πάνω μέρος του παραθύρου που μας ανοίγει (βλ. την εικόνα που ακολουθεί) επιλέγουμε τον τύπο διατομής που θέλουμε να φορτώσουμε σαν καλώδιο στην καμπύλη (την διατομή του Simulation_RC εν προκειμένω²⁰³) και πατώντας το Add (από το μέσον του παραθύρου) δημιουργείται ένα Cable Bundle (με αρχική ονομασία B) το οποίο έχει σαν διατομή αυτή του καλωδίου που επιλέξαμε.

²⁰³ Να σημειώσουμε ότι πάντοτε πλέον, για όλα τα Super-Projects που θα δημιουργήσουμε (για τις διάφορες μορφές) του καλωδίου, θα επιλέγουμε να φορτώνουμε την διατομή εκείνη που λέγεται Simulation_RC διότι αυτή είναι που δημιουργήσαμε κατ' εξοχήν για τις προσομοιώσεις μας, όπως εξηγήσαμε στο σχετικό σχόλιο της υποενότητας 2.8.5. Φυσικά κάποιος ενδιαφερόμενος μπορεί να δοκιμάσει να φορτώσει και το Presentation_RC, ώστε να δοκιμάσει να συγκρίνει τον χρόνο ολοκλήρωσης της προσομοιώσεως, όταν η διατομή γίνεται τόσο σύνθετη. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με διαγραφή του δημιουργηθέντος Cable Bundle και δημιουργία καινούργιου με φόρτωση όμως της άλλης διατομής, Presentation_RC. Αυτό όμως θα πρέπει να διασωθεί σε νέο αρχείο ώστε να μην αλλοιωθεί το υπάρχον. Και αντίστοιχα όλα τα επόμενα που θα περιγραφούν, σύνδεση αγωγών, τερματισμός θωρακίσεων κτλ., να επαναληφθούν στο νέο αυτό αρχείο.

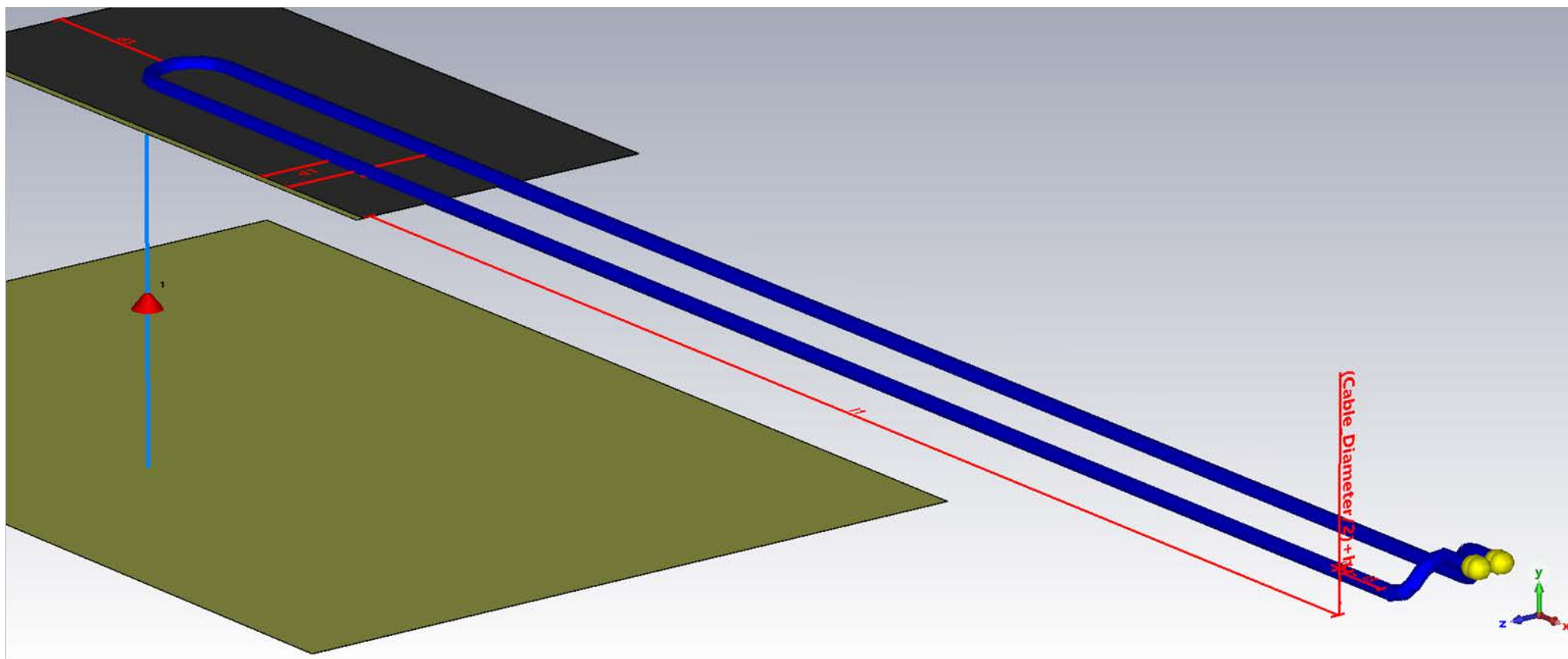


Εικόνα 5.14: Η ανάθεση της διατομής του *Simulation_RC* στο νεοδημιουργηθέν καλώδιο επί της καμπύλης οδεύσεως [56].

Πατώντας Apply και Ok, πάνω στην καμπύλη που έχουμε ορίσει «φορτώνεται» πλέον ένα καλώδιο με διατομή αυτή του SpW, που έχουμε επιλέξει. Εποπτικά το αποτέλεσμα φαίνεται ως ακολούθως (στην Εικόνα 5.15 για καλώδιο 3 m και στην Εικόνα 5.16 για καλώδιο 10 m):

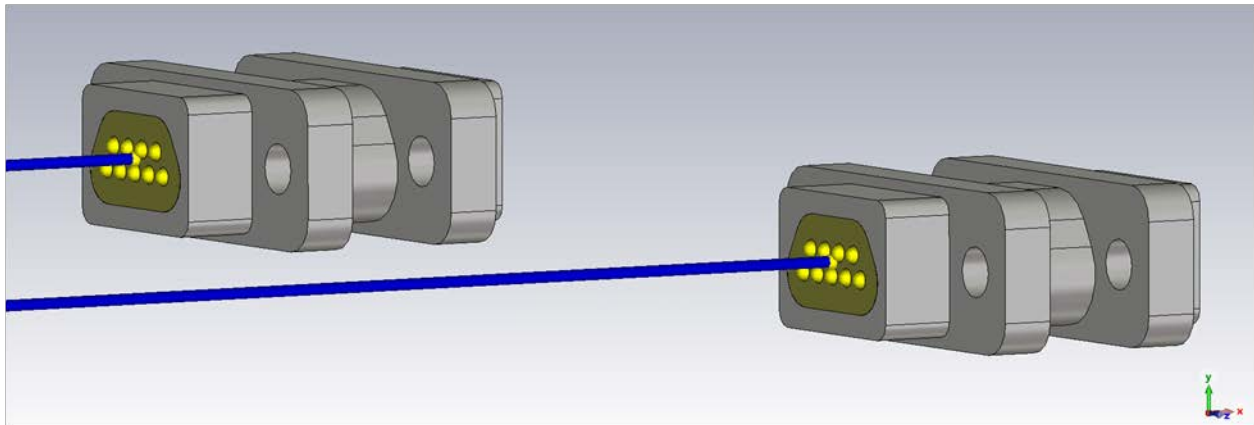


Εικόνα 5.15: Το Καλώδιο SpW των 3 m, «φορτωμένο» επί της καμπύλης οδεύσεως επάνω στο τραπέζι της ESD Δοκιμής [56].



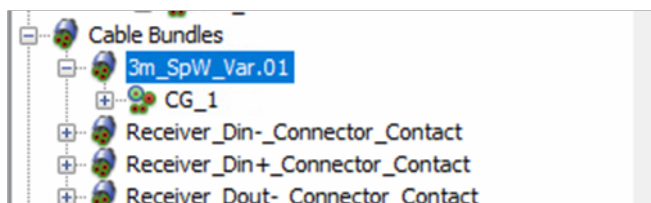
Εικόνα 5.16: Το Καλώδιο SpW των 10 m, «φορτωμένο» επί της καμπύλης οδεύσεως επάνω στο τραπέζι της ESD Δοκιμής [56].

Αν στις παραπάνω εικόνες εστιάσουμε στην περιοχή των βυσμάτων, θα δούμε κάτι σαν την εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 5.17: Μεγέθυνση της Εικόνας 5.15 στην περιοχή των συνδέσεων [56].

Στο Cable Navigation Tree βλέπουμε το νέο Cable Bundle, που δημιουργήσαμε. Εδώ μπορούμε αν θέλουμε να το μετονομάσουμε, διότι το προεπιλεγμένο όνομα που του δίνει το CST είναι B (όπως βλέπουμε στην Εικόνα 5.14). Επιλέξαμε λοιπόν να δώσουμε ένα πιο επεξηγηματικό, συνάμα όμως και συνοπτικό όνομα, το 3m_SpW_Var.01.



Εικόνα 5.18: Το Cable Bundle του SpW, όπως εντοπίζεται από το Cable Navigation Tree [56].

Προφανώς το όνομα αυτό θα αλλάξει στις άλλες περιπτώσεις των καλωδίων που εξετάζουμε. Δηλ., συγκεντρωτικά, τα ονόματα για όλες τις μορφές καλωδίου που θα εξετάσουμε θα είναι:

- 3m_SpW_Var.01,
- 3m_SpW_Var.02,
- 10m_SpW_Var.01 και
- 10m_SpW_Var.02.

Ακόμη από το Cable Navigation Tree, διαπιστώνουμε ότι η δημιουργία ενός Cable Bundle επί μιας καμπύλης, αυτομάτως οδηγεί στην δημιουργία και δύο τερματικών κόμβων στα άκρα της καμπύλης αυτής. Οι κόμβοι αυτοί ονομάζονται αυτομάτως N1 και N2 (βλ. την Εικόνα 5.19).



Εικόνα 5.19: Οι τερματικοί κόμβοι που δημιουργούνται από προεπιλογή στα άκρα του νέου Cable Bundle [56].

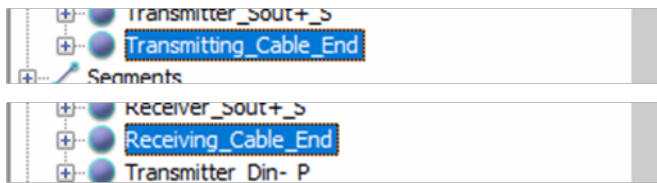
Τους δύο αυτούς τερματικούς κόμβους μπορούμε να τους διακρίνουμε και στον 3D χώρο, ευκολότερα όμως αν μεγεθύνουμε στην περιοχή των συνδέσεων (βλ. την Εικόνα 5.17).

Περί της διακρίσεως των δύο τερματικών κόμβων, είναι προφανές ότι τα προεπιλεγμένα

ονοματά τους δεν μας εξυπηρετούν, γι' αυτό και τους μετονομάσαμε με βάση το συσσωμάτωμα στο οποίο αντιστοιχούν. Και επειδή τα συσσωμάτωμα έχουν συμβατικά ονομαστεί Transmitter και Receiver, με αυτό το σκεπτικό μετονομάστηκαν και οι κόμβοι σε:

- Transmitting_Cable_End και
- Receiving_Cable_End.

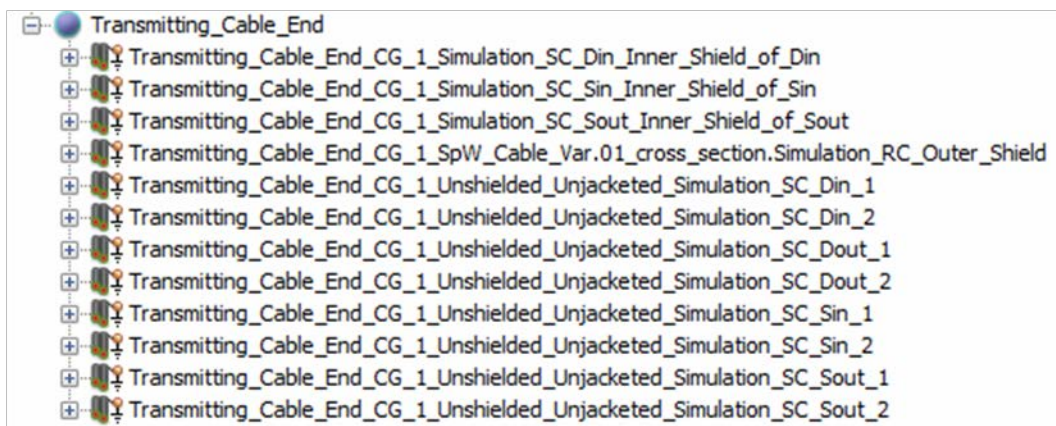
Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται και από το Cable Navigation Tree («κόψαμε» μόνο το μέρος εκείνο της λίστας του Cable Navigation Tree, που έχει τα ονόματα των κόμβων, για οικονομία χώρου).



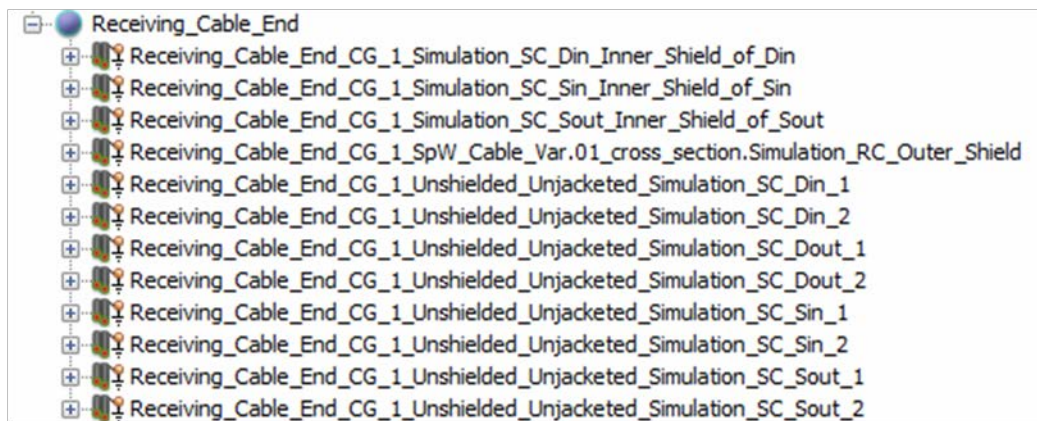
Εικόνα 5.20: Οι τερματικοί κόμβοι του καλωδίου SpW, μετά την μετονομασία τους [56].

Όταν δημιουργούμε ένα Cable Bundle από ένα σύνθετο καλώδιο (και όχι από έναν απλό μονωμένο αγωγό, όπως στην περίπτωση των επαφών των βυσμάτων), διαπιστώνουμε ότι οι τερματικοί του κόμβοι είναι κάτι σαν «υπερκόμβοι», οι οποίοι έχουν τόσους «υποκόμβους» όσα τα αγωγή μέρη του καλωδίου, που είναι φορτωμένο στην καμπύλη. Αυτό φαίνεται αν αναπτύξουμε τα περιεχόμενα των δύο

κόμβων αυτών από το Cable Navigation Tree (βλ. τις Εικόνες 5.21 και 5.22).



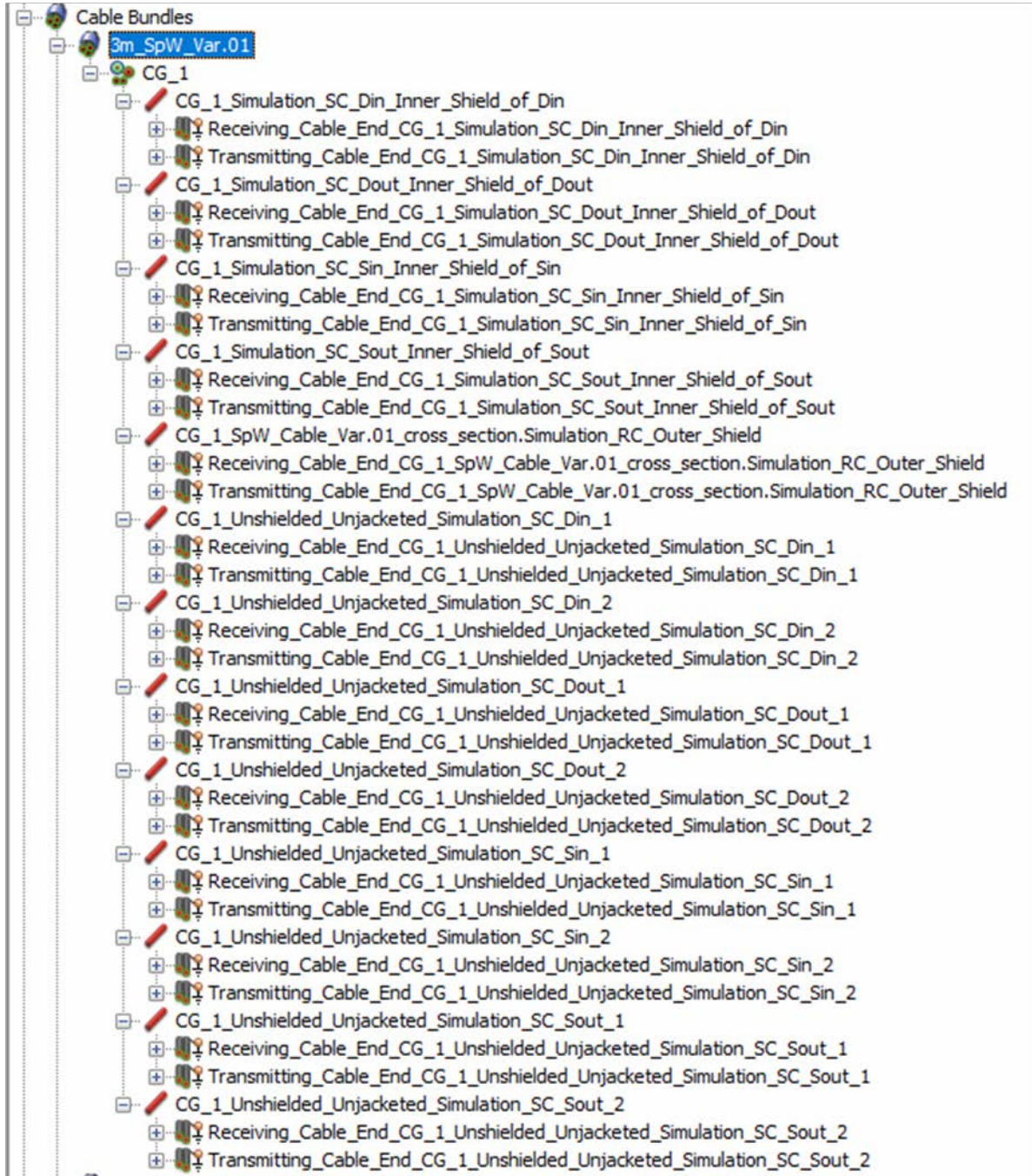
Εικόνα 5.21: Ο «υπερκόμβος» του Transmitting Cable End με τα τερματικά σημεία που περιέχει [56].



Εικόνα 5.22: Ο «υπερκόμβος» του Receiving Cable End με τα τερματικά σημεία που περιέχει [56].

Δηλ. για κάθε αγωγή σύρμα μέσα στο Cable Bundle που δημιουργήσαμε (είτε αυτό είναι ενεργός αγωγός είτε θωράκιση), δημιουργούνται 2 τερματικοί ακροδέκτες (terminals), ένας από την μία μεριά του καλωδίου (αντιστοιχών προς τον ένα τερματικό υπερκόμβο) και ένας από την άλλη μεριά του καλωδίου (αντιστοιχών προς τον άλλον τερματικό υπερκόμβο), οι οποίοι είναι διαθέσιμοι για σύνδεση οπουδήποτε και με οτιδήποτε. Οι ακροδέκτες αυτοί ονοματίζονται αυτόματα από το CST, με πρόθεμα που δηλώνει τον υπερκόμβο στον οποίο ανήκουν (το Transmitting_Cable_End ή το Receiving_Cable_End) και υπόλοιπο όνομα δηλωτικό του αγωγίμου σύρματος, του οποίου είναι άκρα

[και θα πρόκειται για κάποιο από τα αγωγή τμήματα ή αλλιώς σήματα (signals) του καλωδίου]. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε, πάλι από το Cable Navigation Tree, ένα ανάπτυγμα των περιεχομένων του Cable Bundle που δημιουργήσαμε. Με κόκκινο κυλινδράκι επισημαίνεται κάθε σήμα (signal) εντός του καλωδίου, δηλ. κάθε αγωγή τμήμα (ενεργός αγωγός ή θωράκιση) και από κάτω του φαίνονται οι δύο τερματικοί του ακροδέκτες (terminals):



Εικόνα 5.23: Τα αγωγή περιεχόμενα – σήματα του Καλωδίου SpW, με ανάπτυγμα όλων των τερματικών τους [56].

Όλα αυτά τα τερματικά, όπως και τα αντίστοιχα που δημιουργούνται από τις επαφές των συνδέσμων, εμφανίζονται στο περιβάλλον του Schematic σαν ελεύθερες εισοδοι, όπου δυνητικά μπορεί να συνδεθεί το οτιδήποτε (το Schematic είναι ένας «χώρος εργασίας» του CST, στο οποίο θα αναφερθούμε αργότερα, στην 6.3.1.4).

Τοιουτοτρόπως ολοκληρώθηκε και εξηγήθηκε πλήρως η διαδικασία φόρτωσης της διατομής του SpW στην καμπύλη οδεύσεως που σχεδιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι αντίστοιχες ενέργειες (δηλ. τα τρία αυτά βήματα, με τις υποενέργειές τους) έγιναν και στο αρχείο της καμπύλης του καλωδίου 3 m που αντιστοιχεί στην Var. 02 αλλά και στα αρχεία που αφορούσαν την καμπύλη του καλωδίου των 10 m (και για τις δύο παραλλαγές). Τα αρχεία που προέκυψαν από την διαδικασία αυτή μας ενδιαφέρει να σωθούν στην μορφή που είναι, δηλ. με τους αγωγούς του καλωδίου και τις επαφές ασύνδετες, διότι έτσι θα μπορούμε εμείς στην συνέχεια να υλοποιήσουμε όποιο είδος σύνδεσης επιθυμούμε. Οπότε, όταν τα αρχεία

Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst,

Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst,

Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_and_SpW_Connectors.cst,

Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_and_SpW_Connectors.cst,

φτάσουν σε αυτό το σημείο, τα αποθηκεύσαμε και για τα επόμενα βήματα δημιουργήσαμε νέα αντίγραφα τους, με κατάλληλες ονομασίες, όπως θα αναπτύξουμε αμέσως στην συνέχεια.

5.6 Τερματισμός των Αγωγίμων Απολήξεων του Καλωδίου στους Συνδέσμους

Έχοντας διεκπεραιώσει επιτυχώς τα βήματα που περιεγράφησαν παραπάνω, είμαστε πλέον έτοιμοι να προχωρήσουμε στην σύνδεση των αγωγίμων μερών του καλωδίου μας με τις επαφές των βυσμάτων. Στο Κεφάλαιο 3 είχαμε αναφερθεί εν τάχει στην «ταυτοποίηση των επαφών (contact identification)» δηλ. στο ποιο σήμα εκχωρείται στην κάθε επαφή του βύσματος. Και για μεν τα ενεργά σήματα του καλωδίου (δηλ. τα σήματα των τεσσάρων διαφορικών ζευγών) η αντιστοίχιση στις επαφές είναι μονοσήμαντη. Όμως για τους αγωγούς των θωρακίσεων (εσωτερικών και εξωτερικής) υπάρχουν, όπως αναφέραμε, 2 βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να τερματιστούν πάνω στο βύσμα, τρόποι οι οποίοι διαφοροποιούν και το τελικό συναρμολόγημα του καλωδίου σε Type AL ή Type A. Συνεπώς είναι περισσότερες από μία οι διαφορετικές μορφές του συναρμολογήματος που θέλουμε να υλοποιήσουμε. Οπότε, πριν προχωρήσουμε στην σύνδεση των αγωγίμων μερών, θα δημιουργήσουμε τα κατάλληλα αρχεία. Συγκεκριμένα, από κάθε ένα από τα 4 αρχεία στα οποία καταλήξαμε μόλις πριν (στο τέλος της ενότητας 5.5.3), θα δημιουργήσουμε 2 αντίγραφα, ένα για κάθε τύπο συναρμολογήματος. Τα αντίγραφα τα δημιουργούμε αποθηκεύοντας 2 φορές και με νέο όνομα κάθε ένα από τα 4 αυτά Super-Projects. Δηλ. καταλήγουμε να έχουμε τα εξής 8 αρχεία:

- Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst
- Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst
- Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst
- Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst
- Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst
- Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_A.cst
- Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_AL.cst
- Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.02_Type_A.cst

Για κάθε τέτοιο αρχείο αποθηκεύουμε και το Parameter List (με τον γνωστό τρόπο). Πλέον κάθε τέτοιο αρχείο θα τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να υλοποιεί το αντίστοιχο συναρμολόγημα της αντιστοίχου μορφής καλωδίου SpW, που περιγράφεται στον τίτλο του.

5.6.1 Παραμετροποίηση του Τερματισμού του Καλωδίου

Όπως κάναμε σε κάθε σημείο της εργασίας, έτσι και στο τελευταίο στάδιο του τερματισμού του καλωδίου επάνω στα βύσματα, προχωρήσαμε στον ορισμό καταλλήλων παραμέτρων για να περιγράψουν απαραίτητα μεγέθη που σχετίζονται με τον τερματισμό αυτόν.

5.6.1.1 Χρησιμότητα της Παραμετροποίησης

Η παραμετροποίηση του τερματισμού του καλωδίου επάνω στους αρσενικούς συνδέσμους είναι κάτι το πολύ απλό. Και είναι απλό, διότι δεν υπάρχουν πολλές μεταβλητές, που να σχετίζονται με τον τερματισμό και να μπορούν ή να αξίζει να δοθούν παραμετρικά. Ήδη από πλευράς χωροταξίας δεν χρειάζεται κάτι περισσότερο, αφού ήδη η παραμετροποίηση εξασφαλίζεται από την μέχρι τώρα εργασία μας πάνω σε αυτό. Δηλ., αφού η θέση του τερματικού κόμβου του καλωδίου (το αντίστοιχο σημείο της καμπύλης οδεύσεώς του) είναι ορισμένη παραμετρικά και η θέση των βυσμάτων είναι επίσης ορισμένη παραμετρικά, μετά και την αγωγή σύνδεση (αγωγίμων απολήξεων του καλωδίου με σημεία του βύσματος) και πάλι όλο το σύστημα θα μπορεί να μετακινείται παραμετρικά, ακόμα σε κατάσταση αγωγίμης σύνδεσης.

Το νέο στοιχείο, που ουσιαστικά αξίζει να παραμετροποιήσουμε, είναι η αντίσταση της αγωγίμου αυτής συνδέσεως. Κάτι τέτοιο θα μας δίνει την δυνατότητα να πειραματιζόμαστε γύρω από το πώς επηρεάζει την ζεύξη και τα ηλεκτρομαγνητικά της χαρακτηριστικά αυτή η αντίσταση της συγκολλήσεως των αγωγών του καλωδίου στις επαφές.

Ένα δεύτερο στοιχείο, λιγότερο σημαντικό, που επιλέξαμε να δώσουμε παραμετρικά (και περισσότερο για λόγους πληρότητας, αφού είναι πάγια τακτική μας να παραμετροποιήσουμε όο το δυνατόν περισσότερα μεγέθη) είναι ο ορισμός της διατομής του αγωγίμου σύρματος, το οποίο θα χρησιμεύσει για τον τερματισμό των θωρακίσεων επάνω στο σώμα του κονέκτορα.

5.6.1.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας των Παραμέτρων

Οι λιγιστές παράμετροι, που περιγράφουν τον τερματισμό του καλωδίου και χρειάστηκαν στα 8 Super-Projects της 25^{ης} Ενεργείας της παραγράφου 5.3.2.2 (επιπλέον αυτών που είχαν ήδη και ανεφέρθησαν στην 25^{ης} Ενεργείας), είναι οι ακόλουθες.

Πίνακας 5.2: Λίστα επιπροσθέτων Παραμέτρων σχετικών με τον Τερματισμό του Καλωδίου (απο το *Project Table for ESD Test with 3m SpW Cable Var.01 Type AL.cst*²⁰⁴).

A/A	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου ²⁰⁵	
Πειραματική Διάταξη Δοκιμής ESD			
1	<i>Contact_Soldering_Resistance</i>	0.004 Ω	
	Η αντίσταση (σε Ω) της συνδέσεως των αγωγών του καλωδίου με τις επαφές των συνδέσμων.		
2	<i>Number_of_Strands_of_Inner_Shield_Carrier</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
	Το πλήθος των συρματιδίων σε κάθε ταινία της εσωτερικής θωρακίσεως.	5	5

²⁰⁴ Φυσικά είναι και άλλα τα Projects που χρησιμοποιούν αυτές τις παραμέτρους, και συγκεκριμένα και τα 7 υπόλοιπα Projects που αναφέραμε στην 25^η Ενέργεια της παραγράφου 5.3.2.2. Απλώς εδώ στον τίτλο του Πίνακα των παραμέτρων, επιλέγουμε να βάλλουμε το πρώτο αρχείο στο οποίο ορίστηκαν οι παράμετροι αυτές. Το ποιά άλλα αρχεία τις χρησιμοποιούν έχει φανεί και από τον Πίνακα 5.1.

²⁰⁵ Αυτή είναι η τελική τιμή της κάθε παραμέτρου, μετά και την οποιαδήποτε πράξη, αν υπάρχει.

	<i>Number_of_Strands_of_Outer_Shield_Carrier</i>	Για Var. 01:	Για Var. 02:
3	Το πλήθος των συρματιδίων σε κάθε ταινία της εξωτερικής θωρακίσεως.	5	5

5.6.1.3 Επεξήγηση των Παραμέτρων

Σε αυτή την παράγραφο θα δώσουμε μια σύντομη εξήγηση του τί αντικατοπτρίζει η κάθε παράμετρος και του πώς έλαβε την αντίστοιχη τιμή.

1) *Contact_Soldering_Resistance*:

Η παράμετρος αυτή ορίστηκε για να μοντελοποιήσει την αντίσταση που δημιουργείται από την συγκόλληση των αγωγών του καλωδίου στις αντίστοιχες επαφές των συνδέσμων. Επιλέξαμε να δώσουμε την ακόλουθη τιμή:

$$\text{Contact_Soldering_Resistance} = 0.004 \Omega = 4 \text{ m}\Omega \quad (5.4)$$

Η επιλογή αυτής της τιμής δεν είναι τυχαία, αλλά στηρίζεται στο γεγονός ότι το ESCC 3401/029 [6] ορίζει ως ανώτατη τιμή της αντίστασης της επαφής τα 5 mΩ. Οπότε για να υπάρχει και ένα μικρό περιθώριο για την τιμή της αντιστάσεως που έχει αυτό καθαυτό το αγωγίμο σύρμα της επαφής, θέσαμε την αντίσταση συγκολλήσεως σε αυτή την τιμή.

2) *Number_of_Strands_of_Inner_Shield_Carrier*:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει το πλήθος των συρματιδίων που έχει η κάθε ταινία (ή φέρουσα) της εσωτερικής πλεκτής θωρακίσεως. από τα Project των διατομών και συγκεκριμένα από τα χαρακτηριστικά της θωράκισης του SC, λαμβάνουμε την τιμή αυτής της παραμέτρου, που είναι:

$$\text{Number_of_Strands_of_Inner_Shield_Carrier} = 5 \quad (5.5)$$

Η τιμή αυτή (που τυγχάνει ίδια και για Var. 01 και για Var 02) εντοπίζεται από τις Εικόνες 2.42 και 2.43. Ο λόγος που χρειαζόμαστε αυτή την παράμετρο είναι για να ορίσουμε (σύμφωνα με σκεπτικό και τρόπο που θα εξηγηθεί στην υποπαράγραφο 5.6.3.2.1) την διάμετρο ενός αγωγού, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό των εσωτερικών θωρακίσεων επάνω στο σώμα του κονέκτορα (για τα καλώδια Type A).

3) *Number_of_Strands_of_Outer_Shield_Carrier*:

Η παράμετρος αυτή μας δίνει το πλήθος των συρματιδίων που έχει η κάθε ταινία (ή φέρουσα) της εξωτερικής πλεκτής θωρακίσεως. Όπως και πριν, λαμβάνουμε την τιμή αυτής της παραμέτρου από τα Project των διατομών και συγκεκριμένα από τα χαρακτηριστικά της θωράκισης του RC. Έχουμε ότι:

$$\text{Number_of_Strands_of_Outer_Shield_Carrier} = 5 \quad (5.6)$$

Η τιμή αυτή (που τυγχάνει ίδια και για Var. 01 και για Var 02) εντοπίζεται από τις Εικόνες 2.65 και 2.66. Ο λόγος που χρειαζόμαστε αυτή την παράμετρο είναι για να ορίσουμε την διάμετρο του αγωγού, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό της εξωτερικής θωρακίσεως επάνω στο σώμα του κονέκτορα (με όμοιο τρόπο με πριν, όπως θα εξηγηθεί στην υποπαράγραφο 5.6.3.2.2).

Σχόλιο σχετικά με την ταύτιση του πλήθους των συρματιδίων ανά ταινία θωρακίσεως και μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θωρακίσεως και μεταξύ Var. 01 και Var. 02:

Εν προκειμένω προέκυψε και για την εσωτερική και για την εξωτερική θωράκισης αλλά και για την Var. 01 και την Var. 02 η τιμή αυτή να είναι 5. Πρέπει να σημειώσουμε όμως, ότι η τιμή αυτής της παραμέτρου λαμβάνεται απ' ευθείας από το πρόγραμμα και εξαρτάται από τον τρόπο που αυτό δομεί την πλεκτή θωράκιση. Αναλόγως λοιπόν την διάμετρο των συρματιδίων και τον παράγοντα κάλυψης που θα επιλεγούν από εμάς, προκύπτει και η τιμή για το πλήθος συρματιδίων ανά φέρουσα (όπως και για το πλήθος των φερουσών, κάτι που όμως δεν μας αφορά άμεσα). Επίσης προφανώς παίζει ρόλο και το πόσο παχύ είναι το εσωτερικό που καλείται να σκεπάσει η θωράκιση, άρα εκεί υπάρχει επηρεασμός από χαρακτηριστικά των διατομών σε Var. 01 και Var. 02. Επομένως αν

γίνονται από τον εκάστοτε χρήστη αλλαγές στα χαρακτηριστικά της θωράκισης (εσωτερικής ή/και εξωτερικής) ή της διατομής του SpW, θα πρέπει να γίνεται πάντοτε έλεγχος αν άλλαξε αυτό το πλήθος των συρματιδίων της θωράκισης και να ενημερώνεται η κατάλληλη παράμετρος (για εσωτερική ή εξωτερική θωράκιση) και στα κατάλληλα αρχεία (για Var. 01 ή Var. 02), αναλόγως που έγινε η αλλαγή.

5.6.2 Ονοματοδοσία Σημάτων και Ακροδεκτών του Καλωδίου

Κάτι πολύ σημαντικό, για να μπορέσουμε να ολοκληρώσουμε σωστά την σύνδεση του καλωδίου με τα βύσματα, είναι η κατανόηση του τρόπου ονοματοδοσίας των αγωγίμων μερών ή σημάτων του και του πώς αυτές θα ταιριάζουν με τις σωστές επαφές των συνδέσμων. Στην υλοποίησή μας, συμβατικά ονομάσαμε τον ένα κονέκτορα Transmitter και τον άλλον Receiver (και λέμε συμβατικά διότι και οι δύο κονέκτορες παίζουν και τους δύο ρόλους, μιας και η ζεύξη SpW είναι πλήρως αμφίδρομη). Με αυτά τα προθέματα λοιπόν ονομάστηκαν οι επαφές των συνδέσμων, αρσενικών και θηλυκών (βλ. την Εικόνα 3.77, όπου έχουμε τις ονομασίες των επαφών των συνδέσμων και την Εικόνα 3.79, όπου έχουμε τις ονομασίες των καλωδίων των επαφών). Επίσης τα αγωγή μέρη του καλωδίου (αγωγοί σημάτων και θωρακίσεις) ονομάστηκαν κατάλληλα, όπως φαίνεται εικόνες όπως π.χ. η Εικόνα 2.63. Τέλος, όπως είδαμε μόλις πιο πριν (στην υποενότητα 5.5.3), με την δημιουργία του Cable Bundle προέκυψαν και τα ονόματα των τερματικών του καλωδίου προς σύνδεση με τις επαφές των βυσμάτων.

Το ζήτημα όμως που παρατηρείται με τις ονομασίες των επαφών, οι οποίες συνδέονται από την μία και την άλλη μεριά των αγωγίμων μερών του καλωδίου, είναι το εξής. Προφανώς κάθε αγωγός εντός του καλωδίου είναι αδιάκοπος, από το ένα άκρο του ως το άλλο και συνεπώς έχει μία και μοναδική ονομασία [δηλ. δεν μπορώ να έχω άλλο όνομα στο ένα του άκρο και άλλο στο άλλο, διότι και τα ονόματα των τερματικών σημείων σύνδεσης (terminals) στα άκρα του καθορίζονται από την ονομασία του ενιαίου αγωγού]. Χρειάζεται λοιπόν προσοχή στο ποιούς ακροδέκτες ποιών βυσμάτων θα συνδέσω στα άκρα του κάθε αγωγού, διότι παρ' ότι αυτός έχει ενιαίο όνομα, από την μία μεριά θα εισάγονται σε αυτόν δεδομένα και από την άλλη θα εξάγονται. Έτσι, αν π.χ. αυτός έχει κατάληξη ονόματος ...Din_1, τότε από την μια μεριά θα συνδεθεί μια επαφή με κατάληξη ονόματος ...Din+_P και από την άλλη μια επαφή με κατάληξη ...Dout+_P. Αυθαίρετα επιλέξαμε να έχουμε συμφωνία στην κατάληξη των ονομασιών των αγωγών του καλωδίου με τις επαφές του συσσωματώματος βυσμάτων που συμβατικά ονομάσαμε Transmitter. Άρα από την μεριά του Transmitter θα υπάρξει συμφωνία στις καταλήξεις των ονομάτων των τερματικών του καλωδίου και των επαφών του αρσενικού βύσματος (in με in, out με out), ενώ από την μεριά του Receiver οι καταλήξεις αυτές θα είναι αντίθετες (in με out, out με in). Φυσικά όμως τα πρόσημα δεν αλλάζουν, δηλ. πάντα η επαφή με το + ενώνεται με έναν αγωγό διαφορικού ζεύγους με κατάληξη ..._1 και καταλήγει σε επαφή πάλι με κατάληξη +, και η επαφή με το - ενώνεται με έναν αγωγό διαφορικού ζεύγους με κατάληξη ..._2 και καταλήγει σε επαφή πάλι με κατάληξη -. Επίσης προσοχή στο ζήτημα αυτό των ονομάτων χρειάζεται στην περίπτωση του τερματισμού των θωρακίσεων στο συναρμολόγημα Type AL. Θα φανεί ο σωστός τρόπος αμέσως στην συνέχεια.

Οι συνδέσεις, που θα πραγματοποιηθούν, παρατίθενται συνοπτικά και συγκεντρωτικά στους δύο παρακάτω πίνακες. Για λόγους οικονομίας χώρου δεν παραθέτουμε την πλήρη ονομασία των επαφών, των αγωγίμων τμημάτων (segments) και των τερματικών τους (terminals). Με αποσιωπητικά θα παραλείπεται το τμήμα του ονόματος που δεν είναι αναγκαίο για την κατανόηση. Τα πλήρη ονόματα μπορεί να τα δει όποιος χειριστεί τα σχετικά αρχεία στο CST, στο παράθυρο του Cable Navigation Tree²⁰⁶.

²⁰⁶ Τα ονόματα των αγωγίμων τμημάτων και των τερματικών είναι τόσο μεγάλα, διότι προκύπτουν με βάση το σχετικό συναρμολόγημα καλωδίου με τυποποιημένο τρόπο από το CST και δεν μπορούν να αλλάξουν.

5.6.2.1 Για το Συναρμολόγημα Type A

Πίνακας 5.3: Οι συνδέσεις και ο τερματισμός των αγωγίμων μερών του SpW Cable Assembly Type A στους συνδέσμους (με βάση τις ονομασίες στο [56]).

Σημείο σύνδεσης στον Αρσενικό (P) Σύνδεσμο του Transmitter ²⁰⁷	Ακροδέκτης αγωγίμου τμήματος του καλωδίου από την μεριά του Transmitter (πρόθεμα όλων των συγκεκριμένων terminals είναι το Transmitting_Cable_End)	Αγωγίμο τμήμα του Καλωδίου SpW ²⁰⁸	Ακροδέκτης αγωγίμου τμήματος του καλωδίου από την μεριά του Receiver (πρόθεμα όλων των συγκεκριμένων terminals είναι το Receiving_Cable_End)	Σημείο σύνδεσης στον Αρσενικό (P) Σύνδεσμο του Receiver ²⁰⁹
..._Din+_P	..._SC_Din_1	..._SC_Din_1	..._SC_Din_1	..._Dout+_P
..._Din-_P	..._SC_Din_2	..._SC_Din_2	..._SC_Din_2	..._Dout-_P
..._Sin+_P	..._SC_Sin_1	..._SC_Sin_1	..._SC_Sin_1	..._Sout+_P
..._Sin-_P	..._SC_Sin_2	..._SC_Sin_2	..._SC_Sin_2	..._Sout-_P
Connector Shell	..._RC_Outer_Shield	..._RC_Outer_Shield	..._RC_Outer_Shield	Connector Shell
Connector Shell	..._Inner_Shield_of_Din	..._Inner_Shield_of_Din	..._Inner_Shield_of_Din	Connector Shell
	..._Inner_Shield_of_Sin	..._Inner_Shield_of_Sin	..._Inner_Shield_of_Sin	
	..._Inner_Shield_of_Sout	..._Inner_Shield_of_Sout	..._Inner_Shield_of_Sout	
	..._Inner_Shield_of_Dout	..._Inner_Shield_of_Dout	..._Inner_Shield_of_Dout	
..._Sout+_P	..._SC_Sout_1	..._SC_Sout_1	..._SC_Sout_1	..._Sin+_P
..._Sout-_P	..._SC_Sout_2	..._SC_Sout_2	..._SC_Sout_2	..._Sin-_P
..._Dout+_P	..._SC_Dout_1	..._SC_Dout_1	..._SC_Dout_1	..._Din+_P
..._Dout-_P	..._SC_Dout_2	..._SC_Dout_2	..._SC_Dout_2	..._Din-_P

²⁰⁷ Θα είναι, είτε μια επαφή (pin) που θα δηλωθεί με την κατάληξη του ονόματός της, είτε το κέλυφος του κονέκτορα (connector shell).

²⁰⁸ Οι καταλήξεις των ονομάτων για την μεσαία στήλη συμπίπτουν με αυτές των δύο στηλών εκατέρωθεν αυτής. Άλλωστε μιλάμε για το ίδιο αγωγίμο τμήμα καλωδίου. Απλώς τα δύο τερματικά σημεία σύνδεσης στα άκρα του έχουν λάβει ένα διαφορετικό πρόθεμα, με βάση την ονομασία του κάθε κόμβου.

²⁰⁹ Βλ. ανωτ. υποσ. 207.

5.6.2.2 Για το Συναρμολόγημα Type AL

Όπως έχουμε αναφέρει ξανά, ως προς τον τερματισμό των αγωγών των διαφορικών σημάτων και της εξωτερικής θωρακίσεως δεν υπάρχει καμία διαφοροποίηση ανάμεσα στα δύο συναρμολογήματα. Μόνο στον τερματισμό των εσωτερικών θωρακίσεων υπάρχει η διαφορά (που έχουμε αναπτύξει στην παράγραφο 5.1.1.2). Βάσει λοιπόν αυτών που επισημαίνει το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], οι εσωτερικές θωρακίσεις των διαφορικών ζευγών, που από την μεριά του Transmitter έχουν ονομασία Sout και Dout (δηλ. οι Transmitting..._Inner_Shield_of_Sout και Transmitting..._Inner_Shield_of_Dout), θα συνδεθούν μεταξύ τους και με το pin 3 του αρσενικού συνδέσμου του Transmitter (Transmitter_Not_Connected_Pin_P). Αντίστοιχα οι εσωτερικές θωρακίσεις των διαφορικών ζευγών, που από την μεριά του Receiver αντιστοιχούν στα Dout και Sout (δηλ. αυτές, που από την μεριά του Transmitter ήταν Din και Sin, άρα οι Receiver..._Inner_Shield_of_Din και Receiver..._Inner_Shield_of_Sin), θα συνδεθούν μεταξύ τους και με το pin 3 του αρσενικού συνδέσμου του Receiver (Receiver_Not_Connected_Pin_P). Συνεπώς έχουμε τις συνδέσεις που περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.4: Οι συνδέσεις και ο τερματισμός των αγωγίμων μερών του SpW Cable Assembly Type AL στους συνδέσμους (με βάση τις ονομασίες στο [56]).

Σημείο σύνδεσης στον Αρσενικό (P) Σύνδεσμο του Transmitter ²¹⁰	Ακροδέκτης αγωγίμου τμήματος του καλωδίου από την μεριά του Transmitter (πρόθεμα όλων των συγκεκριμένων terminals είναι το Transmitting_Cable_End)	Αγωγίμο τμήμα του Καλωδίου SpW ²¹¹	Ακροδέκτης αγωγίμου τμήματος του καλωδίου από την μεριά του Receiver (πρόθεμα όλων των συγκεκριμένων terminals είναι το Receiving_Cable_End)	Σημείο σύνδεσης στον Αρσενικό (P) Σύνδεσμο του Receiver ²¹²
..._Din+_P	..._SC_Din_1	..._SC_Din_1	..._SC_Din_1	..._Dout+_P
..._Din-_P	..._SC_Din_2	..._SC_Din_2	..._SC_Din_2	..._Dout-_P
..._Sin+_P	..._SC_Sin_1	..._SC_Sin_1	..._SC_Sin_1	..._Sout+_P
..._Sin-_P	..._SC_Sin_2	..._SC_Sin_2	..._SC_Sin_2	..._Sout-_P
Connector Shell	..._RC_Outer_Shield	..._RC_Outer_Shield	..._RC_Outer_Shield	Connector Shell
-	..._Inner_Shield_of_Din	..._Inner_Shield_of_Din	..._Inner_Shield_of_Din	..._Not_Connected_Pin_P
-	..._Inner_Shield_of_Sin	..._Inner_Shield_of_Sin	..._Inner_Shield_of_Sin	..._Not_Connected_Pin_P
..._Not_Connected_Pin_P	..._Inner_Shield_of_Sout	..._Inner_Shield_of_Sout	..._Inner_Shield_of_Sout	-
..._Not_Connected_Pin_P	..._Inner_Shield_of_Dout	..._Inner_Shield_of_Dout	..._Inner_Shield_of_Dout	-
..._Sout+_P	..._SC_Sout_1	..._SC_Sout_1	..._SC_Sout_1	..._Sin+_P
..._Sout-_P	..._SC_Sout_2	..._SC_Sout_2	..._SC_Sout_2	..._Sin-_P
..._Dout+_P	..._SC_Dout_1	..._SC_Dout_1	..._SC_Dout_1	..._Din+_P
..._Dout-_P	..._SC_Dout_2	..._SC_Dout_2	..._SC_Dout_2	..._Din-_P

²¹⁰ Βλ. ανωτ. υποσ. 207.

²¹¹ Βλ. ανωτ. υποσ. 208.

²¹² Βλ. ανωτ. υποσ. 207.

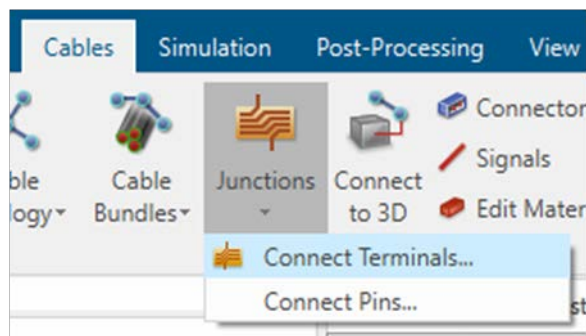
5.6.3 Υλοποίηση του Τερματισμού του Καλωδίου στο CST

Στην υποενότητα αυτή θα περιγράψουμε τις ενέργειες, που έγιναν στο CST, για να υλοποιηθούν οι συνδέσεις, οι οποίες επεξηγήθηκαν στην υποενότητα 5.1.1 και συνοπτικά στους Πίνακες 5.3 και 5.4, που προηγήθηκαν.

Στο CST τα τερματικά αγωγίμων τμημάτων καλωδίων έχουν κατά βάσιν δύο δυνατότητες περαιτέρω σύνδεσης: σύνδεση με άλλα τερματικά και σύνδεση με σημεία του 3D χώρου. Εμείς θα αξιοποιήσουμε κατά περίπτωση και τους δύο αυτούς τρόπους σύνδεσης, έκαστον όπου χρειάζεται.

5.6.3.1 Σύνδεση των Αγωγών του Διαφορικού Σήματος με τις αντίστοιχες Επαφές

Η σύνδεση των τερματικών του καλωδίου, που αντιστοιχούν στα διαφορικά ζεύγη, με τις αντίστοιχες επαφές των αρσενικών συνδέσμων είναι ουσιαστικά σύνδεση μεταξύ κόμβων καλωδίων (nodes) διότι και οι επαφές έχουν υλοποιηθεί σαν Cable Bundles. Στην περίπτωση αυτή, οι συνδέσεις μας εξυπηρετεί να γίνουν με το εργαλείο Junctions από την καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio και συγκεκριμένα με την δυνατότητα Connect Terminals (βλ. την Εικόνα 5.24).



Εικόνα 5.24: Το εργαλείο σύνδεσης τερματικών από κόμβους καλωδίων μεταξύ τους [56].

Το παράθυρο του εργαλείου αυτού μας δίνει στο αριστερό μέρος όλους τους διαθέσιμους κόμβους μας, με τα τερματικά του καθενός (οι κόμβοι των επαφών έχουν ένα μόνο τερματικό ενώ οι κόμβοι του SpW έχουν τόσα τερματικά όσα τα αγωγή μέρη του). Επιλέγουμε από αριστερά δύο τερματικά (με Ctrl) και στην συνέχεια πατάμε είτε το “New Short”, είτε το “New Resistor”, ανάλογα αν θέλουμε αυτά τα τερματικά να συνδεθούν με ένα βραχυκύκλωμα ή με μια πεπερασμένη, μη μηδενική τιμή αντίστασης.

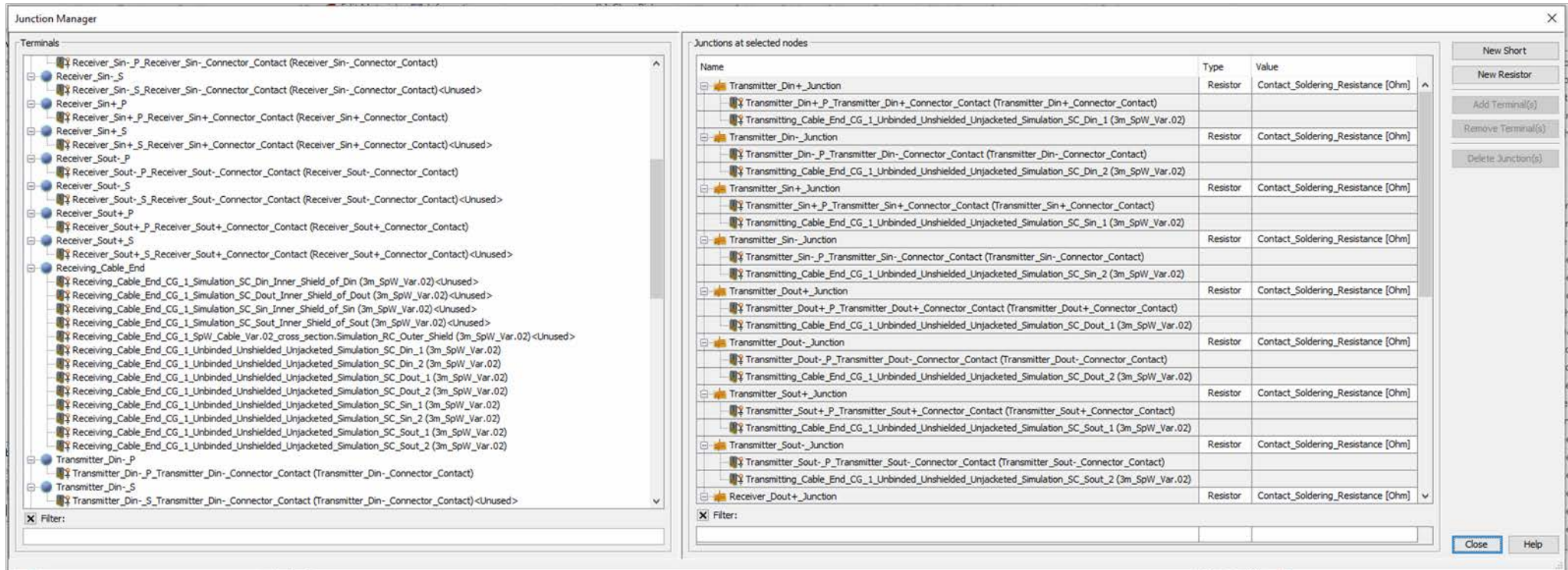
Για την σύνδεση των αγωγών των διαφορικών σημάτων στις επαφές επιλέξαμε να δώσουμε και μια τιμή αντίστασης σύνδεσης, για να προσομοιώνει την αντίσταση της συγκόλλησης, που θα πραγματοποιηθεί²¹³. Η τιμή της αντιστάσεως αυτής ορίστηκε παραμετρικά (βλ. τον Πίνακα 5.2), μέσω της παραμέτρου:

Contact_Soldering_Resistance

Παρακάτω παραθέτουμε μια εικόνα²¹⁴ από μερικές από τις συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν με αυτό το εργαλείο (κατά την στιγμή που διαδοχικά υλοποιούνταν):

²¹³ Αν και ο κάθε σύνδεσμος έχει 9 επαφές, που θα συνδεθούν με αγωγή σημεία του καλωδίου, άρα στο σύνολο θα γίνουν 18 τέτοιες συνδέσεις για τα δύο άκρα του συναρμολογήματος, εντούτοις δεν επιλέξαμε να ορίσουμε 18 διαφορετικές παραμέτρους για τιμή αντιστάσεως σύνδεσης. Προτιμήσαμε να δώσουμε μόνο μία τιμή τέτοιας αντιστάσεως. Αυτό, το ότι δηλ. όλες οι επαφές έχουν την ίδια αντίσταση συγκόλλησης, αν και έγινε σαφώς για λόγους απλότητας, εντούτοις αποτελεί εύλογη υπόθεση, μιας και όλες οι σχετικές κολλήσεις γίνονται με τον ίδιο τρόπο, σε ένα εργοστασιακά παραγόμενο καλώδιο.

²¹⁴ Εν προκειμένω παραθέσαμε εντελώς ενδεικτικά την σχετική εικόνα από την περίπτωση του καλωδίου των 3m, Var. 02 (ασχέτως συναρμολογήματος). Προφανώς η ίδια διαδικασία έγινε και για όλα τα άλλα αρχεία με και για τα δύο συναρμολογήματα, αφού η τερματισμός των αγωγών των σημάτων είναι πάντα μονοσήμαντος.



Εικόνα 5.25: Το περιβάλλον του εργαλείου Connect Terminals [56].

Παρατηρώντας την Εικόνα 5.25, βλέπουμε ότι, όσα τερματικά δεν έχουν ακόμη «χρησιμοποιηθεί» για κάποια σύνδεση, έχουν δίπλα στο όνομά τους την ένδειξη <Unused>. Όταν τα συνδέσουμε, η ένδειξη αυτή σβήνει. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι όσα τερματικά συνδέονται κάπου με χρήση Junction, πλέον χάνονται και από το περιβάλλον του Schematic, όπου εμφανίζονταν πριν σαν δυνητικά ελεύθερες εισοδοί (θα αναφερθούμε στο περιβάλλον του Schematic στην παράγραφο 6.3.1.4). Να αναφέρουμε ακόμα ότι οι συνδέσεις κόμβων καλωδίων μεταξύ τους φαίνονται μόνο από το Junction Manager (βλ. την παραπάνω εικόνα) και δεν απεικονίζονται με κάποιον τρόπο στον χώρο της 3D σχεδίασης (σε αντίθεση με τις συνδέσεις κόμβων καλωδίων προς σημεία 3D αντικειμένων, όπως θα δούμε στην παράγραφο 5.6.3.2).

Με τον τρόπο αυτό λοιπόν τερματίστηκαν στις επαφές των αρσενικών συνδέσμων του Transmitter και του Receiver όλα οι αγωγοί των διαφορετικών σημάτων του καλωδίου. Η διαδικασία αυτή, ούσα πανομοιότυπη και για τους δύο τύπους συναρμολογήματος καλωδίου, έγινε και στα 8 αρχεία που αναφέραμε στην αρχή της ενότητας 5.6.

