



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Μεταπτυχιακή Εργασία

«Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης αντίστασης γείωσης σε Υποσταθμούς (Υ/Σ) Διανομής Μέσης Τάσης/Χαμηλής Τάσης (ΜΤ/ΧΤ)»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Γεωργίου Αρ. Πουλημένου

Επιβλέπων

Ιωάννης Φ.Γκόνορας, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Αθήνα, Μάρτιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Θέμα Μεταπτυχιακής Εργασίας:

Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης αντίστασης γείωσης σε Υποσταθμούς Μέσης Τάσης/Χαμηλής Τάσης

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΡ. ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Επιβλέποντες: Ιωάννης Φ. Γκόνος, Επ.Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16^η Μαρτίου 2018

Ι.Γκόνος	Σ.Παπαθανασίου	Π.Γεωργιλιάκης
Επ.Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ	Επ.Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2018

.....
Γεώργιος Αρ. Πουλημένος

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Αρ. Πουλημένος, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα Μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 στον τομέα Ηλεκτρικών και Βιομηχανικών Διατάξεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σχεδίαση και η αξιόπιστη λειτουργία ενός υποσταθμού Μέσης/Χαμηλής Τάσης ώστε στην περίπτωση κάποιας δυσλειτουργίας να προστατευθούν οι ανθρώπινες ζωές και ο εξοπλισμός του υποσταθμού.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ κ. Ι. Γκόνος, τον οποίο ευχαριστώ ιδιαίτερος για την ανάθεσή της καθώς και για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ θερμά τον Δρ κ. Χρήστο Χριστοδούλου για την άψογη συνεργασία μας, την υποστήριξη, τις πολύτιμες συμβουλές, την καθοδήγηση και τις χρήσιμες υποδείξεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον Δρ κ. Βασίλη Ανδροβιτσανέα για την υποστήριξή του, τις χρήσιμες υποδείξεις του και την προσφορά με τα σχήματα που μου παρείχε στην εργασία μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υπ.Διδάκτορα Κάτια Δαμιανάκη η οποία με καθοδήγησε και με στήριξε με κάθε δυνατό τρόπο ώστε να ολοκληρώσω την παρούσα εργασία.

Τέλος, ευχαριστίες οφείλω στους γονείς μου, για την υποστήριξή της όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Γεώργιος Αρ. Πουλημένος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης αντίστασης γείωσης σε Υποσταθμούς (Υ/Σ) Διανομής Μέσης Τάσης/Χαμηλής Τάσης (ΜΤ/ΧΤ)»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Γεώργιος Αρ. Πουλημένος
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Ιωάννης Φ. Γκόνος, Επ.Καθηγητής ΕΜΠ, ΗΜΜΥ Χρήστος Χριστοδούλου, Δρ.ΗΜΜΥ ΕΜΠ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2017-2018

Περίληψη

Υπολογισμός μέγιστης επιτρεπόμενης αντίστασης γείωσης σε Υποσταθμούς (Υ/Σ) Διανομής Μέσης Τάσης/Χαμηλής Τάσης (ΜΤ/ΧΤ) - Σύντομη περιγραφή της προς εκπόνηση μεταπτυχιακής εργασίας

Το σύστημα γείωσης παίζει βασικό ρόλο για την ασφαλή λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης και την προστασία του εξοπλισμού και του προσωπικού όταν δημιουργηθεί ένα ρεύμα σφάλματος. Γείωση είναι η αγώγιμη σύνδεση ενός σημείου κάποιου κυκλώματος ή ενός μη-ρευματοφόρου μεταλλικού αντικειμένου μιας εγκατάστασης με το έδαφος, με σκοπό να αποκτήσουν το ίδιο δυναμικό με τη γη, το οποίο θεωρείται –κατά σύμβαση- ίσο με μηδέν. Σκοπός ενός συστήματος γείωσης είναι να διοχετεύει το ρεύμα σφάλματος στη γη, έτσι ώστε να επιτευχθεί χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης, προκειμένου να αποφευχθεί η ανάπτυξη επικίνδυνων τάσεων επαφής και βηματικών τάσεων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης αντίστασης γείωσης που θα πρέπει να επιτυγχάνεται ώστε να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία του δικτύου και η ασφάλεια του προσωπικού ή τρίτων, δεδομένου ότι η επίτευξη της ζητούμενης τιμής του 1Ω είναι εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη, ενώ το κατώφλι των 40Ω αφορά στην λειτουργία των μέσω προστασίας, χωρίς να εξασφαλίζει ότι οι τάσεις επαφής και οι βηματικές δε θα ξεπερνούν το όριο επικινδυνότητας. Σ' αυτή την κατεύθυνση, θα προσομοιωθούν διάφορα συστήματα γείωσης υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προγράμματος, όπου διαθέτει το εργαστήριο Υψηλών Τάσεων. Τέλος, θα παρουσιαστούν και θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη συγκεκριμένη εργασία.

Λέξεις - Κλειδιά

Υποσταθμός διανομής, αντίσταση γείωσης, Μέση – Χαμηλή τάση, ρεύμα σφάλματος, τάσεις επαφής – βηματικές, μέσα ζεύξης – απόζευξης και προστασίας, τυποποιημένα συστήματα γείωσης, μετασχηματιστής, βραχυκύκλωμα.

POST-GRADUATE THESIS: **« Calculation of Maximum Allowable Grounding Resistance in Medium/Low Voltage Substations »**

STUDENT: **Georgios Ar.Poulimenos**

SUPERVISOR: **Ioannis F.Gkonos, Assistant Professor NTUA, ECE**
Christos Christodoulou, PHD ECE, NTUA

ACADEMIC YEAR: **2017-2018**

Abstract

Calculation of Maximum Allowable Grounding Resistance in Medium/Low Voltage Substations - Short description of the postgraduate thesis to be conducted:

Grounding system plays a key role for the safe operation of the power installations and the protection of their equipment and the personnel against electrical faults. Grounding is the conductive connection of a circuit's point, or of a non-current carrying metallic object of an installation to the ground, in order to obtain the same potential as the earth, which is, by convention, equal to zero. Scope of a grounding system is to divert the fault current to earth, so the achievement of low grounding resistance values is necessary in order to avoid the development of dangerous touch or step voltages.

Aim of the current work is to determine the maximum allowable grounding resistance that must be achieved to ensure the appropriate operation of the network and the safety of human beings, since the achievement of the desired value of 1Ω is not always attainable; moreover, the upper limit of 40Ω , considering the protective measures, does not ensure that the touch and step voltages will not exceed the safety limit. To this direction, various grounding systems of medium/low voltage substations will be simulated by using appropriate computer tool.

Key words

Distribution substation, grounding resistance, Medium - Low Voltage, fault current, touch - step voltage, means of coupling – disconnection and protection, standard grounding systems, transformer, short – circuit.

Πίνακας περιεχομένων

1^ο Κεφάλαιο - Γειώσεις Δικτύων Διανομής	11
1.1 Εισαγωγή	11
1.2 Ανάλυση της Δομής των Δικτύων Διανομής	12
1.2.1 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ.....	12
1.2.2 Υπόγεια δίκτυα ΜΤ	14
1.2.3 Δικτυωτά Δίκτυα ΧΤ.....	16
1.2.4 Υπόγεια Δίκτυα ΧΤ – Ακτινικά	17
1.2.5 Εναέρια Δίκτυα ΧΤ	19
1.3 Προστασία των Δικτύων Διανομής	20
1.4 Διατάξεις Υ/Σ διανομής	24
1.5 Τοποθέτηση και σύνδεση των γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής	31
1.5.1 Απαιτήσεις του Κανονισμού για την Εφαρμογή της ουδετέρωσης.....	33
1.5.2 Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων γείωσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης.....	36
1.5.3 Η γείωση μεταλλικών στα δίκτυα Μέσης Τάσης.....	38
1.5.4 Μικτές κατασκευές Μέσης / Χαμηλής Τάσης	41
1.5.5 Γειώσεις μεταλλικών και ουδέτερου για Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ	41
1.5.6 Γειώσεις Μεταλλικών Δικτύου Χαμηλής Τάσης	43
1.5.7 Σχηματικά η σύνδεση γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής	44
1.6 Περιγραφή προβλήματος	60
2^ο Κεφάλαιο – Συστήματα Γείωσης	61
2.1 Εισαγωγή	61
2.1.1 Τύποι γείωσης.....	64
2.2 Ειδική αντίσταση εδάφους	67
2.2.1 Ορισμός	67
2.2.2 Μέθοδοι μέτρησής της	69
2.3 Αντίσταση γείωσης	73
2.3.1 Εισαγωγή – ορισμός της αντίστασης γείωσης.....	73

2.3.2 Μέτρηση Αντίστασης Γείωσης	77
2.3.3 Μέθοδοι γείωσης	79
2.3.4 Απαιτήσεις και προδιαγραφές για τη μέτρηση γείωσης.....	82
2.3.4.1 Μέτρηση με χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων	83
2.3.4.2 Μέτρηση σημειακών γειώσεων	85
2.3.4.3.A Μέτρηση εκτεταμένων γειώσεων όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος	86
2.3.4.3.B Μέτρηση εκτεταμένων γειώσεων όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος	87
2.4 Μέθοδοι και διατάξεις ηλεκτροδίων γείωσης.....	90
2.4.1 Συστήματα διατάξεων ηλεκτροδίων γείωσης.....	95
2.5 Μέθοδοι και υλικά βελτίωσης της τιμής της αντίστασης γείωσης.....	104
3^ο Κεφάλαιο – Περιγραφή Διατάξεων και Προγράμματος	109
3.1 Περιγραφή των υπό μελέτη διατάξεων	109
3.2 Περιγραφή του προγράμματος προσομοίωσης	114
3.2.1 Εισαγωγή στη λειτουργία του CDEGS	114
3.2.2 SESCOAD.....	120
3.2.3 Προσομοίωση	121
3.2.4 Υπολογισμός και εξαγωγή αποτελεσμάτων	122
4^ο Κεφάλαιο - Σενάρια και Αποτελέσματα Προσομοίωσης	127
4.1 Εισαγωγή	127
4.2 Δομή μοντέλου εδάφους.....	127
4.3 1^ο Μοντέλο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Κατασκευή FCP-31Π	129
4.3.1 Μονοστρωματικό έδαφος.....	129
4.3.2 Διστρωματικό έδαφος.....	135
4.4 2^ο Μοντέλο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Κατασκευή FCP-31Π.....	158
4.4.1 Μονοστρωματικό έδαφος.....	159
4.4.2 Διστρωματικό έδαφος.....	164
4.5 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	177
4.6 Συμπεράσματα.....	180
4.6.1 Η επόμενη μέρα	182
Βιβλιογραφία.....	183

1^ο Κεφάλαιο - Γειώσεις Δικτύων Διανομής

1.1 Εισαγωγή

Από κατασκευαστική άποψη τα Δίκτυα Διανομής διακρίνονται στις δύο ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- Τα εναέρια Δίκτυα
- Τα υπόγεια Δίκτυα

Όσον αφορά τα εναέρια δίκτυα είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια και είναι ευκολότερα στην εκμετάλλευσή τους. Καταλαμβάνουν όμως σημαντικό χώρο, όπου σε αρκετά πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων είναι δύσκολη η διάθεσή του. Παλιότερα οι αγωγοί των γραμμών των εναέριων δικτύων, ήταν πάντοτε γυμνοί. Κατόπιν, η εξέλιξη της τεχνικής των καλωδίων επέτρεψε την χρησιμοποίηση εναέριων καλωδίων, όχι μόνο στην Χαμηλή τάση αλλά και στη Μέση Τάση. Λόγω του ότι το κόστος των εναερίων δικτύων με καλώδια δεν ήταν μεγάλο σε σχέση με αυτό των γυμνών αγωγών, ενώ ταυτόχρονα είχαν και πολλά πλεονεκτήματα, η χρησιμοποίησή τους επεκτάθηκε διεθνώς και αντικατέστησαν πλήρως τα δίκτυα ΧΤ γυμνών αγωγών [1].

Το σημαντικό πλεονέκτημα των δικτύων ΧΤ με καλώδια ήταν ότι τα καλώδια μπορούσαν να στηρίζονται και στις προσόψεις των κτηρίων, πράγμα που εκτός του ότι οδηγούσε σε μικρότερη δαπάνη, είχε και το πλεονέκτημα να ενοχλεί λιγότερο αισθητικά το περιβάλλον.

Οι Υποσταθμοί Υ/Σ μέσης / χαμηλής τάσης των εναερίων δικτύων μέχρι 400KVA κατασκευάζονται συνήθως εναέριοι, επάνω σ' ένα στύλο ή σε δύο στύλους. Οι μεγαλύτεροι Υ/Σ κατασκευάζονται επίγειοι [7].

Η κατασκευή των εναερίων δικτύων προσφέρεται για τις αγροτικές περιοχές που γενικά χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα φορτίου, καθώς και όπου δεν υπάρχει δυσχέρεια τήρησης των 'ελάχιστων αποστάσεων' εγκατάστασης των αγωγών κλπ. Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται ως αγροτικά διότι εξυπηρετούν χωριά, αρδευτικές περιοχές, αγροτικές βιοτεχνικές μονάδες ή και βιομηχανικές, στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένες σε αγροτικές περιοχές και όχι σε βιομηχανικές. Πολλές φορές αποκαλούνται και υπεραστικά δίκτυα.

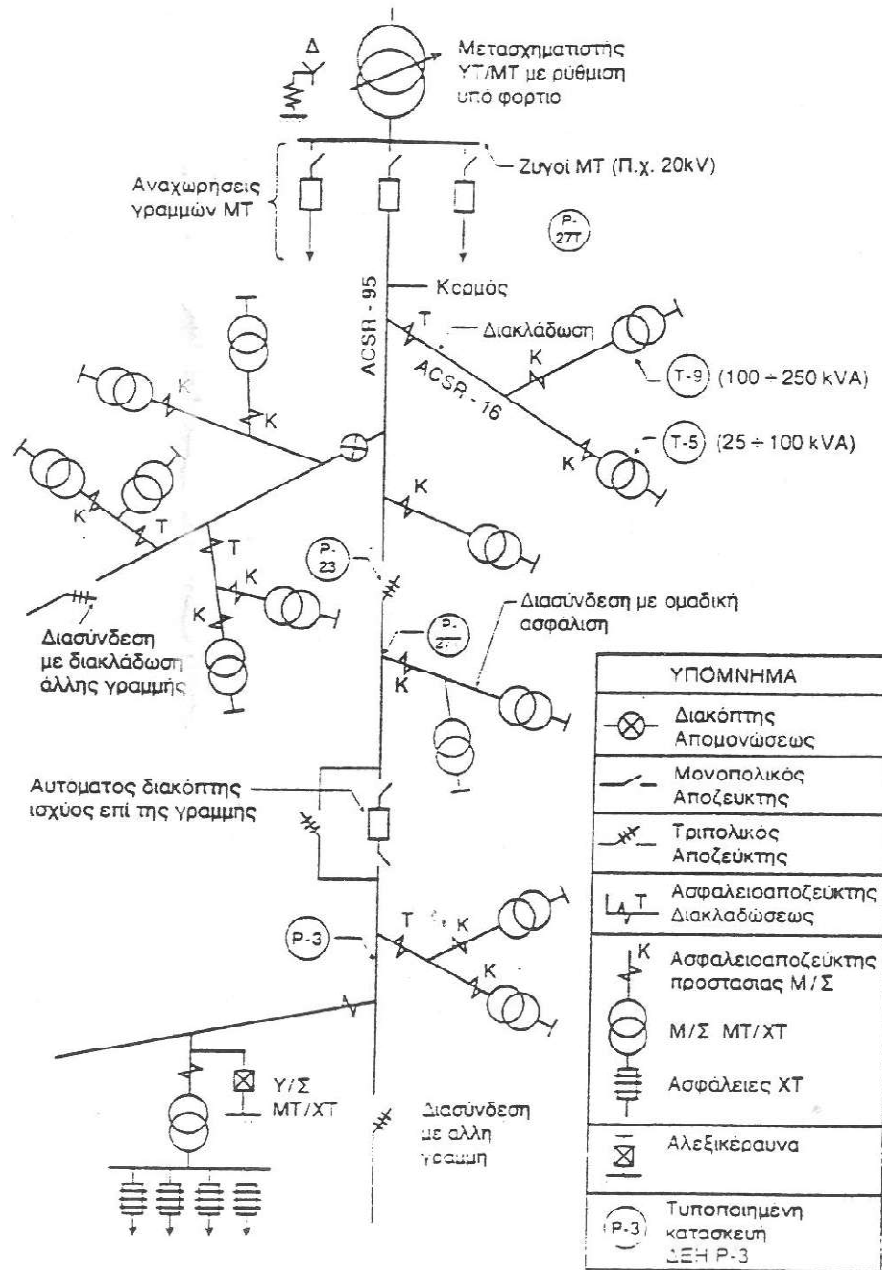
Υπόγεια κατασκευάζονται τα δίκτυα (τόσο τα ΜΤ όσο και τα ΧΤ) στα κέντρα των πόλεων, για λόγους αισθητικής, αλλά και λόγω δυσκολίας διαθέσεως του αναγκαίου χώρου [2]. Επί πλέον η πυκνότητα φορτίου στις περιοχές αυτές καθιστά επιβεβλημένη την κατασκευή υπογείου δικτύου ΧΤ. Στις μικρές πόλεις αλλά και στα προάστια των μεγάλων πόλεων συνήθως τα δίκτυα κατασκευάζονται μερικώς υπόγεια και μερικώς εναέρια , δηλαδή υπόγειο το δίκτυο ΜΤ και εναέριο το ΧΤ ή και τμήματα του ενός ή και του άλλου υπόγεια και εναέρια. Οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ του υπογείου δικτύου εγκαθίστανται συχνά στα υπόγεια των πολυκατοικιών ή στην επιφάνεια του εδάφους, σε κατάλληλα διαμορφωμένους οικίσκους [4].

1.2 Ανάλυση της Δομής των Δικτύων Διανομής

Ακολούθως δίνεται μια γενικότερη εικόνα της δομής των δικτύων ΜΤ και ΧΤ και των διαφόρων επιμέρους στοιχείων τους, παρουσιάζοντας και τα αντίστοιχα σχήματα που χρησιμοποιούνται [4, 5].

1.2.1 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ

Τα εναέρια δίκτυα ΜΤ ενδείκνυται να έχουν «δενδροειδή» μορφή, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Αποτελούνται από τον «κορμό» που κατασκευάζεται με αγωγούς μεγάλης διατομής, (π.χ. η ΔΕΗ χρησιμοποιεί 95mm² ισοδύναμου Cu) καθώς και τις «διακλαδώσεις» πάνω στις οποίες συνδέονται οι υποσταθμοί Μέσης/Χαμηλής Τάσης. Οι διακλαδώσεις αυτές κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης, απ' ότι ο κορμός, διατομής (π.χ. η ΔΕΗ συνήθως χρησιμοποιεί 35 ή 16 mm² ισοδύναμου Cu). Η «δενδροειδής» μορφή επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα στις αγροτικές περιοχές, όχι όμως στις ημιαστικές, διότι οι υπάρχοντες περιορισμοί στην όδευση των γραμμών δεν το επιτρέπουν.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα εναερίου υπεραστικού δικτύου ΜΤ[1]

Οπωσδήποτε τα εναέρια δίκτυα ΜΤ λειτουργούν σχεδόν πάντα «ακτινικά», δηλαδή όλες οι γραμμές, από τις οποίες αποτελείται το δίκτυο, τροφοδοτούνται μόνο από το ένα άκρο τους.

Η τροφοδότηση του κορμού της γραμμής στο ένα άκρο της γίνεται από τους ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ μέσω ενός διακόπτη ισχύος, εξοπλισμένου με τις κατάλληλες προστασίες, ενώ στο άλλο άκρο της ο κορμός μπορεί να διασυνδέεται, μετά από χειρισμό με άλλη γραμμή του ίδιου ή και άλλου Υ/Σ

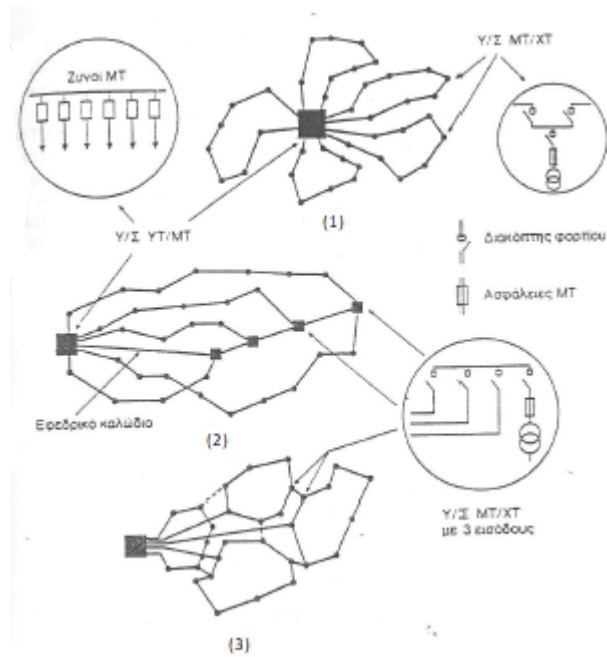
MT/XT. Κατά μήκος του κορμού μπορεί να εγκαθίστανται και μέσα προστασίας, τα οποία χρησιμεύουν στην κατά τμήματα απομόνωση του κορμού, ενώ επιτρέπεται η ανατροφοδότηση των υπόλοιπων τμημάτων. Κατά κανόνα ο κορμός του δικτύου περιλαμβάνει 4 αγωγούς (3 φάσεις και ουδέτερος), ενώ οι διακλαδώσεις όταν δεν απαιτείται η παροχή τριφασικής τάσεως από τους καταναλωτές, περιλαμβάνουν μόνο 2 αγωγούς (1 φάση και ουδέτερο) [1].

1.2.2 Υπόγεια δίκτυα MT

Μια βλάβη σ' ένα εναέριο δίκτυο το να εντοπιστεί και να αποκατασταθεί είναι γενικά εύκολη υπόθεση και απαιτεί χρόνο μερικών ωρών. Από την άλλη όμως ο εντοπισμός της θέσεως μιας βλάβης υπογείου καλωδίου και ακολούθως η αποκατάστασή της δεν είναι εύκολη υπόθεση και μπορεί να διαρκέσει πάνω από 24 ώρες συνολικά. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το υπόγειο δίκτυο MT τροφοδοτεί περιοχές με μεγάλη σχετικά πυκνότητα φορτίου αλλά και με αυξημένες απαιτήσεις τροφοδοσίας, γίνεται αντιληπτό ότι το απλό και οικονομικό ακτινικό σχήμα δικτύου που εφαρμόζεται στα εναέρια δίκτυα MT δεν επαρκεί. Έτσι στα υπόγεια δίκτυα MT ακολουθείται ο κανόνας του να υπάρχει η δυνατότητα, μετά από μία βλάβη, να επανατροφοδοτηθούν οι Υ/Σ MT/XT από άλλη όδευση, μετά την εκτέλεση ορισμένων χειρισμών ή και αυτόματα, χωρίς να προηγείται κατ' ανάγκη η επισκευή της βλάβης [1].

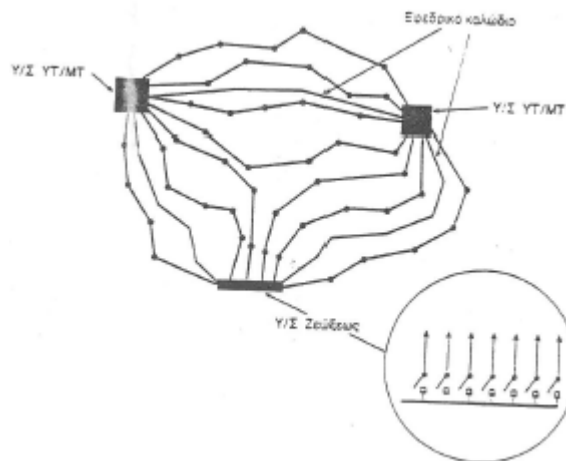
Αυτή η απαίτηση ικανοποιείται με τα ακόλουθα τρία βασικά σχήματα, με τις αντίστοιχες παραλλαγές τους:

- ✓ Το «βροχοειδές», που χαρακτηρίζεται από το ότι οι γραμμές αποτελούν τμήματα του βρόχου που αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο Υ/Σ ΥΤ/MT, όπως απεικονίζεται στα αντίστοιχα σχήματα



Σχήμα 1.2: Βροχοειδή σχήματα υπογείου δικτύου ΜΤ [1]

- ✓ Το «ατρακτοειδές» που χαρακτηρίζεται από το ότι οι γραμμές αρχίζουν από ένα Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ και καταλήγουν σ' ένα άλλο ή σ' έναν Υ/Σ ζεύξεως, όπως φαίνεται στο αντίστοιχο σχήμα.



Σχήμα 1.3: Ατρακτοειδές σχήμα υπογείου δικτύου ΜΤ [1]

Σ' όλες τις περιπτώσεις των παραπάνω σχημάτων, η διαμόρφωση του εξοπλισμού ζεύξεως στην πλευρά MT των Y/Σ MT/XT, είναι λειτουργικά ίδια.

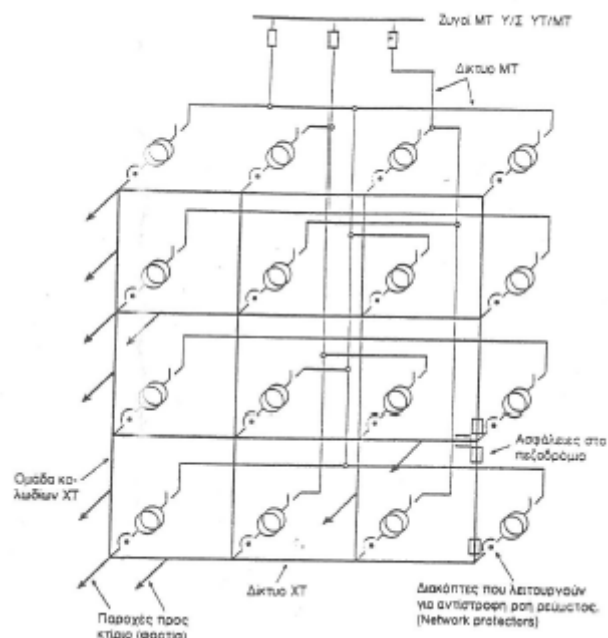
Ωστόσο η σταδιακή ανάπτυξη των δικτύων και η επιδίωξη των οικονομικότερων λύσεων οδηγεί στη διαμόρφωσή τους σε σχέση με τα αναφερθέντα σχήματα σ' ότι αφορά τα βροχοειδή [4].

Διεθνώς αλλά και στη χώρα μας εφαρμόζονται αποκλειστικά τα βροχοειδή σχήματα και προκειμένου να περιορίζεται ο χρόνος εντοπισμού του σφάλματος στα βροχοειδή δίκτυα εφαρμόζονται διάφορα συστήματα.

Μέχρι τώρα δεν αναφέρθηκαν τα δίκτυα XT διότι αυτά λειτουργούν ακτινικά και περιγράφονται παρακάτω.

1.2.3 Δικτυωτά Δίκτυα XT

Το δικτυακό πλέγμα XT τροφοδοτείται από ένα δίκτυο MT που μπορεί να είναι κλειστό ή ακτινικό, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι Y/Σ MT/XT περιλαμβάνουν απαραίτητα στην πλευρά XT των M/Σ τους, ένα Διακόπτη Ισχύος με κατάλληλη διάταξη προστασίας ώστε να ανοίγει σε περίπτωση ροής ρεύματος αντίστροφης από τις κανονικές συνθήκες.



Σχήμα 1.4: Σχηματική διάταξη δικτυωτού δικτύου XT [1]

Επίσης, πλεονέκτημά του είναι ότι έχει ελάχιστες απώλειες από οποιοδήποτε άλλο σχήμα δικτύου.

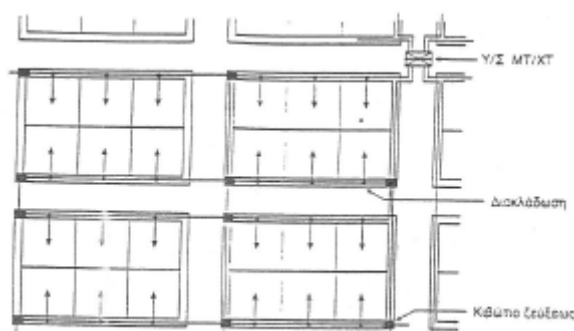
Αξίζει να επισημανθεί ότι το δικτυωτό δίκτυο ΧΤ, ανάλογα με τον τρόπο τροφοδότησής του από την ΜΤ εκτείνεται σε μικρό ή μεγάλο τμήμα μιας περιοχής ή και στο σύνολο αυτής. Τα δικτυωτά δίκτυα απαιτούν πολύ στενή παρακολούθηση.

Όμως σήμερα επιτυγχάνεται ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης εξυπηρέτησεως με πολύ οικονομικότερο τρόπο χρησιμοποιώντας τα ακτινικά δίκτυα [1].

1.2.4 Υπόγεια Δίκτυα ΧΤ – Ακτινικά

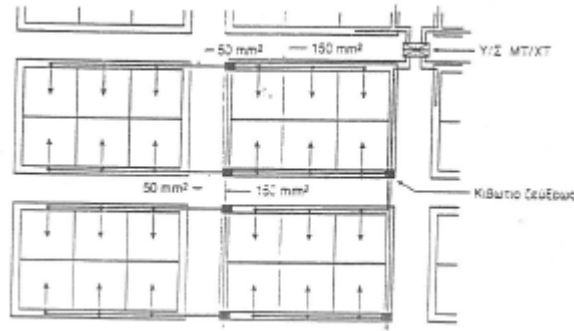
Με τρεις βασικούς τρόπους μπορεί να σχεδιαστεί ένα ακτινικό υπόγειο δίκτυο ΧΤ, οι οποίοι είναι:

- ✓ Χρησιμοποιώντας καλώδια ενιαίας διατομής, όπου το δίκτυο διαμορφώνεται ώστε να υπάρχει η δυνατότητα διπλής τροφοδότησης, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 1.5: Ενδεικτικό σχήμα υπογείου δικτύου ΧΤ με διπλή δυνατότητα τροφοδοτήσεως κάθε πλευράς τετραγώνου [1]

- ✓ Διαμορφώνονται κύριοι βρόχοι, ανά δύο αναχωρήσεις από τον Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, αλλά η τροφοδότηση των καταναλωτών γίνεται ακτινικά με καλώδια μικρότερης διατομής, όπως φαίνεται ακολούθως.



Σχήμα 1.6: Ενδεικτικό σχήμα υπογείου δικτύου XT με απλή τροφοδότηση των καταναλωτών [1]

- ✓ Δεν υπάρχουν κλειστοί βρόχοι, όμως χρησιμοποιούνται καλώδια διατομών, ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί φορτίσεως και πτώσεως τάσεως, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα διπλής τροφοδότησης σε περίπτωση βλάβης.



Σχήμα 1.7: Ενδεικτικό σχήμα υπογείου δικτύου XT με χρησιμοποίηση «κιβωτίων διανομής» [1]

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι ο 1^{ος} τρόπος προσφέρει μεγαλύτερο βαθμό εξυπηρετήσεως από ότι ο 3^{ος}, αλλά οδηγεί σε μεγαλύτερη δαπάνη, ενώ ο 2^{ος} βρίσκεται μεταξύ των δύο. Επίσης, πλεονέκτημα του υπογείου δικτύου XT με διπλή δυνατότητα τροφοδότησης είναι ότι προσφέρεται για περιπτώσεις που προβλέπεται ταχεία και μεγάλη αύξηση των φορτίων στο μέλλον. Ακόμα, ενδείκνυται για περιοχές με μεγάλη πυκνότητα φορτίου.

Από κατασκευαστική άποψη τα «κιβώτια συνδέσεως» και τα «κιβώτια διακλαδώσεως», συνήθως εγκαθίστανται υπόγεια. Παρόλα αυτά όμως, μπορεί να χρησιμοποιούνται επίγεια κιβώτια με συνδέσμους ή και ασφάλειες ειδικότερα για υπόγειο δίκτυο XT με χρησιμοποίηση «κιβωτίων διανομής».

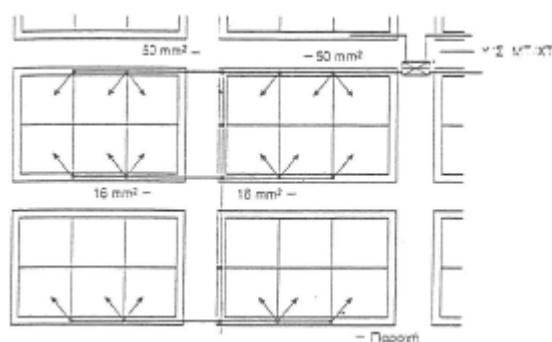
Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα πολλών παραλλαγών των παραπάνω τύπων υπογείου δικτύου που αποτελεί προσαρμογή των κιβωτίων διακλαδώσεως, συνδέσεως και διανομής που χρησιμοποιούνται [1].

1.2.5 Εναέρια Δίκτυα ΧΤ

Η διαμόρφωση των εναερίων δικτύων ΧΤ, είτε αυτά κατασκευάζονται με γυμνούς ή με μονωμένους αγωγούς, είναι απλούστερη των υπογείων, όπου δεν προβλέπονται δυνατότητες διπλών τροφοδοτήσεων.

Χρησιμοποιούνται συνήθως, στις αγροτικές περιοχές, περισσότερες της μιας διατομής αγωγών, καθώς οι γραμμές δεν είναι τριφασικές αλλά μονοφασικές, δηλαδή ουδέτερος και μια φάση.

Προκειμένου να γίνει μια σύγκριση με το αντίστοιχο υπόγειο στη διαμόρφωση ενός εναερίου δικτύου ΧΤ, το παρακάτω σχήμα δείχνει για την ίδια οικοδομική κάτοψη που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως, το εναέριο δίκτυο [1].



Σχήμα 1.8: Ενδεικτικό σχήμα εναερίου δικτύου ΧΤ, από Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ 4 αναχωρήσεων[1]

1.3 Προστασία των Δικτύων Διανομής

Όταν σχεδιάζεται μια ηλεκτρική εγκατάσταση λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση για εξασφάλιση από ηλεκτροπληξίες των προσώπων που τις χειρίζονται καθώς επίσης και η απαίτηση για αποφυγή καταστροφών των εγκαταστάσεων [7].

Σκοπός και ρόλος της προστασίας

Κάθε στοιχείο στην εγκατάσταση ενός υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ μπορεί να πάθει βλάβη, που προέρχεται είτε από κάποιο εξωτερικό αίτιο (π.χ. κεραυνός), είτε από κάποιο εξωτερικό (π.χ. γήρανση μόνωσης). Μια τέτοια βλάβη συνήθως συνίσταται σε βραχυκύκλωμα που εκδηλώνεται άμεσα ή εξελίσσεται σταδιακά. Στην περίπτωση αυτή κάθε στοιχείο του συστήματος, στο οποίο εντοπίζεται η βλάβη, πρέπει να απομονωθεί το ταχύτερο ώστε:

- A. να περιοριστεί η βλάβη μόνο στο στοιχείο που εκδηλώθηκε
- B. να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στο υπόλοιπο σύστημα και ιδιαίτερα να αποφευχθεί η θέση εκτός λειτουργίας και άλλων στοιχείων αυτού
- Γ. να αποφευχθούν φαινόμενα ηλεκτροπληξίας ή πυρκαγιών

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι μπορεί να προκληθεί βλάβη όταν υπάρξει υπέρταση των χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας ενός στοιχείου του συστήματος (π.χ. της τάσεως) ή της ικανότητας φορτίσεώς του. [6]

Με τον ρόλο της προστασίας των συστημάτων εξασφαλίζεται:

Διακοπή τροφοδότησης σε περιπτώσεις ανωμαλιών ώστε να αποφεύγονται επικίνδυνες καταστάσεις σε πρόσωπα ή πράγματα

Η έκταση και η διάρκεια της διακοπής να είναι όσο το δυνατόν περιορισμένη [3].

Ορισμός σφάλματος

Στην προστασία ο όρος «σφάλμα» καλείται βραχυκύκλωμα, το οποίο δημιουργείται όταν εμφανίζεται μειωμένη αντίσταση μονώσεως σε κάποιο σημείο της γραμμής.

Διάκριση σφαλμάτων ανάλογα με τον τρόπο που εκδηλώνονται:

Σφάλματα φάσεων: Αυτά εμφανίζονται μεταξύ φάσεων και είναι «διφασικά» ή «τριφασικά»

Σφάλματα γης: Αυτά εμφανίζονται μεταξύ αγωγού ή αγωγών φάσεων και γης, είναι είτε «μονοφασικά», είτε «διφασικά» ή και «τριφασικά» [3].

Ένταση βραχυκυκλώσεως

Στην περίπτωση σφάλματος σε μια γραμμή, αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα του οποίου η τιμή εξαρτάται πάντοτε από την αντίσταση γραμμής μέχρι το σημείο του σφάλματος και από την αντίσταση του σφάλματος. Το ρεύμα αυτό καλείται «ένταση βραχυκυκλώσεως» [7].

Προστασία Μ/Σ Διανομής από σφάλματα

Ωστε να προστατευθούν οι Μ/Σ διανομής από τυχόν βραχυκυκλώματα τοποθετούνται στην πλευρά της ΜΤ και πριν από το Μ/Σ ασφάλειες ΜΤ. Ειδικότερα το είδος των ασφαλειών ΜΤ που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό Σύστημα Διανομής είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Για Μ/Σ οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε εναέριους Υ/Σ Διανομής τοποθετούνται ασφάλειες τύπου εκτονώσεως. Αυτές είναι ταχείας τήξεως και χαρακτηρίζονται με το γράμμα Κ
- ✓ Για Μ/Σ που είναι εγκατεστημένοι σε Υ/Σ εσωτερικού χώρου τοποθετούνται ασφάλειες τύπου κόνεως. Αυτές είναι βραδείας τήξεως και χαρακτηρίζονται με το γράμμα Τ.

Με τις ασφάλειες στην πλευρά της ΜΤ επιδιώκεται και η αποφυγή βλάβης του Μ/Σ σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στην πλευρά ΧΤ πριν από τις ασφάλειες ΧΤ καθώς επίσης και η απομόνωση του Μ/Σ από το δίκτυο ΜΤ όταν αυτός πάθει κάποιο βραχυκύκλωμα [7].

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι ονομαστικές εντάσεις των ασφαλειών ΜΤ εκτονώσεως και κόνεως για Μ/Σ με τάση 20KV.

Ισχύς Μ/Σ [KVA]	25	50	100	160	200	250	400	500	630	1000
Ασφάλεια εκτονώσεως [A]	3	3	8	12	15	15	25	40		
Ασφάλεια κόνεως [A]				15	15	25	43	43	43	63

Πίνακας 1.1: Εντάσεις ασφαλειών ΜΤ ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ [7]

Κατόπιν, για την προστασία των Μ/Σ Διανομής από βραχυκυκλώματα που γίνονται στη πλευρά της ΧΤ χρησιμοποιούμε τις ασφάλειες ΧΤ. Οι συγκεκριμένες τοποθετούνται στα κιβώτια ασφαλειών (ασφαλειοκιβώτια) των Υ/Σ Διανομής. Επίσης, διευκρινίζεται ότι οι ασφάλειες ΧΤ δεν προστατεύουν το Μ/Σ από υπερφόρτιση. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η παρακολούθηση των φορτίων ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο Μ/Σ δεν θα υπερφορτιστεί περισσότερο από τα επιτρεπόμενα όρια [3].

Οι ασφάλειες ΧΤ πρέπει να συνεργάζονται επιλογικά με τις ασφάλειες ΜΤ του Μ/Σ, δηλαδή πρέπει να «καίγονται» αυτές πριν «καούν» οι ασφάλειες ΜΤ.

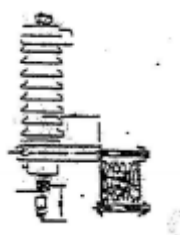
Προστασία Υ/Σ και Μ/Σ από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις

Η πτώση κεραυνού σε Υ/Σ θα προκαλέσει μεγάλη ανύψωση τάσης και μεγάλη ποσότητα ρεύματος εκφορτίσεως [8]. Στην περίπτωση που η πτώση τάσης είναι αρκετά ισχυρή υπάρχει περίπτωση τα όρια της προστασίας που έχει ο Υ/Σ να αποδειχθούν ακατάλληλα. Γι αυτό εγκαθίστανται αλεξικεραυνική

προστασία τέτοια ώστε να μειωθεί η πιθανότητα άμεσου χτυπήματος από κεραυνό σε 1%. Η προστασία αυτή πραγματοποιείται με αγωγούς γειώσεως.

Προστασία εναέριων Υ/Σ Διανομής από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις

Η προστασία των εναερίων Υ/Σ Διανομής από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις πραγματοποιείται με την τοποθέτηση στο ικρίωμα του Υ/Σ στην πλευρά της ΜΤ. Εικόνα



Σχήμα 1.9: Τοποθέτηση αλεξικέραυνου στην πλευρά ΜΤ του Υ/Σ [7]

Τα αλεξικέραυνα κυρίως προστατεύουν το Μ/Σ Διανομής από υπερτάσεις που δημιουργούνται στα δίκτυα Μέσης Τάσης από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις [6].

Στην πλευρά της Χαμηλής Τάσης ο κίνδυνος για υπερτάσεις από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις δεν είναι μεγάλος γιατί ο ουδέτερος αγωγός που βρίσκεται υψηλότερα από τους άλλους αγωγούς είναι γειωμένος και δεν επιτρέπει τη δημιουργία υπερτάσεων αλλά και για τα δίκτυα Χαμηλής Τάσης είναι συνήθως σε περιοχές λιγότερο εκτεθειμένες σε ατμοσφαιρικές εκκενώσεις. Για το λόγο αυτό στην πλευρά Χαμηλής Τάσης δεν λαμβάνεται κανένα μέτρο για προστασία των Μ/Σ από υπερτάσεις.

Σε κάθε θέση που είναι τοποθετημένα αλεξικέραυνα, χρησιμοποιούνται 3, ένα για την κάθε φάση. Κάθε αλεξικέραυνο συνδέεται από τη μία πλευρά του με τον αγωγό φάσεως και από την άλλη πλευρά του με τον αγωγό γειώσεως.

Στην περίπτωση που ο αγωγός φάσεως έχει την κανονική τάση λειτουργίας προς τη γη, το αλεξικέραυνο αποτελεί μόνωση και δεν υπάρχει καμία διαρροή προς τη γη.

Ενώ όταν η τάση ξεπεράσει ένα καθορισμένο όριο, το αλεξικέραυνο παύει να αποτελεί μόνωση και γίνεται αγωγίμο, επιτρέποντας έτσι στο συγκεντρωμένο ηλεκτρικό φορτίο που προκαλεί την υπέρταση, να διαφύγει προς τη γη. Με τον τρόπο

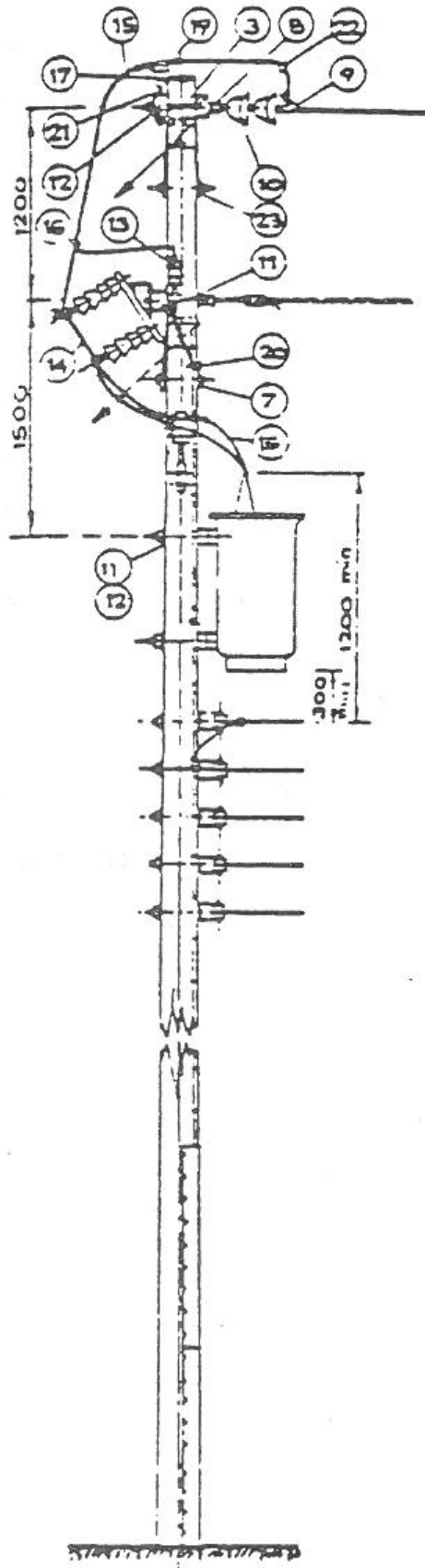
αυτό εξαφανίζεται η υπέρταση και αποφεύγεται η βλάβη που θα μπορούσε να προκληθεί στο Μ/Σ [7].

1.4 Διατάξεις Υ/Σ διανομής

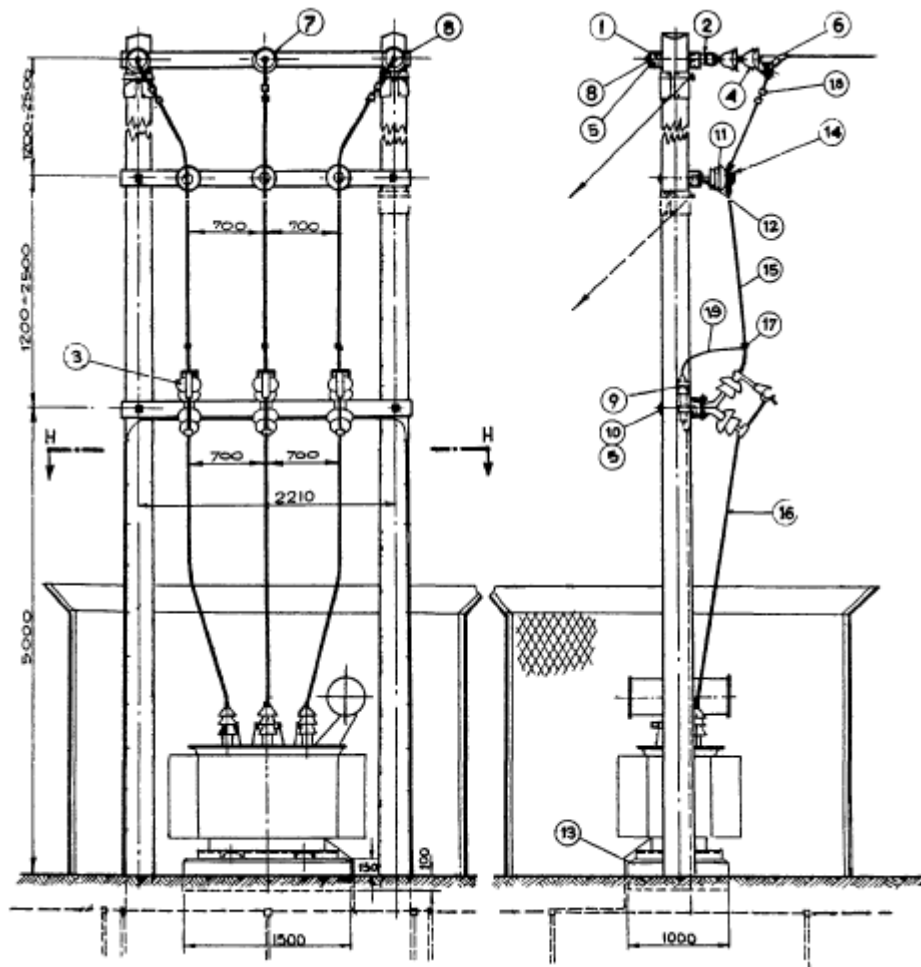
Ακολούθως γίνεται μια αναφορά στις διατάξεις των υποσταθμών διανομής επί ενός στύλου , δύο στύλων καθώς και επίγειων.

Από το εγχειρίδιο τυποποιημένων κατασκευών διανομής [9] γίνεται γνωστό ότι οι μετασχηματιστές ισχύος μέχρι 50KVA θα αναρτώνται επί ενός στύλου. Από 75KVA έως και 400KVA θα τοποθετούνται επί εξ' έδρας στερεωμένης μεταξύ δύο στύλων. Από την άλλη, στο έδαφος θα τοποθετούνται μετασχηματιστές από 500kVA και άνω.

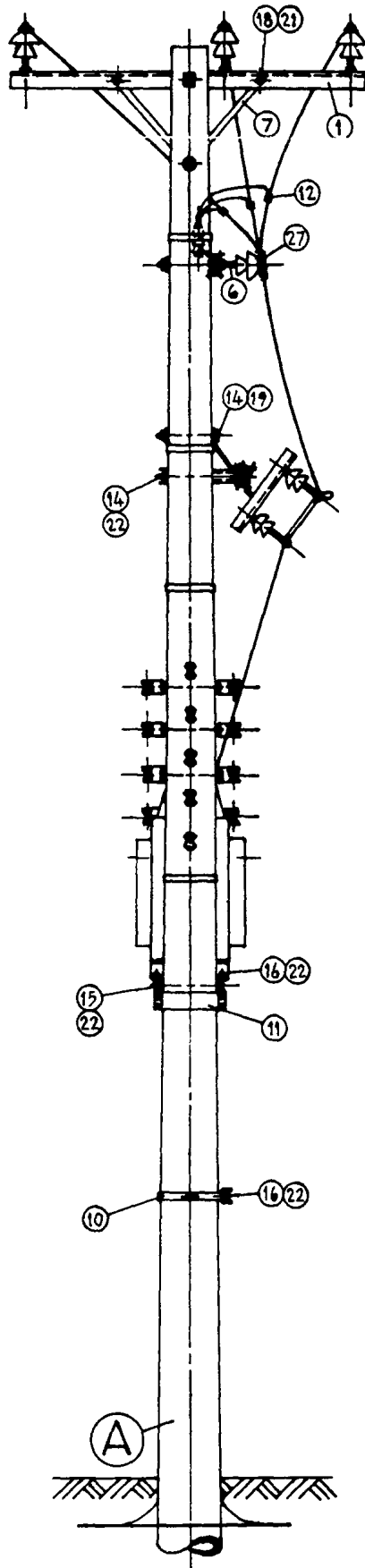
Οι Υ/Σ των εναερίων επί ενός ή δύο ξύλινων στύλων ή επί ενός ή δύο τσιμεντένιων στύλων και επί εδάφους, έχουν την συνδεσμολογία, διάταξη, που φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα.