5.6.3.2 Σύνδεση των Αγωγών των Θωρακίσεων στους Συνδέσμους

5.6.3.2.1 Εσωτερικές Θωρακίσεις

Όπως αναφέραμε και στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, ο τρόπος που θα γίνει ο τερματισμός των εσωτερικών θωρακίσεων εξαρτάται από το είδος του Συναρμολογήματος που θέλουμε να υλοποιήσουμε.

Συναρμολόγημα Type AL

Σε αυτό το συναρμολόγημα οι θωρακίσεις συνδέονται (με τον τρόπο που έχουμε εξηγήσει) στην επαφή νούμερο 3 του αρσενικού βύσματος. Άρα και εδώ θα κάνουμε χρήση του εργαλείου Junctions.

Όπως μας υποδεικνύει το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] για αυτόν τον τύπο συναρμολογήματος, στο pin 3, έχουμε κάθε φορά (δηλ. σε κάθε πλευρά του καλωδίου) δύο θωρακίσεις να συνδέονται σε αυτό. Εδώ λοιπόν υποχρεωνόμαστε να αξιοποιήσουμε την δυνατότητα να ενώσουμε περισσότερα των δύο τερματικών σε έναν κόμβο. Αυτό, όπως διαπιστώνουμε συμβουλευόμενοι το Help του Junction Editor, είναι εφικτό μόνο αν συνδέουμε τερματικά με βραχυκύκλωμα. Δηλ. το CST μπορεί να συνδέσει όσα τερματικά θέλουμε μεταξύ τους αν η σύνδεση αυτή είναι βραχυκύκλωμα [και αυτό ουσιαστικά είναι (απο οπτική γωνία H/M πεδίου) ενδεικτικό της ισοδυναμικότητας αυτών των μεταλλικών τμημάτων]. Με αντίσταση μπορούν να συνδεθούν αποκλειστικά 2 τερματικά μεταξύ τους.

Συνεπώς, και πάλι από το παράθυρο του Junction Editor, θα επιλέξουμε από αριστερά τα τερματικά που θέλουμε (τρία εν προκειμένω, η επαφή 3 του αρσενικού συνδέσμου και οι δύο κατάλληλες κάθε φορά θωρακίσεις, όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 5.6.2.2). Ακολουθώς παραθέτουμε ένα στιγμιότυπο από την δημιουργία των συνδέσεων αυτών²¹⁵.

Transmitter_Inner_Shields_to_Pin_3_Junction	Short	
Transmitter_Not_Connected_Pin_P_Transmitter_Not_Connected_Connector_Contact (Transmitter_Not_Connected_Connector_Contact)		
Transmitting_Cable_End_CG_1_Simulation_SC_Dout_Inner_Shield_of_Dout (3m_SpW_Var.01)		
Transmitting_Cable_End_CG_1_Simulation_SC_Sout_Inner_Shield_of_Sout (3m_SpW_Var.01)		
Receiver_Inner_Shields_to_Pin_3_Junction	Short	
Receiver_Not_Connected_Pin_P_Receiver_Not_Connected_Connector_Contact (Receiver_Not_Connected_Connector_Contact)		
Receiving_Cable_End_CG_1_Simulation_SC_Din_Inner_Shield_of_Din (3m_SpW_Var.01)		
Receiving_Cable_End_CG_1_Simulation_SC_Sin_Inner_Shield_of_Sin (3m_SpW_Var.01)		

Εικόνα 5.26: Η δημιουργία βραχυκυκλώματος για την σύνδεση των εσωτερικών θωρακίσεων με το pin 3 του αρσενικού συνδέσμου, στο περιβάλλον του Junction Editor [56].

Σχόλιο σχετικά με την απλοποιητική προσέγγιση της σύνδεσης τερματικών με βραχυκύκλωμα:

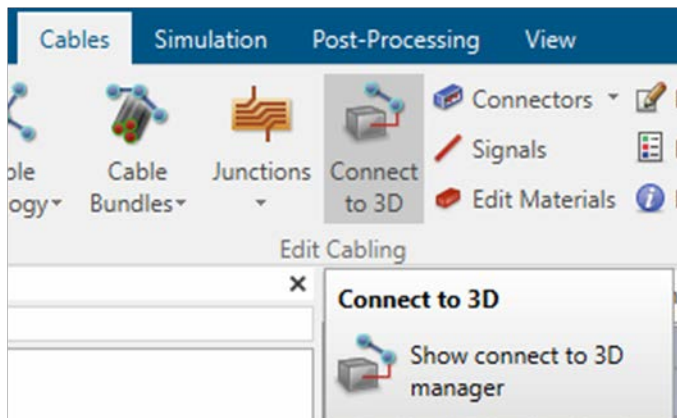
Το μόνο μειονέκτημα στην σύνδεση αυτών των τερματικών με βραχυκύκλωμα είναι ότι, πλέον δεν μπορούμε να δηλώσουμε μια τιμή αντίστασης για την σύνδεση – συγκόλληση των εσωτερικών θωρακίσεων με την επαφή νούμερο 3 του βύσματος. Και μάλιστα αυτό είναι αναπόφευκτο μειονέκτημα διότι, μόνο με βραχυκύκλωμα μπορούμε να συνδέσουμε περισσότερα των 2 τερματικά (και φυσικά στο βραχυκύκλωμα δεν υπάρχει αντίσταση). Παρ' όλα αυτά, αυτή είναι μια απλοποίηση που είμαστε αναγκασμένοι να κάνουμε, αφού μόνον έτσι μπορούν να τερματιστούν οι εσωτερικές θωρακίσεις στο pin 3 του αρσενικού βύσματος. Εφόσον, όπως έχουμε πει, το βασικό ενδιαφέρον της προσομοίωσής μας είναι για το καλώδιο (ενώ τα βύσματα χρησιμεύουν απλά για να δοθεί σωστά η

²¹⁵ Εν προκειμένω παραθέσαμε την σχετική εικόνα από την περίπτωση του καλωδίου των 3m, Var. 01 (για συναρμολόγημα Type AL φυσικά). Προφανώς η ίδια διαδικασία έγινε και για όλα τα άλλα αρχεία με συναρμολόγημα καλωδίου Type AL.

γείωση) θεωρούμε ότι δεν θα επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματά μας αυτή η απλοποίηση, ούτε θα τα απομακρύνει δραματικά από την πραγματικότητα.

Συναρμολόγημα Type A

Σε αυτό το συναρμολόγημα οι εσωτερικές θωρακίσεις τερματίζονται πάνω στο σασί του αρσενικού κονέκτορα και από τις δύο πλευρές του καλωδίου. Εδώ λοιπόν θα πρέπει να κάνουμε χρήση του εργαλείου που συνδέει τερματικά καλωδίων σε σημεία αντικειμένων ορισμένων στον 3D χώρο. Αυτό το εργαλείο είναι το “Connection to 3D” και αυτό από την καρτέλα Edit Cabling του Cable Studio.



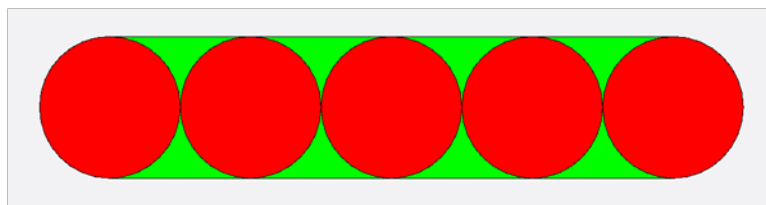
Εικόνα 5.27: Το εργαλείο σύνδεσης τερματικών από κόμβους καλωδίων σε 3D αντικείμενα [56].

Πρέπει εκ προοιμίου να σημειώσουμε ότι κατά αυτόν τον τρόπο σύνδεσης, το πρόγραμμα ενώνει το τερματικό με το σημείο του 3D χώρου που θέλουμε δημιουργώντας ένα τμήμα καλωδίου (connection segment) με διατομή από Single Wire. Για να το πετύχει αυτό επιλέγει μια από τις υπάρχουσες διατομές Single Wires που υπάρχουν δημιουργημένες στο Cable Studio. Πρέπει λοιπόν να δημιουργήσουμε μια τέτοια διατομή.

Όπως είδαμε και στην Εικόνα 5.4, κατά των τερματισμό των θωρακίσεων (εσωτερικών ή

εξωτερικών), στην πραγματικότητα τα σύρματα που ενώνουν τις θωρακίσεις με το κέλυφος είναι ακριβώς τα συρματίδια της κάθε θωρακίσεως. Συνεπώς θα κατασκευάσουμε μια διατομή σύρματος, από υλικό ίδιο με το υλικό των συρματιδίων της εσωτερικής θωρακίσεως. Το υλικό αυτό είναι το Ag_coated_Cu_of_inner_shield και τα χαρακτηριστικά του έχουν δοθεί στην παράγραφο 2.6.1.1.

Το ερώτημα τώρα είναι τι γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρέπει να έχει αυτό το καλώδιο. Εφόσον ο τερματισμός της θωράκισης γίνεται με τα ίδια τα συρματίδιά της, άρα σίγουρα δεν έχουμε μόνο ένα τέτοιο αγωγό να την συνδέει με το κέλυφος, αλλά μια πληθώρα τέτοιων. Όμως το εργαλείο αυτό δεν μας επιτρέπει να συνδέουμε με πολλαπλούς αγωγούς το ίδιο τερματικό (προς πολλαπλά σημεία ενός 3D αντικειμένου). Οπότε είμαστε αναγκασμένοι να χρησιμοποιήσουμε έναν αγωγό. Η πρώτη προσέγγιση, που θα είχε πιο πολύ βασιμότητα, θα ήταν να θεωρήσουμε ως αγωγό σύνδεσης της θωράκισης με το κέλυφος μια από τις «ταινίες» συρματιδίων της θωρακίσεως, τις λεγόμενες φέρουσες (carriers). από το περιβάλλον σχεδίασης του Cable Group ενός SC βλέπουμε ότι κάθε carrier της εσωτερικής θωρακίσεως απαρτίζεται από 5 συρματίδια (βλ. την Εικόνα 2.42). Η διάταξή τους λοιπόν θα μπορούσε να υλοποιηθεί πιο σωστά με την χρήση του εργαλείου Ribbon Cables και θα φαινόταν ως ακολούθως:



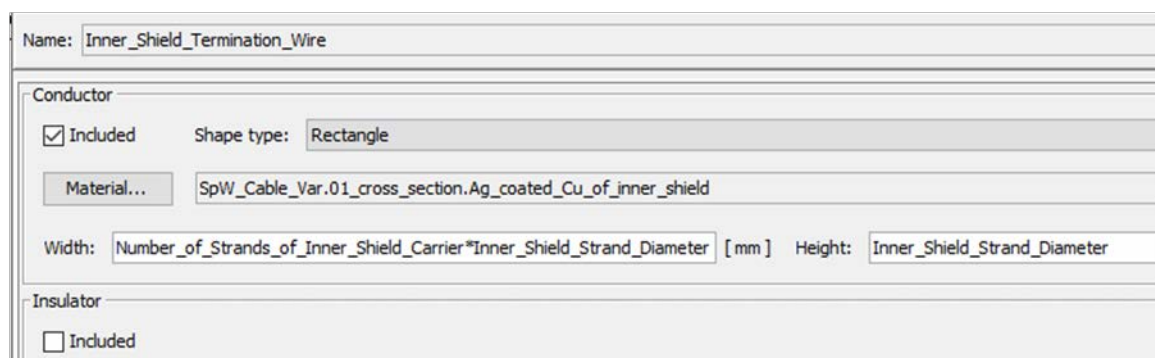
Σχήμα 5.3: Η διατομή μιας καλωδιοταινίας από 5 αγωγούς (που θα μπορούσε να αποτελεί μια φέρουσα της εσωτερικής θωρακίσεως) [56].

Όμως, όπως αναφέραμε, το CST μπορεί να πραγματοποιεί συνδέσεις τερματικών με 3D μόνο με χρήση απλών αγωγών (Single Wires). Παρ' όλα αυτά, το να θεωρήσουμε ότι η τερματική σύνδεση γίνεται με μόνο ένα συρματίδιο (με διατομή αυτήν του συρματιδίου της εσωτερικής θωρακίσεως) είναι πολύ φτωχό σαν προσέγγιση.

Έτσι δημιουργήσαμε ένα απλό αγωγίμο σύρμα, σχήματος όμως ορθογώνιου, έτσι ώστε να πλησιάσουμε στην προσέγγιση της παραπάνω εικόνας²¹⁶. Το σχήμα της διατομής λοιπόν θα κατασκευαστεί ως εξής:

- Μήκος μικρής πλευράς (Height, όπως το ονομάζει το Cable Studio) θα είναι όσο η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εσωτερικής θωρακίσεως. Η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εσωτερικής θωρακίσεως θα λαμβάνεται από το (εμπλουτισμένο) Parameter List του αρχείου μας (παράμετρος: *Inner_Shield_Strand_Diameter*).
- Μήκος της μεγάλης πλευράς (Width, όπως το ονομάζει το Cable Studio) θα είναι όσο η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εσωτερικής θωρακίσεως επί το πλήθος των συρματιδίων της μίας φέρουσας. Για να βρούμε το πλήθος των συρματιδίων κάθε ταινίας (φέρουσας) της εσωτερικής θωρακίσεως θα ανοίγουμε τα χαρακτηριστικά του καταλλήλου SC από τις διατομές Cable Groups που έχουμε δημιουργήσει (βλ. τα λεγόμενα στην παράγραφο 5.6.1.3). Για να σώσουμε αυτή την τιμή ορίσαμε, όπως είπαμε, σε κάθε ένα από τα οκτώ τελικά αυτά αρχεία και μια ακόμη παράμετρο, σχετική με το αντικείμενο αυτό, την *Number_of_Strands_of_Inner_Shield_Carrier* (βλ. τον Πίνακα 5.2).

Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος αγωγός, ο οποίος ονομάστηκε *Inner_Shield_Termination_Wire*:



Εικόνα 5.28: Τα χαρακτηριστικά του αγωγού που χρησιμεύει για τον τερματισμό της εσωτερικής θωρακίσεως [56].

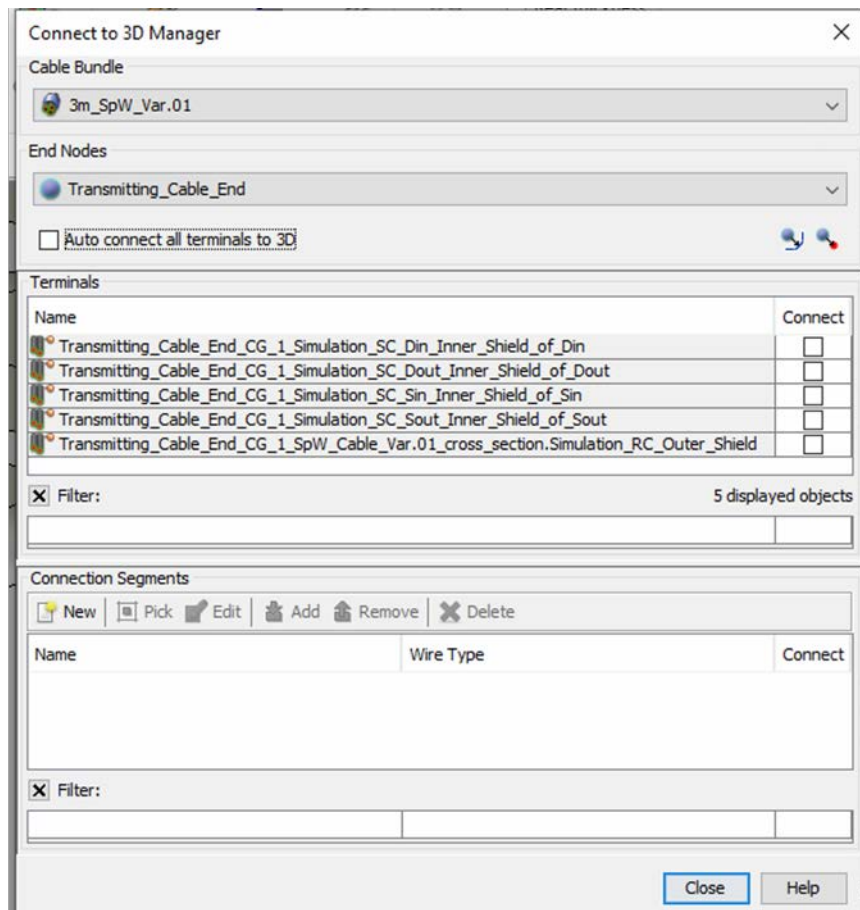
Φυσικά, όπως βλέπουμε στα χαρακτηριστικά του, ο αγωγός αυτός είναι αμόνωντος, όπως ισχύει και στην πράξη. Η διατομή φαίνεται στο επόμενο σχήμα:

²¹⁶ Βέβαια πρέπει να παρατηρήσουμε ότι, στην πραγματικότητα, μια ταινία τέτοιων συρματιδίων έχει λιγότερο μέταλλο, σαν διατομή, σε σχέση με το ορθογώνιο, που εν τέλει υιοθετήσαμε (λόγω των κενών που δημιουργούνται μεταξύ των συρματιδίων). Οπότε θα υπήρχε ο κίνδυνος να θεωρήσουμε έναν αγωγό σύνδεσης με μεγαλύτερο εμβαδόν διατομής, άρα μικρότερη αντίσταση απ' ότι στην πραγματικότητα. Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν μας απασχολεί γιατί στην πραγματικότητα είναι πολύ περισσότερα τα συρματίδια της θωράκισης, που ενώνονται στο σασί του κονέκτορα. Άρα αν κάθε μήκος συρματιδίου θωράκισης, που ξεκινά από το τέλος του καλωδίου και συνδέεται στο σασί του κονέκτορα, το θεωρήσουμε σαν μια στοιχειώδη αντίσταση, κατά την πραγματική σύνδεση έχουμε ουσιαστικά μια παραλληλία περισσότερων στοιχειωδών αντιστάσεων, που ενώνει την θωράκιση με το σασί. Άρα το σύρμα που δημιουργήσαμε στην προσομοίωση, όσο μεγαλύτερο εμβαδόν διατομής και αν έχει (σε σχέση με την ταινία 5 στρογγυλών συρματιδίων) σίγουρα θα είναι μικρότερο από το εμβαδόν όλων των συρματιδίων, που στην πραγματικότητα συνεισφέρουν στον τερματισμό της θωρακίσεως. Άρα πόσο μάλλον που έχουμε και δυσμενέστερη περίπτωση, από πλευράς αντιστάσεως σύνδεσης της εσωτερικής θωρακίσεως στο σασί του κονέκτορα.



Σχήμα 5.4: Η Διατομή του Inner Shield Termination Wire [56].

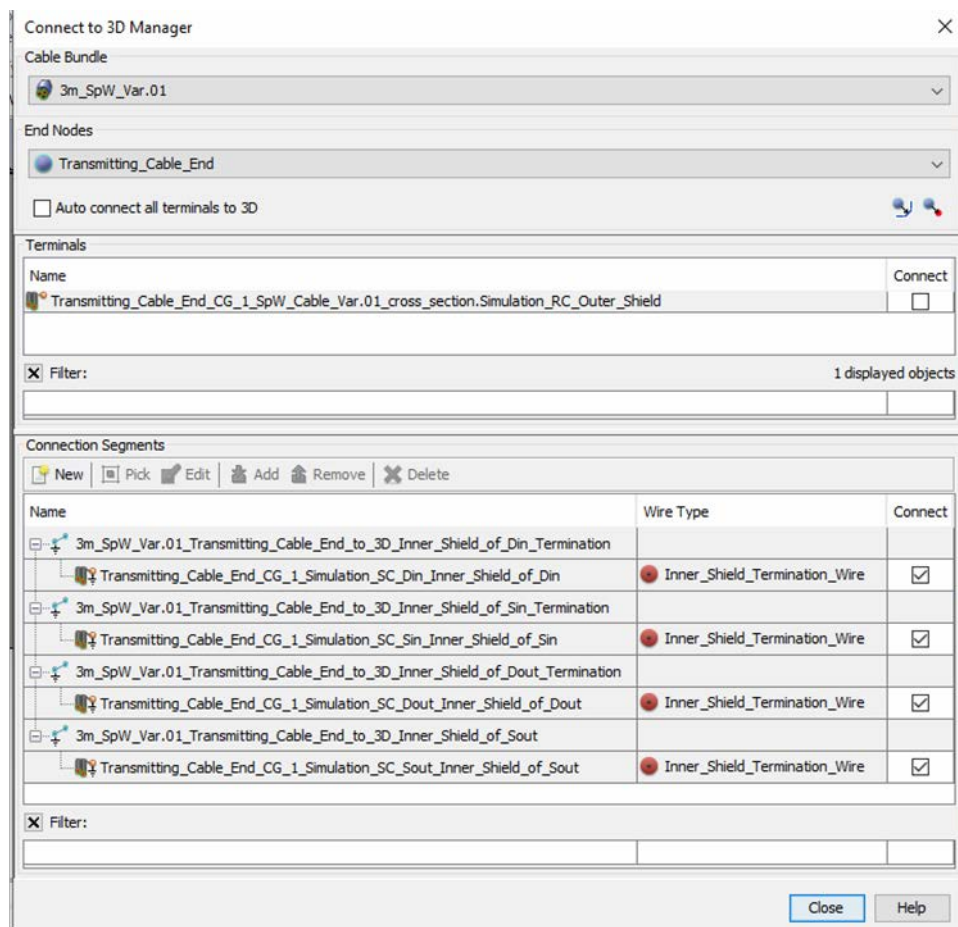
Τώρα που δημιουργήσαμε το σχετικό σύρμα, που θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό της εσωτερικής θωρακίσεως, μπορούμε να προχωρήσουμε σε αυτή την τελευταία ενέργεια. Επιλέγοντας, όπως είπαμε το εργαλείο Connect to 3D ανοίγει το ακόλουθο παράθυρο (βλ. την Εικόνα 5.29). Το παράθυρο αυτό μοιάζει κάπως με το παράθυρο της δημιουργίας ενός καινούργιου Cable Bundle (βλ. π.χ. την Εικόνα 5.14) και αυτό γιατί, πρακτικά, για την ένωση ενός τερματικού καλωδίου με ένα σημείο ενός 3D αντικείμενου, δημιουργείται ένα «καλώδιο». Στην πραγματικότητα βέβαια αυτό είναι κάτι πολύ απλούστερο από ένα Cable Bundle. Όπως θα δούμε αμέσως στην συνέχεια, αυτός ο αγωγός σύνδεσης λέγεται Segment, δηλ. απλώς αγωγήμο «τμήμα».



Εικόνα 5.29: Το περιβάλλον του εργαλείου Connect to 3D [56].

Από εκεί, όπως βλέπουμε, επιλέγουμε πρώτα το Cable Bundle, τα τερματικά του οποίου θέλουμε να συνδέσουμε στο 3D χώρο (π.χ. εδώ έχουμε εικόνα από αρχείο καμπύλης 3m με καλώδιο Var.01 και συναρμολόγημα Type A). Στην συνέχεια επιλέγουμε τον έναν από τους δύο κόμβους του καλωδίου αυτού, για τον οποίο επιθυμούμε σύνδεση των τερματικών του (π.χ. εδώ ξεκινήσαμε από τον κόμβου του Transmitter). Φροντίζουμε να μην έχουμε ενεργοποιημένη την επιλογή “Auto

connect all terminals to 3D”, διότι θέλουμε εμείς να καθορίσουμε χωριστά για κάθε terminal πού και πώς θα συνδεθεί (ενώ με την επιλογή αυτή αυτομάτως το πρόγραμμα τα συνδέει με το πλησιέστερο σημείο μεταλλικής κατασκευής). Έχοντας χωρίς «τικ» λοιπόν αυτό το κουτάκι, παρακάτω μας εμφανίζονται όλα τα τερματικά του κόμβου αυτού, που δεν έχουν ακόμη συνδεθεί κάπου (βλέπουμε ότι είναι μόνο οι θωρακίσεις, καθώς οι αγωγοί των διαφορικών σημάτων είχαν ήδη συνδεθεί εκεί που έπρεπε). Ακολουθώς επιλέγουμε τα τερματικά αυτά, ένα την φορά (με απλό κλικ πάνω τους, χωρίς να «τικάρουμε» και το κουτάκι που είναι δίπλα τους) και πατούμε “New” από κάτω. Με το πάτημα του “New” ενεργοποιείται ουσιαστικά το εργαλείο Pick Points και μπορούμε να διαλέξουμε σε ποιο σημείο μιας κατασκευής στον χώρο μπορούμε να συνδέσουμε το τερματικό αυτό. Έτσι, με αυτή την διαδικασία, οδηγούμε μία μία τις εσωτερικές θωρακίσεις σε κατάλληλο επιλεγμένο σημείο στο σασί του αρσενικού κονέκτορα. Ακολουθώς παραθέτουμε μια εικόνα από το παράθυρο αυτού του εργαλείου συνδέσεως, αφότου ολοκληρώθηκε και η σύνδεση των εσωτερικών θωρακίσεων στο σασί του κονέκτορα.



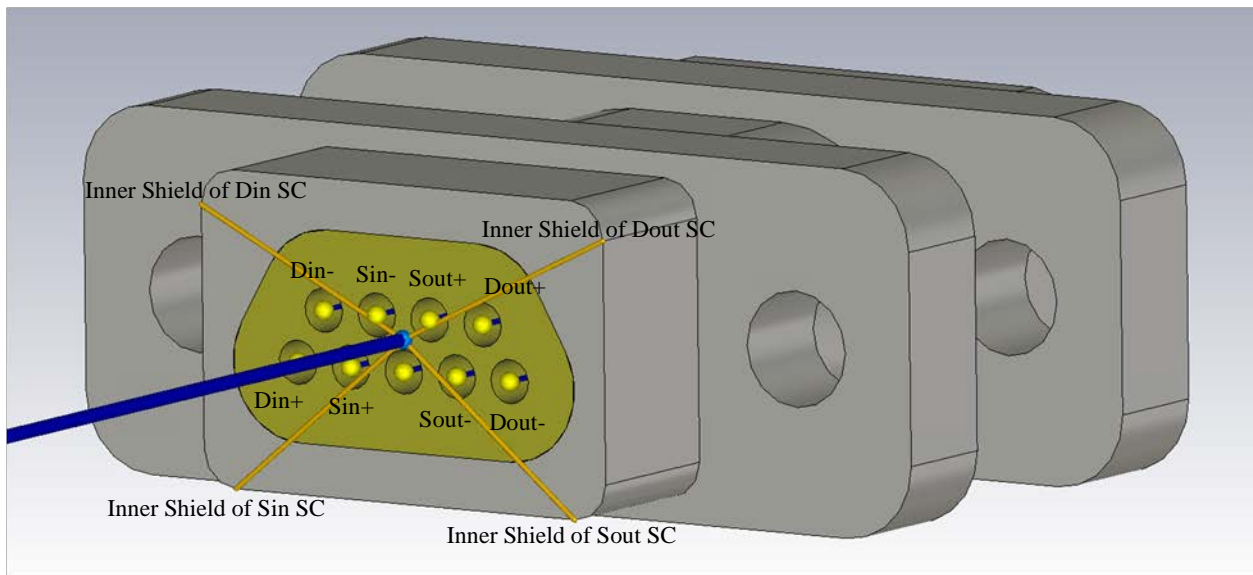
Εικόνα 5.30: Το περιβάλλον του εργαλείου Connect to 3D, μετά την σύνδεση των εσωτερικών θωρακίσεων σε κατάλληλα σημεία του 3D συνδέσμου [56].

Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι το τελευταίο τμήμα του παραθύρου του Connect to 3D Editor αφορά στα τμήματα σύνδεσης των τερματικών με το 3D αντικείμενο (Connection Segments). Η ονομασία τους έχει ως πρόθεμα το όνομα του Cable Bundle στο οποίο ανήκουν τα αντίστοιχα τερματικά (εν προκειμένω: “3m_SpW_Var.01_”), ακολούθως το όνομα του τερματικού κόμβου από τον οποίο βγαίνουν – πηγάζουν τα τερματικά αυτά (εν προκειμένω: “Transmitting_Cable_End”) και τέλος την κατάληξη “_to_3D”. Επειδή αυτό το όνομα έχει δυνατότητα τροποποίησης, προσθέσαμε και μια κατάληξη προσδιοριστική του διαφορικού ζεύγους του οποίου η θωράκιση τερματίζεται κάθε φορά (π.χ. “_Inner_Shield_of_Din_Termination”). Με δεξί κλικ στο “Wire Type” μπορούμε να

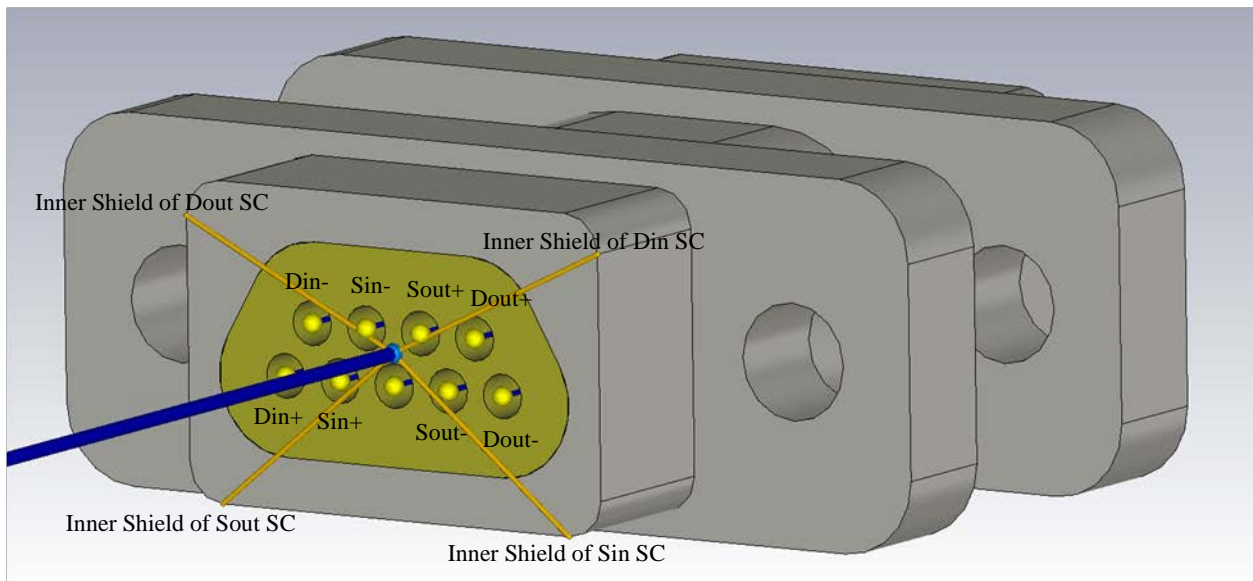
επιλέξουμε από τις διαθέσιμες διατομές του Project τον τύπο διατομής αγωγού που θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό. Φυσικά επιλέξαμε αυτήν που δημιουργήσαμε για τον σκοπό αυτό.

Τέλος να σημειώσουμε ότι τώρα είναι αναγκαίο να επιλέξουμε (με «τικ») το κουτάκι στο δεξί μέρος κάθε τμήματος σύνδεσης. Μόνο έτσι το CST θα υλοποιήσει αυτόματα την σύνδεση που εμείς περιγράψαμε μόλις (και τα αντίστοιχα τερματικά θα εξαφανιστούν και από το Schematic). Διαφορετικά θα πρέπει να γίνει και χειροκίνητα η σύνδεσή τους από το περιβάλλον του Schematic (στο οποίο θα αναφερθούμε στην παράγραφο 6.3.1.4).

Σε αντίθεση με τις συνδέσεις κόμβων καλωδίων μεταξύ τους (οι οποίες φυσικά υπάρχουν προσομοιωμένες αλλά δεν φαίνονται εποπτικά), οι συνδέσεις κόμβων με 3D αντικείμενα (μέσω ενός segment) φαίνονται και εποπτικά, γι' αυτό και παραθέτουμε και δύο σχετικές εικόνες:



Εικόνα 5.32: Ο τερματισμός των εσωτερικών θωρακίσεων επάνω στο σώμα του αρσενικού συνδέσμου του Transmitter [56].



Εικόνα 5.31: Ο τερματισμός των εσωτερικών θωρακίσεων επάνω στο σώμα του αρσενικού συνδέσμου του Receiver [56].

Εν προκειμένω παραθέσαμε εικόνες από την περίπτωση του καλωδίου των 3m, Var. 01 (για συναρμολόγημα Type A, όπως είπαμε) και για τα τερματικά των εσωτερικών θωρακίσεων από την πλευρά του Transmitter. Φυσικά η ίδια διαδικασία έγινε και για την πλευρά του Receiver. Δίνουμε εικόνες μόνο για τις δύο αυτές περιπτώσεις τερματισμού. Η διαδικασία φυσικά επαναλήφθηκε και για όλα τα άλλα συναρμολογήματα καλωδίου Type A. Δεν παραθέτουμε σχετικές εικόνες για οικονομία χώρου.

Σχόλιο σχετικά με τον τερματισμό της θωρακίσεως κατά 360°:

Ο τερματισμός της θωρακίσεως κατά 360° (δηλ. με εκ περιστροφής σύνδεση στο backshell του αρσενικού συνδέσμου) δεν μας ανησυχεί και τόσο στα πλαίσια της προσομοίωσης, διότι ο κατά 360° τερματισμός της θωρακίσεως είναι κάτι που στην πραγματικότητα χρειάζεται (και είναι και απολύτως απαραίτητο) γιατί έτσι υπάρχει η μέγιστη, κατά το δυνατόν θωράκιση του καλωδίου από εξωτερικές παρεμβολές (και για την περιοχή του καλωδίου που συνδέεται με τους κονέκτορες). Όμως το εν λόγω προσομοιωτικό μοντέλο προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές, όπου το καλώδιο θα εκτείνεται σε πεδίο ακτινοβολίας μόνο σε ένα μέρος του μήκους του. Δηλ. μόνο κατά ένα μέρος του μήκους οδεύσεώς του το καλώδιο θα καταπονείται από κάποιας μορφής πεδίο. Οι σύνδεσμοι, όπως και άλλες φορές έχουμε επισημάνει, εξυπηρετούν μόνο για να δοθεί σωστά (από Η/Μ πλευράς) η γείωση στο σύστημά μας. Δεν αποτελεί σκοπό του παρόντος μοντέλου να εκτεθούν ποτέ σε ακτινοβολία και οι σύνδεσμοι, όπως είναι φτιαγμένοι εν προκειμένω. Αν θέλαμε να μελετήσουμε την ακτινοβολήση τμήματος του καλωδίου, που να περιλαμβάνει και τους συνδέσμους, θα έπρεπε να επιμείνουμε σε πιο βαθιές λεπτομέρειες ως προς την κατασκευή τους και την σύνδεσή τους με τα κατάλληλα μέρη του καλωδίου. Εκεί φυσικά και θα έπαιζε σημαντικό ρόλο να σχεδιαστούν όντως περισσότερες συνδέσεις από την θωράκιση προς το σασί του κονέκτορα (ώστε να μοντελοποιηθεί ο εκ περιστροφής τερματισμός των θωρακίσεων). Επίσης εκεί θα ήταν καλύτερο να σχεδιάζαμε και κάπως αναλυτικότερα τον τρόπο που τα διαφορικά ζεύγη καταλήγουν στις επαφές. Στην παρούσα περίπτωση όμως είναι μάλλον υπερβολική αύξηση της πολυπλοκότητας, χωρίς ουσιαστική ανάγκη, οπότε ακούμαστε στον τερματισμό με ένα απλό αγώγιμο τμήμα σύνδεσης.

Το μόνο που προσπαθήσαμε να κάνουμε, κατά τους τερματισμούς στο σασί του κονέκτορα, ήταν οι θωρακίσεις των διαφορικών ζευγών να τερματίζονται κατά το δυνατόν σε σημεία του κονέκτορα κοντά σχετικά με τους κόμβους των αντιστοίχων επαφών. Έτσι, π.χ. στην Εικόνα 5.32 για τον Transmitter έχουμε τη διάταξη που φαίνεται. Να προσέξουμε ότι για την περίπτωση του Receiver ισχύει η αντιμετάθεση των ονομασιών των επαφών τερματισμού (την οποία επισημάναμε στην υποενότητα 5.6.1). Άρα γι' αυτό και βλέπουμε αυτό που συμβαίνει με τα ονόματα στην Εικόνα 5.31.

5.6.3.2.2 Εξωτερικές Θωρακίσεις

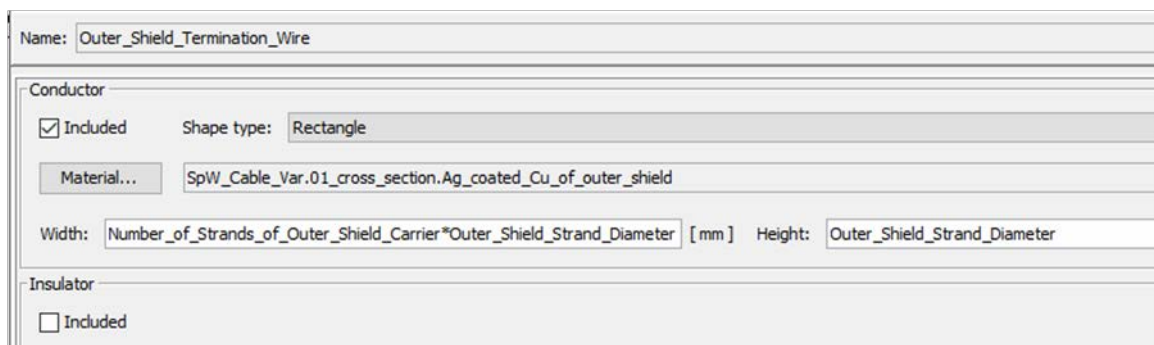
Όπως αναφέραμε και στην αρχή του Κεφαλαίου αυτού, στην ενότητα 5.2, ο τρόπος που θα γίνει ο τερματισμός των εξωτερικών θωρακίσεων είναι ανεξάρτητος από το είδος του Συναρμολογήματος, το οποίο θέλουμε να υλοποιήσουμε. Δηλ., ασχέτως του τύπου του συναρμολογήματος, η εξωτερική θωράκιση τερματίζεται πάντοτε, κατά 360°, στο σασί του αρσενικού κονέκτορα και από τις δύο πλευρές του καλωδίου. Συνεπώς για αυτή την θωράκιση θα πρέπει να κάνουμε χρήση του εργαλείου “Connection to 3D”.

Όπως λοιπόν ενεργήσαμε κατά τον τερματισμό των εσωτερικών θωρακίσεων του Συναρμολογήματος Type A για τις εσωτερικές θωρακίσεις, θα πρέπει και τώρα να δημιουργήσουμε μια κατάλληλη διατομή ενός σύρματος, τύπου Single Wire, που θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό της εξωτερικής θωρακίσεως στο 3D αντικείμενο του συνδέσμου. Με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό (που ακολουθήθηκε και για τον τερματισμό των εσωτερικών θωρακίσεων στο σασί), η διατομή, που θα δημιουργήσουμε, θα είναι από το υλικό των συρματιδίων της εξωτερικής θωρακίσεως (το Ag_coated_Cu_of_outer_shield, τα χαρακτηριστικά του οποίου έχουν δοθεί στην παράγραφο 2.6.1.1) και θα έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου (ώστε να πλησιάζει στο εμβαδόν μιας φέρουσας της πλέξης της εξωτερικής θωρακίσεως²¹⁷). Τα χαρακτηριστικά του ορθογωνίου αυτού θα είναι:

²¹⁷ Βλ. ανωτ. υποσ. 216.

- Μήκος μικρής πλευράς (Height, όπως το ονομάζει το Cable Studio) θα είναι όσο η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εξωτερικής θωρακίσεως. Η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εξωτερικής θωρακίσεως θα λαμβάνεται από το (εμπλουτισμένο) Parameter List του αρχείου μας (παράμετρος: *Outer_Shield_Strand_Diameter*).
- Μήκος της μεγάλης πλευράς (Width, όπως το ονομάζει το Cable Studio) θα είναι όσο η διάμετρος του ενός συρματιδίου της εξωτερικής θωρακίσεως επί το πλήθος των συρματιδίων της μίας φέρουσας. Για να βρούμε το πλήθος των συρματιδίων κάθε ταινίας (φέρουσας) της εξωτερικής θωρακίσεως θα ανοίγουμε τα χαρακτηριστικά του RC από τις διατομές Cable Groups, που έχουμε δημιουργήσει (βλ. τα λεγόμενα στην παράγραφο 5.6.1.3). Για να σώσουμε αυτή την τιμή, όπως αναφέραμε, ορίσαμε σε κάθε ένα από τα οκτώ τελικά αυτά αρχεία και μια ακόμη παράμετρο, σχετική με το αντικείμενο αυτό, την *Number_of_Strands_of_Outer_Shield_Carrier* (βλ. τον Πίνακα 5.2).

Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος αγωγός, ο οποίος ονομάστηκε *Outer_Shield_Termination_Wire*:



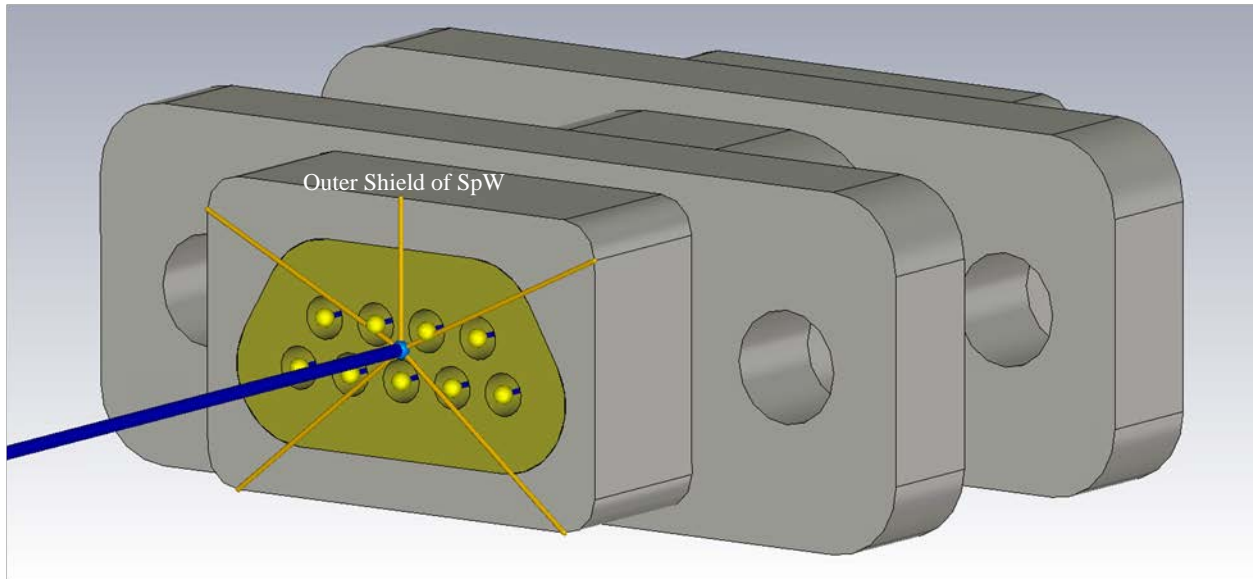
Εικόνα 5.33: Τα χαρακτηριστικά του αγωγού που χρησιμεύει για τον τερματισμό της εξωτερικής θωρακίσεως [56].

Φυσικά, όπως βλέπουμε στα χαρακτηριστικά του, ο αγωγός αυτός είναι αμόνωτος, όπως ισχύει και στην πράξη. Η διατομή φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 5.5: Η Διατομή του Outer Shield Termination Wire [56].

Τώρα που δημιουργήσαμε το σχετικό σύρμα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον τερματισμό της εξωτερικής θωρακίσεως, μπορούμε να προχωρήσουμε σε αυτή την σύνδεση της με το σασί του κονέκτορα. Η διαδικασία με την οποία γίνεται αυτό έχει περιγραφεί αναλυτικά μόλις πριν για τις εσωτερικές θωρακίσεις (στην υποπαράγραφο 5.6.3.2.1). Ακολουθούμε ακριβώς τις ίδιες ενέργειες και έχουμε το αποτέλεσμα που βλέπουμε στην ακόλουθη εικόνα (π.χ. εδώ έχουμε εικόνα από αρχείο καμπύλης 3m με καλώδιο Var.01 σε συναρμολόγημα Type A και από το βύσμα του Transmitter).



Εικόνα 5.34: Ο τερματισμός της εξωτερικής θωρακίσεως επάνω στο σώμα του αρσενικού συνδέσμου (εν προκειμένω του Transmitter) [56].

Ό,τι αναφέραμε στο σχόλιο για τον τερματισμό κατά 360° των θωρακίσεων (στο τέλος της υποπαραγράφου 5.6.3.2.1) ισχύει και εδώ. Για αυτό και έχουμε μόνο ένα σημείο σύνδεσης και της εξωτερικής θωράκισης με το σασί (το οποίο για λόγους εποπτικούς καθαρά επιλέξαμε να είναι το μέσον της άνω ακμής του πίσω μέρους).

Όπως πάντα, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τον Receiver σε αυτό το αρχείο και για τους Transmitter και Receiver σε όλα τα υπόλοιπα αρχεία (και για Type A και για Type AL συναρμολόγημα).

Κεφάλαιο 6

Πειραματική Επαλήθευση του Μοντέλου του Καλωδίου SpW

Στο σημείο στο οποίο ευρισκόμαστε αυτή την στιγμή, έχουμε υλοποιήσει πλήρως το συναρμολόγημα του καλωδίου SpW με ικανοποιητική ακρίβεια και με μία σαφή προσπάθεια να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το πραγματικό σύστημα. Οι όσο το δυνατόν λιγότερες παραδοχές και απλοποιήσεις, που έγιναν, προσπαθήσαμε να είναι κατ' αρχάς «ανώδυνες», δηλ. να μην επηρεάζουν ουδόλως την ακρίβεια της προσομοίωσης. Στην περίπτωση όμως που έπρεπε να γίνουν και απλουστεύσεις, επιδιώξαμε να είναι όσο το δυνατόν «ήπιες» και πάντα να γίνονται με γνώμονα την μεγιστοποίηση του οφέλους, που θα επέφεραν, σε σχέση με τα μειονεκτήματά τους.

Η εργασία αυτή έχει οδηγήσει στην δημιουργία ενός μοντέλου «φυσικού επιπέδου» μιας ζεύξης SpW, δηλ. του συνόλου των αντικειμένων που αποτελούν το “hardware” για μία τέτοια ζεύξη. Αυτό το οποίο δεν έχει υλοποιηθεί είναι το κυκλωματικό τμήμα της ζεύξης δηλ. το ηλεκτρονικό σύστημα πίσω από τον Transmitter και τον Receiver. Όμως δεν αποτελούσε σκοπό της εργασίας μας να επεκταθούμε στην δημιουργία και ενσωμάτωση στο μοντέλο των κυκλωμάτων μοντελοποίησης του LVDS των σημάτων μετάδοσης. Αυτά μπορεί να υλοποιηθούν και στο CST, από το περιβάλλον του Schematic (βλ. παράγραφο 6.3.1.4) αλλά ακόμα και από ένα άλλο πρόγραμμα (π.χ. το Spice) και να ενσωματωθούν στο CST μέσω των κυματομορφών, που θα παράγουν. Προτιμήσαμε να σταματήσουμε την μοντελοποίησή μας μέχρι το σημείο των συνδέσμων και των επαφών τους, διότι αυτός ήταν και ο αντικειμενικός σκοπός μας, δηλ. να ολοκληρώσουμε ένα μοντέλο καλωδίου SpW που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ενσωματωθεί σε δοκιμές πεδίου.

6.1 Ανάγκη Επαλήθευσης του Μοντέλου

Έχοντας ολοκληρώσει την δημιουργία του μοντέλου μας, εύλογα γεννιέται η απορία κατά πόσον αυτό είναι «αξιόπιστο». Θα θέλαμε δηλ. με κάποιον τρόπο να έχουμε μια επιβεβαίωση ότι το μοντέλο που δημιουργήσαμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πεδιακές προσομοιώσεις χωρίς δυσλειτουργίες και παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Ακόμη θα θέλαμε να διαπιστώσουμε ότι αυτή μας η προσπάθεια να είμαστε κοντά στο πραγματικό σύστημα και να κάνουμε όσο το δυνατόν λιγότερες απλοποιήσεις, όντως είχε επιτυχία. Και θα θέλαμε τέλος να βεβαιωθούμε για το ότι οι εν τέλει αναγκαίες απλοποιήσεις, τις οποίες εμείς θεωρήσαμε μικρής σημασίας, ήταν όντως «ανεκτές» και δεν «απομάκρυναν» υπερβολικά το προσομοιωτικό μοντέλο από το πραγματικό σύστημα.

Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει η επιβεβαίωση αυτή είναι μέσω μιας σύγκρισης αποτελεσμάτων από ένα πείραμα με το πραγματικό καλώδιο SpW και από μία επανάληψη του πειράματος αυτού με το προσομοιωτικό μοντέλο. Η ιδέα λοιπόν είναι να προχωρήσουμε στην διεξαγωγή ενός πειράματος

H/M συμβατότητας με το Καλώδιο SpW, το οποίο βρίσκεται στο Εργαστήριο Υ. Τ.. Μετά την ολοκλήρωσή του και την λήψη των σχετικών μετρήσεων, επόμενη κίνηση είναι να επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα στο CST, προσομοιωτικώς πλέον. Δηλ. θα δημιουργήσουμε ένα Project²¹⁸ που θα περιλαμβάνει το μοντέλο του καλωδίου SpW, που υλοποιήσαμε, ενσωματωμένο εντός μίας διάταξης ομοίας προς το περιβάλλον του πειράματος, το οποίο διεξήχθη στο Εργαστήριο. Το πείραμα που επιλέξαμε να εκτελέσουμε ήταν, προφανώς, μια Δοκιμή Έμμεσης Ηλεκτροστατικής Εκφορτίσεως (ESD) σε ένα καλώδιο SpW.

6.2 Το Πείραμα ESD στο Εργαστήριο

6.2.1 Πειραματικός Εξοπλισμός

Με τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Υ. Τ. εγκαταστήσαμε μια λειτουργική ζεύξη SpW, την οποία στην συνέχεια υποβάλαμε σε έμμεση ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Για να το πετύχουμε αυτό αξιοποιήσαμε τα ακόλουθα όργανα και αντικείμενα:

- ένα τραπέζι για την τοποθέτηση του iSAFT,
- τον Προσομοιωτή ζεύξεων SpW iSAFT SpaceWire Simulator της TELETEL S.A.,
- ένα τραπέζι για τα εξαρτήματα χρήσης του iSAFT,
- μια οθόνη (για την χρήση του προσομοιωτή),
- ένα πληκτρολόγιο (για την χρήση του προσομοιωτή),
- ένα ποντίκι (για την χρήση του προσομοιωτή),
- ένα τραπέζι για την πειραματική διάταξη του ESD,
- ένα φύλλο αλουμινίου για δάπεδο κάτω από το τραπέζι του ESD (επίπεδο GRP),
- ένα φύλλο αλουμινίου για επίπεδο επί του οποίου θα οδεύει το καλώδιο SpW (επίπεδο HCP),
- ένα φύλλο βακελίτη για να παρεμβάλλεται μεταξύ του HCP και του καλωδίου SpW,
- ένα δοκίμιο καλωδίου SpW, Var. 01, μήκους 3 m, Type AL,
- ένα δοκίμιο καλωδίου SpW, Var. 01, μήκους 10 m, Type AL,
- μερικά επιπλέον τραπέζια για να μπορεί να απλωθεί το καλώδιο των 10 m (το οποίο δεν χωράει σε ένα μόνο τραπέζι), έτσι ώστε να παραμένει στο ίδιο οροζόντιο επίπεδο από το τραπέζι του ESD μέχρι τον iSAFT (βλ. την Εικόνα 5.16),
- την συσκευή του πιστολιού της ηλεκτροστατικής εκφορτίσεως, με την τροφοδοσία της, τον μετασχηματιστή ανύψωσης και το σύστημα ελέγχου (εντός της συσκευής που συνδέεται σε παροχή ρεύματος), την κρουστική της γεννήτρια (η οποία βρίσκεται εντός του πιστολιού) και

²¹⁸ Εκ προοιμίου επισημαίνουμε ότι, το Project το οποίο θα δημιουργήσουμε για την επαλήθευση (και στο οποίο θα αναφερθούμε στην ενότητα 6.3), όπως και ένα άλλο Project, που δημιουργήσαμε για μια βοηθητική μελέτη γύρω από τις μετρήσεις που λάβαμε από το Εργαστήριο (και θα το δούμε στην παράγραφο 6.2.5.3), είναι αρχεία τα οποία κατασκευάστηκαν με μια σχετική απλότητα, έτσι ώστε να μας βοηθήσουν στην γρήγορη επαλήθευση των αποτελεσμάτων μας. Και προκειμένου ακριβώς να δίνουν γρήγορα αποτελέσματα έχουν και ορισμένες απλοποιήσεις (σε λογικά βεβαίως πλαίσια). Δεν κατασκευάστηκαν δηλ. με την ίδια αυστηρότητα με την οποία δομήσαμε το μοντέλο του καλωδίου μας. Αλλωστε δεν ήταν ο σκοπός της παρούσης εργασίας αυτά τα αρχεία. Η όσο το δυνατόν πιο λεπτομερής υλοποίηση ήταν ανάγκη να εφαρμοστεί στην κατασκευή του Συναρμολογήματος SpW, όπως και έγινε. Τα αρχεία όμως αυτά, στα οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, χρειάζονται μεν, αλλά μόνο για την επαλήθευση του μοντέλου μας. Δεν θεωρήσαμε ότι είναι ιδιαίτερως αναγκαία για έναν μελλοντικό μελετητή του SpW, αφού αυτός θα στραφεί στα λεπτομερέστερα μοντέλα που ολοκληρώθηκαν στο Κεφάλαιο 5. Γι' αυτό και επιλέξαμε να μην αναφερθούμε με ιδιαίτερη λεπτομέρεια στον τρόπο που δημιουργήθηκαν, ούτε και κρίναμε σκόπιμο να καταγραφεί το όνομά τους (όπως ήταν ανάγκη να γίνει με τα ονόματα των προηγούμενων αρχείων, ως χρησίμων στον μελλοντικό μελετητή).

την πιστολοειδή αιχμή (η οποία εφαρμόζει την υπέρταση στα υπό εξέταση δοκίμια), (πρόκειται για την συσκευή SCHAFFNER NSG 438).

- μια αντίσταση bleeder η οποία συνδέεται με το HCP,
- τα απαιτούμενα καλώδια που γειώνουν το GRP, την συσκευή τροφοδοσίας του ESD, το πιστόλι του ESD και έμμεσα (μέσω της αντιστάσεως bleeder) το HCP,
- ένα Probe μέτρησης ρεύματος υψηλών συχνοτήτων (αμπεροτσιπίδα) για την μέτρηση του ρεύματος του καλωδίου SpW (πρόκειται για το FCC F65 RF Current Probe),
- έναν παλμογράφο (πρόκειται συγκεκριμένα για τον Tektronix TDS 7254B Digital Phosphor Oscilloscope),
- ένα θωρακισμένο ομοαξονικό καλώδιο που συνδέει την αμπεροτσιπίδα με το κανάλι του παλμογράφου (πρόκειται συγκεκριμένα για το Sucoflex 106),
- έναν μετατροπέα και εξασθενητή μετρήσεως 100/1 (40 dB attenuator), που παρεμβάλλεται μεταξύ ομοαξονικού καλωδίου και καναλιού του παλμογράφου (πρόκειται συγκεκριμένα για τον 3c test AT2G-40dB-4G-B),
- δύο αντιπαρασιτικοί φερρίτες για το ομοαξονικό καλώδιο.

6.2.2 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη της δοκιμής ESD έχει εξηγηθεί πλήρως στην υποενότητα 4.1.1. Συμπληρωματικά αναφέρουμε περί του iSAFT, ότι ο προσομοιωτής αυτός είναι μια πλήρης κονσόλα, η οποία περιέχει το λογισμικό για την δημιουργία και κωδικοποίηση πακέτων μετάδοσης σύμφωνα με το πρωτόκολλο SpW, τα αναγκαία κυκλώματα για την υλοποίηση σημάτων σε LVDS και τέλος διαθέσιμες θύρες θηλυκών συνδέσμων SpW, έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθούν εκεί καλώδια τέτοιου τύπου. Επίσης στον προσομοιωτή συνδέεται οθόνη, ποντίκι και πληκτρολόγιο και έτσι εξασφαλίζεται η κατάλληλη διεπαφή με τον χρήστη, μέσω της οποίας αυτός ελέγχει πλήρως τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της ζεύξης SpW, που υλοποιεί.

Στην κονσόλα αυτή συνδέθηκε ένα καλώδιο SpW, το οποίο αναχωρούσε από την μία θύρα της και επέστρεφε στην άλλη. Το καλώδιο αυτό στην συνέχεια «απλώθηκε» (και στερεώθηκε με χαρτοταινία) επάνω στην πειραματική διάταξη του ESD, δηλ. δημιούργησε έναν βρόχο επάνω στο μονωτικό φύλλο βακελίτη, όπως ακριβώς περιγράψαμε στην υποενότητα 4.1.1. Με την βοήθεια του iSAFT, ορίσαμε τις δύο θύρες, στις οποίες συνδέσαμε το καλώδιο, σαν θύρες Transmitter και Receiver (παρ' ότι, όπως συχνά έχουμε αναφέρει η ροή δεδομένων γίνεται και προς τις δύο πλευρές) και εγκαταστήσαμε μεταξύ αυτών μία λειτουργική ζεύξη μετάδοσης πακέτων SpW. Επιδιώξαμε να εγκαταστήσουμε μια εν λειτουργία ζεύξη SpW, έτσι ώστε να παρατηρήσουμε καθαρά και το πρόβλημα της απώλειας πακέτων δεδομένων, κατά την επιβολή του Εμμέσου ESD.

Με το πιστόλι της ESD δοκιμής θα δίνουμε κρουστικούς παλμούς επάνω στο αλουμίνιο του HCP. Οι παλμοί αυτοί επάγουν ένα ρεύμα επάνω στην θωράκιση του καλωδίου, το οποίο, για να μετρηθεί χρειαζόμαστε την αμπεροτσιπίδα υψίσχυων ρευμάτων²¹⁹. Αυτή θα «αγκαλιάζει» το καλώδιο στο σημείο που θέλουμε κάθε φορά να μετρήσουμε την κυματομορφή του ρεύματος που το διαρρέει.

Η μέτρηση που κάνει το probe πρέπει να οδηγηθεί στο κανάλι του παλμογράφου. Για τον σκοπό αυτόν στο probe συνδέουμε ένα θωρακισμένο ομοαξονικό καλώδιο, το οποίο οδηγούμε στον παλμογράφο, που βρίσκεται εντός γειτονικού Κλωβού Faraday (ώστε να μην επηρεάζεται από το πείραμα ESD). Γύρω από το ομοαξονικό καλώδιο και προς το άκρο του που οδηγείται στον παλμογράφο τοποθετούμε και δύο αντιπαρασιτικούς φερρίτες, για να περιορίζεται ο θόρυβος που φθάνει στο κανάλι. Προκειμένου όμως η μέτρηση από τον παλμογράφο να γίνει σωστά χρειάζονται δύο ενέργειες. Η πρώτη είναι η μετατροπή του σήματος ρεύματος, που μετρά το probe, σε σήμα

²¹⁹ Γενικά τα υψίσχυα ρεύματα, που ρέουν σε έναν αγωγό, όπως αυτά που επάγονται από ένα φαινόμενο ESD, δεν μπορούν να μετρηθούν με αμπερόμετρα εν σειρά παρεμβαλλόμενα και συνδεόμενα με τον αγωγό αυτόν. Μετρώνται μόνο με ειδικά probes με μορφή αμπεροτσιπίδας. Γι' αυτό και οι μετρήσεις είναι ακριβέστατες διότι οι αμπεροτσιπίδες ανιχνεύουν όλη την κυματομορφή στο πεδίο του χρόνου (και όχι κάποια rms τιμή για παράδειγμα).

τάσεως και η δεύτερη είναι ο κατάλληλος υποβιβασμός του, ώστε να μπορεί να μετρηθεί από τον παλμογράφο (ο οποίος φυσικά μπορεί να μετρήσει με ασφάλεια σήματα τάσεως μέχρι ένα λογικό επίπεδο τιμών). Αυτές οι δύο ενέργειες επιτελούνται από τον μετατροπέα – εξασθενητή. Αυτός είναι μία συσκευή που συνδέεται στο άλλο άκρο του ομοαξονικού καλωδίου και στην συνέχεια στο κανάλι του παλμογράφου. Η συσκευή αυτή έχει, ως μετατροπέας και πριν την εξασθένιση, μια σχέση τάσεως ρεύματος 1 προς 1, δηλ. τα 4 A που μετρά μετατρέπονται σε 4 V. Στην συνέχεια, αυτό το σήμα τάσεως υποβιβάζεται με σχέση 100/1, οπότε τα 4 V θα γίνουν εν τέλει 40 mV και αυτά θα οδηγηθούν στο κανάλι του παλμογράφου.

Τέλος, χάρη στο ιδιαίτερα ανεπτυγμένο interface του ψηφιακού παλμογράφου, αλλά και στην δυνατότητά του να είναι συνδεδεμένος με H/Y στο εσωτερικό του Κλωβού Faraday, οι μετρήσεις μας αποθηκεύονται με αξιοπιστία.

Σχόλιο σχετικά με την μορφή με την οποία καταγράφονται και αποθηκεύονται οι μετρήσεις μας:

Εφ' όσον η μέτρηση του ρεύματος οδηγείται σε κανάλι παλμογράφου, λαμβάνουμε μια ακριβέστατη απεικόνιση της κυματομορφής του ρεύματος στο πεδίο του χρόνου, οπότε έχουμε όλη την πληροφορία για τις μεταβολές της, για όσο χρόνο διαρκεί η επίδραση του μεταβατικού φαινομένου ESD.

Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να αποθηκευθούν σε μορφή .csv και σε μορφή .dat. Η μορφή .csv έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει τις μετρήσεις μας σαν ζεύγος τιμών (τάση – χρόνος), οπότε μπορεί να ανοιχθεί με Excel, δίνοντας την δυνατότητα παρατηρήσεως της κυματομορφής σημείο προς σημείο. Η μορφή .dat έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί απ' ευθείας να ανοιχθεί με το MATLAB και να απεικονιστεί ως γραφική παράσταση (κάτι που και με το .csv αρχείο γίνεται, αλλά ύστερα από μια σύντομη επεξεργασία). Εμείς επιλέξαμε να αποθηκεύουμε την κυματομορφή της κάθε μετρήσεως και στις δύο αυτές μορφές.

6.2.3 Εκτέλεση του Πειράματος

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής, το καλώδιο θα μεταβιβάζει ένα σήμα. Για την δημιουργία του σήματος αυτού, έγιναν οι κατάλληλες ενέργειες στον iSAFT, δηλ.: ενεργοποίηση των δύο ακραίων από τις 4 θύρες SpW (διότι εκεί συνδέσαμε τα δύο άκρα του καλωδίου), ορισμός ενός μεγέθους πακέτων προς μετάδοση και ενεργοποίηση της λήψεως και της μεταδόσεως και από τις δύο θύρες. Το σήμα αυτό λοιπόν (όντας γνωστό, παραγόμενο από τον iSAFT Simulator) τροφοδοτεί το ένα άκρο του καλωδίου και ανιχνεύεται από την κονσόλα ξανά όταν φτάνει στο άλλο άκρο του (και ομοίως και για την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης).

Στο καθ' αυτό πείραμα, το πιστόλι ηλεκτροστατικής εκφορτίσεως «πυροβολεί» ένα σημείο της επιφάνειας αλουμινίου του HCP, ακάλυπτο από τον βακελίτη. Με τον «πυροβολισμό», διοχετεύεται επάνω στο HCP μια κρουστική εκφόρτιση. Ο παλμός αυτός παράγεται από την γεννήτρια κρουστικής τάσης, που βρίσκεται στο πιστόλι. Το φορτίο αυτό σταδιακά θα αποχωρήσει προς την γη μέσω της αντιστάσεως bleeder, η οποία είναι συνδεδεμένη στο HCP, στην μία γωνία του. Φυσικά όμως, αν και η κρουστική υπέρταση δεν «πίπτει» απ' ευθείας επί του καλωδίου, η επίδραση του πεδίου της εκφορτίσεως αυτής επί του HCP θα γίνει αισθητή από το καλώδιο (Εμμεση Ηλεκτροστατική Εκφόρτιση). Μάλιστα, το ότι το καλώδιο επηρεάζεται έντονα από το έμμεσο αυτό ESD, το διαπιστώνουμε από τον iSAFT. Το λογισμικό του μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε εποπτεία της ροής δεδομένων της ζεύξης μας. Μετρώντας λοιπόν το σήμα στην «έξοδο» του καλωδίου και συγκρίνοντάς το με αυτό με το οποίο τροφοδοτήθηκε η «είσοδος» βλέπουμε την επίδραση που είχε το ESD στο συγκεκριμένο καλώδιο. Οπότε μετά από κάθε παλμό ESD παρατηρούμε να έχουμε απώλειες σε απεσταλμένα πακέτα πληροφοριών, πράγμα που σημαίνει ότι ο παλμός προς στιγμινή κατέλυσε την ομαλή λειτουργία της ζεύξης.

Πέρα όμως από την απλή διαπίστωση του γεγονότος ότι το ESD επηρεάζει την ζεύξη καθοριστικά, μας ενδιαφέρει (και μάλιστα περισσότερο) η αποτύπωση της κυματομορφής του ρεύματος που ρέει στο καλώδιο μετά από κάθε παλμό. Για τον λόγο αυτόν κάνουμε χρήση της αμπεροτσιμπίδας και του συστήματος οδήγησης της μέτρησης στον παλμογράφο. Μάλιστα επειδή το

φαινόμενο διαρκεί ελάχιστο χρόνο (λίγες εκατοντάδες ns, όπως θα δούμε), ο μόνος τρόπος να το ανιχνεύσει και να το διατηρήσει στην οθόνη του ο παλμογράφος είναι αν είναι ρυθμισμένος στην κατάσταση “Single”, με ενεργοποιημένο το “Trigger”. Με το Single, ο παλμογράφος θα λάβει μόνο μία κυματομορφή σαν μέτρηση και θα την διατηρήσει στην οθόνη του ώστε να την αποθηκεύσουμε. Όμως επειδή το κανάλι του θα δέχεται συνεχώς σήματα (ακόμα και θόρυβο) και δεν μπορεί να ξέρει πότε να αποτυπώσει και να διατηρήσει μέτρηση, εδώ έρχεται και βοηθά η δυνατότητα “Trigger”. Ορίζουμε δηλ. ένα επίπεδο ανιχνευομένης τάσεως ως όριο ενεργοποίησης του παλμογράφου. Αν λοιπόν το σήμα στην είσοδό του ξεπεράσει αυτό το όριο (trigger), ο παλμογράφος ενεργοποιείται και αποθηκεύει ό,τι κυματομορφή έρθει στην είσοδό του, για όσο χρόνο έχει εύρος ο οριζόντιος άξονας του χρόνου του.

Προκειμένου να μπορεί ο παλμογράφος να «διαβάσει» σωστά τις μετρήσεις που θα «παρήγαγε» το εν λόγω πείραμα, έπρεπε να γίνει πρώτα και η κατάλληλη ρύθμιση της οθόνης του. Διότι, ως γνωστόν, «ο παλμογράφος μετρά σωστά ό,τι αποτυπώνεται στην οθόνη του σωστά». Συνεπώς προέβημεν σε λίγες δοκιμαστικές μετρήσεις και ρυθμίσαμε τις κλίμακες χρόνου και τάσεως, έτσι ώστε να αποθηκεύουν ολόκληρη την κυματομορφή του ρεύματος. Επιπλέον ο συγκεκριμένος παλμογράφος μας δίνει την δυνατότητα να αποθηκεύουμε τις ρυθμίσεις που περιστασιακά του κάνουμε και να τις ανακαλούμε, οπότε αποθηκεύσαμε αυτό το “setup” με τίτλο “ESD SpW”. Οι ρυθμίσεις μας είναι:

- ο χρονικό παράθυρο μέτρησης από τα -16 ns έως και τα 784 ns , άρα συνολικού εύρους 800 ns ,
- ο βήμα λήψης μετρήσεων $1\text{ point} / 50\text{ ps}$, άρα σύνολο σημείων της κάθε κυματομορφής $800\text{ ns} / 50\text{ ps} = 16000$,
- οχι χρήση γραμμικής παρεμβολής για την ένωση των σημείων της κυματομορφής²²⁰.

Αυτές οι χρονικές ρυθμίσεις δοκιμάστηκε ότι αποτυπώνουν ευδιάκριτα ένα φαινόμενο εμμέσου ESD σε Καλώδιο SpW. Ως προς την ρύθμιση του κατακορύφου άξονα, αυτή άλλαζε αναλόγως του ύψους της κρουστικής τάσεως (διότι πειραματιστήκαμε με δύο επίπεδα τάσεως κρουστικού παλμού, όπως θα πούμε στην υποενότητα 6.2.4, που ακολουθεί). Δηλ.:

- για ESD στα 4 kV : επιλέξαμε 5 mV/division
- για ESD στα 8 kV : επιλέξαμε 10 mV/division

Τέλος, επιλέξαμε όλοι οι παλμοί ESD να γίνουν στο μέσον της μπροστινής ακμής του φύλλου αλουμινίου του HCP (βλ. την Εικόνα 4.2). Η θέση αυτή του ESD θα μπορούσε προφανώς να αλλάξει, αλλά αποφασίσαμε να την διατηρήσουμε σαν σταθερό παράγοντα στην εκτέλεση της σειράς των μετρήσεων που θα περιγράψουμε στην ακόλουθη υποενότητα.

6.2.4 Μετρήσεις

Προκειμένου να γίνει μια πιο λεπτομερής μελέτη του πειράματος εμμέσου ESD σε καλώδιο SpW, **επιλέξαμε να πειραματιστούμε με κρουστικούς παλμούς δύο επιπέδων τάσεως, των 4 kV και των 8 kV , με θετική πολικότητα.** Όλες οι μετρήσεις μας έγιναν **και στο καλώδιο των 3 m και στο καλώδιο των 10 m .** Για κάθε ένα καλώδιο πραγματοποιήσαμε 2 σειρές μετρήσεων, μία για την τάση των 4 kV και μία για την τάση των 8 kV ²²¹.

Ακόμη, για να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα του πώς επηρεάζεται το καλώδιο από αυτό το Η/Μ φαινόμενο, δεν κάναμε λήψη του ρεύματος από μόνο ένα σημείο του, αλλά με την αμπεροτσιμπίδα

²²⁰ Να σημειώσουμε ότι δεν κάνουμε χρήση μικρότερου βήματος λήψης μετρήσεων, διότι περνάμε σε γραμμική παρεμβολή (interpolation). Δηλ. πλέον τα σημεία που αποτυπώνονται στην οθόνη δεν ανήκουν όλα στην αυθεντική κυματομορφή που λαμβάνει σαν σήμα προς μέτρησιν ο παλμογράφος, αλλά τοποθετούνται κατά την εκτίμηση της γραμμικής παρεμβολής (κάτι που γίνεται αντιληπτό αν συμβεί, από την ένδειξη “INT”, που θα εμφανιστεί στο κάτω δεξί μέρος της οθόνης του παλμογράφου).

²²¹ Να σημειώσουμε ότι από τις ρυθμίσεις του πιστολιού ESD, εκτός από το ύψος της κρουστικής τάσεως, μπορούμε να ορίσουμε και την πολικότητα αυτής, δηλ. αν θα έχουμε ένα κρουστικό παλμό θετικής ή αρνητικής πολικότητας. Εμείς επιλέξαμε για όλες μας τις μετρήσεις να εφαρμόζουμε ESD με θετικό παλμό κρουστικής τάσεως.

λάβαμε μετρήσεις από πολλά σημεία κατά μήκος του κάθε καλωδίου, όπως θα εξηγήσουμε στην συνέχεια.

Συνεπώς η διαδικασία λήψης των μετρήσεων είχε ως εξής:

- Αρχίσαμε με το καλώδιο των 3 m στερεωμένο επί του βακελίτη.
- Ρυθμίσαμε το πιστόλι του ESD στο ύψος των 4 kV, με θετική πολικότητα κρουστικού παλμού.
- Ακολουθως επιλέγαμε το πρώτο σημείο του καλωδίου, από το οποίο θα λαμβάναμε μέτρηση και σε αυτό το σημείο «αγκαλιάσαμε» το καλώδιο με την αμπεροτσιμπίδα (probe).
- Εδώ έπρεπε να φροντίσουμε να στερεώσουμε ακλόνητα το probe και το ομοαξονικό καλώδιο, που οδηγούσε την μέτρηση στον παλμογράφο, έτσι ώστε να έχουμε τα χέρια μας ελεύθερα για την χρήση του πιστολιού του ESD (αυτό επιτεύχθηκε με χρήση χαρτοταινίας και με ανάρτηση του ομοαξονικού καλωδίου από γειτονικά ακλόνητα σημεία με την βοήθεια σπάγγου, δηλ. με μονωτικά στοιχεία, που δεν θα επηρέαζαν το H/M φαινόμενο).
- Στην συνέχεια ενεργοποιούσαμε υποχρεωτικά την κατάσταση αναμονής του παλμογράφου (mode “Single” με ενεργοποιημένο το “Trigger”), διότι μετά από κάθε μέτρηση το “Single” απενεργοποιείτο.
- Με τον παλμογράφο έτοιμο επιστρέφαμε μπροστά στην πειραματική διάταξη και εκτελούσαμε το ESD (διατηρώντας την αιχμή του πιστολιού επί του HCP για 2 – 3 δευτερόλεπτα, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί το μεταβατικό).
- Τελευταία ενέργεια, για να ολοκληρωθεί η μέτρηση σωστά ήταν η αποθήκευσή της. Μεταβαίναμε λοιπόν στον Κλωβό Faraday όπου ήταν ο παλμογράφος και αποθηκεύαμε την μέτρηση (και στις δύο δυνατές μορφές, .csv και .dat, όπως είπαμε στο σχετικό σχόλιο της υποενότητας 6.2.2), με την βοήθεια του interface του παλμογράφου αλλά και του συνδεδεμένου σε αυτόν H/Y. Μάλιστα στην μέτρησή μας φροντίζαμε να δίνουμε πάντα ένα πλήρως επεξηγηματικό όνομα του σε ποιο καλώδιο έγινε (των 3 m ή των 10 m), με ποιο ύψος τάσεως έγινε (4 kV ή 8 kV) και σε ποιο σημείο του καλωδίου έγινε (δεδομένου του τρόπου που ονοματοδοτήσαμε τα σημεία, κάτι που θα εξηγήσουμε στην παράγραφο 6.2.4.1).
- Μετά την ολοκλήρωση κάθε μέτρησης προχωρούσαμε στην επόμενη, επαναλαμβάνοντας τα βήματα από το c. έως και το g..
- Μετά την ολοκλήρωση αυτής της σειράς μετρήσεων, ρυθμίζουμε το πιστόλι του ESD στο ύψος των 8 kV, πάντοτε με θετική πολικότητα κρουστικού παλμού.
- Επαναλαμβάνουμε τα βήματα από το c. έως και το g. (δηλ. εκτελούμε και πάλι μετρήσεις για όλα τα σημεία, που έχουμε επιλέξει).
- Τώρα αποσύρουμε το καλώδιο των 3 m και τοποθετούμε επί του τραπέζιού της ESD δοκιμής εκείνο των 10 m.
- Επαναλαμβάνουμε τα βήματα από το b. έως και το j. (δηλ. εκτελούμε και πάλι μετρήσεις για τα δύο επίπεδα τάσεως και για όλα τα σημεία, που έχουμε επιλέξει).

Σχόλιο σχετικά με τον προσανατολισμό – φορά μέτρησης του probe:

Η αρχή λειτουργίας της μέτρησης με αμπεροτσιμπίδα βασίζεται, ως γνωστόν, στην επαγωγή. Ως εκ τούτου, αν «αγκαλιάσουμε» με την αμπεροτσιμπίδα το καλώδιο και πάρουμε μία μέτρηση και στην συνέχεια περιστρέψουμε 180° την δαγκάνα της τσιμπίδας και ξαναπάρουμε μέτρηση, θα λάβουμε την ίδια κυματομορφή ρεύματος με αντίθετο πρόσημο. Δηλ. ουσιαστικά θα μετράμε το ίδιο ρεύμα με αντίθετη φορά. Οπότε είναι σημαντικό να διατηρούμε την θέση της τσιμπίδας σταθερή ως προς τον άξονα, γύρω από τον οποίο μπορεί και περιστρέφεται.

6.2.4.1 Ονοματοδοσία Σημείων Μέτρησης και Μετρήσεων

Επειδή, όπως είπαμε στην υποενότητα 6.2.4, θα λαμβάναμε μετρήσεις από πολλά σημεία του καλωδίου, ορίσαμε έναν συγκεκριμένο τρόπο ονοματοδοσίας τους. Συγκεκριμένα:

- Χρησιμοποιήσαμε ως πρόθεμα το “3m_” ή “10m_”, ώστε να δηλώνεται αυτόματα σε ποιο καλώδιο αναφερόμαστε.

- Στην συνέχεια ακολουθεί ένα κεφαλαίο γράμμα του λατινικού αλφαβήτου και κολλητά με αυτό η λέξη “up” ή “down”. Η λέξη αυτή χρησιμοποιείται για να διαχωρίζει τα σημεία της «επάνω» οδεύσεως του καλωδίου (αυτής που είναι πιο μέσα στο τραπέζι του ESD) από τα σημεία της «κάτω» οδεύσεως του καλωδίου (αυτής που είναι πιο έξω στο τραπέζι του ESD). Εξαιρέση σε αυτόν τον κανόνα αποτελεί το πρώτο σημείο μέτρησης, το οποίο είναι στο μέσον της καμπυλότητας του καλωδίου επί του βακελίτη, οπότε απλώς σημαίνεται ως “A” (δεν υπάρχει άλλο για να ονομαστούν “Aup” και “Adown”). Επίσης εξαιρέση αποτελούν τα δύο τελευταία σημεία μέτρησης. Αυτά είναι ακριβώς πίσω από τα αρσενικά βύσματα, οριακά εκεί που συνδέονται στην κονσόλα του iSAFT. Αποφασίσαμε αυτά τα δύο σημεία να μην τα ονομάσουμε με γράμματα του αλφαβήτου, αλλά ως “Connector_up” και “Connector_down”, ώστε να είναι δηλωτικά του σημείου που γίνεται η τελευταία μέτρηση.

Κάθε σημείο μέτρησης αποφασίσαμε να το οριοθετούμε στο επίπεδο του πειράματος μέσω μίας συντεταγμένης. Αυτή είναι η απόστασή του από την δεξιά ακμή του HCP (διότι από εκεί ήταν εύκολο να στερεώνουμε την μετροταινία και να εντοπίζουμε την απόσταση του κάθε σημείου). Αυτές οι συντεταγμένες των σημείων μετρήσεως θα δοθούν στις παραγράφους 6.2.4.2 και 6.2.4.3, που ακολουθούν.

Εκτός της ονοματοδοσίας των σημείων μέτρησης, προκειμένου να μην συγχέουμε την μετρήσεις που λαμβάνουμε, αποφασίσαμε να υιοθετήσουμε ένα σύστημα ονοματοδοσίας και για το κάθε αρχείο μέτρησης (το παραγόμενο από την καταγραφή του παλμογράφου). Αυτό το σύστημα ονοματοδοσίας, όπως θα δούμε αμέσως, μας δίνει όλη την απαραίτητη πληροφορία για την κάθε μέτρηση.

- Αρχίζουμε με το πρόθεμα “4kV_” ή “8kV_”, το οποίο είναι δηλωτικό του ύψους της τάσεως που χρησιμοποιείται για το ESD.
- Συνεχίζουμε με το “ESD800_”. Αυτός ο κωδικός συνδυασμός γραμμάτων και αριθμού μας δείχνει σε ποιο σημείο γίνεται το φαινόμενο ESD. Όπως ξέρουμε, το ESD θα γίνει σε ένα σημείο της μπροστινής ακμής του HCP, ακάλυπτο από βακελίτη. Δυνητικά θα μπορούσε η εκφόρτιση να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο της ακμής αυτής και αυτός είναι και ένας βαθμός ελευθερίας του πειράματος. Γι’ αυτό και χρησιμοποιούμε τον αριθμό αυτόν (το “800”) για να δηλώσουμε πόσα mm από την μπροστινή αριστερή γωνία του HCP γίνεται το ESD²²².
- Ακολουθεί η ονομασία του σημείου μέτρησης με το probe (η οποία αποτελείται από δύο τμήματα, ένα δηλωτικό του μήκους του καλωδίου που είναι υπό δοκιμή και ένα δηλωτικό του σημείου που το αγκαλιάζει η αμπεροτσιμπίδα, όπως είπαμε παραπάνω).
- Τέλος, σαν κατακλείδα του ονόματος του αρχείου μέτρησης, έχουμε δώσει την φράση “_cable and interference”. Το σκεπτικό πίσω από αυτή την φράση εξηγείται στο σχόλιο που ακολουθεί.

Έτσι λοιπόν, ένα ενδεικτικό όνομα ενός αρχείου κυματομορφής μετρήσεως είναι: “8kV_ESD800_3m_Dup_cable_and_interference.csv”, (το οποίο συνοδεύεται από το αντίστοιχο “8kV_ESD800_3m_Dup_cable_and_interference.dat”, αφού σώζουμε την κάθε μέτρηση και στις δύο αυτές μορφές που δίνει ο παλμογράφος, όπως είπαμε στο σχετικό σχόλιο στην υποενότητα 6.2.2).

Σχόλιο σχετικά με την κατάληξη των ονομάτων των αρχείων των μετρήσεων:

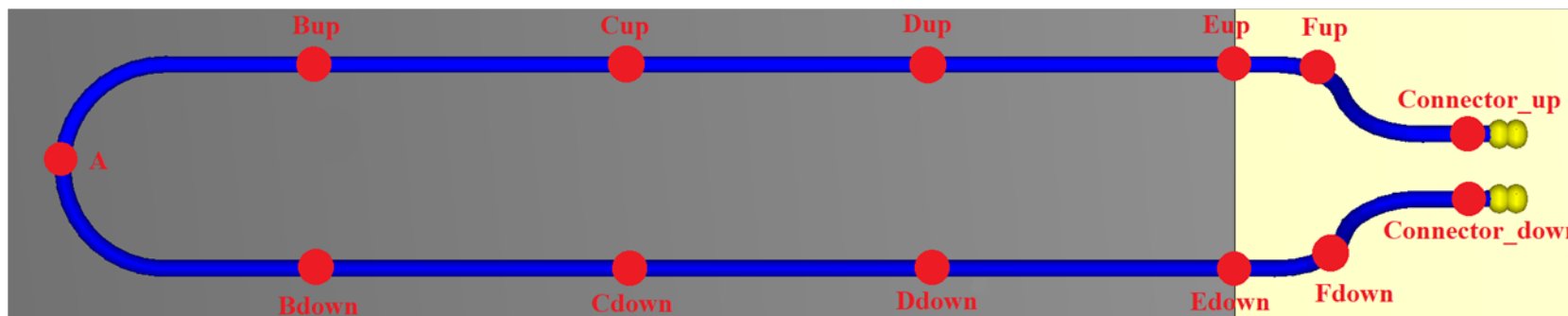
Παρατηρήσαμε ότι και χωρίς να έχουμε απλωμένο το καλώδιο, αν απλά είχαμε στερεώσει το probe όρθιο επάνω στον βακελίτη και εκτελούσαμε ένα ESD, τότε το probe μετρά ένα πολύ μικρό ρεύμα. Συνεπώς υπάρχει μια παρεμβολή (interference) η οποία οφείλεται στο πεδίο, που αναπτύσσεται στο HCP από το ESD. Για κάποιον λοιπόν που θέλει να έχει την μέγιστη δυνατή ακρίβεια του ρεύματος του καλωδίου, το ορθότερο και πληρέστερο θα ήταν να κάνει τις μετρήσεις του με το καλώδιο και κατόπιν να το αποσύρει και να λάβει μετρήσεις με το probe σε ίδιο τρόπο τοποθέτησης και στην θέση κάθε σημείου, όπου πήρε μέτρηση και πριν, αγκαλιάζοντας το καλώδιο.

²²² Φυσικά εμείς για το πείραμά μας στο Εργαστήριο Υ. Τ., αλλά και για την προσομοίωσή μας στο CST, επιλέξαμε να έχουμε σταθερό το σημείο του ESD. Φυσικά όμως, σε μια άλλη εφαρμογή, αυτό μπορεί να αλλάξει, γι’ αυτό και είναι ορισμένο παραμετρικά στο CST (βλ. τα λεγόμενα στην υποενότητα 4.1.6). Άρα για τον ίδιο λόγο επιλέξαμε και στην ονοματοδοσία των μετρήσεων να το επισημάνουμε, ώστε αν στο μέλλον γίνει άλλη σειρά μετρήσεων με μεταβλητό το σημείο του ESD, αυτές οι δικές μας μετρήσεις να μην χάσουν την αξία τους και να μπορούν δυνητικά να αξιοποιηθούν, αφού θα είναι σαφές σε τι αναφέρονται.

Αυτές οι μετρήσεις (έχοντας ακριβώς το ίδιο χρονικό εύρος οριζοντίου άξονος) θα αφαιρούνταν στην συνέχεια από την κάθε μία αντίστοιχη μέτρηση με το καλώδιο και έτσι θα είχαμε ένα καθαρότερο αποτέλεσμα του ρεύματος του καλωδίου, απαλλαγμένο όσο το δυνατόν από Η/Μ παράσιτα. Όμως, με λίγες δοκιμές παρατηρήσαμε ότι αυτή η παρεμβολή ήταν πολύ πολύ χαμηλότερη σε σχέση με το ρεύμα που μετρούσαμε με το καλώδιο. Αποφασίσαμε λοιπόν να μην μπορούμε στην διαδικασία αυτή της μέτρησης σκέτης παρεμβολής και της εν συνεχεία αφαιρέσεως των κυματομορφών, πόσο μάλλον όταν πρόκειται για ένα απλό πείραμα επαλήθευσης του μοντέλου μας και όχι για λεπτομερή μελέτη του ESD. Παρ' όλα αυτά, για την περίπτωση που κάποιος στο μέλλον θέλει να προβεί σε μια λεπτομερή μελέτη του ESD, με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, επιλέξαμε να έχουμε δώσει την δυνατότητα διάκρισης των μετρήσεων με καλώδιο και επίδραση παρεμβολής και με σκέτη την παρεμβολή, μέσα από αυτή την κατάληξη στο όνομα των αρχείων που παράγει ο παλμογράφος. Έτσι θα μπορούν να διατηρηθούν οι μετρήσεις που κάναμε εμείς, σαν μετρήσεις και ρεύματος καλωδίου και παρεμβολής (κατάληξη “_cable and interference”) και θα χρειαστεί να γίνουν μόνο οι μετρήσεις της επίδραση του HCP, χωρίς το καλώδιο, σαν μετρήσεις με κατάληξη “_interference”. Η διαφορά των κυματομορφών θα μας δώσει κυματομορφές που θα ονομαστούν με κατάληξη σκέτο “_cable”.

6.2.4.2 Μετρήσεις στο Καλώδιο SpW των 3 m

Τα σημεία του καλωδίου SpW των 3 m, στα οποία πήραμε μέτρηση με την χρήση της αμπεριτσιμπιδας φαίνονται στο πρόχειρο σκίτσο που ακολουθεί. Πρόκειται για μία κάτοψη του απλωμένου καλωδίου των 3 m, προερχόμενη από το CST, στην οποία σημειώσαμε τα σημεία.



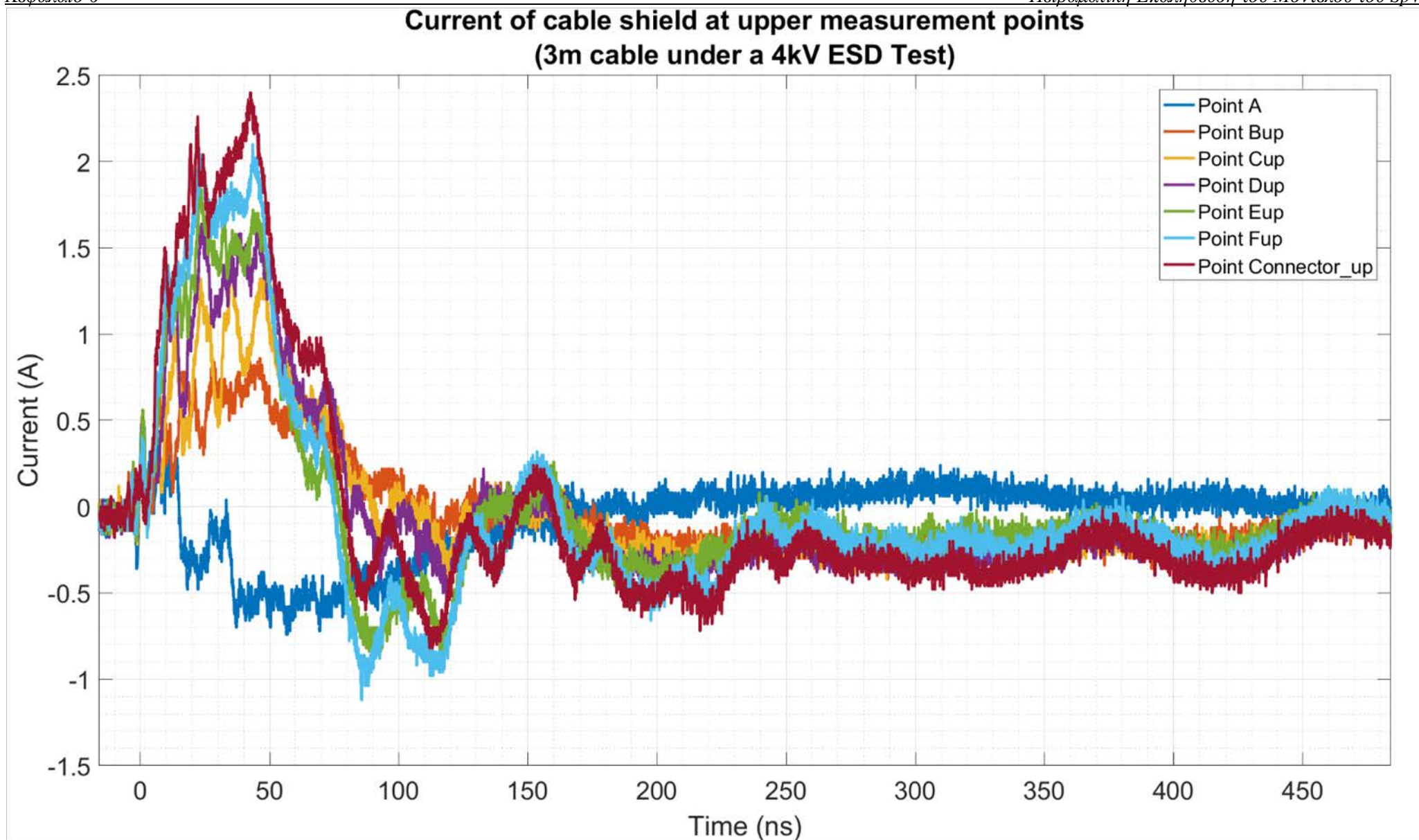
Σχήμα 6.1: Τα σημεία λήψης μετρήσεων από το Πείραμα Εμμέσου ESD στο Καλώδιο SpW των 3 m [56, με επεξεργασία στο Paint].

Η συντεταγμένη του κάθε σημείου (σύμφωνα με τον τρόπο προσδιορισμού της θέσης του, που εξηγήσαμε στην παράγραφο 6.2.4.1), είναι:

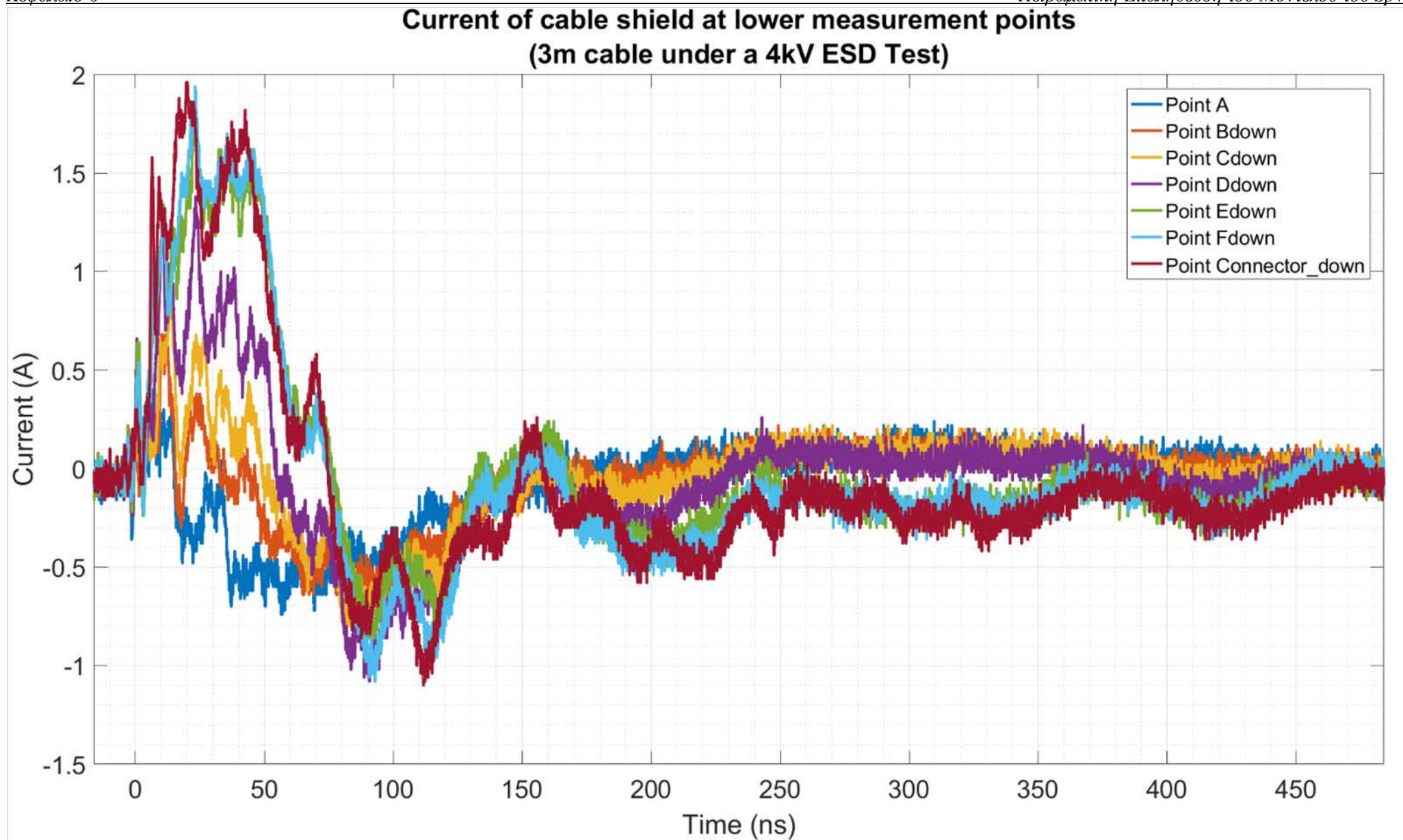
$3m_A$ (-116 cm),	$3m_Dup$ (-30 cm),	$3m_Fup$ (10 cm),
$3m_Bup$ (-90 cm),	$3m_Ddown$ (-30 cm),	$3m_Fdown$ (10 cm),
$3m_Bdown$ (-90 cm),	$3m_Eup$ (0 cm),	$3m_Connector_up$ (πίσω από τα βύσματα),
$3m_Cup$ (-60 cm),	$3m_Edown$ (0 cm),	$3m_Connector_down$ (πίσω από τα βύσματα).
$3m_Cdown$ (-60 cm),		

Στα σχήματα που ακολουθούν δίνουμε τις μετρήσεις του ρεύματος, που έγιναν στο καλώδιο των 3 m. Επιλέξαμε να τις παρουσιάσουμε ως εξής: σε κάθε σχήμα θα αποτυπώνουμε τις μετρήσεις, που λάβαμε για μία σειρά σημείων, είτε του πάνω είτε του κάτω τμήματος της οδεύσεως του καλωδίου, ξεκινώντας από το σημείο $3m_A$ και καταλήγοντας στο σημείο πριν τον κονέκτορα.

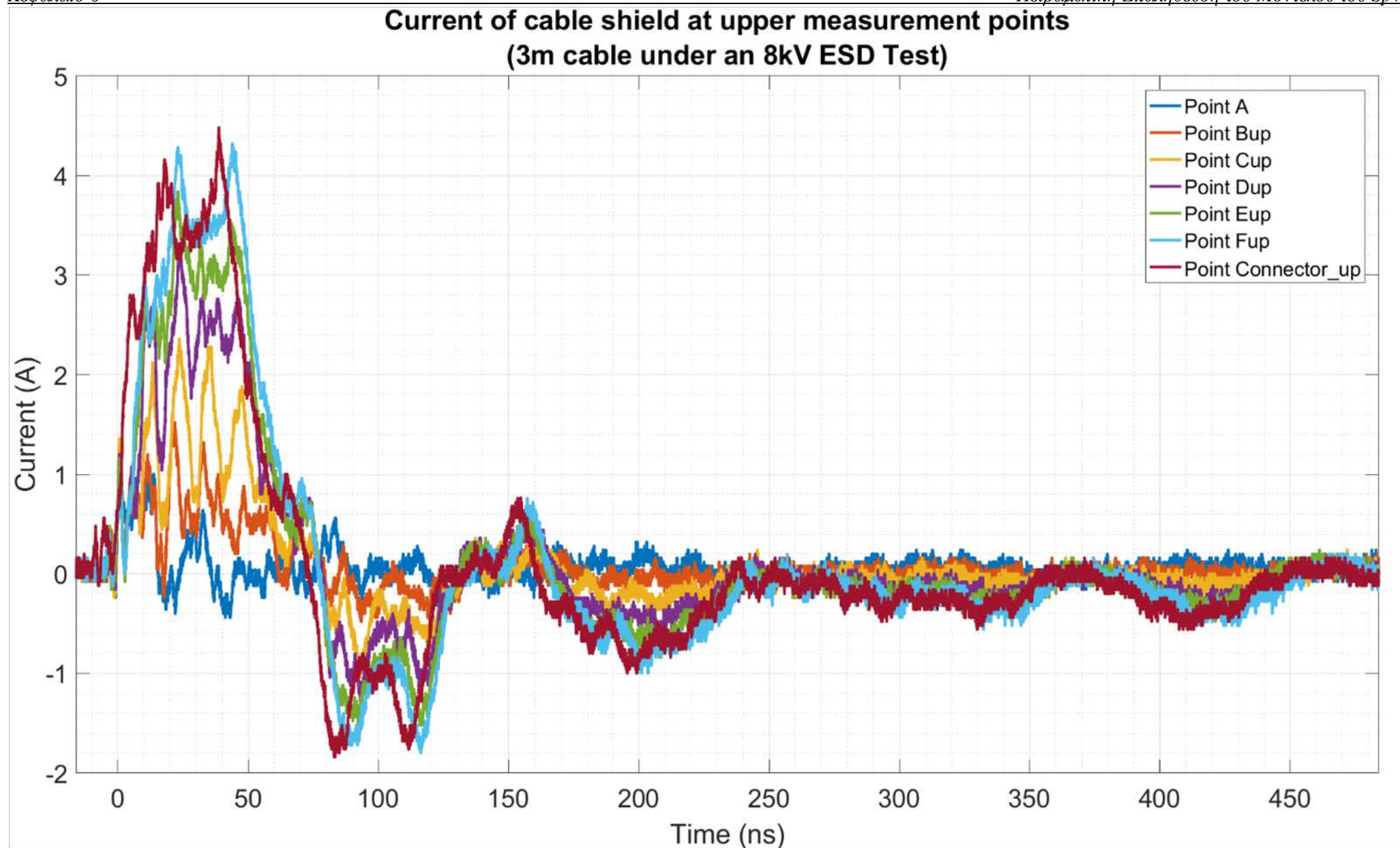
Όπως σημειώσαμε στην υποενότητα 6.2.3, το όλο χρονικό παράθυρο που καταγράψαμε στον παλμογράφο ήταν 800 ns (από τα -16 ns έως και τα 784 ns). Παρ' όλα αυτά, οι περισσότερες από τις μετρήσεις που επιλέξαμε να παρουσιάσουμε στην εργασία μας περιορίζονται από τα -16 ns έως και τα 484 ns (παράθυρο 500 ns), έτσι ώστε να είναι πιο εμφανείς οι διακυμάνσεις και οι διάρκειες των ταλαντώσεων των ρευμάτων σε γραφήματα που πρέπει να χωρούν σε μία σελίδα A4. Φυσικά όμως η μελέτη μας και τα λεγόμενά μας θα περιστραφούν γύρω από παρατηρήσεις και συμπεράσματα, που προκύπτουν από όλη την διάρκεια των 800 ns . Για κάθε καλώδιο όμως, θα δώσουμε και ένα γράφημα για την πλήρη διάρκεια που κατέγραψε ο παλμογράφος (ενδεικτικά για το ένα μόνο επίπεδο τάσεως, αυτο των 8 kV).



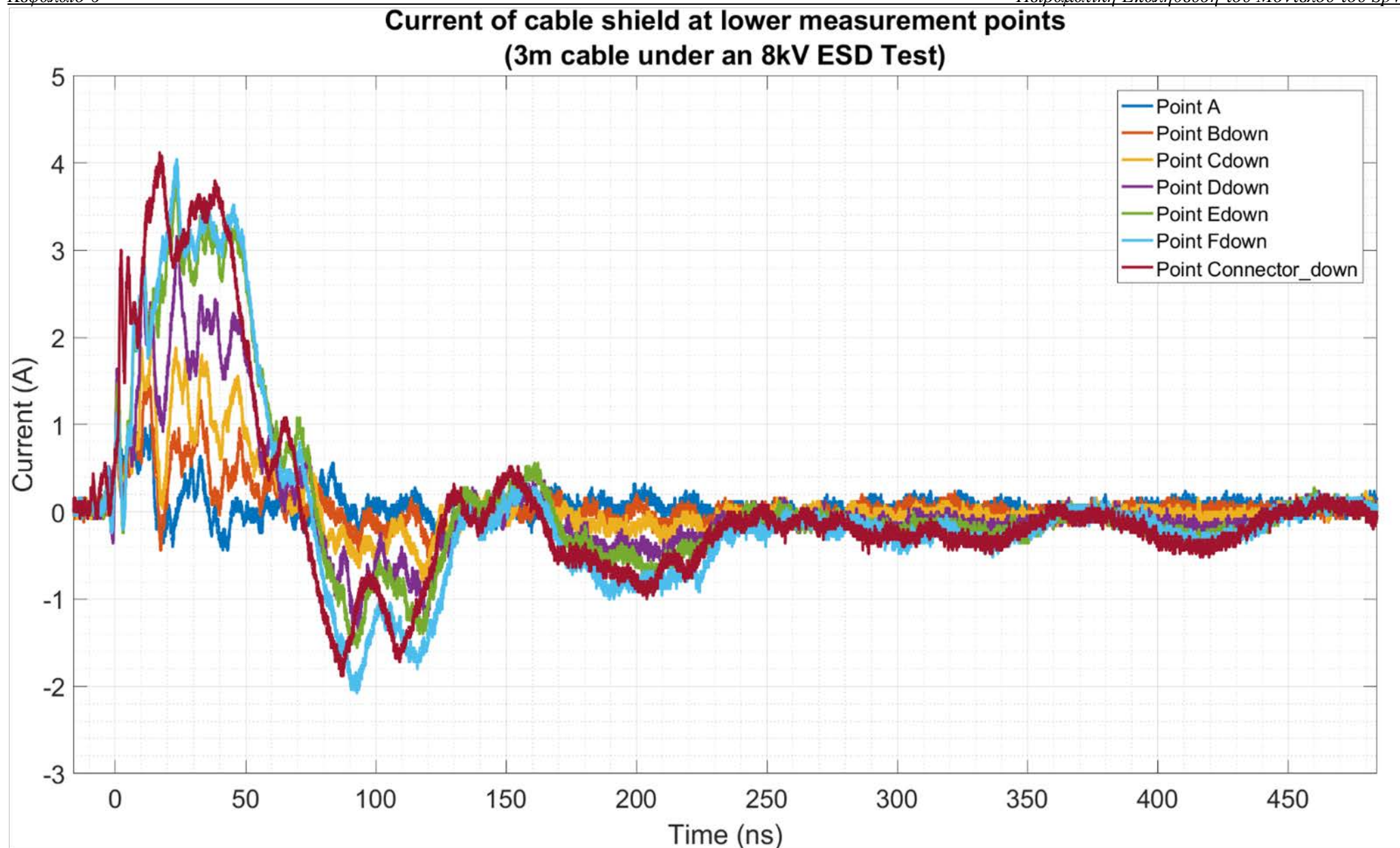
Σχήμα 6.2: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 4 kV, μετρούμενο στα σημεία του πάνω τμήματος της οδούσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].



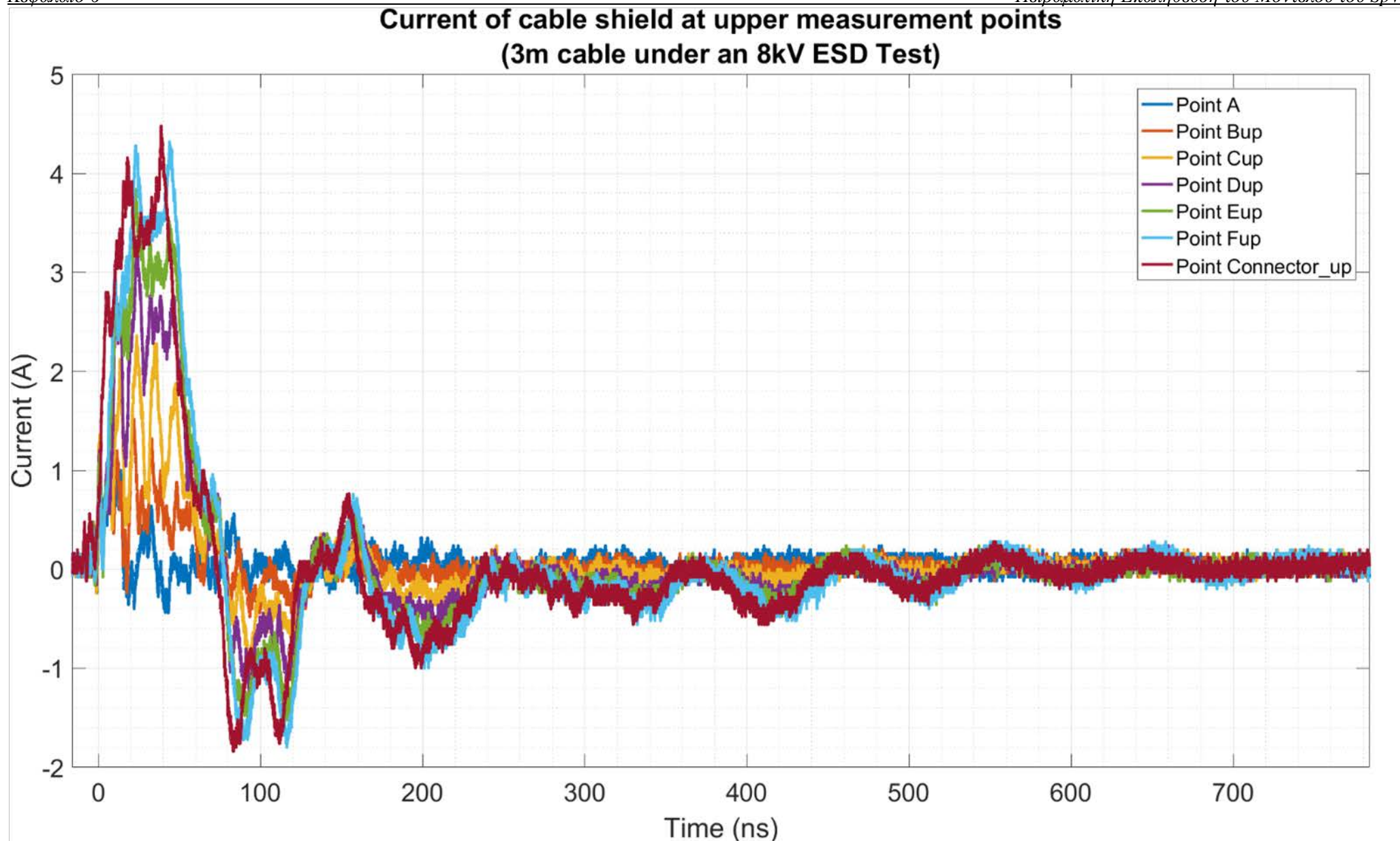
Σχήμα 6.3: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 4 kV, μετρούμενο στα σημεία του κάτω τμήματος της οδούσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Σχήμα 6.4: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του πάνω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Σχήμα 6.5: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του κάτω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].



Σχήμα 6.6: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του πάνω τμήματος της οδεύσεώς του και με άξονα χρόνου στο πλήρες εύρος των 800 ns, που κατεγράφησαν πρωτογενώς από τον παλμογράφο [Εργαστήριο Υ. Τ.].

6.2.4.3 Μετρήσεις στο Καλώδιο SpW των 10 m

Τα σημεία του καλωδίου SpW των 10 m, στα οποία πήραμε μέτρηση με την χρήση της αμπερτσιμπιδας φαίνονται στο πρόχειρο σκίτσο που ακολουθεί. Και πάλι παραθέτουμε μία κάτοψη του απλωμένου καλωδίου των 10 m, προερχόμενη από το CST, στην οποία σημειώσαμε τα σημεία. Απλώς λόγω του μεγαλύτερου μήκους αυτού του καλωδίου, η κάτοψη δείχνει το καλώδιο αρκετά μακρύτερα, σε σχέση με το καλώδιο των 3 m.



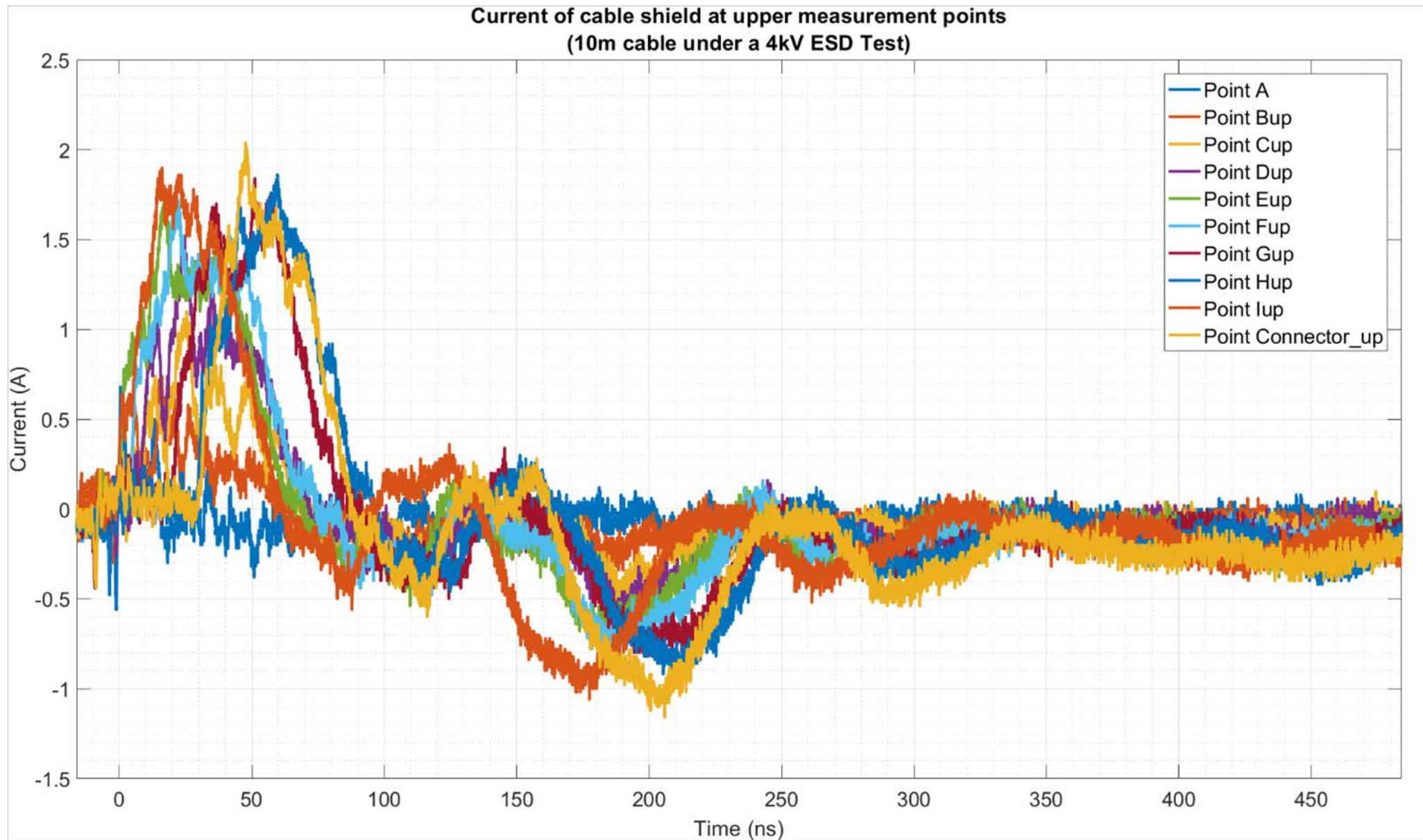
Σχήμα 6.7: Τα σημεία λήψης μετρήσεων από το Πείραμα Εμμέσου ESD στο Καλώδιο SpW των 10 m [56, με επεξεργασία στο Paint].