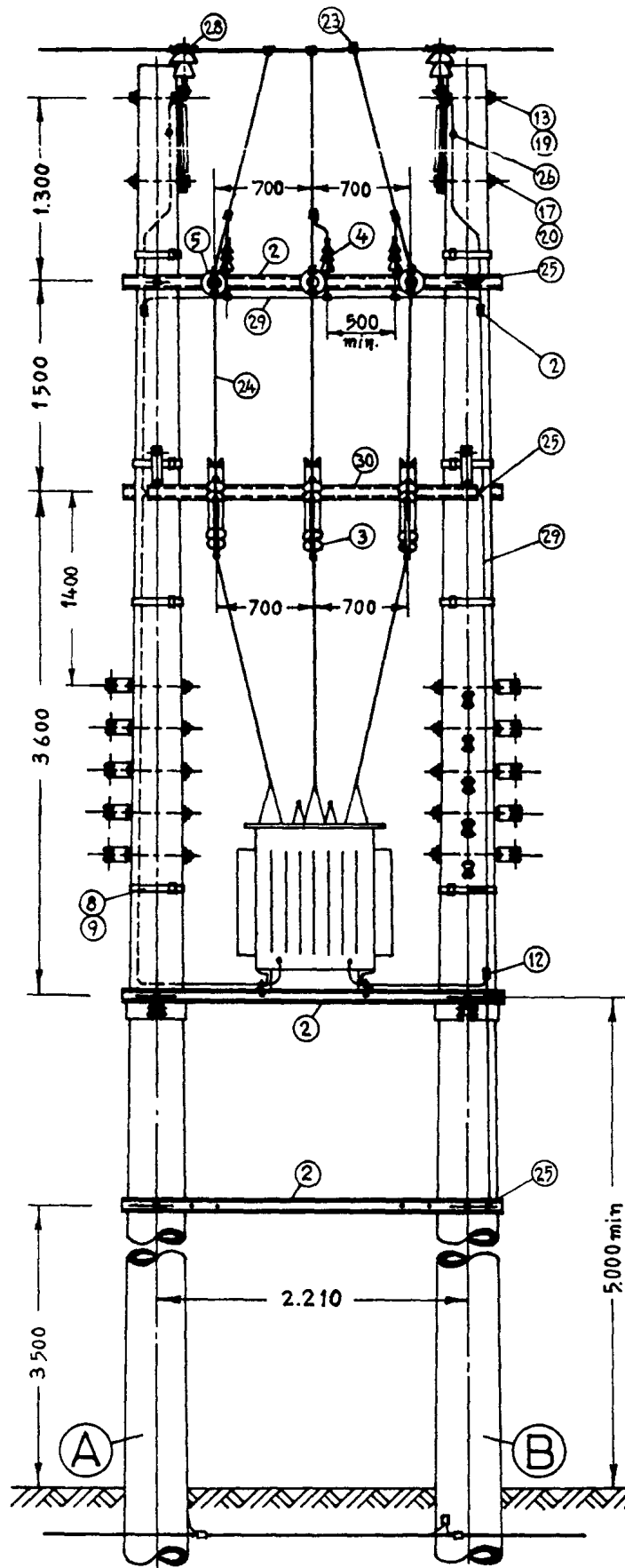
Σχήμα1.10: Εναέριος Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ επί ξύλινου στύλου [9]



Σχήμα 1.11: Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ επί εδάφους επί δύο στύλων [9]

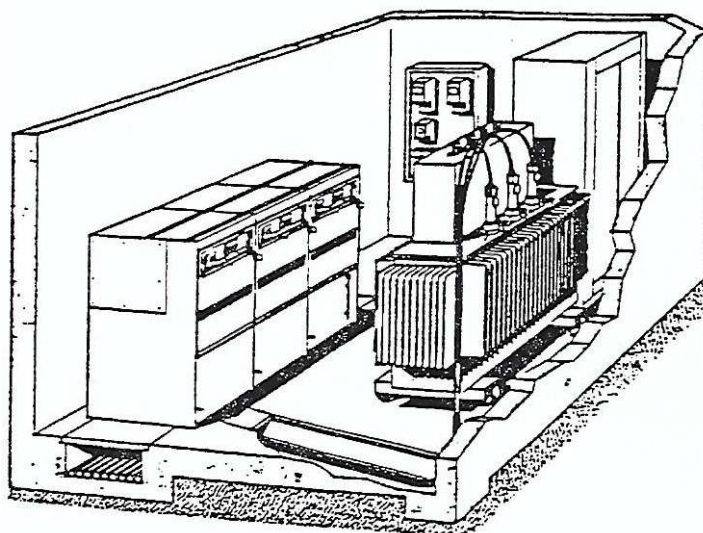


Σχήμα 1.14: Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ επί τσιμεντένιου στύλου [9]

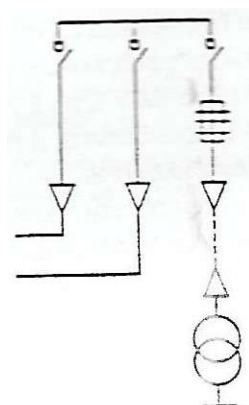


Σχήμα 1.15: Εναέριος Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ επί δύο τσιμεντένιων στύλων [9]

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η κατασκευαστική διαμόρφωση τυπικού Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ σε κλειστό χώρο. Οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ τροφοδοτούνται με είσοδο – έξοδο του καλωδίου της γραμμής ή όπως άλλες φορές ορίζεται «με διακοπή της διερχόμενης γραμμής».



Σχήμα 1.16: Κατασκευαστική διαμόρφωση Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ κλειστού χώρου [1]



Σχήμα 1.17: Συνδεσμολογία Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ σε κλειστό χώρο [1]

1.5 Τοποθέτηση και σύνδεση των γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η περιγραφή και ανάλυση τοποθέτησης και σύνδεσης γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής είναι χρήσιμο να αναφερθούν και να περιγραφούν κάποιοι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι [10]:

Μεταλλικά αντικείμενα ορίζονται τα αγωγή εξαρτήματα των εγκαταστάσεων ή των συσκευών, τα οποία δεν είναι μονωμένα προς το περιβάλλον, και όταν βρεθούν στην κανονική κατάσταση λειτουργίας δεν

έχουν τάση προς γη. Στην περίπτωση όμως υπερπηδήσεως, διαρροής ή και γενικά οποιασδήποτε βλάβης των μονώσεων, μπορεί να βρεθούν υπό τάση προς τη γη. Στους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ ονομάζονται **Μεταλλικά Μέσης Τάσης**, τα εξαρτήματα εκείνα που μπορεί να αποκτήσουν τάση προς τη γη από τη Μέση Τάση, όπως το κέλυφος του Μετασχηματιστή, οι πίνακες Μέσης Τάσης και οι μεταλλικές κατασκευές που στηρίζουν στοιχεία Μέσης Τάσης. Από την άλλη, **Μεταλλικά Χαμηλής Τάσης**, είναι τα εξαρτήματα που μπορεί να αποκτήσουν τάση μόνο από την Χαμηλή Τάση, όπως το ασφαλειοκιβώτιο Χαμηλής Τάσης.

Επιπλέον, στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης, περιλαμβάνονται στα μεταλλικά τα συρματόσχοινα επί τόνων, τα μεταλλικά πλαίσια, τα φωτιστικά σώματα και τα μεταλλικά κιβώτια μετρητών, ασφαλειών, μετασχηματιστών εντάσεως κ.α. Στις εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, χαρακτηρίζονται ως μεταλλικά τα γειωτέα αντικείμενα, τα οποία καθορίζονται από τον Κανονισμό Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων και που γειώνονται με την σύνδεσή τους στον ιδιαίτερο αγωγό προστασίας κάθε εγκατάστασεως [10].

Αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου ή ενός συστήματος γείωσης ονομάζεται η αντίσταση προς την άπειρη γη.

Συνολική αντίσταση γείωσης του ουδέτερου ενός δικτύου Χαμηλής Τάσης θεωρείται, ότι είναι εκείνη που προκύπτει από μέτρηση στη θέση του Υποσταθμού ΜΤ/ΧΤ που τροφοδοτεί αυτό το δίκτυο. Στην περίπτωση όμως γειτονικών δικτύων Χαμηλής Τάσης, που έχουν δηλαδή κοινούς τερματικούς στύλους, στους οποίους ο ουδέτερος είναι γεφυρωμένος, στη συνολική αντίσταση του ενός δικτύου λαμβάνονται υπόψιν και οι γειώσεις του άλλου δικτύου, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν δύο τουλάχιστον κοινοί τερματικοί στύλοι αυτών των δύο δικτύων. Εάν όμως υπάρχουν περισσότερα γειτονικά δίκτυα, και για τα οποία ισχύει η πιο πάνω προϋπόθεση, τότε για κάθε δίκτυο λαμβάνονται υπόψιν οι γειώσεις των αμέσως γειτονικών δικτύων, ενώ οι γειώσεις ενός τρίτου δικτύου, που δεν είναι άμεσα γειτονικό με το πρώτο, δεν λαμβάνονται υπόψιν [10].

Ανεξάρτητες γειώσεις

Με τον όρο αυτό, εννοούνται δύο ηλεκτρόδια ή δύο συστήματα γείωσης, τα οποία αν συνδεθούν μεταξύ τους με έναν αγωγό αμελητέας αντίστασης παρουσιάζουν συνολική αντίσταση γείωσης περίπου ίση με την ισοδύναμη αντίσταση των δύο αντιστάσεων γείωσης, όπως προκύπτει από τη σύνθεσή τους «εν παραλλήλω». Επίσης, δύο γειώσεις θεωρούνται ανεξάρτητες όταν βρίσκονται σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους, ώστε κάθε μία από αυτές να είναι πρακτικά έξω από το πεδίο ροής που δημιουργείται από την άλλη, όταν αυτή διοχετεύει ρεύμα προς τη γη [10]. Πρακτικά όμως, όταν πρόκειται για απλά ηλεκτρόδια γείωσης ή για συστήματα γείωσης μικρής έκτασης μέχρι 3 μέτρων θεωρούνται ότι αυτά είναι ανεξάρτητα, όταν τα αγωγίμα τμήματά τους που βρίσκονται μέσα στο έδαφος και δεν είναι μονωμένα, απέχουν περισσότερο από 10 μέτρα.

Πλέγμα γείωσης ονομάζεται ένα σύνολο από συνδεδεμένα μεταξύ τους αγωγίμα σώματα (όπως σύρματα, ταινίες, πλάκες, ράβδοι, σωλήνες), που είναι τοποθετημένα μέσα στο έδαφος και είναι έτσι διαρρυθμισμένα, προκειμένου να εξασφαλίζεται αποτελεσματική γείωση [10,12].

Η τάση επαφής και η βηματική τάση ορίζονται από τον Κανονισμό Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων [10] και είναι οι τάσεις που εμφανίζονται, στην περίπτωση βλάβης των μονώσεων, ανάμεσα σε δύο σημεία που μπορούν να γεφυρωθούν από ένα άτομο. Ειδικότερα η τάση επαφής αναφέρεται σε δύο μεταλλικά αντικείμενα ή σε ένα μεταλλικό αντικείμενο και ένα σημείο του εδάφους, ενώ η βηματική τάση αναφέρεται σε δύο σημεία του εδάφους.

1.5.1 Απαιτήσεις του Κανονισμού για την Εφαρμογή της ουδετέρωσης

Για να επιτρέπεται η εφαρμογή ουδετέρωσης σε μια εγκατάσταση, σύμφωνα με το άρθρο 19 του Κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ), όπου έχει αντικατασταθεί από τον ΕΛΟΤ HD384 [17], πρέπει στο δίκτυο Διανομής που την τροφοδοτεί, να τηρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

1^η Συνθήκη: Σε περίπτωση στερεού βραχυκυκλώματος (δηλαδή βραχυκυκλώματος χωρίς αντίσταση) μεταξύ αγωγού φάσεως και ουδετέρου, σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου χαμηλής τάσης ή μιας παροχής, η ένταση του βραχυκυκλώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από το τριπλάσιο της ονομαστικής έντασης της ασφάλειας που είχε πριν από το σημείο βραχυκυκλώματος.

2^η Συνθήκη: Ο ουδέτερος αγωγός πρέπει να έχει μηχανική αντοχή και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με αυτές των αγωγών φάσεων. Επιτρέπονται εξαιρέσεις για τα καλώδια και για τους εναέριους αγωγούς διατομής 70 τετραγωνικών χιλιομέτρων και μεγαλύτερης, όπως αναφέρει και ο Κανονισμός Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στα τυποποιημένα δίκτυα του Ελληνικού Συστήματος Διανομής ο ουδέτερος αγωγός έχει, δίχως εξαίρεση, την ίδια διατομή με τον αγωγό φάσεως.

3^η Συνθήκη: Ο ουδέτερος αγωγός πρέπει να είναι γειωμένος:

α. Στον υποσταθμό Μέσης/Χαμηλής Τάσης

β. Στα εναέρια δίκτυα, στα τέρματα των κύριων γραμμών και των διακλαδώσεων και οπωσδήποτε κάθε 300 μέτρα. Στις περιπτώσεις εκείνες που χρειάζεται να τοποθετηθούν και πρόσθετες γειώσεις προκειμένου να μειωθεί η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου, οι πρόσθετες αυτές γειώσεις πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν, ομοιόμορφα κατανεμημένες στο δίκτυο.

γ. Στο άκρο κάθε εναέριας ή υπόγειας παροχής, προς την πλευρά του καταναλωτή.

4^η Συνθήκη: Η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου μαζί με τις γειώσεις στα άκρα των παροχών πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 10Ω. Όταν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μεγαλύτερη από 1Ω, πρέπει να υπάρχει στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ ιδιαίτερη γείωση, ανεξάρτητη από την γείωση του ουδετέρου και προς αυτή πρέπει να είναι συνδεδεμένα τα μεταλλικά Μέσης Τάσης του υποσταθμού. Ειδικά όμως για τους εναέριους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ με ξύλινους στύλους, το όριο αυτό είναι 2Ω, διότι σ' αυτή την περίπτωση, είναι πραγματικά αδύνατη η υπερπήδηση από τα στοιχεία Μέσης Τάσης προς τα μεταλλικά, σε σημείο πριν από τα μέσα προστασίας του

υποσταθμού. Στην περίπτωση που υπάρχει υπόγειο καλώδιο Μέσης Τάσης, το όριο παραμένει 1Ω, ακόμα και αν πρόκειται για εναέριο υποσταθμό με ξύλινους στύλους, διότι υπάρχει ο κίνδυνος υπερπηδήσεως στο ακροκιβώτιο του υπόγειου καλωδίου. Γενικότερα επιτρέπεται η κοινή γείωση μεταλλικών Μέσης Τάσης και ουδετέρου, με συνολική αντίσταση γείωσης μέχρι 2Ω, όταν υπάρχουν ασφάλειες, ονομαστικής έντασης μέχρι 30Α, πριν από οποιοδήποτε σημείο, στο οποίο μπορεί να γίνει υπερπήδηση από τα στοιχεία Μέσης Τάσης προς τα μεταλλικά.

Όταν σ' έναν υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ καταλήγουν καλώδια, Μέσης ή Χαμηλής Τάσης, με μονωτικό μανδύα, που έχουν συνολικό μανδύα μεγαλύτερο από 1200 μέτρα, επιτρέπεται η σύνδεση σε κοινή γείωση των μεταλλικών Μέσης Τάσης και του ουδετέρου, διότι θεωρείται ότι ο μεταλλικός μανδύας με τη φυσική γείωσή του εξασφαλίζει την επιβαλλόμενη χαμηλή τιμή αντιστάσεως γείωσης. Αξίζει να γίνει κατανοητό, ότι όσον αφορά την αντίσταση γείωσης, περισσότερα από ένα καλώδια τοποθετημένα σ' ένα χαντάκι θεωρούνται σαν ένα καλώδιο.

Στην περίπτωση που κατασκευάζεται ανεξάρτητη γείωση των μεταλλικών Μέσης Τάσης, η αντίσταση πρέπει να είναι οπωσδήποτε μικρότερη από 40Ω.

Από την άλλη, ο μεταλλικός μανδύας των υπόγειων καλωδίων Χαμηλής Τάσης πρέπει να είναι συνδεδεμένος προς τον ουδέτερο στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ, στο άκρο, προς την πλευρά του καταναλωτή, των παροχών καθώς και στα δύο άκρα σε υπόγεια καλώδια που παρεμβάλλονται στο εναέριο δίκτυο.

5^η Συνθήκη: Ο ουδέτερος αγωγός δεν πρέπει να διακόπτεται από ασφάλειες ή διακόπτες (αυτόματους ή όχι) και γενικά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση της συνέχειάς του καθώς και να λαμβάνονται τα ενδεικνυόμενα σε κάθε περίπτωση μέτρα ώστε να πετύχουμε αυτό το σκοπό.

Από τις παραπάνω απαιτήσεις που αναφέρθηκαν εξετάζονται οι συνθήκες 3 και 4.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι ένα δίκτυο χαμηλής τάσης είναι κατάλληλο για να εφαρμοστεί σ' αυτό και στις εσωτερικές εγκαταστάσεις που τροφοδοτούνται από αυτό, η ουδετέρωση, χρειάζεται να εξεταστεί ότι

πληρούνται όλες οι συνθήκες που καθορίζει ο Κανονισμός Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων. Ειδικότερα και για τα δίκτυα, στα οποία εφαρμοζόταν η άμεση γείωση και αντιμετωπίζεται η σταδιακή μετατροπή της μεθόδου προστασίας και η εφαρμογή της ουδετέρωσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν, όπως ορίζει και ο κανονισμός, ότι απαγορεύεται η συνύπαρξη των δύο μεθόδων προστασίας (δηλαδή άμεσης γείωσης και ουδετέρωσης), εκτός αν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι ίση ή μικρότερη από 1Ω . Αυτή η συνύπαρξη πρέπει να περιορίζεται όσο είναι δυνατόν, στο χρονικό διάστημα που είναι απαραίτητο για την μετατροπή της εφαρμοζόμενης μεθόδου προστασίας. Κατά το μεταβατικό στάδιο, ο ουδέτερος πρέπει να συνδέεται προς το δίκτυο υδρεύσεως σε όσο το δυνατό περισσότερα σημεία. Επιπλέον, η ουδετέρωση πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτεραιότητα στους καταναλωτές που έχουν την μεγαλύτερη ισχύ.

1.5.2 Τοποθέτηση Ηλεκτροδίων γείωσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης

Προκειμένου να εφαρμόσουμε την μέθοδο της ουδετέρωσης σ' ένα δίκτυο Χαμηλής Τάσης πρέπει να υπάρχουν οι γειώσεις όπως καθορίζονται στην συνθήκη 3, που αναφέρθηκε παραπάνω, του Κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων [10, 13], οι οποίες είναι:

- Στον υποσταθμό Μέσης /Χαμηλής Τάσης
- Στα τέρματα του εναερίου δικτύου και κάθε 300 μέτρα
- Σε κάθε παροχή

Ακόμα και αν, με τις γειώσεις αυτές, καθώς και με την φυσική γείωση των υπόγειων καλωδίων στην περίπτωση που υπάρχουν, προκύπτει συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη ή ίση με 1Ω , ή 2Ω αν πρόκειται για εναέριους υποσταθμούς με ξύλινους στύλους, δεν χρειάζεται να τοποθετηθεί καμιά άλλη γείωση. Σε διαφορετική περίπτωση, μελετάται η τοποθέτηση και άλλων ηλεκτροδίων. Η μελέτη αυτή στηρίζεται στη μέση τιμή της αντίστασης γείωσης ενός ηλεκτροδίου. Αυτή η μέση τιμή προκύπτει με δειγματοληπτική μέτρηση της αντίστασης γείωσης ηλεκτροδίων του δικτύου και ηλεκτροδίων γείωσης καταναλωτών στην περίπτωση του υφιστάμενου δικτύου ή ορισμένων

ηλεκτροδίων που τοποθετούνται με σκοπό να γίνει η μελέτη στην περίπτωση του υπό μελέτη δικτύου. Μπορεί να πραγματοποιηθεί ως ακολούθως:

- Όταν προκύπτει η τιμή της συνολικής αντίστασης γείωσης μεγαλύτερη από 1Ω (ή 2Ω), με τις υπάρχουσες γειώσεις, στην περίπτωση υφιστάμενου δικτύου, ή τις υποχρεωτικές γειώσεις που διατυπώθηκαν παραπάνω, στην περίπτωση του υπό μελέτη δικτύου, μελετάται αν είναι δυνατόν η τοποθέτηση και άλλων ηλεκτροδίων σε άλλα σημεία του δικτύου μέχρι και ένα ηλεκτρόδιο σε κάθε στύλο του εναέριου δικτύου, ώστε να προκύψει η παραπάνω τιμή. Αν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό, τότε τοποθετούνται τόσα πρόσθετα ηλεκτρόδια, σε ομοιόμορφα διασκορπισμένες θέσεις στο δίκτυο, όσα απαιτούνται ώστε η συνολική αντίσταση γείωσης να έχει τιμή 1Ω (ή 2Ω).
- Στην περίπτωση, που με την τοποθέτηση γειώσεων σ' όλους τους στύλους, είναι αδύνατο να προκύψει συνολική αντίσταση γείωσης 1Ω (ή 2Ω) μελετάται αν με τις υπάρχουσες ή τις υποχρεωτικές γειώσεις η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μικρότερη από 10Ω . Αν πραγματοποιείται αυτό, δεν χρειάζεται τοποθέτηση άλλων ηλεκτροδίων γείωσης. Στην αντίθετη όμως περίπτωση, η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη από 10Ω , μελετάται αν μπορεί να γίνει μικρότερη από 10Ω , τοποθετώντας πρόσθετα ηλεκτρόδια και σε άλλα σημεία του δικτύου, ακόμα και μέχρι ένα ηλεκτρόδιο σε κάθε στύλο. Αν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτό, τότε τοποθετούνται πρόσθετα ηλεκτρόδια, σε ομοιόμορφα διασκορπισμένες θέσεις στο δίκτυο, προκειμένου η συνολική αντίσταση γείωσης να γίνει μικρότερη από 10Ω .
- Όταν, και με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων γείωσης σ' όλους τους στύλους, η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη από 10Ω , καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατόν σ' αυτό το δίκτυο να εφαρμοστεί η ουδετέρωση και επομένως δεν είναι υποχρεωτική η τοποθέτηση των γειώσεων που ήταν υποχρεωτικές για την εφαρμογή της ουδετέρωσης και αναφέρθηκαν παραπάνω. Σ' αυτή την περίπτωση θα πραγματοποιείται γείωση του ουδετέρου στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ και σε σημεία του δικτύου ανά 300 μέτρα, χωρίς υποχρεωτικά σ' όλα τα άκρα του δικτύου. Επιπλέον, δεν θα πραγματοποιείται γείωση του ουδετέρου στις παροχές.

Όταν δεν είναι εφικτή η εφαρμογή της ουδετέρωσης θα πρέπει να εφαρμόζονται όσα προβλέπονται στον Κανονισμό Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων, δηλαδή στον ΕΛΟΤ HD 384 [17].

Στην περίπτωση που υπάρχει δίκτυο υδρεύσεως, με μεταλλικούς σωλήνες σ' όλο το μήκος του ή κατά τμήματα, μπορεί να λαμβάνεται υπόψιν, στον προσδιορισμό της συνολικής αντίστασης γείωσης του ουδετέρου, μόνο όμως για τα υφιστάμενα δίκτυα.

Στα γειτονικά δίκτυα, μ' έναν ή περισσότερους τερματικούς στύλους, γεφυρώνεται ο ουδέτερος, όταν και στα δύο άκρα, εφαρμόζεται η ουδετέρωση. Επιπροσθέτως, η γεφύρωση του ουδετέρου επιτρέπεται όταν σε κανένα από τα δύο δίκτυα δεν εφαρμόζεται η ουδετέρωση. Αντιθέτως όμως, η γεφύρωση του ουδετέρου δεν επιτρέπεται, όταν στο ένα δίκτυο εφαρμόζεται η ουδετέρωση ενώ στο άλλο η άμεση γείωση [10].

1.5.3 Η γείωση μεταλλικών στα δίκτυα Μέσης Τάσης

Τα ακόλουθα εφαρμόζονται για γείωση μεταλλικών στα δίκτυα Μέσης Τάσης, ανεξάρτητα από τη μέθοδο προστασίας που εφαρμόζεται στα δίκτυα Χαμηλής Τάσης της περιοχής [10,13].

- **Στις εναέριες γραμμές Μέσης Τάσης με ξύλινους στύλους**, τοποθετούνται μόνο στις θέσεις ορισμένων οργάνων ή συσκευών γειώσεις (όπως σε διακόπτες διαφόρων τύπων, αλεξικέραυνα γραμμής, συστοιχίες πυκνωτών κ.α). Κάθε τέτοια γείωση πρέπει να έχει αντίσταση γείωσης μικρότερη ή ίση με 40Ω , προκειμένου να εξασφαλίζεται η λειτουργία των μέσων προστασίας Μέσης Τάσης, στην περίπτωση υπερπηδήσεως ή βλάβης μονώσεως (απλή γείωση). Αν το όργανο που γειώνεται διαθέτει χειριστήριο ή πίνακα ελέγχου για τον χειρισμό του από το έδαφος, τότε πρέπει να κατασκευαστεί αποτελεσματική γείωση, δηλαδή αυτή η γείωση να έχει τη μορφή πλέγματος, ώστε να αποκλειστεί η εμφάνιση επικίνδυνων τάσεων επαφής (γιατί η κατασκευή μιας μονής γείωσης με αντίσταση μικρότερη του 1Ω , όπου δεν θα απαιτούσε η γείωση να έχει τη μορφή πλέγματος, θα ήταν αδύνατη ή εξαιρετικά δαπανηρή). Το χειριστήριο ή το μεταλλικό περίβλημα του πίνακα ελέγχου πρέπει να συνδέεται με το πλέγμα γείωσης. Στην περίπτωση που

υπάρχει μηχανικό χειριστήριο πρέπει να συνδέεται με τη βοήθεια εύκαμπτου αγωγού ή ταινίας με τον αγωγό συνδέσεως προς το πλέγμα. Αν ο μηχανισμός χειρισμού περιλαμβάνει ράβδο, που χωρίζεται σε δύο τμήματα με την παρεμβολή μονωτήρα ή αν υπάρχει μόνωση, ή αν έχει μόνωση ανάμεσα στα μεταλλικά του οργάνου και στο χειριστήριο, τα μεταλλικά δεν θα γειώνονται και επομένως μόνο το χειριστήριο θα συνδέεται προς το πλέγμα γείωσης.

Στις γραμμές Μέσης Τάσης με ξύλινους στύλους δεν τοποθετείται αγωγός γης.

- **Στις εναέριες γραμμές Μέσης Τάσης με στύλους από οπλισμένο σκυρόδεμα**, πρέπει οι στύλοι να είναι γειωμένοι, με αντίσταση γείωσης μικρότερη από 40Ω , ώστε στην περίπτωση υπερπηδήσεως ή διαρροής των μονωτήρων, να λειτουργήσουν τα όργανα προστασίας (απλή γείωση). Όταν η φυσική γείωση των στύλων δεν είναι αρκετή, αυτή μπορεί να ενισχυθεί με την τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου και αν ακόμα δεν επιτυγχάνεται αντίσταση γείωσης μικρότερη από 40Ω , τότε χρειάζεται να τοποθετηθεί αγωγός γης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις που ακόμα και με τον αγωγό γης, δεν είναι δυνατόν να προκύψει συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη από 40Ω δεν τοποθετείται καθόλου αγωγός γης και οι στύλοι παραμένουν χωρίς γείωση.

Επιπλέον, η φυσική γείωση στύλου από οπλισμένο σκυρόδεμα με την προϋπόθεση ότι ο στύλος περιβάλλεται από ομοιογενές έδαφος, θεωρητικά, παρουσιάζει αντίσταση ίση με το 65% της αντίστασης ενός τυποποιημένου ηλεκτροδίου γείωσης. Ακόμα, με την ίδια προϋπόθεση, η αντίσταση γείωσης ενός στύλου μ' ένα ηλεκτρόδιο γείωσης είναι ίση με το 55% της αντίστασης ενός τυποποιημένου ηλεκτροδίου. Επομένως, στην πραγματικότητα δεν τηρείται η παραπάνω προϋπόθεση. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά στα αποτελέσματα. Άρα, για να ληφθεί υπόψιν η πραγματική κατάσταση θα θεωρείται, ότι η φυσική αντίσταση γείωσης ενός στύλου από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ίση με 150% της αντίστασης ενός τυποποιημένου ηλεκτροδίου, και ότι η αντίσταση ενός στύλου οπλισμένου σκυροδέματος με ηλεκτρόδιο γείωσης, είναι ίση με το 80% της αντίστασης ενός μονού ηλεκτροδίου γείωσης.

Όταν η φυσική αντίσταση γείωσης του κάθε στύλου οπλισμένου σκυροδέματος, μαζί μ' ένα ηλεκτρόδιο, υπερβαίνει τα 40Ω , όπως ειπώθηκε

και παραπάνω, τοποθετείται αγωγός γης, ο οποίος γειώνεται με την φυσική γείωση των στύλων οπλισμένου σκυροδέματος, και επομένως, στην περίπτωση τοποθέτησης αγωγού γείωσης δεν τοποθετούνται ηλεκτρόδια γείωσης. Σε κάποιες εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να τοποθετηθούν και ηλεκτρόδια γείωσης, μόνο αν χωρίς αυτά δεν επιτυγχάνεται συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη από 40Ω. Αν οι αντιστάσεις γείωσης είναι περισσότερο από 40Ω σε κάθε στύλο, η αντίσταση του συρματόσχοινου, το οποίο χρησιμοποιείται ως αγωγός γης, είναι αμελητέα, τουλάχιστον στην περιοχή τιμών όπου η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη ή ίση από 40Ω. Έτσι, η συνολική αντίσταση γείωσης μπορεί πιο εύκολα να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$R_{ολ} = \frac{-R}{N}$$

Όπου R= η αντίσταση γείωσης του αγωγού γης σε κάθε στύλο και N ο αριθμός των στύλων.

Όπως αναφέραμε και στη περίπτωση των γραμμών Μέσης Τάσης με ξύλινους στύλους, τα όργανα που πρέπει να γειωθούν θα γειώνονται με σύνδεση προς τον αγωγό γης, εφόσον υπάρχει, ή προς το στύλο οπλισμένου σκυροδέματος. Όταν υπάρχει χειριστήριο ή πίνακας ελέγχου, τότε θα κατασκευάζεται γείωση με μορφή πλέγματος. Σχετικά μ' αυτά που αναφέρθηκαν στην περίπτωση των ξύλινων στύλων, η μόνη διαφορά είναι ότι, αν στη ράβδο χειρισμού υπάρχει μονωτήρας, θα γειώνονται τα μεταλλικά του οργάνου, διότι αυτά είναι σ' επαφή με το στύλο οπλισμένου σκυροδέματος και δεν θα είχε κανένα νόημα να μείνουν χωρίς γείωση.

- Σε εναέριες γραμμές που έχουν κάποιους στύλους ξύλινους και άλλους οπλισμένου σκυροδέματος, τοποθετείται αγωγός γης στην περίπτωση που επιβάλλει η ύπαρξη των στύλων οπλισμένου σκυροδέματος. Έτσι, αν η γραμμή τροφοδοτεί υποσταθμό με ξύλινους στύλους, ο αγωγός γης πρέπει να τερματίζεται στον προηγούμενο στύλο. Επιπλέον, αν παρεμβάλλεται υπόγειο καλώδιο ανάμεσα στην εναέρια γραμμή και στον υποσταθμό Μέσης / Χαμηλής Τάσης και είναι ξύλινος ο τερματικός στύλος της εναέριας γραμμής, ο αγωγός γης θα πρέπει να τερματίζεται στον προηγούμενο στύλο.

1.5.4 Μικτές κατασκευές Μέσης / Χαμηλής Τάσης

Για τα δίκτυα με ξύλινους στύλους, η παράλληλη όδευση γραμμής Μέσης Τάσης και αγωγών δικτύου Χαμηλής Τάσης όπου εφαρμόζεται η ουδετέρωση, επιτρέπεται μόνο στην περίπτωση που η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου του δικτύου Χαμηλής Τάσης είναι μικρότερη ή ίση με 2Ω . Αξίζει να αναφερθεί, ότι για διασταύρωση επιτρέπεται η στήριξη σε κοινό στύλο, ανεξάρτητα της τιμής της συνολικής αντίστασης γείωσης του ουδετέρου.

Στα δίκτυα με στύλους οπλισμένου σκυροδέματος η στήριξη σε κοινούς στύλους γραμμής Μέσης Τάσης και αγωγών δικτύου Χαμηλής Τάσης όπου εφαρμόζεται η ουδετέρωση, είτε πρόκειται για παράλληλη όδευση είτε για διασταύρωση, επιτρέπεται μόνο όταν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου του δικτύου Χαμηλής Τάσης είναι μικρότερη ή ίση με 1Ω .

Για μικτές κατασκευές Μέσης και Χαμηλής Τάσης σε στύλους οπλισμένου σκυροδέματος δεν τοποθετείται αγωγός γης και η γείωση των στύλων και των μεταλλικών πραγματοποιείται με τη σύνδεσή τους προς τον ουδέτερο αγωγό [10, 13].

1.5.5 Γειώσεις μεταλλικών και ουδέτερου για Y/Σ MT/XT

Ανεξάρτητα από την τιμή της αντίστασης γείωσης, στους υποσταθμούς MT/XT, υπαίθριους ή εσωτερικού χώρου, πραγματοποιούνται οι ακόλουθες συνδέσεις [10,13]:

α. Στη γείωση όπου είναι συνδεδεμένα τα μεταλλικά Μέσης Τάσης, εφόσον υπάρχουν συνδέονται και τα παρακάτω:

- Αλεξικέραυνα
- Ακροκιβώτια καλωδίων Μέσης Τάσης
- Αγωγός γης

Η γείωση στους υπαίθριους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ με στύλους οπλισμένου σκυροδέματος, όπου συνδέονται τα μεταλλικά Μέσης Τάσης, κατασκευάζεται με τη μορφή πλέγματος.

β. Στη γείωση όπου είναι συνδεδεμένος ο ουδέτερος, εφόσον υπάρχουν συνδέονται και τα ακόλουθα:

- ✓ Μεταλλικό περίβλημα ασφαλειοκιβωτίου
- ✓ Ακροκιβώτια καλωδίων Χαμηλής Τάσης

Ανάλογα με την τιμή της συνολικής αντίστασης γείωσης του ουδετέρου Χαμηλής Τάσης εφαρμόζονται τα επόμενα:

α. Στην περίπτωση που η συνολική τιμή της αντίστασης γείωσης του ουδετέρου είναι μικρότερη ή ίση με 1Ω , τα μεταλλικά Μέσης Τάσης και ο ουδέτερος συνδέονται σε κοινή γείωση.

Σε υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ, στους οποίους συνδέονται καλώδια Μέσης ή Χαμηλής Τάσης με μεταλλικό μανδύα, με συνολικό μήκος μεγαλύτερο από 1200 μέτρα, θεωρείται εξασφαλισμένη η τήρηση της παραπάνω συνθήκης.

Για υπαίθριους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ, με ξύλινους στύλους, κοινή γείωση πραγματοποιείται μόνο όταν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μικρότερη ή ίση με 2Ω .

β. Όταν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μεταξύ των τιμών 1Ω και 10Ω , ή για τους υποσταθμούς με ξύλινους στύλους μεταξύ 2Ω και 10Ω , κατασκευάζονται δύο γειώσεις, ανεξάρτητες μεταξύ τους, όπου η μία είναι για τον ουδέτερο ενώ η άλλη για τα μεταλλικά Μέσης Τάσης. Η τελευταία πρέπει να έχει αντίσταση γείωσης μικρότερη από 40Ω . Στην περίπτωση που υπάρχουν στον υποσταθμό όργανα ζεύξεως και χειριστήριο για το χειρισμό τους από το έδαφος, η γείωση των μεταλλικών Μέσης Τάσης πρέπει να έχει τη μορφή πλέγματος. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανεξαρτητοποίηση των γειώσεων, μπορεί να κατασκευαστεί η γείωση του ουδετέρου στον πρώτο στύλο κάθε εναέριας αναχώρησης Χαμηλής Τάσης και

όχι στον υποσταθμό. Επιπλέον, επιτρέπεται η εγκατάσταση του ασφαλειοκιβωτίου Χαμηλής Τάσης σε κάποια απόσταση από τον υποσταθμό.

γ. Αν η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη από 10Ω , τότε δεν εφαρμόζεται ουδετέρωση, αν όμως το ασφαλειοκιβώτιο είναι προσιτό από το έδαφος, κατασκευάζεται πλέγμα γείωσης.

Στις περιπτώσεις εκείνες που ο αγωγός γείωσης είναι προσιτός από το έδαφος χωρίς όμως να υπάρχει πλέγμα, θα πρέπει είτε ο αγωγός αυτός να είναι μονωμένος είτε να καλύπτεται με μονωτικό υλικό.

1.5.6 Γειώσεις Μεταλλικών Δικτύου Χαμηλής Τάσης

- Στο εναέριο δίκτυο με ξύλινους στύλους ή οπλισμένου σκυροδέματος αν η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μικρότερη ή ίση με 10Ω , που αποτελεί προϋπόθεση για την εφαρμογή της ουδετέρωσης, συνδέονται προς τον ουδέτερο όλα τα μεταλλικά και οι στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος. Στα υπόγεια τμήματα του εναέριου δικτύου και στις υπόγειες παροχές, ο μεταλλικός μανδύας εφόσον υπάρχει συνδέεται προς τον ουδέτερο και στα δύο άκρα του.

Στην περίπτωση που είναι αδύνατον να επιτευχθεί τιμή της συνολικής αντίστασης γείωσης του ουδετέρου μικρότερη από 10Ω , οπότε δεν εφαρμόζεται η ουδετέρωση, οι στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος και τα μεταλλικά πλαίσια παραμένουν χωρίς γείωση. Έτσι, στα συρματόσχοινα των επί τόνων παρεμβάλλεται μονωτήρας, ενώ στα μεταλλικά κιβώτια μετρητών, ασφαλειών ή μετασχηματιστή εντάσεως τοποθετείται πρόσθετη μόνωση μεταξύ του μεταλλικού κιβωτίου και των συσκευών και οργάνων που είναι τοποθετημένα μέσα σ' αυτό, προκειμένου να εξασφαλιστεί διπλή μόνωση και να μην απαιτείται γείωση του μεταλλικού περιβλήματος. Επίσης, οι αγωγοί γείωσης του ουδετέρου πρέπει ή να είναι μονωμένοι ή να έχουν καλυφθεί με μονωτικό κάλυμμα στο τμήμα τους το οποίο είναι προσιτό από το έδαφος. Τέλος, σε δίκτυα με συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου μεγαλύτερη από 10Ω , δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται, είτε ως τμήματα του δικτύου, είτε ως παροχές, υπόγεια καλώδια με μεταλλικό μανδύα.

- Στα **υπόγεια δίκτυα** χαμηλής τάσης θεωρείται σίγουρο ότι η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μικρότερη από 10Ω . Έτσι, οι μεταλλικοί μανδύες των υπογείων καλωδίων συνδέονται προς τον ουδέτερο στον υποσταθμό Μέσης / Χαμηλής Τάσης και στα άκρα των παροχών.

1.5.7 Σχηματικά η σύνδεση γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής

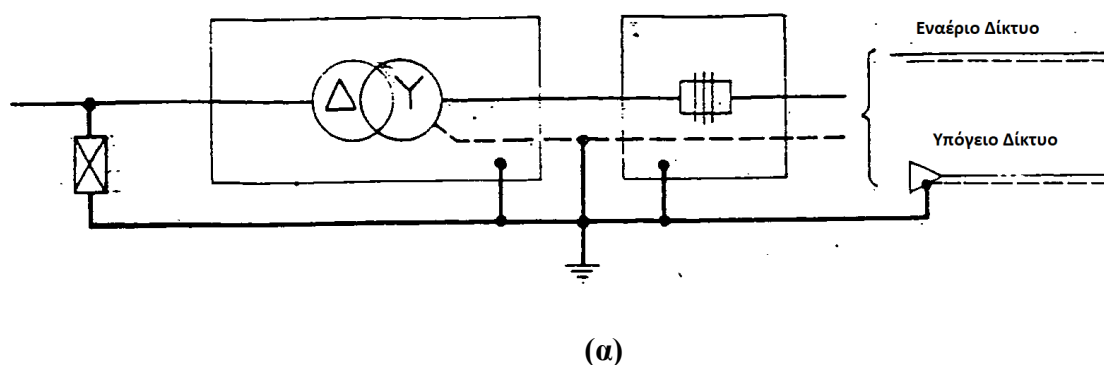
Ακολούθως περιγράφονται σχηματικά όλοι οι τρόποι τοποθέτησης και σύνδεσης γειώσεων στα Δίκτυα Διανομής [10,13], όπου αναφέρθηκαν παραπάνω.

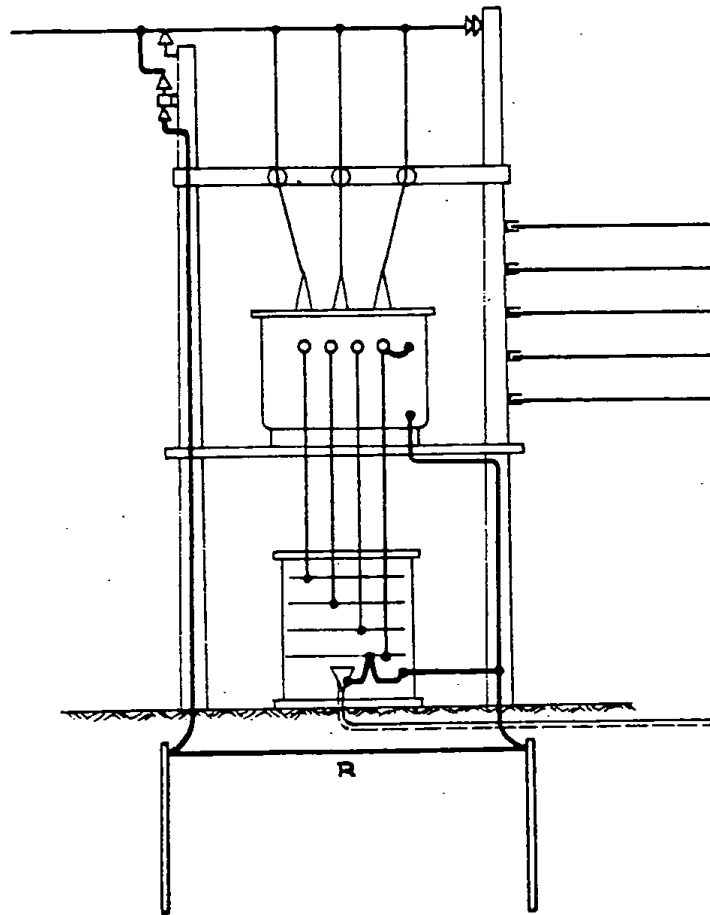
1^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται:

- Κοινή γείωση μεταλλικών Μ.Τ. και ουδετέρου R

Στην περίπτωση που οι στύλοι είναι οπλισμένου σκυροδέματος και υπάρχει αγωγός γης, τότε συνδέεται στην κοινή γείωση. Αν όμως οι στύλοι είναι ξύλινοι και η γραμμή ΜΤ έχει αγωγό γης, αυτός θα τερματίζεται σε στύλο πριν από τον Υ/Σ.





(β)

Σχήμα 1.18: Κοινή γείωση μεταλλικών Μ.Τ. και ουδετέρου R [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

$$R_0 \leq 1\Omega$$

ή $R_0 \leq 2\Omega$ για ξύλινους στύλους και εφόσον δεν υπάρχει στο ικρίωμα άλλο όργανο Μ.Τ. εκτός από τα αλεξικέραυνα και τις ασφάλειες Μ.Τ.

2^{ος} τρόπος

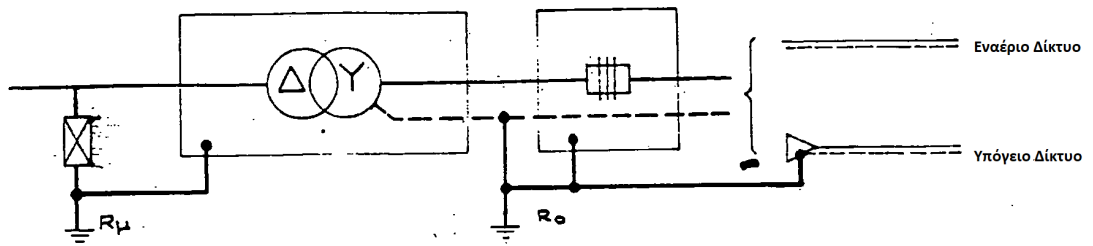
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Ανεξάρτητες γειώσεις: α. Γείωση ουδετέρου R_0

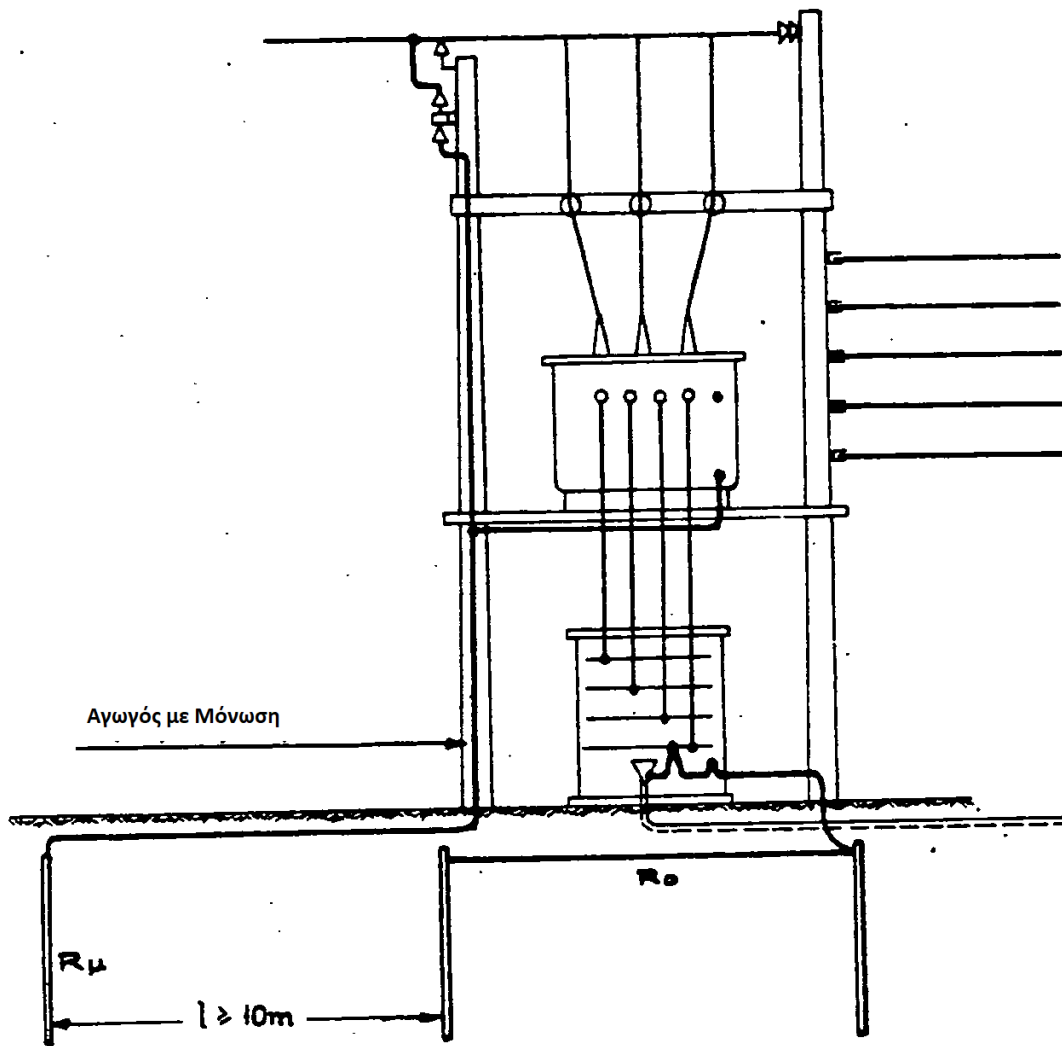
β. Γείωση μεταλλικών Μ.Τ. (R_μ)

Εφαρμόζεται μόνο εφόσον δεν υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος.

Αν η γραμμή Μ.Τ. έχει αγωγό γης, αυτός θα τερματίζεται σε στύλο πριν από τον Υ/Σ.



(α)



(β)

Σχήμα 1.19: Ανεξάρτητες γειώσεις, ουδετέρου R_0 και μεταλλικών Μ.Τ. R_μ

[10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι

$$R_0 \leq 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

3^{ος} τρόπος

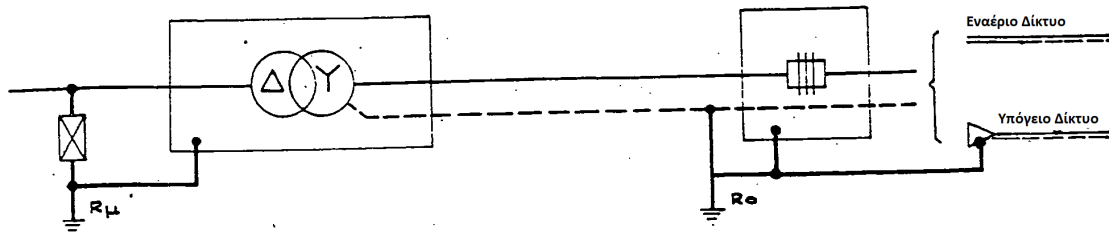
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Ανεξάρτητες γειώσεις: α. Γείωση ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμής Χ.Τ.

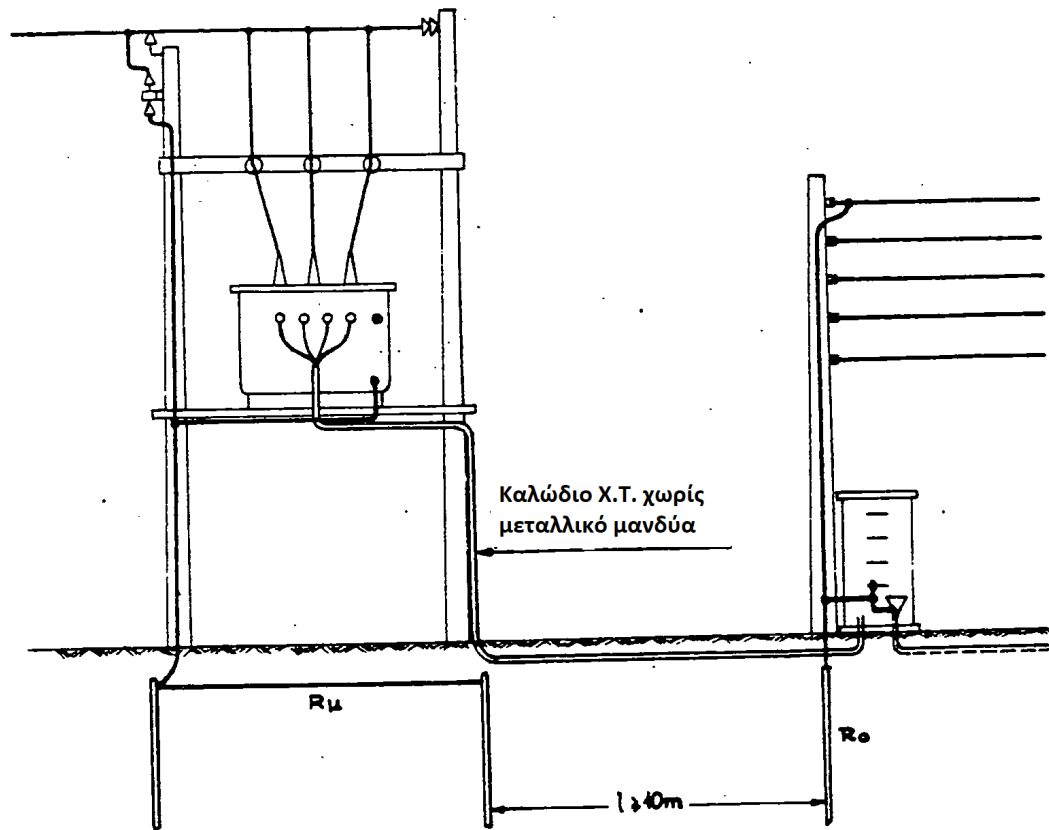
β. Γείωση μεταλλικών Μ.Τ. (R_μ)

Σε Υ/Σ με ξύλινους στύλους εφαρμόζεται μόνο εφόσον υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος.

Στην περίπτωση που υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος η R_μ μπορεί να κατασκευάζεται ως πλέγμα.



(α)



(β)

Σχήμα 1.20: Ανεξάρτητες γειώσεις, ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμής Χ.Τ. και μεταλλικών Μ.Τ. R_μ [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

$$1\Omega < R_0 \leq 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

4^{ος} τρόπος

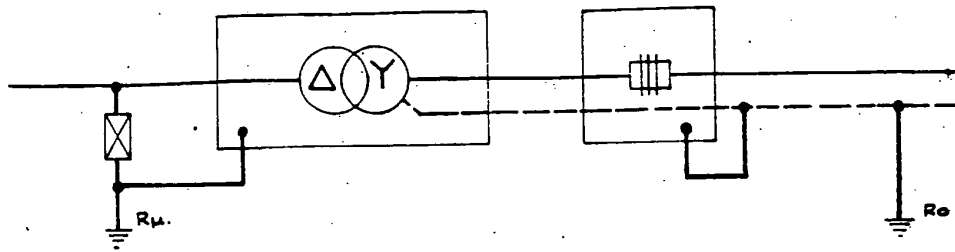
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Ανεξάρτητες γειώσεις: α. Γείωση ουδετέρου R_0 στον 1^ο στύλο κάθε αναχωρήσεως γραμμής Χ.Τ.