Η συντεταγμένη του κάθε σημείου (σύμφωνα με τον τρόπο προσδιορισμού της θέσης του, που εξηγήσαμε στην παράγραφο 6.2.4.1), είναι:

10m_A (-116 cm),	10m_Eup (0 cm),	10m_Hup (200 cm),
10m_Bup (-90 cm),	10m_Edown (0 cm),	10m_Hdown (200 cm),
10m_Bdown (-90 cm),	10m_Fup (10 cm),	10m_Iup (300 cm),
10m_Cup (-60 cm),	10m_Fdown (10 cm),	10m_Idown (300 cm),
10m_Cdown (-60 cm),	10m_Gup (100 cm),	10m_Connector_up (πίσω από τα βύσματα),
10m_Dup (-30 cm),	10m_Gdown (100 cm),	10m_Connector_down (πίσω από τα βύσματα).
10m_Ddown (-30 cm),		

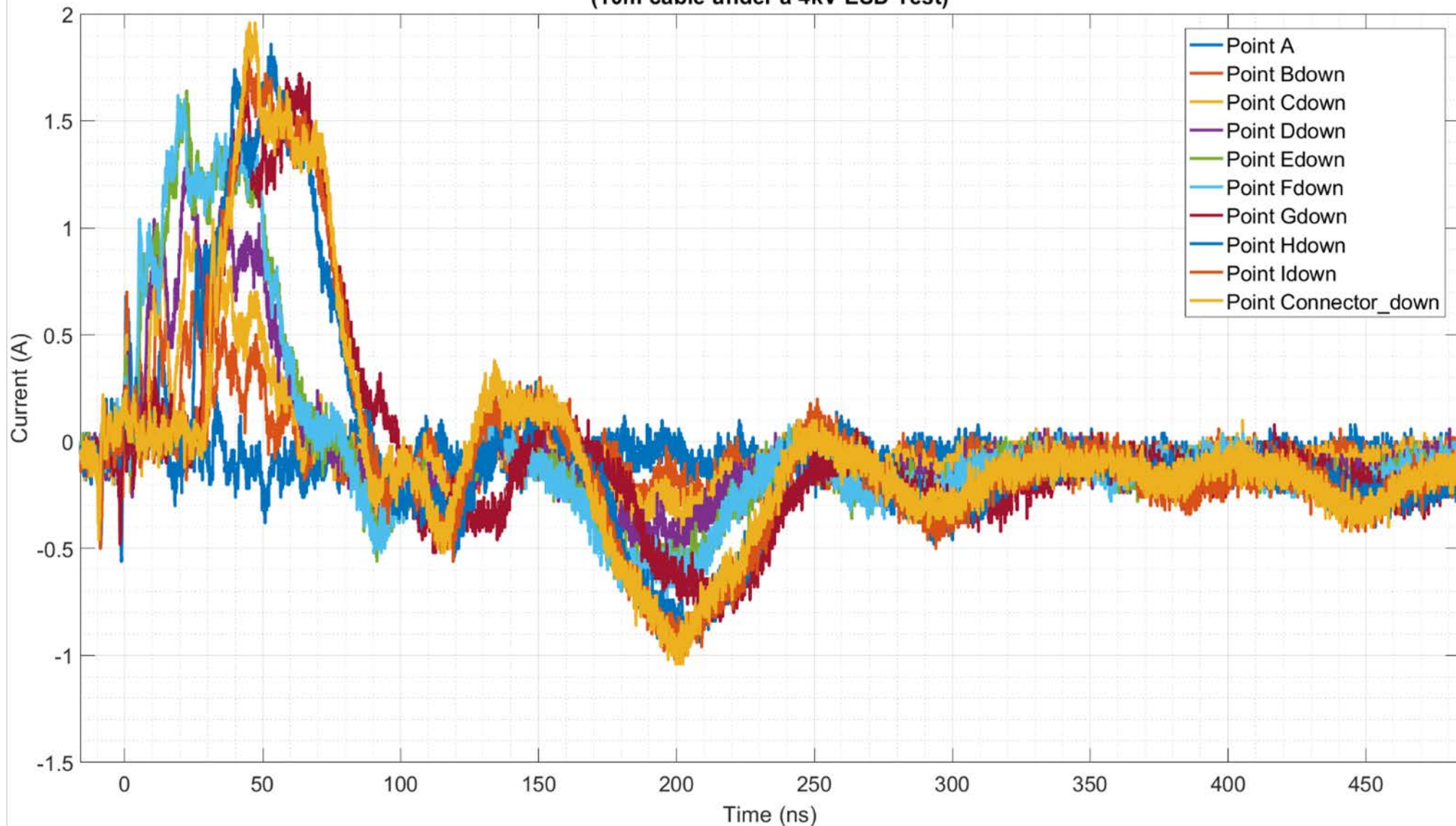
Στα σχήματα που ακολουθούν δίνουμε τις μετρήσεις του ρεύματος, που έγιναν στο καλώδιο των 10 m. Επιλέξαμε και για αυτό το καλώδιο να τις παρουσιάσουμε με τον ίδιο τρόπο με πριν. Δηλ. σε κάθε σχήμα θα αποτυπώνουμε τις μετρήσεις, που λάβαμε για μία σειρά σημείων, είτε του πάνω είτε του κάτω τμήματος της οδεύσεως του καλωδίου, ξεκινώντας από το σημείο 3m_A και καταλήγοντας στο σημείο πριν τον κονέκτορα.

Όπως κάναμε και για το καλώδιο των 3 m (και για τον ίδιο λόγο, δηλ. για να είναι ευδιάκριτες οι διακυμάνσεις και οι διάρκειες των ταλαντώσεων των ρευμάτων), έτσι και τώρα, θα παραθέσουμε τις κυματομορφές, που κατέγραψε ο παλμογράφος, μόνο για το παράθυρο των 500 ns (από τα -16 ns έως και τα 484 ns). Θα δώσουμε όμως στο τέλος και ένα γράφημα για την πλήρη διάρκεια των 800 ns, που κατέγραψε ο παλμογράφος (και πάλι ενδεικτικά για το ένα μόνο επίπεδο τάσεως, αυτο των 8 kV).



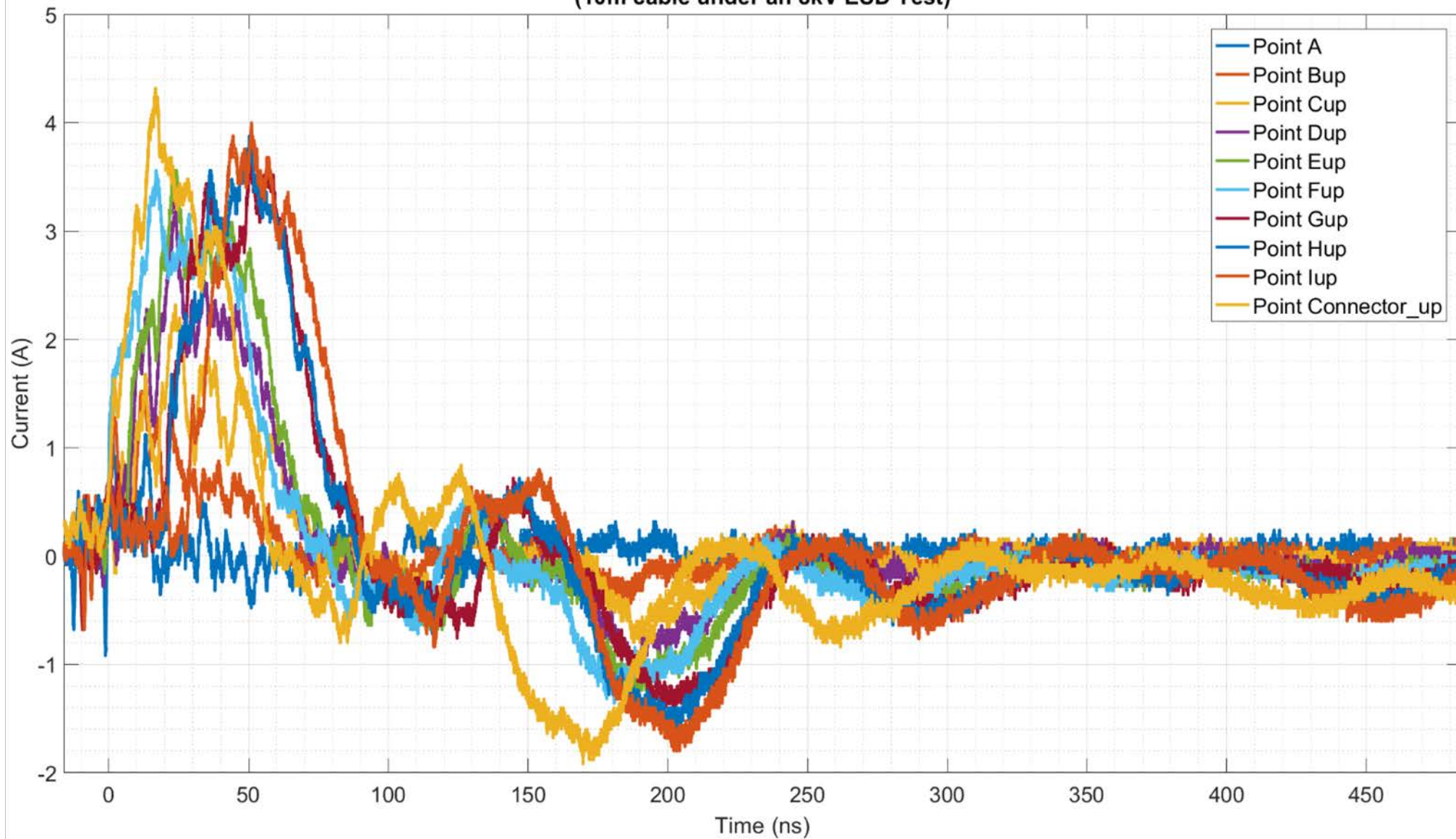
Σχήμα 6.8: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 10 m, για ESD ύψους 4 kV, μετρούμενο στα σημεία του πάνω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Current of cable shield at lower measurement points
(10m cable under a 4kV ESD Test)



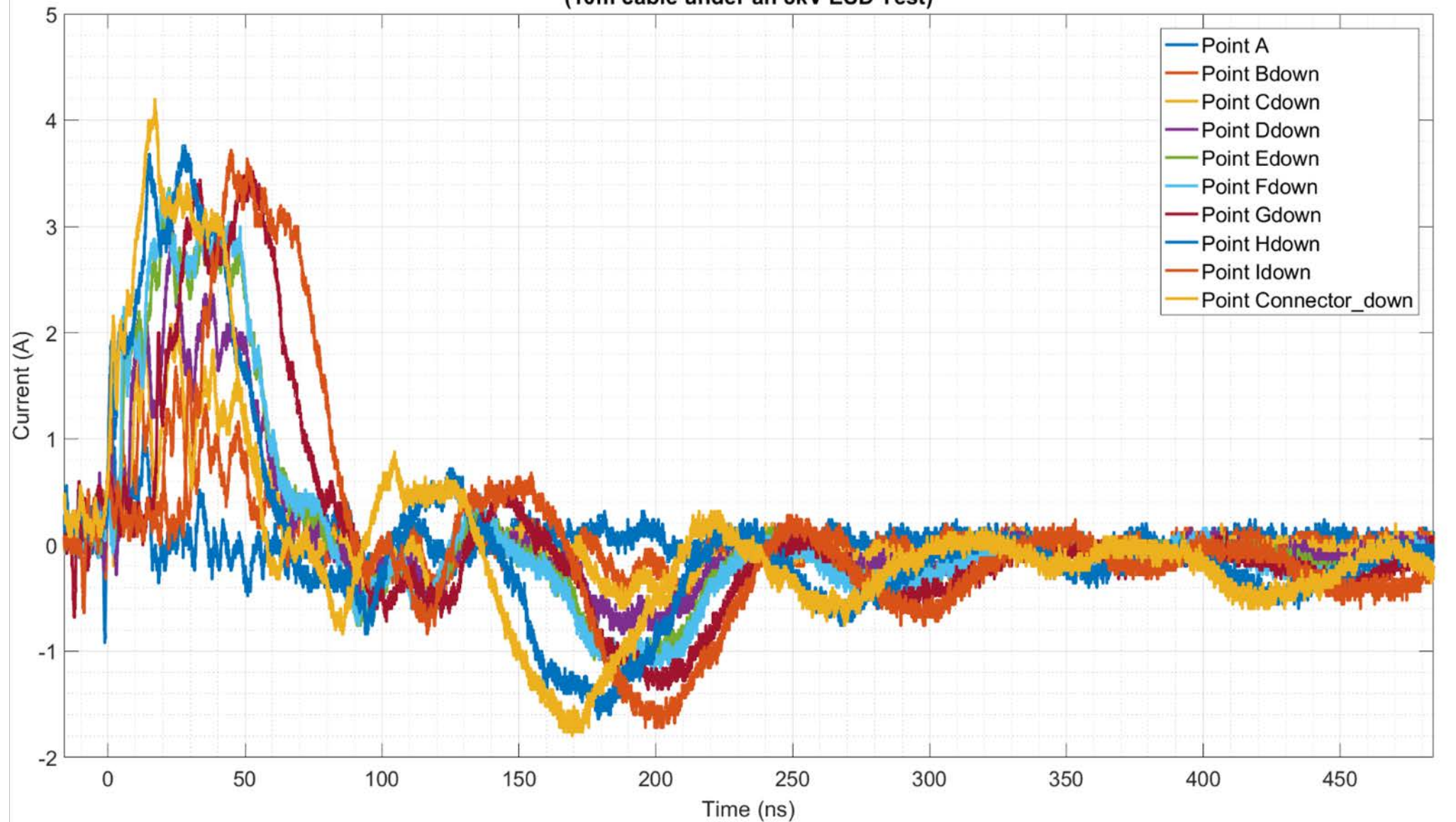
Σχήμα 6.9: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 10 m, για ESD ύψους 4 kV, μετρούμενο στα σημεία του κάτω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Current of cable shield at upper measurement points
(10m cable under an 8kV ESD Test)



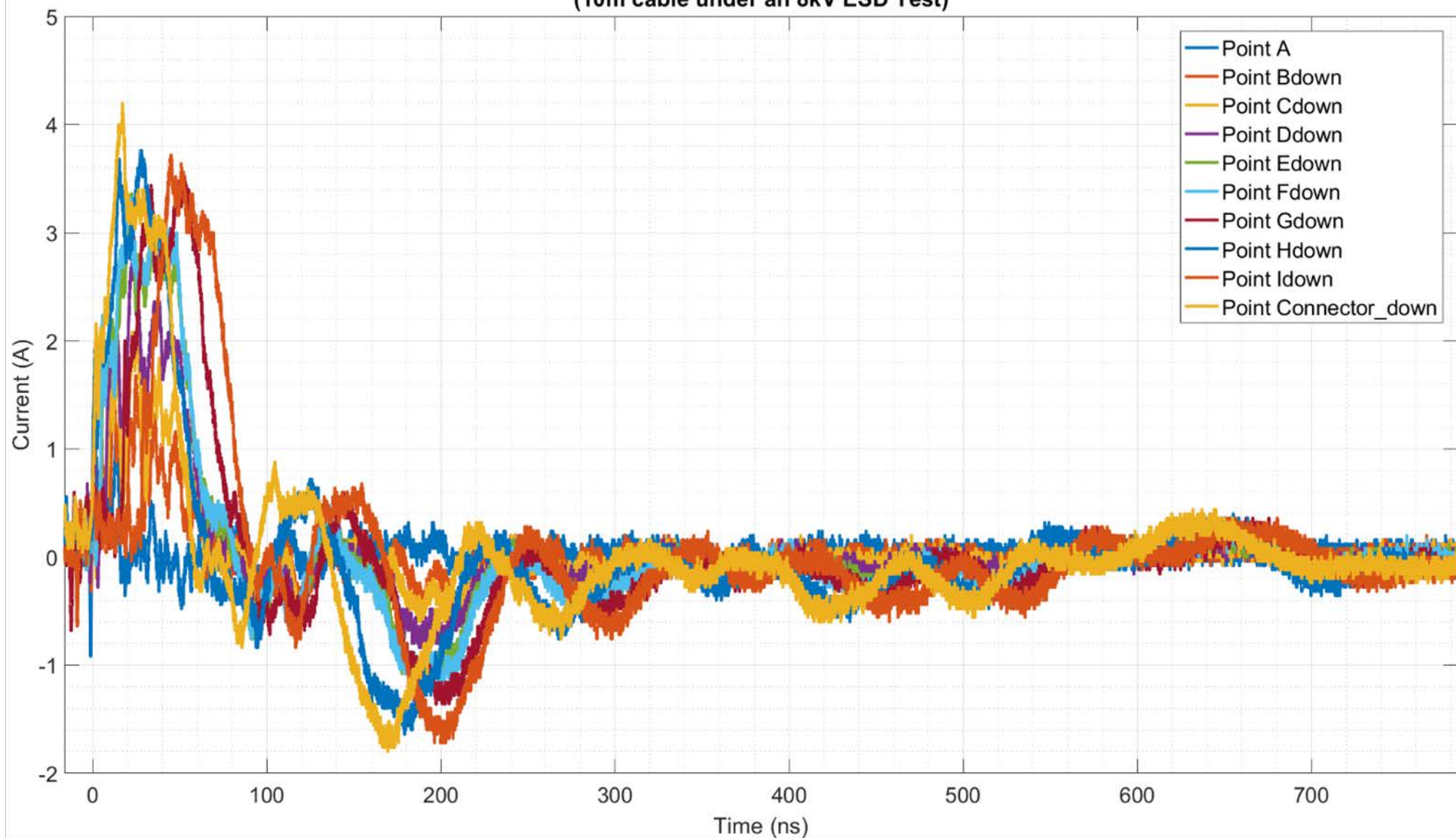
Σχήμα 6.10: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 10 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του πάνω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Current of cable shield at lower measurement points
(10m cable under an 8kV ESD Test)



Σχήμα 6.11: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 10 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του κάτω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Current of cable shield at lower measurement points
(10m cable under an 8kV ESD Test)



Σχήμα 6.12: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 10 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στα σημεία του κάτω τμήματος της οδεύσεώς του και με άξονα χρόνου στο πλήρες εύρος των 800 ns, που κατεγράφησαν πρωτογενώς από τον παλμογράφο [Εργαστήριο Υ. Τ.].

6.2.5 Συμπεράσματα

Το φαινόμενο ESD είναι ένα μεταβατικό H/M φαινόμενο, το οποίο δημιουργεί επάνω στην επιφάνεια αλουμινίου του HCP μία κατανομή πεδίου. Η εφαρμογή μιας κρουστικής τάσεως (θετικής πολικότητας) επάνω στο HCP είναι στην ουσία η έγχυση φορτίου (έγχυση θετικού φορτίου, λόγω της θετικής πολικότητας της κρουστικής τάσεως άρα στην πραγματικότητα απορρόφηση αρνητικού φορτίου, δηλ. ηλεκτρονίων, των μόνων φορτίων που μπορούν να κινηθούν) συγκεκριμένης ποσότητας και συγκεκριμένης χρονική μεταβολής, η οποία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας κρουστικής τάσεως. Αυτή η ποσότητα φορτίου, με αυτή την χρονική μεταβολή, διαχέεται στο HCP, εγκαθιστά ένα πεδίο σε αυτό και σταδιακά αποχωρεί προς την γη από την οδό της αντιστάσεως αποφορτίσεως (bleeder). Η χρονική κατανομή του φορτίου, που πέφτει στο HCP, εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της κρουστικής γεννήτριας ενώ η χωρική του κατανομή επί του HCP επηρεάζεται και από το σημείο εφαρμογής της υπέρτασης και από την γεωμετρία του ίδιου του HCP.

Το πεδίο του HCP, με την σειρά του, επάγει μία μετακίνηση και κατά συνέπεια μια ροή φορτίων μέσα στο καλώδιο SpW. Το φαινόμενο λοιπόν αυτό δημιουργεί μια επαγόμενη ροή ρεύματος στο καλώδιο. Η επαγωγή αυτή γίνεται παρά την ύπαρξη του λεπτού μονωτικού στρώματος βακελίτη (την ύπαρξη του οποίου υπαγορεύουν οι οδηγίες για έμμεσο ESD σε καλώδια). Δηλ. το μεταβατικό φαινόμενο στο HCP δημιουργεί σε αυτό αλλά και στον χώρο γύρω του ένα πεδίο, το οποίο προφανώς υφίσταται και επάνω από το μονωτικό στρώμα βακελίτη, οπότε επάγει μεταβατικά ρεύματα και στο καλώδιο.

6.2.5.1 Το Ρεύμα που Μετράται με το Probe

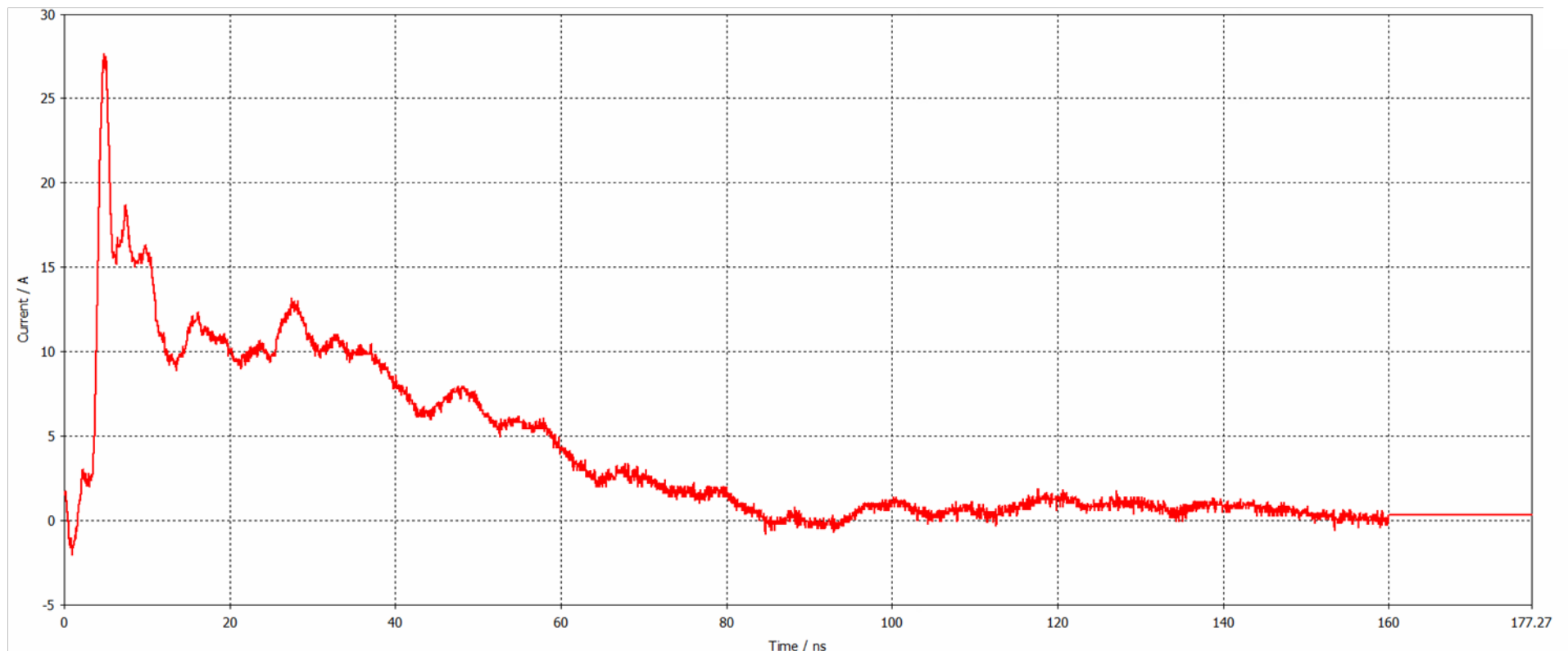
Το πεδίο του HCP επάγει ρεύμα εν πρώτοις στην εξωτερική θωράκιση του καλωδίου. Εφ' όσον η έγχυση του φορτίου γίνεται με εφαρμογή κρουστικής τάσεως υψηλής τιμής (με όσο ρεύμα προκύψει) και όχι με εξαναγκασμένη ροή πολύ υψηλού ρεύματος, από το H/M πεδίο που αναπτύσσεται στο HCP, εντονότερο είναι το ηλεκτρικό πεδίο και λιγότερο έντονο το μαγνητικό. Άρα και στην εξωτερική θωράκιση του SpW το επαγόμενο ρεύμα οφείλεται πιο πολύ στο μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Τα αγώγιμα μέρη του καλωδίου που είναι πιο μέσα από την εξωτερική θωράκιση, δηλ. οι εσωτερικές θωρακίσεις και οι εσωτερικοί αγωγοί του σημάτων των διαφορικών ζευγών, θα επηρεαστούν σαφώς λιγότερο από την απ' ευθείας επίδραση του πεδίου του HCP (και αυτό γιατί είναι όλο και πιο απομακρυσμένα από το αρχικό πεδίο αλλά και διαδοχικά θωρακισμένα). Βέβαια οι εσωτερικές θωρακίσεις και οι εσωτερικοί αγωγοί θα έχουν ένα επηρεασμό και από το πεδίο που θα αναπτυχθεί δευτερογενώς, από την ροή ρεύματος στην εξωτερική θωράκιση. Αυτή η συνιστώσα πεδίου δημιουργείται κατ' εξοχήν από το μεταβαλλόμενο ρεύμα της εξωτερικής θωράκισης, οπότε είναι συνιστώσα μαγνητικού πεδίου. Το ότι θα υπάρχει επηρεασμός των εσωτερικών αγωγών το καταλαβαίνουμε από το γεγονός ότι, σε κάθε ESD παρατηρούμε errors (απώλειες πακέτων ή διακοπές της ζεύξης του SpW) από το Monitor της ζεύξης, μέσω του iSAFT. Καταλήγει δηλ. να αναπτυχθεί εξ' επαγωγής κάποιο μεταβατικό σήμα ρεύματος στους εσωτερικούς αγωγούς και η πλακέτα του Receiver, αντί να βλέπει τα συνηθισμένα ρεύματα του LVDS (ή τα συνηθισμένα επίπεδα τάσεως επάνω στην αντίσταση εισόδου του τελεστικού ενισχυτή, βλ. το Σχήμα 1.1), βλέπει κάτι άσχετο (από πλευράς κυματομορφής) και πολύ υψηλότερο (από πλευράς τιμής), που την οδηγεί σε error.

Όταν λοιπόν κάνουμε μέτρηση του ρεύματος με αμπεροτσιμπίδα, εν γένει λαμβάνουμε ένα αποτέλεσμα οφειλόμενο σε επαλληλία της επιδράσεως όλων των ρευμάτων, που ρέουν στους αγωγούς που «αγκαλιάζονται» από αυτήν. Δυστυχώς δεν μπορούμε να διακόψουμε κάπως το καλώδιο ώστε να μετρήσουμε χωριστά τα ρεύματα του κάθε αγωγίμου τμήματός του. Παρ' όλα αυτά, **στην πράξη μετράμε κυρίως το ρεύμα της εξωτερικής θωρακίσεως**, διότι είναι το υψηλότερο σε τιμή και είναι και το εξώτατο ρεύμα στο καλώδιο, οπότε θα διεγείρει εντονότερα το probe. Τα αναπτυσσόμενα ρεύματα των εσωτερικότερων αγωγών (θωρακίσεων και σημάτων) θα είναι όλο και μικρότερα καθώς απομακρύνονται όλο και περισσότερο από το αρχικό πεδίο που δημιουργεί την παρεμβολή (και θωρακίζονται ως προς αυτό). Λόγω λοιπόν της μικρότερης τιμής τους και λόγω του ότι θα είναι βαθύτερα στο καλώδιο, θα είναι όλο και λιγότερο ανιχνεύσιμα από το Probe.

6.2.5.2 Εγγερόμενο Ρεύμα από το ESD

Το φορτίο που παράγει το ESD και «ρίχνει» στο HCP, «εγγέεται» προφανώς με την μορφή ενός κρουστικού ρεύματος. Η μορφή του ρεύματος του ESD είναι τυποποιημένη και περιγράφεται αναλυτικά στο IEC 61000-4-2 [11]. Η συσκευή του πιστολιού ESD του εργαστηρίου παράγει ακριβώς τέτοιους τυποποιημένους παλμούς ESD, σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο. Ενδεικτικά παραθέτουμε μια κυματομορφή τέτοιου ρεύματος στην συνέχεια²²³.

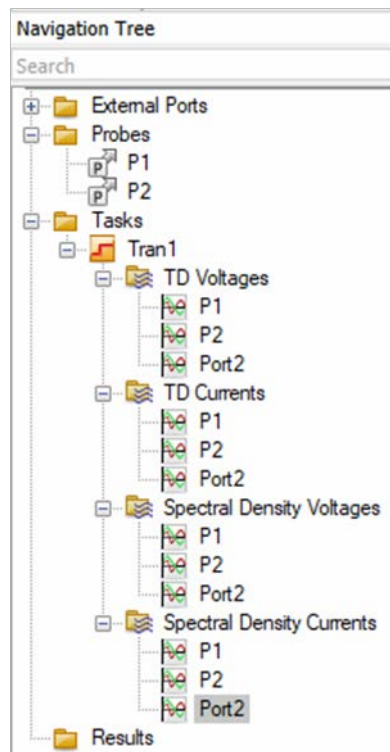


Σχήμα 6.13: Η κυματομορφή του κρουστικού ρεύματος ενός παλμού ESD ύψους 8 kV, προερχομένου από την συσκευή του Εργαστηρίου Υ. Τ., όπως φαίνεται στο περιβάλλον του CST [56].

²²³ Να σημειώσουμε ότι οι κυματομορφές αυτές των Σχημάτων 6.13 και 6.14, που θα ακολουθήσουν, προέρχονται από το Project που δημιουργήθηκε στο CST, προκειμένου να προσομοιώσουμε το ESD (προς επαλήθευση της ορθότητας του δημιουργηθέντος καλωδίου SpW). Σε αυτό το Project θα αναφερθούμε αναλυτικά στην ενότητα 6.3, απλώς ήταν ανάγκη να παραθέσουμε εδώ αυτές τις κυματομορφές (στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας), έτσι ώστε να ερμηνεύσουμε καλύτερα το πραγματικό πείραμα στο Εργαστήριο.

Πρόκειται για κρουστικό ρεύμα από παλμό ESD αυτής ακριβώς της συσκευής του Εργαστηρίου Υ. Τ., με ύψος τάσεως 8 kV. Ακριβώς αυτή η κυματομορφή έχει δοθεί ως σήμα εισόδου για το φαινόμενο ESD των 8 kV στον προσομοιωτή CST (κάτι που γίνεται με τρόπο που θα εξηγήσουμε στην υποπαράγραφο 6.3.1.4.3).

Για να ερμηνεύσουμε αργότερα και τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από τις μετρήσεις μας, έχει αξία να διερευνήσουμε λίγο το συχνοτικό περιεχόμενο της παραπάνω κυματομορφής. Αυτό εύκολα μπορεί να γίνει αν λάβουμε σε αυτήν τον μετασχηματισμό Fourier. Κάτι τέτοιο μπορούμε να κάνουμε φυσικά με την βοήθεια του MATLAB (εισάγοντας το αρχείο των τιμών, που περιγράφει την κυματομορφή αυτή και υποβάλλοντας το στην συνάρτηση FFT). Όμως το CST μας διευκολύνει ακόμη περισσότερο, διότι, εκτός της καθ' αυτό κυματομορφής του ρεύματος, μας δίνει και το φασματικό της περιεχόμενο²²⁴. Αυτό το εντοπίζουμε αν μεταφερθούμε στο Schematic (για το οποίο θα μιλήσουμε στην παράγραφο 6.3.1.4) και κατόπιν από αριστερά, από το Navigation Tree, ανοίξουμε τον Φάκελο “Tasks” και συνεχίσουμε στους παρακάτω ιεραρχικά υποφακέλους, μέχρι τον φάκελο “Spectral Density Currents” (βλ. Εικόνα 6.1).

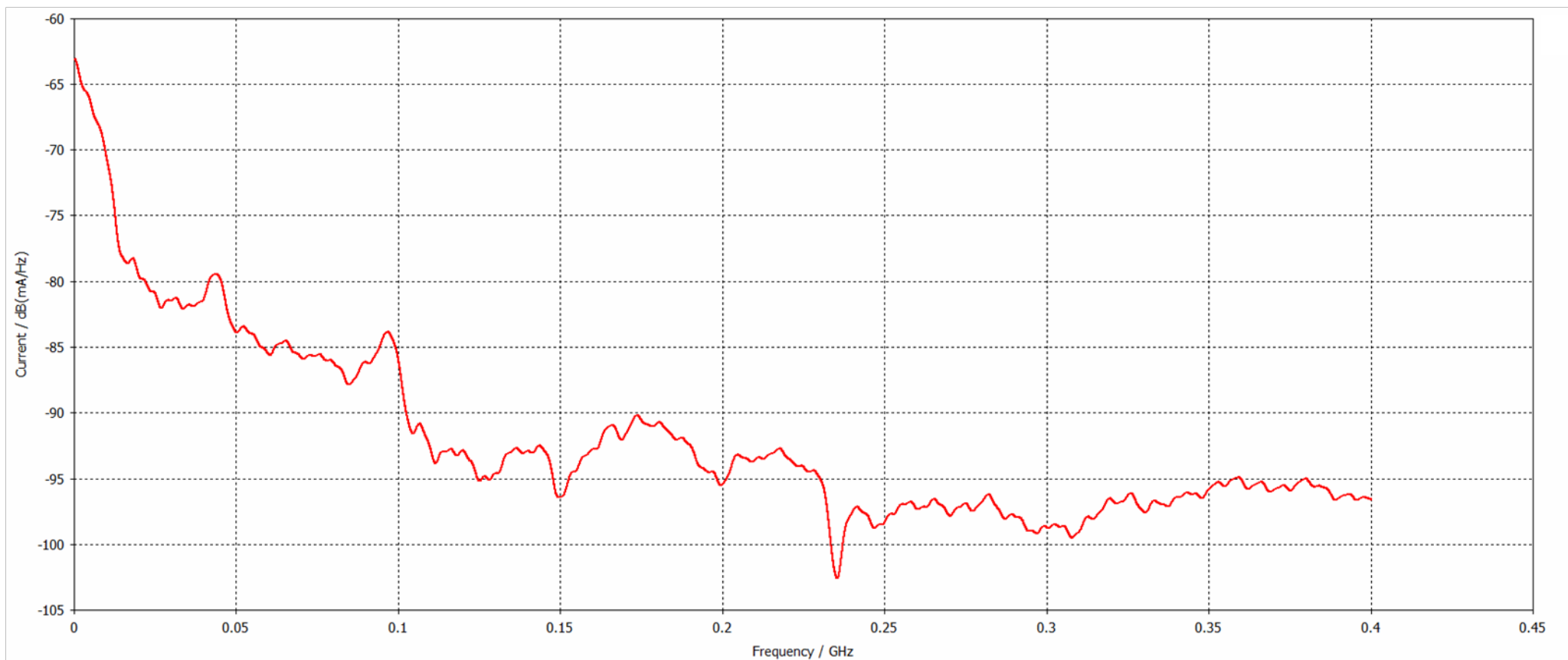


Εικόνα 6.1: Εντοπισμός των κυματομορφών στο CST [56].

Από τον φάκελο λοιπόν με τις φασματικές πυκνότητες των ρευμάτων, επιλέγουμε αυτήν που αντιστοιχεί στο ρεύμα του ESD (“Port2”, όπως είναι η ονομασία που της δόθηκε στο Project), το οποίο είναι η διέγερση του πειράματός μας, άρα είναι είσοδος για την προσομοίωση. Η σχετική γραφική παράσταση ακολουθεί (βλ. Σχήμα 6.14).

Από το συγκεκριμένο γράφημα λοιπόν, διαπιστώνουμε ότι το ESD φαινόμενο, δηλ. αυτή η Η/Μ διέγερση, που δημιουργείται στο Εργαστήριο, έχει φασματικό περιεχόμενο, το οποίο εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Η περισσότερη ισχύς είναι στην περιοχή των πιο χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος, από το DC μέχρι περίπου τα 50 MHz, όμως το ρεύμα αυτό έχει φασματικό περιεχόμενο υπολογίσιμο σίγουρα μέχρι τα 100 MHz (ίσως και μέχρι τα 150 MHz με 200 MHz). Συνεπώς το HCP πρώτα και το καλώδιο κατ' επέκταση, διεγείρονται από ένα Η/Μ φαινόμενο με συχνοτικό περιεχόμενο οπωσδήποτε μέχρι τα 100 MHz, αν όχι και παραπάνω.

²²⁴ Γενικά το CST, μετά από μια επίλυση στο πεδίο του χρόνου, μας παρέχει τις κυματομορφές των σημάτων (των εισαγομένων ως πηγών και των μετρουμένων ως εξόδων) τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας (δηλ. μας δίνει την φασματική τους πυκνότητα).

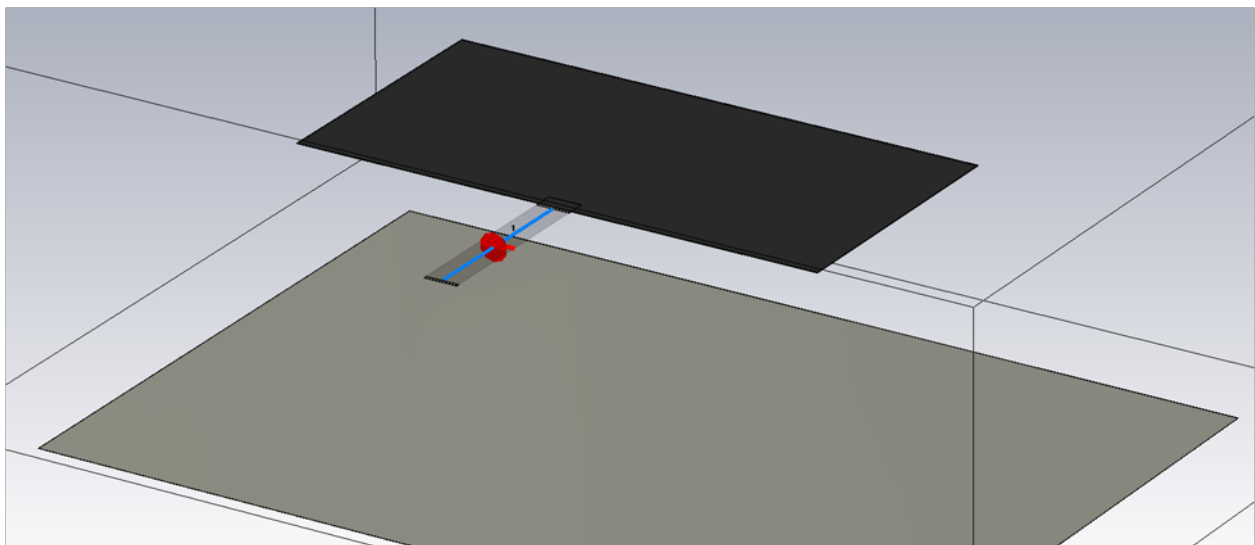


Σχήμα 6.14: Η φασματική πυκνότητα του κρουστικού ρεύματος ενός παλμού ESD ύψους 8 kV, προερχομένου από την συσκευή του Εργαστηρίου Υ. Τ., όπως φαίνεται στο περιβάλλον του CST [56].

6.2.5.3 Το Πεδίο που Αναπτύσσεται στο HCP

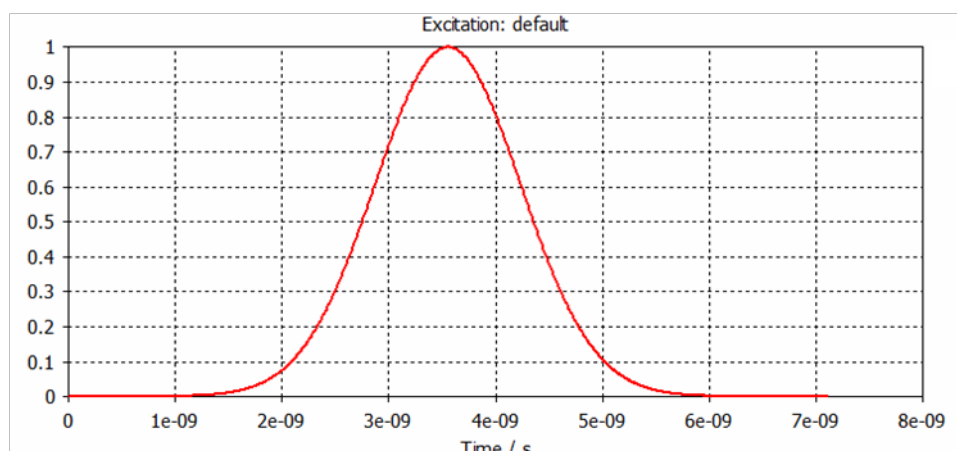
Όπως είπαμε στην ακριβώς προηγούμενη παράγραφο, το HCP διεγείρεται από ένα Η/Μ φαινόμενο με συχνοτικό περιεχόμενο οπωσδήποτε μέχρι τα 100 MHz, αν όχι και λίγο παραπάνω. Συνεπώς και το πεδίο το οποίο αναπτύσσεται στο το HCP είναι ένα μεταβαλλόμενο πεδίο με συχνοτικό περιεχόμενο που εκτείνεται σίγουρα μέχρι αυτή την συχνότητα.

Προκειμένου να δώσουμε καλύτερες εξηγήσεις περί της μορφής των ρευμάτων, που λάβαμε από τις μετρήσεις μας, κρίναμε σκόπιμο να κάνουμε μια σύντομη διερεύνηση του πεδίου, που αναπτύσσεται σε μια διάταξη όπως αυτή του πειράματος ESD. Δηλ. δημιουργήσαμε εν τάχει ένα CST Project στο οποίο κατασκευάσαμε ένα μεταλλικό φύλλο των ιδίων διαστάσεων με το HCP, το οποίο βρίσκεται επάνω από ένα άλλο μεταλλικό φύλλο, διαστάσεων όσο το GRP στο πείραμα. Το επάνω μεταλλικό φύλλο δέχεται πεδιακή διέγερση με την μορφή εγχύσεως ρεύματος, με ίδιο τρόπο με αυτόν που γίνεται και στο πείραμά μας, από την μπροστινή πλευρά του HCP. Μάλιστα για να είμαστε ακόμη πιο κοντά στο πείραμα, τοποθετήσαμε και ένα φύλλο βακελίτη επάνω από την μεταλλική επιφάνεια (εξ' ου και το μαύρο χρώμα στην Εικόνα 6.2, που ακολουθεί).



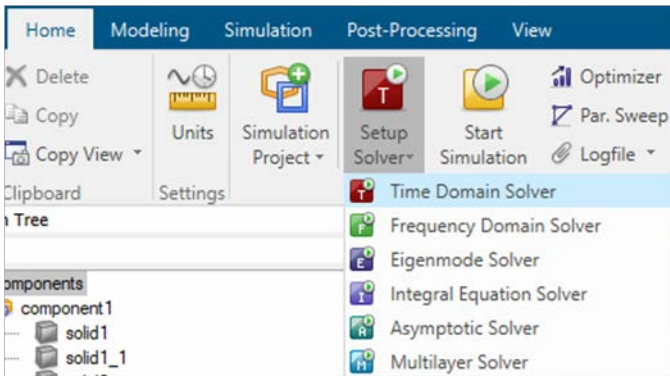
Εικόνα 6.2: Η διάταξη προς υπολογισμό του πεδίου του HCP, μετά από την διέγερση που δέχεται [56].

Προκειμένου να παρατηρήσουμε το πώς κατανέμεται το πεδίο, που διεγείρεται σε αυτή την διάταξη από μια πηγή ρεύματος (και χωρικά πώς κατανέμεται, αλλά και σε ποιές συχνότητες), αποφασίσαμε να δηλώσουμε στην διέγερσή μας μια κυματομορφή ενός Gaussian παλμού, ο οποίος είναι ένα είδος ευρυζωνικής διεγέρσεως, με ισχύ δηλ. σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων (βλ. το Σχήμα 6.15).

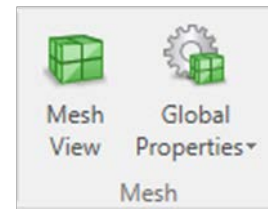


Σχήμα 6.15: Η κυματομορφή της διέγερσης του HCP, προς μελέτη της κατανομής του πεδίου του [56].

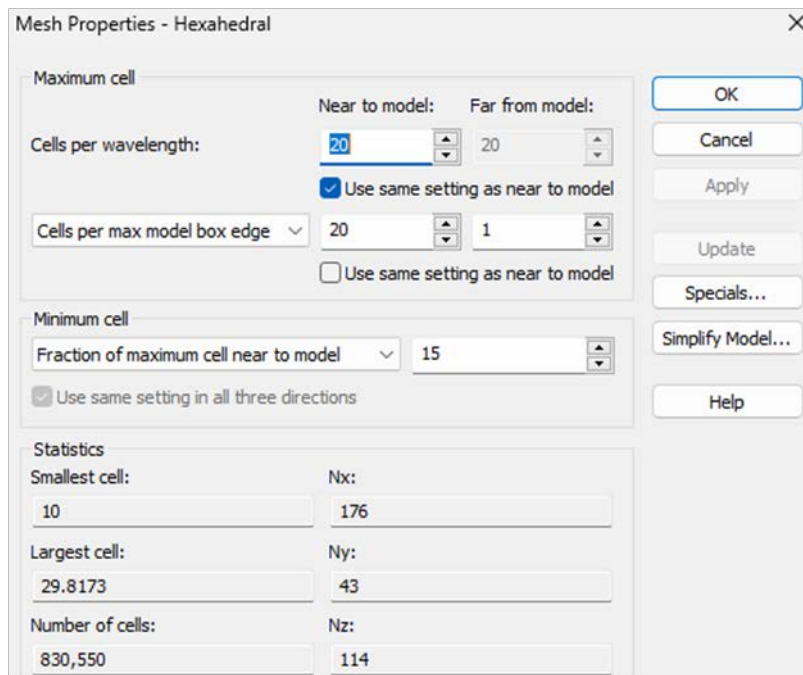
Μετά και τον ορισμό της διεγέρσεως έπρεπε να ορίσουμε τα σχετικά με την προσομοίωση, από την καρτέλα “Simulation” της εργαλειοταινίας “Home”, επιλέγουμε τον επιλύτη μας (“solver”) να είναι στο πεδίο του χρόνου (“Time Domain Solver”), ώστε να γίνει η λεγόμενη “Transient” ανάλυση (βλ. την Εικόνα 6.4). Έχοντας επιλέξει τον “Solver”, επόμενη ενέργεια είναι να καθορίσουμε το πλέγμα των υπολογισμών (“Mesh”). Αυτό το βρίσκουμε από την καρτέλα «Mesh», η οποία βρίσκεται τόσο στην εργαλειοταινία του “Home”, όσο και σε αυτή του “Simulation” (βλ. την Εικόνα 6.3). από το σχετικό λοιπόν εργαλείο “Global Properties”, καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά του πλέγματος υπολογισμών (βλ. την Εικόνα 6.5), ενώ από το εργαλείο “Mesh View” βλέπουμε το πλέγμα στον 3D χώρο (βλ. την Εικόνα 6.6).



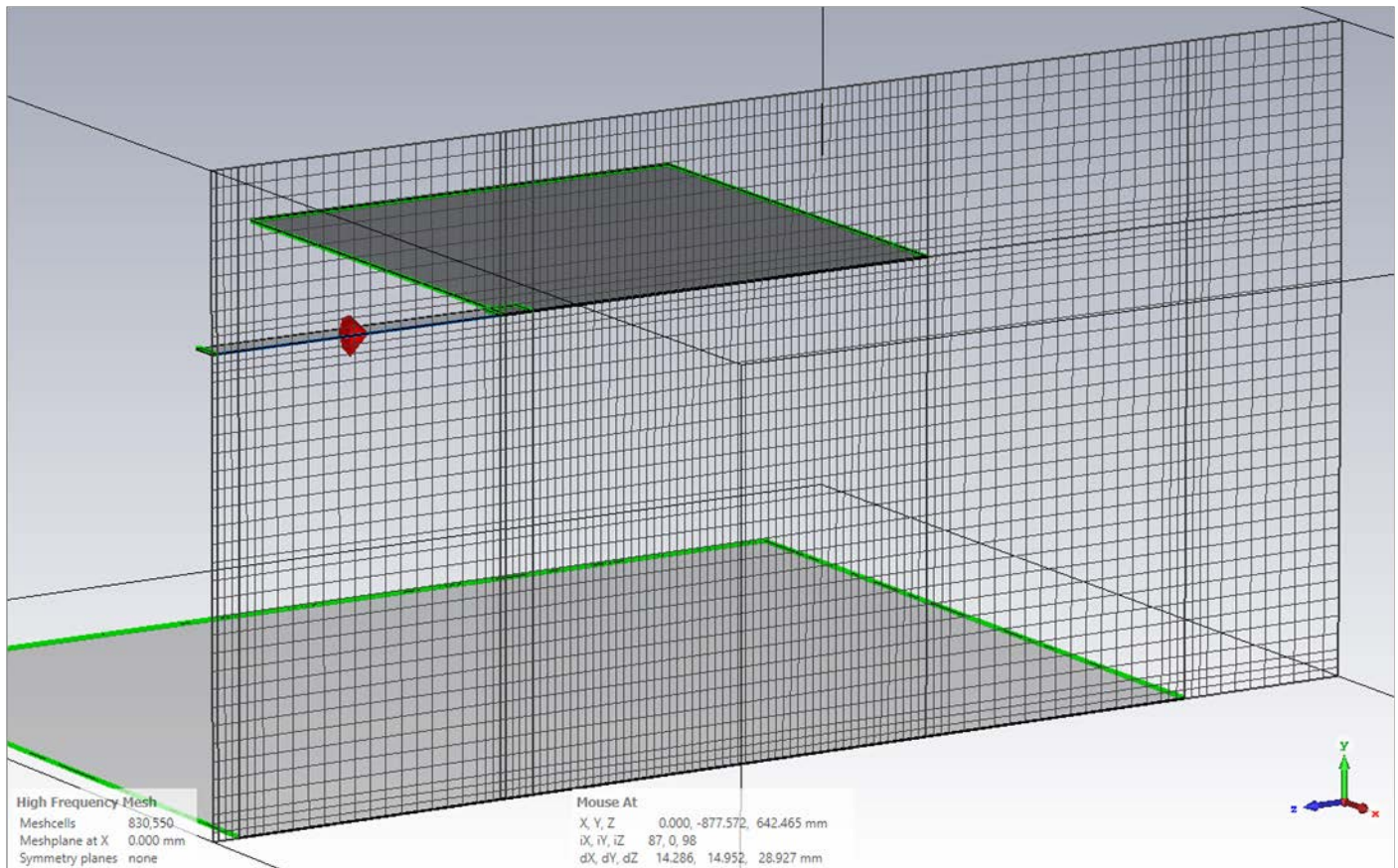
Εικόνα 6.4: Η επιλογή του solver της προσομοίωσης [56].



Εικόνα 6.3: Τα εργαλεία που σχετίζονται με το πλέγμα υπολογισμών [56].

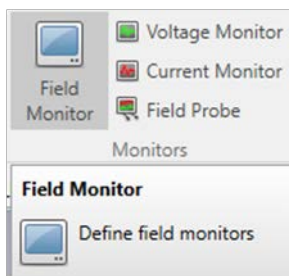


Εικόνα 6.5: Τα χαρακτηριστικά του πλέγματος υπολογισμών [56].



Εικόνα 6.6: Το πλέγμα υπολογισμών (mesh) [56].

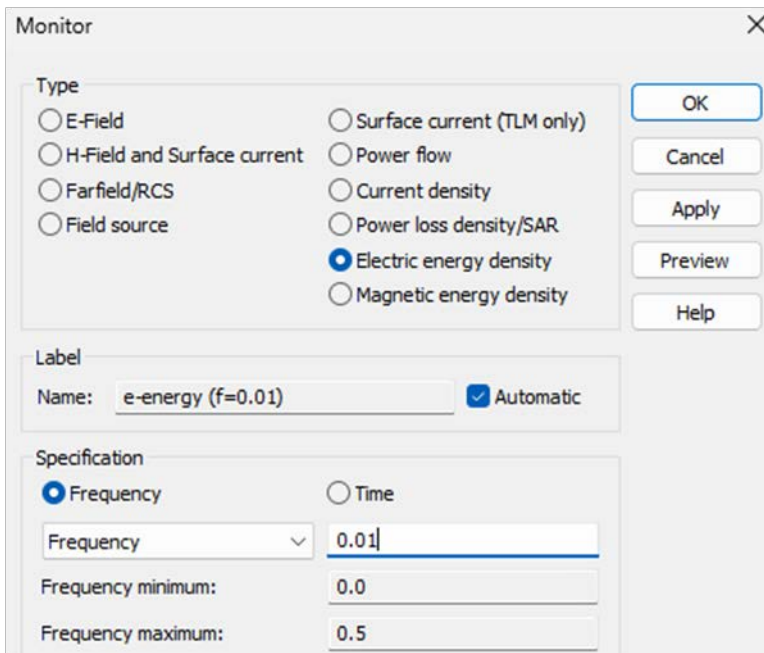
Τέλος, πριν προχωρήσουμε να «τρέξουμε» την προσομοίωση, θα πρέπει να ορίσουμε και τα καταγραφικά όργανα του πεδίου (τα «πεδιόμετρα»). Αυτά είναι τα λεγόμενα “Field Monitors”, από την καρτέλα “Monitors”, της εργαλειοταινίας “Simulation” (βλ. την Εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.7: Το εργαλείο μέτρησης – καταγραφής πεδίων [56].

Παρατηρώντας το παράθυρο της Εικόνας 6.9 (που ανοίγει με την επιλογή του εργαλείου Field Monitor), βλέπουμε ότι υπάρχουν πολλών ειδών μετρητικά όργανα πεδίου (βέβαια ο όρος «μετρητικά» δεν είναι απολύτως σωστός διότι, μιας και βρισκόμαστε σε προσομοιωτικό περιβάλλον, πιο ορθό θα ήταν να λέγαμε «υπολογιστικά»). Εμείς κατά βάση χρησιμοποιήσαμε αυτά που μετρούν Ηλεκτρικό Πεδίο (“E-Filed”), Μαγνητικό Πεδίο και Επιφανειακό Ρεύμα (“H-Filed and Surface Current”) και Πυκνότητα Ενέργειας Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου (“Electric energy density” και “Magnetic energy density”). Όπως βλέπουμε από την Εικόνα 6.9, για κάθε τέτοιο όργανο πρέπει να ορίσουμε και μία συχνότητα, δηλ. το Monitor αυτό θα μας αποτυπώσει το αντίστοιχο πεδίο στην συχνότητα αυτήν. Επειδή το πεδίο, που αναπτύσσεται στην διάταξή μας, έχει ευρύ φασματικό περιεχόμενο, τοποθετήσαμε αρκετά τέτοια Monitors (των 4 ειδών που αναφέραμε), για αρκετές τιμές συχνότητας²²⁵. Κατόπιν τρέξαμε την προσομοίωση και παρατηρήσαμε τα πεδιακά αποτελέσματα (από τα Monitors που ορίσαμε), τα οποία τα εντοπίζουμε από το Navigation Tree (βλ. την Εικόνα 6.8).

²²⁵ Στην Εικόνα 6.9 βλέπουμε ότι δεν αναγράφονται μονάδες στην συχνότητα. Αυτές εννοείται ότι είναι οι μονάδες του global συστήματος συντεταγμένων (οι οποίες εντοπίζονται εκεί που υποδεικνύει η Εικόνα 2.3). Για αυτό το Project οι μονάδα της συχνότητας ήταν ορισμένη στα GHz.

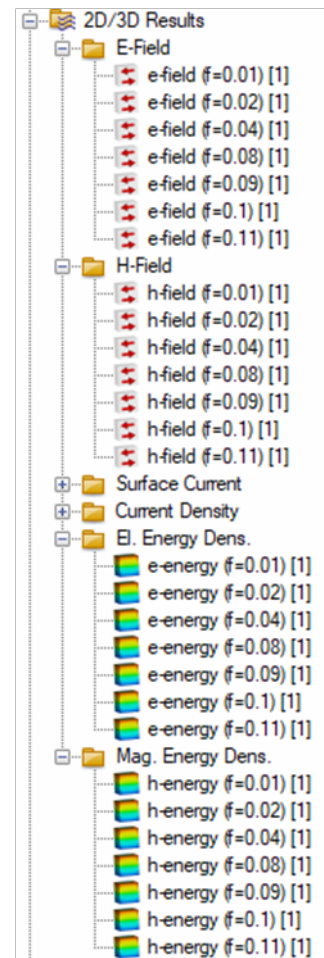


Εικόνα 6.9: Τα διάφορα «όργανα» μέτρησης H/M πεδίων του CST [56].