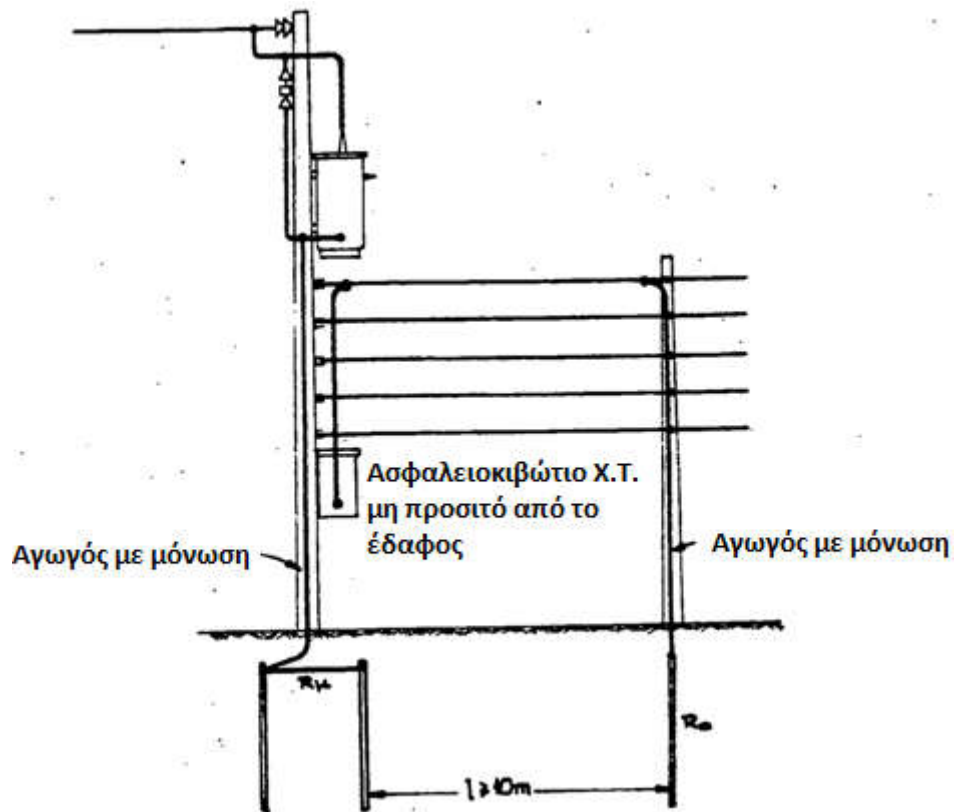
β. Γείωση μεταλλικών Μ.Τ. (R_μ)

Εφαρμόζεται μόνο εφόσον το ασφαλειοκιβώτιο Χ.Τ. δεν είναι προσιτό από το έδαφος.

Στο δίκτυο Χ.Τ. δεν εφαρμόζεται η ουδετέρωση.



(α)



(β)

Σχήμα 1.21: Ανεξάρτητες γειώσεις, ουδετέρου R_0 στον 1^ο στύλο αναχωρήσεως γραμμής Χ.Τ. και μεταλλικών Μ.Τ. R_μ [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλος ξύλινος

$$R_0 > 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

5^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

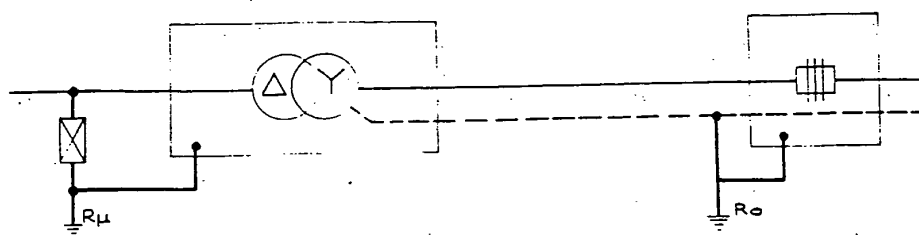
- Ανεξάρτητες γειώσεις: α. Γείωση ουδετέρου R_0 με μορφή πλέγματος κάτω από το ασφαλειοκιβώτιο Χ.Τ. στον στύλο αναχωρήσεως των γραμμών Χ.Τ.

β. Γείωση μεταλλικών Μ.Τ. (R_μ)

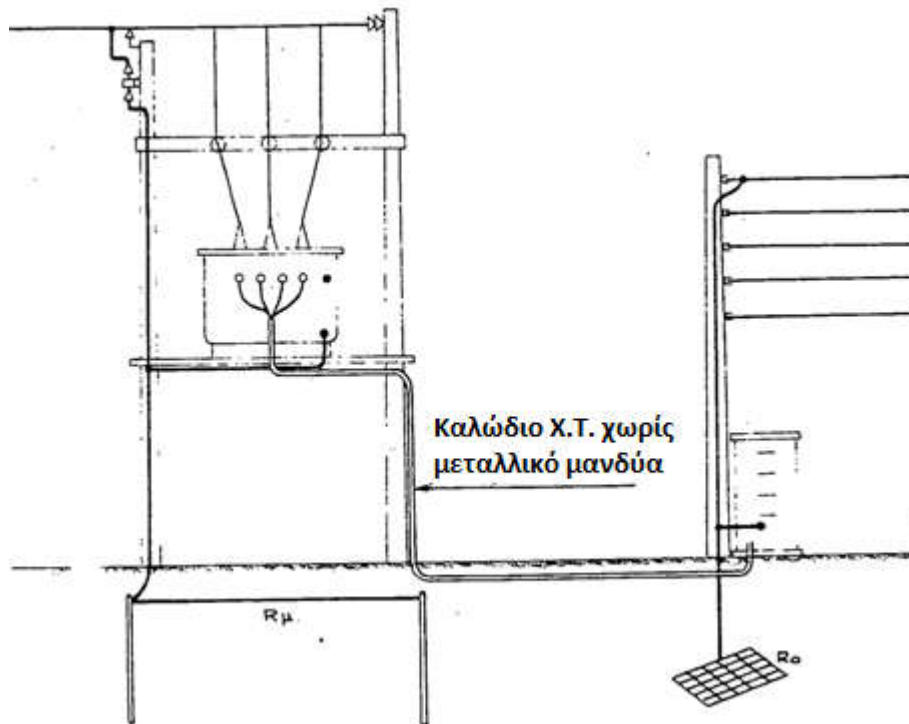
Σε Υ/Σ με ξύλινους στύλους εφαρμόζεται μόνο εφόσον το ασφαλειοκιβώτιο Χ.Τ. είναι προσιτό από το έδαφος.

Αν υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος, η R_μ κατασκευάζεται ως πλέγμα.

Στο δίκτυο Χ.Τ. δεν εφαρμόζεται η ουδετερώση.



(α)



(β)

Σχήμα 1.22: Ανεξάρτητες γειώσεις, ουδετέρου R_0 με μορφή πλέγματος κάτω από το ασφαλειοκιβώτιο Χ.Τ. στον στύλο αναχωρήσεως των γραμμών Χ.Τ. και μεταλλικών Μ.Τ. R_μ [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

$$R_0 > 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

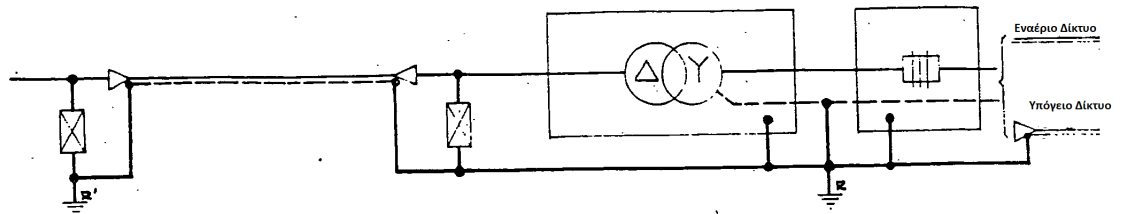
6^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

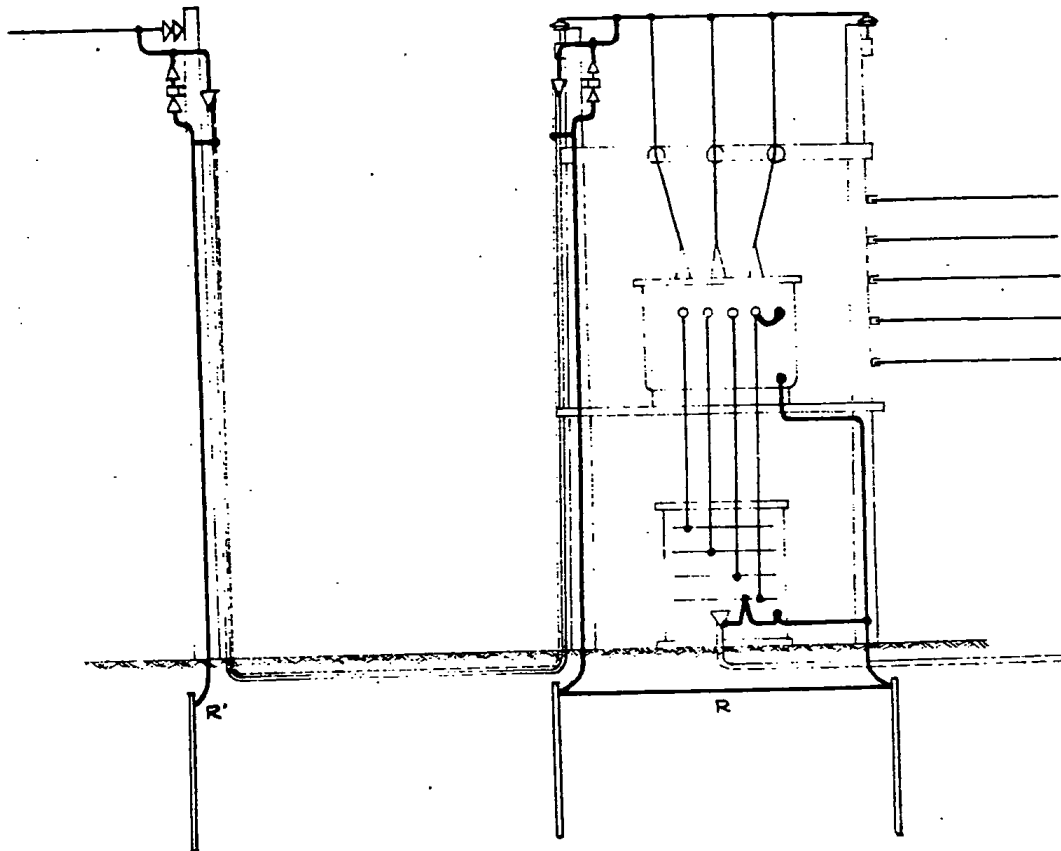
- Κοινή γείωση μεταλλικών και ουδετέρου R και R', συνδεόμενες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου M.T.

Αν υπάρχει αγωγός γης, συνδέεται προς την κοινή γείωση.

Αν ο τερματικός στύλος είναι ξύλινος και η γραμμή M.T. έχει αγωγό γης, αυτός τερματίζεται σε προηγούμενο στύλο.



(a)



(β)

Σχήμα 1.23: Κοινή γείωση μεταλλικών και ουδετέρου R και R', συνδεόμενες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου Μ.Τ.[10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Υπόγειο καλώδιο τροφοδοτούμενο από υπόγεια ή εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

$$R_o \leq 1\Omega$$

7^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

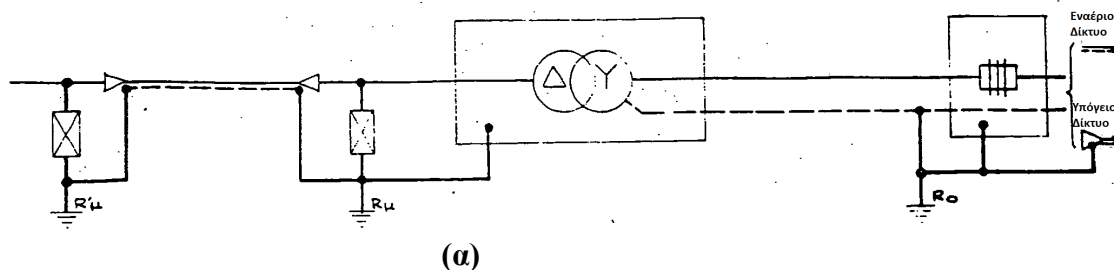
- Ανεξάρτητες γειώσεις: Γείωση ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμών Χ.Τ. και γείωση μεταλλικών R_μ και R'_μ , συνδεόμενες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου Μ.Τ.

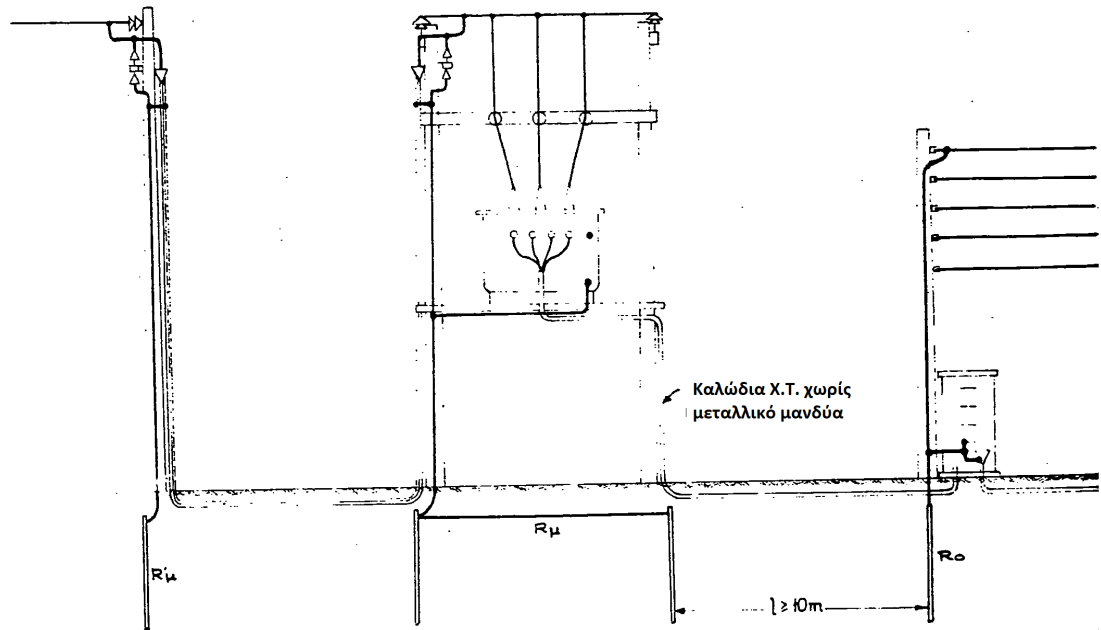
Αν υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος, η R_μ μπορεί να κατασκευάζεται ως πλέγμα.

Αν ο τερματικός στύλος είναι ξύλινος και η γραμμή Μ.Τ. έχει αγωγό γης, αυτός τερματίζεται σε προηγούμενο στύλο.

Αποφεύγεται διαρρύθμιση για μόνιμη κατάσταση.

Αν υπάρχει αγωγός γης, συνδέεται προς την R'_μ .





(β)

Σχήμα 1.24: Ανεξάρτητες γειώσεις, Γείωση ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμών Χ.Τ. και γείωση μεταλλικών R_μ και R'_μ , συνδεόμενες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου Μ.Τ.[10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Υπόγειο καλώδιο τροφοδοτούμενο από υπόγεια ή εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο ή Υπόγειο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

$$1\Omega < R_0 \leq 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

8^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Ανεξάρτητες γειώσεις: Γείωση ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμών Χ.Τ. κατασκευασμένη ως πλέγμα κάτω από το

ασφαλειοκιβώτιο και γείωση μεταλλικών R_{μ} και R'_{μ} , συνδεδεμένες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου Μ.Τ.

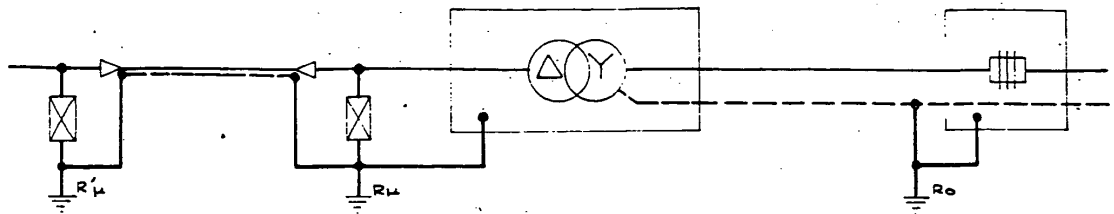
Αν υπάρχει όργανο ζεύξεως Μ.Τ. με χειριστήριο προσιτό από το έδαφος, η R_{μ} μπορεί να κατασκευάζεται ως πλέγμα.

Αν ο τερματικός στύλος είναι ξύλινος και η γραμμή Μ.Τ. έχει αγωγό γης, αυτός τερματίζεται σε προηγούμενο στύλο.

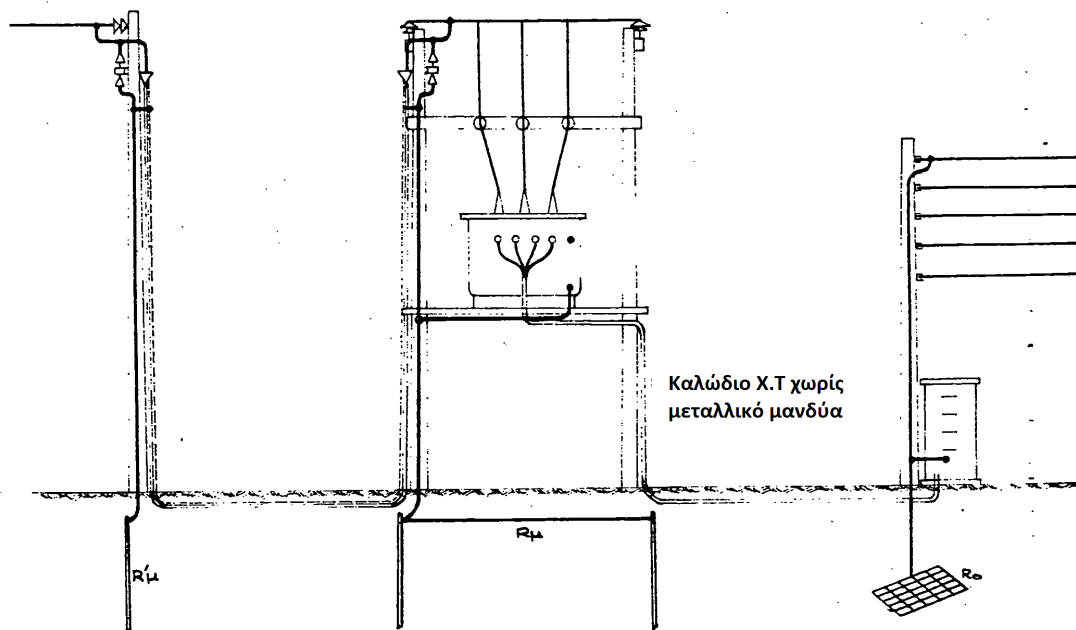
Αποφεύγεται διαρρύθμιση για μόνιμη κατάσταση.

Αν υπάρχει αγωγός γης, συνδέεται προς την R'_{μ} .

Στο δίκτυο Χ.Τ. δεν εφαρμόζεται η ουδετέρωση.



(α)



(β)

Σχήμα 1.25: Ανεξάρτητες γειώσεις, Γείωση ουδετέρου R_0 σε στύλο αναχωρήσεως γραμμών Χ.Τ. κάτω από το ασφαλειοκιβώτιο και γείωση μεταλλικών R_μ και R'_μ , συνδεόμενες μεταξύ τους με το μεταλλικό μανδύα του καλωδίου Μ.Τ.[10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Υπόγειο καλώδιο τροφοδοτούμενο από υπόγεια ή εναέρια γραμμή

Χ.Τ. Εναέριο Δίκτυο

Υ/Σ. Υπαίθριος

Στύλοι ξύλινοι ή οπλισμένου σκυροδέματος

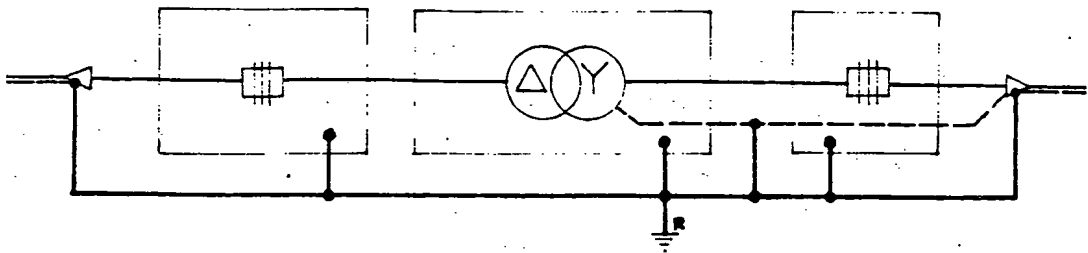
$$R_0 > 10\Omega$$

$$R_\mu \leq 40\Omega$$

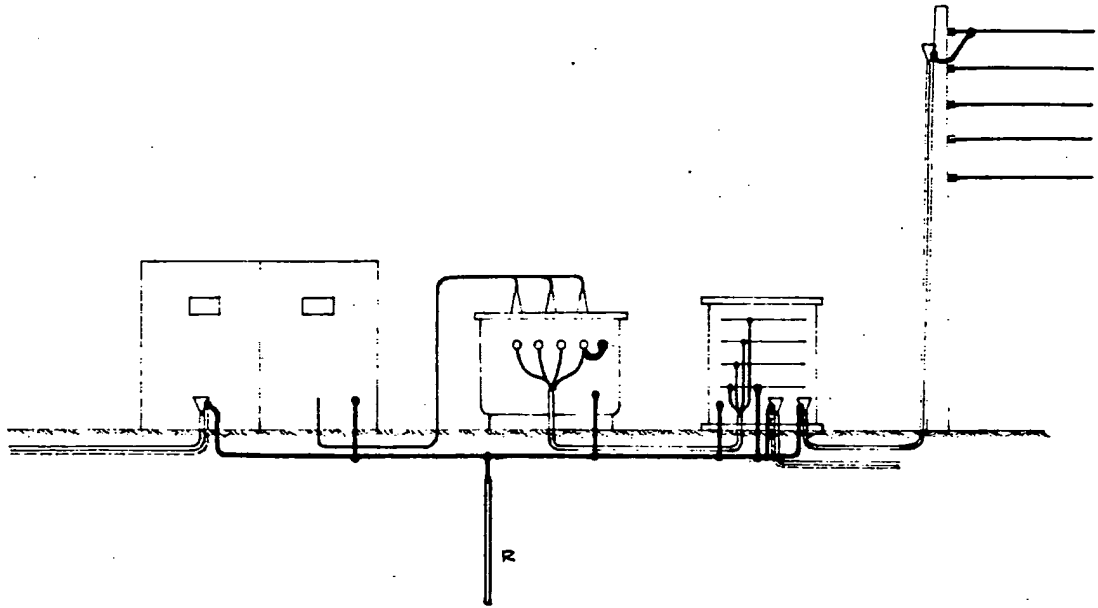
9^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Κοινή γείωση μεταλλικών Μ.Τ. και ουδετέρου R



(α)



(β)

Σχήμα 1.26: Κοινή γείωση μεταλλικών Μ.Τ. και ουδετέρου R [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Υπόγεια γραμμή

Χ.Τ. Υπόγειο ή Εναέριο Δίκτυο

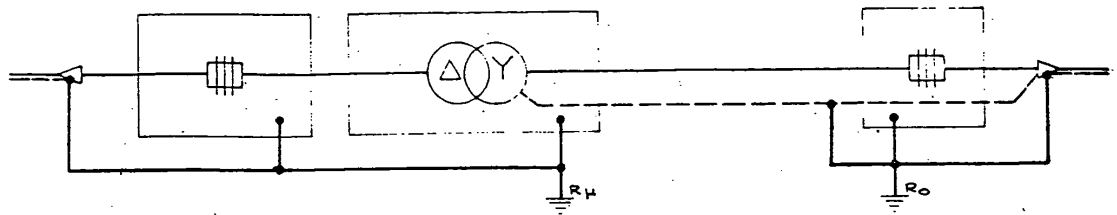
Υ/Σ. Εσωτερικού χώρου

$$R_0 \leq 1\Omega$$

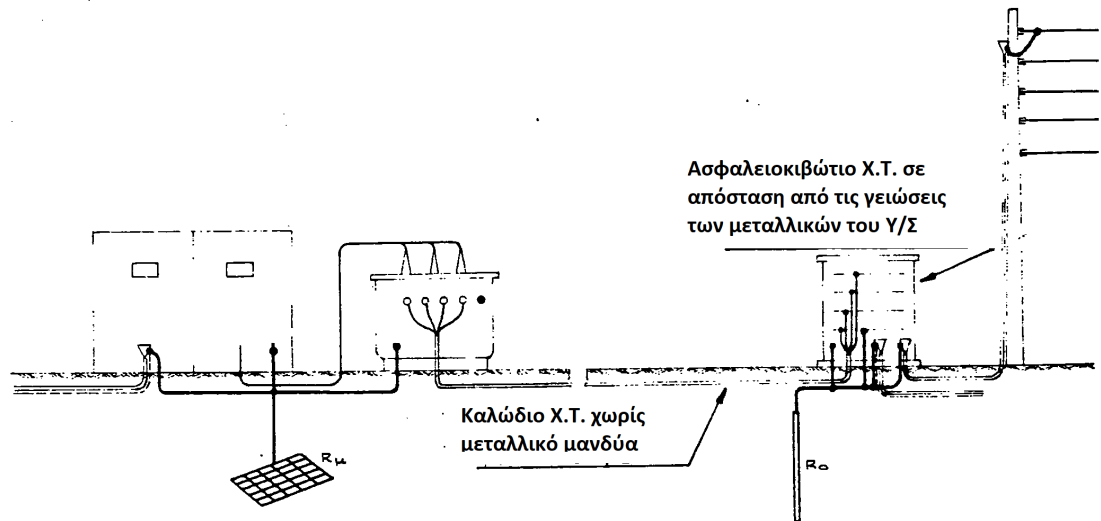
10^{ος} τρόπος

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται:

- Ανεξάρτητες γειώσεις: Γείωση ουδετέρου R_0 στη θέση του ασφαλειοκιβωτίου έξω από τον Υ/Σ και σε απόσταση από το πλέγμα γείωσης του Υ/Σ και γείωση μεταλλικών Μ.Τ. R_μ από το πλέγμα γείωσης του Υ/Σ.



(α)



(β)

Σχήμα 1.27: Ανεξάρτητες γειώσεις, Γείωση ουδετέρου R_0 στη θέση του ασφαλειοκιβωτίου έξω από τον Υ/Σ και σε απόσταση από το πλέγμα γειώσεως του Υ/Σ και γείωση μεταλλικών R_μ από το πλέγμα γειώσεως του Υ/Σ [10]

Για το παραπάνω σχήμα περιγράφονται τα ακόλουθα:

Μ.Τ. Υπόγεια γραμμή

Χ.Τ. Υπόγειο ή Εναέριο Δίκτυο

Υ/Σ. Εσωτερικού χώρου

$$1\Omega < R_0 \leq 10\Omega$$

$$R_0 \leq 40\Omega$$

1.6 Περιγραφή προβλήματος

Στο σημείο αυτό προκειμένου να γίνει κατανοητή η περιγραφή του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει η παρούσα εργασία, χρήσιμο είναι να δοθούν οι έννοιες της αποτελεσματικής και απλής γείωσης στα Δίκτυα Διανομής. Όπως γίνεται γνωστό, ο χαρακτηρισμός μιας γείωσης σαν απλής ή αποτελεσματικής δεν εξαρτάται μόνο από την ίδια, αλλά και από τα χαρακτηριστικά του δικτύου, (όπως τη μέγιστη ένταση μονοφασικού σφάλματος προς τη γη, τη χαρακτηριστική χρόνου – έντασης των μέσων προστασίας).

Με τον όρο **αποτελεσματική γείωση** ορίζεται η γείωση στην οποία δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν, στην περιοχή που καλύπτει αυτή η γείωση, επικίνδυνες τάσεις επαφής ή επικίνδυνες βηματικές τάσεις, ακόμη και στη δυσμενέστερη περίπτωση ροής ρεύματος σφάλματος προς τη γη [10].

Με τον όρο **απλή γείωση** καλείται η γείωση που εξασφαλίζει ότι στη περίπτωση σφάλματος προς τα μεταλλικά αντικείμενα τα οποία είναι συνδεδεμένα προς αυτή, θα λειτουργήσουν τα μέσα προστασίας, που σημαίνει ότι θα προκληθεί η απόζευξη, χωρίς όμως να είναι εξασφαλισμένο ότι δεν θα εμφανιστούν, στο χρονικό διάστημα μέχρι να γίνει η απόζευξη, επικίνδυνες τάσεις επαφής, ή επικίνδυνες βηματικές τάσεις [10].

Ωστόσο, κλείνοντας το κεφάλαιο ανάλυσης των γειώσεων Δικτύων Διανομής, ακολούθως περιγράφεται ο κύριος σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας.

Το κύριο ζητούμενο που απασχολεί είναι ποια θα πρέπει να είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη αντίσταση γείωσης η οποία θα πρέπει να επιτυγχάνεται στις παραπάνω εγκαταστάσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου και η ασφάλεια του τεχνικού προσωπικού ή τρίτων, που θα μπορούσαν να βρεθούν πλησίον ή σε επαφή με τα εν λόγω στοιχεία του δικτύου. Επίσης, οι τάσεις επαφής όπως και οι βηματικές τάσεις να τηρούν τα όρια ασφαλείας, ώστε στην περίπτωση ενός ρεύματος σφάλματος σε μια γραμμή του υποσταθμού να μην κινδυνέψει ο εξοπλισμός του υποσταθμού καθώς και οι ανθρώπινες ζωές που θα βρίσκονται εντός του υποσταθμού ή σε πλησιέστερη απόσταση αυτού. Όλα αυτά εξετάζονται στην παρούσα εργασία προκειμένου να έχουμε μια αξιόπιστη λειτουργία του υποσταθμού μας.

2^ο Κεφάλαιο – Συστήματα Γείωσης

2.1 Εισαγωγή

Το ηλεκτρικό ρεύμα, όπως είναι ευρέως γνωστό, ρέει πάντα προς το σημείο με το χαμηλότερο δυναμικό. Παρόλα αυτά η ροή του ρεύματος προς το σημείο αυτό πρέπει να γίνεται με τη μέγιστη ασφάλεια για τους ανθρώπους, διασφαλίζοντας την ελάχιστη πτώση δυναμικού σ' όλες τις περιπτώσεις και την αξιοπιστία του συστήματος. Για την εκτροπή υψηλών ρευμάτων προς τη γη χρησιμοποιούνται τα συστήματα γείωσης. Κύριος στόχος τους είναι να παρέχουν μια όδευση χαμηλής αντίστασης σε ρεύματα κεραυνοπληξιών ή σφαλμάτων χαμηλής συχνότητας προς τη γη και να περιορίζουν τις πιθανότητες ανάπτυξης επικίνδυνων βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής, καθορίζοντας ένα δυναμικό αναφοράς. Για παράδειγμα, τα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος, υπό την επίδραση κεραυνικών ρευμάτων υπόκεινται σε μεταβατικά ρεύματα και υπερτάσεις μεγάλου μεγέθους και πολύ μικρού χρόνου ανόδου, όπου απαιτείται η διάχυσή τους στη γη με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο. Επομένως, απαιτείται ένα ορθά σχεδιασμένο σύστημα γείωσης, το οποίο να πληροί τις προδιαγραφές των διεθνών και εθνικών προτύπων και ταυτόχρονα όμως να είναι ικανό να διαχέει με ασφάλεια υψηλά ρεύματα στη γη χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν ο τύπος σφάλματος.

Όταν ένα σύστημα είναι εξολοκλήρου απομονωμένο, ώστε να βρίσκεται σε πλήρη προστασία, η εφαρμογή συστήματος γείωσης δεν είναι αναγκαία για την επίτευξη ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας.

Όμως, τα συστήματα στην πράξη δεν είναι απομονωμένα, αλλά βρίσκονται σε επαφή με εξωτερικούς μηχανισμούς σύζευξης, έτσι στην περίπτωση εμφάνισης κεραυνού παρατηρείται αύξηση του δυναμικού και μεταβατική ενέργεια μεταφέρεται μεταξύ του συστήματος και του εξωτερικού χώρου, προκαλώντας σημαντικές καταστροφές και πιθανόν τραυματισμούς. Προκειμένου να επιτευχθεί η αποφυγή των φαινομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιβάλλεται η δημιουργία και η εγκατάσταση συστημάτων γείωσης για τη μεταφορά του ρεύματος που φέρει ο κεραυνός ή ένα σφάλμα στη γη.

Σύστημα γείωσης ορίζεται ο συνδυασμός διαφόρων τύπων ομοειδών ή μη γειωτών, καθώς και το σύνολο των εξαρτημάτων που απαιτούνται για τη σύνδεση και στήριξή τους [11].

Ακολούθως, ο ρόλος ενός συστήματος γείωσης συνοψίζεται στα παρακάτω χαρακτηριστικά [14]:

- Προστασία του ανθρώπου, από αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής,
- Προστασία του εξοπλισμού και της κατασκευής από κεραυνοπληξία,
- Εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας ενός ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού κυκλώματος, επιτυγχάνοντας τις ακόλουθες λειτουργίες:
 - Παροχή μιας διαδρομής χαμηλής αντίστασης σε περίπτωση σφαλμάτων προς τη γη,
 - Σταθεροποίηση των υπερεντάσεων λόγω μονοφασικών σφαλμάτων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των ενεργών φάσεων και της γείωσης,
 - Διάχυση με ασφάλεια των τεράστιων ποσών μεταφερόμενης ενέργειας στο έδαφος προστατεύοντας έτσι την κατασκευή και τον εξοπλισμό στην περίπτωση ατμοσφαιρικών εκκενώσεων,
 - Καθορισμός του επιπέδου αναφοράς της τάσης για όλο το σύστημα που καλείται να προστατεύσει.

Με τον όρο **Γείωση** καλείται η αγώγιμη σύνδεση, σκόπιμη ή τυχαία μιας εγκατάστασης, ενός ηλεκτρικού/ηλεκτρονικού κυκλώματος ή μιας συσκευής με τη γη, ή με αγώγιμο σώμα τέτοιου μεγέθους που να μπορεί να συμπεριφέρεται όπως η γη.

Σκοπός της γείωσης είναι η διατήρηση του δυναμικού της γης ή του αγώγιμου σώματος στους αγωγούς που συνδέονται μ' αυτό. Αυτή η αγώγιμη σύνδεση με το έδαφος, επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του κατάλληλου, ανάλογα πάντα με την περίπτωση, συστήματος γείωσης [15, 16].

Με τον όρο **γειωτές** καλούνται ως ένας ή περισσότεροι αγωγοί κάποιου γεωμετρικού σχήματος, ο οποίος ή οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος,

ώστε να επιτύχουν την καλύτερη δυνατή επαφή με τη γη και επομένως την αποτελεσματικότερη διάχυση των πιθανών ρευμάτων σφάλματος ή και κεραυνοπληξιών στη γη [11].

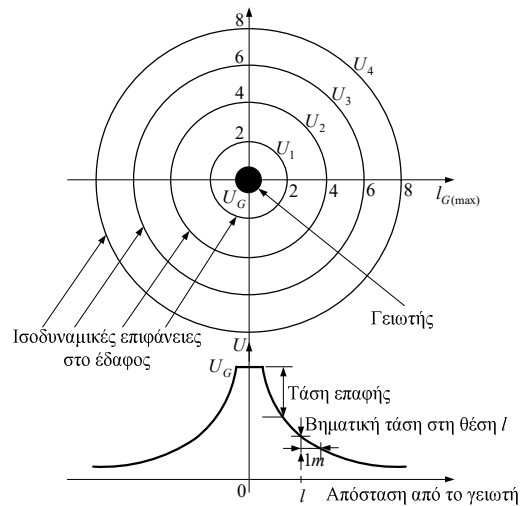
Βιβλιογραφικά συναντάται ισοδύναμα ο όρος γειωτές συναντάται με τον όρο **ηλεκτρόδια γείωσης**. Κύρια απαίτηση για τα ηλεκτρόδια γείωσης είναι να παρουσιάζουν όσο το δυνατό υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα, σε συνδυασμό με αντοχή και σταθερότητα στον χρόνο, όπως για παράδειγμα σε φαινόμενα διάβρωσης και καταπονήσεων. Για αυτόν τον λόγο, το υλικό κατασκευής τους στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι χαλκός, χάλυβας θερμά επιψευδαργυρωμένος, χάλυβας ηλεκτρολυτικά επιχαλκωμένος ή ανοξειδωτος χάλυβας [16].

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί πάντα τη διαδρομή με τη χαμηλότερη σύνθετη αντίσταση, καθώς κατευθύνεται προς το σημείο με το χαμηλότερο δυναμικό. Το δυναμικό της γης κατά σύμβαση θεωρείται μηδενικό και κατά προσέγγιση η αντίσταση της γης θεωρείται μηδενική [17]. Ωστόσο, στην πράξη, όταν ρεύματα σφάλματος βιομηχανικής συχνότητας ή κεραυνικά ρεύματα διαχέονται από την εγκατάσταση στη γη, αναπτύσσεται πτώση τάσης ή αλλιώς διαφορά δυναμικού κατά μήκος της διαδρομής, με άμεσο κίνδυνο ηλεκτροπληξίας των ανθρώπων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, μέσω των λεγόμενων **τάσεων επαφής** και **βηματικών τάσεων**.

Τάση επαφής (touch voltage) ορίζεται η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην ανύψωση δυναμικού γης (GPR) και στο δυναμικό επιφανείας στο σημείο όπου στέκεται ένα άτομο, ενώ ταυτοχρόνως έχει ένα χέρι σε επαφή με μια γειωμένη μεταλλική δομή.

Βηματική τάση (step voltage) καλείται η διαφορά δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους που εφαρμόζεται μεταξύ των ποδιών ενός ατόμου, το οποίο κάνει βήμα ανοίγματος 1m και δεν έρχεται σε επαφή με άλλο γειωμένο αντικείμενο [11, 16].

Ακολούθως περιγράφεται διαγραμματικά η μορφή και τα χαρακτηριστικά αυτών των τάσεων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1: Περιγραφή βηματικής τάσης και τάσης επαφής [11]

Σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/IEEEStd 80-2013 [16], όλα τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη μιας εγκατάστασης, θα πρέπει να συνδέονται προς τη γη μέσω ειδικών αγωγών προστασίας και κάτω από κατάλληλες συνθήκες, όπως αυτές επιβάλλονται από το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων του δικτύου τροφοδοσίας. Τα διαφορετικά μεταξύ τους αγώγιμα μέρη, με τα οποία είναι δυνατό να υπάρξει ταυτόχρονη επαφή, θα πρέπει να γειώνονται μέσω του ίδιου ηλεκτροδίου γείωσης. Αυτές οι διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε συγχρόνως για την προστασία και τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, είτε μόνο για σκοπούς προστασίας ή λειτουργίας της εν λόγω εγκατάστασης. Στις περιπτώσεις εκείνες που μια διάταξη γείωσης προορίζεται για προστατευτικό και λειτουργικό σκοπό, πρέπει πρώτα απ' όλα να δοθεί προτεραιότητα στις απαιτήσεις που αφορούν τη χρήση της για προστασία [11, 15].

2.1.1 Τύποι γείωσης

Ανάλογα με τον λειτουργικό τους σκοπό οι γειώσεις σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους, παρ' όλο που στην πράξη δύνανται να συνυπάρχουν σ' ένα σύστημα γείωσης. Οι τύποι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Γείωση λειτουργίας
- ✓ Γείωση προστασίας

- ✓ Γείωση ασφαλείας

Γείωση λειτουργίας είναι η γείωση ενός τμήματος εγκατάστασης που ανήκει στο κύκλωμα λειτουργίας, όπως είναι ο ουδέτερος κόμβος γεννητριών, μετασχηματιστών ή άλλων στοιχείων του δικτύου συνδεδεμένων σε αστέρα. Η γείωση λειτουργίας, εκτός της αντίστασης του ηλεκτροδίου γείωσης και της αντίστασης του αγωγού γείωσης, μπορεί να περιλαμβάνει και πρόσθετες ωμικές, επαγωγικές ή χωρητικές αντιστάσεις όπως αντιστάσεις για τον περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώσεως κατά την εκδήλωση σφαλμάτων προς γη [18]. Η γείωση λειτουργίας διακρίνεται σε:

- ✓ **Άμεση**, εφόσον δεν περιλαμβάνει άλλη αντίσταση, πλην της αντίστασης γείωσης.
- ✓ **Έμμεση**, εφόσον εκτός από την αντίσταση γείωσης περιλαμβάνει και ωμικές, επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις.

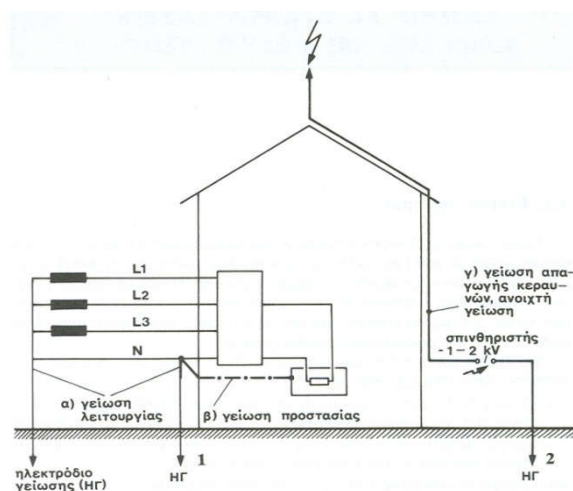
Η γείωση χαρακτηρίζεται ως ανοικτή, όταν στη γραμμή γείωσης έχουν παρεμβληθεί διάκενα σπινθηριστών ή ασφάλειες διασπάσεως. Οι ανοικτές γειώσεις δε θεωρούνται γειώσεις λειτουργίας. Είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι αν μια διάταξη γείωσης προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα ως γείωση λειτουργίας και προστασίας, απαιτούμενη έμφαση πρέπει να δοθεί στις απαιτήσεις σχεδιασμού που αφορούν τη γείωση προστασίας. Σ' αυτήν την περίπτωση η ίδια διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως γείωση Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) [25].

Γείωση προστασίας ορίζεται η χωρίς παρεμβολή άλλων αντιστάσεων (πλην της αντίστασης γείωσης και της αντίστασης του αγωγού γείωσης) γείωση κάθε αγωγίμου τμήματος των εγκαταστάσεων του δικτύου, που δεν ανήκει στο κύκλωμα λειτουργίας. Η γείωση προστασίας συνδέει με τη γη όλα τα αγωγίμα μέρη μίας εγκατάστασης ή κατασκευής, τα οποία δε συμμετέχουν στη λειτουργία της (π.χ. οι γειώσεις των μεταλλικών μερών των εγκαταστάσεων, των μεταλλικών περιβλημάτων των μετασχηματιστών και των διακοπών, των μολύβδινων μανδύων και των οπλισμών των καλωδίων, των μεταλλικών μερών

του εξοπλισμού των εναέριων γραμμών, κλπ.) και εξασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να έρθουν σε επαφή με αυτά [11, 18].

Τέτοιου είδους γείωση εφαρμόζεται υποχρεωτικά σε κάθε εγκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό την προστασία των ανθρώπων από την ανάπτυξη επικίνδυνης τάσης στα μεταλλικά μέρη των συσκευών, τα οποία σε κανονική λειτουργία δεν είναι υπό τάση, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Μια διάταξη γείωσης προστασίας ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας, όταν βέβαια πληρούνται οι απαιτούμενες προδιαγραφές σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 [27]. Η γείωση προστασίας γίνεται είτε με άμεση γείωση είτε με ουδετέρωση. Η ουδετέρωση είναι η αγωγίμη σύνδεση με ουδέτερο αγωγό.

Γείωση ασφαλείας καλείται κάθε γείωση μιας εγκατάστασης που χρησιμεύει για να διοχετεύονται προς τη γη ρεύματα σφάλματος από εξωτερικά ατμοσφαιρικά αίτια, οι κεραυνοί, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα, και χρησιμεύει στην ασφάλεια των παρευρισκομένων ανθρώπων και αντικειμένων στον προστατευόμενο χώρο. Παραδείγματα του είδους αυτού είναι οι γειώσεις των αλεξικέραυνων, οι γειώσεις των αντιστατικών δαπέδων των χώρων επείγουσας ιατρικής και των χώρων με μηχανήματα προηγμένης τεχνολογίας. Η γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι η ανοικτή ή συνεχής γείωση των προστατευτικών διατάξεων κατά των κεραυνών. Αυτές οι διατάξεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη.



Σχήμα 2.1: Γειώσεις οικιακής εγκατάστασης [26]

2.2 Ειδική αντίσταση εδάφους

2.2.1 Ορισμός

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού είναι ένα μέτρο του πόσο ισχυρά αντιστέκεται το υλικό στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Το υλικό με χαμηλή τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επιτρέπει την εύκολη διέλευση του ρεύματος, οπότε και χαρακτηρίζεται ως καλός αγωγός. Μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο SI είναι το ohm-meter [$\Omega \cdot m$].

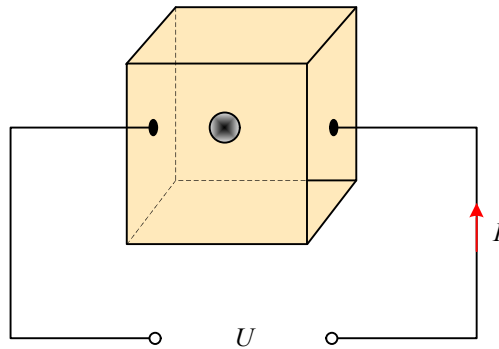
Σε περίπτωση αγωγού σταθερής διατομής η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ που παρουσιάζει δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l} \quad (2.1)$$

όπου

- ✓ R: η αντίσταση ενός αγωγού (σε Ω),
- ✓ A: η επιφάνεια διατομής του αγωγού (σε m^2) και
- ✓ l: το μήκος του αγωγού (σε m).

Στην περίπτωση του εδάφους όμως, το οποίο δε θεωρείται αγωγός, αλλά αντίθετα ημιαγωγός, ο ορισμός της ειδικής αντίστασης που αυτό εμφανίζει είναι διαφορετικός. Επομένως, η ειδική αντίσταση του εδάφους (ρ) ορίζεται ως η αντίσταση, από το υλικό του εδάφους που έχει ένας μοναδιαίος κύβος ($1 \times 1 \times 1 m^3$), όταν ηλεκτρόδια τοποθετούνται στις απέναντι πλευρές του κύβου, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η ειδική αντίσταση (ρ) είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποτελεσματική σχεδίαση ενός συστήματος γείωσης [19].



Σχήμα 2.3: Περιγραφή ειδικής αντίστασης εδάφους [11]

Η ειδική αντίσταση εδάφους εξαρτάται από την πυκνότητα και τη σύστασή του. Υπάρχει ποικιλία εδαφών, καθώς και, ποικιλία τιμών ειδικών αντιστάσεων: εδάφη χωματώδη, αμμώδη, βραχώδη, υγρά, ξηρά, ανομοιογενή, κλπ. με αντίστοιχη ποικιλία τιμών ειδικών αντιστάσεων ή αγωγιμοτήτων. Όσο ξηρότερο και πετρώδες το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη η ειδική αντίστασή του (ρ), η οποία μετριέται συνήθως σε $[\Omega \cdot m]$. Επιπροσθέτως, η ειδική αντίσταση του εδάφους επηρεάζεται από την ποσότητα του νερού που κατακρατείται στο έδαφος, καθώς και από την ειδική αντίσταση του ίδιου του νερού [11]. Με άλλα λόγια, η αγωγιμότητα του εδάφους γίνεται αγωγιμότητα μέσω του νερού που κατακρατείται στο έδαφος και έτσι, η αγωγιμότητα είναι ηλεκτρολυτική. Σε ανισότροπα εδάφη η ειδική αντίσταση είναι διαφορετική περιφερειακά του ηλεκτροδίου γειώσεως και μη γραμμική [20].

Οι παράγοντες, αναφορικά, που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση εδάφους είναι οι ακόλουθοι [20]:

1. Ο τύπος του εδάφους,
2. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία,
3. Η επίδραση της μορφής της τάσης,
4. Η επίδραση του μεγέθους των κόκκων εδάφους,
5. Η επίδραση των διαλυμένων αλάτων στο νερό,
6. Η επίδραση της έντασης του πεδίου (voltage gradient),
7. Η επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης.

2.2.2 Μέθοδοι μέτρησής της

Για τη μέτρηση της ειδικής αντίστασης του εδάφους είναι απαραίτητη η ροή ρεύματος μέσω αυτού. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο τοποθετώντας ηλεκτρόδια μέσα στη γη τα οποία τροφοδοτούνται με ρεύμα. Δηλαδή, ηλεκτρικό ρεύμα εισέρχεται στο υπέδαφος από το θετικό ηλεκτρόδιο Α και εξέρχεται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο Β (ηλεκτρόδια ρεύματος), με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ηλεκτρικό πεδίο εξαρτώμενο από τη δομή του υπεδάφους. Με τη βοήθεια δύο άλλων ηλεκτροδίων Μ, Ν (ηλεκτρόδια δυναμικού) μετριέται η διαφορά δυναμικού ΔU .

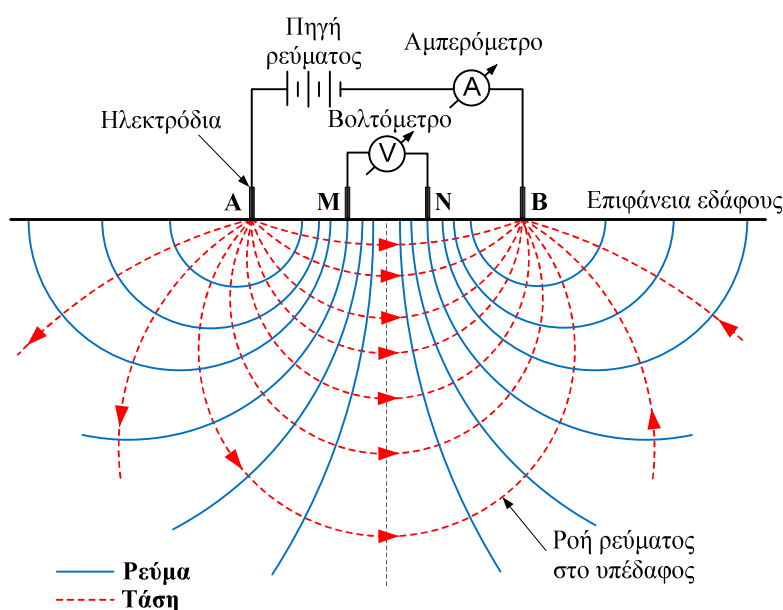
Πιο συγκεκριμένα, η τάση σε οποιοδήποτε σημείο υπολογίζεται βάσει του παρακάτω τύπου [20, 21]:

$$U = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (2.2)$$

όπου r_A και r_B είναι η απόσταση του υπ' όψιν σημείου από τα Α και Β. Τότε η διαφορά δυναμικού U_{MN} υπολογίζεται από τον επόμενο τύπο [13, 14]:

$$U_{MN} = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (2.3)$$

όπου U_M και U_N είναι το δυναμικό στα σημεία Μ και Ν αντίστοιχα, ΑΜ, ΒΜ, ΑΝ, ΒΝ είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων Α και Μ, Β και Μ, Α και Ν, Β και Ν, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.4: Πειραματική διάταξη μέτρησης ειδικής αντίστασης [11]

Από τις μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού υπολογίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η οποία εξαρτάται όχι μόνο από την ειδική αντίσταση των πετρωμάτων, αλλά και από τον τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Από την επεξεργασία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προκύπτει η κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος, δηλαδή η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους.

Στις θέσεις, εκείνες, όπου υπάρχει περίπτωση η ειδική αντίσταση του εδάφους να μεταβάλλεται με το βάθος, οι μετρήσεις πιθανόν να μην είναι επαρκείς σε μία μόνο κατεύθυνση αλλά να απαιτηθεί να γίνουν και σε διαφορετικές κατευθύνσεις (άξονες) ή να απαιτηθεί μεταβολή των αποστάσεων των ηλεκτροδίων ράβδων από το σημείο M, προκειμένου να ερευνηθεί η μεταβολή της ειδικής αντίστασης σε οριζόντια επίπεδα [11].

Οι κυριότερες μέθοδοι μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους οι οποίες προτείνονται από τα διεθνή πρότυπα [16, 22] είναι οι παρακάτω:

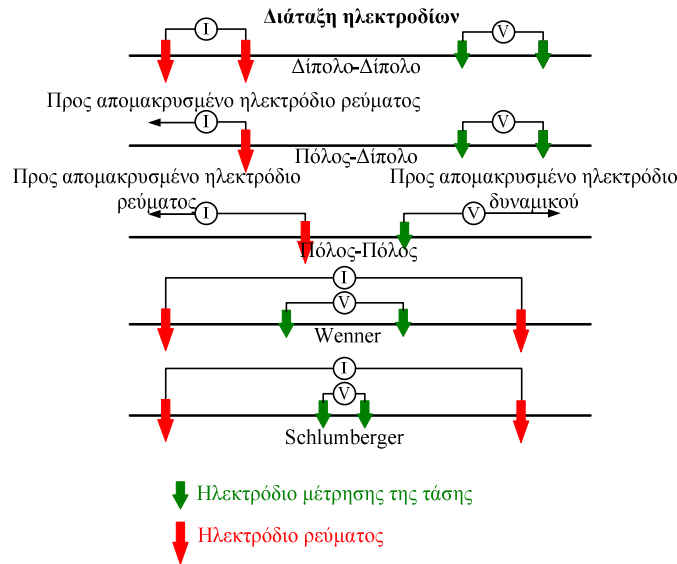
- ✓ Μέθοδος των 4 σημείων (Four point method).
- ✓ Μέθοδος των 3 σημείων (Three point method ή Variation of Depth Method).
- ✓ Μέθοδος των 2 σημείων (Two Point Method).

Η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους είναι αυτή «των τεσσάρων σημείων», η οποία και εφαρμόζεται με αρκετές παραλλαγές ως προς τη διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων μέτρησης της ειδικής αντίστασης [22] και της οποίας η αρχή λειτουργίας περιγράφεται από το παραπάνω σχήμα.

Οι βασικές παραλλαγές αυτής της μεθόδου είναι οι παρακάτω [20, 21]:

- i. Μέθοδος Wenner,
- ii. Μέθοδος Schlumberger-Palmer,
- iii. Μέθοδος Lee,
- iv. Μέθοδος διπόλου-διπόλου,
- v. Τετραγωνική διάταξη,
- vi. Διάταξη κεντρικού ηλεκτροδίου.

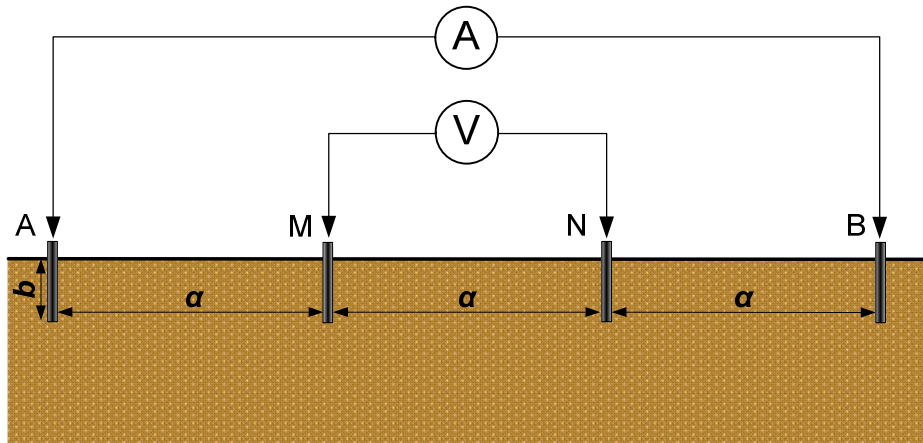
Μια σχηματική αναπαράσταση των σημαντικότερων απ' αυτές τις διατάξεις μέτρησης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.5: Περιγραφή διατάξεων μέτρησης της ειδικής αντίστασης [11]

Η μέθοδος Wenner, η οποία αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε το 1916 από τον F. Wenner [23], προτιμάται κατά κόρον από τους ερευνητές και μηχανικούς ανά τον κόσμο, λόγω της εύκολης και τάχιστα εφαρμογής της, εφόσον δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και ειδικό εξοπλισμό. Ακολούθως, γίνεται μια σύντομη ανάλυση της εν λόγω διάταξης.

Προκειμένου να μετρηθεί η ειδική αντίσταση χρησιμοποιούνται τέσσερα μικρού μήκους ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται σε οριζόντια απόσταση a μεταξύ τους και σε βάθος b , όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα. Η έγχυση του ρεύματος γίνεται στα ηλεκτρόδια $C_1(A)$ και $C_2(B)$, ενώ η τάση μετρείται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια $P_1(M)$ και $P_2(N)$.



Σχήμα 2.6: Η διάταξη Wenner [11]

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο λόγος της διαφοράς δυναμικού προς την ένταση του ρεύματος ορίζεται ως φαινόμενη αντίσταση και εξαρτάται από τη γεωμετρία του ηλεκτροδίου και την ειδική αντίσταση του εδάφους. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση του εδάφους ρ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση [20, 21]:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{(4a^2 + 4b^2)}}} = \frac{4\pi a R}{n} \quad (2.4)$$

όπου R είναι η φαινόμενη αντίσταση (η ένδειξη του οργάνου μέτρησης) και το n που εξαρτάται από τον λόγο b/a , λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 και 2.

Στην περίπτωση που $a \ll b$ τότε:

$$\rho = 4\pi a R \quad (2.5)$$

ενώ αν $b \ll a$ τότε η εξίσωση (2.4) γράφεται ως εξής:

$$\rho = 2\pi a R \quad (2.6)$$

η οποία δίνει τη φαινόμενη ειδική αντίσταση του εδάφους σε βάθος a .

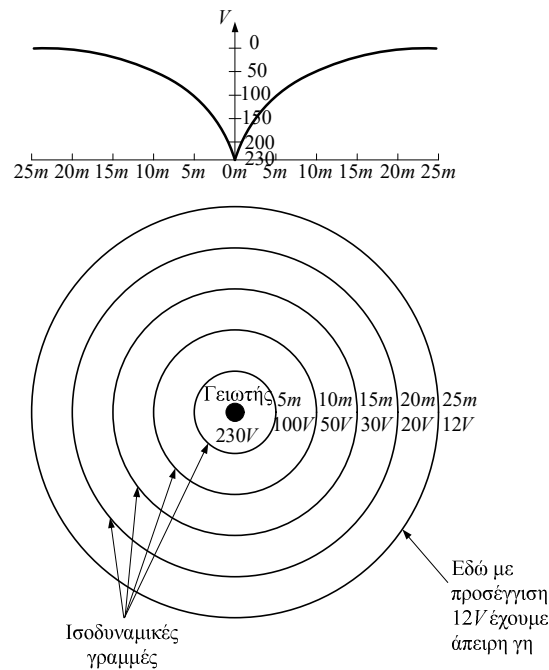
2.3 Αντίσταση γείωσης

2.3.1 Εισαγωγή – ορισμός της αντίστασης γείωσης

Αντίσταση γείωσης ορίζεται η αντίσταση που εμφανίζεται από το ηλεκτρόδιο γείωσης μέχρι την άπειρη γη, όταν δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Ως άπειρη γη θεωρείται ένα σημείο στην επιφάνεια του εδάφους σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή. Λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς των δυναμικών, θεωρείται δε ότι το δυναμικό της άπειρης γης είναι μηδέν. Για πρακτικούς λόγους, η «άπειρη απόσταση» θεωρείται 5–10 φορές η μεγαλύτερη διάσταση του γειωτή.

Σ' αυτήν την απόσταση της άπειρης γης, το δυναμικό αποτελεί το 2% του δυναμικού της ράβδου. Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση U (=100%) ως προς την άπειρη γη, δημιουργείται ένα πεδίο ροής και δυναμικού γύρω από τον γειωτή. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από τον γειωτή, τόσο μειώνεται το δυναμικό. Το διάγραμμα δυναμικού-απόστασης ονομάζεται χοάνη δυναμικού του γειωτή, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Από τη χοάνη του δυναμικού μπορεί κανείς να εκτιμήσει τις τάσεις επαφής και τη βηματική τάση. Επίσης, η χοάνη δυναμικού δίνει, την περιοχή επίδρασης του γειωτή ή την απόσταση της άπειρης γης.

Στην περίπτωση που το έδαφος είναι ομοιογενές, η χοάνη δυναμικού δεν εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους. Επιπλέον, η χοάνη δυναμικού χρησιμοποιείται για να γίνει μια εκτίμηση του σφάλματος στη μέτρηση της αντίστασης γείωσης. Αν, για παράδειγμα, μετρηθεί η αντίσταση γείωσης του παραπάνω γειωτή, από το ηλεκτρόδιο μέχρι και 25m μακριά, τότε η μετρούμενη αντίσταση θα είναι το 95% της πραγματικής.



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα δυναμικού-απόστασης [11]

Ο ορισμός της αντίστασης γείωσης, ως φυσικού μεγέθους, είναι ο λόγος της διαφοράς δυναμικού μεταξύ του σημείου σύνδεσης του ηλεκτροδίου και ενός μακρινού σημείου της γης (άπειρη γη) προς την ένταση του ρεύματος, δηλαδή $R=U/I$ [20, 21].

Η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου είναι μία ωμική αντίσταση στο έδαφος γύρω από το ηλεκτρόδιο και όχι ένα είδος επιφανειακής αντίστασης του ηλεκτροδίου, εκφράζει δε την αντίσταση διαβάσεως του ρεύματος από το αγώγιμο υλικό του ηλεκτροδίου προς το έδαφος που το περιβάλλει. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ως η συνισταμένη των εν σειρά, αναπτυσσόμενων ακτινικά προς την επιφάνεια του ηλεκτροδίου, απειροστών αντιστάσεων διαβάσεως R_{δ} . Ένα προφανές συμπέρασμα είναι πως η αντίσταση γείωσης είναι ανάλογη της ειδικής αντίστασης του εδάφους και αντιστρόφως ανάλογη προς την επιφάνεια επαφής του ηλεκτροδίου με το έδαφος [11].

Συμπερασματικά μπορεί να διατυπωθεί ότι, η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης συνίσταται από τρία μέρη [20]:

- ✓ Την αντίσταση επαφής μεταξύ της επιφάνειας του ηλεκτροδίου και του εδάφους που το περιβάλλει.

- ✓ Την αντίσταση του όγκου του εδάφους που περιβάλλει το ηλεκτρόδιο γείωσης.
- ✓ Την αντίσταση του αγωγού που συνδέει το ηλεκτρόδιο γείωσης με το υπόλοιπο ηλεκτρικό σύστημα.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την μαθηματική μοντελοποίηση, αρχικά, των κατακόρυφων ηλεκτροδίων γείωσης. Από τις μελέτες αυτές ξεχωρίζουν ιδιαίτερος οι μαθηματικές σχέσεις που αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα.

Dwight	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 \right)$
Tagg	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2l}{r}$
Sunde	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \left[\frac{2l}{r} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2l} \right)^2} \right) \right] + \frac{r}{2l} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2l} \right)^2} \right)$
Laurent	$R = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \ln \frac{3l}{d}$

Πίνακας 2.1: Εξισώσεις υπολογισμού αντίστασης γείωσης κατακόρυφων ηλεκτροδίων γείωσης [11]

Είναι χρήσιμο, για λόγους πληρότητας, να γίνει αναφορά στις διακριτές έννοιες της αντίστασης γείωσης και της σύνθετης αντίστασης γείωσης βιομηχανικής συχνότητας. Στην πραγματικότητα, η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος γείωσης καθορίζεται κυρίως από τη σύνθετη αντίστασή του Z_E , η οποία μπορεί να εκφρασθεί από την εξίσωση [24]:

$$Z_E = \sqrt{R_E^2 + X_E^2} \quad (2.7)$$

όπου:

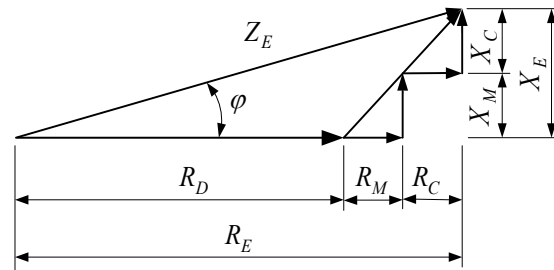
$$R_E = R_D + R_M + R_C \quad (2.8)$$

και

$$X_E = X_M + X_C \quad (2.9)$$

R_E η αντίσταση γείωσης, R_D η αντίσταση διαχύσεως, R_M η αντίσταση του αγωγού του ηλεκτροδίου γείωσης, R_C η αντίσταση του αγωγού που συνδέει το ηλεκτρόδιο γείωσης με την εγκατάσταση και X οι αντίστοιχες επαγωγικές αντιδράσεις.

Ακολουθώς, απεικονίζεται το διανυσματικό διάγραμμα σύνθετης αντίστασης.



Σχήμα 2.8: Διανυσματικό διάγραμμα σύνθετης αντίστασης [11]

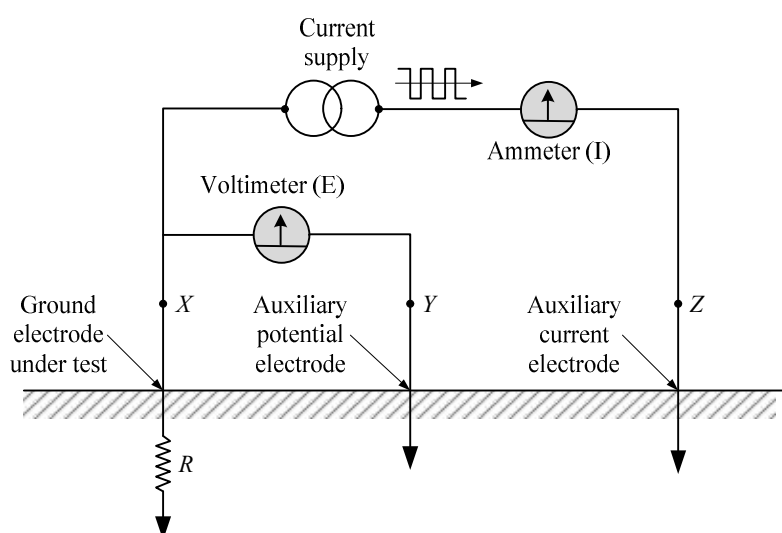
Τέλος, τονίζεται ότι, για παροχή AC, η αντίδραση του αγωγού γείωσης είναι σημαντική, μόνο στην περίπτωση εκτεταμένων ταινιών γείωσης ή στην περίπτωση ράβδων γείωσης μεγάλου μήκους. Σ' όλες τις άλλες περιπτώσεις, η διαφορά μεταξύ της σύνθετης αντίστασης γείωσης και της αντίστασης γείωσης είναι τόσο μικρή, ώστε να μη γίνεται καμιά διάκριση μεταξύ αυτών των δύο ποσοτήτων. Τα σχετικά βιομηχανικά πρότυπα χρησιμοποιούν αυτές τις ποσότητες σαν να είναι ταυτόσημες [24].

Οι παραπάνω σχέσεις για τον υπολογισμό της αντίστασης γείωσης βασίστηκαν, στην υπόθεση ότι το έδαφος στο οποίο είναι τοποθετημένο το ηλεκτρόδιο, χαρακτηρίζεται από ομοιογενή και ιστροπική ειδική αντίσταση ρ . Η παρουσία στρωμάτων με διαφορετική ειδική αντίσταση επηρεάζει την αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου, ακόμη και στην περίπτωση που αυτό είναι εγκατεστημένο ολόκληρο σ' ένα μόνο στρώμα [11]. Γι' αυτό το λόγο, αρκετοί ερευνητές ανέπτυξαν μοντέλα και διετύπωσαν σχέσεις για τον υπολογισμό της αντίστασης γείωσης για πολυστρωματικό στρώμα εδάφους, προκειμένου ο

σχεδιασμός των συστημάτων γείωσης στις πρακτικές εφαρμογές να είναι πληρέστερος.

2.3.2 Μέτρηση Αντίστασης Γείωσης

Η πιο δημοφιλής και χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη μέτρηση της αντίστασης γείωσης, σημειακών, αλλά και εκτεταμένων γειώσεων, είναι η μέθοδος της πτώσης δυναμικού (Fall of Potential Method) [20]. Αυτή η μέθοδος δίνει την τιμή της αντίστασης γείωσης με αρκετά καλή ακρίβεια και χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους των εφαρμογών, είτε αυτούσια, είτε με διάφορες παραλλαγές, ως προς τις θέσεις των βοηθητικών ηλεκτροδίων, καθώς συνιστάται από τα διεθνή πρότυπα [22]. Η διάταξη της μεθόδου εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



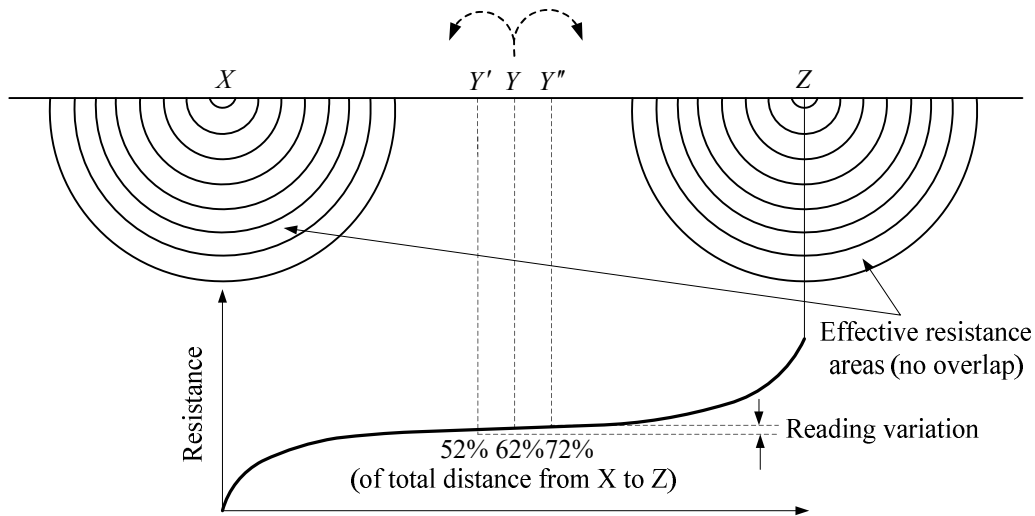
Σχήμα 2.9: Μέθοδος της πτώσης δυναμικού για τη μέτρηση της αντίστασης γείωσης [28]

Έστω X το προς μέτρηση ηλεκτρόδιο γείωσης, Y το βοηθητικό ηλεκτρόδιο τάσης και Z το βοηθητικό ηλεκτρόδιο ρεύματος. Το ηλεκτρόδιο Z τοποθετείται σε απόσταση ίση με το πενταπλάσιο, τουλάχιστον, της μεγαλύτερης διάστασης του εξεταζόμενου ηλεκτροδίου [16] και γίνεται έγχυση ρεύματος μέσω αυτού, το οποίο και επιστρέφει, μέσω του εξεταζόμενου ηλεκτροδίου γείωσης. Η ένταση του ρεύματος αυτού μετριέται μέσω αμπερομετρικού στοιχείου. Για τη μέτρηση του αναπτυσσόμενου δυναμικού στο έδαφος, τοποθετείται το ηλεκτρόδιο Y σε

απόσταση ίση με το 62% της XZ [16] ή σε απόσταση XZ/2 [17] από το ηλεκτρόδιο X. Για τη μέτρηση της τάσης U_{XY} , συνδέεται βολτομετρικό στοιχείο μεταξύ των X και Y, οπότε η ζητούμενη φαινόμενη αντίσταση γείωσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_G = \frac{U_{XY}}{I} \quad (2.10)$$

Πραγματοποιούνται δύο ακόμη μετρήσεις, προκειμένου να εξακριβωθεί ότι οι περιοχές επιρροής δεν αλληλεπικαλύπτονται (no overlap), με μετακίνηση του βοηθητικού ηλεκτροδίου γείωσης Y κατά 5–7m πιο μακριά και κατά 5–7m πιο κοντά προς τη γείωση X, έτσι, ώστε οι μετρήσεις να βρίσκονται εντός της περιοχής όπου η αντίσταση διατηρείται πρακτικά σταθερή, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Αν τα αποτελέσματα αυτών των τριών μετρήσεων ουσιαστικά συμπίπτουν, λαμβάνεται ως αντίσταση της γείωσης X ο μέσος όρος των τριών τιμών. Διαφορετικά επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις με αυξημένη την απόσταση μεταξύ X και Z [11, 17].



Σχήμα 2.10: Μετακίνηση του ηλεκτροδίου Y κατά μήκος του άξονα XZ [28]

Ωστόσο, εκτός από τη μέθοδο της πτώσης δυναμικού, έχουν προταθεί και άλλες μέθοδοι μέτρησης της αντίστασης γείωσης, όπως η μέθοδος των δύο σημείων [20], η μέθοδος των τριών σημείων [20, 22] και η clamp-on method [22], οι οποίες, όμως συγκρινόμενες με τη FOP, εμφανίζουν αρκετές αδυναμίες στη σωστή μέτρηση της αντίστασης.

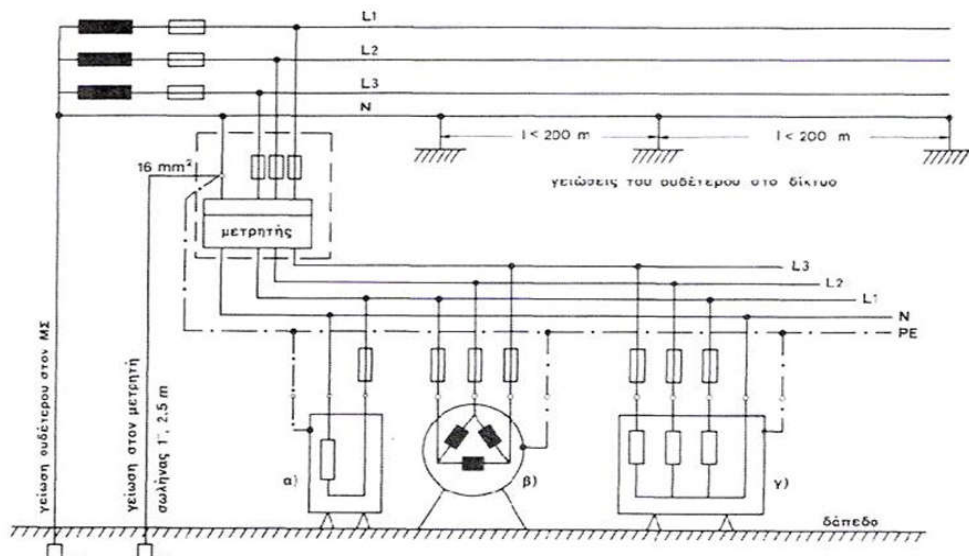
Σε μελέτη τους οι Dawalibi-Mukhedkar για την εφαρμογή της FOP σε ανομοιογενή εδάφη [29] έκαναν μια σύγκριση μέσω θεωρητικών υπολογισμών και μετρήσεων σε δικό τους εργαστηριακό διστρωματικό μοντέλο, μεταξύ της κλασικής μεθόδου FOP και μιας παραλλαγής της, την οποία πρότεινε ο Tagg [20] για διστρωματικό έδαφος και κατά την οποία το ηλεκτρόδιο δυναμικού τοποθετείται σε αντίθετη κατεύθυνση προς το ηλεκτρόδιο ρεύματος. Κατέληξαν να προτείνουν την εφαρμογή της κλασικής FOP, με την επισήμανση ότι ο κανόνας του 62% μεταβάλλεται μεταξύ 50% και 90% για την περίπτωση του διστρωματικού μοντέλου.

2.3.3 Μέθοδοι γείωσης

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι ακόλουθες:

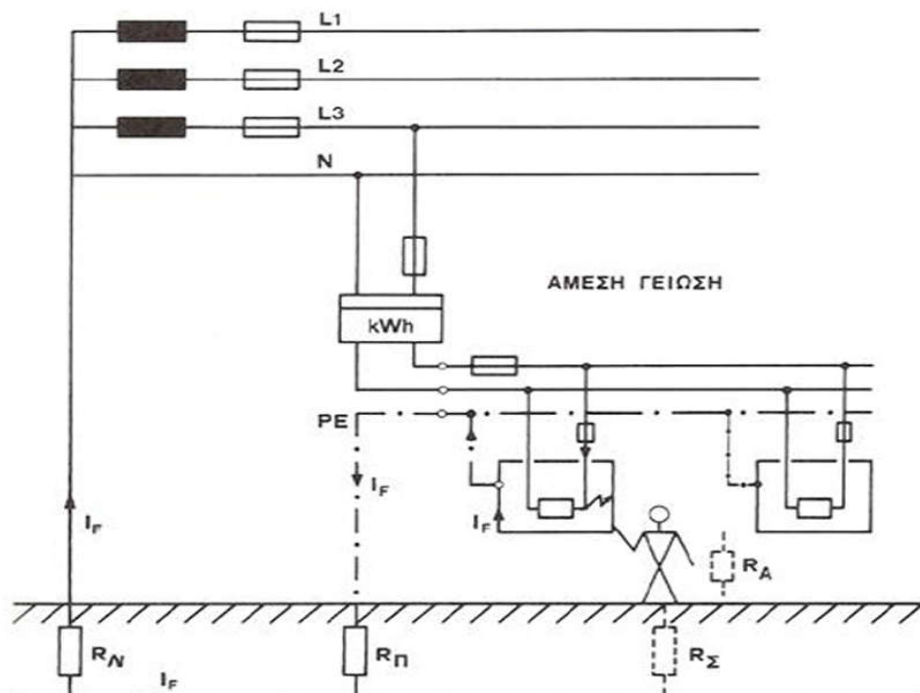
Η **ουδετέρωση**, είναι η σύνδεση των μεταλλικών μερών των συσκευών με αγωγό προστασίας που συνδέεται με τον ουδέτερο στον πίνακα παροχής. Ο ουδέτερος συνδέεται και με το ηλεκτρόδιο γείωσης στο σημείο παροχέτευσης πριν από το μετρητή, όπως εικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα.

Η μέθοδος αυτή είναι εξίσου αποτελεσματική, όπως και η άμεση γείωση, αλλά απαιτεί μικρότερη αντίσταση γείωσης και χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ειδικότερα σε αστικές περιοχές.



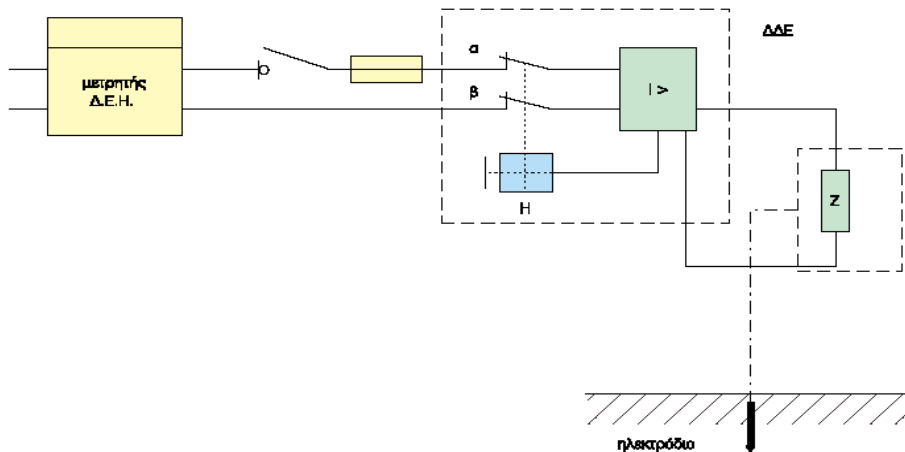
Σχήμα 2.11: Σύστημα προστασίας με ουδετέρωση [25]

Η **άμεση γείωση**, είναι η απευθείας αγωγίμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης του αγωγού γης, που είναι συνδεδεμένος με κάποιο αγωγίμο υλικό τοποθετημένο μέσα στη γη όπως πλάκα γείωσης, ηλεκτρόδιο, τρίγωνο, κ.λπ. Στο επόμενο σχήμα περιγράφεται το σχέδιο ενός συστήματος άμεσης γείωσης.



Σχήμα 2.12: Σύστημα προστασίας με άμεση γείωση [25]

Μέσω διακόπτη διαφυγής έντασης για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης.



Σχήμα 2.13: Σύστημα προστασίας με διακόπτη διαφυγής έντασης, σε εγκατάσταση που έχει ηλεκτρόδιο γείωσης [25]

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι και στις τρεις αυτές περιπτώσεις θα πρέπει να επιτυγχάνεται η απόζευξη της εγκατάστασης το πολύ σε 5sec, αν η τάση

κάποιου τμήματος αυτής σε σχέση με τη γη εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη των 50V.

2.3.4 Απαιτήσεις και προδιαγραφές για τη μέτρηση γείωσης

Οι μετρήσεις της αντίστασης γείωσης υφίστανται αναγκαίες, όταν απαιτείται συμμόρφωση με μια συγκεκριμένη τιμή αντίστασης ή συγκεκριμένη τιμή σύνθετης αντίστασης, όπως είναι οι ακόλουθες περιπτώσεις συστημάτων γείωσης:

- ✓ Γείωση προστασίας για συστήματα TT και IT σε εγκαταστάσεις X.T. [30,31]
- ✓ Συνδυασμός γείωσης προστασίας και γείωσης λειτουργίας σε σύστημα γείωσης σε υποσταθμούς Y.T.
- ✓ Σύστημα γείωσης για τη γείωση ουδέτερου σε δίκτυο διανομής M.T.

Για συστήματα αντικεραυνικής προστασίας, οι μετρήσεις των γειώσεων θα πρέπει να γίνονται ακόμα και όταν δεν υπάρχει κάποια απαίτηση για συμμόρφωση με συγκεκριμένες τιμές. Τα αποτελέσματα των επαναλαμβανόμενων δοκιμών θα πρέπει να συγκρίνονται με αντίστοιχα παλαιότερων μετρήσεων [25, 32].

Τα Πρότυπα περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις που θα πρέπει να τηρούν οι κατασκευαστές του μετρητικού εξοπλισμού, ενώ για τους χρήστες εξυπηρετούν μόνο πληροφοριακούς σκοπούς. Στα συστήματα χαμηλής τάσης, οι μετρήσεις των γειώσεων θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τα Πρότυπα VDE 0413 [33]. Γενικότερα, όλος ο εξοπλισμός θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές του Προτύπου IEC 61557-1:2007 [34]. Επίσης, ο εξοπλισμός θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα ακόλουθα Πρότυπα, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής ή της μεθόδου μέτρησης στην οποία χρησιμοποιείται:

- ✓ IEC 61557-5:2007 “Equipment for measuring resistance to earth” [35].
- ✓ IEC 61557-6:2007 “Equipment for testing, measuring or monitoring protective measures involving residual current devices” [36].
- ✓ IEC 61557-10:2007 “Combined measuring equipment” [37].

Ωστόσο, σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εξοπλισμός που έχει κατασκευασθεί συμμορφούμενος με παλαιότερες εκδόσεις της σειράς Προτύπων VDE 0413, μπορεί να χρησιμοποιείται σε μετρήσεις.

Πριν την αγορά εξοπλισμού, οι χρήστες θα πρέπει να ζητούν τεχνική περιγραφή των συσκευών και οργάνων του ενδιαφέροντός τους, καθώς επίσης και πληροφορίες για την απόδοσή τους και, αν είναι δυνατό, εγχειρίδια χρήσης, έτσι ώστε να αξιολογήσουν τον εξοπλισμό με βάση αυτά τα έγγραφα [25].

Η πορεία της μέτρησης και κάθε επιπλέον διαδικασία που τη συνοδεύει (π.χ. διακοπή κανονικών συνδέσεων ή πραγματοποίηση μη τυποποιημένων συνδέσεων), δε θα πρέπει να θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια χρηστών και εξοπλισμού [38]. Πριν τη διακοπή μιας σύνδεσης, η οποία απαιτείται για την αποφυγή ηλεκτροπληξίας, ολόκληρη η εγκατάσταση ισχύος θα πρέπει να αποσυνδέεται από την παροχή και να ασφαρίζεται για την αποφυγή επανασύνδεσής της.

Οποιαδήποτε μέτρηση, που περιλαμβάνει διακοπές κυκλώματος δεν πρέπει να πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια καταιγίδας ή όποτε αναμένεται καταιγίδα. Μετά το πέρας της μέτρησης, κάθε συνδεσμολογία που είχε διακοπεί, θα πρέπει να αποκατασταθεί κανονικά.

Στην περίπτωση που το ρεύμα δοκιμής διαχωρισθεί και μέρος αυτού ρέει παράλληλα με το ηλεκτρόδιο γείωσης που μετράται, η αντίσταση γείωσης που θα δείξει το όργανο θα είναι πολύ μικρή. Το άτομο που διεξάγει τη μέτρηση χρειάζεται να είναι πολύ προσεκτικό ως προς οτιδήποτε συνδέεται στο υπό μέτρηση ηλεκτρόδιο γείωσης [39].

2.3.4.1 Μέτρηση με χρήση βοηθητικών ηλεκτροδίων

Το γειωσόμετρο εγχύει εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής εντάσεως και συχνότητας της επιλογής του χρήστη χωρίς όμως αυτή να είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο των χρησιμοποιούμενων στις εγκαταστάσεις και στα δίκτυα. Επίσης, το συνεχές (DC) ρεύμα δε χρησιμοποιείται, για την αποφυγή των ηλεκτρολυτικών φαινομένων στα σημεία επαφής με τα βοηθητικά ηλεκτρόδια. Άρα, η τιμή του ρεύματος θα πρέπει να είναι ένα μικρό ποσοστό του αναμενόμενου σφάλματος, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία

επικίνδυνων τάσεων και βηματικών τάσεων κατά τη μέτρηση της αντίστασης γείωσης.

Στον τρίτο ακροδέκτη (P) συνδέεται το βοηθητικό ηλεκτρόδιο, μέσω του οποίου γίνεται η μέτρηση της τάσης που έχει εμφανισθεί στο έδαφος, μεταξύ της προς μέτρηση γείωσης και του βοηθητικού ηλεκτροδίου ρεύματος.

Το βολτομετρικό στοιχείο μέτρησης της τάσης πρέπει να έχει μεγάλη εσωτερική αντίσταση, περίπου δεκαπλάσια της αντίστασης των βοηθητικών ηλεκτροδίων τάσης. Η τιμή των 40kΩ θεωρείται ικανοποιητική.

Η επιτρεπόμενη τιμή αντίστασης γείωσης των βοηθητικών ηλεκτροδίων τάσης και ρεύματος καθορίζεται από τον κατασκευαστή του οργάνου και κυμαίνεται από 4kΩ έως 20kΩ. Οι τιμές αυτές δεν επηρεάζουν τη μέτρηση, εφόσον είναι στο εύρος που συνιστά ο κατασκευαστής. Στην περίπτωση όπου η μετρούμενη είναι μικρότερη του 1Ω, η αντίσταση των βοηθητικών ηλεκτροδίων θα πρέπει να είναι μικρότερη των 500Ω. Για το λόγο αυτό, σε ημιβραχώδη εδάφη συνιστάται η ύγρανση των βοηθητικών ηλεκτροδίων με αλατόνερο. Για τις περιπτώσεις αυτές, το έδαφος καλύπτεται με μπετόν ή, αν είναι βραχώδες, συνιστάται η τοποθέτηση των βοηθητικών ηλεκτροδίων στην επιφάνεια και η κάλυψή τους με στουπί εμβαπτισμένο σε αλατόνερο.

Όταν το έδαφος καλύπτεται από μονωτικό υλικό, όπως άσφαλτο, θα γίνεται διάνοιξη οπών (εφόσον είναι εφικτό) και η τοποθέτηση των βοηθητικών ηλεκτροδίων εντός αυτών κάνοντας χρήση αλατόνερου.

Στην περίπτωση επέκτασης των καλωδίων μέτρησης, θα πρέπει να δίδεται προσοχή στη σωστή επιλογή της διατομής του καλωδίου, όταν αυτό θα συνδεθεί μεταξύ του προς μέτρηση γειωτή και του γειωσόμετρου. Συνεπώς, όταν η προς μέτρηση τιμή της αντίστασης γείωσης είναι συγκρίσιμη με την αντίσταση του καλωδίου, το σφάλμα που θα υπεισέλθει θα είναι πολύ μεγάλο. Όταν η σύνδεση της επέκτασης γίνει είτε μεταξύ του βοηθητικού ηλεκτροδίου έντασης είτε της τάσης και του γειωσόμετρου, δεν προστίθεται η αντίσταση του καλωδίου στην αντίσταση που μετρά το γειωσόμετρο.

Γενικώς θα πρέπει να αποφεύγονται τα παρακάτω:

- ✓ Η τοποθέτηση των βοηθητικών ηλεκτροδίων σε εδάφη όπου υπάρχουν υπόγειες μεταλλικές κατασκευές.

- ✓ Η παράλληλη όδευση μεταξύ των καλωδίων των βοηθητικών ηλεκτροδίων, καθώς και μεταξύ αυτών και γραμμών μεταφοράς Υ.Τ., Μ.Τ., Χ.Τ.
- ✓ Προσοχή πρέπει να δίδεται στην τιμή που δείχνει το όργανο, όταν υπάρχει κοντά σε αυτό πομπός ασύρματης επικοινωνίας.

Υπάρχουν δύο είδη γειώσεων, οι σημειακές όπως ο γειωτής ράβδου και η ταινία $L=10\text{m}$ και οι εκτεταμένες γειώσεις όπως η πολυγωνική, η περιμετρική, η θεμελιακή και άλλες [25].

2.3.4.2 Μέτρηση σημειακών γειώσεων

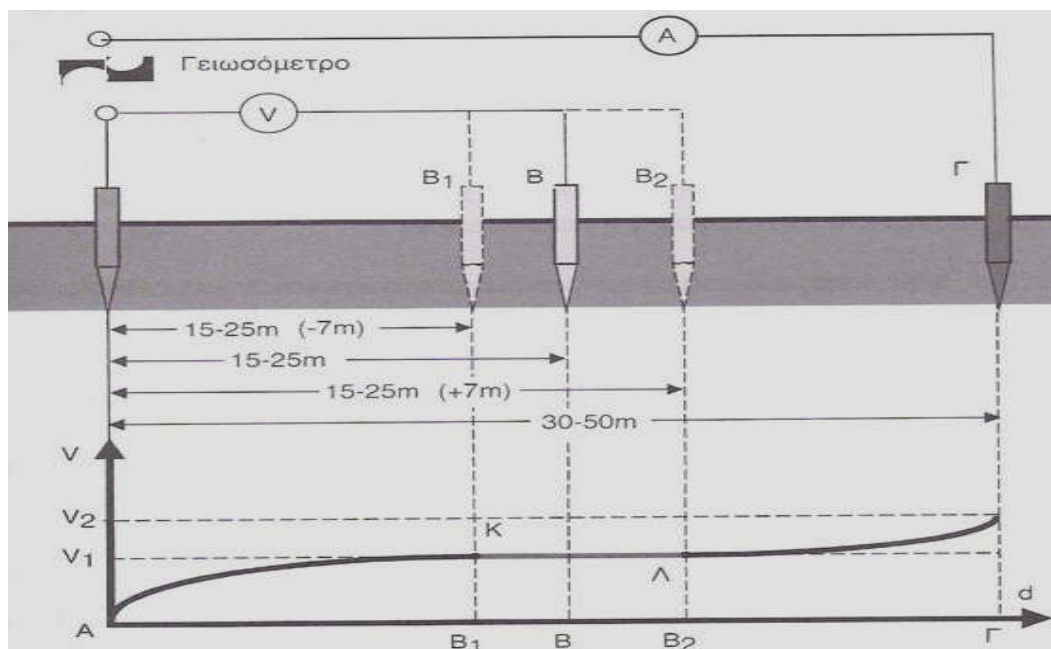
Για τη μέτρηση των σημειακών γειώσεων χρησιμοποιούνται δύο βοηθητικά ηλεκτρόδια του γειωσόμετρου. Η συνδεσμολογία που ακολουθείται απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου Α το προς μέτρηση σύστημα γείωσης, Β και Γ τα βοηθητικά ηλεκτρόδια μέτρησης του δυναμικού και της παροχής του ρεύματος αντίστοιχα. Το ηλεκτρόδιο Γ τοποθετείται σε απόσταση 30 έως 50m από το σημείο Α, ενώ το Β σε απόσταση $\frac{ΑΓ}{2}$.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τρία σημεία Α, Β, Γ ορίζουν μια ευθεία. Λαμβάνεται η πρώτη μέτρηση με αυτές τις αποστάσεις και κατόπιν επαναλαμβάνεται η μέτρηση δύο έως έξι φορές, μετακινώντας το Β έως 7m προς το Γ και 7m προς το Α (B_2, B_1), με βήμα περίπου 2m.

Αν η διαφορά των μετρήσεων είναι πολύ μικρή, τότε γίνεται αποδεκτή σαν αντίσταση του γειωτή Α ο μέσος όρος των μετρήσεων που διεξήχθησαν. Στην αντίθετη περίπτωση, αυξάνεται η ΑΓ και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως προηγουμένως, μετακινώντας τώρα το Β προς το Γ και Α σε απόσταση μεγαλύτερη των 7m. Λαμβάνονται πάλι μετρήσεις με ανάλογο τρόπο, όπως διατυπώθηκε παραπάνω, μέχρι που οι τιμές μέτρησης να διαφέρουν μεταξύ τους στα όρια που είναι αποδεκτά. Στην πράξη έχει εκτιμηθεί ότι, παίρνοντας μια μέτρηση στην απόσταση ΑΒ ίση με το μισό της απόστασης ΑΓ, είναι αρκετή ώστε να είναι ακριβής η τιμή της αντίστασης του γειωτή που μετρήσαμε.

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται η μεταβολή του δυναμικού στο έδαφος μεταξύ του γειωτή Α και του βοηθητικού ηλεκτροδίου Γ. Στην περιοχή όπου

αυτό λαμβάνει μια σταθερή τιμή (U_1), τα ηλεκτρικά πεδία του γειωτή Α και του βοηθητικού ηλεκτροδίου Γ δεν αλληλοεπηρεάζονται. Η μετρούμενη λοιπόν τιμή της αντίστασης γείωσης στο τμήμα ΚΛ είναι η πραγματική.

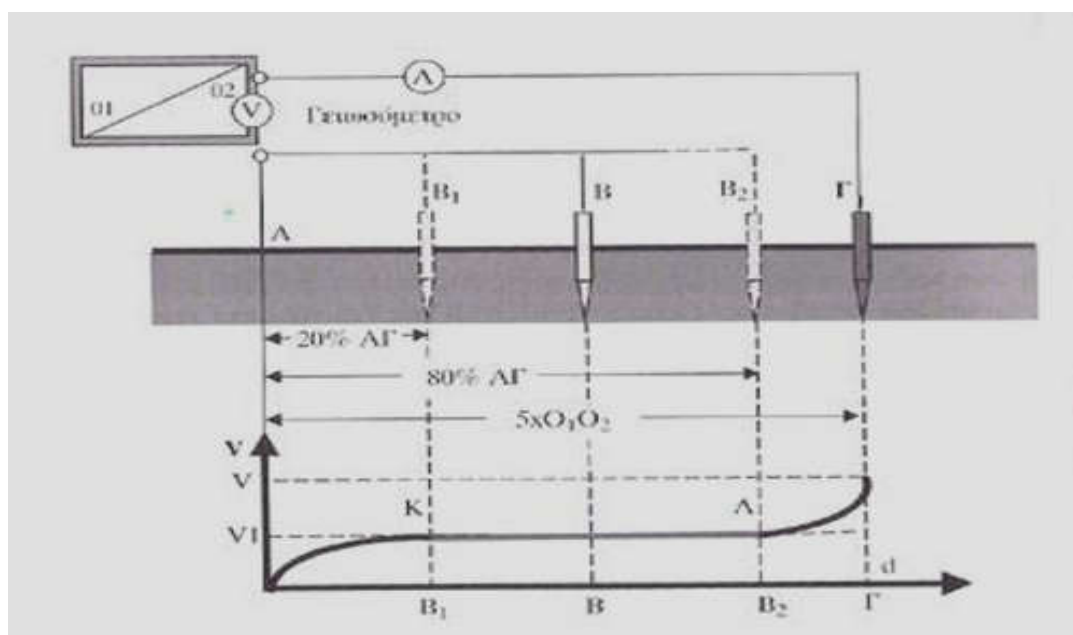


Σχήμα 2.14: Σχηματική απεικόνιση μέτρησης γείωσης σημειακού γειωτή [25]

2.3.4.3.Α Μέτρηση εκτεταμένων γειώσεων όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος

Όπως στις σημειακές γειώσεις έτσι και στις εκτεταμένες, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, επιζητείται η περιοχή ΚΛ. Λόγω όμως της εκτεταμένης γείωσης, ο επηρεασμός μεταξύ των τμημάτων του γειωτή καθιστά πιο δύσκολη την εύρεση της περιοχής αυτής, έτσι ώστε να μην αρκεί το πλήθος των μετρήσεων της προηγούμενης περίπτωσης. Η απόσταση τώρα ΑΓ πρέπει να είναι μερικές εκατοντάδες μέτρα, οι μετρήσεις να γίνονται από το 80% της ΑΓ προς το 20% της ΑΓ με βήμα το 1/25 της ΑΓ περίπου. Στην πράξη έχει εκτιμηθεί ότι, λαμβάνοντας σαν απόσταση ΑΓ το τριπλάσιο έως πενταπλάσιο μήκος περίπου της διαγωνίου του σχηματιζόμενου νοητού πολυγώνου που δημιουργεί ο εκτεταμένος γειωτής είναι αρκετή απόσταση ώστε να είναι ακριβής η τιμή της αντίστασης του γειωτή που μετρήσαμε. Παρόλα αυτά, όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση ΑΓ, τόσο πιο εύκολα προσδιορίζεται η περιοχή ΚΛ και η απόκλιση

της μετρούμενης τιμής της αντίστασης του γειωτή από την πραγματική τείνει στο μηδέν.



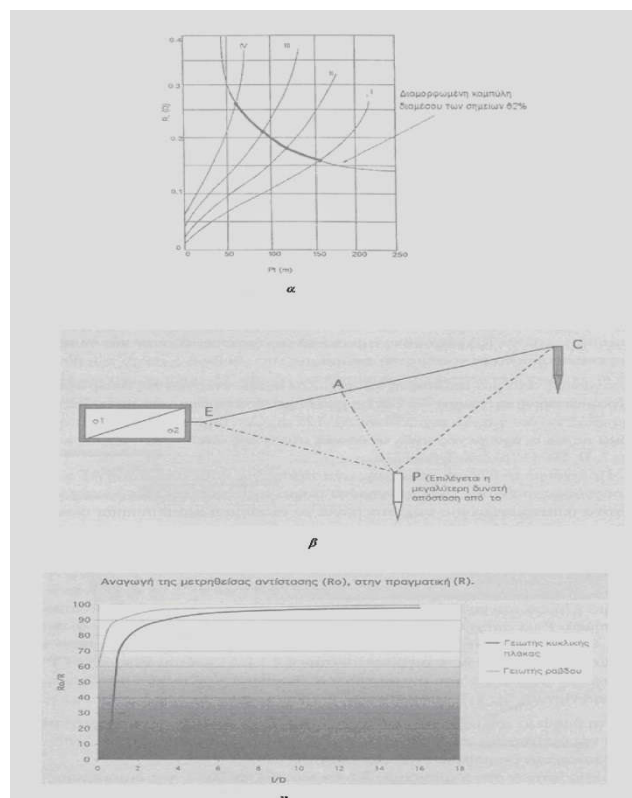
Σχήμα 2.15: Σχηματική απεικόνιση μέτρησης γείωσης εκτεταμένου γειωτή [25]

2.3.4.3.B Μέτρηση εκτεταμένων γειώσεων όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος

Όταν δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε τόσο μεγάλη απόσταση, λόγω χώρου ή λόγω του γεγονότος ότι η σταθεροποίηση των τιμών από τη μέτρηση της αντίστασης δεν είναι αρκετά εμφανής, εφαρμόζεται μια εκ των μεθόδων που ακολουθούν:

- ✓ Ξεκινώντας από μια απόσταση ΑΓ π.χ. 220m και ενεργώντας όπως προαναφέρθηκε, καταγράφονται οι μετρούμενες τιμές. Επαναλαμβάνεται ακριβώς το ίδιο για ΑΓ π.χ. 170m, ΑΓ 125m κ.ο.κ. καταρτίζοντας έναν πίνακα με τις μετρούμενες τιμές, οι οποίες στο τέλος απεικονίζονται ως καμπύλες I, II, III, IV (Σχήμα 2.16α). Λαμβάνεται το 62% της τιμής της αντίστασης για κάθε απόσταση ΑΓ και χαράσσεται το έντονα σκιαγραφημένο τμήμα της καμπύλης. Τα δύο άκρα του έντονα σκιαγραφημένου τμήματος είναι το μέγιστο και ελάχιστο όριο διακύμανσης της τιμής της αντίστασης γείωσης.

- ✓ Τοποθετείται το βοηθητικό ηλεκτρόδιο του ρεύματος (C) σε απόσταση από την προς μέτρηση γείωση, όσο το επιτρέπει ο διαθέσιμος χώρος. Το βοηθητικό ηλεκτρόδιο της τάσης θα τοποθετηθεί στο σημείο P, όπως εικονίζεται στο Σχήμα 2.16β επί του ευθυγράμμου τμήματος AP κάθετο στην CE. Το σημείο P πρέπει να απέχει όσο το δυνατόν περισσότερο από το ευθύγραμμο σχήμα CE. Οι μετρήσεις, με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο της τάσης, λαμβάνονται κατ' αντίστοιχο τρόπο επί των τμημάτων CP και αντίστοιχα εκεί που η τιμή της αντίστασης σταθεροποιηθεί είναι η μετρούμενη τιμή της γείωσης.
- ✓ Με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος εγκαθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της πραγματικής τιμής της αντίστασης γείωσης, αφού προσδιορισθεί το σφάλμα μέτρησης για δεδομένη απόσταση των βοηθητικών ηλεκτροδίων.



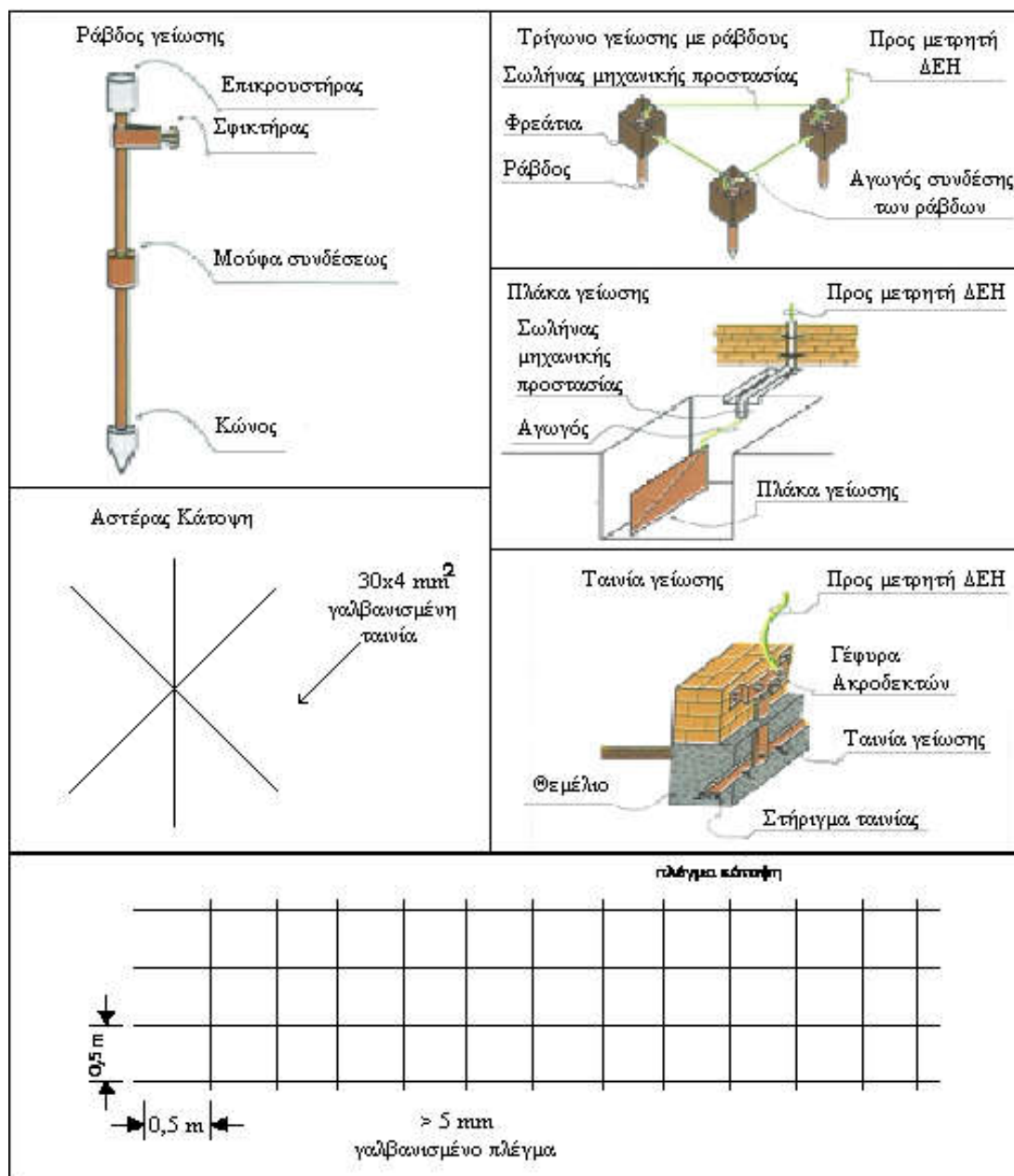
Σχήμα 2.16: Σχηματική απεικόνιση μέτρησης γείωσης όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος [25]

Παρόμοιοι υπολογισμοί γίνονται για γειωτές όπως ράβδοι, ταινίες κ.λ.π. Γνωρίζοντας την ισοδύναμη διάμετρο D του εμβαδού που καταλαμβάνει ο

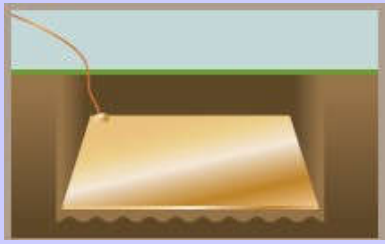
γειωτής και την απόσταση l μεταξύ των βοηθητικών ηλεκτροδίων (τάσης και ρεύματος), υπολογίζεται η σχέση μεταξύ αυτών, δηλαδή $\frac{l}{D} = a$. Από το παραπάνω σχήμα και έχοντας υπολογίσει τον παραπάνω λόγο, δηλαδή το a , προσδιορίζεται ο λόγος $\frac{R_0}{R}$. Η πραγματική τιμή της αντίστασης γείωσης K , προκύπτει από το γινόμενο της μετρούμενης τιμής R_0 επί το συντελεστή διόρθωσης $\frac{1}{a}$.