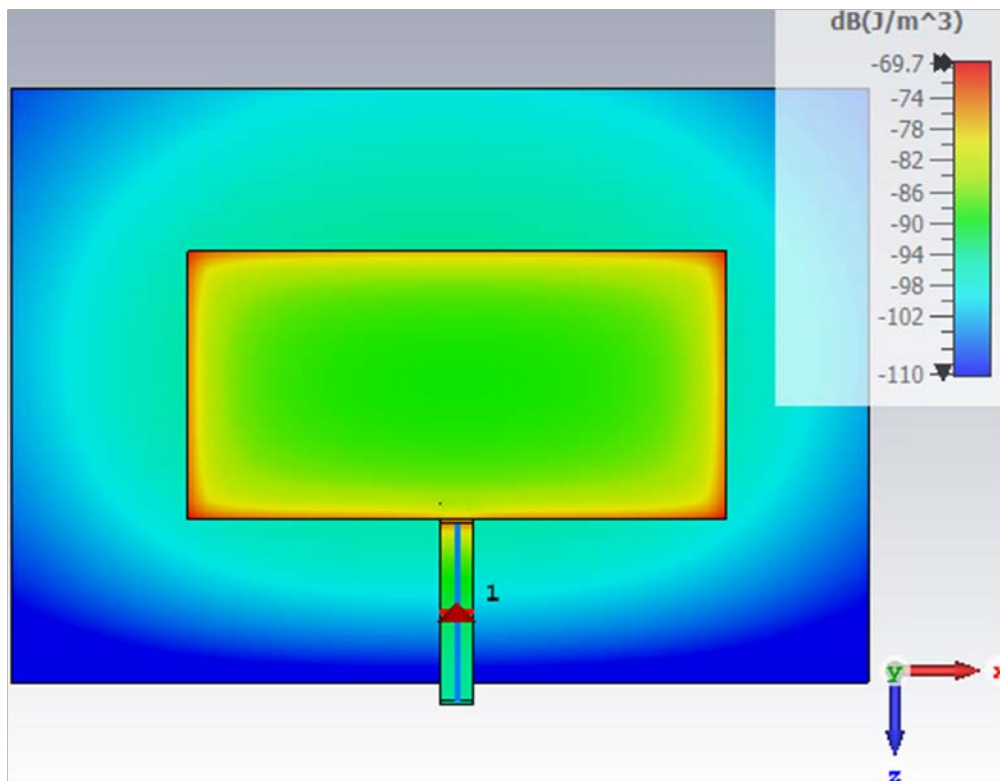
Σχόλιο σχετικά με τις συχνότητες στις οποίες επιλέξαμε να κάνουμε υπολογισμό του πεδίου:

Να σημειώσουμε ότι, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, το φασματικό περιεχόμενο των ρευμάτων που αναπτύσσονται στο καλώδιο ξεκινά λίγο πριν τα 10 MHz και εκτείνεται κάπου μέχρι τα 100 MHz. Οπότε και τα “Field Monitors”, που τοποθετήσαμε στην προσομοίωση αυτή ορίστηκαν ενδεικτικά για μερικές τιμές συχνότητας μέσα σε αυτό το εύρος.

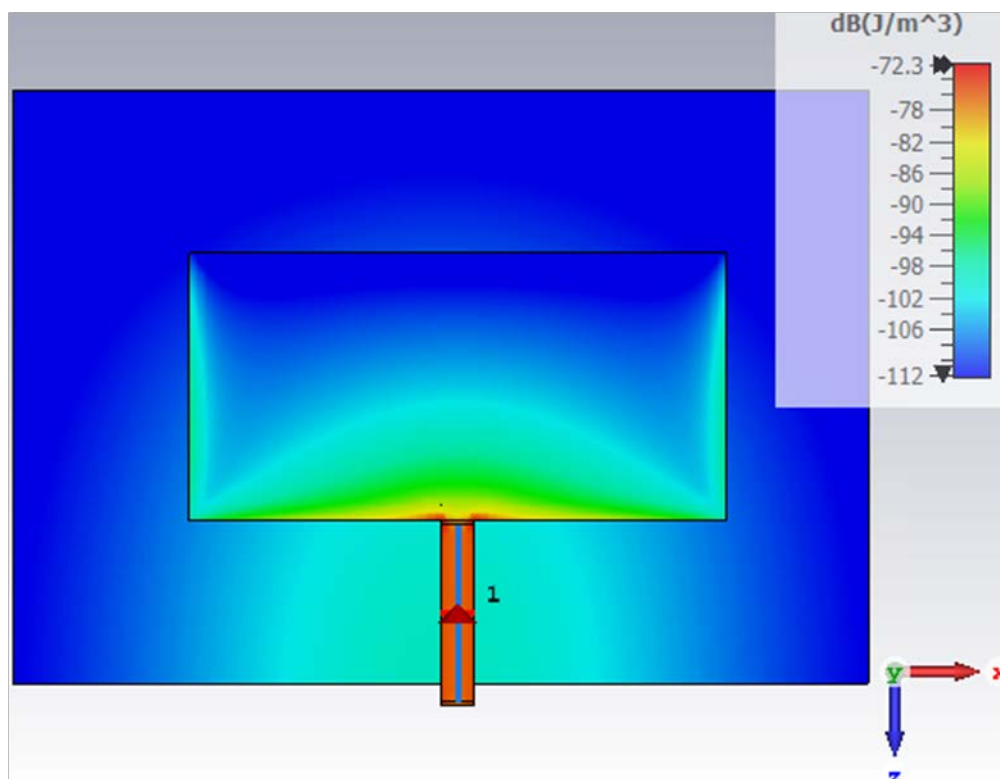
Επειδή πιο επεξηγηματικές είναι οι εικόνες από την πυκνότητα της ενέργειας του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, θα παραθέσουμε δύο από αυτές. Ενδεικτικά επιλέγουμε τις εικόνες που λαμβάνουμε από τα Monitors των 10 MHz.



Εικόνα 6.8: Τα πεδιακά αποτελέσματα της προσομοίωσης [56].



Εικόνα 6.10: Η πυκνότητα Ενέργειας Ηλεκτρικού Πεδίου (στα 10 MHz) στο HCP, από το πείραμα διερεύνησης του πεδίου του [56].



Εικόνα 6.11: Η πυκνότητα Ενέργειας Μαγνητικού Πεδίου (στα 10 MHz) στο HCP, από το πείραμα διερεύνησης του πεδίου του [56].

Από τις παραπάνω 2 εικόνες διαπιστώνουμε ότι η μεγαλύτερη ισχύς του πεδίου βρίσκεται στα άκρα της επιφανείας του HCP. Δηλ. το πεδίο είναι ισχυρότερο στα άκρα της διατάξεως. Αυτό ήταν και κάπως αναμενόμενο για το ηλεκτρικό πεδίο, διότι γνωρίζουμε πως, ασχέτως μορφής διεγέρσεως, το ηλεκτρικό πεδίο λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές στις περιοχές μικρής καμπυλότητας, δηλ. στις ακμές. Αλλά εν προκειμένω και η επίλυση του πεδίου σε αυτού του είδους την διάταξη το δείχνει αυτό. Παρατηρούμε όμως ότι ένα αντίστοιχο συμπέρασμα προκύπτει και για το μαγνητικό πεδίο, δηλ. και αυτό είναι ισχυρότερο (έχει περισσότερη ενέργεια) στα άκρα του HCP. Αυτό βέβαια ήταν κάτι που δεν μπορούσαμε να το υποθέσουμε απ' ευθείας για το μαγνητικό πεδίο, όπως ξέρουμε ότι ισχύει για το ηλεκτρικό. Άλλωστε βλέπουμε ότι η ισχυροποίησή του γίνεται μόνο για τις μπροστά, δεξιά και αριστερά ακμές του HCP και όχι για την πίσω (εν αντιθέσει προς το ηλεκτρικό).

Επίσης παρατηρούμε ότι, όπως υποθέσαμε και αναφέραμε και στην αρχή της παραγράφου 6.2.5.1, μεγαλύτερη ισχύ έχει το ηλεκτρικό πεδίο, σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο, σε αυτού του είδους την προσομοίωση. Αυτό σίγουρα θα ισχύσει και στο πείραμα του ESD, όπου ούτως ή άλλως είναι ένα φαινόμενο με εντονότερο χαρακτήρα ηλεκτρικού πεδίου.

Να σημειώσουμε ότι, παρατηρώντας και τα άλλα «πεδιόμετρα», καταλήγουμε ότι αυτή η κατανομή πεδίου ισχύει γενικά για όλες τις συχνότητες, μέχρι και την περιοχή των 100 MHz. Υπάρχουν σαφώς μικρές διαφορές σχετικά με το πόσο ισχυρότερο είναι το πεδίο στις άκρες και πόσο ασθενέστερο στο κέντρο του HCP (π.χ. στα 80 MHz η χρωματική διαφορά ακμών και μέσου είναι πολύ εντονότερη), πάντως σε γενικές γραμμές το πεδίο παρουσιάζει μια τέτοια μορφή για όλο το εύρος συχνοτήτων που εξετάζουμε και που περιέχονται στα μετρούμενα ρεύματά μας (όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο).

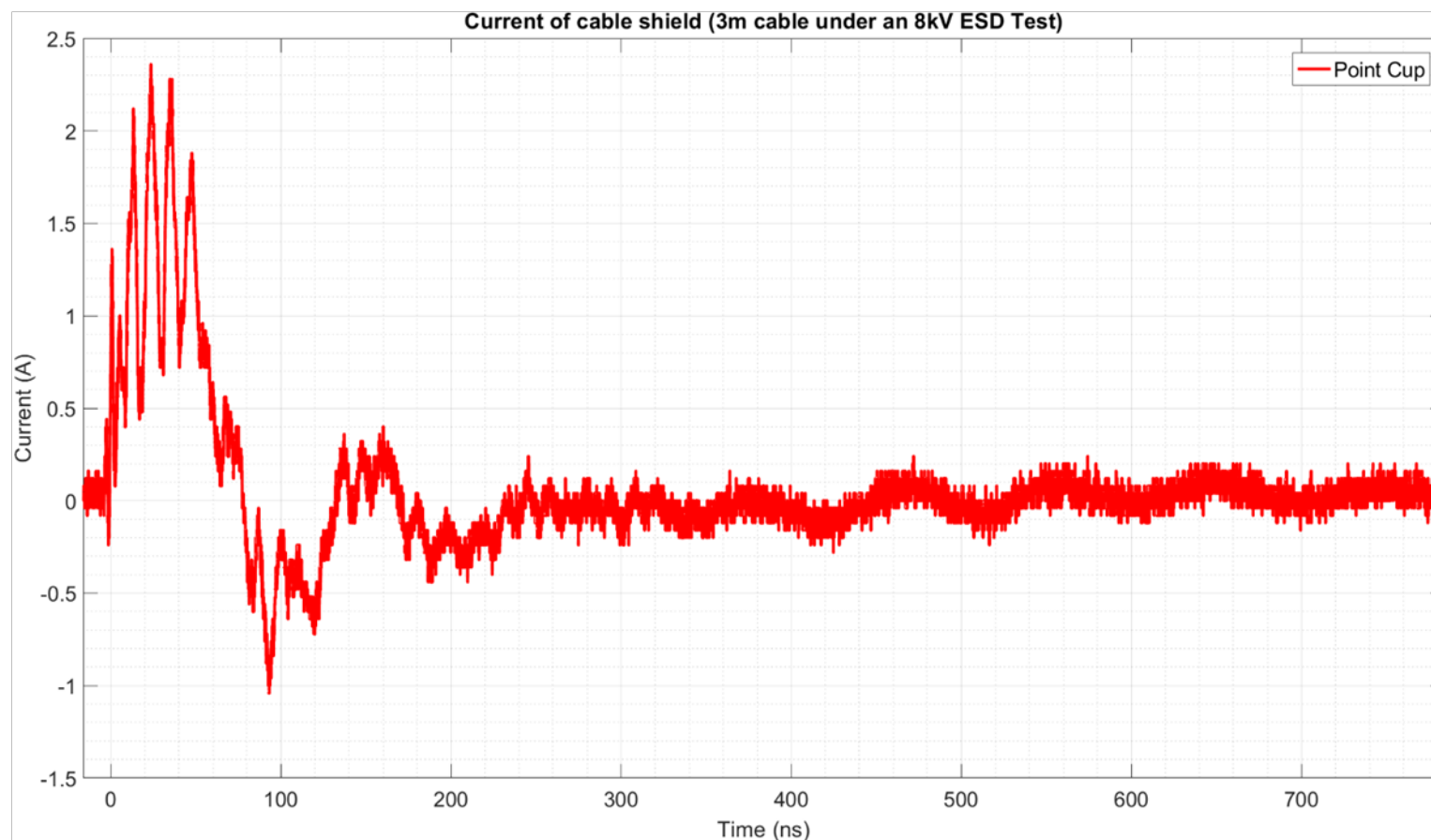
6.2.5.4 Σχολιασμός των Ρευμάτων που Μετρήθηκαν στο Εργαστήριο

6.2.5.4.1 Σύντομη Μελέτη του Φάσματος

Παρατηρώντας τις κυματομορφές των ρευμάτων, που μετρήθηκαν με το probe στο καλώδιο SpW, διαπιστώνουμε εν πρώτοις σε όλες μία ταλαντωτική μορφή, με μια κάπως μεγαλύτερη περίοδο (δηλ. σε μία κάπως πιο μικρή συχνότητα), αλλά και πιο υψίσυχνες διακυμάνσεις, όπως και επίδραση θορύβου.

Διερωτώμενοι σε ποιές συχνότητες εκτείνεται το φάσμα των ρευμάτων, που μετρήσαμε στο καλώδιο, η πρώτη μας σκέψη είναι η εξής, αφού η διέγερση του HCP είναι ένα Η/Μ φαινόμενο, το ESD, με ισχύ σε συχνότητες οπωσδήποτε μέχρι τα 100 MHz, αν όχι και λίγο παραπάνω, άρα και το πεδίο του HCP θα έχει συχνοτικό περιεχόμενο, το οποίο εκτείνεται σίγουρα μέχρι αυτή την συχνότητα (αλλά και σε μεγαλύτερες, με ίσως κάπως λιγότερη ισχύ σε αυτές). Και επειδή ένα μεταβαλλόμενο Η/Μ πεδίο που επιδρά επί ενός καλωδίου, θα επάγει σε αυτό ρεύματα με αντίστοιχα συχνοτικά περιεχόμενα, δεν θα ήταν απίθανο να υποθέσει κανείς ότι και τα ρεύματα, τα οποία επάγονται στην εξωτερική θωράκιση του καλωδίου, έχουν ένα συχνοτικό περιεχόμενο αντίστοιχο με αυτό του πεδίου του HCP.

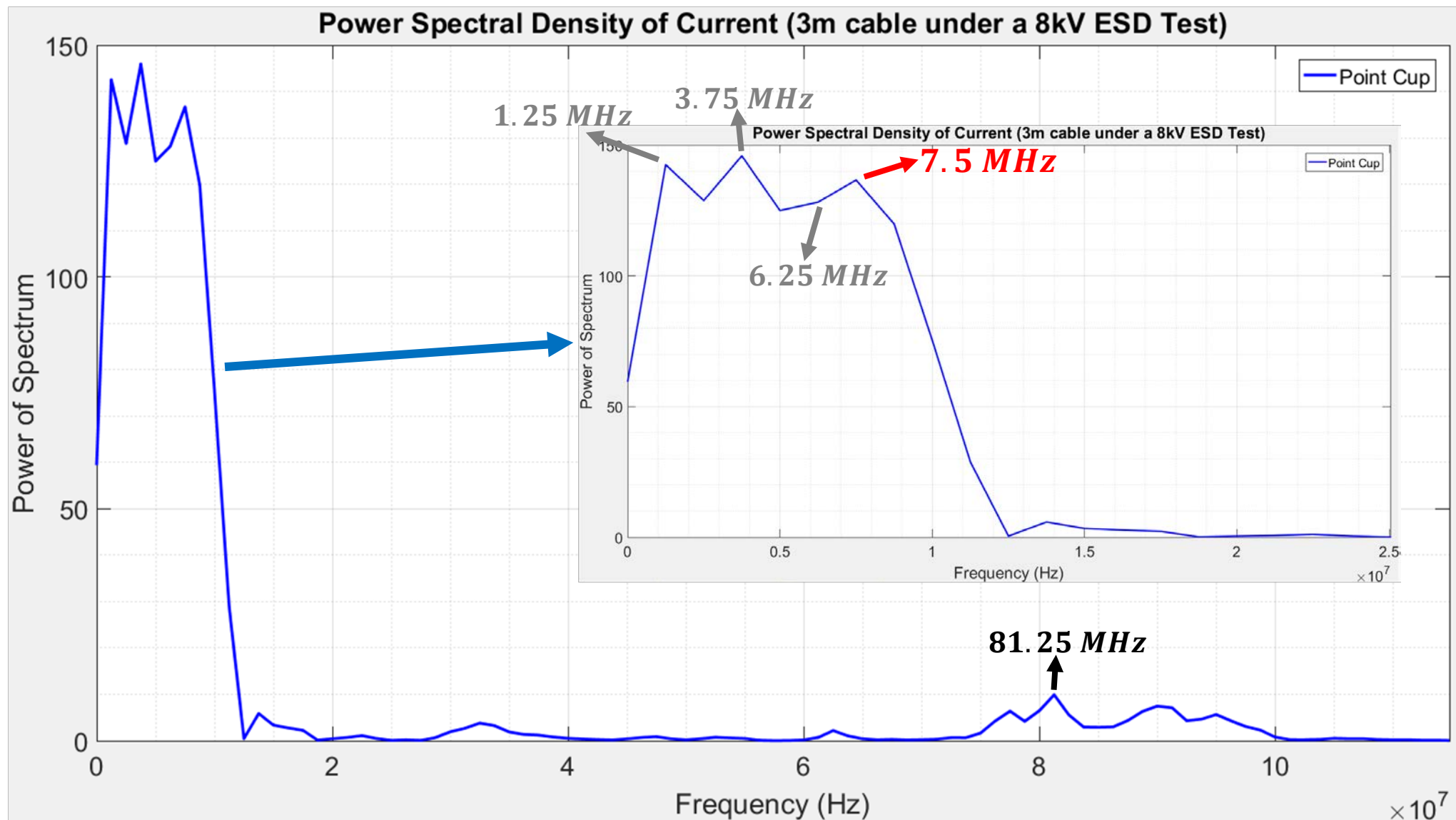
Παρατηρώντας όμως με προσοχή τα ρεύματα του καλωδίου, βλέπουμε ότι η βασική τους ταλάντωση, η οποία θα δίνει και την χαμηλότερη συχνότητα που θα περιέχει το φάσμα τους, έχει συχνότητα λίγο μικρότερη από 10 MHz. Άρα το φάσμα τους δεν ξεκινά από τόσο χαμηλές συχνότητες όσες το ESD (βλ. το Σχήμα 6.14) και άρα και το πεδίο του HCP. Ενδεικτικά παραθέτουμε μια κυματομορφή του ρεύματος της εξωτερικής θωρακίσεως από το Καλώδιο SpW των 3 m, στο σημείο Cup (βάσει του Σχήματος 6.1), ύστερα από ESD ύψους 8 kV.



Σχήμα 6.16: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στο σημείο Cup [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Από την κυματομορφή του Σχήματος 6.16, με μια πρόχειρη σχετικά παρατήρηση, βλέπουμε ότι η περίοδος του αργού ταλαντωτικού φαινομένου είναι περίπου 130 ns. Μια τέτοια περίοδος δίνει συχνότητα περί τα 7.7 MHz. Και κάθε άλλη κίνηση της κυματομορφής μαρτυρεί υψηλότερο συχνοτικό περιεχόμενο. Άρα διαπιστώνουμε ότι όλες οι χαμηλές συχνότητες του ESD, από το DC, μέχρι και το 1 MHz με 5 MHz, έχουν, λίγο πολύ, εξαφανιστεί από τα ρεύματα που μετρώνται στην θωράκιση του καλωδίου.

Μάλιστα, το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώθηκε όταν εξετάσαμε την φασμαστική πυκνότητα ισχύος των μετρήσεών μας, με την βοήθεια του MATLAB. Ενδεικτικά παραθέτουμε το φάσμα από το ίδιο ρεύμα που αποτυπώσαμε στο Σχήμα 6.16.



Σχήμα 6.17: Το φασματικό περιεχόμενο του ρεύματος της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, το οποίο μετράται στο σημείο Cup [57].

Από το Σχήμα 6.17 λοιπόν, βεβαιωνόμαστε ότι το φασματικό περιεχόμενο του ρεύματος της θωράκισης ξεκινά όντως λίγο χαμηλότερα από τα 10 MHz. Συγκεκριμένα για το σημείο Cup, του καλωδίου των 3 m, για ESD 8 kV, η συχνότητα είναι 7.5 MHz (πολύ κοντά στην εκτίμηση των 7.7 MHz, που κάναμε μέσω της κυματομορφής στο πεδίο του χρόνου)²²⁶. Άρα όντως, βάσει και της υποσημειώσεως 226, η θεμελιώδης συχνότητα του ρεύματος αυτού είναι τα 7.5 MHz.

Μια ποιοτική μεν, αλλά αξιόπιστη εξήγηση του γιατί οι DC και χαμηλόσυχνες συνιστώσες του πεδίου διεγέρσεως δεν μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση αντιστοίχων συνιστωσών στο ρεύμα της θωρακίσεως είναι η ακόλουθη. Η επιφάνεια του HCP, σκεπασμένη με το φύλλο βακελίτη, με από πάνω το καλώδιο SpW, αποτελεί, από μια οπτική, μια μεγάλη χωρητικότητα, με σπλισμούς την μεταλλική επιφάνεια του HCP και την εξωτερική θωράκιση του καλωδίου και διηλεκτρικό το φύλλο βακελίτη (και τον εξωτερικό μανδύα του καλωδίου φυσικά). Απλούστατα λοιπόν, η ύπαρξη αυτού του πυκνωτή είναι ταυτόσημη με ένα υψιπερατό φίλτρο (high pass), το οποίο αποκόπτει την DC συνιστώσα, αλλά και τις πιο χαμηλόσυχνες από την διέγερση που γίνεται εκ του HCP, ενώ επιτρέπει μόνο σε ρεύματα από μια συχνότητα και πάνω να κυκλοφορήσουν στην θωράκιση (οπότε βλέπουμε και αυτές τις συχνότητες να υπάρχουν στο φάσμα, βλ. το Σχήμα 6.17).

6.2.5.4.2 Ερμηνεία του Πλάτους της Βασικής Ταλάντωσης

Στις κυματομορφές βλέπουμε ότι το βασικό ταλαντωτικό φαινόμενο φθίνει σταδιακά και το πλάτος των ταλαντώσεων μειώνεται όλο και περισσότερο. Αυτό εντοπίζεται και στις εικόνες των 500 ns αλλά και σε αυτές των 800 ns κάπως πιο εμφανώς. Και πάντοτε το βλέπουμε σε κάθε μέτρηση που κάνουμε, σε οποιοδήποτε σημείο του καλωδίου κι αν γίνει αυτή. Αιτία είναι προφανώς η σταδιακή υποχώρηση της πηγής του φαινομένου, δηλ. η εξασθένηση του πεδίου του HCP, λόγω αποφόρτισης μέσω του bleeder. Επίσης έναν μικρό ρόλο στην σταδιακή εξασθένηση του μεταβατικού στο καλώδιο παίζουν και οι πολύ μικρές ωμικές του απώλειες.

Όμως ασχέτως αυτής της πτώσης λόγω της αποφόρτισης του HCP, οποία παρατηρείται σε όλα τα σημεία μέτρησης του ρεύματος, το βασικότερο φαινόμενο, που παρατηρείται και οφείλουμε να ερμηνεύσουμε, είναι το γεγονός ότι, το πλάτος της βασικής αυτής ταλάντωσης βαίνει αυξανόμενο όσο κινούμαστε από το σημείο μέτρησης A προς τα υπόλοιπα σημεία του καλωδίου δεξιά (Bup και Bdown, Cup και Cdown, Dup και Ddown κ.ο.κ.). Δηλ. η μέγιστη τιμή του ρεύματος στο σημείο Bup είναι μεγαλύτερη από αυτή στο σημείο A, εν συνεχεία η μέγιστη τιμή του ρεύματος στο σημείο Cup είναι μεγαλύτερη από αυτή στο σημείο Bup, ακολούθως η μέγιστη τιμή του ρεύματος στο σημείο Dup είναι μεγαλύτερη από αυτή στο σημείο Cup, κ.ο.κ..

Επιπλέον έχει ενδιαφέρον να σχολιάσουμε την φορά του ρεύματος σε κάθε σημείο μέτρησης. Η κάθε μέτρηση, που λάβαμε, έδινε κυματομορφή ρεύματος με ακριβώς αυτή την μορφή των σχημάτων των παραγράφων 6.2.4.2 και 6.2.4.3, δηλ. μια αργή ταλάντωση, η οποία ξεκινά σε κάθε μέτρηση με την ημιπερίοδο των θετικών της τιμών. Επίσης, όπως έχουμε επισημάνει στο σχετικό σχόλιο στην αρχή της υποενότητας 6.2.4, το probe της μέτρησης ήταν πάντοτε με τον ίδιο προσανατολισμό, όπως αγκάλιαζε το καλώδιο και στον πάνω και κάτω τμήμα της οδεύσεώς του. Το απόλυτα λογικό λοιπόν συμπέρασμα είναι ότι το ρεύμα του πάνω και το ρεύμα του κάτω κλάδου έχουν την ίδια φορά. Άρα δηλ. έχουμε ένα ρεύμα στον πάνω κλάδο, το οποίο ρέει προς τα δεξιά (και διαρκώς αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσής του όσο το μετράμε πιο δεξιά) και ένα ρεύμα στον κάτω κλάδο, το οποίο και πάλι ρέει προς τα δεξιά (με πάλι διαρκώς αυξανόμενο πλάτος ταλάντωσης όσο κινούμαστε προς την άκρη του τραπέζιου). Ήδη απλώς και μόνο το γεγονός της υπάρξεως ρεύματος πάνω κλάδου και ρεύματος κάτω κλάδου (διαφορετικού) στην θωράκιση ενός ενιαίου καλωδίου, αρκεί για να ξαφνιάσει.

²²⁶ Είναι πολύ βασικό να σημειώσουμε ότι οι κορυφές του φάσματος στις 3 χαμηλότερες συχνότητες (που έχουν επισημανθεί με γκρι χρώμα στο Σχήμα 6.17) δεν αποτελούν δείγμα υπαρκτής ισχύος του φάσματος του ρεύματος σε πιο χαμηλές από τα 7.5 MHz συχνότητες. Πρόκειται βασικά για τα αποτελέσματα του υπολογισμού του Μετασχηματισμού Fourier του σήματος. Δηλ. επειδή ο Fourier κάνει πρακτικά μια περιοδική επέκταση του χρονικού παραθύρου που «βλέπει», αυτό εν προκειμένω θα οδηγήσει σε μια επανάληψη αυτής της κυματομορφής των 800 ns που βλέπουμε. Αυτό λοιπόν εξηγεί την εμφάνιση της συχνότητας των $1/(800 \cdot 10^{-9}) \text{ Hz} = 1.25 \text{ MHz}$ στο φάσμα. Οι δε δύο μεγαλύτερες συχνότητες, στις οποίες υπάρχει σαφής κορυφή του φάσματος (3.75 MHz και 6.25 MHz), προκύπτουν και αυτές εκ του Μετασχηματισμού, ως 3^η και η 5^η αρμονική της πρώτης συχνότητας των 1.25 MHz.

Αν επιχειρήσουμε να βρούμε τρόπους ερμηνείας του φαινομένου αυτού, διατηρώντας στο μυαλό μας την κλασική θεωρία κυκλωμάτων, τότε προσκρούουμε σε αδιέξοδο. Διότι δεν νοείται σε ένα ενιαίο αγωγό (όπως η εξωτερική θωράκιση του καλωδίου μας) να έχουμε άλλη τιμή ρεύματος σε ένα σημείο του και άλλη τιμή ρεύματος σε άλλο, την ίδια χρονική στιγμή. Με βάση την κυκλωματική θεωρία, το ρεύμα ενός αγωγού (σταθερό ή χρονομεταβαλλόμενο οποιασδήποτε κυματομορφής) είναι το αυτό σε όποιο σημείο του κι αν μετρηθεί με την αμπεροτσιμπίδα. Εγείρεται λοιπόν το ερώτημα εάν και κατά πόσον ισχύουν οι Νόμοι της Θεωρίας Κυκλωμάτων στο εν λόγω πείραμα.

Όπως γνωρίζουμε, το κυκλωματικό πρότυπο (δηλ. οι σχέσεις τάσεως – ρεύματος των στοιχείων και οι Νόμοι του Kirchhoff) και κατ' επέκταση και η θεωρία κυκλωμάτων αποτελούν μια προσέγγιση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Και η προσέγγιση αυτή ισχύει μόνον όταν η συχνότητα λειτουργίας είναι αρκούντως χαμηλή (δηλ. το μήκος κύματος αρκούντως μεγάλο), ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι οι διαστάσεις των διαφόρων στοιχείων, που συνθέτουν το κύκλωμα, είναι πάρα πολύ μικρές, συγκρινόμενες με το μήκος κύματος [20]. Για να μπορέσουμε λοιπόν να μιλήσουμε για συμπεριφορά κυκλώματος (υπακούοντας στους νόμους του Kirchhoff), θα έπρεπε η συχνότητα του πεδίου διεγέρσεως, άρα και των διεγειρομένων ρευμάτων να είναι αρκούντως μικρή, ώστε το μήκος κύματος να είναι αρκούντως μεγάλο, τόσο που να θεωρείται «πάρα πολύ μεγαλύτερο» από τις διαστάσεις του κυκλώματος. Εν προκειμένω έχουμε ότι η ισχύς του ESD κατανέμεται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και ξεκινά και από χαμηλές συχνότητες, οι οποίες θα έδιναν μήκη κύματος ικανοποιητικά μεγάλα (π.χ. για μια συχνότητα των 100 kHz θα έχουμε ένα μήκος κύματος 3 km²²⁷, γιγαντιαίο σε σχέση με τις διαστάσεις του πειράματός μας, και του καλωδίου μας), ώστε το καλώδιό μας να προσεγγίζεται με βάση την κυκλωματική συμπεριφορά (ενιαίο ρεύμα σε κάθε σημείο του). Όμως το γεγονός της αποκοπής των χαμηλών συχνοτήτων από το υπερπυκνό φίλτρο, που υφίσταται λόγω της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ HCP και εξωτερικής θωρακίσεως του SpW, εξαναγκάζει το ρεύμα, που διεγείρεται στην θωράκιση του SpW (από το HCP, άρα εμμέσως από το ESD), να έχει συχνοτικό περιεχόμενο σε υψηλότερες συχνότητες (όπως είδαμε στην υποπαράγραφο 6.2.5.4.1, το φάσμα του μετρούμενου ρεύματος ξεκινά ελάχιστα πριν τα 10 MHz, διότι αυτή είναι η συχνότητα της αργής και πιο αξιοπρόσεκτης του ταλάντωσης, ενώ υπάρχει ισχύς και σε άλλες συχνότητες, πάντοτε όμως υψηλότερες). Για αυτήν όμως την συχνότητα (των περίπου 10 MHz) έχουμε μήκος κύματος περί τα 30 m²²⁸, οπότε σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί «πάρα πολύ μεγαλύτερο» από τις διαστάσεις της διατάξεως και του καλωδίου. Μάλλον πλησιάζουμε στο να γίνει συγκρίσιμο (τόσο για το καλώδιο των 3 m όσο και για αυτό των 10 m). Ακόμα δηλ. και για συχνότητες όσο η μικρότερες που υπάρχουν στο φάσμα του ρεύματος, το μήκος κύματος είναι κάποια μέτρα, οπότε ένα καλώδιο μήκους λίγων μέτρων δεν μπορούμε να το θεωρήσουμε συγκεντρωμένο στοιχείο²²⁹. Συνεπώς **δεν μπορούμε να μιλούμε για ισχύ των Νόμων του Kirchhoff, οπότε είναι λάθος να προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τα ρεύματα, που καταγράφουμε, με βάση το κυκλωματικό πρότυπο.** Συνεπώς πρέπει να βασιστούμε στην πεδιακή εξήγηση αυτών που παρατηρούμε.

Δεύτερη λοιπόν σκέψη μας ήταν το ενδεχόμενο να έχουμε την ανάπτυξη κυματικού φαινομένου στο ρεύμα του καλωδίου. Και μάλιστα, προσέχοντας περισσότερο τα ρεύματα στο καλώδιο των 3 m και βλέποντας αυτή την αύξηση να υφίσταται από σημείο σε σημείο πάντοτε [καθ' όλο το μήκος τραπεζιού αλλά και για τα 4 σημεία (δύο πάνω και δύο κάτω) αμέσως δίπλα του, όπως μαρτυρούν τα Σχήματα 6.2, 6.3, 6.4 και 6.5], η σκέψη για διάδοση κύματος έμοιαζε λογική. Όμως, σκεπτόμενοι αυτά που μόλις αναφέραμε περί των συχνοτήτων και των μηκών κύματος, παρατηρούμε ότι, ενώ το μήκος κύματος είναι αρκετά μικρό ώστε να είναι συγκρίσιμο με τις διαστάσεις των καλωδίων, εντούτοις δεν είναι «πάρα πολύ μικρό» ώστε να ομιλούμε περί διαδόσεως κύματος. Δηλ. θα έπρεπε

²²⁷ Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος κάνουμε χρήση της σχέσεως: $c = \lambda \cdot f \Leftrightarrow \lambda = c/f$. Σαν υπόθεση λαμβάνουμε την ταχύτητα του φωτός. Βέβαια στην πράξη μπορεί να είναι κάπως μικρότερη η ταχύτητα μετάδοσης. Πάντως αυτό δεν αλλοιώνει τα συμπεράσματά μας, διότι αν η ταχύτητα μικραίνει λίγο, θα μικραίνει λίγο και το μήκος κύματος για την δεδομένη συχνότητα. Οπότε για τις συχνότητες των ρευμάτων του καλωδίου, θα έχουμε μήκος κύματος απλά πιο κοντά στις διαστάσεις του κυκλώματος.

²²⁸ Βλ. ανωτ. υποσ. 227.

²²⁹ Αν δε μιλήσουμε για την υψηλή συχνότητα, στην οποία περιέχει ισχύ το φάσμα του ρεύματος, η οποία είναι κοντά στα 100 MHz (βλ. το Σχήμα 6.17), τότε έχουμε μήκος κύματος κοντά στα 3 m. Οπότε σαφώς και έχουμε διαστάσεις των συνιστωσών του πειράματος συγκρίσιμες με αυτό.

να έχουμε συχνότητες πολύ μεγαλύτερες στο πεδίο διεγέρσεως για να έχουμε κυματική συμπεριφορά στο ρεύμα του καλωδίου μας (π.χ. για ρεύμα στα 10 GHz, θα είχαμε μήκος κύματος 3 cm, οπότε σαφέστατα θα είχαμε κυματική συμπεριφορά). Συνεπώς δεν είναι λογικό να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο με θεώρησή του σαν έκφραση κυματικής συμπεριφοράς. Και μάλιστα την επιβεβαίωση προς τούτο την λάβαμε παρατηρώντας τις κυματομορφές των ρευμάτων για το καλώδιο των 10 m. Βλέπουμε σε αυτές (Σχήματα 6.8, 6.9, 6.10 και 6.11) ότι μετά και από το σημείο Gup (και το ομόλογο του Gdown), η αύξηση αυτή στο πλάτος της ταλάντωσης για κάθε δεξιότερη μέτρηση, παύει να εντοπίζεται. Σε μια κυματική διάδοση που ενισχύει το ρεύμα προς την μία κατεύθυνση, την δεξιά, δεν θα έπρεπε να παρατηρήσουμε μείωση σε αυτή την αύξηση, αλλά συνεχόμενη κλιμάκωση, μέχρι το σημείο των συνδέσεων, όπου θα συνέβαινε το βραχυκύκλωμα των άκρων (καθώς η εξωτερική θωράκιση γειώνεται και στα δύο άκρα του καλωδίου).

Κατόπιν λοιπόν των παραπάνω δύο διαπιστώσεων και ύστερα από περισσότερη σκέψη σε συνδυασμό με την πεδιακή μελέτη του προβλήματος, που παρουσιάσαμε στην παράγραφο 6.2.5.3, καταλήξαμε στην ακόλουθη ερμηνεία. Όπως έχουμε πει στην αρχή της υποενότητας 6.2.4, όλοι οι παλμοί του ESD στο πείραμά μας είχαν θετική πολικότητα. Αφού λοιπόν επιβάλλεται θετικός παλμός τάσεως στο HCP από την αιχμή του πιστολιού ESD, άρα αρνητικά φορτία απομακρύνονται από αυτό (με μια χρονική κατανομή κρουστικού παλμού) και αποχωρούν προς την γη (μέσω της γειώσεως του πιστολιού ESD). Ισοδύναμα λοιπόν η μεταλλική επιφάνεια του HCP φορτίζεται θετικά. Για ένα μικρό συνεπώς χρονικό διάστημα υπάρχει έντονη συσσώρευση θετικού φορτίου στο HCP, η οποία εν τέλει αποφορτίζεται προς την γη μέσω του Bleeder. Δηλ. από την γείωση και μέσω του bleeder (άρα με μια σχετική καθυστέρηση συγκριτικά με το ταχύ μεταβατικό φαινόμενο του ESD) θα επιστρέψουν στο HCP τα αρνητικά φορτία, που είχαν «τραβηχτεί» βίαια κατά το μεταβατικό. Αυτό το καταλαβαίνουμε από τον χρόνο των περίπου 800 ns, που αποτυπώνουμε τις κυματομορφές των μετρήσεών μας και στον οποίο βλέπουμε, από την μέγιστη έκφανση του μεταβατικού φαινομένου, να επιστρέφουμε στην ισορροπία της μη ροής ρεύματος²³⁰.

Πολύ απλά λοιπόν αν σκεφτούμε, η συσσώρευση θετικού φορτίου επάνω στην μεταλλική επιφάνεια του HCP, θα έλκει τα αρνητικά φορτία, τα οποία υπάρχουν (ως ελεύθερα ηλεκτρόνια) στο μέταλλο της εξωτερικής θωράκισης του καλωδίου. Βέβαια η έκφραση «απλά θα έλκει» είναι κάπως φτωχή και απλοϊκή. Στην πραγματικότητα η κατανομή του μεταβαλλόμενο H/M πεδίου του HCP (πεδίου που εγκαθίσταται στο HCP μετά το ESD και διαρκεί όσο το μεταβατικό αυτό φαινόμενο) θα επιβάλλει την κίνηση των ηλεκτρονίων της εξωτερικής θωρακίσεως του καλωδίου, το οποίο βρίσκεται εντός του πεδίου αυτού. Έτσι λοιπόν, αφού, βάσει της μελέτης της παραγράφου 6.2.5.3, διαπιστώσαμε ότι το πεδίο (ηλεκτρικό και μαγνητικό) είναι πιο ασθενές στο μέσον του HCP και ισχυροποιείται όσο μετακινούμαστε προς τα άκρα του (βλ. τις Εικόνες 6.10 και 6.11), άρα γι' αυτό και το ρεύμα όσο πλησιάζουμε προς το δεξιό άκρο του HCP αυξάνει σε πλάτος ταλάντωσης. Όσο εντονότερο δηλ. το πεδίο (και το ηλεκτρικό και το μαγνητικό), τόσο εντονότερες οι δυνάμεις, που θα δέχονται τα ηλεκτρόνια του καλωδίου, άρα τόσο πιο γρήγορη η μεταβολή της ορμής τους, δηλ. τόσο μεγαλύτερη ταχύτητα θα αναπτύσσουν και συνεπώς τόσο γρηγορότερα θα διέρχονται από την αντίστοιχη περιοχή του καλωδίου, όπου «ασκείται» αυτό το πεδίο [παλινδρομικά βέβαια διότι και το πεδίο είναι μεταβαλλόμενο, οπότε και το ρεύμα έχει φορά μία προς τα δεξιά (όταν έχει θετικές τιμές) και μία προς τα αριστερά (όταν έχει αρνητικές τιμές)]. Αυτή η αύξηση του ρυθμού διελεύσεως φορτίων από την διατομή του καλωδίου (αύξηση του dq/dt) θα δώσει μία αύξηση στο πλάτος του ρεύματος (αφού $i = dq/dt$), το οποίο θα μετράται στην αντίστοιχη περιοχή του καλωδίου, όπου το επιβαλλόμενο πεδίο είναι ισχυρότερο. Προφανώς αυτά τα αρνητικά φορτία που εγκαθιστούν την ροή

²³⁰ Φυσικά για την απόλυτη αποφόρτιση του ESD χρειάζεται περισσότερος χρόνος, διότι βλέπουμε ότι και στα 800 ns είναι ακόμα εμφανείς οι ταλαντώσεις στο ρεύμα του καλωδίου, αν και αποσβένουν πλέον κυρίως λόγω της υποχώρησης του πεδίου του HCP, εξαιτίας της αποφορτίσεως του μέσω του bleeder (και ελάχιστα και λόγω της ωμικής συμπεριφοράς του καλωδίου). Με ένα ελαφρώς μεγαλύτερο χρονικό παράθυρο παρατήρησης θα βλέπαμε και ολοκληρωτικά το φαινόμενο να «αποχωρεί». Άλλωστε, όταν γίνεται χρήση μιας τόσο μεγάλης τιμής αντιστάσεως για να συνδεθεί το HCP με την γη (της τάξεως των εκατοντάδων kΩ), η πλήρης αποφόρτιση του ESD θα διαρκέσει κάπως μεγαλύτερο χρόνο από τα 800 ns, που καταγράφει ο παλμογράφος μας. Συνεπώς για το αρχικό μεταβατικό, που παρατηρούμε (τα πρώτα 100 ns με 200 ns), το HCP είναι σαφέστατα σε υψηλό δυναμικό ως προς γη (γι' αυτό και όταν αναφερόμαστε στο bleeder χρησιμοποιούμε τον όρο «αντίσταση αποφορτίσεως» και επ' ουδενί αντίσταση «γειώσεως»).

ρεύματος στο καλώδιο, θα τα «τραβάει» το καλώδιο από την γείωση μέσω των συνδέσμων του. Ανά πάσα στιγμή λοιπόν, θα τραβιέται από τους συνδέσμους ρεύμα τέτοιο ώστε να εγκαταστήσει επί της θωράκισης του καλωδίου την χωροχρονική κατανομή φορτίων, που επιβάλλει το πεδίο του HCP.

Συνεπώς λοιπόν, η ερμηνεία του φαινομένου αυτού (του διαφορετικού πλάτους των ταλαντώσεων του ρεύματος από σημείο σε σημείο) δεν μπορεί να είναι κυκλωματική. Πρόκειται ουσιαστικά για τον τρόπο με τον οποίο φορτίζεται το καλώδιο, τραβώντας φορτία από την γη μέσω των κονεκτόρων, λόγω του πεδίου που «βλέπει» από κάτω του. Είναι η φόρτιση του επάνω οπλισμού της κατανεμημένης χωρητικότητας HCP – βακελίτη – θωράκισης, λόγω της εγκατάστασης του πεδίου (μεταβαλλομένου χρονικά H/M πεδίου) στον κάτω οπλισμό. Το ρεύμα λοιπόν που αναπτύσσεται και ρέει επάνω στην θωράκιση του καλωδίου δεν είναι ρεύμα λόγω κλειστού κυκλώματος, που υπακούει στους νόμους του Kirchhoff. Παρατηρείται και καταγράφεται ροή ρεύματος (σήματα ρεύματος) απλά λόγω της κίνησης φορτίων στην θωράκιση, επειδή ασκούνται σε αυτά εξ' επαγωγής πεδιακές δυνάμεις, που τα αναγκάζουν να φορτίσουν τον οπλισμό αυτόν.

Ο λόγος τώρα που στο καλώδιο των 3 m έχουμε διαρκή αύξηση του ρεύματος κινούμενοι προς τα δεξιά, είναι γιατί τα άκρα του καλωδίου τερματίζουν κοντά στην δεξιά ακμή του HCP. Οπότε τα τελευταία σημεία μέτρησης είναι αρκετά κοντά ώστε να επηρεαστούν από το πεδίο που ακτινοβολείται σε μικρή απόσταση κοντά στα άκρα του HCP. Στο καλώδιο των 10 m τώρα, περίπου μέχρι και το σημείο Gup (και Gdown) έχουμε να παρατηρείται πάλι το φαινόμενο της αυξήσεως των ρευμάτων, όσο κινούμαστε προς τα δεξιά, και αυτό γιατί ακόμα και τα σημεία αυτά του καλωδίου είναι αρκετά κοντά στην ακμή του HCP, η οποία ακτινοβολεί ένα πεδίο (αφού το ίδιο το HCP δρα σαν κεραία). Αντίθετα, από την στιγμή που θα απομακρυνθούμε ικανοποιητικά από την διάταξη του HCP (πρακτικά λίγο παραπάνω από 1 m ή και περισσότερο), οπότε και η επίδραση του πεδίου του HCP παύει να είναι σημαντική στον γύρω χώρο, διαπιστώνουμε ότι παύει να υπάρχει αλλαγή στο μέγιστο πλάτος της ταλάντωσης του ρεύματος, όσο μετράμε σε διαδοχικά σημεία του καλωδίου (βλ. στα Σχήματα 6.8, 6.9, 6.10 και 6.11 τις κυματομορφές των ρευμάτων για τα σημεία Hup, Iup, και Connector_up και αυτές για τα σημεία Hdown, Idown, και Connector_down). Γι' αυτό και κάπου από το σημείο H (ή ίσως και λίγο πιο πριν) και δεξιότερα, το υπόλοιπο τμήμα του καλωδίου παραμένει ανεπηρέαστο από πεδιακή διέγερση, οπότε οι τιμές των μετρούμενων ρευμάτων διατηρούνται σε πρακτικά ίδια ύψη για όλο το υπόλοιπο μήκος (με ασήμαντες διαφορές, οφειλόμενες προφανώς στην έντονη υψίσυχη διακύμανσή του ρεύματος λόγω του θορύβου).

6.3 Το Πείραμα ESD στο CST

Έχοντας ολοκληρώσει την λήψη των μετρήσεων, που επιθυμούσαμε, από το πραγματικό πείραμα, προχωρούμε στην επανάληψη του πειράματος αυτού στο περιβάλλον του CST. Για τον σκοπό αυτόν θα έπρεπε να έχουμε ένα κατάλληλο μοντέλο του πειράματος του εμμέσου ESD. Αυτό φυσικά είναι ό,τι ακριβώς δημιουργήσαμε σαν μοντέλο οδεύσεως του καλωδίου στον χώρο (στο Κεφάλαιο 4 και στο Κεφάλαιο 5). Παρ' όλα αυτά προέβημεν σε ορισμένες τροποποιήσεις, ώστε να είναι ευκολότερη η επαλήθευση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

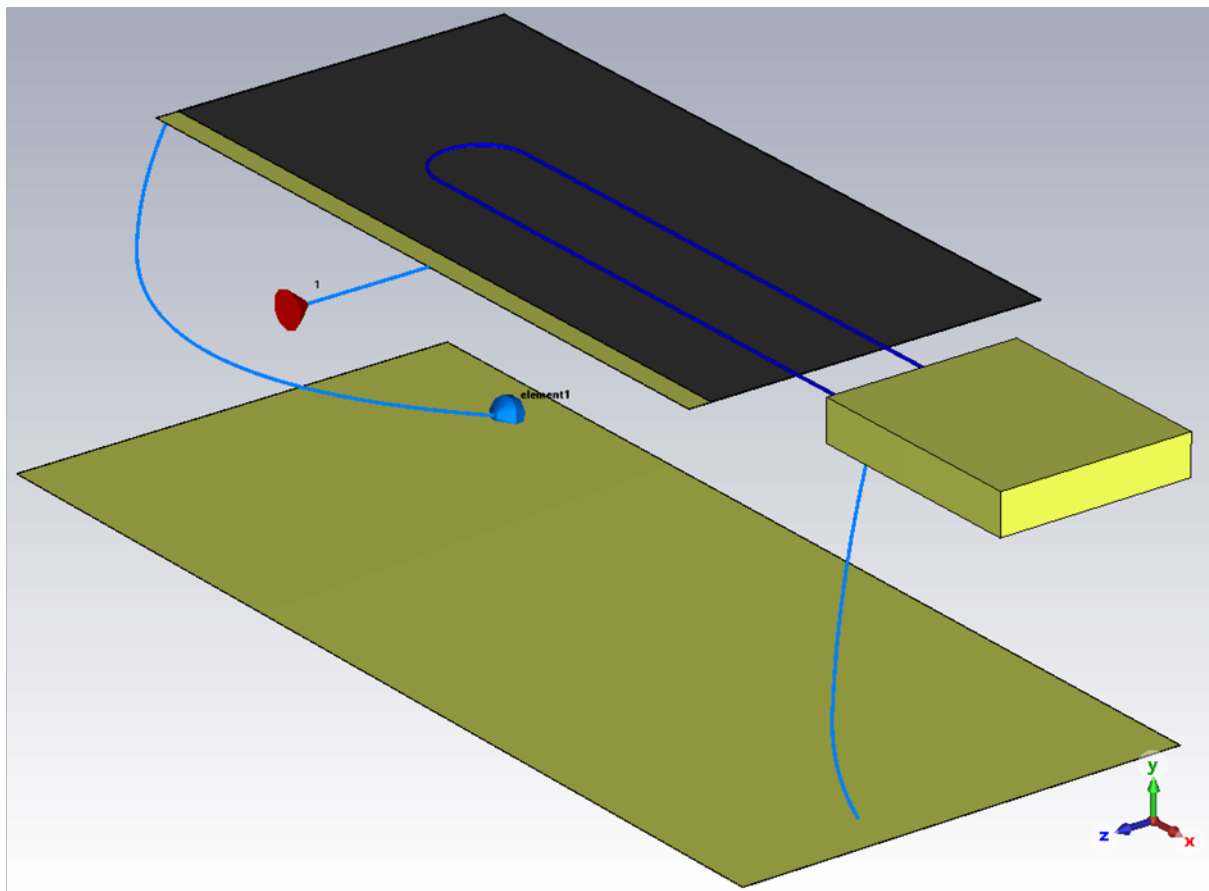
6.3.1 Προσομοίωση της Πειραματικής Διατάξεως

Η πρώτη ιδέα για να ξεκινήσουμε την επανάληψη του πειράματος ESD στο προσομοιωτικό περιβάλλον του CST ήταν να χρησιμοποιήσουμε τα κατάλληλα Projects, από τα 8 τα οποία είχαμε ήδη δημιουργήσει σαν τελικές μορφές της εργασίας μας και συγκεκριμένα τα:

- Table_for_ESD_Test_with_3m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst,
- Table_for_ESD_Test_with_10m_SpW_Cable_Var.01_Type_AL.cst.

Κάνοντας όμως δοκιμές με τα Projects αυτά διαπιστώσαμε ορισμένα βασικά ζητήματα, τα οποία μας ανάγκασαν σε ορισμένες τροποποιήσεις. Τα ζητήματα αυτά και οι σχετικές αλλαγές θα αναπτυχθούν

στην συνέχεια. Η εφαρμογή των τροποποιήσεων μας οδήγησε σε ένα μοντέλο στον 3D χώρο, όπως φαίνεται στην εικόνα, που ακολουθεί.



Εικόνα 6.12: Η πειραματική διάταξη του ESD, όπως τροποποιήθηκε για να ολοκληρωθεί η επαλήθευση του μοντέλου [56].

Σχόλιο σχετικά με την έλλειψη πλήρους παραμετροποίησης στο Project της επαλήθευσης του πειράματος:

Να σημειώσουμε εξ' αρχής, ότι το Project, το οποίο θα δημιουργήσουμε προκειμένου να επαληθεύσουμε εάν το καλώδιο που δημιουργήσαμε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι ένα Project κατά κάποιον τρόπο «πρόχειρο». Με την λέξη «πρόχειρο» δεν εννοούμε κακοφτιαγμένο και «τσαπατσούλικο», αλλά θέλουμε να δείξουμε ότι είναι φτιαγμένο σύντομα, μα περιεκτικά και περιλαμβάνει τα βασικά αντικείμενα, έτσι ώστε να εξυπηρετήσει τον σκοπό του. Και επειδή αυτός ο σκοπός είναι μια γρήγορη και απλή μα και αξιόπιστη επαλήθευση (του γεγονότος ότι το Καλώδιο SpW, που κατασκευάσαμε στο CST, δίνει αποτελέσματα όμοια με ένα πραγματικό καλώδιο SpW), στην πράξη αυτό το Project δεν θα χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα σε άλλες εφαρμογές, πλην αυτής ακριβώς της επαλήθευσης. Για λόγους λοιπόν συντομίας, μιας και δεν υπάρχει ανάγκη για εκτενή μελλοντική χρήση του και από τρίτους, αποφασίσαμε να μην προχωρήσουμε σε πλήρη παραμετροποίηση του σχετικού Project, όπως κάναμε με κάθε Project της εργασίας μας μέχρι τώρα.

6.3.1.1 Η Κονσόλα του iSAFT ως Σώμα Γείωσης

Παρατηρήσαμε ότι, έχοντας ως συσσωμάτωμα γείωσης μόνο τους συνδέσμους, όπου επάνω σε αυτούς τερματίζουν οι θωρακίσεις και επίσης σε αυτούς συνδέεται η γείωση του συστήματος, τα

αποτελέσματα του ρεύματος της εξωτερικής θωρακίσεως ήταν αρκετά διαφορετικά από αυτά των μετρήσεων, που έγιναν στο Εργαστήριο.

Μετά από μια σειρά δοκιμών λοιπόν, κάναμε την σκέψη ότι, ενδεχομένως θα έπρεπε να κατασκευάσουμε ένα λίγο μεγαλύτερων διαστάσεων αντικείμενο, που θα δίνει την γείωση στις θωρακίσεις του καλωδίου. Δημιουργήσαμε λοιπόν ένα 3D αντικείμενο, το οποίο θα προσομοίωνε την κονσόλα του iSAFT. Το αντικείμενο αυτό δεν χρειαζόταν να είναι ιδιαίτερα σύνθετο. Επρόκειτο για ένα πολύ απλό μεταλλικό παραλληλεπίπεδο στις διαστάσεις της κονσόλας του iSAFT (μήκος, πλάτος, ύψος), όπως αυτές μετρήθηκαν στο Εργαστήριο. Αυτό ήταν κάτι σαφώς πιο κοντά στον πραγματικό τρόπο που δίνεται η γείωση του συστήματος, καθώς πράγματι οι θηλυκοί σύνδεσμοι γειώνονται μέσω του σώματος της κονσόλας. Η χρήση ενός τέτοιου αντικειμένου για να δοθεί η γείωση στο καλώδιο, αμέσως έφερε τα αριθμητικά αποτελέσματα του ρεύματος σαφώς κοντύτερα σε αυτά που μετρήθηκαν στο Εργαστήριο.

Να σημειώσουμε ότι αυτή η παρατήρηση ουδόλως σημαίνει ότι οι σύνδεσμοι δεν φτιάχτηκαν όπως έπρεπε ή ότι η ύπαρξή τους οδηγεί σε λάθος αποτελέσματα. Απλώς συμπεραίνουμε ότι, αναλόγως του πειράματος που προσομοιώνεται κάθε φορά, καλό είναι να υλοποιείται και το «σασί» της συσκευής στην οποία συνδέονται οι σύνδεσμοι, ώστε να είναι μεγαλύτερο το 3D αντικείμενο που τους δίνει την γείωση.

Από πλευράς υλοποίησης τώρα, προκειμένου η κονσόλα του iSAFT να είναι σε ίδιο δυναμικό με την γείωση του συστήματος, σε πρώτη φάση, από το περιβάλλον του 3D Modeling, ενώθηκε με το GRP, μέσω ενός απλού σύρματος (Bond Wire). Ο ορισμός του έγινε όπως έχουμε εξηγήσει στην υποενότητα 4.1.5 (βλ. τις Εικόνες 4.9 και 4.10), απλώς η διαδρομή του είναι πιο ελεύθερη, με μια απλή καμπυλότητα, όπως την δίνει ο ορισμός του ως “Spline” (βλ. την Εικόνα 6.12). Όπως αναφέραμε στο σχόλιο πριν την παράγραφο 6.3.1.1, τα χαρακτηριστικά του ορίστηκαν χωρίς πλήρη παραμετροποίηση, γι’ αυτό και δεν κουράζουμε τον αναγνώστη ώστε να του τα παραθέσουμε αναλυτικά.

6.3.1.2 Απαλοιφή των Συνδέσμων

Οι σύνδεσμοι SpW που υλοποιήθηκαν στο CST, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 3, δομήθηκαν με υπερβολική λεπτομέρεια και με απόλυτη πιστότητα στους πραγματικούς συνδέσμους, που υπήρχαν στο Εργαστήριο. Αυτό φυσικά είναι κάτι που επιθυμούσαμε, δηλ.. όσο λεπτομερή υλοποίηση κάναμε στην διατομή του καλωδίου, άλλο τόσο να κάνουμε και στα μοντέλα των συνδέσμων.

Φυσικά, όπως έχουμε αναφέρει ξανά, όσο περισσότερη λεπτομέρεια δίνουμε σε ένα μοντέλο στο CST και κυρίως όταν δίνουμε πολύ λεπτομέρεια σε αντικείμενα πολύ μικρών διαστάσεων, τόσο η πολυπλοκότητα μεγαλώνει. Και μαζί μεγαλώνει και ο χρόνος της οποιασδήποτε προσομοίωσης. Βέβαια, όταν έχουμε μια προσομοίωση μεγάλης σημασίας, στην οποία θέλουμε την μέγιστη αναλυτικότητα και λεπτομέρεια, πολλές φορές προτιμούμε να έχουμε μοντέλα μεγίστου ακριβείας (κι αν είναι αυτό σε βάρος του χρόνου ολοκλήρωσης της προσομοίωσης).

Στην περίπτωση όμως που εξετάζουμε σε αυτό το κεφάλαιο, δηλ. για ένα απλό και εύχρηστο Project επαλήθευσης της σωστής υλοποίησης του Καλωδίου SpW, αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως είναι να μπορούμε να πάρουμε γρήγορα τα αποτελέσματα του προσομοιούμενου πειράματος ESD. Και μάλιστα, το γεγονός ότι έχουμε δώσει την γείωση στις θωρακίσεις μέσω ενός αντικειμένου μεγαλύτερου σε διαστάσεις από τους κονέκτορες (της κονσόλας του iSAFT, όπως σημειώσαμε στην παράγραφο 6.3.1.1), μας εξασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα του ρεύματος, που θα πάρουμε από το CST, δεν θα απέχουν ιδιαίτερα από τα πειραματικά. Οπότε αποφασίσαμε να απαλείψουμε τους συνδέσμους από το Project αυτό, θωρώντας ότι τα αποτελέσματα δεν θα επηρεαστούν σημαντικά και σίγουρα όχι σε βαθμό που να μην μας επιβεβαιώνει την επαλήθευση που θέλουμε να επιτύχουμε.