2.4 Μέθοδοι και διατάξεις ηλεκτροδίων γείωσης

Τα ηλεκτρόδια γείωσης που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 “Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις” [17], έχουν τις μορφές που παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα (Σχήμα 2.17 και 2.18).



Σχήμα 2.17: Περιγραφή ηλεκτροδίων γείωσης σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 [18]



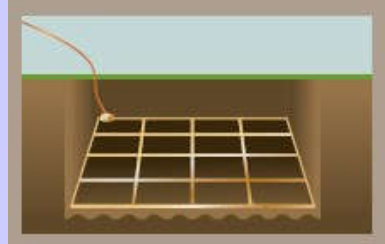
Γειωτής πλάκας



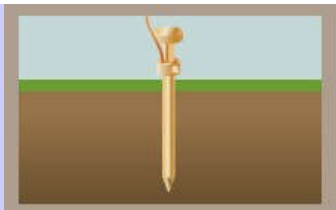
Θεμελιακή γείωση



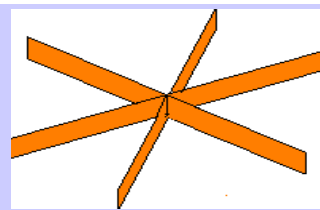
Οριζόντια θαμμένα καλώδια και ταινίες
γείωσης



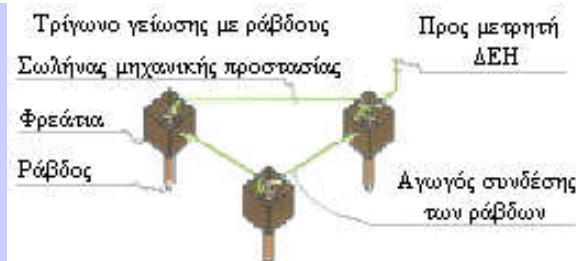
Γειωτής πλέγματος



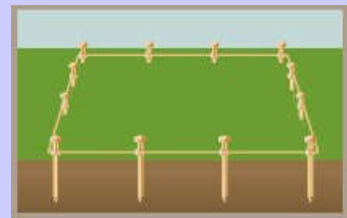
Γειωτής ράβδου



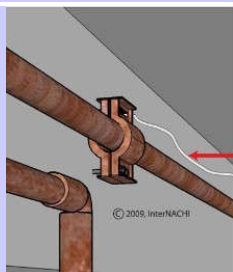
Γειωτής αστέρα



Γειωτής τριγώνου



Τετράγωνο πασσάλων



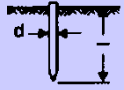
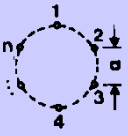
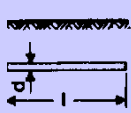
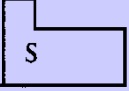
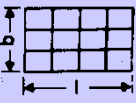
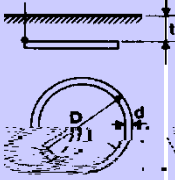
Το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής

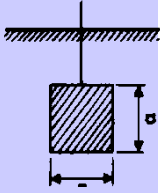
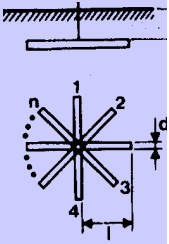
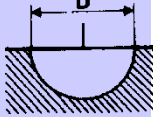


Γειωτής τύπου E

Σχήμα 2.18: Περιγραφή διαφόρων τύπων γειωτών [40, 41, 42]

Οι τύποι που δίνουν τις αντιστάσεις αυτών των γειωτών και οι ελάχιστες διατομές ηλεκτροδίων γείωσης σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, παρατίθενται συνοπτικά στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 2.2 και 2.3).

	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
	Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l_{eff}}{d}\right)$ $l_{eff} \approx l - 0.5 \text{ m}$	$R_A \cong \frac{\rho}{l_{eff}}$
	Πολύγωνο Πασσάλων $\alpha \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A \approx k \cdot \frac{1}{n} \cdot R_{A1}$ R_{A1} = αντίσταση ενός πασσάλου	$k=(1...1.5)$ για $n = 10 : k \approx 1.25$
	Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής, βάθος $h=0,5...1,0 \text{ m}$ (πλάγια όψη)		$R_A \approx \frac{2\rho}{l}$
 S εμβαδόν επιφανείας	Θεμελιακή γείωση $D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S}$		$R_4 = \frac{2}{\pi} \frac{\rho}{D}$
	Πλέγμα σε βάθος $0,5 - 1,0 \text{ m}$ $D = \sqrt{\frac{4bl}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln\left(\frac{2l}{d}\right) R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l_g}$ l_g συνολικό μήκος αγωγού	$R_A \approx \frac{\rho}{2D}$
	Κυκλικός γειωτής (κάτοψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln\left(\frac{2l}{d}\right) \cdot \left(1 + \frac{\ln \frac{2D}{t}}{\ln \frac{8D}{d}}\right)$	$R = \frac{2\rho}{\pi D} *$

	<p>Γειωτής πλάκας, πλάγια όψη $S [m^2]$</p>		$R = \frac{\rho}{4.5\alpha} **$
	<p>$n=2$</p> <p>$n=3$</p> <p>$n=4$</p> <p>$n=5$</p>	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{l^2}{0.27td}\right)$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{l^2}{0.25td}\right)$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{l^2}{0.22td}\right)$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{l^2}{0.09td}\right)$	
	<p>Ημισφαιρικό ς γειωτής</p>	$R = \frac{\rho}{\pi D} ***$	
<ul style="list-style-type: none"> • D=ισοδύναμη διάμετρος. • Για ακανόνιστους βρόχους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισοδύναμη διάμετρος $D = 0,33U$, όπου U = μήκος αγωγού. • ** Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες θέτουμε: $\alpha = \sqrt{S}$, όπου S=επιφάνεια. • *** Για ένα γειωτή όγκου V ακανόνιστου σχήματος, εφαρμόζεται ο τύπος του σφαιρικού γειωτή με $D = 1,57\sqrt[3]{V}$ 			

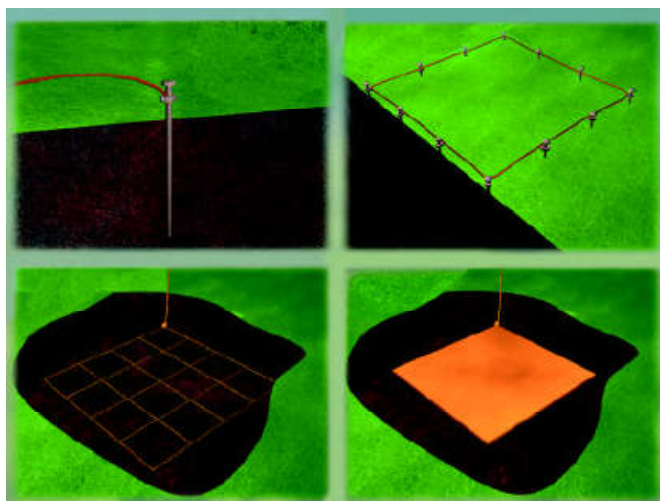
Πίνακας 2.2: Τύποι για υπολογισμό αντιστάσεων γειωτών [17]

Μορφή γειωτή	Υλικό		
	Χάλυβας γαλβανισμένος (με 70μm στρώμα)	Χάλυβας επιχαλκωμένος	Χαλκός
Ταινία	100mm ² ελάχιστο πάχος 3mm	50mm ² ελάχιστο πάχος 2mm	50mm ² ελάχιστο πάχος 2mm
Ράβδος στρογγυλή	78mm ² =10 Φ	50mm ² χάλυβα 35mm ² χαλκός	35mm ²
Συρματό- σχοινο	95mm ² χονδρόκλωνο (δε χρησιμοποιείται)		35mm ² χονδρόκλωνο (ελάχιστο πάχος κλώνων 1,8mm)
Σωλήνας για πασσαλο- γειώσεις	Ονομαστική διάμετρος 1" (εσωτερική διάμετρος), ελάχιστο πάχος 2mm		Εσωτερική διάμετρος 20mm, ελάχιστο πάχος 2mm
Ράβδος L, U, T, I για πασσαλο- γειώσεις	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, συνήθως όμως 100mm ² , ελάχιστο πάχος 3mm.	50mm ² στρογγυλή ράβδος	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, συνήθως όμως 35mm ² , ελάχιστο πάχος 3mm.
Πλάκα	Ελάχιστο πάχος 3mm		Ελάχιστο πάχος 2mm

Πίνακας 2.3: Ελάχιστες διατομές γειωτών κατά ΕΛΟΤ HD 384, Teil 540, VDE 0100, και DIN 57100 [25]

2.4.1 Συστήματα διατάξεων ηλεκτροδίων γείωσης

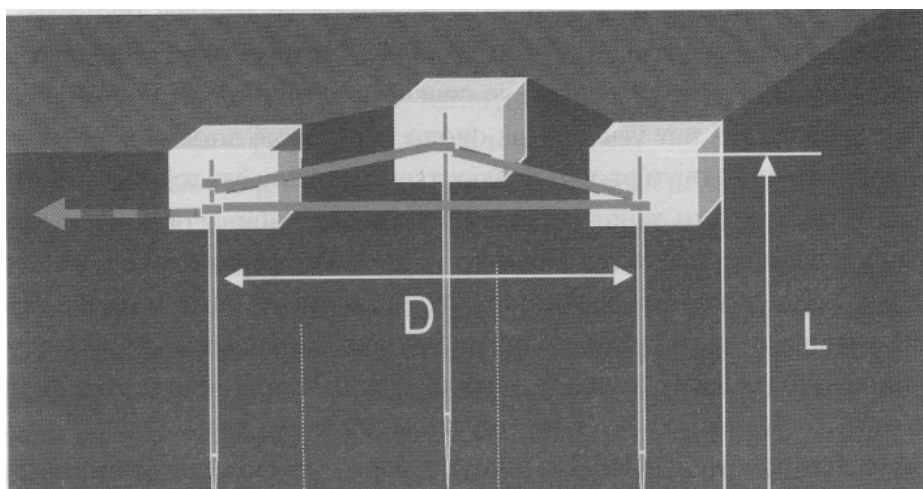
Ακολουθώς γίνεται μια περιγραφή συστημάτων γείωσης, δηλαδή περιγραφή συστημάτων που αποτελούνται από δύο ή περισσότερους γειωτές διατεταγμένους και συνδεδεμένους με διαφορετικό τρόπο για κάθε περίπτωση, όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.19: Απεικόνιση διαφόρων διατάξεων γειωτών [25]

Πολυγωνική διάταξη γείωσης

Η πολυγωνική διάταξη γείωσης κατασκευάζεται από ραβδοειδείς γειωτές, οι οποίοι τοποθετούνται στις κορυφές ισόπλευρου πολυγώνου συνήθως τριγώνου. Οι ράβδοι συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό γείωσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται επιχαλκωμένοι γειωτές, συνήθως συνδέονται μεταξύ τους με χάλκινο αγωγό 50mm^2 . Όταν χρησιμοποιούνται επιψευδαργυρωμένοι γειωτές, συνήθως συνδέονται με χαλύβδινο αγωγό θερμά επιψευδαργυρωμένο $\Phi 10\text{mm}$.



Σχήμα 2.20: Σχηματική απεικόνιση τριγώνου γείωσης [25]

Προκειμένου να αποφευχθεί η ηλεκτροχημική διάβρωση, αφενός μεν δε θα πρέπει να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο γειωτές από διαφορετικά υλικά και αφετέρου δε θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με αγωγούς από διαφορετικό υλικό. Η απόσταση μεταξύ των ραβδοειδών γειωτών πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 με 2 φορές το βάθος έμπηξής τους, έτσι ώστε η τιμή της αντίστασης γείωσης που θα επιτύχουν να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Πολλές φορές λόγω έλλειψης χώρου ή ευκολίας, αντί της πολυγωνικής διάταξης οι ράβδοι μπορούν να τοποθετηθούν σε ευθεία διάταξη, σε “Τ” διάταξη, σε κυκλική διάταξη κ.λ.π., πάντα όμως θα πρέπει η απόσταση μεταξύ τους να είναι τουλάχιστον 1,5 με 2 φορές το βάθος έμπηξης. Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταξύ τους απόσταση τόσο καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται, αν και μετά από κάποια απόσταση δε μειώνεται άλλο η τιμή της αντίστασης γείωσης λόγω του ενεργού μήκους.

Η χρήση των ραβδοειδών γειωτών συνιστάται σε εδάφη όπου η ειδική αντίσταση του εδάφους μειώνεται κατά βάθος. Στα σημεία που θα τοποθετηθούν οι ραβδοειδείς γειωτές, πραγματοποιείται διάνοιξη σκαμμάτων για την τοποθέτηση φρεατίων επίσκεψης. Τα σκάμματα μεταξύ τους συνδέονται με ορύγματα βάθους τουλάχιστον 20cm στα οποία θα τοποθετηθεί ο αγωγός γείωσης. Εάν το έδαφος είναι βραχώδες, όπου οι ράβδοι δεν μπορούν να τοποθετηθούν με έμπηξη, στο κέντρο των σκαμμάτων φρεατίων, θα διανοιχθούν οπές, διαμέτρου τουλάχιστον 8cm, βάθους 15cm μικρότερο από το συνολικό

μήκος του γειωτή. Όμοιες ενέργειες γίνονται και στην περίπτωση έμπτυξης των ράβδων με τη χρήση σφύρας.

Εφόσον γίνει πλήρωση της οπής με καλό κηπευτικό χώμα, αργιλώδες ή με ειδικό βελτιωτικό γείωσης, εμπήγνυται η ράβδος γείωσης. Σε περίπτωση που κατά την έμπτυξη τοποθετηθούν παραπάνω από μια ράβδοι με τη χρήση συνδέσμου επιμήκυνσης, δηλαδή μούφα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί επικρουστήρας για την αποφυγή καταστροφής του σπειρώματος της ράβδου ή της μούφας.

Η χρήση φρεατίου επισκέψεως πολλές φορές επιβάλλεται προκειμένου να ελέγχονται και να συντηρούνται καλύτερα τα σημεία σύνδεσης, να πραγματοποιούνται πιο εύκολα οι μετρήσεις της τιμής της αντίστασης γείωσης, καθώς και να προειδοποιεί για την ύπαρξη, στον εν γένει χώρο της γείωσης [17**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**].

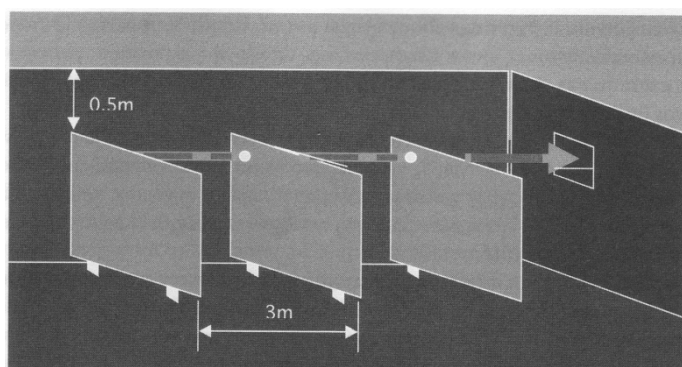
Κατόπιν, το φρεάτιο επισκέψεως της γείωσης τοποθετείται μετά το πέρας της τοποθέτησης των ράβδων και στο κάλυμά του θα πρέπει να υπάρχει ανάγλυφο και ανεξίτηλο το σήμα της γείωσης. Εφόσον οι γειώσεις σ' ένα συγκεκριμένο έργο είναι παραπάνω από μία, θα πρέπει να σημειώνεται στο κάλυμμα ο αύξων αριθμός της γείωσης και των γειωτών, με σκοπό την τακτική παρακολούθηση κάθε γειωτή καθώς και τη συντήρησή τους. Στην περίπτωση που δεν τοποθετηθεί φρεάτιο επισκέψεως, μετά το πέρας της τοποθέτησης των γειωτών-ράβδων, η επιφάνεια του ορύγματος μπορεί να σκεπαστεί με σκυρόδεμα ή από το ίδιο υλικό που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου.

Για την επισήμανση της γείωσης, στην εν λόγω περίπτωση, πρέπει να τοποθετείται πλησίον του γειωτή ή του αγωγού γείωσης, πινακίδα σήμανσης όπου θα προσδιορίζεται η ακριβής θέση του. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του ΕΛΟΤ HD384 [17], η κατάλληλη επιφάνεια επαφής στη σύνδεση μεταξύ ραβδοειδούς γειωτή και αγωγού γείωσης πρέπει να είναι η δέουσα και η σύνδεση επιβάλλεται να γίνεται με ειδικούς κοχλιωτούς σφιγκτήρες ορειχάλκινους, για την περίπτωση επιχαλκωμένης ράβδου κυκλικής διατομής και με σφιγκτήρες χαλύβδινους θερμά επιψευδαργυρωμένους, για τις ράβδους διατομής σταυρού ή με αλουμινοθερμική συγκόλληση για την αποφυγή γαλβανικού φαινομένου. Εννοείται ότι και ο αγωγός γείωσης πρέπει να είναι αντίστοιχα χάλκινος ή χαλύβδινος θερμά επιψευδαργυρωμένος. Στην περίπτωση όπου είναι αναπόφευκτο και θα πρέπει να συνδεθούν εντός του εδάφους γειωτές και αγωγός γείωσης από υλικά που

παρουσιάζουν διαφορά ηλεκτροχημικής τάσης, όπως χαλκό με χάλυβα, το σημείο σύνδεσης πρέπει να επικαλυφθεί εντελώς με ζεστή πίσσα και εν συνεχεία να τυλιχθεί με καννάβιεμβαπτισμένο στην πίσσα. Επίσης, άλλος τρόπος εκτέλεσης των παραπάνω συνδέσεων είναι με την αλουμινοθερμική συγκόλληση, η οποία εξασφαλίζει μηδενική αντίσταση διαβάσεων, καθώς και αποφυγή γαλβανικών φαινομένων στην περίπτωση ανομοιογενών υλικών [25].

Σύστημα γείωσης με πλάκες

Η γείωση με γειωτές υπό μορφή πλάκας, κατασκευάζεται από πλάκες οι οποίες τοποθετούνται σε τυχαία διάταξη, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Η σύνδεση μεταξύ των πλακών συνήθως γίνεται με χάλκινο αγωγό διατομής 50mm^2 , ή χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο $\Phi 10\text{mm}$ για χάλκινες και χαλύβδινες θερμά επιψευδαργυρωμένες πλάκες αντίστοιχα. Η απόσταση μεταξύ τους συνιστάται να είναι τουλάχιστον 3m.



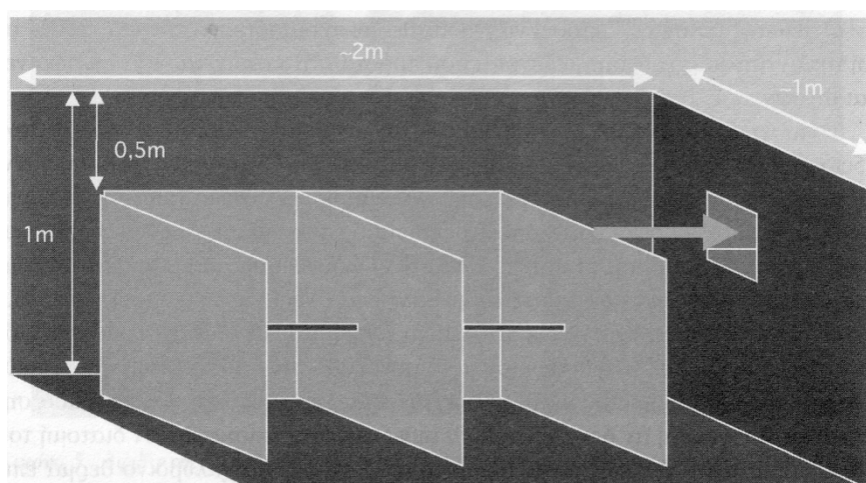
Σχήμα 2.21: Απεικόνιση συστήματος γείωσης με πλάκες [25]

Προς αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης, αφενός μεν δε θα πρέπει να συνυπάρχουν στο χώρο γειωτές από διαφορετικά υλικά και αφετέρου δε θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με αγωγούς από διαφορετικό υλικό. Απαγορεύεται η σύνδεση των πλακών με αγωγό αλουμίνιου ή κράματος.

Γειωτής τύπου “E”

Ο γειωτής “E” αποτελείται ουσιαστικά από δύο στοιχεία. Το πρώτο είναι μορφής “Π” και το δεύτερο μορφής “Γ”, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα

δύο στοιχεία συναρμολογούνται με μεταλλικές γωνίες και κοχλίες-περικόχλια M8 ανοξείδωτα τύπου A2. Κατασκευάζεται από καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό ή γάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο. Ο γειωτής τύπου “Ε” μπορεί να επεκταθεί με περισσότερα στοιχεία “Γ”. Η τιμή της αντίστασης γείωσης μειώνεται όσο προστίθενται στοιχεία “Γ”, όπως απεικονίζεται και στον ακόλουθο πίνακα.



Σχήμα 2.22: Γειωτής τύπου “Ε” [25]

Ειδική αντίσταση (Ωm)	100	200	300	400
Στοιχείο γειωτή	Αντίσταση (Ω)			
1Π	17,5	35,0	70,0	87,6
1Π+1Γ	10,4	20,8	41,6	52,0
1Π+2Γ	7,4	14,8	29,6	37,0
1Π+3Γ	5,7	11,4	22,9	28,7
1Π+4Γ	4,6	9,3	18,7	23,4
1Π+5Γ	3,9	7,9	15,8	19,8
1Π+6Γ	3,4	6,8	13,7	17,1
1Π+7Γ	3,0	6,0	12,1	15,1
1Π+8Γ	2,7	5,4	10,8	13,5

Πίνακας 2.1: Τιμές αντίστασης γείωσης για επεκτάσεις γειωτή καθώς και για διάφορες τιμές ειδικής αντίστασης εδάφους [25]

Επιπροσθέτως, τοποθετείται εντός σκάμματος βάθους τουλάχιστον 1m, πλάτους τουλάχιστον 75cm και μήκους ανάλογου του αριθμού των στοιχείων “Γ” που θα τοποθετηθούν η παρακάτω εικόνα. Η πλήρωση του σκάμματος της γείωσης, γίνεται με καλό χώμα, σκυρόδεμα ή με κάποιο βελτιωτικό γείωσης ή συνδυασμό των παραπάνω. Δεν απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για την τοποθέτησή του.



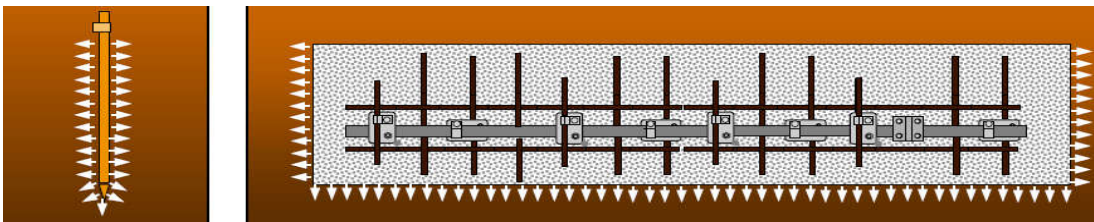
Εικόνα 2.1: Εγκατάσταση γειωτή τύπου “E”, εντός σκάμματος [25]

Περιτύλιξη του αγωγού γείωσης με θερμοσυστελόμενο σωλήνα μήκους 20cm περίπου πριν την έξοδό του από το έδαφος ή το σκυρόδεμα και 20cm περίπου μετά, θεωρείται απαραίτητη καθώς και πινακίδα σημάσεως του γειωτή αν δεν έχει τοποθετηθεί φρεάτιο επισκέψεως. Το κόστος εγκατάστασης είναι χαμηλό και μειώνεται σημαντικά όταν η εγκατάσταση γίνεται κατά τη φάση των χωματουργικών εργασιών της κατασκευής, έχοντας έτσι ως δεδομένο την παρουσία σκαπτικών μηχανημάτων τα οποία μπορούν σε ελάχιστο χρόνο να προχωρήσουν στη διάνοιξη του κατάλληλου ορύγματος.

Θεμελιακή γείωση

Πρόκειται για ένα αγωγίμο σώμα θαμμένο στο έδαφος κάτω από τα θεμέλια ενός κτιρίου ή εγκιβωτισμένο στο σκυρόδεμα της θεμελίωσης του κτιρίου, σε μορφή κλειστού δακτυλίου. Η σχηματική απεικόνιση της θεμελιακής γείωσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα [43].

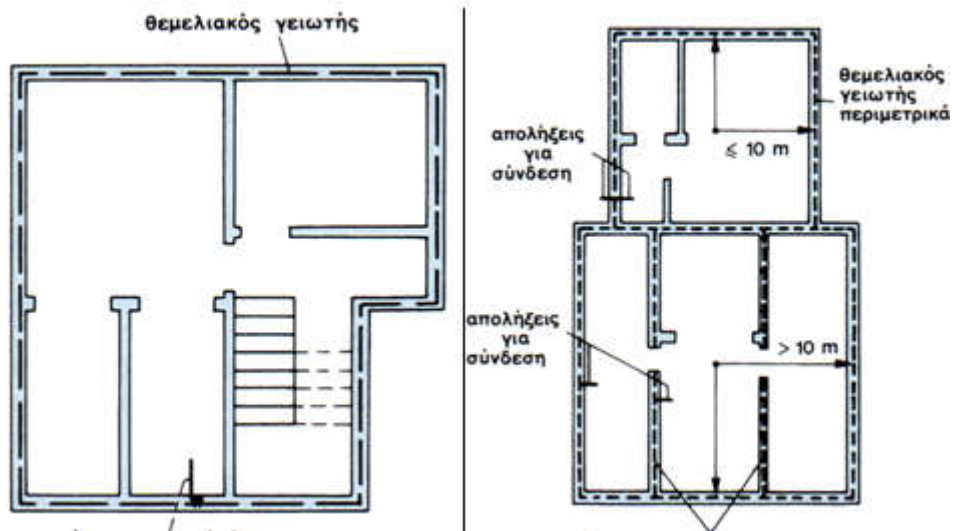
Η θεμελιακή γείωση κατασκευάζεται από γειωτή ταινίας και σπανιότερα από αγωγό κυκλικής διατομής, που τοποθετείται εντός των συνδετήριων δοκαριών των πεδίων ή στα περιμετρικά τοιχεία των θεμελίων του κτιρίου, σε μορφή κλειστού δακτυλίου. Λόγω του ότι το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρό συνήθως όλο το έτος, ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά χαμηλή αντίσταση γείωσης. Η γείωση τοποθετείται στο περιμετρικό θεμέλιο του κτιρίου. Σε εκείνες τις περιπτώσεις που υπάρχει μόνωση κατά της υγρασίας, πρέπει η ταινία γείωσης να τοποθετηθεί προς την πλευρά του εδάφους.



Σχήμα 2.23: Απεικόνιση της θεμελιακής γείωσης [25]

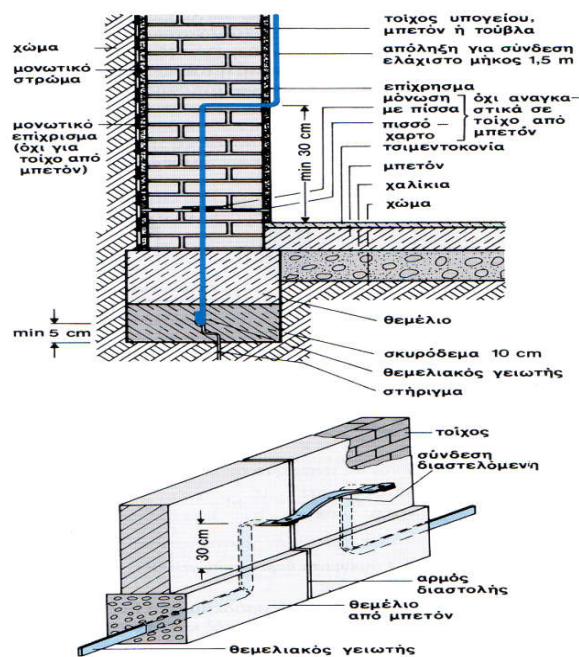
Για κτίρια μεγάλης περιμέτρου συνιστάται η τοποθέτηση εγκαρσίων ή διαμηκών τμημάτων ταινίας, έτσι ώστε κανένα σημείο του υπογείου να μην απέχει περισσότερο από 10m από το γειωτή. Η τιμή της αντίστασης γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει το μήκος της ταινίας, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση της περιμετρικής γείωσης με ταινία.

Όπως ορίζεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3, ως θεμελιακό ηλεκτρόδιο μπορεί να εγκατασταθεί μέσα στο σκυρόδεμα γαλβανισμένη χαλύβδινη ταινία και να συνδεθεί άμεσα με τις χαλύβδινες ράβδους του οπλισμού. Ο χαλκός και ο ανοξείδωτος χάλυβας στο σκυρόδεμα είναι επίσης αποδεκτά και μπορούν να συνδέονται άμεσα με το χαλύβδινο οπλισμό [27]. Επίσης και στο Ευρωπαϊκό Ελληνικό Πρότυπο HD 60364-5-54 αναφέρεται ρητά ότι το θεμελιακό ηλεκτρόδιο μπορεί να αποτελείται από χαλύβδινες ταινίες ή από χαλύβδινους αγωγούς ή από χάλκινους αγωγούς [38].



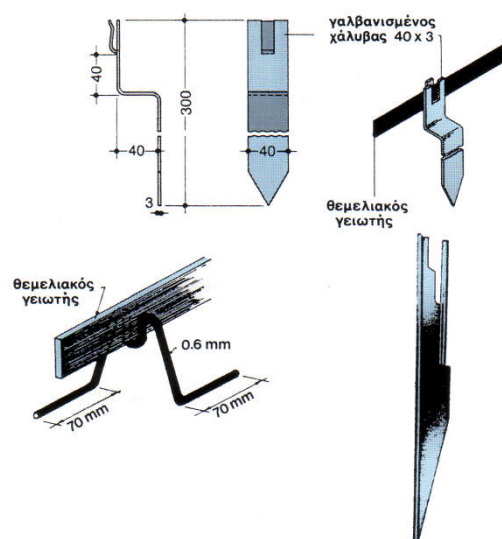
Σχήμα 2.24: Περιγραφή κατόψεων θεμελιακών γειώσεων με και χωρίς εγκάρσια και διαμήκη τμήματα [25]

Ο γειωτής πρέπει να περιβάλλεται παντού από δομημένο σκυρόδεμα και να τοποθετείται σε ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5cm (περίπου 6–10cm), διότι αλλιώς διαβρώνεται. Μετά από την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μια στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6–10cm, όπως στο παρακάτω σχήμα, και εκεί μέσα τοποθετείται μια ταινία με τη μεγάλη της επιφάνεια κάθετη.



Σχήμα 2.25: Ανάλυση της θεμελιακής γείωσης [25]

Το επόμενο σχήμα απεικονίζει διάφορες διατάξεις για να κρατηθεί η ταινία στη θέση της. Ακολούθως τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο. Η όρθια τοποθέτηση της ταινίας εξασφαλίζει άνεση στην τοποθέτηση και μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με το σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση του γειωτή μέσα στο σκυρόδεμα, στη βάση των θεμελίων, εξασφαλίζει αντοχή στη διάβρωση και στις μηχανικές καταπονήσεις. Επιπλέον, ο γειωτής είναι σε υγρό έδαφος όπου η αγωγιμότητα είναι μεγάλη. Συνιστάται να συνδέεται στο γειωτή ο οπλισμός του σκυροδέματος του κτιρίου. Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή. Το μήκος τους είναι 1,5m και τοποθετούνται στον τοίχο του κτιρίου εσωτερικά. Η απόληξη απέχει στο κάτω μέρος της, στην έξοδό της από τον τοίχο, 30cm από το έδαφος. Η σύνδεση με τη λοιπή εγκατάσταση γίνεται με χάλκινο αγωγό διατομής 16mm^2 τουλάχιστον ή καλύτερα 25mm^2 . Στην περίπτωση των θεμελιακών γειώσεων συνδέονται στη θεμελιακή γείωση και τα αλεξικέραυνα, ενδεχομένως μέσω σπινθηριστών.



Σχήμα 2.26: Απεικόνιση στηριγμάτων θεμελιακής γείωσης [25]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης του θεμελιακού γειωτή χρησιμοποιείται ο τύπος του γειωτή ταινίας ή προσεγγιστικά ο τύπος του θεμελιακού γειωτή. Αυτός θεωρεί το γειωτή σαν κυκλικό γειωτή διαμέτρου D , επιφάνειας ίσης με το εμβαδόν κάτοψης των θεμελίων. Σαν αντίσταση εδάφους θα ληφθεί, κατά VDE 0141 η ειδική αντίσταση όχι του σκυροδέματος, αλλά του περιβάλλοντος

εδάφους. Θεμελιακή γείωση προτείνεται, από το ΕΛΟΤ HD384 [18] και το ΕΛΟΤ 1424 [44], σε όλα τα νέα κτίρια.

Με βάση τον κανονισμό του 2014 NEC πρέπει να εγκαθίστανται σε κάθε σύστημα γείωσης και επιβοηθητικές ράβδοι γειώσεως, οποίες θεωρούνται επικουρικό εξάρτημα στο πλέγμα γείωσης. Παρακάτω φαίνεται χαρακτηριστικά ένα τέτοιο ηλεκτρόδιο από την εταιρία AEMC.



Σχήμα 2.27: Βοηθητικά ηλεκτρόδια γείωσης από την AEMC [45]

Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην τιμή της μέτρησης της αντίστασης γείωσης που θα μελετηθεί σε επόμενο κεφάλαιο, με τη βοήθεια του προγράμματος CDEGS.

2.5 Μέθοδοι και υλικά βελτίωσης της τιμής της αντίστασης γείωσης

Ο κυριότερος ρόλος ενός συστήματος γείωσης είναι να μεταφέρει και να διαχέει τα ρεύματα σφάλματος στη γη, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο και με την ελάχιστη δυνατή αντίσταση στη ροή του ρεύματος. Το γεγονός αυτό διασφαλίζει την ακεραιότητα του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων και την ασφάλεια του προσωπικού και οποιουδήποτε κινείται στο γύρω χώρο, λόγω των κλίσεων δυναμικού που εμφανίζονται στο έδαφος από τη ροή των ρευμάτων σφάλματος. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τον ορισμό του ηλεκτροδίου γείωσης, ως αγωγού ενσωματωμένου στη γη και χρησιμοποιούμενου για τη διατήρηση του δυναμικού γης στους αγωγούς που συνδέονται σε αυτόν [46, 47].

Σε πολλές περιπτώσεις η πολυπλοκότητα της δομής του εδάφους είναι τέτοια, ώστε να μη γίνονται εφικτές οι απαιτούμενες κατά περίπτωση τιμές της αντίστασης γείωσης. Γι' αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για τη μείωση της αντίστασης γείωσης. Επειδή πολλές φορές, είτε είναι πολύ ακριβή η επέκταση ενός υφιστάμενου συστήματος γείωσης με την τοποθέτηση περισσότερων ηλεκτροδίων, είτε είναι αδύνατη αυτή η τοποθέτηση λόγω έλλειψης χώρου ή δομής του εδάφους, έχει αναπτυχθεί μια εναλλακτική λύση, αυτή της διαμόρφωσης του εδάφους γύρω από τα ηλεκτρόδια γείωσης με βελτιωτικά υλικά γείωσης.

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι πολλά εδάφη στην Ελλάδα παρουσιάζουν υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης, έχοντας ως κύριο συστατικό συμπαγείς βράχους όμοιους. Το ερώτημα, λοιπόν, είναι πώς μπορεί να κατασκευαστεί ένα σωστό ηλεκτρόδιο γείωσης σε τέτοια εδάφη, το οποίο να παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση γείωσης [48].

Η χρήση βελτιωτικών ειδικής αντίστασης του εδάφους πολλές φορές συνιστάται ειδικά σε βραχώδες εδάφη με ειδική αντίσταση $>2000\Omega\text{m}$. Το βελτιωτικό της ειδικής αντίστασης του εδάφους τοποθετείται εντός του ορύγματος όπου θα εγκατασταθεί το ηλεκτρόδιο της γείωσης και αναμιγνύεται με το φυσικό έδαφος, μειώνοντας τοπικά πλησίον του ηλεκτροδίου γείωσης την ειδική αντίσταση του εδάφους, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης της γείωσης. Η σύσταση όμως των βελτιωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται πρέπει να εξετάζεται, διότι μπορεί να αποβεί μοιραία.

Είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι η πιο οικονομική φυσική χημική ουσία είναι το NaCl γνωστό ως αλάτι. Το αλάτι και μάλιστα σε περιβάλλον υγρασίας παρουσιάζει ιδιαίτερα αγωγίμη συμπεριφορά. Για παράδειγμα το θαλασσινό νερό παρουσιάζει ειδική αντίσταση μόλις $1\Omega\text{m}$, ενώ το καθαρό βρόχινο νερό παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες από $1000\Omega\text{m}$. Οι περισσότερες χημικές ουσίες όμως διαλύονται στο νερό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, με την πάροδο του χρόνου λόγω των βροχών, οι ουσίες αυτές όπως και το αλάτι να διαλύονται ή να παρασύρονται από το νερό, έχοντας ως αποτέλεσμα το έδαφος να επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση [25].

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί, ότι οι Fagan και Lee [49] ήταν από τους πρώτους ερευνητές που πρότειναν ένα είδος θεμελιακής γείωσης, με την ηλεκτρική σύνδεση του ατσάλινου σκελετού του κτιρίου με τον οπλισμό των θεμελίων της κάθε κολόνας. Οι μετρήσεις τους έδειξαν πως τα ηλεκτρόδια γείωσης που προέκυπταν μ' αυτόν τον τρόπο, τα οποία ήταν εγκιβωτισμένα μέσα στο σκυρόδεμα, παρείχαν επαρκώς χαμηλότερες τιμές αντίστασης γείωσης από τις μέχρι τότε συμβατικές μεθόδους γείωσης. Την ιδιότητα αυτήν την απέδωσαν στην αποτελεσματικότητα του σκυροδέματος ως ομοιόμορφης ειδικής αντίστασης «έδαφος», λόγω της αλκαλικής σύνθεσής του και της υγροσκοπικής του φύσης. Επιπλέον, το μπετόν μέσα στο έδαφος έχει την ιδιότητα να απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον χώμα και να κρατά υψηλή την περιεκτικότητά του σε υγρασία, άρα χαμηλή την ειδική αντίστασή του.

Την ίδια περίπου χρονική περίοδο, οι Kutter-Lange [50], McGowan [51], Jones [52] και Veledar και συνεργάτες [53] μελέτησαν τις ηλεκτρικές ιδιότητες του μπεντονίτη και εξέτασαν την περίπτωση χρήσης του ως βελτιωτικό υλικό γειώσεων για τη μείωση της αντίστασης γείωσης κατακόρυφων ράβδων κάτω από πύργους του Συστήματος Μεταφοράς. Σ' αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια βασικά στοιχεία για τον μπεντονίτη, αφού χρησιμοποιείται ευρύτατα, σήμερα, στα συστήματα γείωσης είτε αυτούσιος, είτε ως βάση παραγωγής άλλων βελτιωτικών υλικών γειώσεων.

Ο μπεντονίτης είναι ένα είδος αργίλου που το κύριο συστατικό του είναι ο μοντμοριλλονίτης. Ο μοντμοριλλονίτης είναι ορυκτό πυριτικό άλας σε κρυσταλλική μορφή. Τα πυριτικά ορυκτά είναι ορυκτά βραχώδους μορφής, παραγόμενα από ενώσεις του πυριτίου και του οξυγόνου, τα οποία έχουν σχηματιστεί από ηφαιστειακή δραστηριότητα και αποτελούν το 90% περίπου του φλοιού της γης.

Χημικά, ο μοντμοριλλονίτης μπορεί να προσδιορισθεί ως ένυδρο πυριτιούχο υδροξείδιο του νατρίου, του ασβεστίου, του αλουμινίου και του μαγνησίου $[(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O]$. Η περιεκτικότητά του σε νερό είναι μεταβλητή και διογκώνεται αρκετά όταν απορροφά υγρασία. Σ' αυτήν την ουσία ο μπεντονίτης οφείλει την έντονη υγροσκοπική φύση του. Δρα ως παράγοντας αφύγρανσης του περιβάλλοντος εδάφους, απορροφώντας όλη τη διαθέσιμη, γύρω του, υγρασία και εγκλωβίζοντάς τη στην εσωτερική του δομή [16]. Με την έλλειψη υγρασίας ο μπεντονίτης συρρικνώνεται, αλλά όσο υπάρχει διαθέσιμη

υγρασία γύρω του, διατηρεί την πυκνότητά του. Αν εκτεθεί στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αρχίζει να ξηραίνεται, αλλά τείνει να στεγανοποιηθεί, εμποδίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο την ξηρασία να διεισδύσει στο εσωτερικό του. Προσθέτοντας νερό στον μπεντονίτη, συντελείται μια ισχυρή ηλεκτρολυτική διαδικασία μεταξύ του νερού, του Na_2O (σόδα), του K_2O (ποτάσα), του CaO (ασβεστόλιθος) και άλλων μεταλλικών αλάτων που περιέχονται στον μπεντονίτη και που είναι ιονισμένα, σχηματίζοντας έναν ισχυρό ηλεκτρολύτη ($\text{pH}=8-10$) με πολύ χαμηλή ειδική αντίσταση ($2,5\Omega\text{m}$ σε 300% σχετική υγρασία) [16].

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω θα μπορούσε να πει κανείς ότι με εξαίρεση το σκυρόδεμα, που είναι εξαιρετικά συμπαγές, τα διάφορα βελτιωτικά υλικά γειώσεων που χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα στις εγκαταστάσεις γειώσεων, δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ξεχωριστά και ανεξάρτητα μέρη από το περιβάλλον έδαφος στο οποίο εγχέονται, ούτε και να αγνοηθούν οι αλληλεπιδράσεις μ' αυτό.

Η μείωση της αντίστασης γείωσης προκαλείται από τα εξής ακόλουθα βελτιωτικά υλικά, τα οποία είναι:

- Φυτικά Παρασκευάσματα
 - PCOC
 - Τύρφη κοκοφοίνικα, πούδρα κακάο, πούδρα ρυζιού κ.α
 - Αλάτι (NaCl)
- Χημικά παρασκευάσματα
 - Gels πυριτικών αλάτων, γελφεροκυανιδίου Cu , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, CuSO_4 , κ.α
 - Υδρόφιλα πολυμερή
- Συνθετικά παρασκευάσματα
 - Ίλυ γεώτρησης πετρελαίου
 - Κοκκώδη σκωρία υψικαμινίου
 - Ιπτάμενη τέφρα
 - Στάχτη από ελαστικά
 - Μπετονίτης
 - Σκυρόδεμα

Αυτό σημαίνει ότι από τη στιγμή έγχυσης του βελτιωτικού υλικού στο έδαφος αρχίζουν μια σειρά από αντιδράσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Τα φαινόμενα δε αυτά είναι εντονότερα, όταν ο τύπος του βελτιωτικού είναι τέτοιος, που απαιτεί ανάμειξη σε προκαθορισμένη από τον παρασκευαστή αναλογία με το έδαφος στο οποίο θα εγχυθεί. Ωστόσο, η μέτρηση της ειδικής αντίστασης του υλικού στο εργαστήριο δεν μπορεί να αποτελεί παρά μόνο ένα ενδεικτικό μέτρο της αγωγιμότητάς του και όχι μία δεδομένη και σταθερή τιμή, που θα καθορίσει μονοδιάστατα την αντίσταση γείωσης του συστήματος [11].

Άλλωστε, η ειδική αντίσταση του υλικού που μετριέται στο εργαστήριο ή που αναγράφεται στις προδιαγραφές του από την παρασκευάστρια εταιρία πάντοτε αναφέρεται σε συγκεκριμένο ποσοστό σχετικής υγρασίας. Είναι αυτονόητο ότι η υγρασία αυτή δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν γύρω από το υλικό και μέσα σ' αυτό. Έρευνες έχουν δείξει ότι τόσο η ειδική αντίσταση του εδάφους, όσο και η αντίσταση γείωσης είναι διαρκώς μεταβαλλόμενες ποσότητες συναρτήσεως του χρόνου και της υγρασίας του εδάφους.

Συνοψίζοντας, οι λόγοι αυτών των σημαντικών αποκλίσεων μεταξύ εργαστηριακών και υπαίθριων μετρήσεων είναι οι ακόλουθοι [11]:

- ✓ Η υγρασία του βελτιωτικού υλικού διατηρείται καλύτερα μέσα στο έδαφος απ' ότι στον αέρα, άρα η ειδική αντίστασή του μέσα στο περιβάλλον έδαφος εμφανίζεται μικρότερη από τη μετρούμενη στο εργαστήριο.
- ✓ Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ειδική αντίσταση του υλικού και εν γένει του εδάφους.
- ✓ Η κινητικότητα των ιόντων μέσα στο υλικό, που καθορίζουν την αγωγιμότητά του, είναι εξάρτηση με την αλληλεπίδραση του υλικού με το περιβάλλον έδαφος.
- ✓ Η ειδική αντίσταση του βελτιωτικού υλικού αλλά και του εδάφους μεταβάλλονται με την πυκνότητά τους. Οι πυκνότητες αυτές αλλάζουν στιγμιαία κατά τη διαδικασία διάνοιξης των ορυγμάτων και έγχυσης του υλικού, με αποτέλεσμα να αλλάζουν και οι ειδικές αντιστάσεις, έως ότου αποκατασταθεί ισορροπία και πολύ καλή επαφή των δύο υλικών.

3^ο Κεφάλαιο – Περιγραφή Διατάξεων και Προγράμματος

3.1 Περιγραφή των υπό μελέτη διατάξεων

Σε περίπτωση γείωσης μεταλλικών των μέσων ζεύξης και προστασίας μέσης τάσης με πίνακα ελέγχου ή χειριστήριο από το έδαφος κατασκευάζονται γειώσεις σύμφωνα με τις τυποποιημένες κατασκευές FCP-31Π και FCP-31ΠΙ, όπως αυτές ορίζονται στο εγχειρίδιο τυποποιημένων κατασκευών [9].

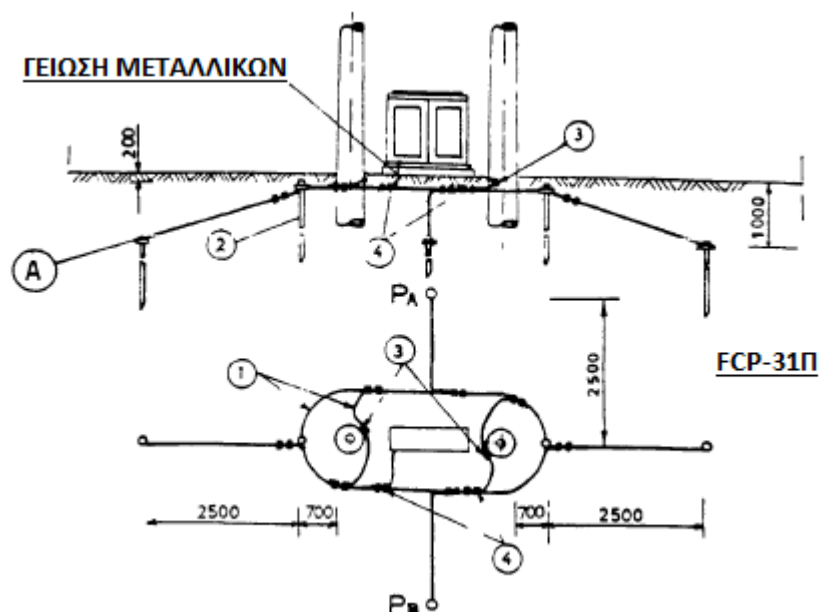
Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι δύο τυποποιημένες κατασκευές FCP-31Π και FCP-31ΠΙ.

Για τη δημιουργία της κατασκευής FCP-31Π χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

A/A	Περιγραφή	Ποσότητα
1	Αγωγός Χαλκού Πολύκλωνος 35mm ² Επικασσιτερωμένος	24 m
2	Ράβδος Γειώσεως Μήκους 2.5m	6
3	Κοχλιοσυνδετήρας Γειώσεως Τύπου B	2
4	Υλικά Συνδέσεως κατά FC-5Π	9

Πίνακας 3.1: Απαιτούμενα για την υλοποίηση της κατασκευής FCP-31Π

Παρακάτω ακολουθεί το σχήμα για την τυποποιημένη κατασκευή FCP-31Π



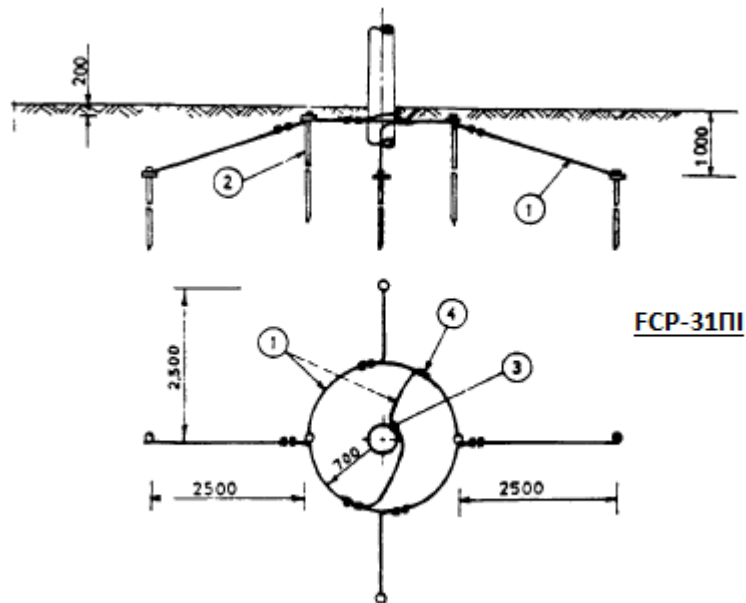
Σχήμα 3.1: Εναέριος Υ/Σ διανομής – Τσιμεντένιοι Στύλοι –FCP-31Π [4]

Για τη δημιουργία της κατασκευής FCP-31Π χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

A/A	Περιγραφή	Ποσότητα
1	Αγωγός Χαλκού Πολύκλωνος 35mm ² Επικασσιτερωμένος	20 m
2	Ράβδος Γειώσεως Μήκους 2.5m	6
3	Κοχλιοσυνδετήρας Γειώσεως Τύπου B	1
4	Υλικά Συνδέσεως κατά FC-5Π	6

Πίνακας 3.2: Απαιτούμενα για την υλοποίηση της κατασκευής FCP-31Π

Παρακάτω ακολουθεί το σχήμα για την τυποποιημένη κατασκευή FCP-31Π



Σχήμα 3.2: Εναέριος Υ/Σ διανομής – Τσιμεντένιοι Στύλοι –FCP-31ΠΙ [4]

Τα δύο παραπάνω μοντέλα κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα Autocad ώστε να χρησιμοποιηθούν στο κατάλληλο πρόγραμμα CDEGS που διαθέτει το εργαστήριο υψηλών τάσεων, προκειμένου να επιλυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα που ανατέθηκε μέσω της παρούσας εργασίας.

Προκειμένου να εξαχθούν ορθά και αξιόπιστα αποτελέσματα και για τα δύο μοντέλα υποσταθμών προσομοιώνονται αρκετά σενάρια με τη βοήθεια του προγράμματος CDEGS, τα οποία αναλύονται εκτενέστερα παρακάτω.

Προς την κατεύθυνση αυτή γίνονται οι υπολογισμοί μας για τις διάφορες περιπτώσεις υποσταθμών, προκειμένου να διερευνηθεί ή ακόμα και να θεραπευθεί το ανωτέρω πρόβλημα.

Το θέμα της τιμής της αντίστασης γείωσης των μεταλλικών μερών του υποσταθμού, όταν γίνεται διαχωρισμός των γειώσεων, προτείνεται να καθοριστεί στα 40 Ω, σύμφωνα και με τα Διεθνή Πρότυπα, καθώς αποτελεί μέρος του ευρύτερου θέματος γείωσης των μεταλλικών μερών του δικτύου, προκειμένου να αποφευχθούν επικίνδυνες τάσεις στην περίπτωση υπερπηδήσεως Μέσης Τάσης προς τα μεταλλικά αντικείμενα.