Ο λόγος λοιπόν που πρέβημεν σε αυτή την απλοποίηση ήταν καθαρά η διάθεση να αποφύγουμε μια πολύ χρονοβόρο προσομοίωση. Επειδή γενικά το υπόλοιπο Project χαρακτηρίζεται από μεγάλες διαστάσεις (GRP, HCP, καλώδιο μήκος ορισμένων μέτρων, κτλ.), αν θέλαμε να έχουμε σχετικά γρήγορα αποτελέσματα δεν εξυπηρετούσε να συνδυαστούν εδώ και οι σύνδεσμοι. Και τούτο διότι, το πολύ μικρό μέγεθος τους θα οδηγούσε τον επιλύτη του CST σε δημιουργία ενός πλέγματος πεδιακών υπολογισμών (mesh) με υπερβολικά μικρό μέγεθος «κελιών», δηλ. σε ένα τεράστιο αριθμό κελιών

και άρα σε υπερβολική αύξηση του χρόνου προσομοίωσης. Άλλωστε το καταλαβαίνουμε αυτό και από την εικόνα του “mesh” που δώσαμε για την απλούστατη δοκιμή υπολογισμού του πεδίου του HCP στο CST (βλ. την Εικόνα 6.6 στην παράγραφο 6.2.5.3). Αν λοιπόν βλέπουμε το πλέγμα να πυκνώνει αισθητά αλλά στις ακμές του HCP, αυτό και μόνο αρκεί για να συνειδητοποιήσουμε πόσο πυκνό θα γινόταν το πλέγμα στην περιοχή των συνδέσμων, που έχουν τόσο μικρές διαστάσεις και υλοποιήθηκαν με τόση λεπτομέρεια. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι ήταν μάταιη η κατασκευή των συνδέσμων, καθώς για μια πιο εμπεριστατωμένη προσομοίωση θα επιθυμούσαμε οπωσδήποτε την ακρίβεια αυτή. Απλώς εν προκειμένω, δεν είναι τόσο αναγκαία.

6.3.1.3 Εκ νέου ορισμός του «Δρόμου» Αποφορτίσεως

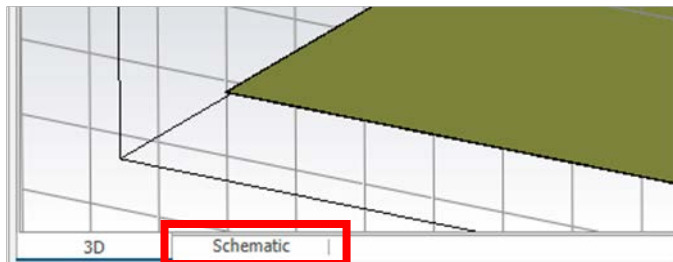
Σχετικά με την αντίσταση αποφορτίσεως έχουμε αναφερθεί ξανά στην υποενότητα 4.1.5. Επειδή στην εργαστηριακή διάταξη, το σημείο σύνδεσης του σύρματος που οδηγεί το Bleeder στην γείωση είναι κάτω από το HCP και προς το πίσω μέρος του GRP, αποφασίσαμε να τροποποιήσουμε ελαφρώς την διαδρομή αυτού του σύρματος και αντί να καταλήγει στο GRP κατακόρυφα προς τα κάτω, κάνει μια καμπυλότητα όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.12.

Προτιμήσαμε να κάνουμε αυτή την μικρή αλλαγή, ώστε να προσπαθήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία του πραγματικού πειράματος να μεταφερθούν στην προσομοίωση (δεδομένης και της αναγκαίας απλοποιήσεως που έγινε απαλείφοντας τους συνδέσμους). Πάντως, πάρα πολύ μικρή επίδραση θα έχει κάτι τέτοιο, διότι, όπως έχουμε εξηγήσει και στην υποσημείωση 230, η αποφόρτιση του ESD μέσω μιας αντίστασης τόσο μεγάλης (εκατοντάδες $k\Omega$), διαρκεί αρκετό χρόνο, ώστε ουσιαστικά να μην επηρεάζει καθόλου το μεταβατικό φαινόμενο του ESD.

6.3.1.4 Το Περιβάλλον του Schematic

Το CST, εκτός από την θεμελιώδη δυνατότητά του να υποστηρίζει την λεπτομερή κατασκευή αντικειμένων και διατάξεων στον 3D χώρο, παρέχει επίσης την δυνατότητα δημιουργίας κυκλωματικών διατάξεων σε περιβάλλον σχεδιαστικό. Δηλ. σε περιβάλλον στο οποίο οι συνδέσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων δίνονται εποπτικά όπως όταν σχεδιάζουμε κυκλώματα. Αυτό το περιβάλλον λέγεται Schematic (απ' ευθείας μετάφραση από το «σχηματικός», αφού δίνει σχηματική αναπαράσταση των συνδέσεων των στοιχείων μας). Το εντοπίζουμε από την βάση του παραθύρου σχεδίασης του 3D χώρου (βλ. την Εικόνα 6.13).

Μεταβαίνοντας στο Schematic, πλέον την διάταξη που έχουμε υλοποιήσει στο 3D Simulation, την βλέπουμε σαν ένα «κουτί» (“block”), το οποίο έχει διαθέσιμα άκρα προς σύνδεση. Δηλ. η οποιαδήποτε διάταξη έχει κατασκευαστεί στο 3D χώρο, παρουσιάζεται στο Schematic σαν ένα πολύθυρο. Οι θύρες που διατίθενται προς σύνδεση στο Schematic προέρχονται από όλα τα αγωγίμα μέρη όλων των cable bundles, που έχουν οριστεί στον 3D χώρο, αλλά και από όλες τις θύρες (ports), που έχουμε ορίσει για εισαγωγή σημάτων (βλ. την υποενότητα 4.1.6).



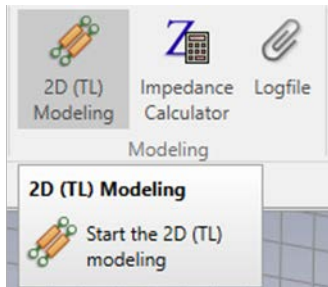
Εικόνα 6.13: Η επιλογή για μετάβαση στο περιβάλλον του Schematic [56].

Στο περιβάλλον του Schematic μας δίνεται η δυνατότητα να ορίζουμε κυκλωματικά στοιχεία, αλλά και να διενεργούμε ενέργειες, που θα μπορούσαν να γίνουν μόνο σε κυκλωματικό περιβάλλον. Μια τέτοια ενέργεια είναι η μέτρηση του ρεύματος της εξωτερικής θωρακίσεως. Μια άλλη είναι το να δοθεί γείωση σε συγκεκριμένους αγωγούς. Ακολουθώντας θα

αναφερθούμε στις ενέργειες που έγιναν για να προετοιμαστεί η προσομοίωση του πειράματός μας.

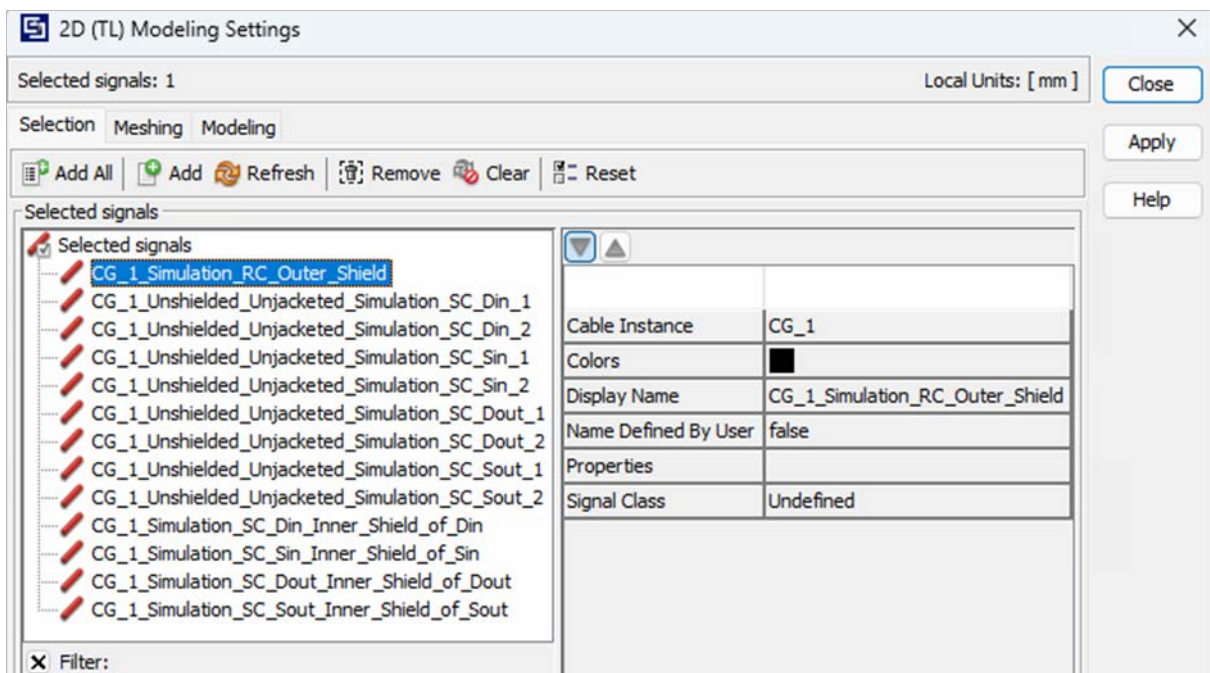
6.3.1.4.1 Απλούστερος Τερματισμός του Καλωδίου

Λόγω της απαλοιφής των συνδέσμων, επόμενο ήταν ο τερματισμός του καλωδίου επάνω στο 3D αντικείμενο που «μοντελοποιεί» την κονσόλα του iSAFT να είναι σαφώς απλούστερος. Στην πράξη, επειδή μας ενδιέφερε να καταγράψουμε το ρεύμα στην εξωτερική θωράκιση του καλωδίου, απλά παραβλέψαμε τις υπόλοιπες αγωγίμες απολήξεις του καλωδίου. Όμως στο Schematic, όλες οι αγωγίμες απολήξεις εμφανίζονται να αναμένουν κάποια σύνδεση. Ο τρόπος να τις καταστήσουμε «ανενεργές» είναι ο εξής. από την καρτέλα “Modeling” της εργαλειοταϊνίας “Cables”, επιλέγουμε το εργαλείο “2D (TL) Modeling” (βλ. την Εικόνα 6.14).



Εικόνα 6.14: Το εργαλείο 2D (TL) Modeling [56].

Στο παράθυρο που προκύπτει (βλ. την Εικόνα 6.15), από στην πρώτη καρτέλα (με όνομα “Selection”), βλέπουμε όλα τα αγωγίμα σύρματα που υπάρχουν στο καλώδιο (τα λεγόμενα “Signals”), τα οποία εντοπίζουμε και από το “Cable Navigation Tree” στα αριστερά.

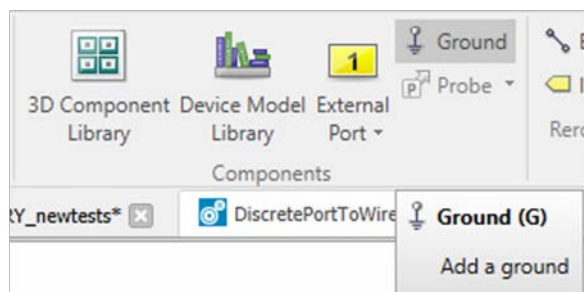


Εικόνα 6.15: Η επιλογή των αγωγίμων απολήξεων του καλωδίου που θα εμφανίζονται στο περιβάλλον του Schematic [56].

Κάθε τέτοιο “signal” ισοδυναμεί με δύο αγωγή άκρα στο καλώδιο, ένα σε κάθε τερματικό του κόμβο, τα οποία εμφανίζονται στο Schematic, σαν ελεύθερες εισοδοι. από το παράθυρο αυτό μπορούμε ευκολά να επιλέξουμε ποια αγωγή τμήματα θέλουμε να διατηρήσουμε προς σύνδεση και ποιά όχι. Όσα δεν θέλουμε, τα επιλέγουμε και πατούμε απλώς το “Remove”, οπότε και χάνονται από το Schematic. Έτσι διατηρήσαμε μόνο το σήμα της εξωτερικής θωρακίσεως, το οποίο δίνει ένα άκρο για κάθε σημείο τερματισμού του καλωδίου.

6.3.1.4.2 Γείωση της Εξωτερικής Θωρακίσεως

Από το περιβάλλον του Schematic μπορούμε πλέον να δώσουμε την γείωση στις αγώγιμες απολήξεις της εξωτερικής θωρακίσεως του καλωδίου μας. Η γείωση εντοπίζεται στην καρτέλα “Components”, της εργαλειοταϊνίας “Home”²³¹ (βλ. την Εικόνα 6.16).

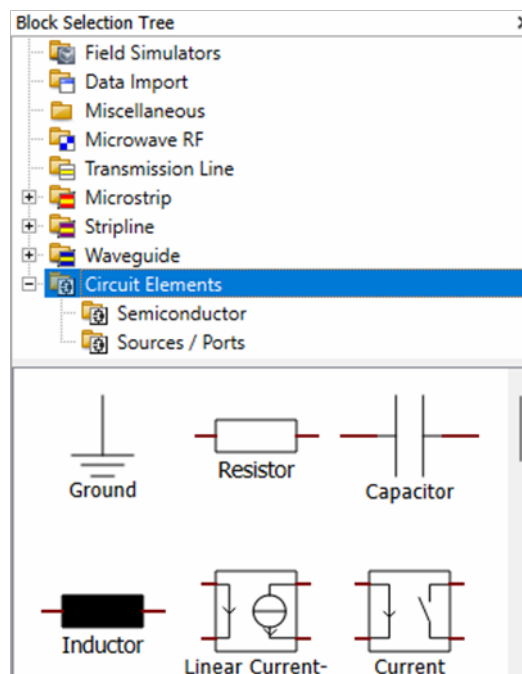


Εικόνα 6.16: Ο ορισμός της γείωσης στο Schematic [56].

Τις δύο θύρες λοιπόν του block της διατάξεώς μας, οι οποίες αντιστοιχούσαν στα άκρα της εξωτερικής θωρακίσεως, τις οδηγούμε σε γειώσεις. Να σημειώσουμε στο σημείο αυτό, ότι προκειμένου να λάβουμε σωστά αποτελέσματα, παρεμβάλαμε μεταξύ των άκρων της θωρακίσεως και της γείωσης από μία αυτεπαγωγή.

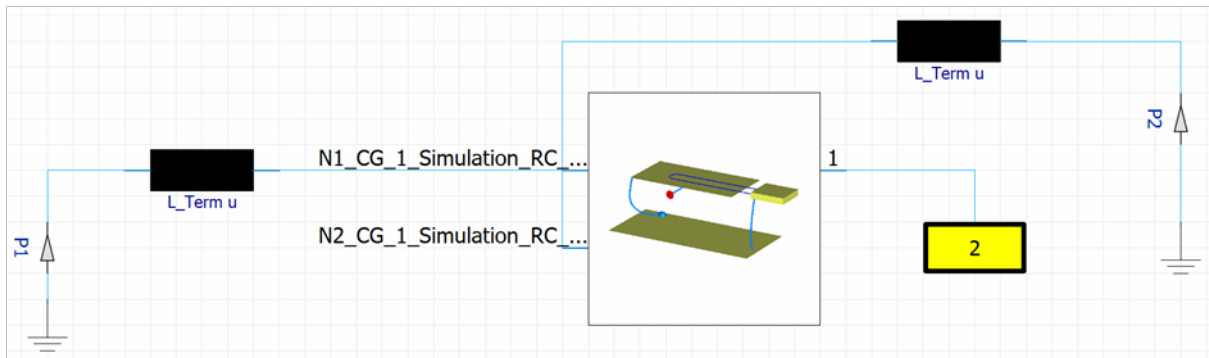
Η αυτεπαγωγή αυτή μοντελοποιεί την αυτεπαγωγή του σύρματος, που δίνει την γείωση μέχρι τον iSAFT (και άρα και μέχρι τους κόνεκτορες και την εξωτερική θωράκιση). Ήταν αναγκαία αυτή η προσθήκη των αυτεπαγωγών, διότι τα απλά αγώγιμα σύρματα, που ορίζονται στο CST, θωρούνται ιδανικά και άνευ αυτεπαγωγής, ενώ στην πραγματικότητα κάθε σύρμα έχει μια εγγενή αυτεπαγωγή. Ο ορισμός των αυτεπαγωγών στο Schematic (όπως ο ορισμός κάθε κυκλωματικού στοιχείου γενικά), έγινε μέσα από το “Block Selection Tree” στο αριστερό μέρος της οθόνης του CST, και ειδικότερα από τον φάκελο “Circuit Elements” (βλ. την Εικόνα 6.17).

Έχοντας ορίσει τις αναγκαίες για την διάταξή μας συνδέσεις, η εικόνα που λαμβάνουμε από το Schematic είναι η ακόλουθη (Εικόνα 6.18):



Εικόνα 6.17: Ο ορισμός κυκλωματικών στοιχείων στο Schematic [56].

²³¹ Η εργαλειοταϊνία “Home” είναι διαφορετική όταν έχουμε ενεργοποιημένο το 3D Modeling και διαφορετική όταν έχουμε ενεργοποιημένο το Schematic.

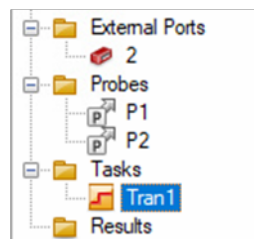


Εικόνα 6.18: Το περιβάλλον του Schematic από το Project της επαλήθευσης του πειράματος ESD [56].

6.3.1.4.3 Έγχυση Ρεύματος Διεγέρσεως – Μέτρηση Ρεύματος Θωρακίσεως

Η έγχυση του ρεύματος γίνεται στην διάταξή μας από την θύρα, που έχει οριστεί στον 3D χώρο (όπως περιγράψαμε στην υποενότητα 4.1.6). Όμως ο ορισμός της κυματομορφής, που θα περιγράψει το ρεύμα, ορίζεται από το περιβάλλον του Schematic. Συγκεκριμένα, η τοποθέτηση στο 3D χώρο της θύρας εγχύσεως ρεύματος δημιουργεί αυτομάτως μια αναμονή στο πολύθυρο του Schematic. Στην αγωγή αυτή αναμονή συνδέουμε μια θύρα διεγέρσεως, από τα εργαλεία του Schematic πλέον. Πρόκειται για το εργαλείο “External Port”, το οποίο βρίσκεται και αυτό στην καρτέλα “Components”, της εργαλειοταινίας “Home”²³² (βλ. την Εικόνα 6.16).

Αφού τοποθετήθηκε η θύρα στο περιβάλλον του Schematic και συνδέθηκε με την κατάλληλη αναμονή, που αντιστοιχούσε στην θύρα εγχύσεως ρεύματος του 3D χώρου, επόμενη ενέργεια ήταν να ορίσουμε την κυματομορφή του ρεύματος. Επιλέξαμε να προσομοιώσουμε ένα φαινόμενο ESD, ύψους τάσεως 8 kV. Από παρελθούσες εργαστηριακές μετρήσεις, είναι αποθηκευμένες στο Εργαστήριο Υ. Τ. κυματομορφές κρουστικού ρεύματος ESD, για διάφορα επίπεδα τάσεως, οι οποίες έχουν παραχθεί από την ίδια ακριβώς συσκευή, που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμά μας. Όλες αυτές οι κυματομορφές υπάρχουν σε αρχεία τύπου .txt, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα από το CST. Επιλέξαμε λοιπόν το .txt αρχείο για ρεύμα παραγόμενο από ESD 8 kV. Το σχετικό αρχείο εισάγεται ως εξής. Ευρισκόμενοι πάντοτε στο περιβάλλον του Schematic, από το Navigation Tree, επιλέγουμε τον φάκελο “Tasks” και εν συνεχεία τον υποφάκελο “Tran1” (βλ. την Εικόνα 6.19). Ο τελευταίος περιέχει λεπτομέρειες σχετικά με την “transient” προσομοίωσή μας (δηλ. το «τρέξιμο» μας στο πεδίο του χρόνου).

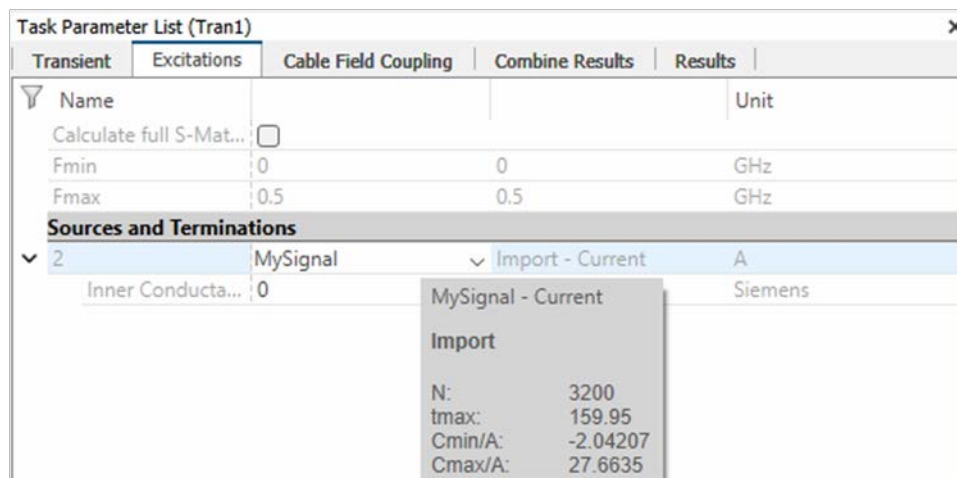


Εικόνα 6.19: Οι φάκελοι του Navigation Tree που σχετίζονται με τα δεδομένα του «τρέξιματος» της προσομοίωσης [56].

Έχοντας κάνει την επιλογή αυτή, εμφανίζεται στο κάτω μέρος του παραθύρου του CST, μια περιοχή που ονομάζεται “Task Parameter List (Tran1)”. Από εκεί, και συγκεκριμένα από την επιλογή

²³² Βλ. ανωτ. υποσ. 231.

“Sources and Terminations” της καρτέλας “Excitations”, εισάγουμε το αρχείο της κυματομορφής, που επιθυμούμε ως διέγερσης (βλ. την Εικόνα 6.20).



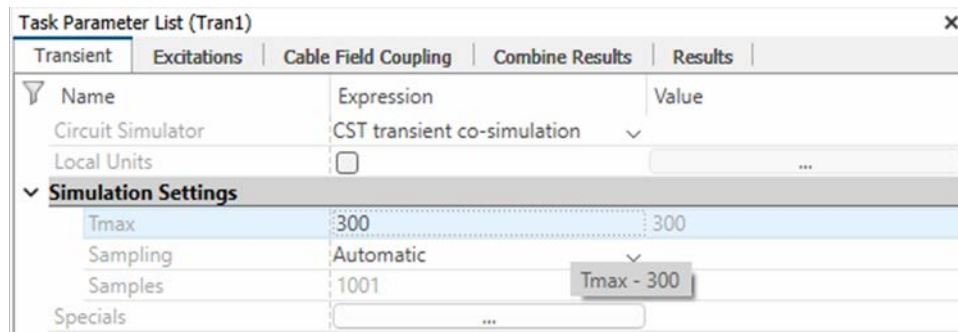
Εικόνα 6.20: Η εισαγωγή από το Schematic της κυματομορφής του ρεύματος διέγερσης [56].

Με την ολοκλήρωση και της εισαγωγής της διεγέρσεως, απομένει να οριστεί ο τρόπος «μέτρησης» του ρεύματος (δίνουμε τον όρο «μέτρηση» εντός εισαγωγικών εν προκειμένω, καθώς το ορθότερο είναι να χρησιμοποιείται μόνο για πραγματικά πειράματα και όχι για προσομοιώσεις). Επειδή στο CST δεν έχουμε δυνατότητα να «μετρήσουμε» το ρεύμα του καλωδίου «αγκαλιάζοντάς το» με μια αμπεροτσιμπίδα (δεν υπάρχει τέτοιο όργανο στο προσομοιωτή), αναγκαστικά πρέπει να παρεμβάλουμε εν σειρά με τον αντίστοιχο αγωγό ένα «αμπερόμετρο» (το οποίο φυσικά καταγράφει με απόλυτη ακρίβεια όλη την κυματομορφή του ρεύματος, σε αντίθεση με τα πραγματικά εν σειρά παρεμβαλλόμενα αμπερόμετρα). Όμως η εν σειρά «μέτρηση» του ρεύματος δεν μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο του καλωδίου (μιας και δεν μπορούμε να το «διακόψουμε»), ει μη μόνον στο πέρας του, στο σημείο δηλ. που τερματίζει. Και η «μέτρηση» αυτή θα οριστεί επίσης από το περιβάλλον του Schematic. Επιλέγουμε λοιπόν έναν έναν τους αγωγούς, που οδηγούν τα δύο άκρα της εξωτερικής θωρακίσεως στην γείωση και ορίζουμε σε αυτούς ένα probe «μέτρησης» – υπολογισμού ρεύματος (το οποίο εντοπίζεται εκεί απ’ όπου επιλέξαμε και την γείωση, βλ. την Εικόνα 6.16).

6.3.2 Εκτέλεση της Προσομοίωσης του Πειράματος

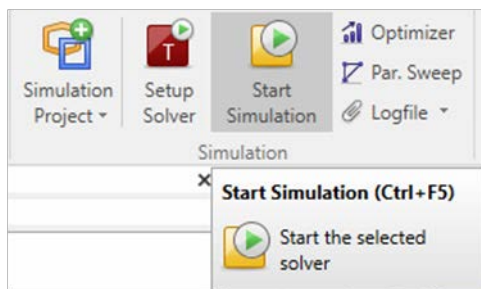
Έχοντας ετοιμάσει το μοντέλο της επαλήθευσης των πειραματικών μας μετρήσεων, είμαστε στην φάση της εκτέλεσης του ίδιου πειράματος, σε προσομοιωτικό πλέον περιβάλλον. Ορίσαμε τον χρόνο της προσομοίωσης στα 400 ns (και όχι περισσότερο), έτσι ώστε να έχουμε και σαφή εικόνα του αρχικού μεταβατικού φαινομένου, αλλά και επαρκή γνώση της αποσβέσεώς του, χωρίς όμως να εξαναγκάσουμε τον επιλύτη σε πάρα πολύ μεγάλο χρόνο ολοκλήρωσης του «τρεξίματος» (διότι ήδη μια σειρά αποτελεσμάτων για χρόνο 400 ns απαιτούσε αρκετό πραγματικό χρόνο για να ολοκληρωθεί από τον επιλύτη του CST, συγκεκριμένα πολλά λεπτά της ώρας). Ο χρόνος της προσομοίωσης ορίζεται, όπως και η διέγερση, μέσω του υποφακέλου “Tran1” (βλ. την Εικόνα 6.19), αλλά ύστερα, μέσω της καρτέλας “Transient”, ως μέγιστος χρόνος προσομοίωσης (“Tmax”, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 6.21). Ατυχώς βέβαια, στην Εικόνα 6.21 ο χρόνος προσομοίωσης φαίνεται να ορίζεται στα 300 ns, αυτό όμως συμβαίνει επειδή η εικόνα ελήφθη από αρχικές δοκιμαστικές προσομοιώσεις, στις οποίες το Tmax ορίστηκε συντομότερο για να λαμβάνουμε γρήγορα αποτελέσματα και να προχωρούμε σε βελτιώσεις του μοντέλου. Ο τελικός χρόνος που επιλέξαμε

αφ'ότου το μοντέλο μας έφθασε στην επιθυμητή μορφή, και που φαίνεται από τα Σχήματα 6.18 και 6.20, που ακολουθούν, είναι τα 400 ns.

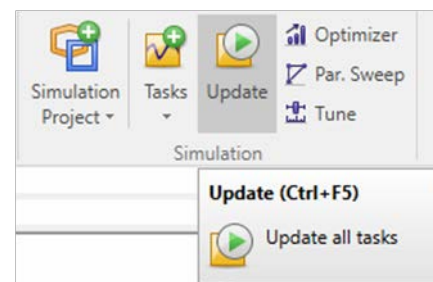


Εικόνα 6.21: Ο ορισμός του χρόνου της προσομοίωσης [56].

Η έναρξη της προσομοίωσης γίνεται από δύο σημεία, από την εντολή “Start Simulation” της καρτέλας “Simulation” στην εργαλειοταξία “Home” του περιβάλλοντος του “3D Modeling” (βλ. την Εικόνα 6.23), αλλά και από την εντολή “Update” της καρτέλας “Simulation” στην εργαλειοταξία “Home” του περιβάλλοντος του “Schematic” (βλ. την Εικόνα 6.22).



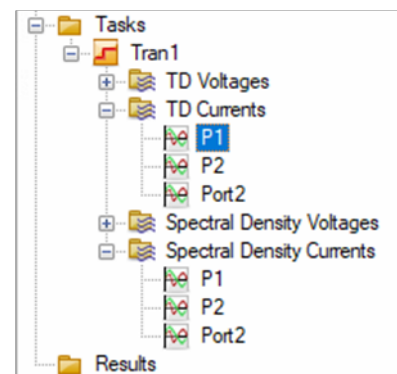
Εικόνα 6.23: Ο 1^{ος} τρόπος έναρξης της προσομοίωσης [56].



Εικόνα 6.22: Ο 2^{ος} τρόπος έναρξης της προσομοίωσης [56].

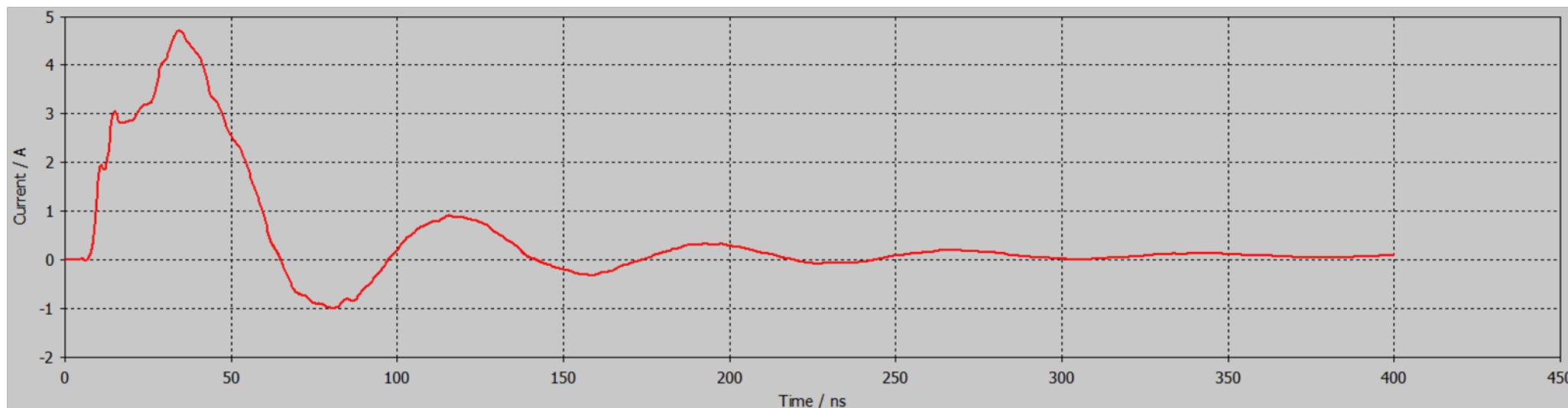
6.3.3 Αποτελέσματα από τον Προσομοιωτή

Μετά την ολοκλήρωση του χρόνου της προσομοίωσης, τα αποτελέσματα των υπολογισμών του εν λόγω προσομοιωτικού πειράματος θα τα εντοπίσουμε από “Navigation Tree” του Schematic. Αυτή την φορά, ο υποφάκελος “Tran1” του φακέλου “Tasks”, θα έχει περισσότερα περιεχόμενα, στο εσωτερικό του. Εξ' αυτών, εμάς μας ενδιαφέρουν, από τους φακέλους “TD Currents” και “Spectral Density Currents”, οι κυματομορφές, που δίνουν τα «μετρητικά» probes P1 και P2, για το ρεύμα στα άκρα της θωράκισης του καλωδίου (τόσο σαν κυματομορφή στο πεδίο του χρόνου, όσο και σαν φασματική πυκνότητα ισχύος) (βλ. την Εικόνα 6.24).

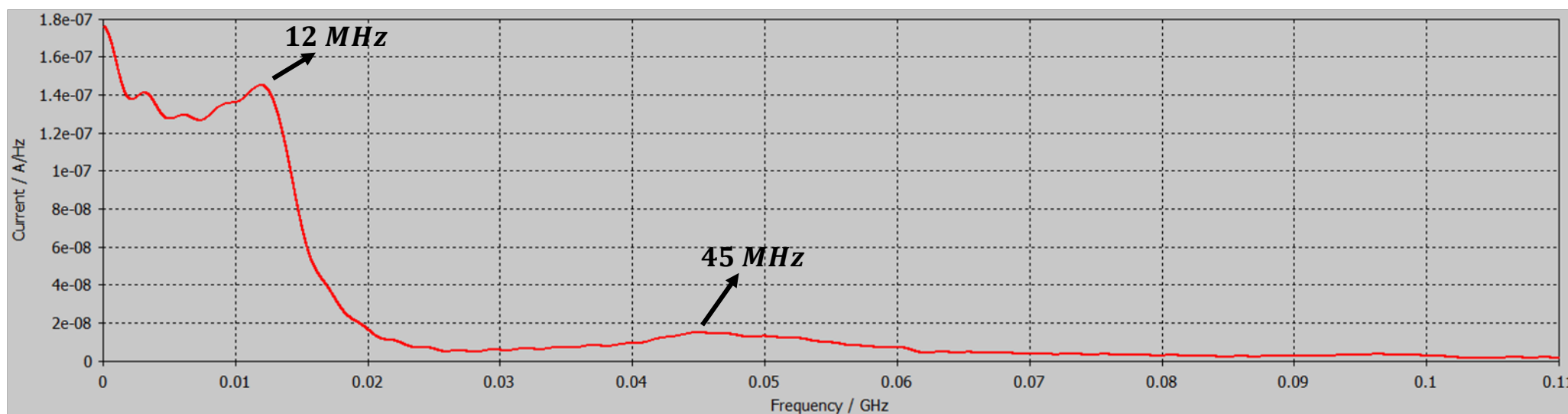


Εικόνα 6.24: Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης [56].

Από το probe 1 (η θέση του οποίου αντιστοιχεί στον κάτω σύνδεσμο, τον Connector_down του πειράματος) λαμβάνουμε την ακόλουθη κυματομορφή για το ρεύμα:

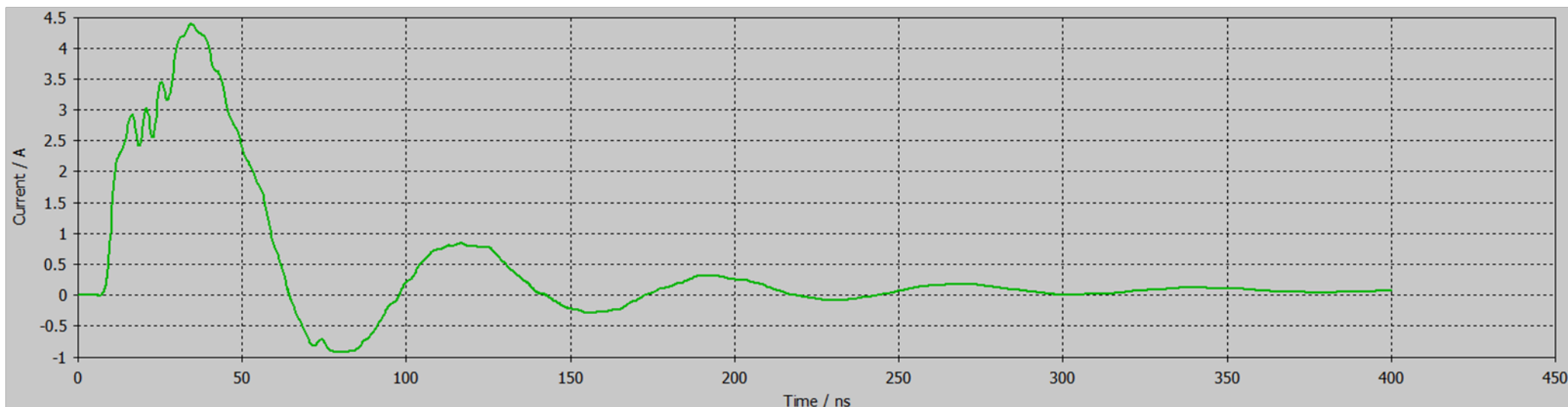


Σχήμα 6.18: Το ρεύμα που υπολογίζεται από την προσομοίωση στο άκρο της εξωτερικής θωρακίσεως, όπου είναι το μετρητικό probe 1 [56].

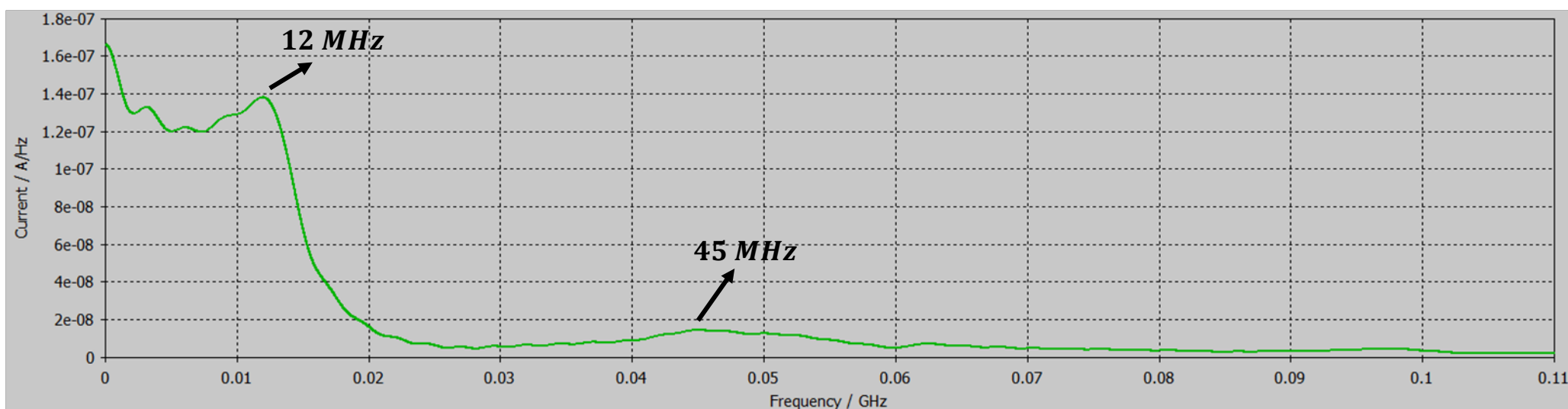


Σχήμα 6.19: Η φασματική πυκνότητα ισχύος του ρεύματος που υπολογίζεται για το άκρο της εξωτερικής θωρακίσεως, όπου είναι το μετρητικό probe 1 [56].

Από το probe 2 (η θέση του οποίου αντιστοιχεί στον πάνω σύνδεσμο, τον Connector_up του πειράματος) λαμβάνουμε την ακόλουθη κυματομορφή για το ρεύμα:



Σχήμα 6.20: Το ρεύμα που υπολογίζεται από την προσομοίωση στο άκρο της εξωτερικής θωρακίσεως, όπου είναι το μετρητικό probe 2 [56].



Σχήμα 6.21: Η φασματική πυκνότητα ισχύος του ρεύματος που υπολογίζεται για το άκρο της εξωτερικής θωρακίσεως, όπου είναι το μετρητικό probe 2 [56].

6.3.4 Συμπεράσματα

Έχοντας πλέον μπροστά μας και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μπορούμε να προχωρήσουμε στον σχετικό σχολιασμό και στην σύγκριση του πειράματος με ένα πραγματικό καλώδιο SpW και της προσομοίωσης του ίδιου πειράματος με το μοντέλο του CST.

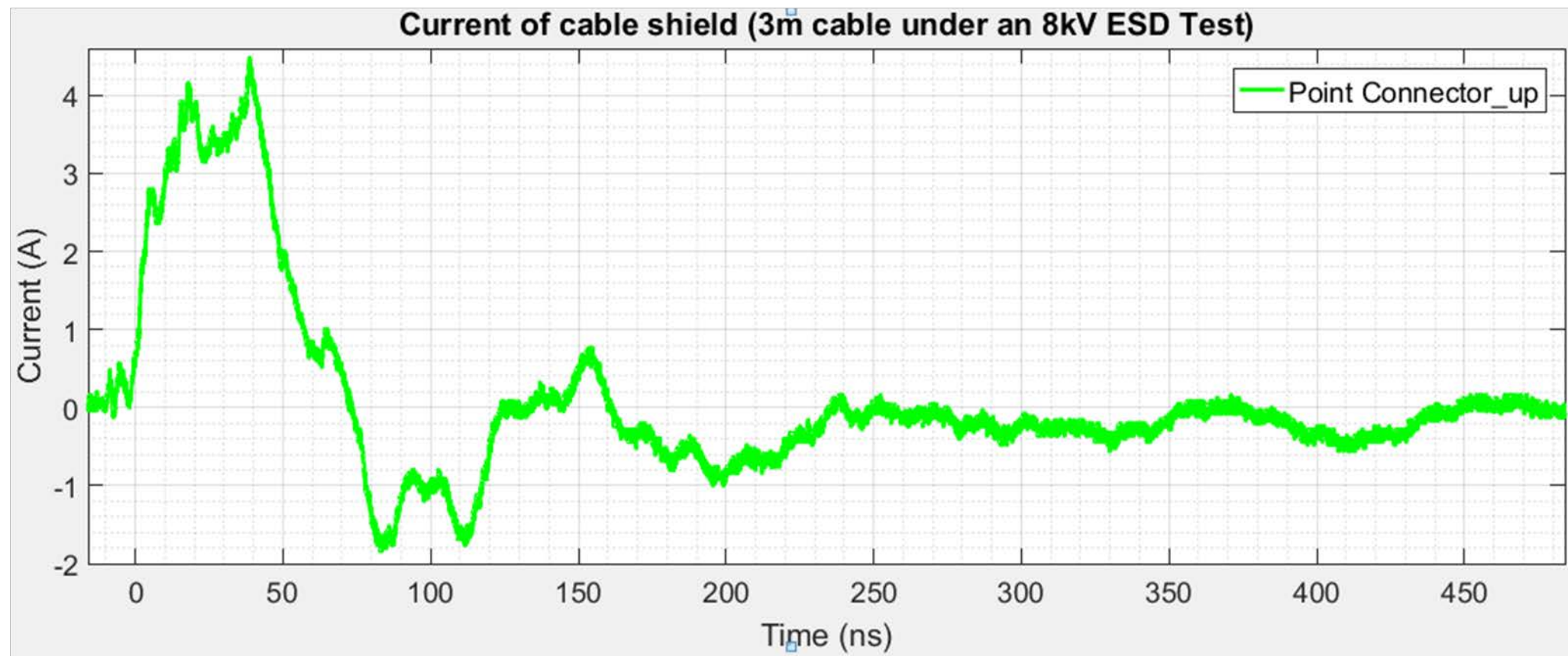
Επειδή, όπως αναφέραμε στην υποπαράγραφο 6.3.1.4.3, ο υπολογισμός του ρεύματος στο CST μπορούσε να γίνει μόνο στα δύο άκρα της εξωτερικής θωρακίσεως (εκεί που ουσιαστικά τερματίζει στους κονέκτορες και στην κονσόλα του iSAFT), αναγκαστικά η σύγκριση των ρευμάτων, που παράγονται από την προσομοίωση, θα έχει σημασία μόνο αν γίνει με τις εργαστηριακές μετρήσεις, που έγιναν στο πέρας του καλωδίου, στα σημεία που ήταν οι κονέκτορες. Επίσης, η σύγκριση έχει νόημα να γίνει μόνο για τις μετρήσεις του καλωδίου των 3 m, αφού μόνο αυτό το μήκος καλωδίου υλοποιήσαμε στο Project της επαλήθευσης. Άρα θα επικεντρωθούμε στις μετρήσεις που έγιναν στα σημεία 3m_Connector_up και 3m_Connector_down. Τέλος, αφού το ρεύμα διέγερσης, που δόθηκε στο CST, προέρχεται από ESD ύψους 8 kV, άρα επικεντρωθήκαμε στις μετρήσεις, που έγιναν για αυτό το ύψος παλμού.

Σχόλιο σχετικά με τα ρεύματα κανονικής λειτουργίας των εσωτερικών αγωγών του καλωδίου

Να σημειώσουμε ότι, στο CST υποβάλαμε το καλώδιό μας σε έμμεση δοκιμή ESD, χωρίς να έχουμε εγκατεστημένη σε αυτό κάποια ροή πληροφοριών. Και δεν επιδιώξαμε να εγκαταστήσουμε τέτοια ροή, διότι αυτό θα απαιτούσε πολύ περισσότερη δουλειά επάνω στην υλοποίηση του LVDS. Παρ' όλα αυτά, η δοκιμή στο Εργαστήριο έγινε με το καλώδιο SpW να διαρρέεται από ρεύματα κανονικής λειτουργίας (δηλ. τα ασθενή ρεύματα του LVDS). Αυτό έγινε αφ' ενός γιατί ήταν πολύ εύκολο να εγκατασταθούν τα σχετικά σήματα του SpW από τον iSAFT και αφ' ετέρου για να παρατηρήσουμε στην πράξη το φαινόμενο της απώλειας πακέτων δεδομένων σε κάθε παλμό του ESD (να κάνουμε δηλ. μια σωστή αναπαραγωγή του προβλήματος, που αρχικά έδωσε το έναυσμα για την εργασία αυτή). Επίσης θέλαμε οι μετρήσεις, που θα αποθηκεύσουμε από την δοκιμή αυτή στο Εργαστήριο, να σχετίζονται με μία πλήρως λειτουργική ζεύξη, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για κάποια άλλη εφαρμογή, που θα απαιτούσε τέτοια ακρίβεια (γι' αυτό άλλωστε και έγιναν μετρήσεις και στα δύο μήκη καλωδίου, ενώ η σύγκριση με τον προσομοιωτή θα γινόταν μόνο για ένα καλώδιο μήκους 3 m). Όμως για μία δοκιμή ESD, το ρεύμα που μετρά η αμπεροτσιμπίδα να ρέει στην εξωτερική θωράκιση του SpW είναι τόσο μεγαλύτερο σε σχέση με τα ρεύματα των σημάτων, που πραγματικά η συνεισφορά τους στην μέτρηση είναι αμελητέα (τόσο που δεν μπορούν από μόνα τους να «ενεργοποιήσουν» τον παλμογράφο να τα ανιχνεύσει). Οπότε το γεγονός ότι στην επαλήθευση του πειράματος από το CST δεν έχουμε δημιουργήσει τα ρεύματα των σημάτων, δεν θεωρούμε ότι επηρεάζει ουσιαστικά το αποτέλεσμα, όταν πραγματοποιούμε την ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

6.3.4.1 Σύγκριση των Ρευμάτων στο Πεδίο του Χρόνου

Επικεντρώνουμε, όπως εξηγήσαμε, το βλέμμα μας στα Σχήματα 6.4 και 6.5, σε σύγκριση με τα Σχήματα 6.18 και 6.20. Μάλιστα, επειδή τα Σχήματα 6.4 και 6.5 έχουν σε κοινό γράφημα τις κυματομορφές από τις μετρήσεις σε όλα τα σημεία του καλωδίου, ενώ εμάς εν προκειμένω μας χρειάζονται μόνο οι κυματομορφές από τις μετρήσεις στα άκρα του (στις θέσεις των συνδέσμων), για να διευκολυνθούμε στις παρατηρήσεις μας, παραθέτουμε μεμονωμένη την κυματομορφή από την μέτρηση του ρεύματος στο πάνω άκρο του καλωδίου των 3 m, δηλ. στο σημείο 3m_Connector_up (βλ.το Σχήμα 6.22, που ακολουθεί).



Σχήμα 6.22: Το ρεύμα της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, μετρούμενο στον πάνω ακροδέκτη του, δηλ. στο σημείο 3m_Connector_up του πάνω τμήματος της οδεύσεώς του [Εργαστήριο Υ. Τ.].

Πρώτη και προφανής παρατήρηση είναι ότι οι κυματομορφές του CST, δεν έχουν καθόλου από τον υψίσυχο θόρυβο (θερμικό ή άλλου είδους), ο οποίος υπάρχει σε κάθε μέτρηση, που έγινε στο εργαστήριο. Γι' αυτό και είναι πιο ομαλή η κυματομορφή, που παράγεται από το CST, σε σχέση με αυτή, που λαμβάνουμε από το πραγματικό πείραμα. Η διαφορά λοιπόν σε αυτό δεν είναι κάτι που μας προβληματίζει. Θα επικεντρωθούμε συνεπώς στην σύγκριση, αγνοώντας την ύπαρξη του θορύβου αυτού.

Το δεύτερο, που προσέχουμε, είναι σχετικά με τον άξονα του χρόνου. Δεν χρειάζεται προβληματισμός σχετικά με το πότε λαμβάνει χώρα η απόκριση. Η διαφορά οφείλεται στο ότι, στο εργαστήριο, ο άξονας του χρόνου ξεκινά από τα -16 ns και η απόκριση στο μεταβατικό λαμβάνει χώρα περίπου την χρονική στιγμή 0 ns. Αντίθετα, στο CST, ο άξονας του χρόνου ξεκινά από τα 0 ns και η απόκριση στο μεταβατικό γίνεται περίπου στα 10 ns (ή ελάχιστα νωρίτερα).

Παρατηρώντας λοιπόν τις κυματομορφές, και αγνοώντας την πολύ έντονη και υψίσυχη ταλάντωση του θορύβου (που εξηγήσαμε γιατί δεν πρέπει να μας απασχολεί), διαπιστώνουμε μια καλή και σε γενικές γραμμές πολύ ικανοποιητική προσέγγιση των κυματομορφών του εργαστηρίου, από αυτές της προσομοίωσης. Κατ' αρχάς και στα δύο πειράματα, πραγματικό και προσομοιωμένο, έχουμε μια πρώτη «εκτίναξη» του ρεύματος μέχρι το ύψος των 3 A, περίπου. Το ρεύμα παραμένει, με μια ταλάντωση κάπως υψηλότερης συχνότητας, σε αυτό το επίπεδο, για περίπου 15 ns. Εν συνεχεία, ακολουθεί το δεύτερο και μεγαλύτερο peak, το οποίο έχει ύψος λίγο πάνω από τα 4 A και για τα δύο πειράματα. Τέλος ταύτιση παρατηρούμε και ως προς τις βασικές χρονικές διάρκειες. Δηλ. και στα δύο πειράματα, η διάρκεια, από την έναρξη της απόκρισης μέχρι τον 1^ο μηδενισμό του ρεύματος για το αργό ταλαντωτικό φαινόμενο (και λέμε για το αργό, γιατί στο πραγματικό πείραμα οι υψίσυχη διακύμανση μπορεί να αναγκάσει την κυματομορφή του ρεύματος να περάσει κάτω από τον οριζώντιο άξονα ναορίτερα), είναι περίπου 60 ns (ή λίγο περισσότερο).

Θέλοντας να γίνουμε λίγο πιο συγκεκριμένοι στις παρατηρήσεις μας, ας επικεντρωθούμε και στην συγκριτική αντιπαράθεση των Σχημάτων 6.22 και 6.20 (αγνοώντας πάντοτε τον θόρυβο της πειραματικής μετρήσεως). Βλέπουμε κατ' αρχήν μια σαφή ομοιότητα στο μέτωπο των κυματομορφών. Και οι δύο έχουν ένα πρώτο “peak” περίπου 10 ns από την στιγμή που ξεκινά να ανέρχεται από την τιμή 0 A το ρεύμα. Μετά από αυτή την γρήγορη «εκτίναξη», έχουμε την παραμονή του ρεύματος σε ένα επίπεδο μεταξύ 2.5 A και 3.5 A, ταλαντωτικά πάντοτε και με αυτή την υψίσυχη κυμάτωση, που αναφέραμε και πριν. Έπειτα ακολουθεί το 2^ο και μεγαλύτερο σε πλάτος “peak” του ρεύματος, το οποίο είναι περί τα 4.5 A και στα δύο σχήματα.

Φυσικά παρατηρούμε και κάποιες διαφορές μεταξύ κυματομορφών πειράματος και προσομοίωσης. Πέραν του θορύβου, που δεν είναι άξιος σχολιασμού, βλέπουμε ότι η μέγιστη τιμή του 1^{ου} “peak” είναι κάπου στα 3 A στον προσομοιωτή και κάπου στα 4 A στο πείραμα του Εργαστηρίου. Επίσης μια μικρή διαφορά παρατηρείται και στην μέγιστη τιμή του 2^{ου} “peak”, σαφώς μικρότερη βέβαια από την διαφορά στο προηγούμενο “peak”. Αν όμως επεκταθούμε πιο δεξιά στον άξονα του χρόνου, πέρα από τον πρώτο κύκλο του μεταβατικού φαινομένου (αυτό των θετικών τιμών ρεύματος), θα διαπιστώσουμε μια αρκετά εντονότερη διαφοροποίηση μεταξύ προσομοίωσης και εργαστηρίου. Στην προσομοίωση η βύθιση του ρεύματος φτάνει οριακά μέχρι το -1 A ενώ στο εργαστήριο φτάνει σχεδόν μέχρι τα -2 A.

Πάντως, τολμούμε να πούμε ότι αυτές οι διαφοροποιήσεις δεν είναι καθόλου παράλογες και ούτε και θεωρούμε ότι καταδεικνύουν λογικά και θεμελιώδη λάθη στην προσομοίωση του πειράματός μας. Και αυτό γιατί αναγνωρίζουμε ότι, ούτε είναι γνωστοί ούτε και είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με απόλυτη ακρίβεια όλοι οι παράγοντες, οι οποίοι υπεισέρχονται στο φαινόμενο, επηρεάζοντας την τιμή που λαμβάνει τελικά το ρεύμα της θωρακίσεως. Μετά από λίγη σκέψη, μπορούμε εύκολα να εντοπίσουμε μερικούς από αυτούς.

Ένας σημαντικός παράγων διαφοροποίησης πειραματικών και προσομοιωτικών αποτελεσμάτων είναι ο τερματισμός του καλωδίου. Μίας και το ρεύμα της εξωτερικής θωρακίσεως είναι το ρεύμα που «τραβιέται» από την γείωση, αναγκαστικά θα περνά και από το κέλυφος του συνδέσμου και από το αγωγήμο μονοπάτι τερματισμού της θωράκισης σε αυτόν. Άρα ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώνεται ο τερματισμός του καλωδίου στους συνδέσμους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική κυματομορφή του ρεύματος της θωρακίσεως, την οποία θα δίνει το CST. Είναι προφανές ότι ο τρόπος με τον οποίο τερματίστηκε το καλώδιο στους συνδέσμους είναι ο καλύτερος δυνατός, που θα μπορούσαμε να κάνουμε με το λογισμικό του CST, πάντοτε όμως έχει διαφοροποιήσεις από ένα πραγματικό καλώδιο [π.χ. σε πραγματικό καλώδιο η θωράκιση τερματίζεται κυκλικά (βλ. την Εικόνα 5.4), δεν υπάρχει όμως τρόπος να γίνει κάτι τέτοιο στο πρόγραμμα, όπου ένας απλός αγωγός σύνδεσης κονέκτορα και θωράκισης είναι το μόνο επιτρεπτό]. Ακόμα λοιπόν και με αυτόν τον τερματισμό στο μοντέλο του καλωδίου μας, θα περιμέναμε διαφορές στα ρεύματα προσομοίωσης και πειράματος, πόσο μάλλον τώρα που, για λόγους επιταχύνσεως της προσομοίωσης, προχωρήσαμε σε μια πλήρη απαλοιφή των συνδέσμων, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 6.3.1.2.

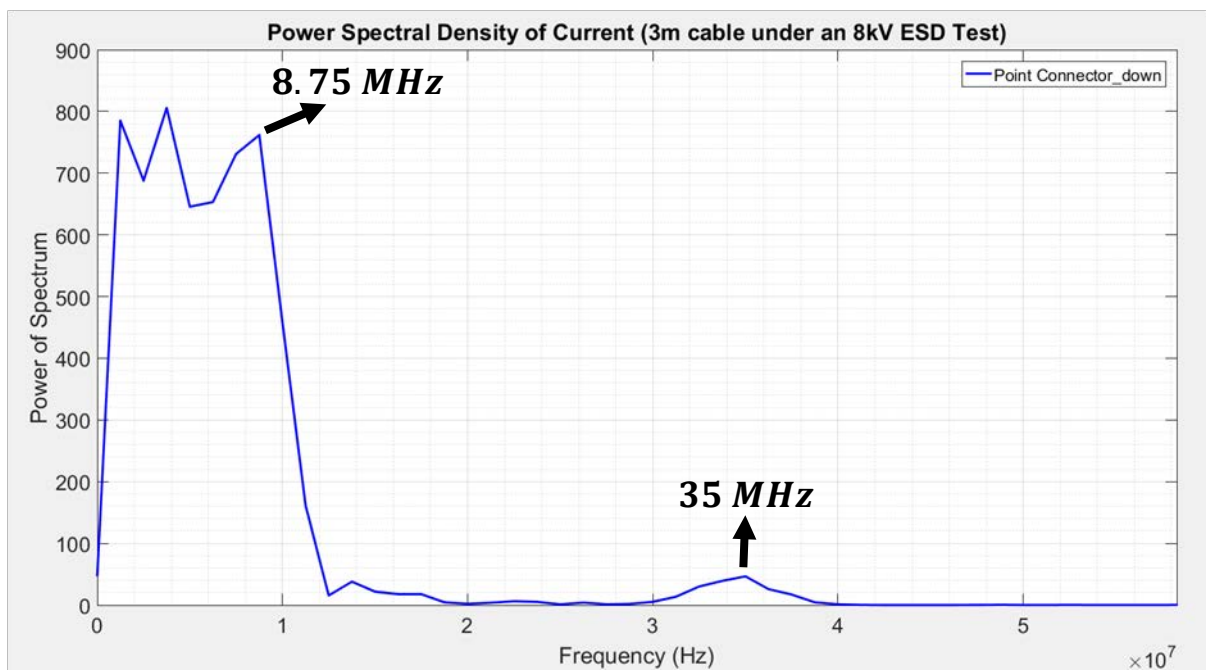
Μια ακόμη λεπτομέρεια, η οποία επηρεάζει καθοριστικά το ρεύμα της θωρακίσεως, είναι το μονοπάτι της γείωσης. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από τον τρόπο με τον οποίο «μεταφέρθηκαν» τα χαρακτηριστικά του πειράματος ESD στο CST, έχει γίνει μια προσπάθεια για όσο το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση του «μονοπατιού», που οδηγεί την γείωση από το GRP μέχρι την θωράκιση του καλωδίου. Γι' αυτό άλλωστε και κατασκευάστηκε το αγωγήμο παραλληλεπίπεδο,

που μοντελοποιεί το «σώμα» της κονσόλας του iSAFT, και συνδέθηκε μέσω αγωγού με το GRP (βλ. την Εικόνα 6.12). Και πάλι όμως, αυτό το μοντέλο είναι μια αρκετά αυθαίρετη προσέγγιση, στην οποία οδηγούμαστε αναγκαστικά, μη έχοντας επαρκή γνώση για κάτι καλύτερο. Στην πραγματικότητα, το ακριβές «μονοπάτι» της γείωσης από το GRP μέχρι τους συνδέσμους περιλαμβάνει τον αγωγό γείωσης εντός του καλωδίου τροφοδοσίας του iSAFT, αλλά και τον αγωγό δρόμο της γείωσης στο εσωτερικό της κονσόλας, ακριβώς πίσω από τους θηλυκούς συνδέσμους. Αυτό το «μονοπάτι» δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί με απόλυτη ακρίβεια, ούτε «χωρική» ούτε «ηλεκτρική». Ούτε δηλ. είναι επακριβώς γνωστή η διαδρομή που ακολουθεί στον χώρο, ούτε και είναι δυνατόν να προσδιοριστεί τουλάχιστον μια ισοδύναμη τιμή εμπεδήσεως Z για αυτό (η μέτρηση της οποίας θα διευκόλυνε την σωστή μοντελοποίησή του). Αναγκαστικά λοιπόν γίνεται προσέγγισή αυτού, χωρικά μέσω της διατάξεως της Εικόνας 6.12 και ηλεκτρικά μέσω της χρήσης των δύο αυτεπαγωγών, που παρεμβάλλονται μεταξύ εξωτερικής θωρακίσεως και γείωσης στο περιβάλλον του Schematic (βλ. την Εικόνα 6.18).

Συμπερασματικά όμως, ο πρώτος βασικός παλμός του ρεύματος της θωράκισης (αυτός με τον οποίο ξεκινά το μεταβατικό) παρουσίαζε πάρα πολλές και βασικές ομοιότητες μεταξύ πειράματος και προσομοίωσης. Επειδή τώρα αυτός ακριβώς ο πρώτος παλμός του ρεύματος έχει το μεγαλύτερο πλάτος και περιέχει και τις πιο υψηλές συχνότητες (λόγω του αρχικού «μετώπου» της κυματομορφής), εδώ βρίσκεται και η περισσότερη ενέργεια του φαινομένου, η οποία θεωρείται και υπεύθυνη για το πρόβλημα της παρεμβολής αυτής στην λειτουργία του καλωδίου. Αφού λοιπόν αυτό το αρχικό μέρος του ρεύματος προσομοιώθηκε πολύ κοντά στην πραγματικότητα, έχουμε μια ταυτόχρονη επαλήθευση της ορθότητας της υλοποίησής μας.

6.3.4.2 Σύγκριση των Ρευμάτων στο Πεδίο της Συχνότητας

Αν παρατηρήσουμε το φασματικό περιεχόμενο των ρευμάτων μας και εκεί θα δούμε ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι πολύ κοντά σε εκείνα του πειράματος. Παραθέτουμε, για οικονομία χώρου, το φάσμα της μέτρησης μόνο για το σημείο 3m_Connector_down (καθώς οι ακμές βρίσκονται στις ακριβώς ίδιες συχνότητες και για το φάσμα της μέτρησης στο σημείο 3m_Connector_up).



Σχήμα 6.23: Το φασματικό περιεχόμενο του ρεύματος της θωρακίσεως του καλωδίου SpW των 3 m, για ESD ύψους 8 kV, το οποίο μετράται στο σημείο Connector_down [57].

Εν πρώτοις παρατηρούμε μια πολύ κοντινή εικόνα στην μορφή, που έχει το φάσμα, και για τις πειραματικές μετρήσεις και για τις προσομοιούμενες. Επίσης, βλέπουμε ότι οι βασικές συχνότητες του φάσματος είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Βέβαια υπάρχει απόκλιση λίγων MHz, αλλά κάτι τέτοιο δεν είναι παράλογο. Φυσικά δηλ. και δεν αναμένουμε απόλυτη ταύτιση, καθώς είναι πολλοί οι παράγοντες, που υπεισέρχονται σε ένα πραγματικό πείραμα, επηρεάζοντάς το, και οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με απόλυτη ακρίβεια. Π.χ., εντελώς ενδεικτικά αναφέρουμε ότι, ακόμα και μικρές αλλαγές στις τιμές των αυτεπαγωγών, μέσω των οποίων γειώνεται η θωράκιση, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματά μας. Εφ' όσον λοιπόν δεν είναι σαφώς γνωστή η αυτεπαγωγή του σύρματος, που οδηγεί στην γείωση τον iSAFT, είναι προφανές ότι θα αναμένουμε διαφορές. Δηλ. τα ταλαντωτικά φαινόμενα (τόσο το χαμηλόσυχο όσο και το υψίσυχο) επηρεάζονται έντονα από διάφορους παράγοντες, οπότε δεν μας ανησυχεί η διαφορά αυτή (ως προς το αν υλοποιήσαμε σωστά το καλώδιο).

Το γενικό μας συμπέρασμα πάντως είναι ότι, παρά τις γενικές διαφορές, που είναι απολύτως λογικό να υπάρχουν, οι κυματομορφές του ρεύματος, που παρήχθησαν από την προσομοίωση του πειράματος στο CST, είναι πολύ κοντά και θα μπορούσαμε να πούμε ότι «συμφωνούν» με τα αποτελέσματα, που δίνει το πραγματικό πείραμα στο Εργαστήριο Υ. Τ..

6.4 Ανακεφαλαίωση της Εργασίας

6.4.1 Σύντομη Ανασκόπηση – Συμπεράσματα

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετήθηκε σε βάθος το Συναρμολόγημα Καλωδίου SpW, το φυσικό διασυνδεδετικό μέσον μιας καινοτόμου επικοινωνιακής ζεύξης για διαστημικές εφαρμογές. Μετά από προσεκτική διερεύνηση και κατανόηση της δομής του από τις σχετικές προτυποποιήσεις και με απόλυτη πιστότητα σε αυτές, πραγματοποιήθηκε η λεπτομερής υλοποίηση ενός πλήρως λειτουργικού μοντέλου του συναρμολογήματος αυτού, στο προσομοιωτικό περιβάλλον του λογισμικού CST Studio Suite®.

Ακολούθως, η εργασία αφοσιώθηκε στην μελέτη της Έμμεσης Ηλεκτροστατικής Εκφόρτισης σε καλώδιο SpW. Πραγματοποιήθηκε το σχετικό πείραμα στο Εργαστήριο Υ. Τ., όπου ένα πραγματικό καλώδιο SpW χρησιμοποιήθηκε σαν δοκίμιο και εν συνεχεία έγινε επανάληψη του ίδιου πειράματος στο περιβάλλον του προσομοιωτή CST, με χρήση του μοντέλου που είχε αναπτυχθεί.

Η δόμηση του μοντέλου έγινε με μεγάλη προσοχή και με διαρκείς προσπάθειες να επαληθεύεται η ορθότητά της και η συμμόρφωσή της στα πρότυπα, κατά την πορεία της. Μάλιστα για την τελική επιβεβαίωση τούτου, πραγματοποιήθηκε και σχετικό πείραμα με μια πραγματική ζεύξη SpW στο Εργαστήριο Υ. Τ., το οποίο, εκτός της αξίας που είχε αυτό καθ' αυτό σαν ερευνητικό πείραμα, έδωσε μια πιο εναργή εικόνα της αξιοπιστίας του μοντέλου αυτού.

Ο τρόπος, με τον οποίο δομήθηκε η εργασία και παρουσιάστηκαν τα σχετικά με το μοντέλο που υλοποιήθηκε, αποτελεί και ένα πολύ καλό έργο αναφοράς σχετικά με την κατανόηση της δομής και της λειτουργίας ενός τέτοιου καλωδίου, όσον αφορά στο φυσικό του επίπεδο. Εκτός αυτού, ή μάλλον συμπληρωματικά προς αυτό, η μεγάλη λεπτομέρεια με την οποία εξηγήθηκαν τα βήματα της δόμησης του μοντέλου στο CST, τολμούμε να πούμε ότι, καθιστά την εργασία αυτή επιπλέον ένα πολύ καλό εκπαιδευτικό εργαλείο γύρω από την μέθοδο δημιουργίας μοντέλων καλωδίων προς προσομοίωση με το συγκεκριμένο λογισμικό.

Θα μπορούσε κάποιος όμως να αναρωτηθεί και εύλογα: «ερμηνεύτηκε και επιλύθηκε το πρόβλημα της απώλειας δεδομένων από την ζεύξη SpW, κατά την έκθεση του καλωδίου αυτής σε φαινόμενο εμμέσου ESD;». Η απάντηση είναι ότι, σε αυτή την φάση μπορούμε να κάνουμε μόνο εικασίες για τους λόγους, που οδηγούν στις απώλειες των πακέτων της ζεύξης, δηλ. σαφώς και δεν έχουμε δώσει εξήγηση για το πρόβλημα αυτό. Από την άλλη όμως, είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι δεν ήταν αυτός ο αντικειμενικός σκοπός της εργασίας μας. Κατανοώντας νωρίς την πολυπλοκότητα του προβλήματος και την δυσκολία στην ερμηνεία του, πόσο μάλλον στην επίλυσή του,

προχωρήσαμε στην διεκπεραίωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας με βασικό στόχο να δημιουργήσουμε ένα ακριβές, αποτελεσματικό και εύχρηστο μοντέλο που θα χρησιμεύσει σαν εργαλείο για την περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος αυτού. Αναγνωρίσαμε δηλ. ότι η ερμηνεία και η αποτελεσματική επίλυση αυτού του προβλήματος ήταν ένα ιδιαίτερα δύσκολο και απαιτητικό έργο και κάναμε το πρώτο βήμα προς την επίλυσή του, δίνοντας ένα πολύ καλό εργαλείο και επαληθεύοντας την αξιοπιστία του. Έτσι λοιπόν οδηγούμαστε στο επόμενο προφανές ερώτημα: «τι είναι αυτό το οποίο προσέφερε τελικά αυτή η διπλωματική εργασία και πώς θα μπορούσε μελλοντικά να αξιοποιηθεί;».

6.4.2 Συνεισφορά – Μελλοντικές Προεκτάσεις

Βασική συνεισφορά της παρούσης εργασίας είναι, όπως αναφέραμε μόλις πριν, η δημιουργία ενός αναλυτικού και εύχρηστου μοντέλου – εργαλείου για την μελέτη του φαινομένου Εμμέσου ESD σε καλώδια SpW και η αξιόπιστη επαλήθευση της ορθότητός του, μέσω επιτυχούς προσομοίωσης του φαινομένου αυτού. Η προφανής και άμεση χρησιμότητα αυτού του μοντέλου είναι η, εν συνεχεία, αξιοποίησή του για μια λεπτομερέστατη και εμβριθή μελέτη του συγκεκριμένου φαινομένου. Και αυτό γιατί, όλες οι σκέψεις προς την κατεύθυνση της επίλυσης του προβλήματος αυτού (τα θέματα τερματισμού του καλωδίου, η εισαγωγή της γείωσης στις θωρακίσεις του, η μορφή του PCB που βρίσκεται πίσω από τους θηλυκούς συνδέσμους, κ.α.), προκειμένου να διερευνηθούν, χρειάζονται ένα καλό μοντέλο του καλωδίου, του φυσικού μέσου της σύνδεσης. Και μάλιστα όσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο αυτό τόσο πιο αξιόπιστη θα είναι και η οποιαδήποτε τέτοια επόμενη διερεύνηση. Έχοντας λοιπόν στα χέρια μας ένα τόσο «δυνατό» εργαλείο, μπορούμε να προχωρήσουμε σε λεπτομερέστερη εξέταση των θεμάτων τερματισμού του, ή και σε υλοποίηση μέρους του PCB, που βρίσκεται πίσω από τους θηλυκούς συνδέσμους, ώστε να οδηγηθούμε σε σαφή απάντηση στο πρόβλημα που προκαλεί το έμμεσο ESD στην ζεύξη SpW, και σε πιθανούς τρόπους επίλυσής του. Όμως αυτές οι ενέργειες είναι ένα μόνο μικρό δείγμα της μελλοντικής συνεισφοράς ενός τέτοιου μοντέλου.

Το Πρωτόκολλο SpW είναι μια σχετικά καινούργια τεχνολογία στο κομμάτι των διαστημικών επικοινωνιών. Τα βασικά χαρακτηριστικά του καθορίστηκαν πρώτη φορά στο πρότυπο ESCC-E50-12A το 2003, όπως αναφέρεται στο [25]. Όμως η αναθεώρηση του προτύπου στην τελική του μορφή (την ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2]) έγινε μόλις το 2019.

Λόγω της πολύ προσφάτου εισαγωγής του SpW στην βιομηχανία του διαστήματος, πέραν των σχετικών προτύπων, η βιβλιογραφία γύρω από αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ιδιαίτερα εκτενής. Μάλιστα τείνει προς το να θεωρείται αρκετά φτωχή. Ειδικά μετά την αναθεώρηση του προτύπου, πραγματικά δεν υπάρχουν ούτε πολλές μελέτες σχετικά με την νέα μορφή του, ούτε πολλά σχετικά πειράματα, ούτε ακόμα και πολλές εμπορικές του χρήσεις, αφού μέχρι τώρα η βιομηχανία χρησιμοποιούσε τις προηγούμενες μορφές του SpW²³³.

Ως εκ τούτου, η παρούσα εργασία είναι ιδιαίτερα σημαντική και πρωτοποριακή. Το γεγονός ότι μοντελοποιήθηκαν τόσο η παλαιότερη όσο και η νεότερη μορφή του συναρμολογήματος, εξυπηρετεί αφάνταστα την σταδιακή ενσωμάτωση του νέου τύπου συναρμολογήματος στην αγορά, διότι μπορούν εύκολα να προσομοιωθούν συστήματα, που λειτουργούσαν με τον παλιό τύπο συναρμολογήματος καλωδίου και σε αυτά πλέον να γίνουν δοκιμές με τον καινούργιο.

Το μοντέλο αυτό δύναται να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο μέσο για την διεξαγωγή πληθώρας μελετών και προσομοιώσεων γύρω από την συμπεριφορά του SpW. Μπορεί εύκολα να εξεταστεί η Η/Μ επίδραση, που έχει το ίδιο το καλώδιο στον περιβάλλοντα χώρο του, όταν διαρρέεται από ρεύματα κανονικής λειτουργίας (δοκιμή αντίστοιχη με αυτή, που μελετάται στο [25]). Μπορούν επίσης να διεξαχθούν δοκιμές με το καλώδιο να είναι το αντικείμενο μιας Η/Μ παρεμβολής και στην συνέχεια να εξεταστεί το περιθώριο αντοχής που έχει σε επίδραση («βομβαρδισμό») εξωτερικού Η/Μ πεδίου, χωρίς να χάνεται η ακεραιότητα του μεταδιδόμενου σήματος (signal integrity). Εν προκειμένω έγινε μια πρώτη εξέταση της δοκιμής Εμμέσου ESD στο καλώδιο. Με αυτό το εργαλείο

²³³ Γι' αυτό και το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] κάνει μνεία και για την προηγούμενη μορφή συναρμολογήματος, την Type AL, συμβουλεύοντας όμως, ότι τα νέα προϊόντα θα πρέπει να εκσυγχρονιστούν με βάσει τις νέες απαιτήσεις (βλ. τα λεγόμενα στην παράγραφο 5.1.1.2).

είναι εφικτό να προχωρήσει κανείς και σε πολύ λεπτομερέστερες αναλύσεις αυτού του φαινομένου (π.χ. με πολλαπλά επίπεδα τάσης των παλμών διεγέρσεως και εξέταση της ακεραιότητας σήματος). Μάλιστα η προσοχή με την οποία κατασκευάστηκε το μοντέλο δίνει την δυνατότητα, αφ' ενός μεν να πραγματοποιούνται με αξιοπιστία προσομοιωτικές δοκιμές διαφόρων ειδών, προτού επαναληφθούν σε ένα πραγματικό καλώδιο, έτσι ώστε να αποφεύγονται πιθανότητες σφαλμάτων, αφ' ετέρου δε να γίνεται προσεκτικότερη διερεύνηση των παραμέτρων και των αιτιών κάθε προβλήματος, με επανάληψη του προσομοιωτικά ύστερα από την παρατήρησή του σε ένα πραγματικό καλώδιο.

Επιπλέον, η ιδιαίτερη έμφαση, που δόθηκε στην παραμετρική κατασκευή του μοντέλου, παρέχει ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα. Μπορούν με μεγάλη ευκολία να πραγματοποιούνται οι σχετικές δοκιμές πολλαπλές φορές, με τροποποιημένα κάθε φορά ορισμένα χαρακτηριστικά του καλωδίου, είτε εντός των επιτρεπτών ορίων από τα πρότυπα, είτε και εκτός. Έτσι μπορεί με πολύ μεγάλη ευκολία να εξεταστεί κατ' εξοχήν μια παραλλαγμένη μορφή του καλωδίου ή μπορεί επίσης να διερευνηθεί ποιά από τα χαρακτηριστικά του μπορεί να επηρεάζουν την H/M του συμπεριφορά και με ποιόν τρόπο.

Να σημειώσουμε δε ότι, επιλέξαμε σκόπιμα να καταλήξουμε στην δημιουργία τελικών αρχείων στο CST, στα οποία δεν είναι ορισμένη η συσκευή στην οποία τερματίζει το καλώδιο. Αυτό καθιστά τα μοντέλα μας πιο ευέλικτα ώστε να μπορούν στην συνέχεια να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές, όπου το SpW θα συνδέεται σε οποιαδήποτε συσκευή επιθυμούμε. Φυσικά μπορεί να φανεί δεσμευτικό, το ότι το συναρμολόγημα έχει αναπτυχθεί σε ένα περιβάλλον που αποτελεί την βασική διάταξη για δοκιμή ESD. Επιλέξαμε όμως να έχουμε αυτή την διάταξη σαν υπόβαθρο, γιατί έτσι μας δόθηκε και η δυνατότητα να παρουσιάσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να οριστεί το καλώδιο στον χώρο, αλλά και το πώς ο ορισμός του αυτός στον χώρο μπορεί να γίνει παραμετρικά, ώστε να τροποποιείται εύκολα και γρήγορα. Αν απλά παραδίδαμε ένα καλώδιο στον «αέρα», δεν θα είχαμε εξηγήσει επαρκώς τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να οριστεί μια όδευση, που να ανταποκρίνεται σε ορισμένες απαιτήσεις. Ενώ τώρα χρειάστηκε να εξηγήσουμε και να υλοποιήσουμε πολλά πράγματα (όπως το σε ποιό ύψος θα ορίσουμε την όδευση, ώστε να υπάρχει επαφή αλλά όχι επικάλυψη, με ποιόν τρόπο θα πρέπει να οριστεί η καμπυλότητά της, ώστε να μεταφέρει στην προσομοίωση επ' ακριβώς την καμπυλότητα μιας αληθινής διάταξης, κτλ.).

Φρονούμε ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί ένα εφελκυστικό για μια εμπεριστατωμένη και σε βάθος μελέτη της ζεύξης SpW (σε όλα της τα επίπεδα, όχι μόνο στο φυσικό) και προσφέρει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο, που μπορεί να στηρίξει αξιόπιστα την μελέτη αυτή.

Παράρτημα Α

Θωράκιση των Καλωδίων

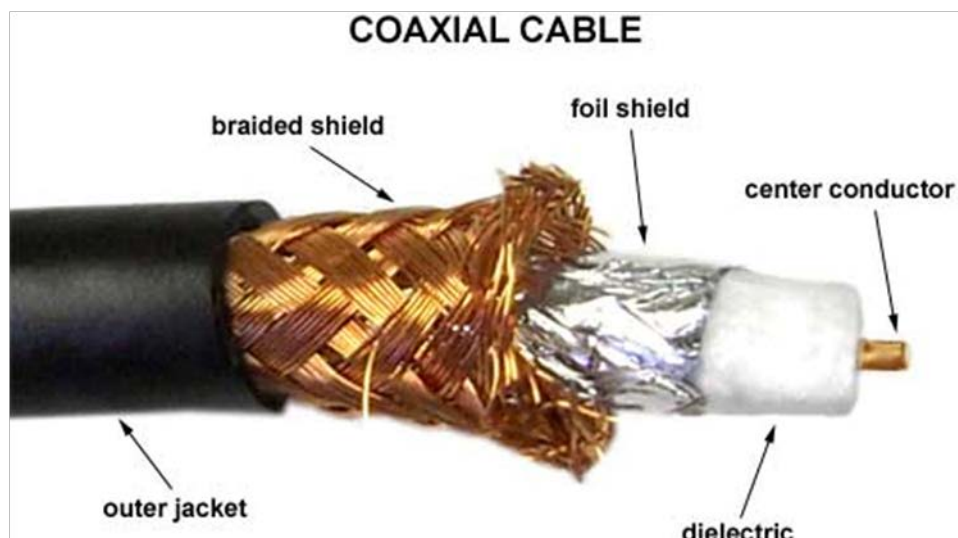
Α.1 Τα Είδη Θωράκισης Καλωδίου

Δύο είναι τα βασικά είδη θωρακίσεως καλωδίων, η θωράκιση μεταλλικού φύλλου (foil shield) και η πλεκτή θωράκιση (braided shield).

Η **θωράκιση μεταλλικού φύλλου (foil shield)** είναι η «κάλυψη» του καλωδίου εντελώς από μεταλλικό φύλλο. Αυτό το είδος θωράκισης προσφέρει μεν 100% κάλυψη, άρα παρέχει καλύτερη Η/Μ θωράκιση στο καλώδιο, όμως είναι αρκετά «εύθραυστη». Λογω λοιπόν του ότι έχει μειωμένη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις (κάμψη, στρέψη, κτλ.), δεν προτιμάται συχνά, κυρίως σε καλώδια, που επιθυμούμε να είναι εύκαμπτα.

Η **πλεκτή θωράκιση (braided shield)** είναι ένας τύπος θωρακίσεως καλωδίων ο οποίος δομείται από συρματίδια, τα οποία ομαδοποιούνται σε «τανείες» ή «ζώνες» (“belts”), τις λεγόμενες «φέρουσες» (“carriers”) και στην συνέχεια πλέκονται μεταξύ τους, τείνοντας να σχηματίσουν μια «ασπίδα» με όσο το δυνατόν λιγότερα κενά. Σε αντίθεση με την θωράκιση μεταλλικού φύλλου, εδώ η κάλυψη, εκ των πραγμάτων, δεν μπορεί ποτέ να είναι απόλυτη (θα είναι γνήσια $< 100\%$), διότι όσο «σφικτά» κι αν πλεχθούν τα συρματίδια, πάντοτε θα υπάρχουν κενά αέρα ανάμεσά τους και οπές μεταξύ των φερουσών. Δηλ. το 100% είναι το άνω όριο στο ποσοστό κάλυψης αλλά είναι όριο ανοικτού διαστήματος, αφού η κάλυψη μπορεί μόνο να τείνει σε αυτό.

Για να γίνουν αντιληπτοί οι δύο τύποι θωρακίσεως παραθέτουμε την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα Α.1: Τα δύο είδη θωρακίσεως καλωδίων [46].

Μάλιστα στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε να συνυπάρχουν και οι δύο τύποι θωράκισης σε ένα ομοαξονικό καλώδιο, κάτι που ενίοτε συναντάται και εξυπηρετεί στο να γίνεται εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων και των δύο τύπων θωράκισεων.

A.2 Πλεκτή Θωράκιση

Το καλώδιο SpW, όπως έχουμε πει στην ενότητα 2.1 χρησιμοποιεί, τόσο για τα υποκλώδια των διαφορικών ζευγών όσο και για το ίδιο, το ολικό καλώδιο, πλεκτή θωράκιση. Συνεπώς σε αυτήν μόνο θα αναφεθούμε από εδώ και στο εξής.

A.2.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πλεκτής θωράκισης είναι τα ακόλουθα:

K : ο παράγων οπτικής κάλυψης (optical coverage factor)

F : ο παράγων πλήρωσης (fill factor)

N : ο αριθμός των συρματιδίων κάθε φέρουσας (number of strands)

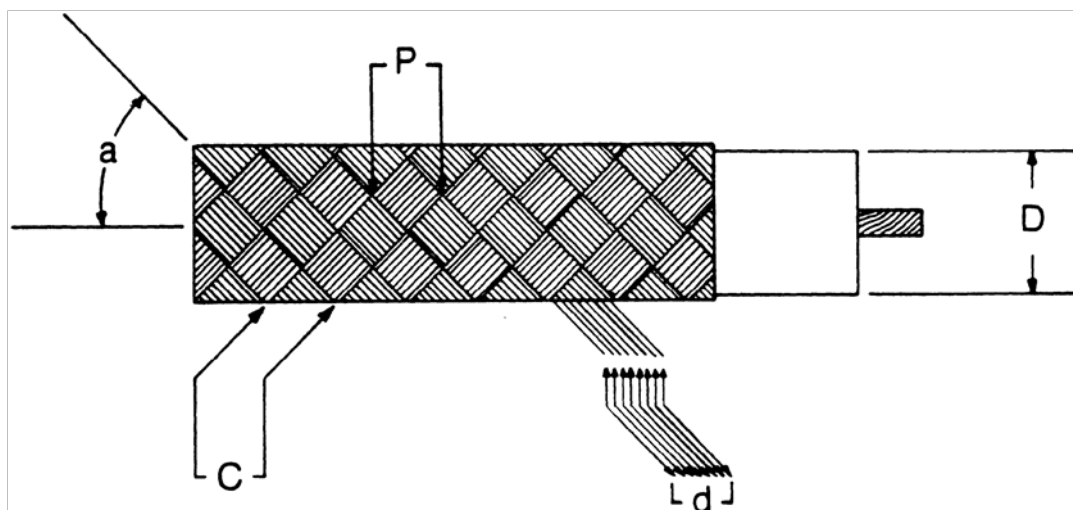
P : το βήμα της πλέξης (serving pitch) δηλ. ο αριθμός διασταυρώσεων φερουσών στην μονάδα του μήκους

d : η διάμετρος του κάθε συρματιδίου (shield strand diameter) (mm)

a : η γωνία της πλέξης με τον διαμήκη άξονα του καλωδίου (angle of shield with cable axis or braid angle) ($^{\circ}$)

D : η «ενεργός» διάμετρος του πυρήνα κάτω από την θωράκιση (effective diameter of core under shield) (mm)

C : ο αριθμός φερουσών (number of carriers)



Σχήμα Α.1: Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πλεκτής θωράκισης [52].

Βάσει των παραπάνω μεγεθών υπολογίζεται ο παράγων κάλυψης K , ως ακολούθως. Πρώτα υπολογίζεται η γωνία a , μέσω της ευρέσεως της εφαπτομένης της, από την σχέση:

$$\tan a = 2\pi \cdot \frac{(D + 2d) \cdot P}{C} \quad (\text{A.1})$$

Έχοντας την γωνία a , υπολογίζεται ο παράγων πλήρωσης από τον τύπο:

$$F = \frac{N \cdot P \cdot d}{\sin a} \quad (\text{A.2})$$

Τέλος, με βάση τον F , υπολογίζεται ο παράγων κάλυψης, από την σχέση:

$$K = 2F - F^2 \quad (\text{A.3})$$

ή ο επί τοις εκατό παράγων κάλυψης, από την σχέση

$$K(\%) = (2F - F^2) \cdot 100 \% \quad (\text{A.4})$$

Ο παράγοντας αυτός είναι το βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό μιας πλεκτής θωρακίσεως και εκφράζει το πόσο «καλά» περιβάλλει και άρα θωρακίζει η πλεκτή θωράκιση τα μέσα από αυτή υποκαλώδια. Όσο μεγαλύτερος είναι ο παράγοντας αυτός, τόσο μικρότερα είναι τα κενά που αναπόφευκτα υπάρχουν μεταξύ των συρματιδίων και των φερουσών και άρα τόσο καλύτερη είναι η θωράκιση και από Η/Μ πλευράς.

A.2.2 Πάχος Πλεκτής Θωρακίσεως

Η πρώτη σκέψη, που κάνει κανείς αναρρωτώμενος σχετικά με το πόσο είναι το πάχος της πλεκτής θωρακίσεως, είναι ότι θα ισούται με το διπλάσιο της διαμέτρου των συρματιδίων που την αποτελούν. Όμως, από μελέτη σχετικής βιβλιογραφίας ([26], [28], [29], [31], [33], [37]), διαπιστώσαμε ότι στην πραγματικότητα το πάχος μια πλεκτής θωρακίσεως είναι κατά μια μικρή ποσότητα μεγαλύτερο από απλώς το διπλάσιο της διαμέτρου των κλώνων της. Δηλ. οι ταινίες των συρματιδίων της θωρακίσεως, οι λεγόμενες «φέρουσες» (“carriers”), απέχουν μεταξύ τους μια μικρή απόσταση. Έχουν αναπτυχθεί ορισμένα μαθηματικά μοντέλα, που προσπαθούν να προσεγγίσουν την απόσταση αυτή, έστω σαν μέση τιμή, και εν γένει καταλήγουν σε μια εξάρτηση αυτής από χαρακτηριστικά της θωράκισης, όπως η διάμετρος των συρματιδίων σε συνδυασμό με τον παράγοντα κάλυψης (το πόσο «σφικτή» δηλ. είναι η πλέξη). Παρ’ όλα αυτά, όταν προχωρήσαμε στην δόμηση της διατομής (η οποία αναπτύσσεται στην ενότητα 2.8), διαπιστώσαμε ότι το Cable Studio κάνει την πιο απλουστευμένη θεώρηση, ότι το πάχος της πλεκτής θωρακίσεως είναι ακριβώς ίσο με το διπλάσιο της διαμέτρου των συρματιδίων της. Η διαπίστωση αυτή προήλθε από το γεγονός ότι, ορίζοντας την εξωτερική διάμετρο του SC όπως έγινε στην παράμετρο *SC_Diameter* (δηλ. με ακριβώς την τιμή του διπλασίου της διαμέτρου των συρματιδίων στο *Thickness_of_Inner_Shield*), δεν προέκυψε κάποιο μήνυμα σφάλματος λόγω επικάλυψης στρωμάτων κατά την τοποθέτηση των τεσσάρων SCs ώστε να εφάπτονται επακριβώς. Αν το πάχος της θωρακίσεως ήταν, στο Cable Studio, μεγαλύτερο από την τιμή που επιλέξαμε στην παράμετρο *Thickness_of_Inner_Shield*, τότε θα προέκυπτε ένα τέτοιο μήνυμα σφάλματος κατά την τροποθέτηση αυτή. Για τον λόγο αυτό, εν τέλει στην παραμετροποίησή μας θέσαμε το πάχος της θωρακίσεως ακριβώς ίσο προς το διπλάσιο της διαμέτρου των συρματιδίων της (βλ. τις παραγράφους 2.5.3.2 και 2.5.4.2).

A.2.3 Ορισμός Πλεκτής Θωρακίσεως στο CST

Όπως έχουμε δει και σε εικόνες όπως η Εικόνα 2.32, όταν ορίζουμε μια πλεκτή θωράκιση σε ένα καλώδιο στο περιβάλλον του Cable Studio, οι μεταβλητές οι οποίες είναι ελεύθερες, ώστε να τους δώσουμε ό,τι τιμές επιθυμούμε, είναι κατά βάσιν 4: το d , το N , το C και ένα εκ των K , a και P .

Για το d πρέπει προφανώς να δοθεί μια τιμή από τον χρήστη. Τα N και C μπορούν και αυτά να καθοριστούν από τον χρήστη, αλλά γι' αυτά δίνει και το Cable Studio, από μόνο του, μια προτεινόμενη τιμή. Οι τρεις τελευταίες μεταβλητές όμως (K , a και P), δεν μπορούν να λαμβάνουν τιμές ανεξάρτητα η μία από την άλλη, επειδή συνδέονται μέσω των παραπάνω σχέσεων (της υποενότητας Α.2.1), μιας και είναι και οι τρεις ενδεικτικές του τρόπου περιτύλιξης και σύσφιξης της θωρακίσεως. Συνεπώς στο Cable Studio, ο χρήστης έχει δυνατότητα να ορίσει τιμή μόνο για μία από τις τρεις αυτές μεταβλητές, που δηλώνουν τον βαθμό σύσφιξης της πλέξης. Με βάση την τιμή, που ορίζει ο χρήστης ότι επιθυμεί σε μία από αυτές τις παραμέτρους, το πρόγραμμα υπολογίζει τις τιμές των άλλων δύο παραμέτρων (με βάση την μέθοδο των μαθηματικών σχέσεων που παραθέσαμε πριν).

Συμπερασματικά λοιπόν, θα μπορούσαμε να δηλώσουμε τιμές για τις υπόλοιπες γεωμετρικές παραμέτρους και να αφήσουμε το πρόγραμμα να υπολογίσει τον παράγοντα κάλυψης. Όμως επειδή το πρότυπο δίνει περιορισμό μόνο για τον παράγοντα κάλυψης (και όχι π.χ. για το πόσες δέσμες – ταινίες θα χρησιμοποιηθούν ή το πόσα νήματα θα απαρτίζουν την κάθε ταινία, ή πού πρέπει να κυμαίνεται η γωνία a), αφήσαμε το πρόγραμμα να καθορίσει μόνο του τις τιμές των παραμέτρων αυτών, χωρίς να υπεισέλθουμε σε περισσότερο βάθος στο σημείο αυτό. Έτσι έχουμε δηλώσει πως η παράμετρος, που θα καθορίζεται από τον χρήστη είναι ο Optical Coverage Factor (βλ. τις παραγράφους 2.5.3.2 και 2.5.4.2).

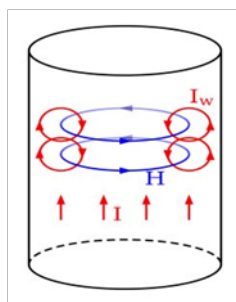
Παράρτημα Β

Επιδερμικό Φαινόμενο σε Επαργυρωμένο Χαλκό

Β.1 Θεωρία του Επιδερμικού Φαινομένου συνοπτικά

Γνωρίζουμε ότι το DC ρεύμα, ως χρονοσταθερό, έχει σταθερή χωρική πυκνότητα, δηλ. ρέει ομοιόμορφα από όλη την διατομή του αγωγού, που το εξυπηρετεί. Αντίθετα το AC ρεύμα, ως χρονομεταβλητό, έχει χωρική πυκνότητα, που εξαρτάται από την ακτίνα του αγωγού με τρόπο που είναι γνωστός ως το «Επιδερμικό Φαινόμενο». Συγκεκριμένα το μέτρο της χωρικής πυκνότητας του ρεύματος εμφανίζει την μέγιστη τιμή του στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού και μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από αυτήν, κινούμενοι προς τον κέντρο του (προς τον άξονά του).

Το επιδερμικό φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι ένα χρονομεταβαλλόμενο ρεύμα I , που ρέει σε έναν αγωγό, επάγει σε αυτόν χρονομεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (εντάσεως \vec{H}) άρα και χρονομεταβαλλόμενη μαγνητική ροή Ψ_m μέσα στον όγκο του [34]. Η μαγνητική ροή με την σειρά της είναι υπεύθυνη για την δημιουργία δινορευμάτων I_w , όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Σχήμα Β.1: Δινορεύματα σε κυλινδρικό αγωγό που διαρρέεται από AC ρεύμα I [34].

Στην εικόνα αυτή, η κατεύθυνση των δινορευμάτων I_w είναι ίδια με αυτή του κυρίου ρεύματος I του αγωγού (και ρεύματος διέγερσης του φαινομένου) στα σημεία της περιφέρειάς του αγωγού και συνεπώς εκεί τα δινορεύματα δρουν προσθετικά και η πυκνότητα του ρεύματος αυξάνεται. Αντίθετα, όσο κινούμαστε προς το εσωτερικό του αγωγού, τα δινορεύματα έχουν αντίθετη φορά από το κύριο ρεύμα και έτσι αντιτίθενται στην ροή του, άρα από πλευράς συνολικής πυκνότητας ρεύματος δρουν αφαιρετικά. Συνεπώς η πυκνότητα του ρεύματος είναι μέγιστη στην περιφέρεια του αγωγού και

φθίνει όσο κινούμαστε προς το κέντρο του. Η πεδιακή ανάλυση του φαινομένου καταδεικνύει ότι η πυκνότητα του AC ρεύματος σε έναν κυλινδρικό αγωγό, σε βάθος d από την εξωτερική επιφάνειά του, φθίνει εκθετικά όσο κινούμαστε από αυτήν προς το κέντρο του, σύμφωνα με την σχέση:

$$J = J_S \cdot e^{-\frac{d}{\delta}} \cdot e^{-j\frac{d}{\delta}} \quad (\text{B.1})$$

όπου:

J : η πυκνότητα του AC ρεύματος σε έναν κυλινδρικό αγωγό (σε A/m^2),

d : το βάθος από την εξωτερική επιφάνειά του αγωγού, στο οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε την πυκνότητα του ρεύματος J (συνήθως σε mm),

J_S : η πυκνότητα του AC ρεύματος στην εξωτερική επιφάνεια του κυλινδρικού αγωγού (σε A/m^2) και

δ : το επιδερμικό βάθος (συνήθως σε mm).

Μια πολύ χρήσιμη ποσότητα λοιπόν, που περιγράφει αυτό το φαινόμενο, είναι το «επιδερμικό βάθος» ή «βάθος διεισδύσεως», δ . Στην πραγματικότητα το επιδερμικό βάθος είναι το βάθος εκείνο, στο οποίο η πυκνότητα του ρεύματος έχει πέσει στο $1/e$ της τιμής που έχει οριακά στην επιφάνεια, δηλ. περίπου στο 37%. Σε έναν δακτύλιο με πάχος όσο το επιδερμικό βάθος δ ρέει το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος, περίπου το 60% – 65% της συνολικής εντάσεως αυτού. Σε μεγαλύτερο βάθος θα ρέει ακόμα μεγαλύτερο μέρος του συνολικού ρεύματος. Σε βάθος μέχρι τετραπλάσιο του επιδερμικού ρέει πλέον πάνω από το 98% – 99% του συνολικού ρεύματος (νούμερα που προκύπτουν από ολοκλήρωση της σχέσης εκθετικής μείωσης της πυκνότητας του ρεύματος).

Η μαθηματική σχέση που μας δίνει το επιδερμικό βάθος είναι:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}} \xleftrightarrow{\omega=2\pi \cdot f} \delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (\text{B.2})$$

όπου:

f : η συχνότητα του εναλλασσομένου σήματος ρεύματος (σε Hz),

μ : η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού του αγωγού (σε H/m) και

σ : η ειδική αγωγιμότητα του υλικού του αγωγού (σε S/m)

Με τις παραπάνω μονάδες, το επιδερμικό βάθος θα προκύψει στο S.I., δηλ. σε m .

Από την σχέση (B.2) παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η συχνότητα του ρεύματος, τόσο το επιδερμικό βάθος μειώνεται, πράγμα που σημαίνει ότι η συνολική πυκνότητα του ρεύματος εντοπίζεται όλο και πιο κοντά προς την περιφέρεια του αγωγού. Άρα όσο προχωρούμε προς το κέντρο του αγωγού θα έχουμε όλο και μικρότερη πυκνότητα ρεύματος. Αναλόγως λοιπόν της ακτίνας του αγωγού και της συχνότητας του ρεύματος, υπάρχει περίπτωση από ένα βάθος και μετά, καθώς κινούμαστε προς το εσωτερικό του αγωγού, η χωρική πυκνότητα του ρεύματος πρακτικά να μηδενιστεί²³⁴, όταν το επιδερμικό βάθος για την εν λόγω συχνότητα είναι αρκετά μικρότερο από την ακτίνα του αγωγού.

B.2 Σημασία της Επαργύρωσης των Αγωγών

Το βασικό, ανεπιθύμητο αλλά αναπόφευκτο, αποτέλεσμα του επιδερμικού φαινομένου είναι ότι όσο μεγαλώνει η συχνότητα του ρεύματος που ρέει σε έναν αγωγό, τόσο μεγαλώνει και το ποσοστό του ρεύματος που θα ρέει κοντά στην περιφέρεια του. Κατά συνέπεια μικραίνει η «ενεργός» επιφάνεια ροής του ρεύματος και άρα αυξανομένης της συχνότητας, η ισοδύναμη αντίσταση του αγωγού παρουσιάζει μια αύξηση σε σχέση με την τιμή της σε χαμηλές συχνότητες (και προφανώς και στο DC). Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε «καλώδια δεδομένων» (όπως είναι και το

²³⁴ Η πυκνότητα του ρεύματος μόνο πρακτικά λέμε ότι μπορεί να μηδενιστεί, όταν το επιδερμικό βάθος είναι πολύ μικρό συγκριτικά με την ακτίνα του αγωγού. Θεωρητικά δεν μηδενίζεται ποτέ, αφού φθίνει εκθετικά, βάσει της σχέσεως (B.1).

SrW που εξετάζουμε), διότι τα σήματα ρεύματος που εξυπηρετούν αυτά τα καλώδια είναι εν γένει αρκετά υψίσυχνα, της τάξεως αρκετών δεκάδων MHz αν όχι και μεγαλύτερα²³⁵.

Προκειμένου λοιπόν να μην οδηγούμαστε σε απαράδεκτα μεγάλες τιμές αντιστάσεως, **δίνουμε στους γάλκινους (συνήθως) αγωγούς επιπλέον μια επιστρώση από άργυρο (Ag)**, ο οποίος είναι το μέταλλο με την μεγαλύτερη ειδική αγωγιμότητα. Έτσι, να μεν το ρεύμα εξαναγκάζεται να ρέει προς την περιφέρεια του αγωγού, λόγω του επιδερμικού φαινομένου, όμως εκεί το υλικό στο οποίο πλέον ρέει εμφανίζει μια αγωγιμότητα μεγαλύτερη από αυτή του καθαρού χαλκού (Cu). **Η επαργύρωση λοιπόν είναι μια ενέργεια που τείνει να επιβραδύνει την έντονη και προς απαράδεκτα επίπεδα αύξηση της αντίστασης των αγωγών, όσο η συχνότητα των ρευμάτων αυξάνει.**

Το να επιθυμούμε να μην αυξάνεται η αντίσταση των αγωγών είναι προφανές, διότι η αύξηση της αντίστασής τους συνοδεύεται και από αύξηση της θερμοκρασίας τους και το να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία του καλωδίου σε ανεπιθύμητα επίπεδα είναι αυτονόητο για την εύρυθμη λειτουργία του. Η άνοδος της θερμοκρασίας είναι παράγων καταπόνησης και φθοράς του καλωδίου (των μονώσεων του εν πρώτοις αλλά και των αγωγών σε βάθος χρόνου), αλλά έχει και ένα άλλο, πιο άμεσο, αρνητικό επακόλουθο, το οποίο είναι η αύξηση του θερμικού θορύβου.

Όσον αφορά στον θόρυβο, το γεγονός ότι τα σήματα είναι διαφορετικά και επιπλέον είναι συνεστραμμένα μειώνει κατά πολύ τον θόρυβο που φτάνει στο δέκτη, αυτό όμως ισχύει για τον εξωτερικό θόρυβο κυρίως και για τύπους εσωτερικού θορύβου που επηρεάζουν με όμοιο τρόπο και τους δύο αγωγούς. Στην περίπτωση του θερμικού θορύβου, η εγγύτητα και η συστροφή των αγωγών να μεν εγγυάται, εν πολλοίς, ότι θα έχουν όμοια θέρμανση, αλλά υπάρχουν παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε διαφοροποίηση της θέρμανσης των δύο αγωγών, μεταξύ τους. Π.χ. μικροδιαφορές μεταξύ των αγωγών (ατέλειες πάνω στο συρματίδιο ή μικροαλλαγές στην επαργύρωση) μπορούν να οδηγήσουν και σε ελάχιστες διαφορές στην θέρμανση του καθενός. Επίσης πάντοτε μπορεί να υπάρξει περίπτωση η συστροφή σε κάποια σημεία να μην είναι ιδανική, οπότε οι αγωγοί να μην έχουν παντού (καθ' όλο το μήκος του καλωδίου δηλ.) την ίδια εγγύτητα. Τέλος, κατά τον τερματισμό του καλωδίου, μην ξεχνούμε ότι οι αγωγοί παύουν να είναι συνεστραμμένοι και απομακρύνονται κάπως, οπότε εκεί ο επηρεασμός τους από έναν θόρυβο θα αλλάξει (αν και το μήκος στο οποίο συμβαίνει αυτό είναι πολύ μικρό). Αυτά τα περιστατικά συνεισφέρουν ώστε να έχουμε, σε ορισμένες περιπτώσεις, ελάχιστα διαφορετικό επίπεδο θορύβου του ενός αγωγού από τον άλλον, οπότε αυτός δεν θα αφαιρεθεί ικανοποιητικά στον δέκτη (λόγω του διαφορετικού χαρακτήρα του σήματος). Επίσης δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι θόρυβο θα εισάγουν και οι αγωγοί των θωρακίσεων, αν θερμαίνονται υπέρ το δέον. Φυσικά οι θωρακίσεις γειώνονται, αλλά δεν αποκλείονται στατιστικά μικρές επιδράσεις εξ' επαγωγής και αυτού του θορύβου στα σημεία τερματισμού του καλωδίου, π.χ. εκεί που οι αγωγοί παύουν να είναι συνεστραμμένοι.

Όλα αυτά καταδεικνύουν το πόσο σημαντικό είναι να υπάρχει επαρκές πάχος επαργύρωσης, έτσι ώστε η αύξηση αντίστασης, άρα και της θερμοκρασίας να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη (και άρα και ο αστάθμιστος παράγων του θορύβου, αν και υπαρκτός, να είναι πραγματικά αμελητέος).

Ένα επιπλέον οφέλιμο στοιχείο της επαργύρωσης είναι το ότι προσφέρει μεγαλύτερη αντίσταση στην διάβρωση του αγωγού [36]. Αυτό συμβαίνει επειδή ο άργυρος είναι μέταλλο που δεν οξειδώνεται σε βάθος. Σχηματίζει μόνο επιφανειακά ένα πολύ λεπτό στρώμα οξειδίου του αργύρου, το οποίο εμποδίζει την περαιτέρω σε βάθος διάβρωση.

B.3 Υπολογιστικό Μοντέλο για τον Επαργυρωμένο Χαλκό των Αγωγών

²³⁵ Ειδικά για το SrW, οι συνήθεις ταχύτητες είναι μέχρι και 200 Mbps (που αντιστοιχούν σε συχνότητα Nyquist 100 MHz), αλλά υπό προϋποθέσεις μπορούν να επιτευχθούν και ταχύτητες μεγαλύτερες και από 400 Mbps (που αντιστοιχούν σε συχνότητα Nyquist 200 MHz), όπως πληροφορούμαστε από το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2].

Όπως έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 2.6.1.1, το αγωγίμο υλικό που χρησιμοποιείται για τους κλώνους του εσωτερικού αγωγού και για τα συρματίδια των θωρακίσεων (εσωτερικών και εξωτερικής) είναι επαργυρωμένος χαλκός. Το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] δίνει σαφείς οδηγίες για την διάμετρο του κάθε τέτοιου σύρματος και για το πάχος της επαργύρωσής του (το οποίο πάντα θεωρούμε ότι συμπεριλαμβάνεται στην συνολική διάμετρο που δίνεται).

Με βάση την ανάλυση που έχει προηγηθεί στις ενότητες Β.1 και Β.2, είναι προφανές ότι ο επαργυρωμένος χαλκός δεν έχει την ίδια αγωγιμότητα με έναν κλώνο που δομείται από σκέτο χαλκό (και άλλωστε αυτό είναι και το ζητούμενο, προκειμένου να εξομαλύνεται η αρνητική επίδραση του επιδερμικού φαινομένου). Επομένως αν θέλουμε να είμαστε πιο πιστοί στην πραγματικότητα, όσον αφορά στο υλικό των αγωγών της διατομής που μοντελοποιούμε, θα πρέπει να βρούμε ένα υλικό που η «συμπεριφορά» του (από Η/Μ σκοπιάς) να προσιδιάζει στον επαργυρωμένο χαλκό. Όπως όμως έχουμε επισημάνει (στην ίδια παράγραφο, την 2.6.1.1), το Cable Studio δεν παρέχει την δυνατότητα να δημιουργηθεί υλικό που αποτελείται από δύο μέταλλα, το ένα επίστρωση στο άλλο. Τα μόνα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ένας αγωγός είναι ειδική αγωγιμότητα σ και σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r . Άρα έπρεπε να καταφύγουμε σε ένα κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο.

Το μοντέλο στο οποίο καταλήξαμε είναι μια ενδιάμεση λύση, που συνδυάζει ευκολία και απλότητα στο μαθηματικό υπόβαθρο αλλά και ικανοποιητική προσέγγιση της συμπεριφοράς του αληθινού υλικού ως προς την ροή του ρεύματος, όσο βέβαια μας επιτρέπει μια υλοποίηση με το Material Library του Cable Studio. Η φιλοσοφία του μοντέλου είναι, λαμβάνοντας υπ' όψιν την διάμετρο των κλώνων και το πάχος της επαργύρωσης, να μας δίνει το σ και το μ_r ενός υλικού, το οποίο θα αντικαθιστά τον επαργυρωμένο χαλκό και έχοντας μεν απλό τρόπο ορισμού (δηλ. έχοντας μια ενιαία τιμή ειδικής αγωγιμότητας και σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας, όπως κάθε αγωγός στο Cable Studio), εντούτοις θα προσομοιώνει, στο μέτρο του δυνατού, την συμπεριφορά της επαργύρωσης στο επιδερμικό φαινόμενο, δηλ. την, συνακόλουθα με την αύξηση της συχνότητας, μείωση της ενεργού επιφανείας ροής του ρεύματος, αλλά αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας του υλικού, στο οποίο γίνεται αυτή η ροή, σε σχέση με την σ_{Cu} και πλησιάζει της στην σ_{Ag} (διότι όσο η ροή του ρεύματος μετακινείται προς την περιφέρεια, ουσιαστικά αυξάνει η συνεισφορά του αργύρου στην ενεργό διατομή της ροής).

Για το μοντέλο μας αυτό, θα κάνουμε χρήση των τύπων που δίνουν την αντίσταση στο DC, αλλά φυσικά με προσαρμοσμένο τρόπο (που θα εξηγηθεί παρακάτω). Όπως ξέρουμε **η αντίσταση συνεχούς ρεύματος** ενός αντιστάτη είναι:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S} \quad (\text{B.3})$$

όπου:

σ : η ειδική αγωγιμότητα (specific conductance ή conductivity) του υλικού του αντιστάτη [το αντίστροφο της ειδικής αντιστάσεως (specific resistance ή resistivity), ρ],

l : το μήκος του και

S : η επιφάνεια της διατομής του.

Η σχέση αυτή ισχύει μόνο αν η διατομή του αντιστάτη είναι σταθερή καθ' όλο το μήκος του και αν επίσης η χωρική πυκνότητα του ρεύματος είναι ομοιόμορφη καθ' όλη την διατομή (όπερ και ισχύει για DC ρεύμα).

Στην περίπτωση λοιπόν ενός αγωγού από επαργυρωμένο χαλκό, αυτός θα αποτελείται ουσιαστικά από δύο αντιστάσεις, μια από Ag, και μία από Cu. Οι αντιστάσεις αυτές θα έχουν προφανώς το ίδιο μήκος, l και αφού θα έχουν τα ίδια άκρα, στα σημεία τερματισμού του συγκεκριμένου αγωγού του καλωδίου (μέσω των οποίων αυτός τίθεται υπό τάση και άρα εξυπηρετεί την μετάδοση ενός σήματος), συνεπώς είναι παράλληλες μεταξύ τους. Επίσης οι αντιστάσεις αυτές έχουν σταθερές διατομές καθ' όλο το μήκος τους. Συγκεκριμένα η αντίσταση του Cu έχει κυκλική διατομή (αφού ο πυρήνας του κυλινδρικού αγωγού είναι από Cu) και η αντίσταση του Ag έχει διατομή δακτυλίου (αφού η επαργύρωση είναι μια λεπτή στρώση γύρω από τον πυρήνα χαλκού).

Όταν ο επαργυρωμένος χάλκινος αγωγός που εξετάζουμε εξυπηρετεί ένα σήμα ρεύματος AC (με μια συγκεκριμένη συχνότητα) και πάλι αποτελείται από δύο εν παραλλήλω αντιστάσεις, μια από Ag, και μία από Cu. Τώρα όμως, σε αντίθεση με το DC, θα έχουμε και ένα βάθος διεισδύσεως τόσο στον Ag (δ_{Ag}), όσο και στον Cu (δ_{Cu}). Οπότε, αν και οι διατομές των δύο αυτών αντιστάσεων είναι

πράγματι σταθερές καθ' όλο το μήκος τους, εν τούτοις, επειδή το ρεύμα δεν είναι DC, η χωρική πυκνότητά του δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το εύρος των διατομών, καθώς ακόμα και σε περίπτωση που το επιδερμικό βάθος είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα του αγωγού (δηλ. σίγουρα θα ρέει ρεύμα σε όλο τον αγωγό), εντούτοις η χωρική πυκνότητα αυτού θα φθίνει καθώς θα κινούμαστε από την περιφέρεια του προς το εσωτερικό. Αναλόγως τώρα της συχνότητας του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, δηλ. αναλόγως της συχνότητας του σήματος ρεύματος που αυτός μεταφέρει, θα έχουμε και αντίστοιχη συμπεριφορά στην πυκνότητα του ρεύματος. Δηλ., αν, για παράδειγμα, η συχνότητα είναι τόσο μεγάλη που το βάθος διεισδύσεως στον Ag να είναι αρκετά μικρότερο σε σχέση με το πάχος της στρώσης αυτού, τότε όλο το ρεύμα θα διακινείται από μια λεπτή στρώση Ag και καθόλου από τον χαλκό. Άρα και σαν υλικό του αγωγού για τους υπολογισμούς θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τον Ag. Από την άλλη, αν η συχνότητα είναι πιο μικρή και τέτοια που το βάθος διεισδύσεως στον Ag να είναι μεγαλύτερο από το πάχος της επαργύρωσης, τότε το ρεύμα θα ρέει σίγουρα από όλο το πάχος του Ag, αλλά θα εισέλθει και στον Cu. Στον Cu θα ρέει και πάλι για όσο βάθος υπαγορεύει το βάθος διείσδυσης, το οποίο όμως θα είναι βάθος διείσδυσης στον Cu τώρα. Φυσικά ξέρουμε ότι το ρεύμα δεν θα ρέει με ομοιόμορφη χωρική πυκνότητα, ούτε στον Ag ούτε στον Cu, αλλά η πυκνότητά του θα μειώνεται όσο θα κινούμαστε προς το εσωτερικό του αγωγού (και για τα δύο υλικά).