Θυμίζοντας πάλι την οδηγία 119 [10], η αποτελεσματική γείωση δύναται να επιτευχθεί είτε λόγω της χαμηλής τιμής της αντίστασης γείωσης (κάτω των 2Ω ή 1Ω ως προστασία, η οποία και ελήφθη υπόψιν κατά την εξέταση του θέματος

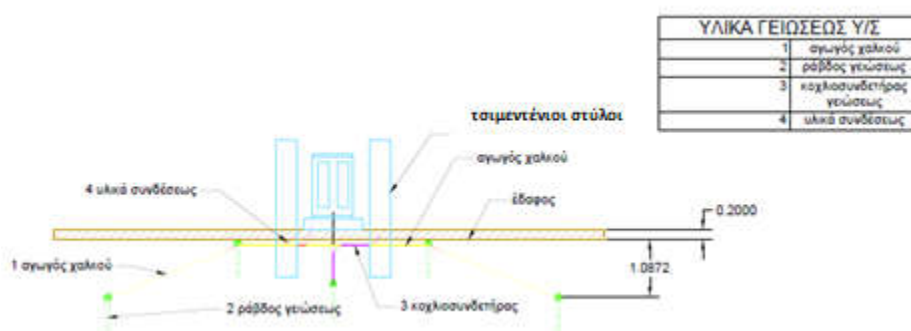
των παραλλήλων οδεύσεων), είτε λόγω διαμόρφωσης της κατάλληλης γείωσης, όταν έχει μεγαλύτερη τιμή, προκειμένου να μην προκαλούνται επικίνδυνες τάσεις επαφής και βηματικές.

Οι αποτελεσματικές γειώσεις θα πρέπει να έχουν γενικώς τιμή μικρότερη των 40 Ω και η διαμόρφωσή τους να είναι τέτοια ώστε να μην αναπτύσσονται επικίνδυνες τάσεις επαφής και βηματικές σε συνδυασμό με το χρόνο λειτουργίας των προστασιών. Το θέμα αυτό εξετάζεται, περιλαμβανομένης ως μέσο αύξησης της αποτελεσματικότητας των γειώσεων και της χρησιμοποίησης του αγωγού γης.

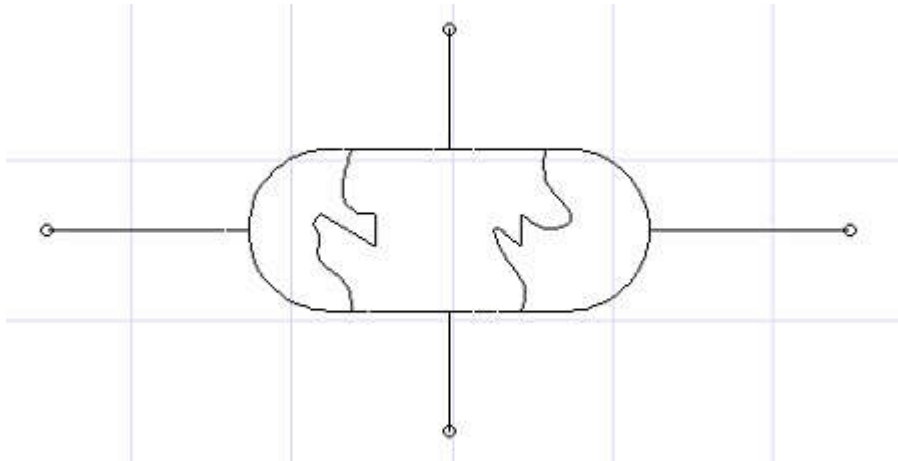
Στην περίπτωση λοιπόν που η αντίσταση γείωσης του ουδετέρου είναι μεγαλύτερη από 1Ω (ή 2Ω για ξύλινους στύλους) και ως εκ τούτου απαιτείται ξεχωριστή γείωση MT, ποια θα πρέπει να είναι η τιμή αυτής (οπωσδήποτε κάτω από 40Ω) για να είναι αποτελεσματική, εξετάζοντας τις διάφορες διατάξεις Y/Σ MT/XT, το ρεύμα σφάλματος, τις καμπύλες των μέσων προστασίας και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του συστήματος γείωσης.

Εκτός από το ίδιο το σύστημα γείωσης, όπως η ειδική αντίσταση εδάφους, τα ηλεκτρόδια κ.α., ρόλο παίζουν και οι καμπύλες των μέσων προστασίας.

Ακολούθως απεικονίζεται η σχεδίαση της τυποποιημένης κατασκευής FCP-31Π

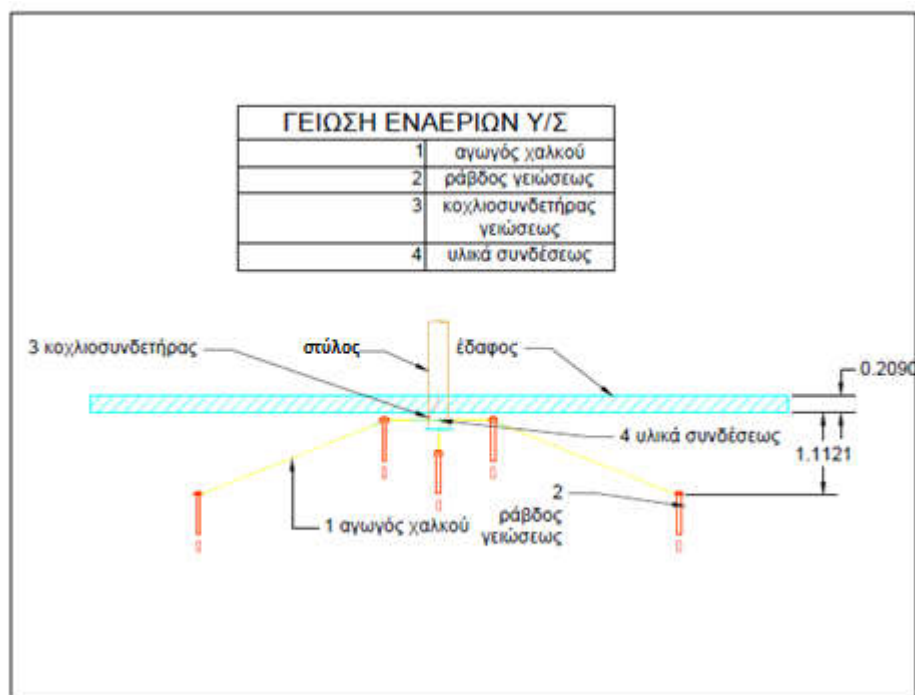


Εικόνα 3.1: Σχεδιασμός της τυποποιημένης κατασκευής FCP-31Π

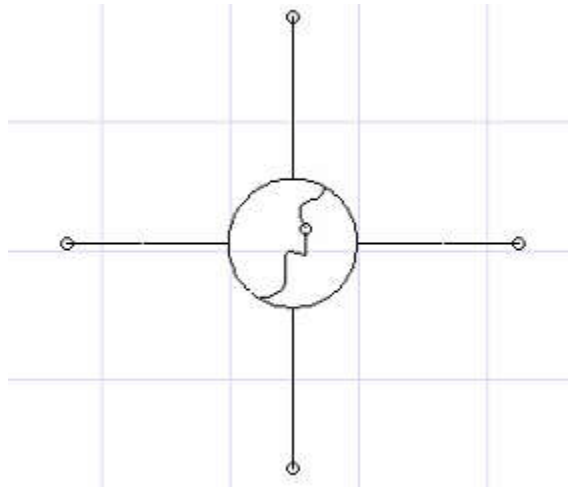


Εικόνα 3.2: Η απεικόνιση της κατασκευής FCP-31Π στο πρόγραμμα CDEGS

Ακολούθως απεικονίζεται η σχεδίαση της τυποποιημένης κατασκευής FCP-31ΠΙ



Εικόνα 3.3: Σχεδιασμός της τυποποιημένης κατασκευής FCP-31ΠΙ



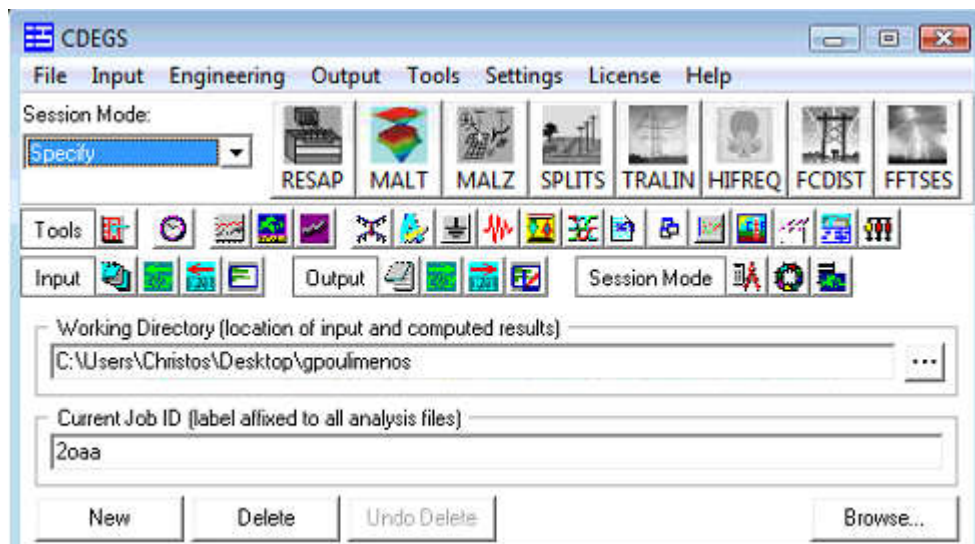
Εικόνα 3.4: Η απεικόνιση της κατασκευής FCP-31ΠΙ στο πρόγραμμα CDEGS

3.2 Περιγραφή του προγράμματος προσομοίωσης

Όπως αναφέραμε το πακέτο λογισμικού CDEGS (Current Distribution Electromagnetic Interference Grounding and Soil Structure Analysis, Version 14.3.95) της εταιρείας SES χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του συστήματος γείωσης. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε χωρίζεται σε τρία μέρη, την καταχώρηση δεδομένων, όπου γίνεται ο ορισμός των παραμέτρων του εδάφους και του συστήματος γείωσης, την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος υπό τις συνθήκες που ορίσαμε στο πρώτο μέρος και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, αριθμητικά και με τη μορφή γραφημάτων.

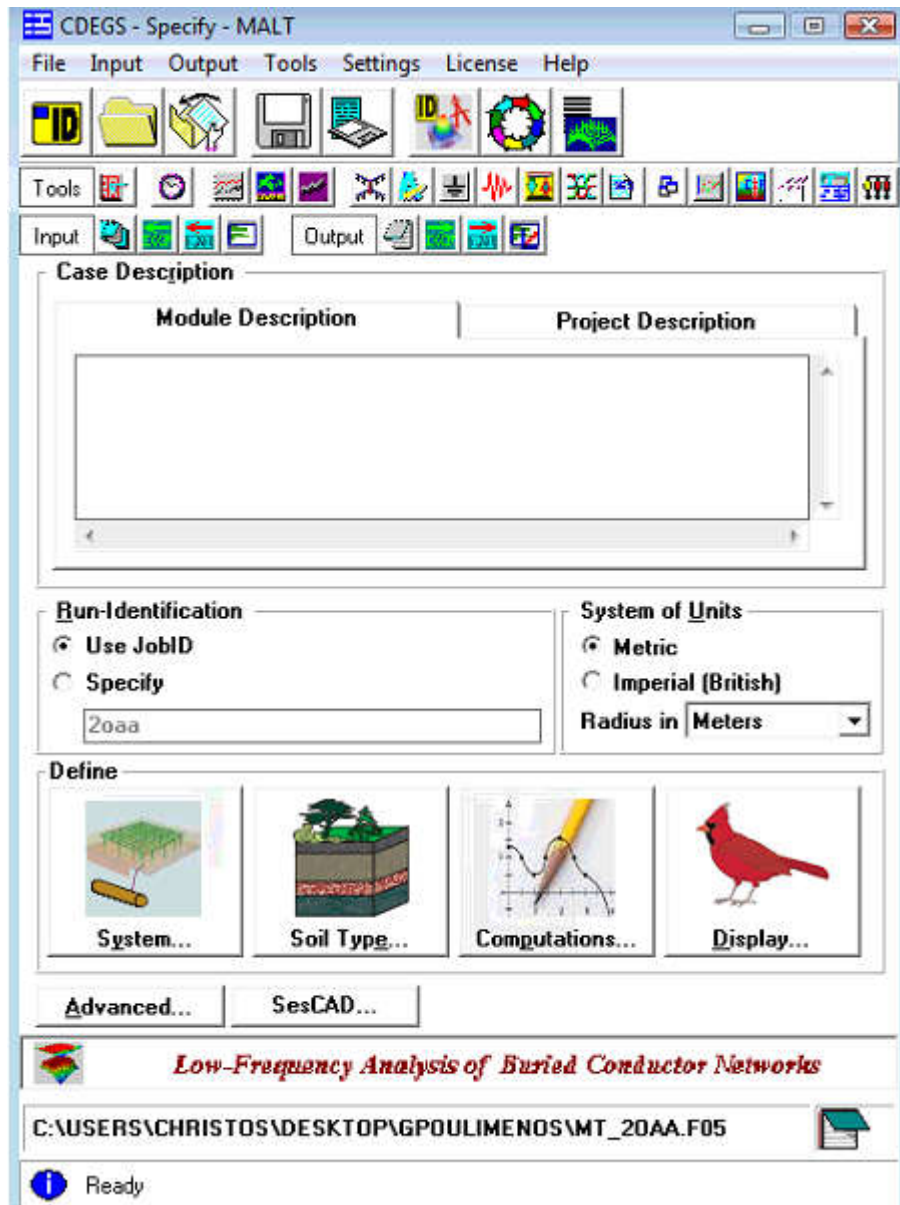
3.2.1 Εισαγωγή στη λειτουργία του CDEGS

Εκτελούμε το πρόγραμμα CDEGS.exe. Στο πρώτο βήμα, μας ζητάει να επιλέξουμε ένα Working Directory και ένα Current Job ID. Κατόπιν, επιλέγουμε το σημείο (φάκελο) στο οποίο θέλουμε να αποθηκεύονται τα αρχεία, καθώς επίσης και τα διακριτά ονόματα αρχείων εισόδου και εξόδου, ένα για κάθε διαφορετικό αρχείο που θα επεξεργαστούμε, ώστε να είναι εύκολα αναγνωρίσιμο από τον χρήστη.



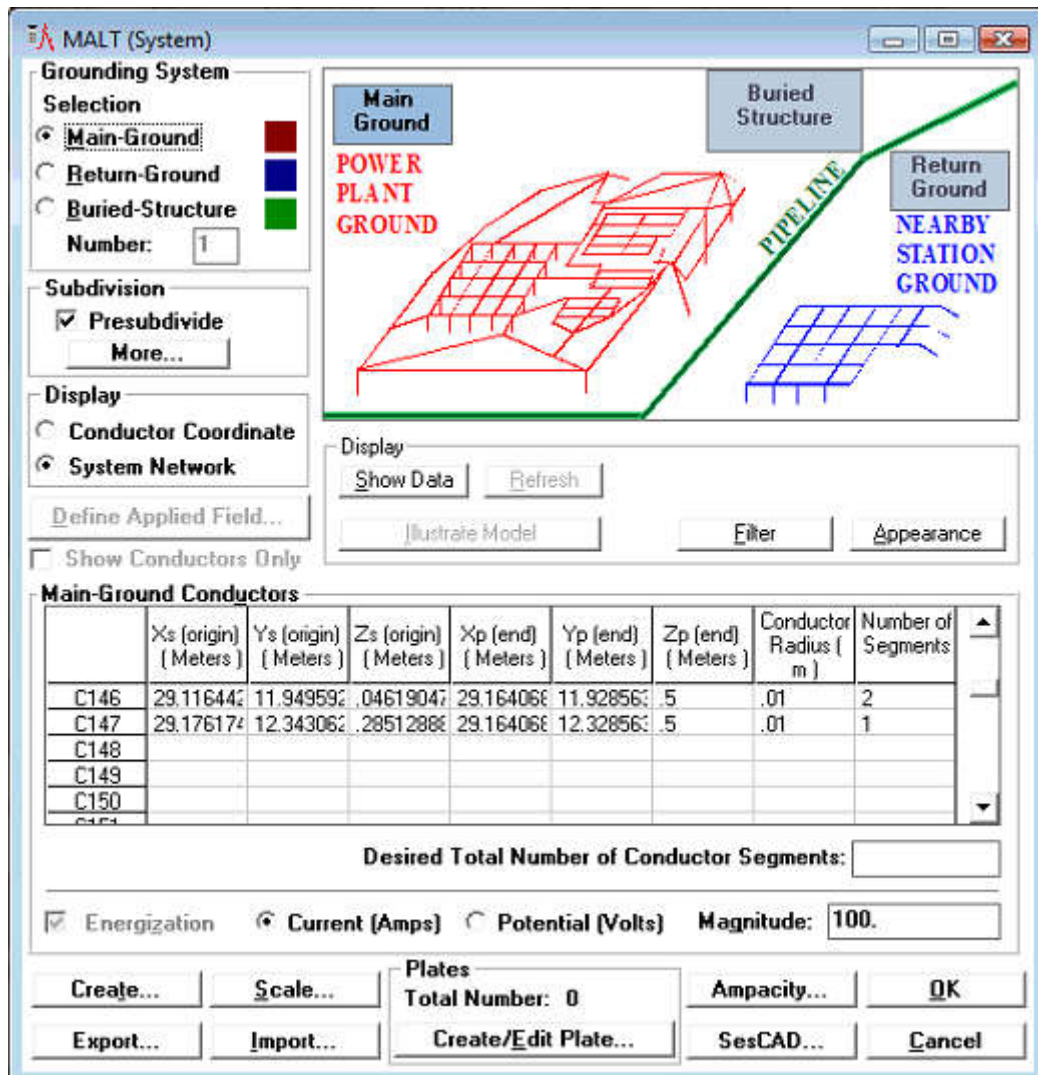
Εικόνα 3.5: Αρχική επιφάνεια του προγράμματος CDEGS

Αφού επιλέξαμε το κατάλληλο σημείο αποθήκευσης και το όνομα του αρχείου προχωράμε στο επόμενο βήμα το οποίο περιλαμβάνει την επιλογή της εφαρμογής που μας ενδιαφέρει. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήσαμε την εφαρμογή MALT. Κατόπιν, πατώντας την εφαρμογή MALT και έχοντας επιλέξει την διαδικασία Specify εμφανίζεται η ακόλουθη οθόνη όπου και επιλέγουμε το USE JobID προκειμένου να επεξεργαστούμε αποκλειστικά το αρχείο που επιλέξαμε.



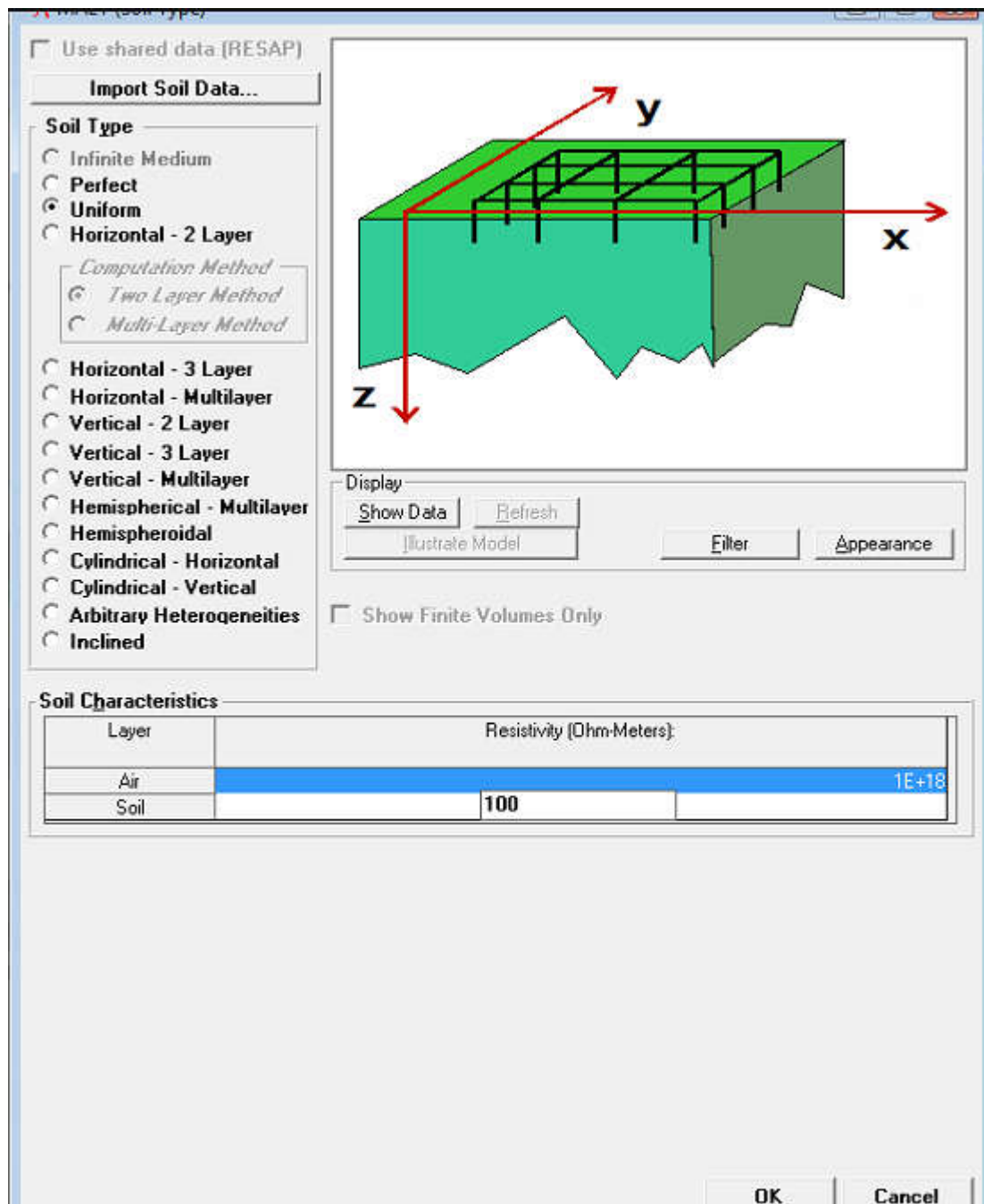
Εικόνα 3.6: Εφαρμογή MALT του προγράμματος CDEGS

Στη συνέχεια, προχωράμε στην δημιουργία του συστήματος γείωσης μέσω της επιλογής System. Επιλέγουμε το ρεύμα σφάλματος που διαρρέει το σύστημα γείωσης, όπως αυτό απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα. Ο καθορισμός του συστήματος γείωσης μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Αρχικά παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής πληροφοριών όπως οι διαστάσεις των αγωγών ή του πλέγματος, η διάταξη τους, το υλικό τους.



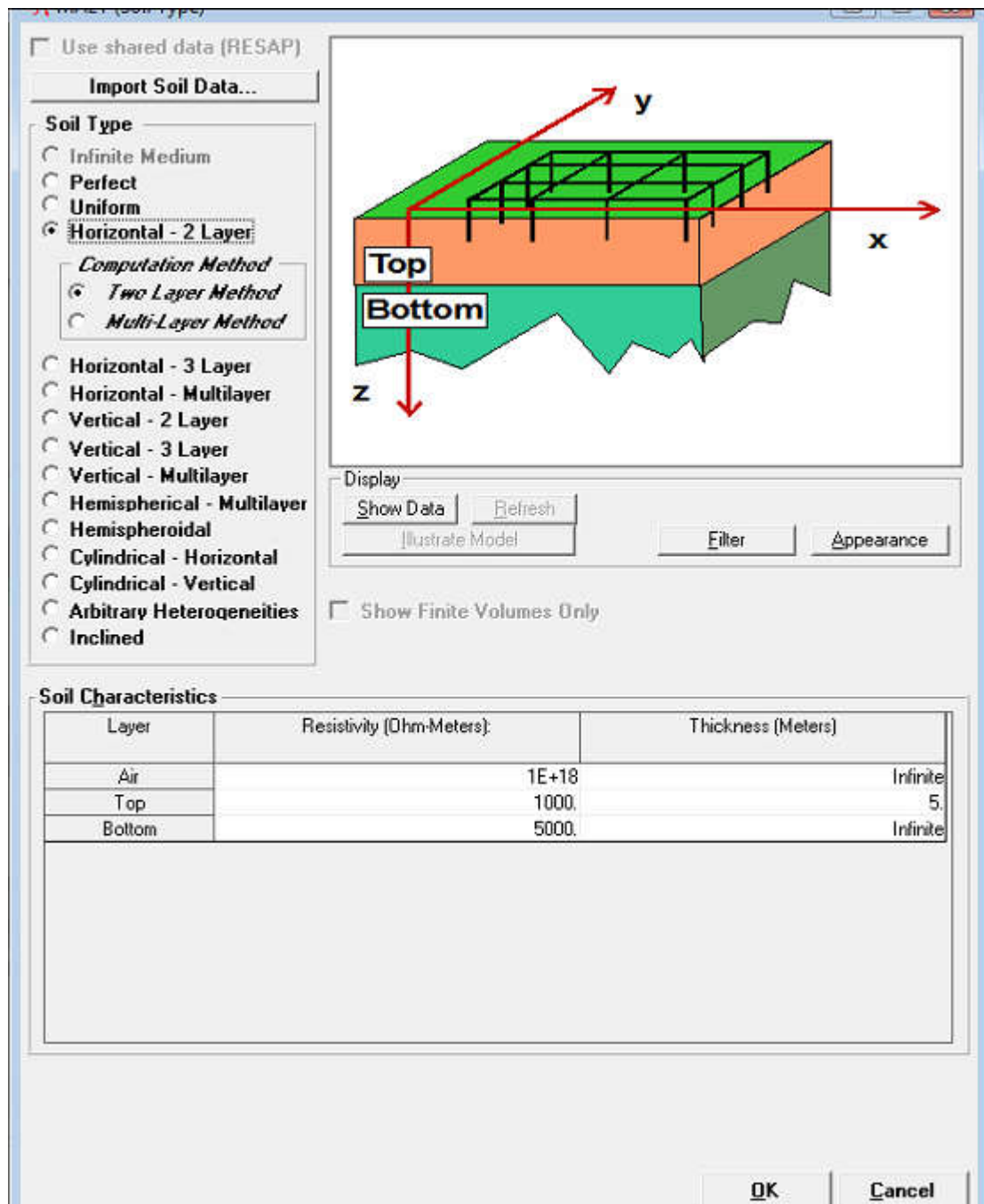
Εικόνα 3.7: Εισαγωγής δεδομένων για το σύστημα γείωσης

Επιπλέον, πατώντας το Soil Type επιλέγουμε το μοντέλου εδάφους που προσεγγίζει το έδαφος στο οποίο θα τοποθετηθεί το πλέγμα γείωσης. Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκαν διάφορα σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν ομοιόμορφο μοντέλο εδάφους διαφορετικής ειδικής αντίστασης καθώς και μη ομοιόμορφο.



Εικόνα 3.8: Εισαγωγή δεδομένων για ομοιόμορφο έδαφος, στο MALT

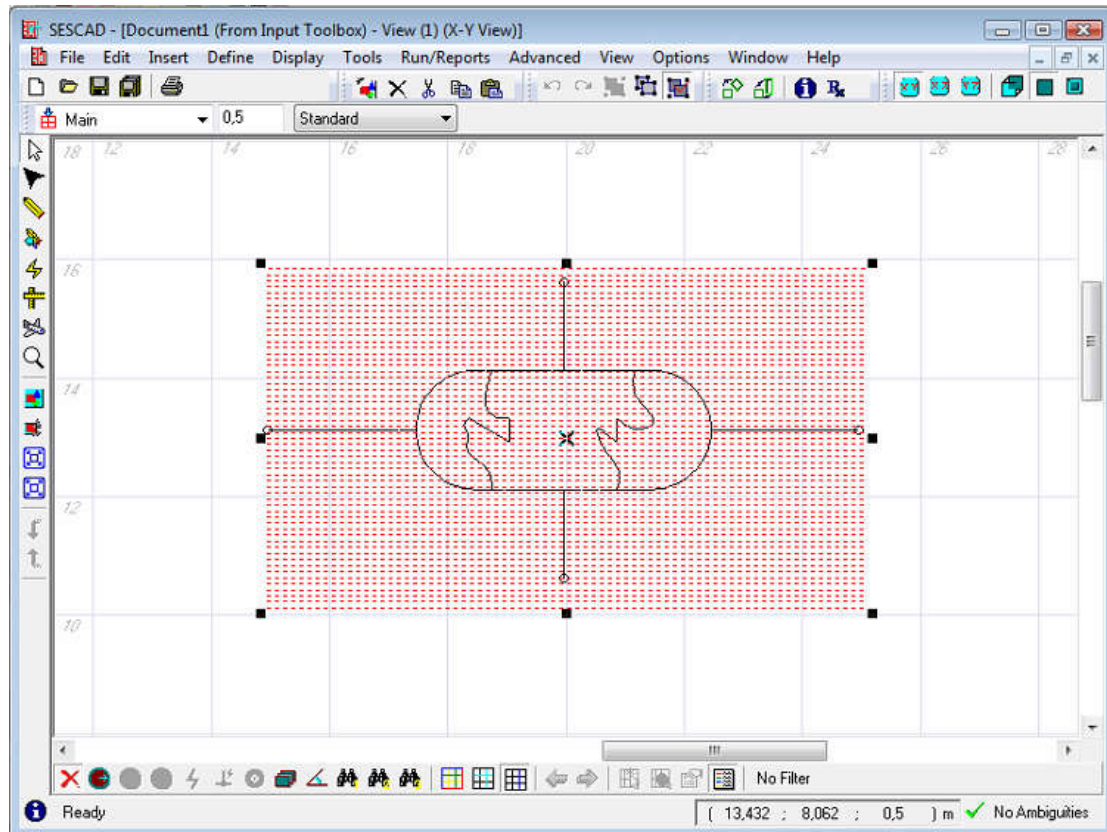
Στις περιπτώσεις θεώρησης μη ομοιόμορφου μοντέλου εδάφους εισάγουμε δεδομένα τόσο για την ειδική αντίσταση όσο και για το πάχος του κάθε στρώματος. Το τελευταίο στρώμα θεωρείται ότι έχει άπειρο βάθος, όπως αυτά απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.9: Εισαγωγή δεδομένων για μη ομοιόμορφο έδαφος, στο MALT

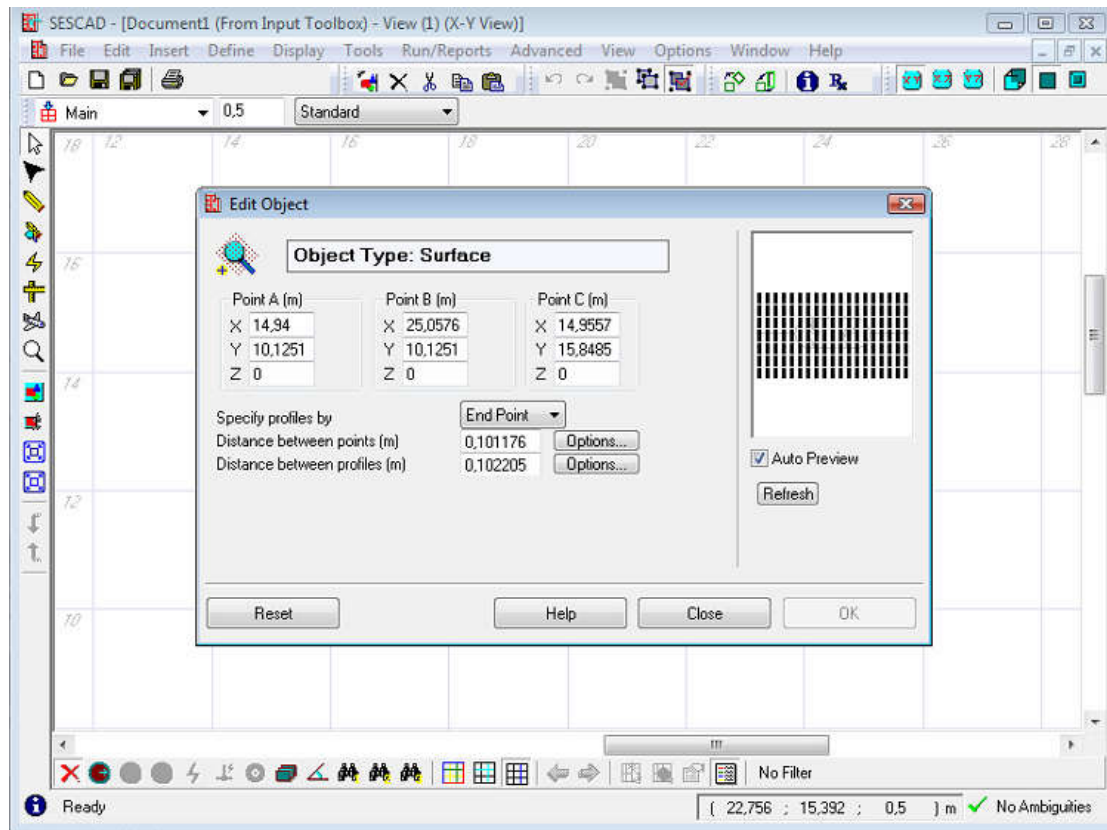
3.2.2 SESCAD

Η διαδικασία σχεδιασμού του πλέγματος γείωσης μπορεί να γίνει με χειροκίνητο τρόπο, σχεδιάζοντας το πλέγμα γείωσης με γραφικό τρόπο μέσα από την επιλογή SESCAD, ή σχεδιάζοντάς το στο Autocad και κατόπιν φορτώνοντάς το στο πρόγραμμα.




Εικόνα 3.10: Γραφική απεικόνιση του συστήματος γείωσης στο SESCAD

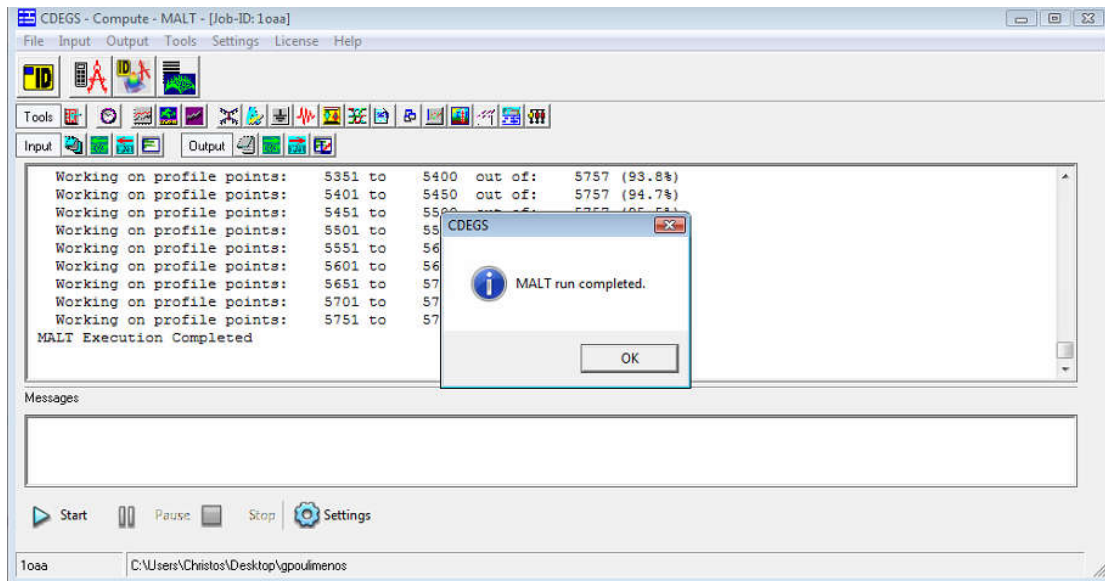
Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει τα χαρακτηριστικά διαστάσεων που ορίζουμε και αν θέλουμε μπορούμε να τροποποιήσουμε στο πλέγμα μας.



Εικόνα 3.11: Επιλογή χαρακτηριστικών του συστήματος γείωσης στο SESCAD

3.2.3 Προσομοίωση

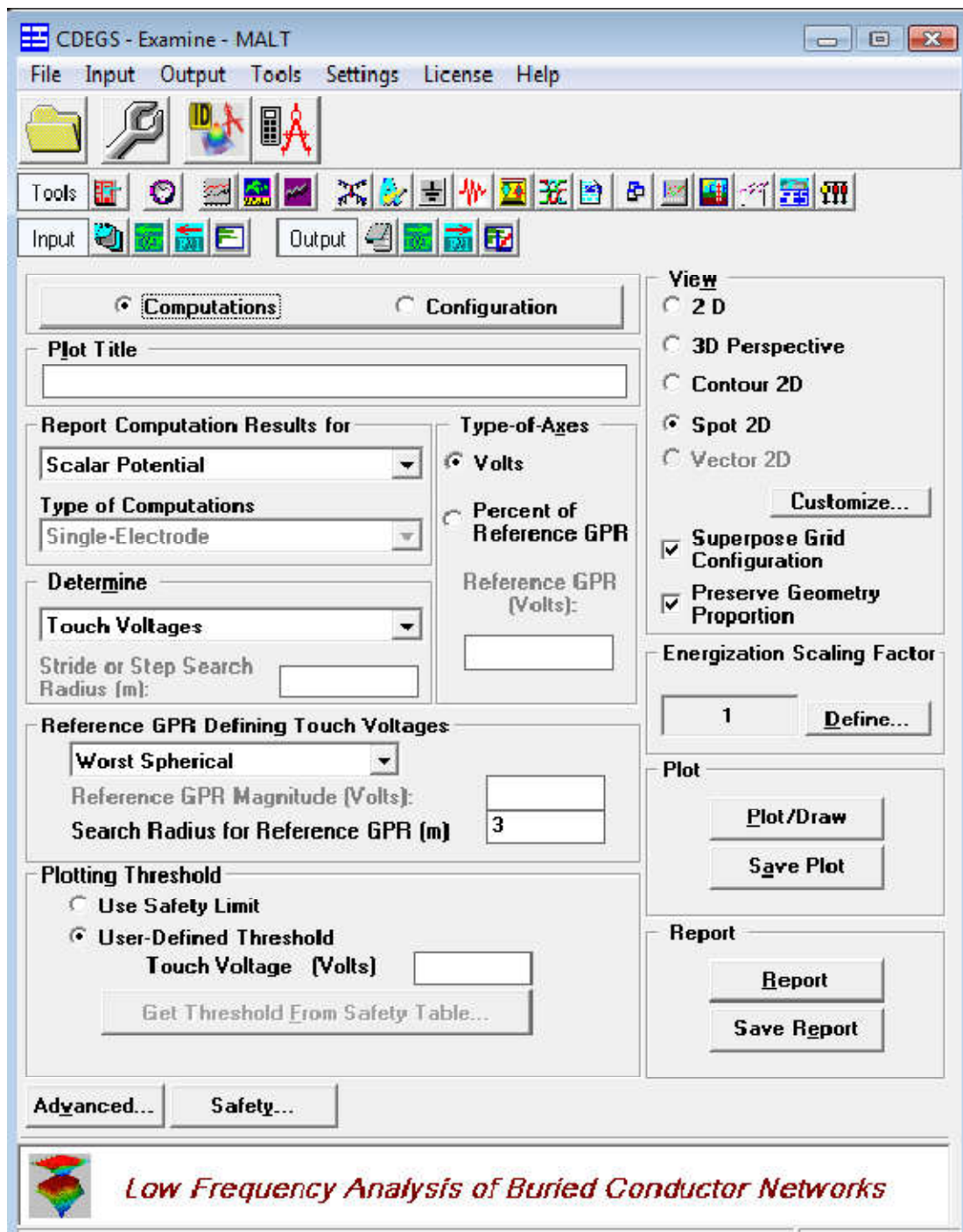
Για να προχωρήσουμε στην προσομοίωση του συστήματος γείωσης επιλέγουμε από την αρχική οθόνη εισόδου του MALT το συγκεκριμένο  σύμβολο, με τις παραμέτρους και τις συνθήκες που του ορίσαμε κατά την διάρκεια της σχεδίασης. Η οθόνη μας, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσομοίωσης, απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα, όπου στο πάνω μέρος γίνεται εμφανές ότι έχουμε μεταφερθεί στην επιλογή **Compute** του MATL. Ως αποτέλεσμα η προσομοίωση δίνει τα αναπτυσσόμενα δυναμικά στην επιφάνεια του εδάφους (βηματική τάση, τάση επαφής), τα ανεκτά όρια τάσεων για τον άνθρωπο, το GPR, κ.ο.κ.



Εικόνα 3.12: Οθόνη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσομοίωσης

3.2.4 Υπολογισμός και εξαγωγή αποτελεσμάτων

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία προσομοίωσης, επιλέγοντας την ενότητα **Examine** του MALT και την δυνατότητα **Computation** το πρόγραμμά μας εμφανίζει την ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.13: Οθόνη μετά το πέρας της διαδικασίας προσομοίωσης

Ακολούθως θα δούμε, αφού πρώτα αναλύσουμε, την παρακάτω εικόνα που σχετίζεται με τον καθορισμό των κριτηρίων ασφαλείας για το σύστημά μας. Σ' αυτό το σημείο ορίζουμε την συχνότητα και την διάρκεια εκκαθάρισης του ρεύματος σφάλματος καθώς επίσης και το πρότυπο σύμφωνα με το οποίο θα εξαχθούν τα γραφήματα.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα προσθήκη ενός επιφανειακού στρώματος με υλικό μεγάλης ειδικής αντίστασης για την αύξηση των ορίων των επιτρεπτών τάσεων.

Επιπλέον, η συχνότητα ορίζεται ίση με 50Hz καθώς στον ελλαδικό χώρο αυτές είναι οι συχνότητες σφάλματος. Επίσης, στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει οριστεί η διάρκεια εκκαθάρισης σφάλματος να είναι ίση με 0,5 sec, 0,35 sec και 0,2 sec και τα αποτελέσματα να εξαχθούν με βάση το πρότυπο IEEE.

Τέλος, ορίζουμε σύμφωνα με πιο πρότυπο να γίνει ο υπολογισμός και η γραφική αναπαράσταση των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.

Στη συγκεκριμένη εργασία ορίσαμε τα εξής:

- μέθοδο υπολογισμού ρεύματος μαρμαρυγής τα 70 KG-IEEE
- μέθοδο υπολογισμού αντίστασης ποδιού IEEE Std. 80-2000

The screenshot shows the SAFETY software interface with the following settings:

- Fault Clearing Time (sec):** 0.5
- Fibrillation Current Calculation Method:** 70KG-IEEE
- Body Resistance:** IEEE (selected)
- IEC Percentage:** 75% (selected)
- Resistivity:** Sub-Surface Uniform Soil Layer Resistivity (Ohm-m): 1000.0
- Foot Resistance Calculation Method:** IEEE Std.80-2000
- IEC Options:** IEC Standard Revision: 2005, Body Resistance Curve: 95% of Population Exceeds Curve, Contact Moisture: Dry
- Reference Insulating Surface Layer:** Surface Layer Thickness: 10 Centimeters, Surface Resistivity (Ohm-m): 2500
- Safety Limits (Volts):** Safe Touch Voltage: 890.6, Safe Step Voltage: 2935.0
- Save Settings:** for MALT Only (selected)

Εικόνα 3.14: Καθορισμός κριτηρίων ασφαλείας

Επιπροσθέτως, στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα όρια ασφαλείας σύμφωνα με τον πρότυπο για τον υπολογισμό των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής, καθώς και πως αυτά μεταβάλλονται στην περίπτωση αλλαγής του χρόνου εκκαθάρισης σφάλματος.

Safety Calculation Table
Please select Touch and Step voltages from this table:

Surface Layer Resistivity	Fault Clearing Time					
	0.2 sec		0.5 sec		0.75 sec	
	Step (v)Voltage	Touch (v)Voltage	Step (v)Voltage	Touch (v)Voltage	Step (v)Voltage	Touch (v)Voltage
NONE	2217.2	783.7	1516.1	535.9	1261.9	446.0
500.0	1445.7	590.8	988.6	404.0	822.8	336.2
NONE	2217.2	783.7	1516.1	535.9	1261.9	446.0
1500.0	2928.6	961.5	2002.5	657.5	1666.7	547.2
2000.0	3616.4	1133.5	2472.8	775.0	2058.1	645.1

Modify Safety Table Scenarios Refresh Safety Table

Fault Clearing Time Scenarios (sec)

Lower Bound:

Average Scenario:

Upper Bound:

Insulating Surface Layer Scenarios

Number of Surface Resistivities:

Starting Surface Resistivity (Ohm-m):

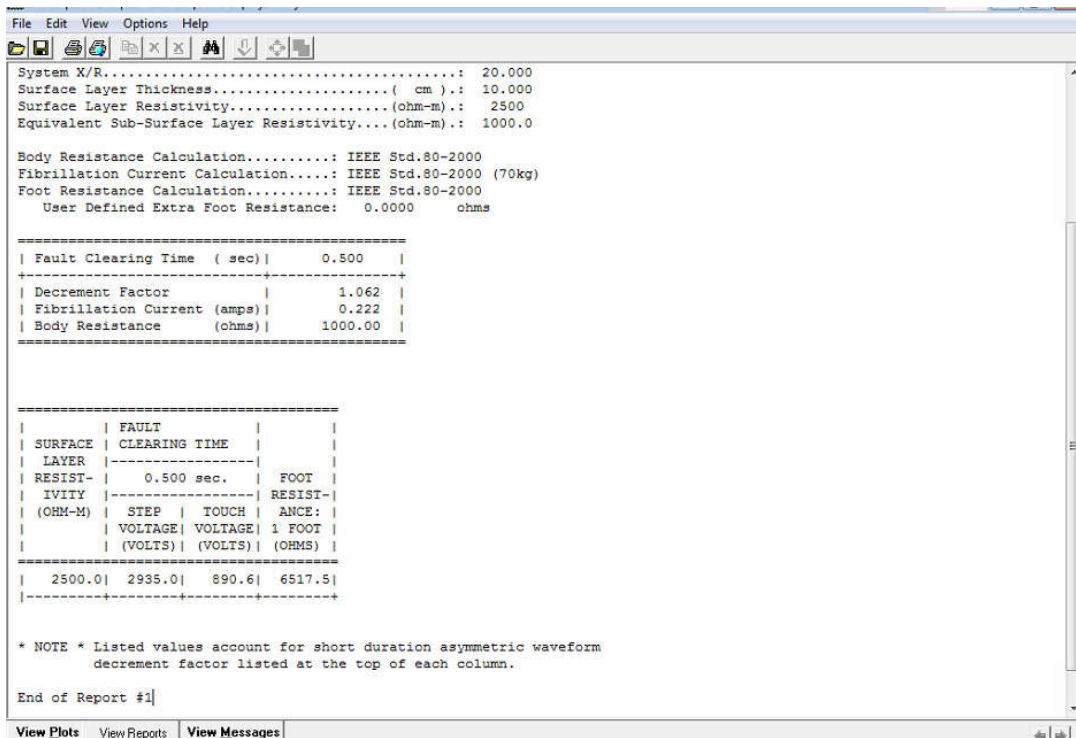
Incremental Surface Resistivity (Ohm-m):

Surface Layer Thickness:

Safety Table Scenarios Report

Εικόνα 3.15: Όρια ασφαλείας βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής

Ακολούθως, πατώντας την επιλογή του «**Generate Safety Threshold Limits and Report**» εμφανίζεται μία έκθεση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στα οποία περιλαμβάνονται η αντίσταση του ποδιού, η τιμή του ρεύματος που δύναται να προκαλέσει καρδιακή μαρμαρυγή, η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος, καθώς και τα όρια επιτρεπτών τάσεων, βηματικής και τάσης επαφής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.16: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε μορφή κειμένου

Τέλος, με την χρήση της εντολής Plot/Draw εμφανίζεται στην οθόνη η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων εξόδου για τις βηματικές τάσεις και τις τάσεις επαφής, από την συγκεκριμένη προσομοίωση.

Η Γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης παρουσιάζεται αναλυτικά, για τα διάφορα σενάρια προσομοίωσης που εκτελέστηκαν, στα αποτελέσματα.

4^ο Κεφάλαιο - Σενάρια και Αποτελέσματα Προσομοίωσης

4.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο υπολογίζεται η αντίσταση γείωσης και εντοπίζεται η διαφορετικότητα στα όρια των επιτρεπτών αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής στα δύο μοντέλα υποσταθμών MT/XT που χρησιμοποιεί το Ελληνικό Σύστημα Διανομής, μέσω των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί πως μικρές αλλαγές σε καίριας σημασίας παραμέτρους της σχεδίασης των πλεγμάτων γείωσης, επιδρούν στον καθορισμό των ορίων των βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής και κατά συνέπεια στον προσδιορισμό των ορίων ασφαλείας σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE 80-2013 [16]. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα λογισμικού CDEGS όπου, διαθέτει το εργαστήριο Υψηλών Τάσεων, και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.2 Δομή μοντέλου εδάφους

Η δομή του εδάφους όπου εγκαθίστανται τα δύο μοντέλα υποσταθμών MT/XT και κατά συνέπεια τοποθετείται το πλέγμα γείωσης, στο πλαίσιο των πειραμάτων της συγκεκριμένης εργασίας, προσομοιώνεται είτε ως μονοστρωματικό (με δύο διακριτές τιμές ειδικής αντίστασης εδάφους), είτε ως διστρωματικό. Οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις, απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα, ίδιες και για τα δύο μοντέλα υποσταθμών MT/XT. Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι στην περίπτωση του μονοστρωματικού εδάφους το ύψος (h) του εδάφους θεωρείται άπειρο και γι' αυτό δεν δίνεται η τιμή του στον παρακάτω πίνακα. Ενώ στην περίπτωση του διστρωματικού εδάφους το ύψος αναφέρεται στο επιφανειακό στρώμα, ενώ το ύψος του δεύτερου στρώματος θεωρείται άπειρο.

Μοντέλο Εδάφους	ρ_1 (Ωm)	ρ_2 (Ωm)	h (m)
Μονοστρωματικό	100	-	-
	1000	-	-
Διστρωματικό	100	200	1
		500	2
		1000	3
		2000	4
		5000	5
	200	100	1
		500	2
		1000	3
		2000	4
		5000	5
Διστρωματικό	500	100	1
		200	2
		1000	3
		2000	4
		5000	5
1000	100	1	
	200	2	
	500	3	
	2000	4	
	5000	5	

Πίνακας 4.1: Παρουσίαση των μοντέλων εδάφους και ειδικών τους αντιστάσεων για τα δύο μοντέλα Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ

Αξίζει να αναφερθεί ότι σ' όλα τα σενάρια προσομοίωσης θεωρήθηκε η ένταση του ρεύματος σφάλματος ίση με 100 A, διότι σ' έναν Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ υπάρχουν πολλοί μετασχηματιστές, και κατά συνέπεια αναχωρούν πολλές γραμμές μεταφοράς, επομένως το ρεύμα 100 A αφορά το σύστημα γείωσης.

Επίσης, η διάρκεια του ρεύματος σφάλματος για τα σενάρια προσομοίωσης έχει τιμές 0.5sec, 0.35sec και 0.2sec, ενώ η συχνότητά του έχει τιμή 50 Hz.

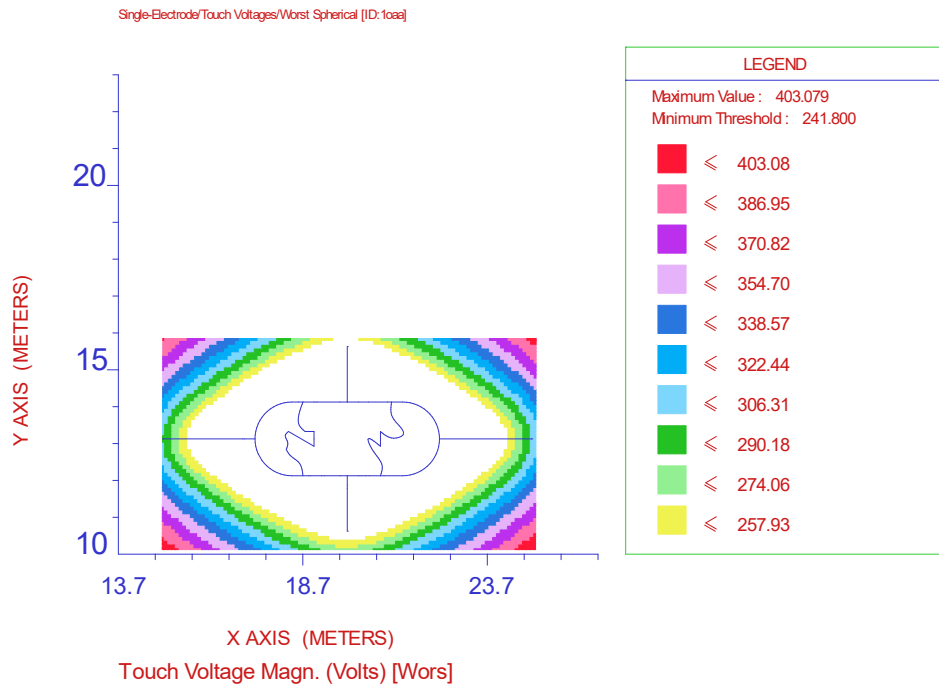
Τα αποτελέσματα καθώς και οι γραφικές των τάσεων επαφής και των βηματικών τάσεων, σύμφωνα με το Πρότυπο, τόσο για το μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους όσο και για το διστρωματικό μοντέλο εδάφους απεικονίζονται παρακάτω.

4.3 1^ο Μοντέλο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Κατασκευή FCP-31Π

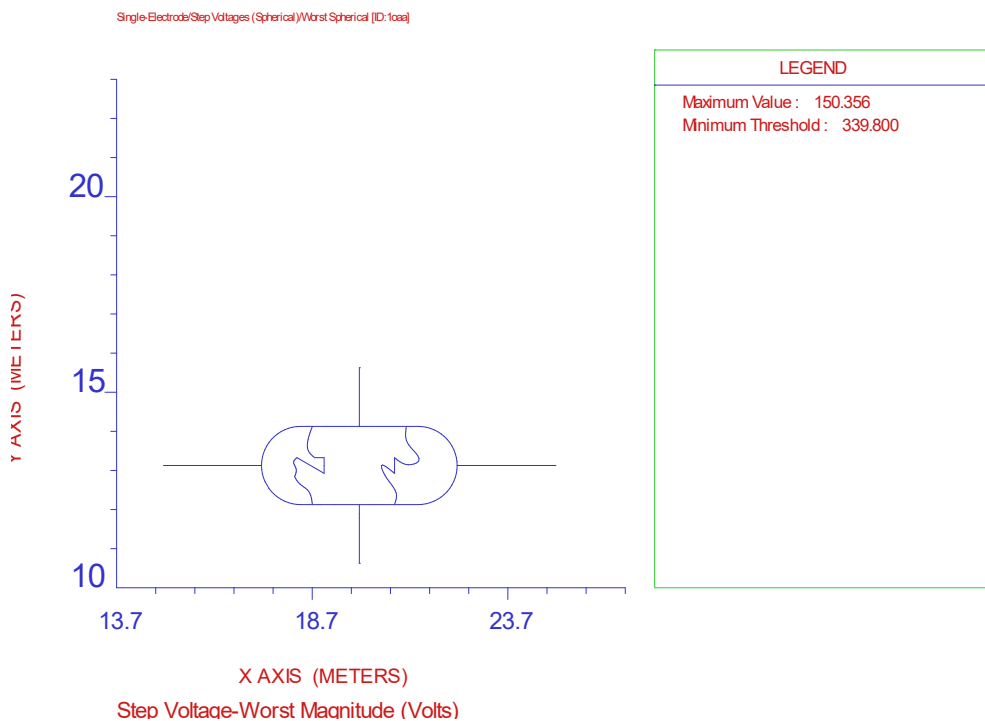
Για την συγκεκριμένη κατασκευή στις ακόλουθες προσομοιώσεις έχει επιλεγεί «μάτι» ίσο με 3 μέτρα ($a=3m$), ενώ έχουν τοποθετηθεί κατακόρυφα 6 ράβδοι γειώσεως μήκους 2.5m, καθώς και τα υπόλοιπα υλικά που ορίζονται για τη κατασκευή, και παρουσιάστηκαν στην περιγραφή των υπό μελέτη διατάξεων. Επιπλέον, διερευνήθηκε η ασφάλεια και η καταλληλότητα της σχεδίασης αυτής σε περιπτώσεις μη ύπαρξης υλικού επιφανείας, επίστρωσης του εδάφους με υλικό επιφανείας πάχους 10cm, ειδικής αντίστασης 2500 Ωm . Τα όρια για τις αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις, παρουσιάζονται ακολούθως, ενώ στην συνέχεια παρατίθενται και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

4.3.1 Μονοστρωματικό έδαφος

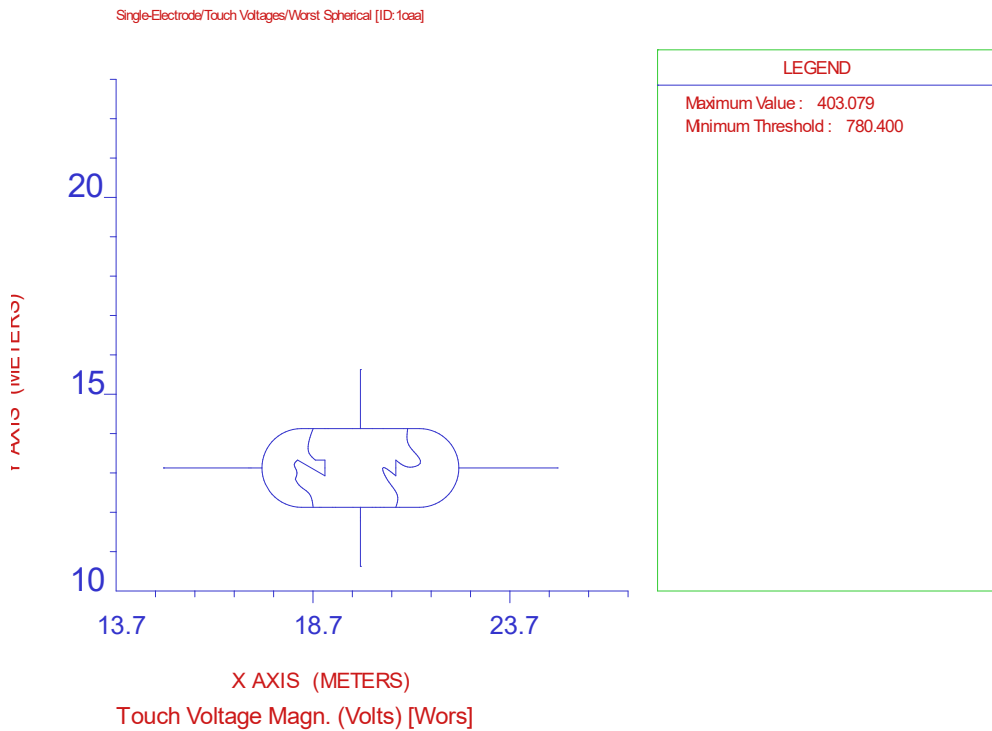
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για την κατασκευή FCP-31Π Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, σε μονοστρωματικό έδαφος.



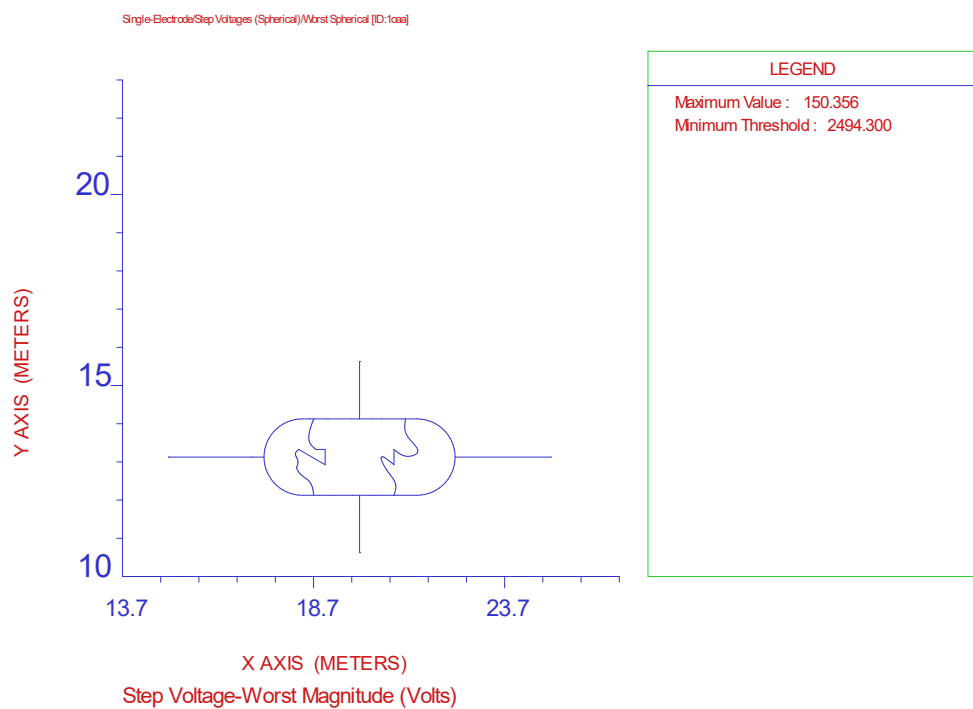
Σχήμα 4.1: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.2: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

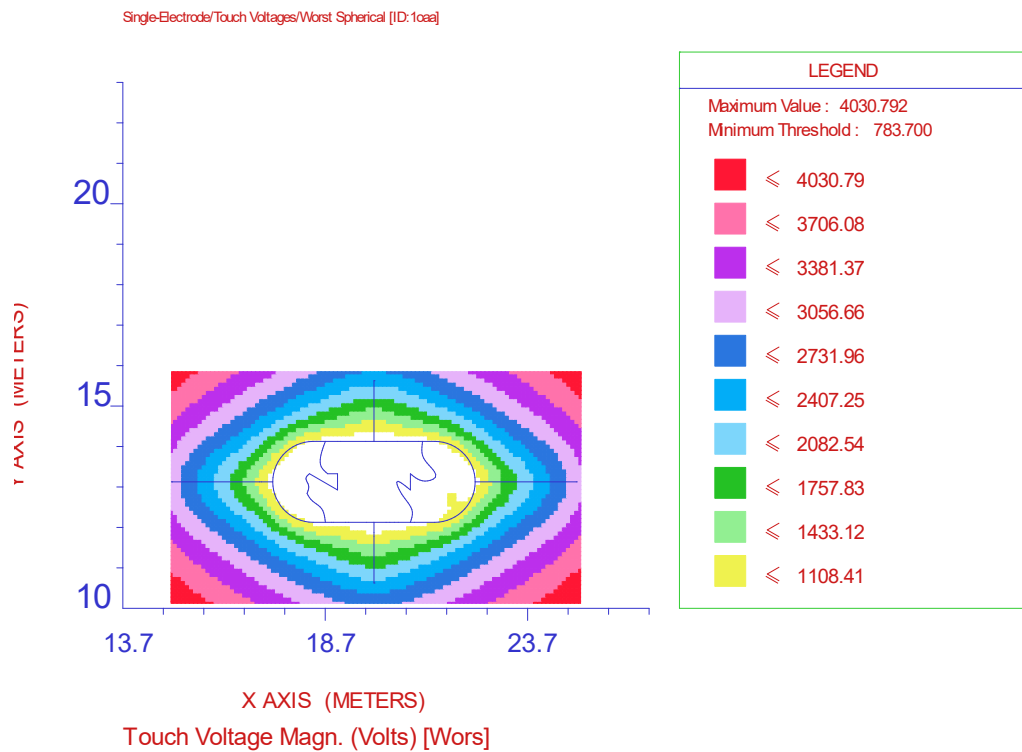


Σχήμα 4.3: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

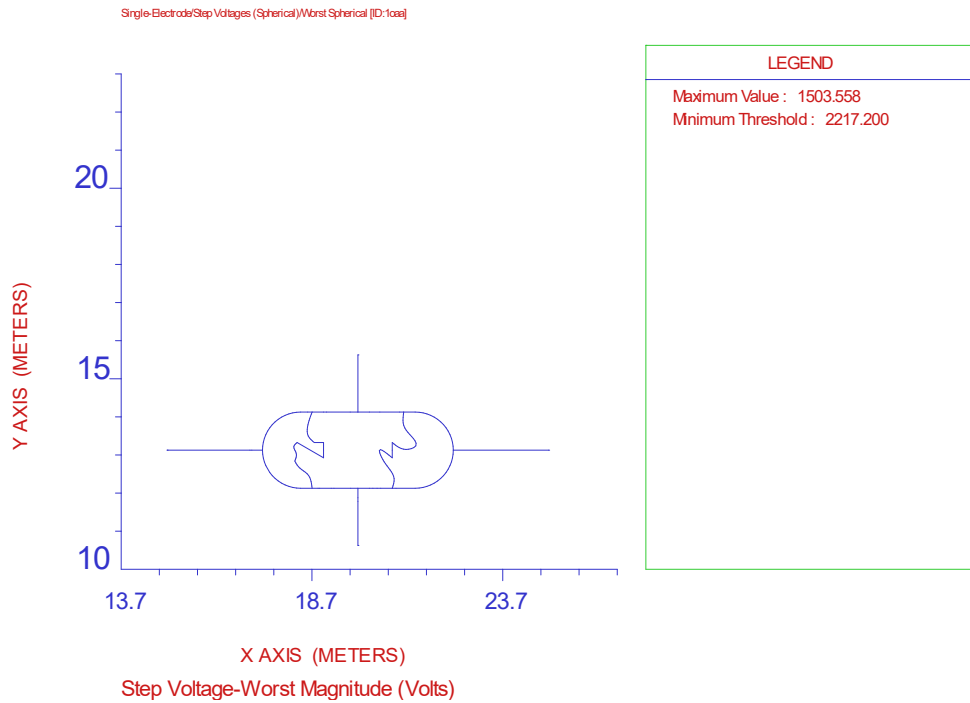


Σχήμα 4.4: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

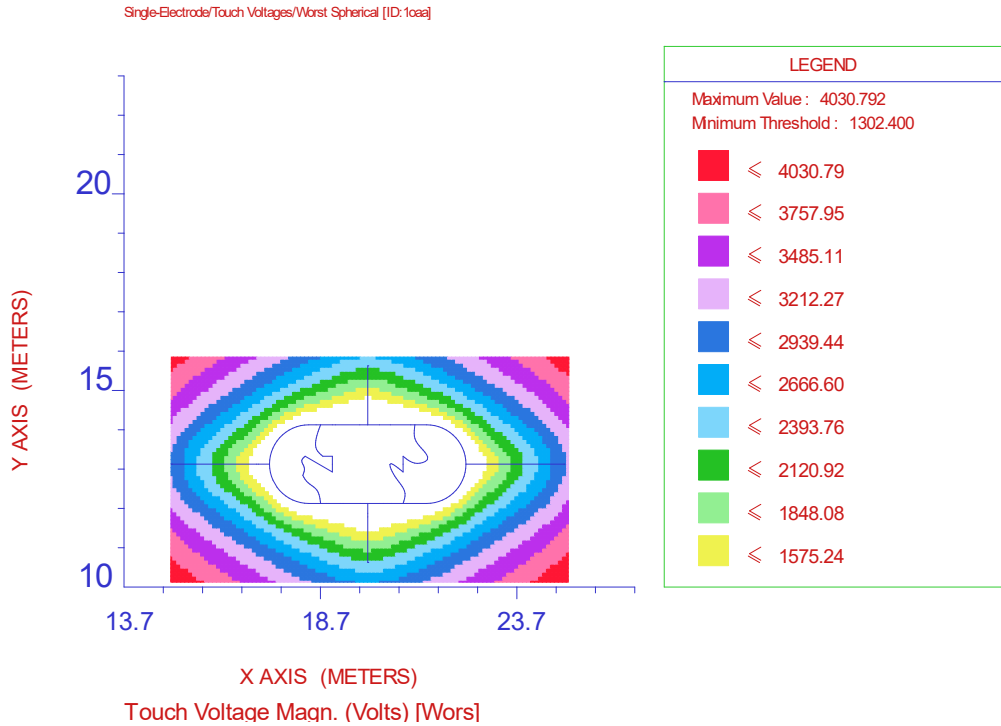
Από τις παραπάνω γραφικές διαπιστώνεται, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, ότι δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται μόνο στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1\text{m}$ από αυτά. Επομένως, συμπεραίνεται ότι με τον συνδυασμό παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης επιτεύχθηκε η δημιουργία ενός ασφαλούς συστήματος γείωσης. Επιπλέον, αλλάζοντας τη χρονική διάρκεια εκκαθάρισης σφάλματος από 0.5 sec σε 0.35 sec και 0.2 sec στα σενάρια προσομοίωσης, οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις είναι κάτω από τα όρια ασφαλείας, καθώς τα όρια ασφαλείας είναι πιο αυξημένα. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον πίνακα αποτελεσμάτων.



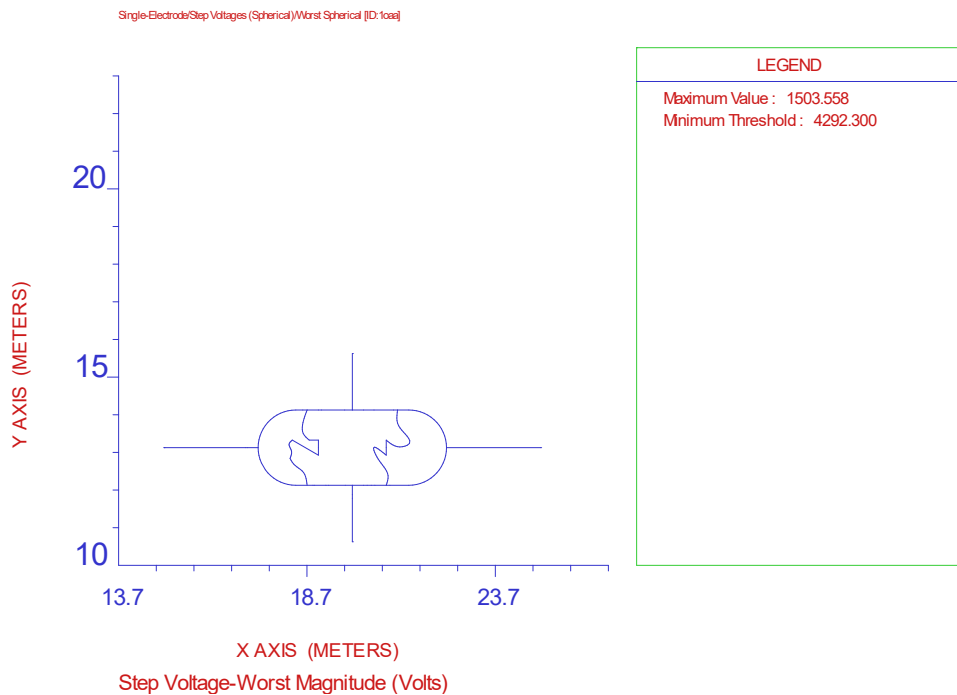
Σχήμα 4.5: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.6: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.7: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



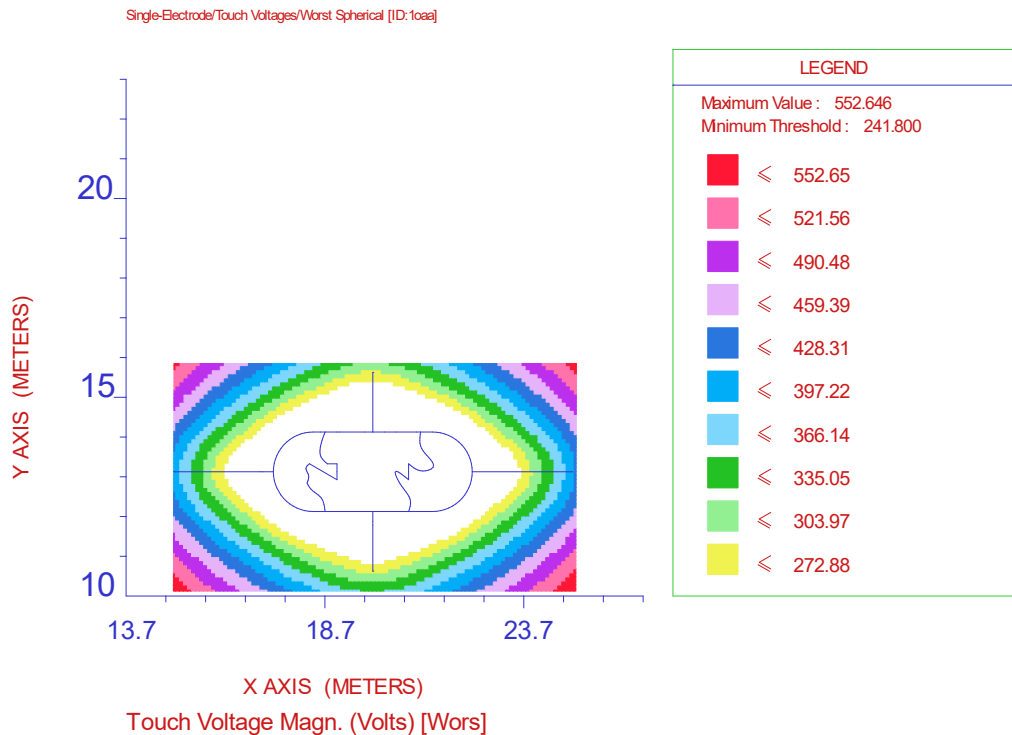
Σχήμα 4.8: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, με παρουσία επιφανειακού

στρώματος εδάφους 2500Ωm και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

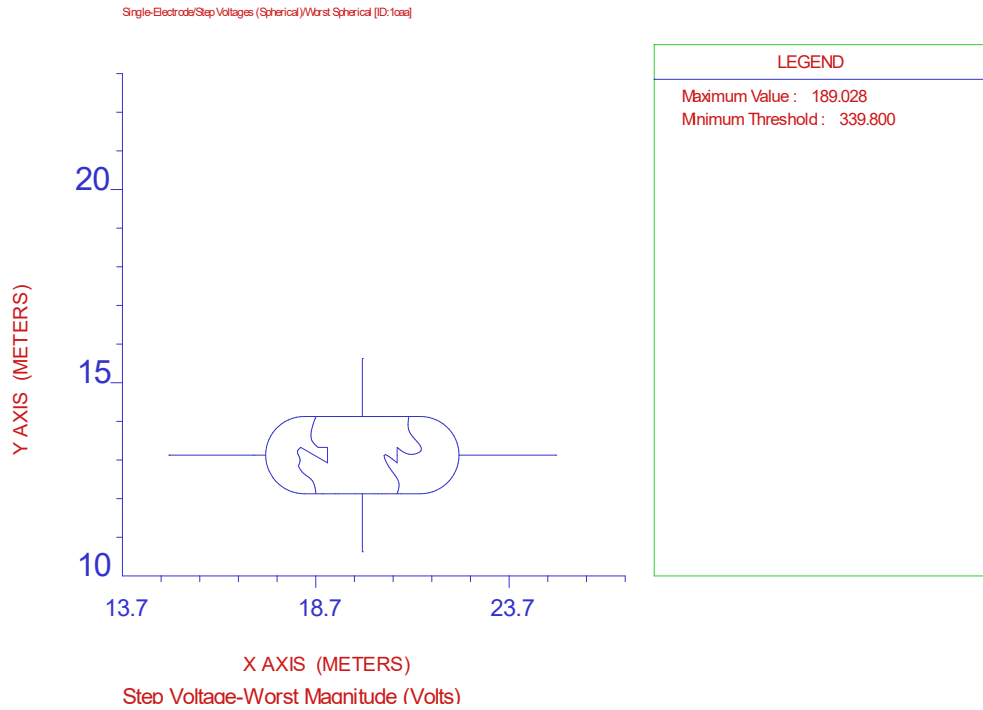
Από τις παραπάνω γραφικές διαπιστώνεται, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=1000\Omega m$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, ότι δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Όμως, παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται κυρίως στην περίπτωση χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος. Αντίθετα στην συγκεκριμένη περίπτωση με παρουσία επιφανειακού στρώματος οι επικίνδυνες τάσεις επαφής είναι στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1m$. Συμπεριλαμβανομένων των παραπάνω το σύστημα γείωσης μπορεί να κριθεί οριακά ασφαλές. με την προσθήκη απαγορευτικού στην επιφάνεια κοντά του υποσταθμού.

4.3.2 Διστρωματικό έδαφος

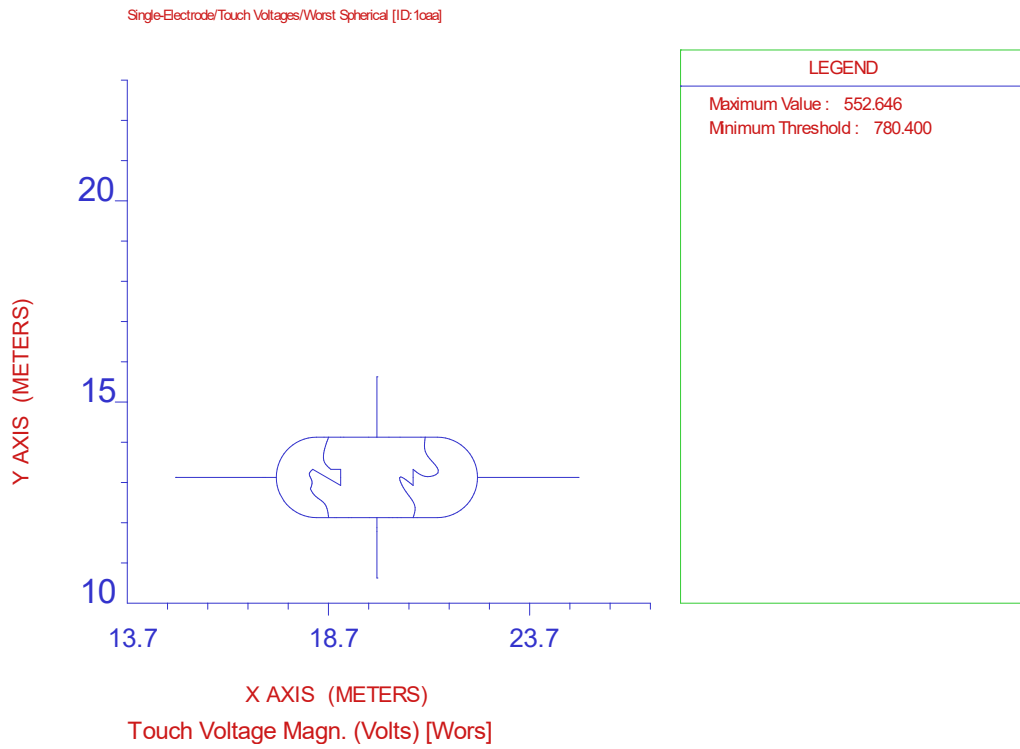
Ακολούθως παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για την κατασκευή FCP-31Π, σε διστρωματικό έδαφος.



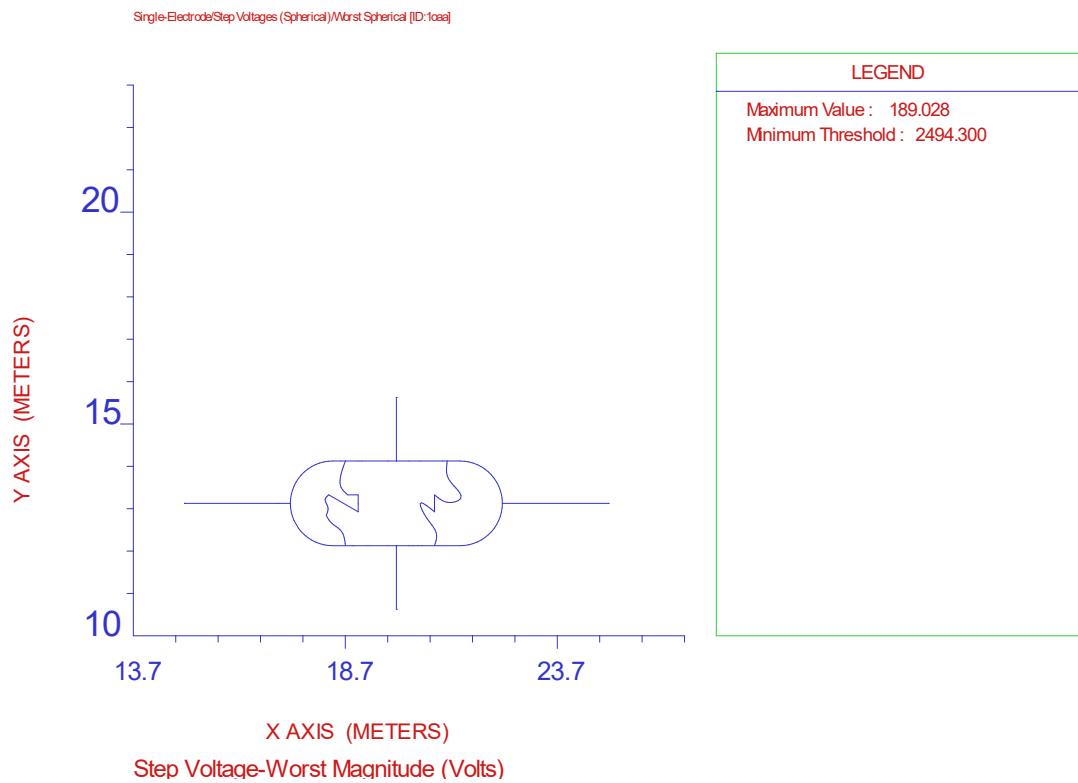
Σχήμα 4.9: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



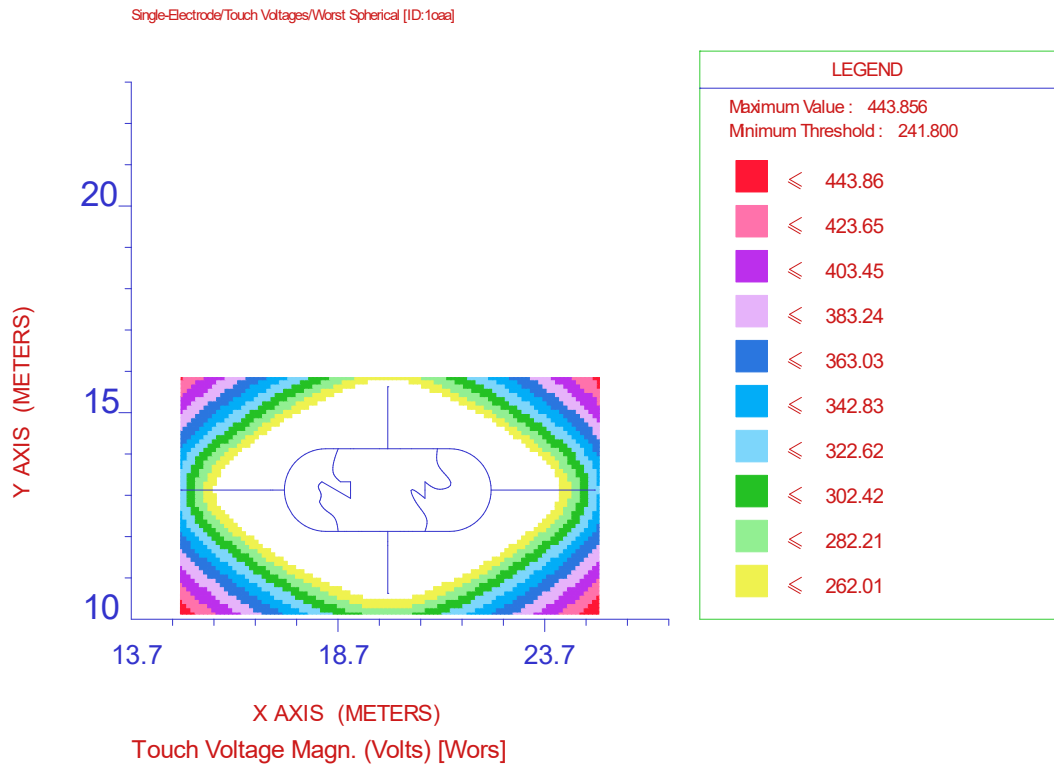
Σχήμα 4.10: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



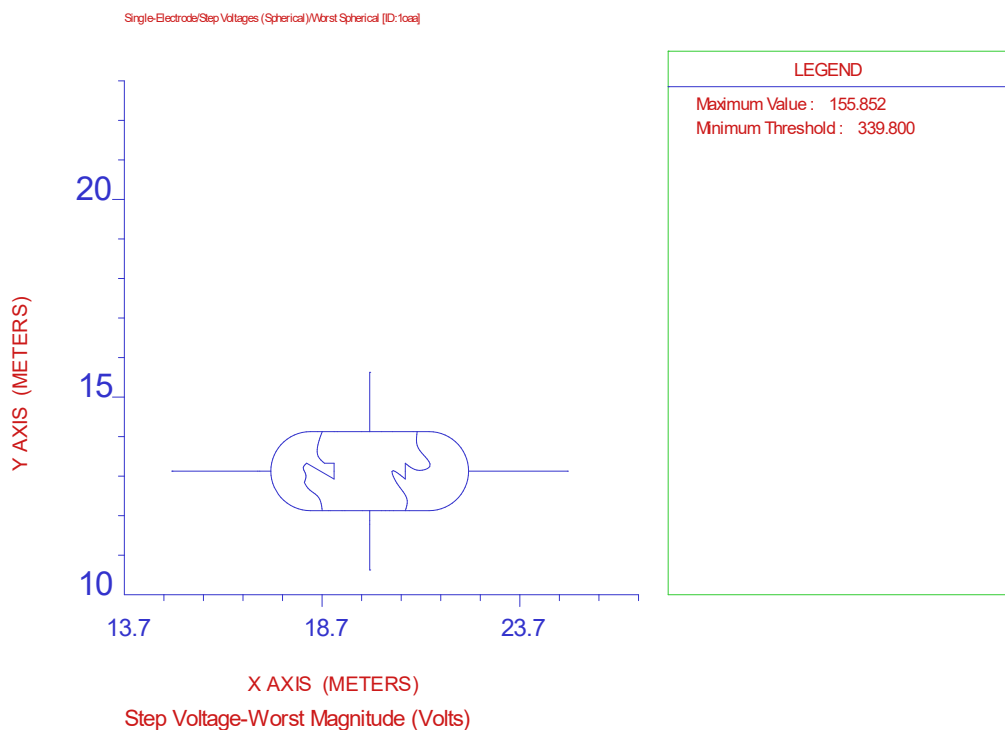
Σχήμα 4.11: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



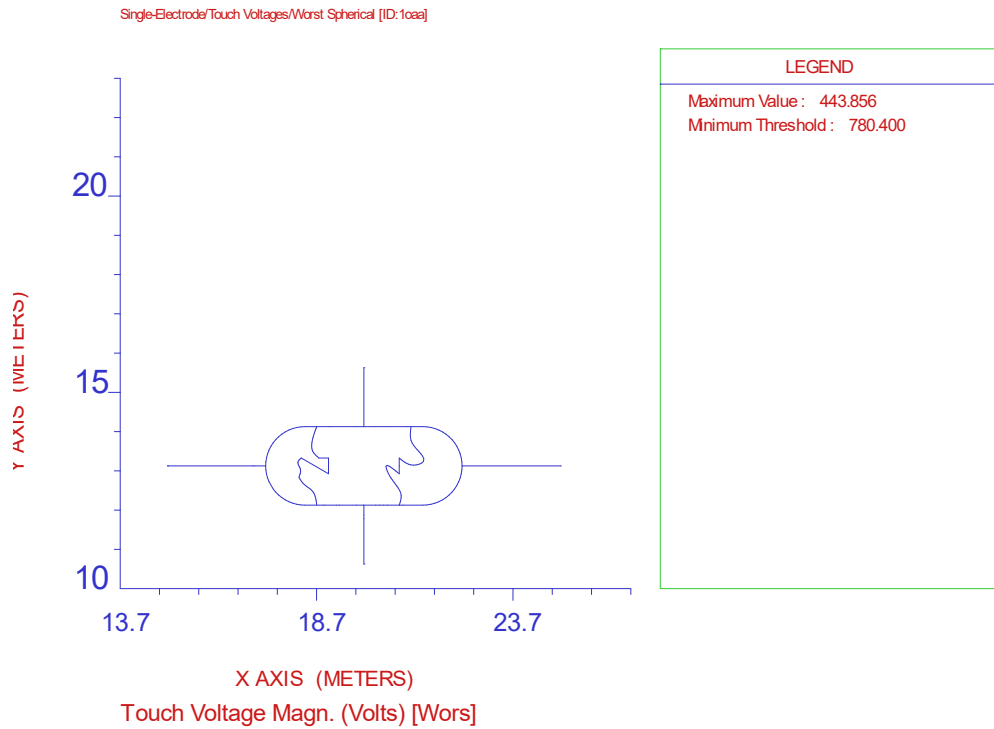
Σχήμα 4.12: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



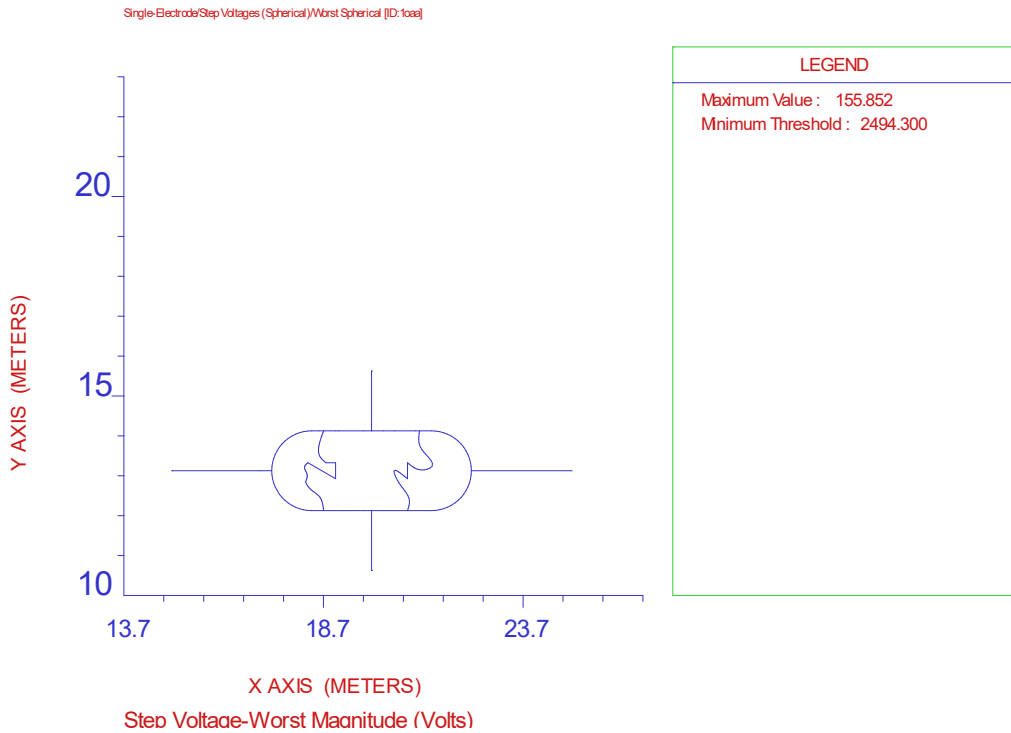
Σχήμα 4.13: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEΕ 80-2000 για άτομο 70Kg .



Σχήμα 4.14: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .

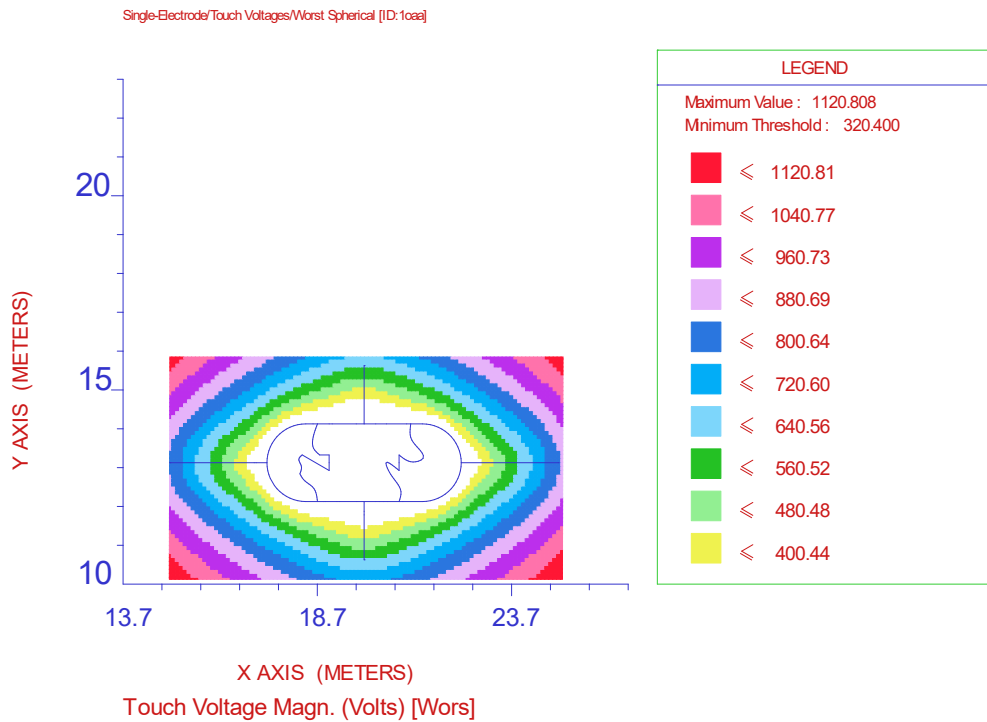


Σχήμα 4.15: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .

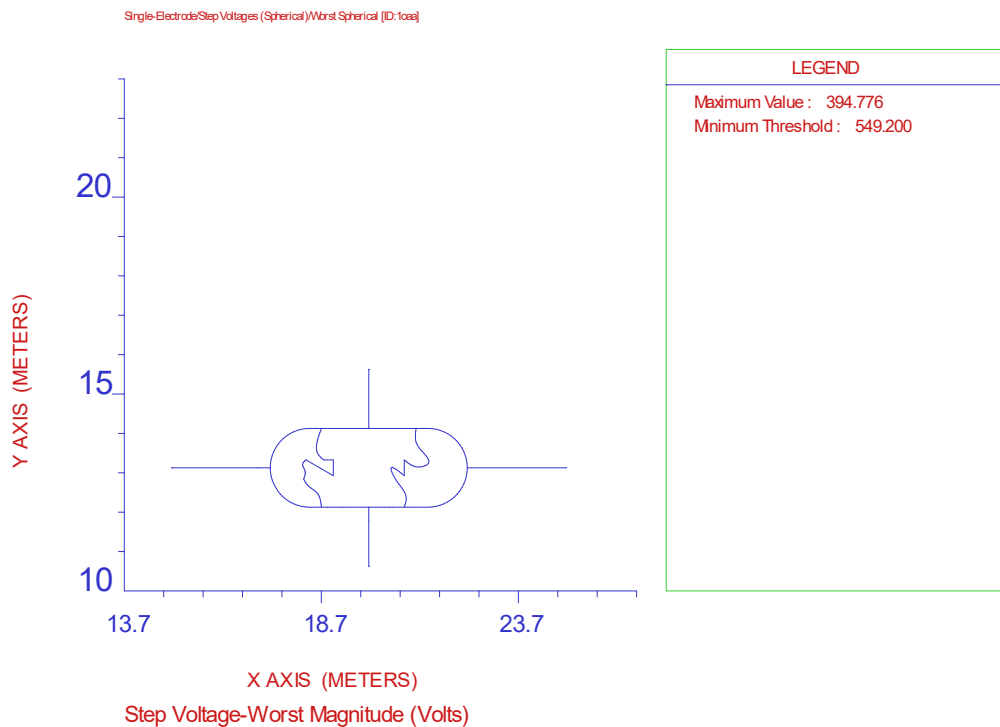


Σχήμα 4.16: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

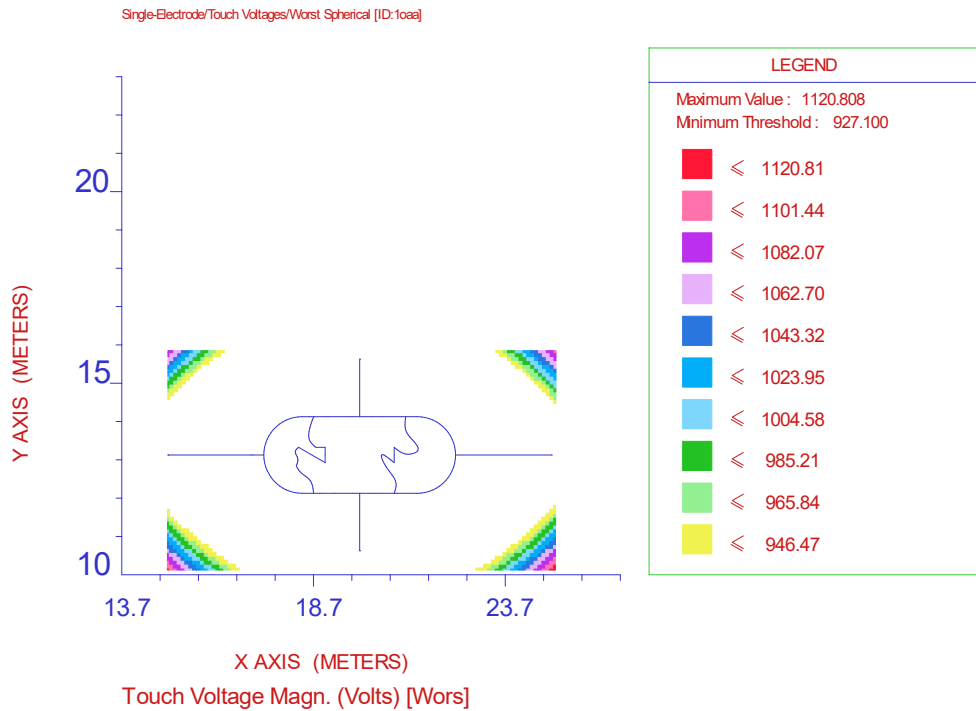
Από τις παραπάνω γραφικές διαπιστώνεται ότι, για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους και πιο συγκεκριμένα για $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$, και για $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$, $h=5\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται μόνο στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1\text{m}$ από αυτά, και μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα. Επομένως, συμπεραίνεται ότι με τον συνδυασμό παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης επιτεύχθηκε η δημιουργία ενός ασφαλούς συστήματος γείωσης. Επιπλέον, σ' αυτές τις τιμές διστρωματικού εδάφους άλλαξε η χρονική διάρκεια του ρεύματος σφάλματος από 0.5 sec σε 0.35 sec και 0.2 sec στα σενάρια προσομοίωσης, χωρίς όμως να επηρεαστεί η ασφάλεια του συστήματος γείωσης.