Εμείς λοιπόν, για να αποφύγουμε την πολυπλοκότητα που εισάγει η μελέτη της ακριβούς κατανομής της πυκνότητας του ρεύματος, θα κάνουμε την ακόλουθη παραδοχή – υπόθεση: θα θεωρήσουμε ότι ο επαργυρωμένος αγωγός μας, κατά την περίοδο που εξυπηρετεί ένα σήμα ρεύματος με συχνότητα στο εύρος από 1 MHz έως και 500 MHz²³⁶ αποτελείται, κατά τα γνωστά, από δύο αντιστάσεις, μια από Ag, και μία από Cu. Οι αντιστάσεις αυτές θα έχουν προφανώς το ίδιο μήκος, l και θα είναι παράλληλες μεταξύ τους. Παρόλο που, ως γνωστόν η χωρική πυκνότητα του ρεύματος φθίνει καθώς θα κινούμαστε από την περιφέρεια του αγωγού προς το εσωτερικό (τόσο στον Ag όσο και στον Cu), εμείς θα κάνουμε την απλοποιητική παραδοχή ότι όλο το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα (δηλ. με σταθερή πυκνότητα) από την διατομή που ορίζεται από ένα μόνο επιδερμικό βάθος (και πιο μέσα από αυτό η χωρική πυκνότητά του είναι αμελητέα). Συνεπώς είναι δύο οι δυνατές περιπτώσεις, αναλόγως την συχνότητα:

- Αν η συχνότητα είναι τόσο μεγάλη που το βάθος διεισδύσεως στον Ag είναι μικρότερο ή ίσο σε σχέση με το πάχος της στρώσης αυτού, τότε θα θεωρούμε ότι όλο το ρεύμα θα διακινείται από μια λεπτή στρώση Ag (με σταθερή πυκνότητα κατά παραδοχή) και καθόλου από τον χαλκό. Άρα και σαν υλικό του αγωγού για τους υπολογισμούς θα θεωρήσουμε τον Ag.
- Αν πάλι η συχνότητα είναι πιο μικρή και τέτοια που το βάθος διεισδύσεως στον Ag είναι μεγαλύτερο από το πάχος της επαργύρωσης, τότε το ρεύμα θα ρέει σίγουρα από όλο το πάχος του Ag (πάντα θεωρώντας σταθερή την πυκνότητά του), αλλά θα εισέλθει και στον Cu. Στον Cu θα ρέει και πάλι για όσο βάθος υπαγορεύει το ένα βάθος διείσδυσης, το οποίο όμως θα είναι βάθος διείσδυσης στον Cu τώρα (και πάλι με υπόθεση σταθερής πυκνότητας).

Τοιοτοτρόπως, θα είμαστε σε θέση να κάνουμε χρήση του τύπου (B.3) (από την DC ανάλυση) για τον υπολογισμό της αντίστασης.

Σχόλιο σχετικά με την υπόθεση ότι το ρεύμα θα ρέει μόνο σε ένα επιδερμικό βάθος

Σχετικά με το πλήθος των επιδερμικών βαθών που θα μπορούσαμε να επιλέξουμε, υπήρχε και η σκέψη να γίνει η παραδοχή ότι το ρεύμα θα ρέει με σταθερή πυκνότητα αλλά σε βάθος που θα εκτείνεται μέχρι και 3 ή 4 επιδερμικά βάθη (έτσι ώστε να συμπεριληφθεί πρακτικά όλη η πυκνότητα του ρεύματος, όπως αυτή φθίνει προς το εσωτερικό του αγωγού, βάσει των λεγομένων στην αρχή της ενότητας Β.1). Δεν το κάναμε όμως αυτό, για τον λόγο ότι στο μοντέλο μας δεν μπορούμε να λάβουμε υπ' όψιν την εκθετική μείωση της πυκνότητας του ρεύματος. Ως εκ τούτου, θεωρούμε ότι το ρεύμα έχει ομοιόμορφη πυκνότητα σε όλο τον όγκο του δακτυλίου, στον οποίο ρέει. Αν λοιπόν λάβουμε 3 ή 4 επιδερμικά βάθη, θα μεγαλώσει υπερβολικά το ποσοστό του χαλκού που θα συμμετέχει στην δομή αυτού του δακτυλίου ροής του ρεύματος. Και δεδομένου ότι η πυκνότητα του ρεύματος θεωρείται σταθερή, θα είναι σημαντική η συνεισφορά του χαλκού και στην ειδική αγωγιμότητα του ισοδύναμου υλικού, σημαντικά μεγαλύτερη απ' ότι στην πραγματικότητα. Αντίθετα

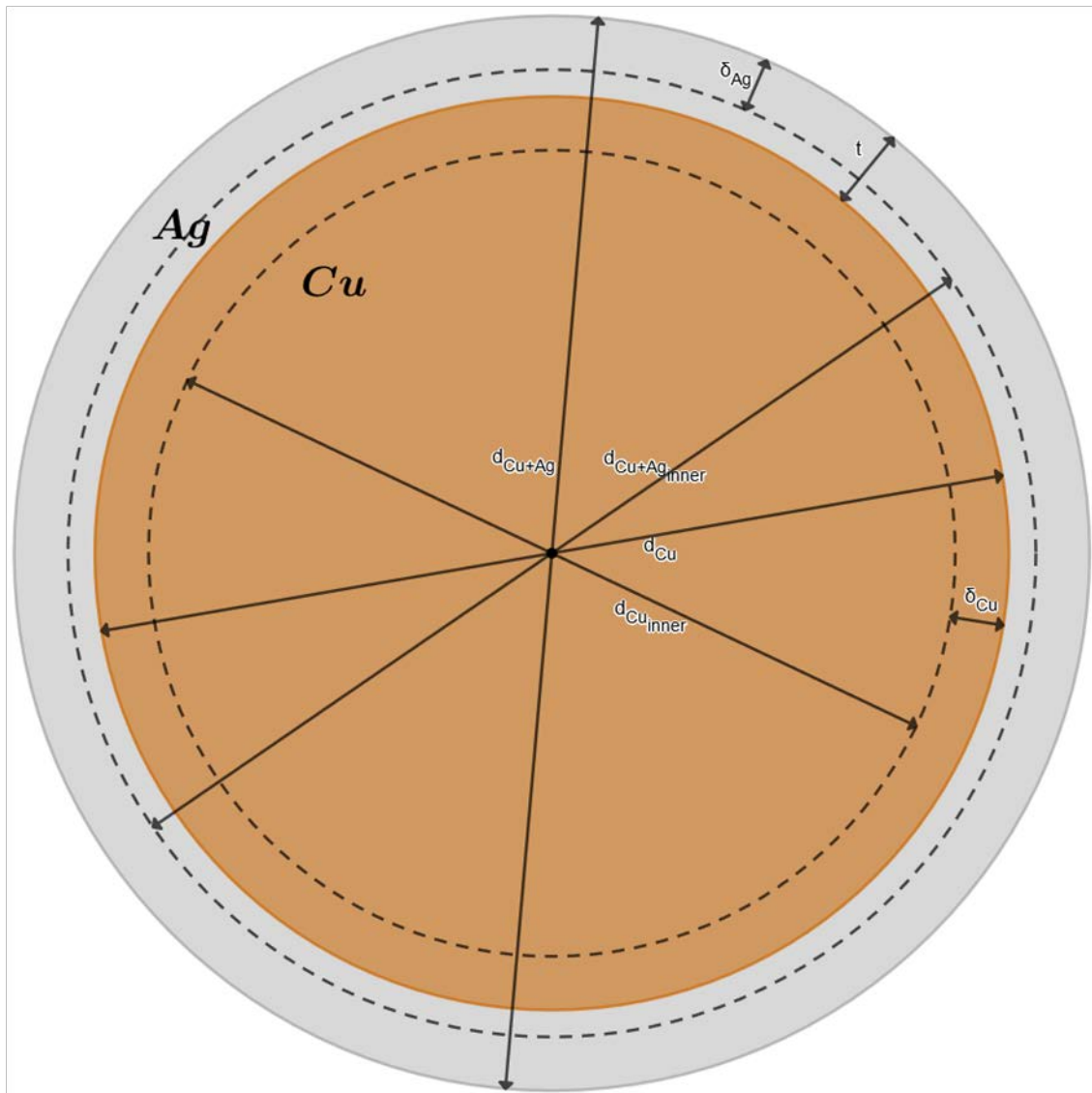
²³⁶ Διότι μέχρι και αυτή την συχνότητα το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] δίνει πληροφορίες για μεγέθη που αφορούν την μετάδοση σήματος με το SpW.

λαμβάνοντας μόνο ένα επιδερμικό βάθος στην θεώρησή μας, μειώνουμε σημαντικά το ποσοστό του χαλκού που δομεί τον δακτύλιο ροής του ρεύματος. Οπότε ναι μεν στην πραγματικότητα ρεύμα θα ρέει και πιο μέσα από ένα επιδερμικό βάθος στον χαλκό (με όλο και μειούμενη πυκνότητα), αλλά εμείς θεωρούμε ότι ρέει μόνο μέχρι εκεί με σταθερή πυκνότητα. Έτσι «ισχυροποιείται» και η παρουσία του αργύρου, διότι ναι μεν αυτός έχει μικρή συνεισφορά στο πάχος του δακτυλίου, αλλά σε αυτόν εντοπίζεται η υψηλότερη τιμή πυκνότητας του ρεύματος. Οπότε με αυτή την μείωση της συνεισφοράς του χαλκού, πλησιάζουμε στην πραγματικότητα, αν και πάλι θεωρούμε και στον άργυρο και στον χαλκό σταθερή πυκνότητα ρεύματος. Σε αυτό καταλήξαμε σαν την ιδανική ενδιάμεση λύση.

B.3.1 Μαθηματικό Υπόβαθρο του Μοντέλου

Ακολούθως θα προχωρήσουμε στην παράθεση των μαθηματικών σχέσεων των υπολογισμών αυτού του μοντέλου για την εύρεση ενός υλικού, κατά το δυνατόν, «ισοδυνάμου» με τον επαργυρωμένο χαλκό. Λίαν επεξηγηματικό σε αυτήν την δουλειά θα μας είναι το ακόλουθο σχήμα (που έγινε με το ελεύθερο λογισμικό GeoGebra [55]), στο οποίο απεικονίζουμε, κατά σύμβαση²³⁷, την διατομή ενός κυλινδρικού αγωγού από επαργυρωμένο χαλκό, έχοντας σημειώσει τα βασικά μεγέθη που θα χρειαστούν στους υπολογισμούς μας.

²³⁷ Λέμε «κατά σύμβαση» διότι στην πραγματικότητα τα πάχη δεν είναι δοσμένα με την σωστή κλίμακα, δηλ. το πάχος της επαργύρωσης είναι τόσο μικρό που δεν θα φαινόταν καν. Απλώς για λόγους κατανόησης έχει γίνει η απεικόνιση με αυτό τον τρόπο.



Σχήμα Β.2: Τα επιδερμικά βάθη στην διατομή ενός αγωγού από επαργυρωμένο χαλκό [55].

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα:

d_{Cu+Ag} : είναι η εξωτερική διάμετρος της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag^{238} ,

δ_{Ag} : είναι το επιδερμικό βάθος στον Ag,

t : είναι το πάχος της επαργύρωσης,

$d_{Cu+Ag_{inner}}$: είναι η εσωτερική διάμετρος της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag,

d_{Cu} : είναι η εξωτερική διάμετρος της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu,

δ_{Cu} : είναι το επιδερμικό βάθος στον Cu και

$d_{Cu_{inner}}$: είναι η εσωτερική διάμετρος της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu.

Όπως αναφέραμε παραπάνω στην ενότητα Β.3, στο μοντέλο μας αυτό έχουμε δύο περιπτώσεις ως προς τον προσδιορισμό του υλικού που θα αντικαθιστά τον επαργυρωμένο χαλκό. Αυτές προκύπτουν από την σχέση του επιδερμικού βάθους στον Ag με το πάχος επαργύρωσης και το αν θα εμπίπτουμε στην μία ή στην άλλη εξαρτάται από την συχνότητα (αφού με αυτήν αλλάζει το δ_{Ag}). Για τις δύο περιπτώσεις αυτές λοιπόν, θα δώσουμε τους σχετικούς τύπους.

²³⁸ Η διάμετρος αυτή συμπίπτει πάντοτε με την διάμετρο του επαργυρωμένου αγωγού.

- A. Αν η συχνότητα είναι τέτοια που το βάθος διεισδύσεως στον Ag είναι μικρότερο ή ίσο σε σχέση με το πάχος της στρώσης αυτού ($\delta_{Ag} \leq t$), τότε θεωρούμε ότι όλο το ρεύμα θα διακινείται από μια λεπτή στρώση Ag και καθόλου από τον χαλκό. Άρα και σαν υλικό του αγωγού για τους υπολογισμούς θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τον Ag. Οπότε θα έχουμε για το υλικό που θα αντικαθιστά τον επαργυρωμένο χαλκό:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{Ag} \quad (B.4)$$

και

$$\mu_{tot} = \mu_{Ag} \quad (B.5)$$

Κατόπιν μπορούμε να υπολογίσουμε και την σχετική μαγνητική διαπερατότητα, $\mu_{r_{tot}}$, θεωρώντας το υποθετικό υλικό ιστροπικό (όπως είναι και ο Cu και ο Ag), ως ακολούθως:

$$\mu_{tot} = \mu_{r_{tot}} \cdot \mu_0 \Leftrightarrow \mu_{r_{tot}} = \frac{\mu_{tot}}{\mu_0} \quad (B.6)$$

όπου: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$, η μαγνητική διαπερατότητα του κενού.

- B. Αν η συχνότητα είναι τέτοια που το βάθος διεισδύσεως στον Ag είναι μεγαλύτερο από το πάχος της στρώσης αυτού ($\delta_{Ag} > t$), τότε, όπως έχουμε αναφέρει, το ρεύμα θα ρέει σίγουρα από όλο το πάχος του Ag, αλλά θα εισέλθει και στον Cu (όπου και θε ρέει σε βάθος όσο ένα δ_{Cu} , όπως έχουμε θεωρήσει), οπότε θα ρέει σε δύο αντιστάσεις, μία από Ag και μία από Cu. Τα χαρακτηριστικά θα είναι:

- Για την Αντίσταση Ag έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο δακτυλίου διατομής που δίνεται από την σχέση:

$$d_{Cu+Ag} = \text{όσο η διάμετρος του αγωγού} \quad (B.7)$$

- εσωτερική διάμετρο δακτυλίου διατομής που δίνεται από την σχέση:

$$d_{Cu+Ag_{inner}} = d_{Cu+Ag} - 2 \cdot t \quad (B.8)$$

- εμβαδόν δακτυλίου διατομής που δίνεται από την σχέση:

$$S_{Ag} = \pi \cdot \left[\left(\frac{d_{Cu+Ag}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{Cu+Ag_{inner}}}{2} \right)^2 \right] \quad (B.9)$$

- και αντίσταση που δίνεται από την σχέση:

$$R_{Ag} = \frac{1}{\sigma_{Ag}} \cdot \frac{l}{S_{Ag}} \quad (B.10)$$

(όπου μας ενδιαφέρουν μόνο τα σ_{Ag} και S_{Ag} ενώ το μήκος l μας είναι αδιάφορο, όπως θα δούμε).

- Για την Αντίσταση Cu έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο δακτυλίου διατομής που δίνεται από την σχέση:

$$d_{Cu} = d_{Cu+Ag} - 2 \cdot t = d_{Cu+Ag_{inner}} \quad (B.11)$$

- εσωτερική διάμετρο δακτυλίου διατομής²³⁹ που δίνεται από την σχέση:

²³⁹ Στην περίπτωση που η συχνότητα είναι τόσο μικρή ώστε το $\delta_{Cu} \geq d_{Cu}/2$, θεωρούμε ότι δεν υπάρχει πρακτικά επιδερμικό φαινόμενο στον χαλκό, με την έννοια ότι όλος ο όγκος του θα διαρρέεται από ρεύμα. Οπότε στην περίπτωση αυτή η αντίστατη του χαλκού έχει διατομή δακτυλίου με:

εξωτερική διάμετρο:

$$d_{Cu} = d_{Cu+Ag} - 2 \cdot t = d_{Cu+Ag_{inner}}$$

εσωτερική διάμετρο:

$$d_{Cu_{inner}} = d_{Cu} - 2 \cdot \delta_{Cu} \quad (B.12)$$

- εμβαδόν δακτυλίου διατομής που δίνεται από την σχέση:

$$S_{Cu} = \pi \cdot \left[\left(\frac{d_{Cu}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{Cu_{inner}}}{2} \right)^2 \right] \quad (B.13)$$

- και αντίσταση που δίνεται από την σχέση:

$$R_{Cu} = \frac{1}{\sigma_{Cu}} \cdot \frac{l}{S_{Cu}} \quad (B.14)$$

(όπου μας ενδιαφέρουν μόνο τα σ_{Cu} και S_{Cu} ενώ το μήκος l μας είναι αδιάφορο, όπως θα δούμε).

Αυτές οι εν παραλλήλω αντιστάσεις λοιπόν θα συντεθούν σε μία συνολική αντίσταση R_{tot} . Η αντίσταση αυτή θα υποθεθεί ότι συγκροτείται από ένα εννιαίο, υποθετικό υλικό με ειδική αγωγιμότητα σ_{tot} και σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_{tot} και θα δοθεί και γι' αυτό το υλικό από τον τύπο της DC αντίστασης. Δηλ., για να υπάρχει ομοιόμορφα και να είμαστε συνεπείς ως προς τις παραδοχές μας, θα γίνει πάλι η ίδια υπόθεση, ότι και στο νέο αυτό υλικό όλο το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα (με σταθερή δηλ. χρική πυκνότητα) από την διατομή που ορίζεται από ένα μόνο βάθος διείσδυσης (αυτή την φορά όμως αυτό θα είναι το βάθος διείσδυσης στο νέο υλικό). Αυτή η αντίσταση θα έχει το ίδιο (αδιάφορο) μήκος l με τις δύο παράλληλες αντιστάσεις Ag και Cu και διατομή δακτυλίου με τα εξής χαρακτηριστικά:

- εξωτερική διάμετρο που δίνεται από την σχέση:

$$d_{Cu+Ag} = \text{όσο η διάμετρος του αγωγού} \quad (B.15)$$

- εσωτερική διάμετρο που δίνεται από την σχέση:

$$d_{Cu_{inner}} = d_{Cu} - 2 \cdot \delta_{Cu} \quad (B.16)$$

- και εμβαδόν που δίνεται από την σχέση:

$$S_{tot} = \pi \cdot \left[\left(\frac{d_{Cu+Ag}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{Cu_{inner}}}{2} \right)^2 \right] \quad (B.17)$$

Έχοντας λοιπόν τα παραπάνω δεδομένα, μπορούμε να προχωρήσουμε στην σύνθεση των αντιστάσεων. Προκειμένου τώρα οι πράξεις να είναι ευκολότερες, θα υπολογίσουμε πρώτα την αγωγιμότητα της συνολικής αντίστασης:

$$G_{tot} = G_{Ag} + G_{Cu} = \frac{1}{R_{Ag}} + \frac{1}{R_{Cu}} = \frac{\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag}}{l} + \frac{\sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}}{l} = \frac{1}{l} \cdot (\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag} + \sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}) \quad (B.18)$$

Ξέρουμε τώρα ότι:

$$\begin{aligned} G_{tot} &= \frac{1}{R_{tot}} \stackrel{(B.18)}{\iff} \frac{1}{l} \cdot (\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag} + \sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}) = \frac{1}{l} \cdot \sigma_{tot} \cdot S_{tot} \iff \\ \sigma_{tot} \cdot S_{tot} &= \sigma_{Ag} \cdot S_{Ag} + \sigma_{Cu} \cdot S_{Cu} \iff \\ \sigma_{tot} &= \frac{\sigma_{Ag} \cdot S_{Ag} + \sigma_{Cu} \cdot S_{Cu}}{S_{tot}} \end{aligned} \quad (B.19)$$

και εμβαδόν:

$$d_{Cu_{inner}} = 0$$

$$S_{Cu} = \pi \cdot \left(\frac{d_{Cu}}{2} \right)^2$$

δηλ. πρόκειται για διατομή κύκλου.

Προκειμένου τώρα να υπολογίσουμε και την σχετική μαγνητική διαπερατότητα, μ_{tot} , για το ισοδύναμο υλικό, κάναμε την ακόλουθη σκέψη. Η σχέση υπολογισμού του σ_{tot} που μόλις εξαγάγαμε, είναι ουσιαστικά και ένας τύπος, που για κάθε συχνότητα μας δείχνει πόσο μέρος του σ_{tot} «δομείται» από την σ_{Ag} και πόσο από την σ_{Cu} . Δηλ. η σχέση (B.19) μας δείχνει το πόσο εξαρτάται η σ_{tot} από τις σ_{Ag} και σ_{Cu} και με ποιά «βάρη» χαρακτηρίζεται αυτή η εξάρτηση. Τα βάρη είναι οι λόγοι των εμβαδών των ενεργών διατομών που έχουμε θεωρήσει ότι εξυπηρετούν την αγωγή όλου του ρεύματος. Δηλ. η σχέση (B.19) γράφεται ισοδύναμα:

$$\sigma_{tot} = \left(\frac{S_{Ag}}{S_{tot}}\right) \cdot \sigma_{Ag} + \left(\frac{S_{Cu}}{S_{tot}}\right) \cdot \sigma_{Cu} \quad (B.20)$$

Οπότε η σ_{tot} προκύπτει κατά ένα ποσοστό, μικρό ή μεγάλο από την σ_{Ag} και κατά ένα άλλο ποσοστό, μεγάλο ή μικρό από την σ_{Cu} . Και αυτά πάνε αντίστροφα, δηλ. όταν η συνεισφορά της σ_{Ag} στην σ_{tot} είναι μικρή, τότε η συνεισφορά της σ_{Cu} στην σ_{tot} θα είναι μεγάλη και το αντίστροφο. Πάντοτε φυσικά τα δύο αυτά βάρη αθροίζουν στο 1, αφού:

$$\frac{S_{Ag}}{S_{tot}} + \frac{S_{Cu}}{S_{tot}} = \frac{S_{Ag} + S_{Cu}}{S_{tot}} = \frac{S_{tot}}{S_{tot}} = 1$$

Αν λοιπόν κάνουμε μια όμοια θεώρηση και για την μαγνητική διαπερατότητα μ_{tot} , θεωρήσουμε δηλ. ότι και αυτή προκύπτει κατά ένα ποσοστό, μικρό ή μεγάλο από την μ_{Ag} και κατά ένα άλλο ποσοστό, μεγάλο ή μικρό από την μ_{Cu} , θα μπορούσαμε να έχουμε έναν όμοιο τύπο για τον υπολογισμό της. Δηλ.:

$$\mu_{tot} = \left(\frac{S_{Ag}}{S_{tot}}\right) \cdot \mu_{Ag} + \left(\frac{S_{Cu}}{S_{tot}}\right) \cdot \mu_{Cu} \quad (B.21)$$

Ακολούθως, ο υπολογισμός της $\mu_{r_{tot}}$ θα γίνει ομοίως με πριν, μέσω της σχέσεως (B.6)²⁴⁰.

Οι παραπάνω υπολογισμοί θα πρέπει να γίνουν για κάθε περίπτωση επαργυρωμένου αγωγού που εμφανίζεται στο καλώδιο SpW. Για κάθε τέτοιο αγωγό αλλάζουν τα μεγέθη των εξωτερικών διαμέτρων και του πάχους επαργύρωσης, οπότε εδώ παραθέτουμε συγκεντρωμένες τις κατάλληλες τιμές. Με βάση αυτές και τα επιδερμικά βάρη, υπολογίζονται και οι εσωτερικές διαμέτροι των δακτυλίων Ag και Cu.

1. Για τον κάθε κλώνο του επτάκλωνου εσωτερικού αγωγού του σήματος στην Var. 01:

Σε αυτόν το αγωγό έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag:

$$d_{Cu+Ag} = 0.126 \text{ mm}$$

- πάχος της επαργύρωσης, που το λάβαμε ίσο προς:

$$t = 2 \mu\text{m} = 0.002 \text{ mm}$$

δηλ. εφαρμόσαμε το ελάχιστο όριο που απαιτούσε το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (βλ. την υποενότητα 2.5.1),

- και εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu:

$$(B.11) \Rightarrow d_{Cu} = 0.126 \text{ mm} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = 0.122 \text{ mm}$$

²⁴⁰ Για τις παραπάνω σχέσεις (B.20) και (B.21) θα χρειαστούν τα μεγέθη της ειδικής αγωγιμότητας και της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας του Ag και του Cu. Τα μεν σ_{Ag} και σ_{Cu} θα ληφθούν από τις σχέσεις (2.173) και (2.174), που δώσαμε στην υποενότητα 2.7.1. Για τις τιμές των μ_{Ag} και μ_{Cu} χρειάστηκε λίγη περισσότερη βιβλιογραφική διερεύνηση. Από αυτήν καταλήξαμε στις εξής τιμές για τις σχετικές μαγνητικές διαπερατότητες:

$$\mu_{r_{Ag}} = 0.99998$$

$$\mu_{r_{Cu}} = 0.99999$$

σύμφωνα με τα [23] και [32]. Μάλιστα οι τιμές αυτές είναι για θερμοκρασία 20°C και πίεση 1 atm. Κάνοντας τώρα χρήση της σχέσεως $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$, λαμβάνουμε τις ακόλουθες τιμές για τις μαγνητικές διαπερατότητες:

$$\mu_{Ag} = 1.2566119 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$\mu_{Cu} = 1.2566245 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

2. Για τον κάθε κλώνο του επτάκλωνου εσωτερικού αγωγού του σήματος στην Var. 02:

Σε αυτόν το αγωγό έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag:

$$d_{Cu+Ag} = 0.160 \text{ mm}$$

- πάχος της επαργύρωσης, που το λάβαμε ίσο προς:

$$t = 2 \mu\text{m} = 0.002 \text{ mm}$$

δηλ. εφαρμόσαμε το ελάχιστο όριο που απαιτούσε το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (βλ. την υποενότητα 2.5.1),

- και εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu:

$$(B.11) \Rightarrow d_{Cu} = 0.160 \text{ mm} - 2 \cdot 0.002 \text{ mm} = 0.156 \text{ mm}$$

3. Για το κάθε συρματίδιο της εσωτερικής θωρακίσεως (τόσο στην Var. 01 όσο και στην Var. 02):

Σε αυτόν το αγωγό έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag:

$$d_{Cu+Ag} = 0.079 \text{ mm}$$

- πάχος της επαργύρωσης, που το λάβαμε ίσο προς:

$$t = 2.5 \mu\text{m} = 0.0025 \text{ mm}$$

δηλ. εφαρμόσαμε το ελάχιστο όριο που απαιτούσε το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (βλ. την υποενότητα 2.5.1),

- και εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu:

$$(B.11) \Rightarrow d_{Cu} = 0.079 \text{ mm} - 2 \cdot 0.0025 \text{ mm} = 0.74 \text{ mm}$$

4. Για το κάθε συρματίδιο της εξωτερικής θωρακίσεως (τόσο στην Var. 01 όσο και στην Var. 02):

Σε αυτόν το αγωγό έχουμε:

- εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Ag:

$$d_{Cu+Ag} = 0.102 \text{ mm}$$

- πάχος της επαργύρωσης, που το λάβαμε ίσο προς:

$$t = 2.5 \mu\text{m} = 0.0025 \text{ mm}$$

δηλ. εφαρμόσαμε το ελάχιστο όριο που απαιτούσε το πρότυπο ESCC 3902/003 [8] (βλ. την υποενότητα 2.5.1),

- και εξωτερική διάμετρο της αντιστάσεως του δακτυλίου Cu:

$$(B.11) \Rightarrow d_{Cu} = 0.102 \text{ mm} - 2 \cdot 0.0025 \text{ mm} = 0.097 \text{ mm}$$

Πλέον λοιπόν, δεν μένει παρά να υπολογίσουμε πρώτα τα επιδερμικά βάθη δ_{Ag} και δ_{Cu} και κατόπιν τα εμβαδά, που εμφανίζονται στους τύπους (B.20) και (B.21) πιο πάνω. Για τον υπολογισμό των επιδερμικών βαθών δ_{Ag} και δ_{Cu} θα γίνει χρήση της σχέσεως (B.2), με τιμές για την ειδική αγωγιμότητα και την σχετική μαγνητική διαπερατότητα του Ag και του Cu, όπως σημειώνονται στην υποσημείωση 240. Οι υπολογισμοί αυτοί (για κάθε ένα από τα 4 είδη αγωγών που έχουμε) θα γίνουν συναρτήσει της συχνότητας f του σήματος ρεύματος, που εξυπηρετούν οι αγωγοί και για ένα ικανό εύρος συχνοτήτων, που να καλύπτει τις δυνατές συνθήκες λειτουργίας του καλωδίου και τα συνηθέστερα μεταβατικά φαινόμενα.

Οι υπολογισμοί έγιναν με την βοήθεια του Excel. Η ελεύθερη μεταβλητή της συχνότητας f του σήματος ρεύματος έλαβε τιμές από το 1 MHz έως και τα 500 MHz, με βήμα αύξησης το 1 MHz. Ο λόγος ήταν ότι μέχρι αυτή την συχνότητα μας δίνει το πρότυπο ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2] πληροφορίες για τις απώλειες παρεμβολής σήματος του SpW²⁴¹. Για κάθε τιμή συχνότητας υπολογίσαμε τα δ_{Ag} και δ_{Cu} . Αναλόγως τώρα της τιμής του επιδερμικού βάθους στον Ag, έγινε επιλογή της περιπτώσεως στην οποία εμπίπτουμε, μεταξύ των **A.** και **B.** (από τις δύο παραπάνω). Η πράξη έδειξε ότι μέχρι και τα 500 MHz το δ_{Ag} ήταν πάντα μεγαλύτερο του πάχους επαργύρωσης και

²⁴¹ Φυσικά, αφού το αρχείο Excel έχει τους υπολογισμούς αυτοματοποιημένους, οποιαδήποτε στιγμή μπορούμε να επεκταθούμε και σε μεγαλύτερες συχνότητες, αν και στην πράξη σπανίως θα διακινείται σήμα τόσο υψηλό από τα διαφορικά ζεύγη του SpW. Επίσης είναι πολύ σπάνιο να συμβεί κάποιο μεταβατικό H/M φαινόμενο, το οποίο να επάγει ρεύμα σφάλματος στην θωρακίσεις με συχνοτικό περιεχόμενο τόσο υψηλό.

για τις 4 περιπτώσεις αγωγών, οπότε πάντοτε εμπίπτουμε στην περίπτωση **B.**, δηλ. σίγουρα όλος ο Ag θα διαρρέεεται από ρεύμα και επιπλέον το ρεύμα εισέρχεται και στον Cu, κατά ένα δ_{Cu} . Επόμενο και τελευταίο βήμα είναι, για κάθε συχνότητα δηλ. για κάθε επιδερμικό βάθος και για τα 4 είδη αγωγών επαργυρωμένου χαλκού που έχουμε, να υπολογίσουμε τα εμβαδά που εμφανίζονται στους τύπους (B.20) και (B.21) και έτσι να προσδιορίσουμε την σ_{tot} και την μ_{tot} .

Χάρη στο μοντέλο αυτό, μπορούμε για κάθε διαφορετικό αγωγό επαργυρωμένου χαλκού του SpW και για κάθε τιμή συχνότητας να προσδιορίζουμε την ειδική αγωγιμότητα σ_{tot} και την μαγνητική διαπερατότητα μ_{tot} (άρα και την $\mu_{r_{tot}}$) του υποθετικού ισοδύναμου υλικού που θα αντικαθιστά τον επαργυρωμένο χαλκό. Προφανώς η συνολική ισοδύναμη ειδική αγωγιμότητα σ_{tot} και η συνολική ισοδύναμη μαγνητική διαπερατότητα μ_{tot} θα αντιστοιχούν στους 20 °C, αφού σε αυτή την θερμοκρασία αντιστοιχούν και οι σ_{Ag} και σ_{Cu} (βλ. τα λεγόμενα στην υποενότητα 2.7.1), όπως και οι μ_{Ag} και μ_{Cu} (βλ. υποσημείωση 240), που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της.

Σχόλιο σχετικά με την δυνατότητα αλλαγής τιμής στο πάχος επαργύρωσης:

Να σημειώσουμε ότι, η τιμή που έχουμε θεωρήσει για το πάχος της επαργύρωσης δεν εμφανίζεται με κάποιον τρόπο στις παραμέτρους της διατομής (βλ. παραγράφους 2.5.3.1 και 2.5.4.1). Και αυτό γιατί, όπως είναι και το προφανές, έχουμε θεωρήσει ότι συμπεριλαμβάνεται στην συνολική διάμετρο του αγωγού. Αυτό όμως σημαίνει κιόλας ότι, η επίδραση του πάχους της επαργύρωσης γίνεται αισθητή μόνο μέσα από τις τιμές της ειδικής αγωγιμότητας και της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας του υλικού που προσομοιώνει τον επαργυρωμένο χαλκό, (δίοτι μόνο σε αυτούς τους υπολογισμούς που παραθέσαμε στο παράρτημα αυτό έχουμε συμμετοχή του πάχους της επαργύρωσης). Άρα μια απλή αλλαγή της τιμής του πάχους της επαργύρωσης στο αρχείο Excel που περιέχει τους υπολογισμούς του μοντέλου μας, θα μας δώσει και την συμπεριφορά των αγωγών του SpW, αν δοκιμάζαμε μια άλλη τιμή πάχους Ag (και όχι την ελάχιστη απαραίτητη που απαιτεί το πρότυπο ESCC 3902/003 [8], όπως κάναμε σαν εναρκτήρια προσέγγιση στην εργασία μας).

B.3.2 Επιλογή των Τιμών που θα εκχωρηθούν στις Παραμέτρους της Διατομής

Στο σημείο αυτό έχουμε ολοκληρώσει την ανάλυση του τρόπου προσδιορισμού των τιμών για την ειδική αγωγιμότητα και την σχετική μαγνητική διαπερατότητα του επαργυρωμένου χαλκού και έχουμε δημιουργήσει το σχετικό αρχείο Excel, όπου γίνονται όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί, για κάθε τιμή συχνότητας του διακινούμενου από τον αγωγό ρεύματος. Απομένει να επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή για τον επαργυρωμένο χαλκό των εσωτερικών αγωγών και των θωρακίσεων. Επειδή, όπως εξηγήσαμε, οι τιμές των παραμέτρων αυτών είναι συχνотικά εξαρτώμενες, το ζητούμενο είναι να καταλήξουμε στο τι συχνότητα θα έχουν τα ρεύματα που θα ρέουν στα παραπάνω σύρματα (εσωτερικών αγωγών και θωρακίσεων).

B.3.2.1 Για τους Αγωγούς των Σημάτων

Τα ρεύματα που ρέουν στους εσωτερικούς αγωγούς είναι τα ρεύματα του LVDS, με το οποίο μεταδίδονται τα σήματα στο SpW. Σύμφωνα με το ECSS-E-ST-50-12C Rev.1 [2], ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του SpW μπορεί να φτάσει τα 200 Mbps (τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητα Nyquist 100 MHz), ενώ υπό συνθήκες [χρήση συνδέσμων με «ταιριασμένες εμπεδήσεις» (“matched impedance” connectors)] δύναται να ανέλθει μέχρι τα 400 Mbps (τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητα Nyquist 200 MHz).

Ενδεικτικά και υποθετικά επιλέξαμε να θεωρήσουμε ένα data rate των 100 Mbps (το οποίο αντιστοιχεί στην συχνότητα των 50 MHz), ως μια τυπική τιμή ρυθμού δεδομένων σε ζεύξεις SpW.

Συνεπώς, για τιμές σ_{tot} και $\mu_{r_{tot}}$ για τον επαργυρωμένο χαλκό των αγωγών των εσωτερικών σημάτων, επιλέξαμε εκείνες, που αντιστοιχούν στην συχνότητα των 50 MHz.

Αν φυσικά δοκιμάσουμε διάφορες τιμές data rate σε διάφορες προσομοιώσεις, προφανώς αλλάζει η συχνότητα των διακινουμένων σημάτων στους αγωγούς, άρα θα πρέπει να αποδοθούν στις παραμέτρους του υλικού και οι νέες κατάλληλες τιμή από το μοντέλο. Και βέβαια, ακριβώς χάρη σε αυτή την παραμετροποίηση, αν αλλάξουμε την συχνότητα των σημάτων ρεύματος, που ρέουν στους εσωτερικούς αγωγούς (αναλόγως τι πείραμα θέλουμε να προσομοιώσουμε), θα δυνάμεθα να αναθέσουμε στις ιδιότητες αυτές του υλικού μας τις σωστές τιμές, που πλησιάζουν κάθε φορά την συμπεριφορά αυτών των κλώνων επαργυρωμένου χαλκού στην εν λόγω συχνότητα.

B.3.2.2 Για τους Αγωγούς των Θωρακίσεων

B.3.2.2.1 Αγωγοί Εξωτερικής Θωρακίσεως

Η εξωτερική θωράκιση έχει ουσιαστικά αποκλειστικό ρόλο να προστατεύει το καλώδιο από εξωτερικές παρεμβολές (προφανώς έχει και ρόλο να «εγκλωβίζει» και στο εσωτερικό του καλωδίου το πεδίο που αυτό δημιουργεί, ώστε να μην επηρεάζει γειτονικά ευαίσθητα συστήματα αλλά ο κυριότερος λόγος είναι ο πρώτος). Άρα τα ρεύματα της εξωτερικής θωρακίσεως είναι τα ρεύματα που επάγονται από τα οποιαδήποτε μεταβατικά πεδιακά φαινόμενα στα οποία τυχόν εκτίθεται το καλώδιο. Άρα τα μεταβατικά είναι που θα καθορίσουν την συχνότητα των διακινουμένων στην εξωτερική θωράκιση ρευμάτων.

Το σε τι εξωτερική παρεμβολή θα υποβάλλεται κάθε φορά το καλώδιο εξαρτάται από το τι θέλει να προσομοιώσει ο χρήστης. Εν προκειμένω, όπως έχουμε πει, επικεντρωθήκαμε στην Δοκιμή Ηλεκτροστατικής Εκφορτίσεως (ESD Test). Από τις εργαστηριακές μετρήσεις διατηρήσαμε κυματομορφές και διερευνήσαμε το συχνοτικό τους περιεχόμενο. Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε το να υπολογιστεί ο Μετασχηματισμός Fourier των μετρήσεων αυτών, κάτι που έγινε με την βοήθεια του MATLAB.

Όπως αναφέραμε στην υποπαράγραφο 6.2.5.4.1, για το μεταβατικό φαινόμενο του ESD, με το οποίο πειραματιστήκαμε, το ρεύμα που έρεε στην εξωτερική θωράκιση είχε το μεγαλύτερο μέρος της φασματικής ισχύος του σε μια συχνότητα λίγο μικρότερη από τα 10 MHz (συγκεκριμένα στα 7.5 MHz). Υπάρχει βέβαια και μια μικρή ισχύς γύρω από μια μεγαλύτερη συχνότητα (κοντά στα 80 MHz, όπως είδαμε στο Σχήμα 6.17). Βάσει όμως της μορφής του φάσματος, έχουμε ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της ισχύος του φάσματος βρίσκεται γύρω από την χαμηλή συχνότητα, στην οποία το φάσμα παρουσιάζει κορυφή. Με την αιτιολογία αυτή, καταλήξαμε να επιλέξουμε την χαμηλή αυτή συχνότητα ως κυριαρχούσα και να χρησιμοποιήσουμε την λειτουργία του μοντέλου του επιδερμικού φαινομένου (που έχουμε αναπτύξει στο Excel) στην συχνότητα αυτήν, σαν υπόδειγμα για την κατανομή του ρεύματος σε χαλκό και άργυρο, στην εξωτερική θωράκιση. Να αναφέρουμε ότι για λόγους ευκολίας στην απομνημόνευση, αλλά και επειδή το σχετικό Excel έχει μόνο ακέραιες τιμές συχνότητας, **αποφασίσαμε να επιλέξουμε τα 10 MHz, ως την συχνότητα, για την οποία θα λάβουμε τις τιμές των σ_{tot} και $\mu_{r_{tot}}$ για τον επαργυρωμένο χαλκό των αγωγών της εξωτερικής θωρακίσεως.**

Πάντοτε βέβαια, ακριβώς χάρη σε αυτή την παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών του υποθετικού αυτού μετάλλου, αν αλλάξει η συχνότητα των σημάτων ρεύματος, που επάγονται στους αγωγούς της εξωτερικής θωρακίσεως (αναλόγως την πεδιακή δοκιμή στην οποία υποβάλλεται το καλώδιο και την οποία θέλουμε να προσομοιώσουμε), θα δυνάμεθα να αναθέσουμε στις ιδιότητες αυτές του υλικού μας τις σωστές τιμές, που πλησιάζουν κάθε φορά την συμπεριφορά αυτών των νημάτων επαργυρωμένου χαλκού στην εν λόγω συχνότητα.

B.3.2.2.2 Αγωγοί Εσωτερικής Θωρακίσεως

Η σκέψη που κάναμε στην περίπτωση αυτή είναι, ότι η εσωτερική θωράκιση κυρίως εμποδίζει στο να επηρεάσει το κάθε διαφορικό ζεύγος το γειτονικό του (και λιγότερο για να θωρακίσει τα ζεύγη

από εξωτερικές παρεμβολές, κάτι που είναι ρόλος κατ' εξοχήν της εξωτερικής θωρακίσεως). Στην εσωτερική θωράκιση, υπό φυσιολογικές συνθήκες, ρέουν ως επί το πλείστον ρεύματα επαγόμενα από τα σήματα ρεύματος, που διακινούν οι εσωτερικοί αγωγοί. Συνεπώς θα είναι ρεύματα ίδιας συχνότητας με τα ρεύματα των εσωτερικών αγωγών. Άρα, υπο φυσιολογικές συνθήκες κανονικής λειτουργίας, αναλόγως την συχνότητα ρευμάτων λειτουργίας, που θα επλέγαμε για τους εσωτερικούς αγωγούς του SpW, την ίδια θα επιλέγαμε και για τους αγωγούς της εσωτερικής θωρακίσεως.

Εν προκειμένω όμως, σαν κλείσιμο της εργασίας εξετάσαμε ένα μεταβατικό πεδιακό πρόβλημα (αυτό του εμμέσου ESD), οπότε θα θέλαμε δόσουμε στις παραμέτρους της διατομής του καλωδίου μας τις κατάλληλες τιμές, που να ανταποκρίνονται στο προσομοιούμενο πείραμα. Στο πείραμα λοιπόν αυτό, παρατηρήσαμε ότι το ύψος των ρευμάτων, που επάγονται στην εξωτερική θωράκιση (εκ του μεταβατικού πεδιακού φαινομένου), είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από τα ρεύματα κανονικής λειτουργίας του LVDS. Άρα τα ρεύματα, που θα επάγονται τώρα στις εσωτερικές θωρακίσεις, θα οφείλονται κατά μείζονα λόγο στο ρεύμα της εξωτερικής θωρακίσεως και συνεπώς θα έχουν ίδιο φασματικό περιεχόμενο με αυτό. Άρα θα θεωρήσουμε ότι και για τα ρεύματα των εσωτερικών θωρακίσεων η περισσότερη φασματική ισχύς τους είναι στην συχνότητα των 10 MHz περίπου. Κατά συνέπεια, **αποφασίσαμε να επιλέξουμε τα 10 MHz, ως την συχνότητα, για την οποία θα λάβουμε τις τιμές των σ_{tot} και $\mu_{r_{tot}}$ για τον επαργυρωμένο χαλκό των αγωγών των εσωτερικών θωρακίσεων.**

Φυσικά πάντοτε, και όπως και για την εξωτερική θωράκιση, αν εξετάζουμε μια άλλη δοκιμή (στην οποία θέλουμε να υποβληθεί το καλώδιό μας στον προσομοιωτή), όπου οι συχνότητα των ρευμάτων των εσωτερικών θωρακίσεων αλλάζει, η παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών αυτού του υποθετικού μετάλλου, παρέχει την δυνατότητα να γίνει ενημέρωσή τους στις νέες σωστές τιμές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πρότυπα

- [1] Detail Specification MIL-DTL-17J, *Cables, Radio Frequency, Flexible and Semirigid*, 10 February 2014, available online at: http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-17J_50302 (accessed on 13 January 2024).
- [2] European Cooperation for Space Standardization (ECSS) Secretariat, ECSS-E-ST-50-12C Rev.1, *Space engineering – SpaceWire - Links, nodes, routers and networks*, ESA-ESTEC, Requirements and Standards Division, 15 May 2019, Noordwijk, The Netherlands.
- [3] European Cooperation for Space Standardization (ECSS) Secretariat, ECSS-Q-ST-70-08C, *Space product assurance – Manual soldering of high-reliability electrical connections*, ESA-ESTEC, Requirements and Standards Division, 6 March 2009, Noordwijk, The Netherlands.
- [4] European Cooperation for Space Standardization (ECSS) Secretariat, ECSS-Q-ST-70-26C Rev.1, *Space product assurance – Crimping of high-reliability electrical connections*, ESA-ESTEC, Requirements and Standards Division, 15 March 2017, Noordwijk, The Netherlands.
- [5] European Space Components Coordination (ESCC) Basic Specification No. 23500, *Requirements for Lead Materials and Finishes for Components for Space Application*, Issue 7, European Space Agency (ESA), June 2020, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [6] European Space Components Coordination (ESCC) Detail Specification No. 3401/029, *Connectors, Electrical, Rectangular, Microminiature, Based on Type MDM*, Issue 18, European Space Agency (ESA), October 2020, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [7] European Space Components Coordination (ESCC) Detail Specification No. 3401/077, *Connectors, Electrical, Rectangular, Microminiature, Removable Crimp Contacts, Based on Type MDMA*, Issue 8, European Space Agency (ESA), January 2019, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [8] European Space Components Coordination (ESCC) Detail Specification No. 3902/003, *Cable, “SpaceWire”, Round, Quad using Symmetric Cables, Flexible, –200 to +180°C*, Issue 4, European Space Agency (ESA), November 2014, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [9] European Space Components Coordination (ESCC) Detail Specification No. 3902/004, *Cable, Low Mass, “SpaceWire”, Round, Quad using Symmetric Cables, Flexible, –100 to +150°C*, Issue 1, European Space Agency (ESA), October 2014, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [10] European Space Components Coordination (ESCC) Generic Specification No. 3902, *Cables, Coaxial, Radio Frequency, Flexible*, Issue 2, European Space Agency (ESA), May 2013, available online at: <https://escies.org> (accessed on 13 January 2024).
- [11] IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*, ed. 2.0, International Electrotechnical

- Commission (IEC), December 2008, Geneva, Switzerland, available online at: https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Events2016/CI_Training_ARB_Tunis_April16/Session8/IEC_61000-4-2_2008.pdf (accessed on 13 January 2024).
- [12] JAXA-QTS-2120D, *Electric Wires and Cables, High Reliability, Space Use General Specification for*, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 25 September 2020, available online at: <https://ssl.tksc.jaxa.jp/eeepitnl/en/info/Spec/QAE2120D.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [13] Military Specification MIL-C-17G, *Cables, Radio Frequency, Flexible and Semirigid General Specification for*, 9 March 1990, available online at: <https://nepp.nasa.gov/docuploads/96D38FB4-6F63-45A5-8CB5ABCA633430EB/MIL-C-17.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [14] Military Standard MIL-STD-2223, *Test Methods for Insulated Electric Wire*, 31 August 1992, available online at: <https://nepp.nasa.gov/DocUploads/7ED977CB-948F-437B-9E9F211758F312FE/MIL-STD-2223.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [15] NASA/TM–2012–216001, *Shielded-twisted-pair cable model for chafe fault detection via time-domain reflectometry*, National Aeronautics and Space Administration (NASA), March 2012.
- [16] National Bureau of Standards Circular 544, *Formulas for Computing Capacitance and Inductance*, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, 10 September 1954, Washington D.C., available online at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/circ/nbscircular544.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [17] National Bureau of Standards Handbook 100, *Copper Wire Tables*, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, 21 February 1966, Washington D.C., available online at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nbshandbook100.pdf> (accessed on 13 January 2024).

Κεφάλαια Βιβλίων

- [18] A. T. Baklezos and C. N. Capsalis, “SpaceWire: An Overview, Measurements, and Modelling for EMC Assessment”, in *Recent Trends on Electromagnetic Environmental Effects for Aeronautics and Space Applications*, C. D. Nikolopoulos, Hershey, Pennsylvania, U.S.A., IGI Global, 2020, pp. 39-79.

Βιβλία

- [19] I. A. Ρουμελιώτης και I. Λ. Τσαλαμέγκας, *Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία*, Τόμος Β', «Στατικά και Μόνιμα Πεδία», 2^η έκδ., Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα, 2016.
- [20] I. Λ. Τσαλαμέγκας και I. Α. Ρουμελιώτης, *Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία*, Τόμος Α', «Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία και Κύματα», 2^η έκδ., Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα, 2017.
- [21] Π. Δ. Μπούρκας, *Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις*, Τόμος ΙΙ, «Εφαρμογές βιομηχανικών ηλεκτρικών διατάξεων», Αθήνα, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2012.

- [22] D. C. Giancoli, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 4th ed., Pearson, 2008.
- [23] D. J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, 3rd ed., Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A., Prentice Hall, 1999.
- [24] R. A. Serway and J. W. Jewett, Jr., *Principles of Physics*, 4th ed., Belmont, U.S.A., Brooks/Cole – Thomson Learning, 2006.

Διδακτορικές Διατριβές

- [25] Α. Θ. Μπακλέζος, «Μελέτη και Μοντελοποίηση Εκπεμπόμενης Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας Ζεύξης SpaceWire για Διαστημικές Εφαρμογές», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2020.
- [26] Y. X. Teo, “Modelling of interconnects including coaxial cables and multiconductor lines”, PhD thesis, University of Nottingham, 2013.

Άρθρα Επιστημονικών Περιοδικών

- [27] C. F. Pitt, B. P. Barth and B. E. Godard, “Electrical Properties of Epoxy Resins”, *IRE Transactions on Component Parts*, vol. 4, issue 4, pp. 110-113, Dec. 1957.
- [28] E. F. Vance, “Shielding Effectiveness of Braided-Wire Shields”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-17, issue 2, pp. 71-77, May 1975.
- [29] J. Bai, G. Zhang, L. Wang, A. Duffy, C. Liu and T. Shao, “Comparison of Calculation Methods of Braided Shield Cable Transfer Impedance Using FSV Method”, *Applied Computational Electromagnetics Society (ACES)*, vol. 30, issue 2, pp. 140-147, Feb. 2015.
- [30] K. K. Meghna, A. Banerjee, S. Biswas, S. Bhattacharya, S. Bose, S. Chattopadhyay, G. Das, C. Marick, S. Saha and Y. P. Viyogi, “Measurement of electrical properties of electrode materials for the bakelite Resistive Plate Chambers”, *Journal of Instrumentation (JINST)*, vol. 7, pp. 1-9, Oct. 2012, available online at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/7/10/P10003/pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [31] R. Otin, J. Verpoorte, H. Schippers, and R. Isanta, “A finite element tool for the electromagnetic analysis of braided cable shields”, *Computer Physics Communications*, vol. 191, pp. 209-220, June 2015.
- [32] S.-C. Su, T.-H. Chang, “Manipulating the permittivities and permeabilities of epoxy/silver nanocomposites over a wide bandwidth”, *Applied Physics Letters*, vol. 116, issue 20, pp. 1-4, May 2020, available online at: <https://pubs.aip.org/aip/apl/article/116/20/202904/1058543/Manipulating-the-permittivities-and-permeabilities> (accessed on 13 January 2024).
- [33] T. Kley, “Optimized Single-Braided Cable Shields”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 35, issue 1, pp. 1-9, Feb. 1993.

Άρθρα από το Διαδίκτυο

- [34] A. Payne, “Skin Effect, Proximity Effect And The Resistance of Circular And Rectangular Conductors”, September 2022, available online at: https://www.researchgate.net/publication/351306996_SKIN_EFFECT_PROXIMITY_EFFECT_AND_THE_RESISTANCE_OF_CIRCULAR_AND_RECTANGULAR_CONDUCTORS/link/631dafa10a70852150e7751c/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19 (accessed on 13 January 2024).
- [35] R. A. Matula, *Electrical Resistivity of Copper, Gold Palladium, and Silver*, Center for Information and Numerical Data Analysis and Synthesis, Purdue Univ., West Lafayette Indiana, 1979, available online at: <https://srd.nist.gov/JPCRD/jpcrd155.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [36] T. K. Truong, “Twisted-pair transmission-line distributed parameters”, The Boeing Co, available online at: <https://www.qsl.net/wa3mej/Articles/Transmission%20Lines/Twisted-pair%20transmission-line%20distributed%20parameters.pdf> (accessed on 13 January 2024).

Εισηγήσεις σε Επιστημονικά Συνέδρια

- [37] H. Schippers, J. Verpoorte and R. Otin, “Electromagnetic Analysis of Metal Braids”, in Conf. *10th International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, York, U.K., 2011.

Κατάλογοι Εταιρειών

- [38] Axon’ Cable and Interconnect, “Miniature high performance twist pin connectors, Micro-D and Nano-D, Rectangular and Circular”, February 2018, available online at: <https://www.amgab.se/wp-content/uploads/pdf-dir/AMGAB-Specialkabel-Axon-Micro-D-Complete-catalogue.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [39] DuPont™ Teflon® PFA, “PFA Fluoropolymer Resins Properties Handbook”, available online at: https://www.extremecoatingsolutions.com/wp-content/uploads/2021/06/Teflon_PFA_Handbook.pdf (accessed on 13 January 2024).
- [40] Glenair, “High-Performance Micro-D Connectors and Cables”, October 2013, available online at: <https://cdn.glenair.com/catalogs/micro-d.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [41] ITT Cannon, “Microminiature Connectors Catalog”, November 2023, available online at: https://d30pzdukpbxlns.cloudfront.net/14a27333-37af-40ef-8a4c-5dcfe4f67c6f/4186c35008db4f169487095daea6ae58?response-content-disposition=inline%3B%20filename%2A%3DUTF-8%27%27ITT-Cannon-Microminiature-Connectors-Catalog.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&Expires=1705276800&Signature=JLUMXZjVL5ZxwoSa-CKWURd2HMKX8gfXGOP36Qzgi6CV-ypmFsJLozxKOQdEOMo0Xpsa3x0dsTd6ZGSKAbFuYQyijcLcDuvvdrNwsxkkQ21cinjz7VDD3W11~48lvIqwmthIK5RhSujAjuZZ9RyTzqr8HbN5t0yO7s9wK5c12IkxeVEGx8~8McW2qGedpJ34PXccim7Z91BYwLBmhDhPmB7LeHiTK2z0GOq~yKhWo-4S1KxEPjcmgyA2xm15g~GOKDmEkTTFdTGF0fG4~8LAr3lkyH5YzEXpLCMRAi3uDdWguYI681VnpNwH~3u~um4yRlhNxPKp6f50EvxQEq25Xw_&Key-Pair-Id=APKA133AGAEA YCXFB DTA (accessed on 13 January 2024).

- [42] MILNEC Interconnect Systems, “MD Series MIL-DTL-83513 Micro-D Military Style Connectors”, Revised 1815, available online at: <https://www.milnec.com/pdf/mil-dtl-83513/m83513-catalog-specs.pdf> (accessed on 13 January 2024).

Ιστοσελίδες

- [43] πPROTON PRODUCTS, *Bead Chain Electrode ST1525 (L100)*, [Online], available online at: <https://protonproducts.com/products/accessories/bead-chain-electrode-st1525-1100> (accessed on 13 January 2024).
- [44] πPROTON PRODUCTS, *InteliSENSE® ST-AC Series Spark Tester*, [Online], available online at: <https://protonproducts.com/products/st-series/st-ac-series> (accessed on 13 January 2024).
- [45] ANTALA, Specialty Chemicals, *The Essential Guide to Encapsulation & Potting Compounds*, [Online], available online at: <https://www.antala.uk/electronic-potting-and-encapsulation/> (accessed on 13 January 2024).
- [46] CableWholesale, *Coaxial Cables*, [Online], available online at: https://www.cablewholesale.com/support/technical_articles/coaxial_cables.php (accessed on 13 January 2024).
- [47] DigiKey, *Cable Design Equations—Balanced Pair*, [Online], available online at: <https://www.digikey.cn/zh/pdf/g/general-cablecarol-brand/cable-design-equations-balanced-pair> (accessed on 13 January 2024).
- [48] EpoxyTechnology, *Dielectric Properties of Epoxies*, [Online], available online at: <https://www.epotek.com/docs/en/Related/Tech%20Tip%2025%20Dielectric%20Properties%20of%20Epoxies.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [49] Laminated Plastics, *Technical Data Sheet – Paper Phenolic*, [Online], available online at: <https://laminatedplastics.com/paperphenolic.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [50] Online Materials Information Resource on Material Property Data (MatWeb), [Online], available online at: <https://www.matweb.com> (accessed on 13 January 2024).
- [51] Paras Laminates Pvt Ltd, *Data Sheet Paper Phenolic Laminates*, [Online], available online at: <http://www.paraslaminates.com/assets/Paper-phenolic-laminates.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [52] *Shield Coverage – Braided Shield*, [Online], available online at: <https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.gwu.edu/dist/1/69/files/2016/07/shieldb-10c04vm.pdf> (accessed on 13 January 2024).
- [53] Siechem, Wires and Cables, *AWG to Square mm Wire Size Conversion*, [Online], available online at: <https://www.siechem.com/tech-support/awg-to-square/> (accessed on 13 January 2024).
- [54] STAR-Dundee, *SpaceWire PCIe Mk2*, [Online], available online at: https://www.star-dundee.com/products/spacewire-pcie-mk2/#product_features (accessed on 13 January 2024).

Υπολογιστικά Εργαλεία – Προσομοιωτές

- [55] GeoGebra, [Online], available online at: <https://www.geogebra.org/classic> (accessed on 13 January 2024).
- [56] CST Studio Suite® – Electromagnetic Field Simulation Software, Dassault Systemes, 2021.
- [57] MATLAB 2016b, MathWorks®