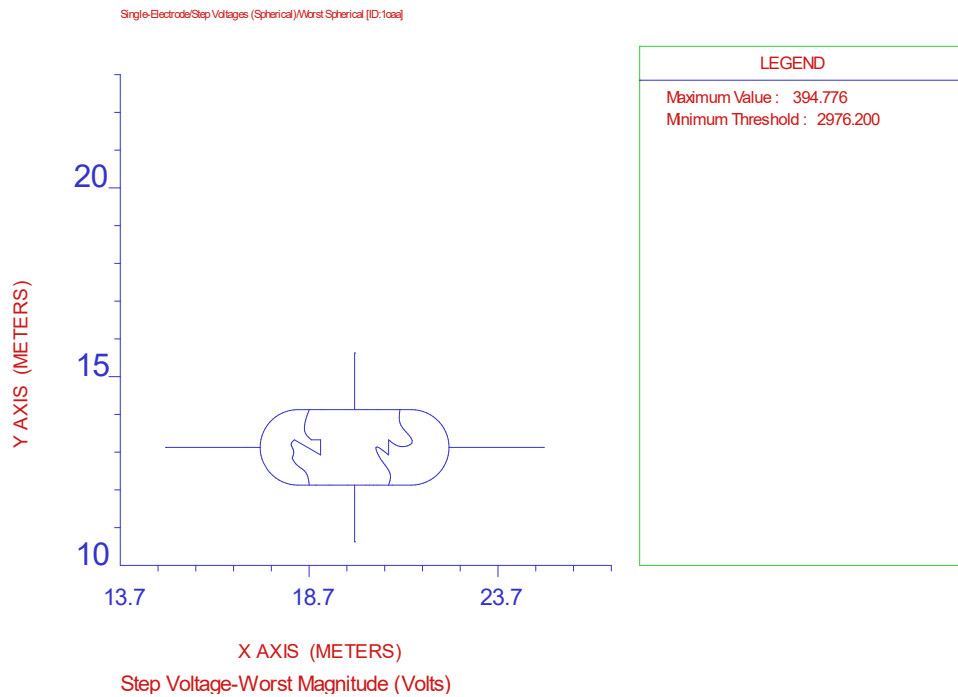
Σχήμα 4.17: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



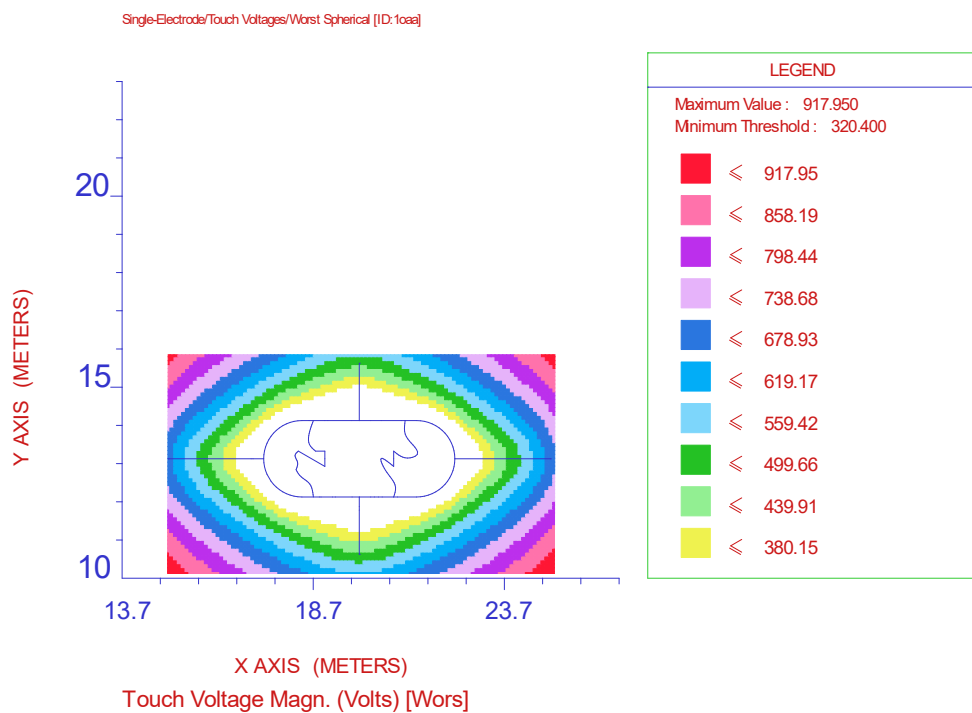
Σχήμα 4.18: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



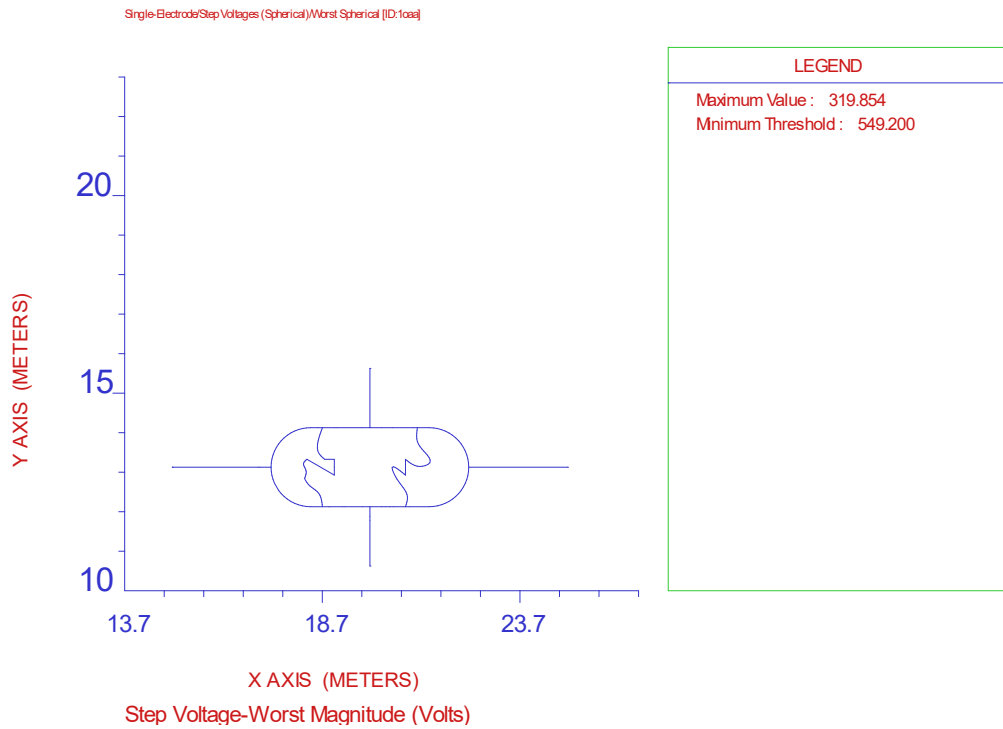
Σχήμα 4.19: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



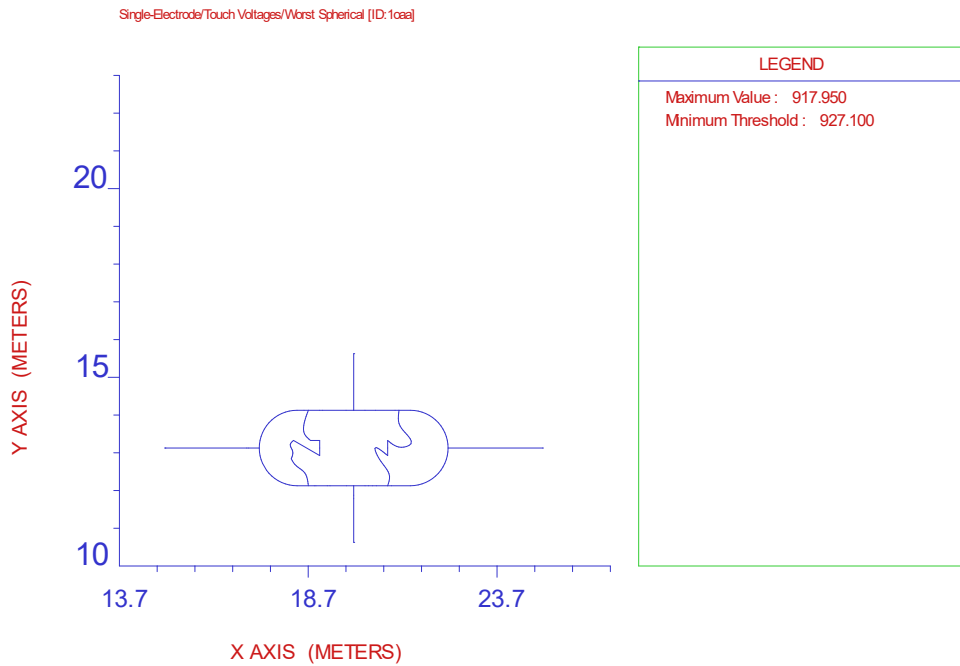
Σχήμα 4.20: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



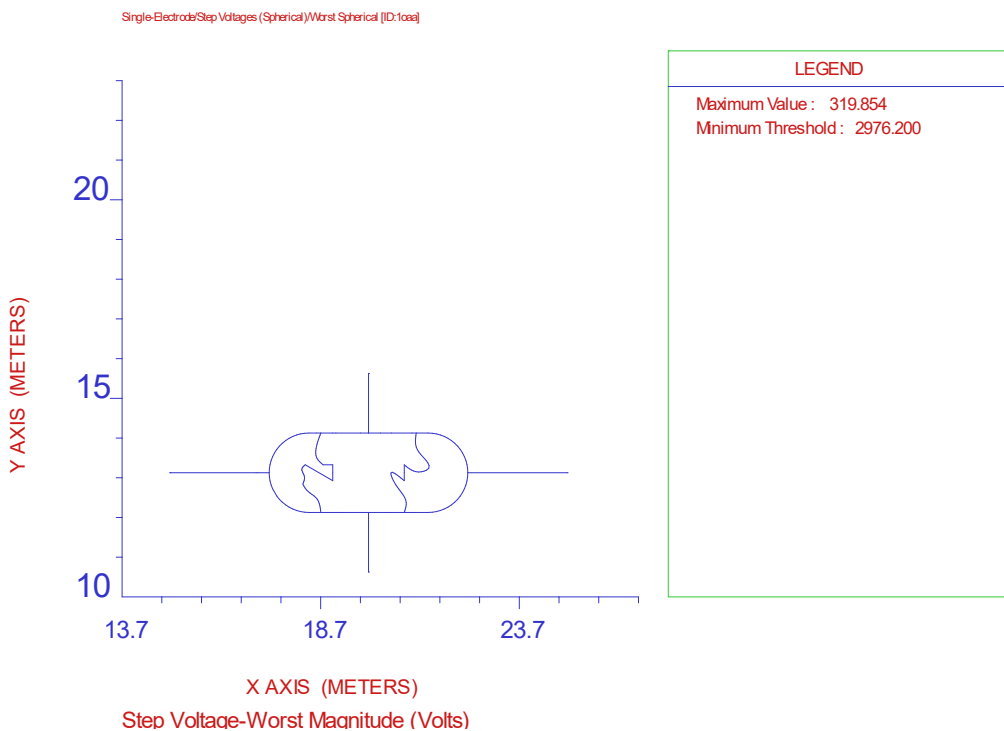
Σχήμα 4.21: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.22: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



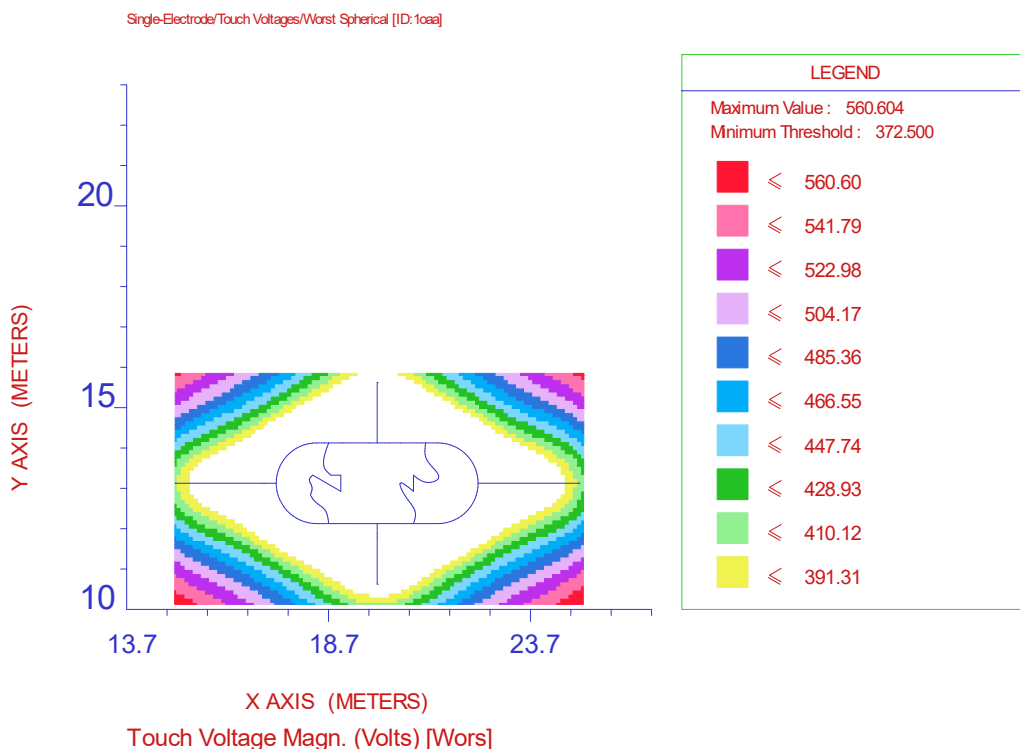
Σχήμα 4.23: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



Σχήμα 4.24: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με

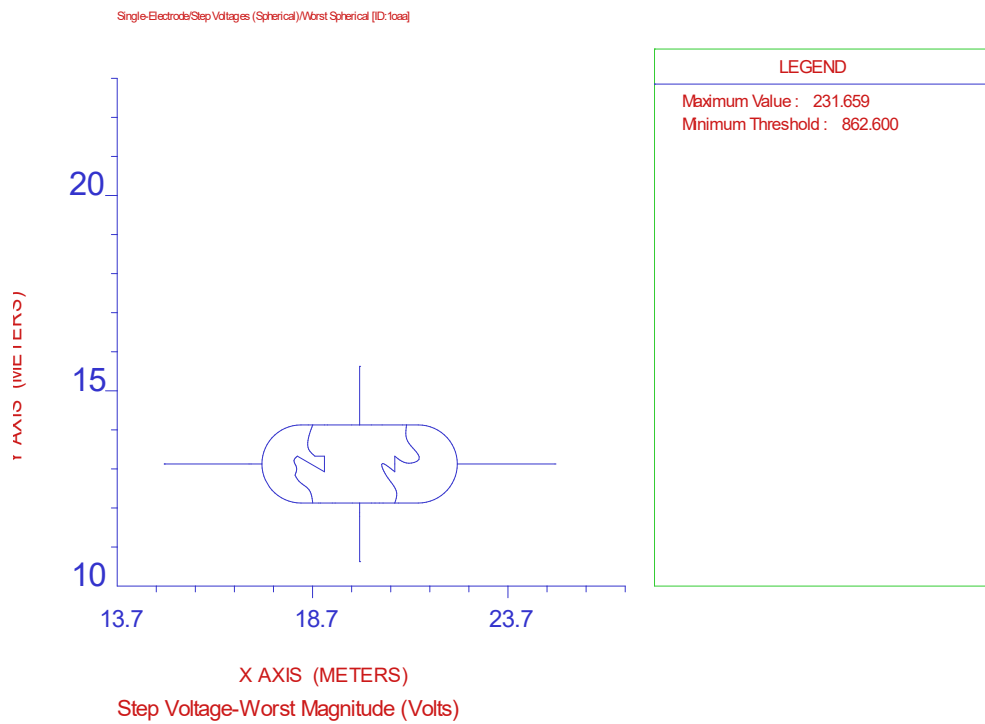
παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

Από τις πιο πάνω γραφικές απεικονίσεις διαπιστώνεται ότι, για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους και πιο συγκεκριμένα για $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$, $h=2\text{m}$, και για $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$, $h=4\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Όμως, στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι εκτός ορίων ασφαλείας. Παρόλα αυτά δεν δημιουργείται κάποιο πρόβλημα στο σύστημα γείωσης, καθώς αυτές είναι σε μεγαλύτερη απόσταση του 1m . Συνοψίζοντας, ο συνδυασμός παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε και σ' αυτή την περίπτωση δημιούργησε ένα ασφαλές σύστημα γείωσης. Επίσης, σ' αυτές τις τιμές διστρωματικού εδάφους άλλαξε η χρονική διάρκεια του ρεύματος σφάλματος από 0.35sec σε 0.5sec και 0.2sec στα σενάρια προσομοίωσης. Μειώνοντας τη χρονική διάρκεια σφάλματος παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα.

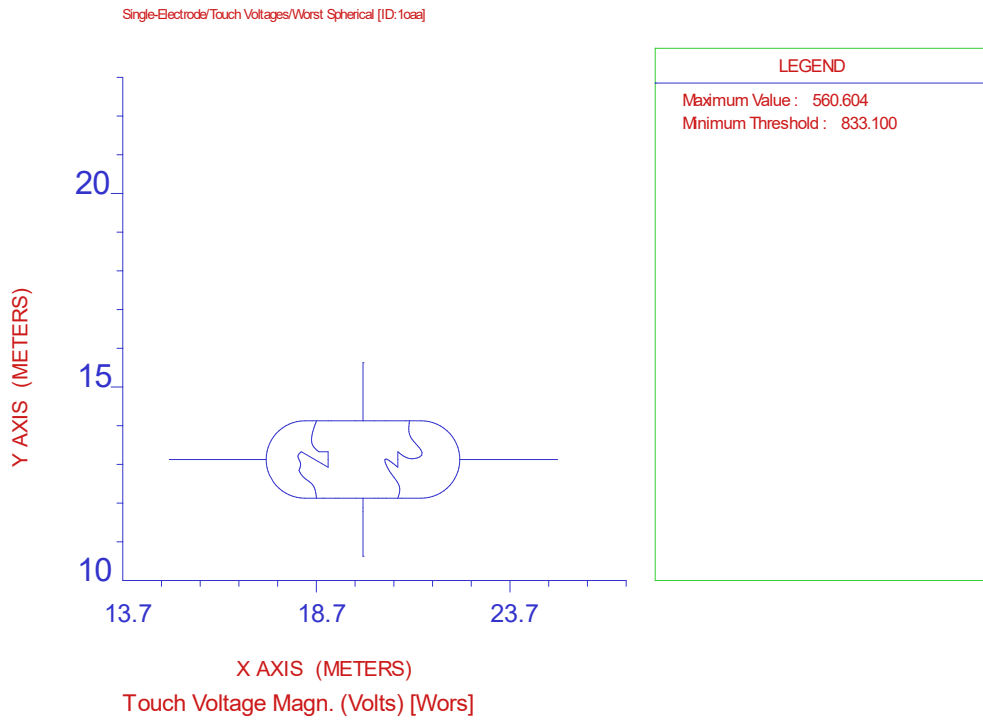


Σχήμα 4.25: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=1\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς

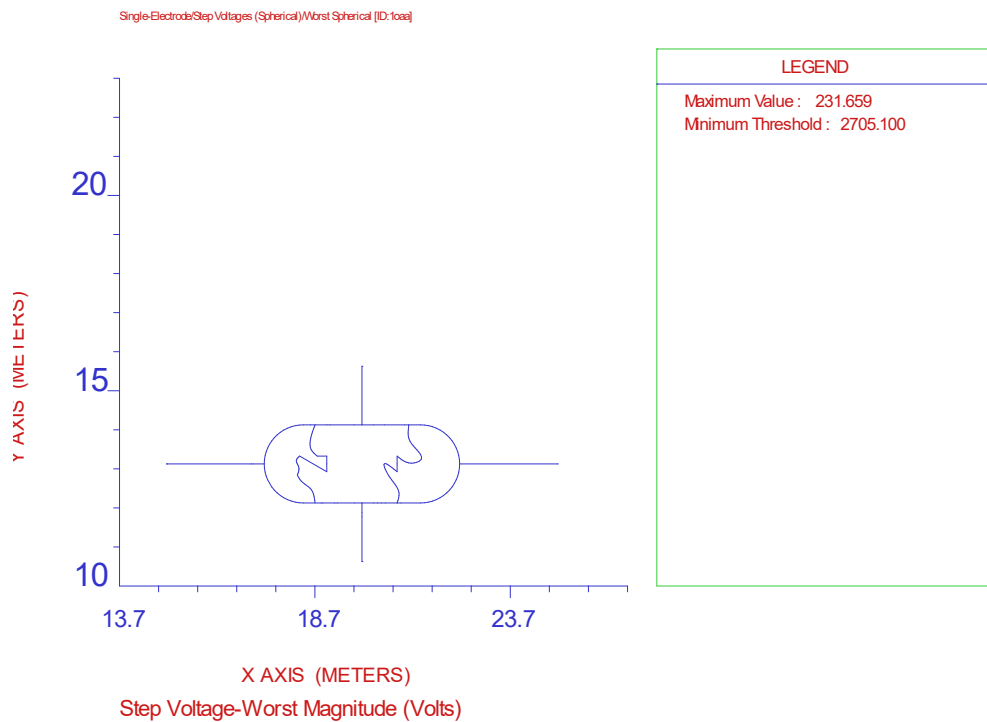
παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



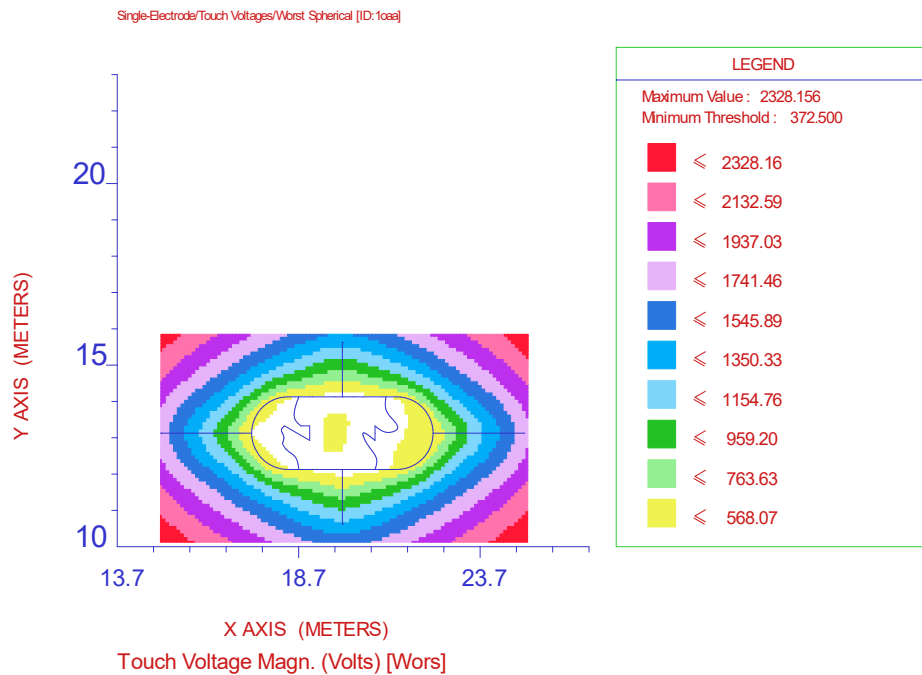
Σχήμα 4.26: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=1\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



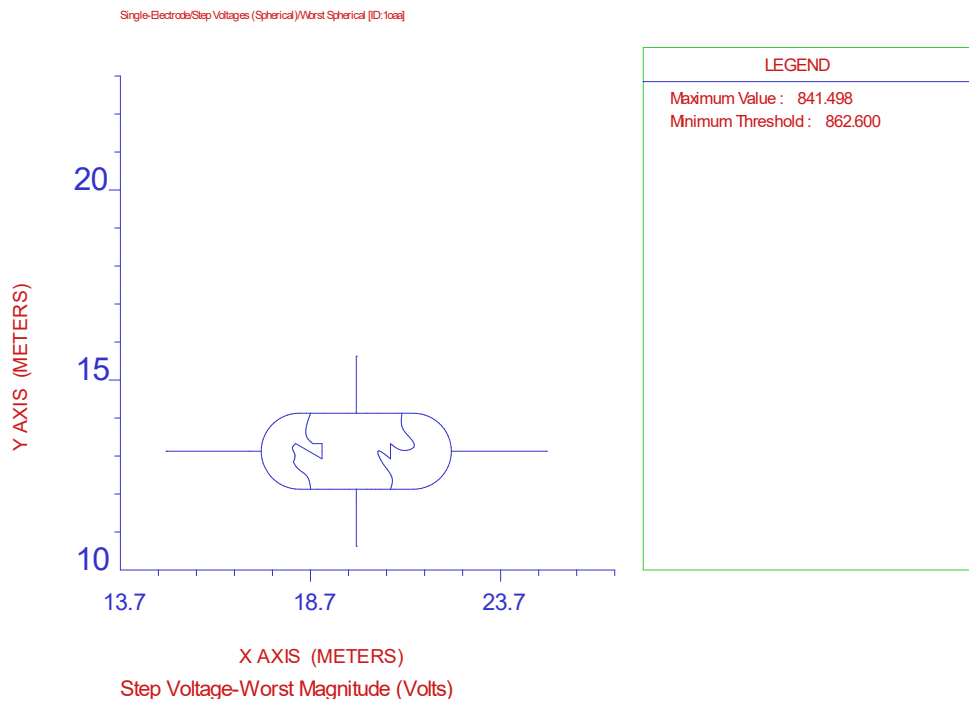
Σχήμα 4.27: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=1\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



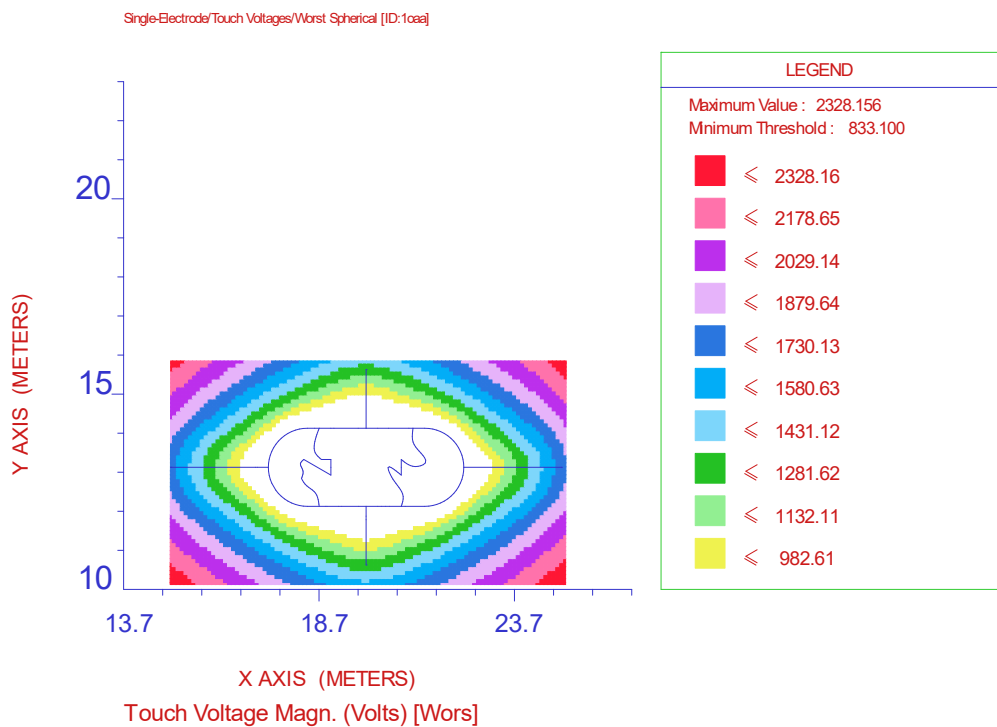
Σχήμα 4.28: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=1\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



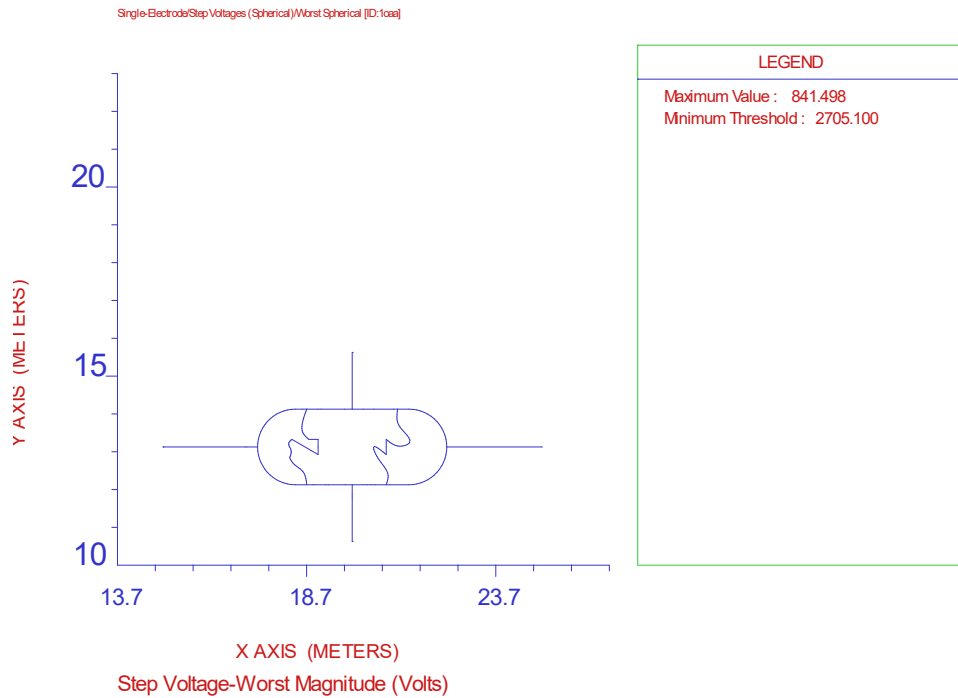
Σχήμα 4.29: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.30: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



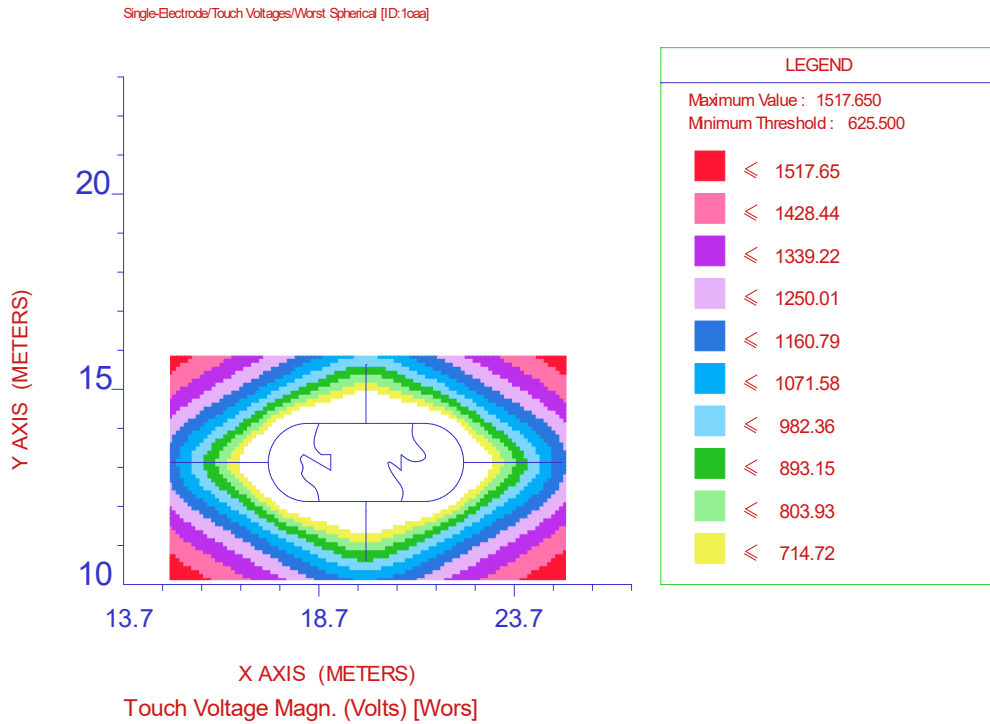
Σχήμα 4.31: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



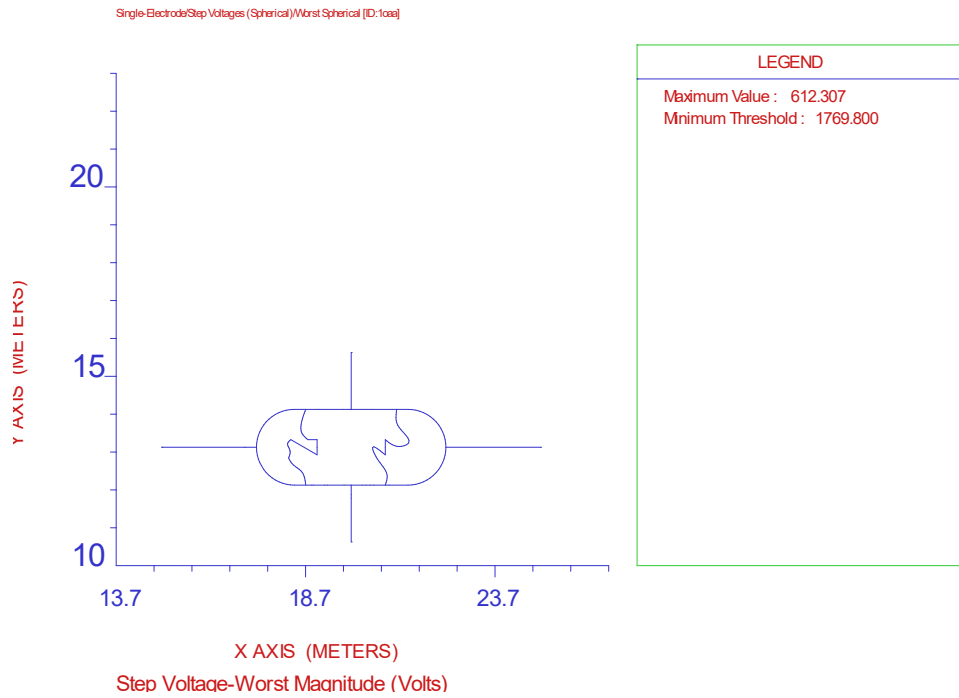
Σχήμα 4.32: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

Από τις πιο πάνω γραφικές απεικονίσεις διαπιστώνεται ότι, για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους και πιο συγκεκριμένα για $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$, $h=1\text{m}$, και για $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Όμως, στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι αρκετά εκτός ορίων ασφαλείας, μόνο στην περίπτωση όπου $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$. Όταν προστίθεται επιφανειακό στρώμα το πρόβλημα λύνεται, καθώς αυτές είναι σε μεγαλύτερη απόσταση του 1m. Συνοψίζοντας, ο συνδυασμός παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε και σ' αυτή την περίπτωση δημιούργησε ένα ασφαλές σύστημα γείωσης, με παρουσία του

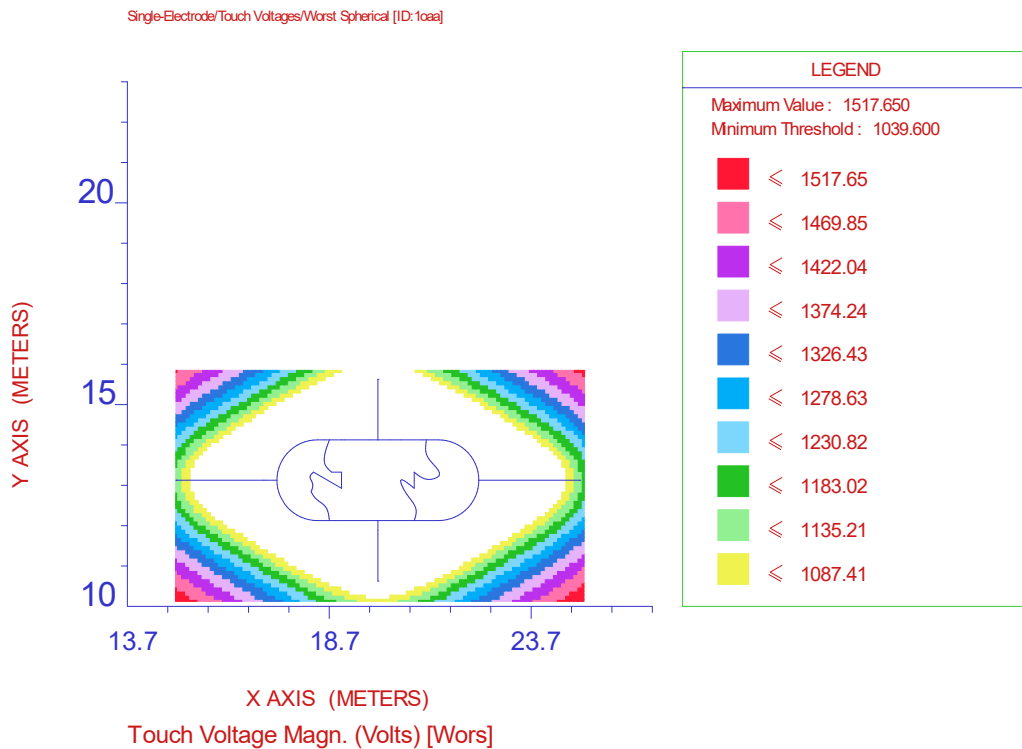
επιφανειακού στρώματος για την περίπτωση $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$. Επίσης, σ' αυτές τις τιμές διστρωματικού εδάφους άλλαξε η χρονική διάρκεια του ρεύματος σφάλματος από 0.5 sec σε 0.35 sec και 0.2 sec στα σενάρια προσομοίωσης, των οποίων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον πίνακα αποτελεσμάτων.



Σχήμα 4.33: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

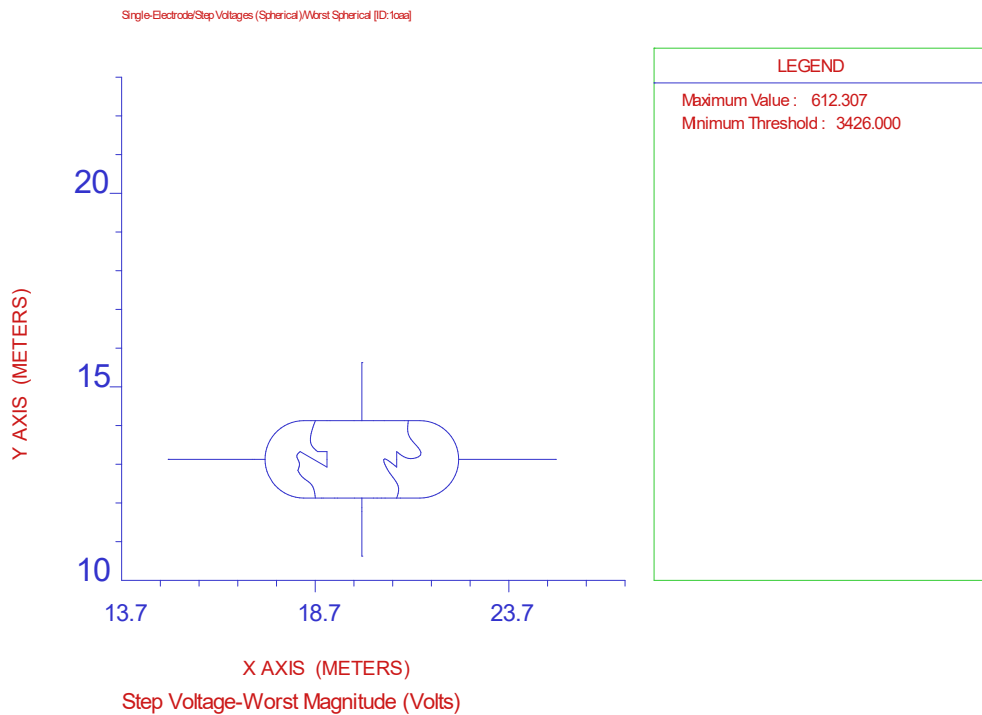


Σχήμα 4.34: Βηματικές τάσεις για διστροφματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

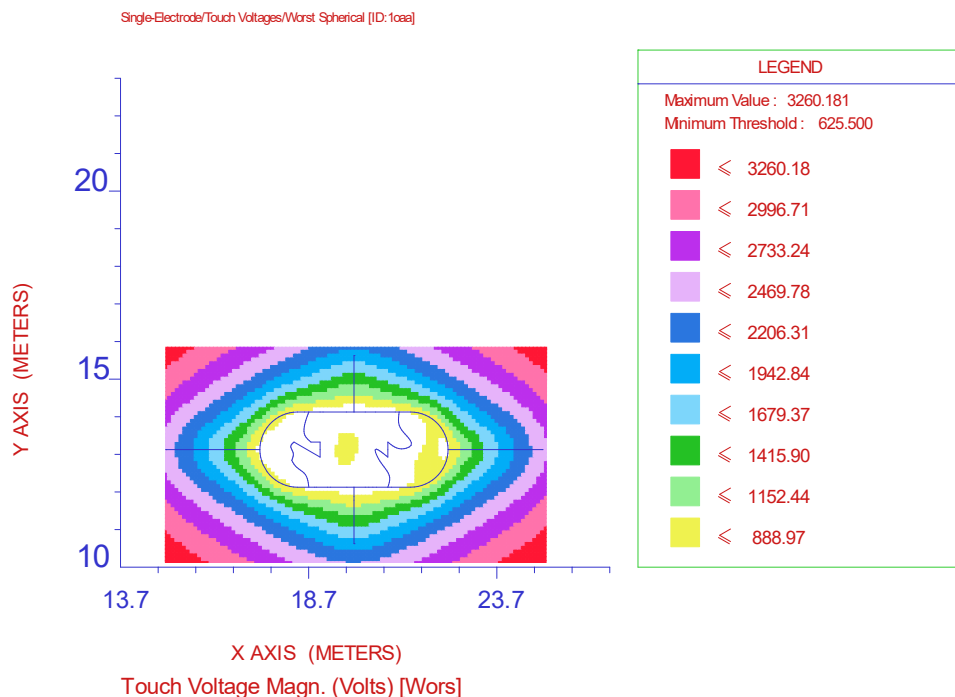


Σχήμα 4.35: Τάσεις επαφής για διστροφματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με

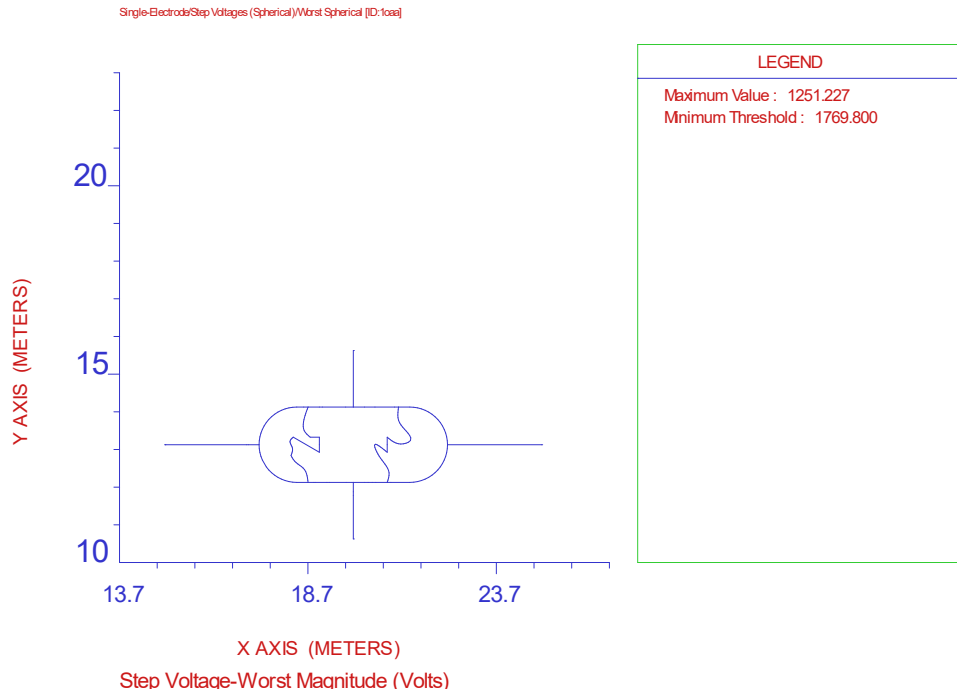
παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



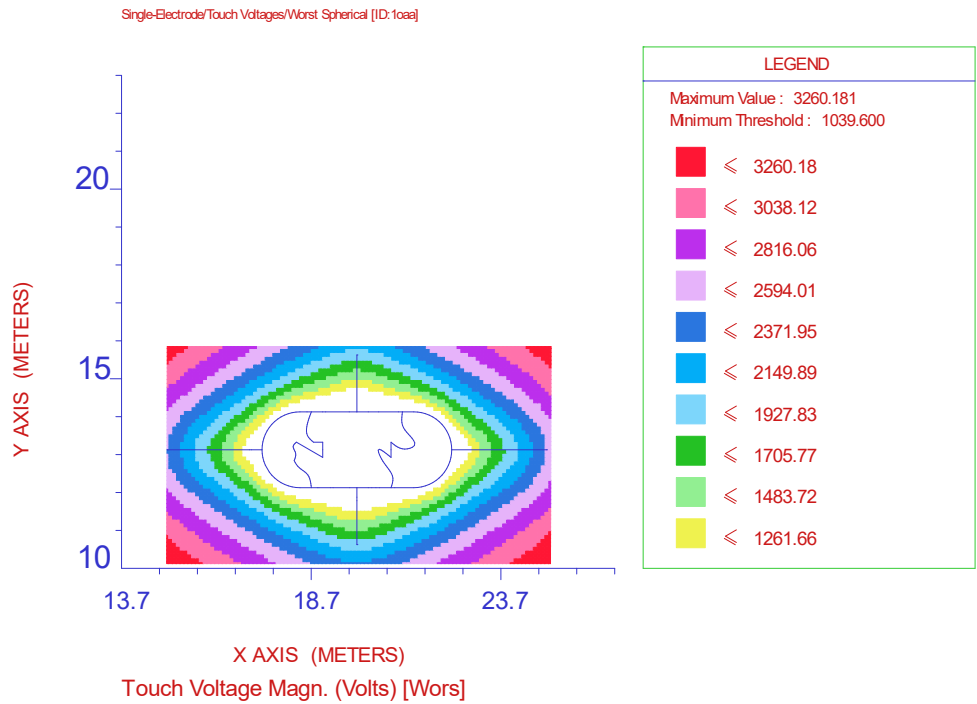
Σχήμα 4.36: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



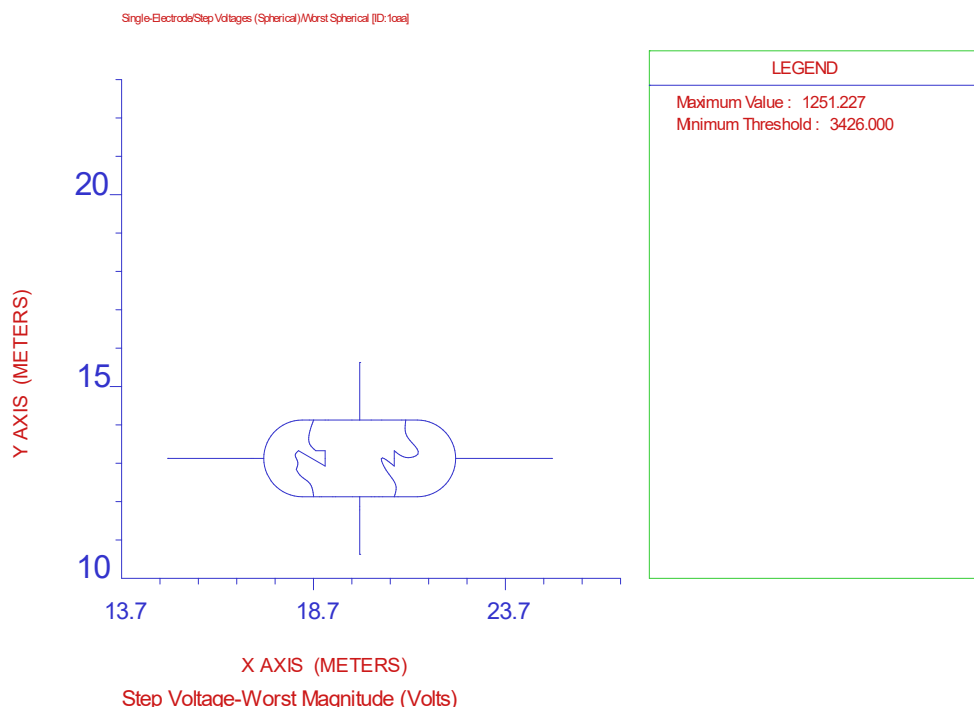
Σχήμα 4.37: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



Σχήμα 4.38: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



Σχήμα 4.39: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .



Σχήμα 4.40: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με

παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

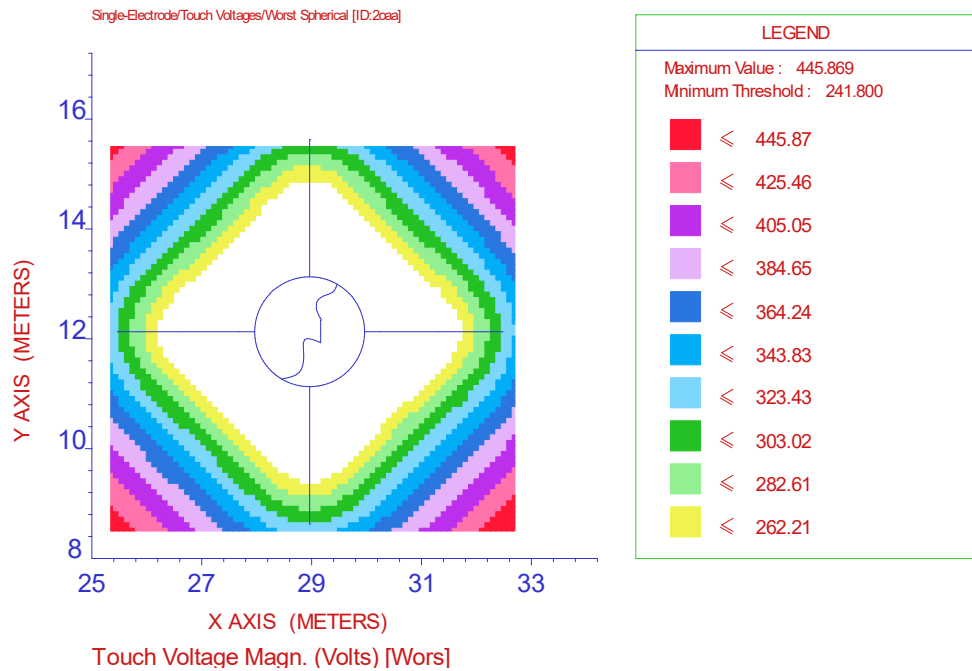
Από τις ανωτέρω γραφικές παρατηρείται ότι, για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους και πιο συγκεκριμένα για $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$, $h=2\text{m}$, και για $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=500\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Αντίθετα όμως, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής είναι αρκετά εκτός ορίων ασφαλείας όταν δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα. Όταν προστίθεται επιφανειακό στρώμα το πρόβλημα λύνεται, καθώς αυτές είναι σε μεγαλύτερη απόσταση του 1m . Καταλήγοντας, ο συνδυασμός παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή την περίπτωση δημιούργησε ένα ασφαλές σύστημα γείωσης, με παρουσία του επιφανειακού στρώματος. Επιπροσθέτως, σ' αυτές τις τιμές διστρωματικού εδάφους άλλαξε η χρονική διάρκεια του ρεύματος σφάλματος από 0.35 sec σε 0.5 sec και 0.2 sec στα σενάρια προσομοίωσης.

4.4 2^ο Μοντέλο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Κατασκευή FCP-31ΠΙ

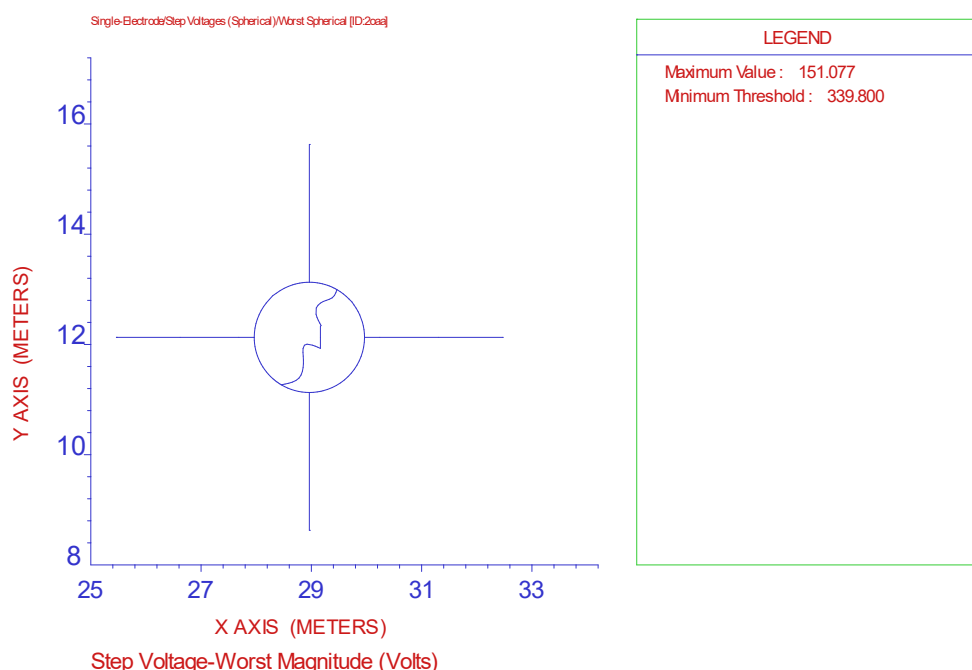
Για την συγκεκριμένη κατασκευή στις ακόλουθες προσομοιώσεις έχει επιλεγεί «μάτι» ίσο με 3 μέτρα ($a=3\text{m}$), ενώ έχουν τοποθετηθεί κατακόρυφα 6 ράβδοι γειώσεως μήκους 2.5m , καθώς και τα υπόλοιπα υλικά που ορίζονται για τη κατασκευή, και παρουσιάστηκαν στην περιγραφή των υπό μελέτη διατάξεων. Ωστόσο, διερευνήθηκε η ασφάλεια και η καταλληλότητα της σχεδίασης αυτής σε περιπτώσεις μη ύπαρξης υλικού επιφανείας, επίστρωσης του εδάφους με υλικό επιφανείας πάχους 10cm , ειδικής αντίστασης $2500\ \Omega\text{m}$. Τα όρια για τις αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις, παρουσιάζονται ακολούθως, ενώ στο τέλος παρατίθενται και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συνοπτικά για όλες τις περιπτώσεις

4.4.1 Μονοστρωματικό έδαφος

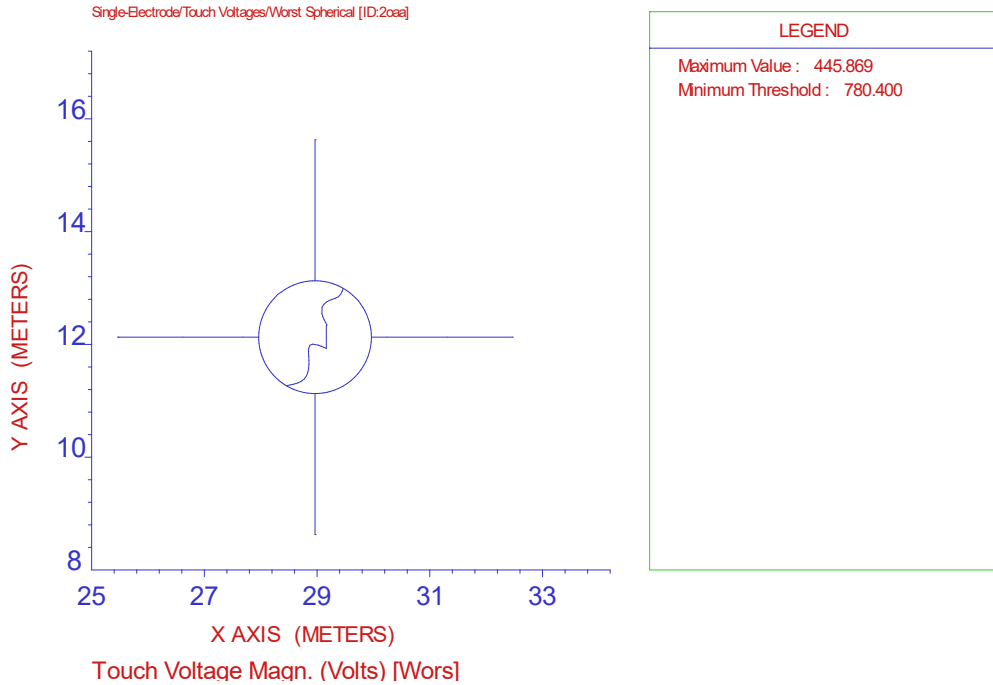
Παρακάτω απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για την κατασκευή FCP-31ΠΙ, σε μονοστρωματικό έδαφος.



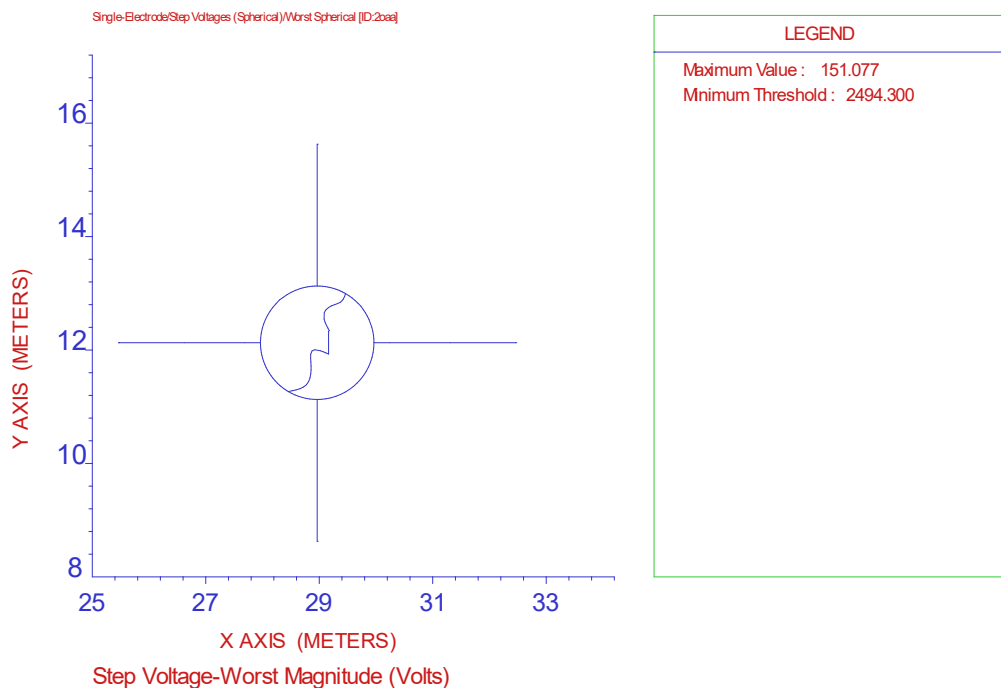
Σχήμα 4.41: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.42: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

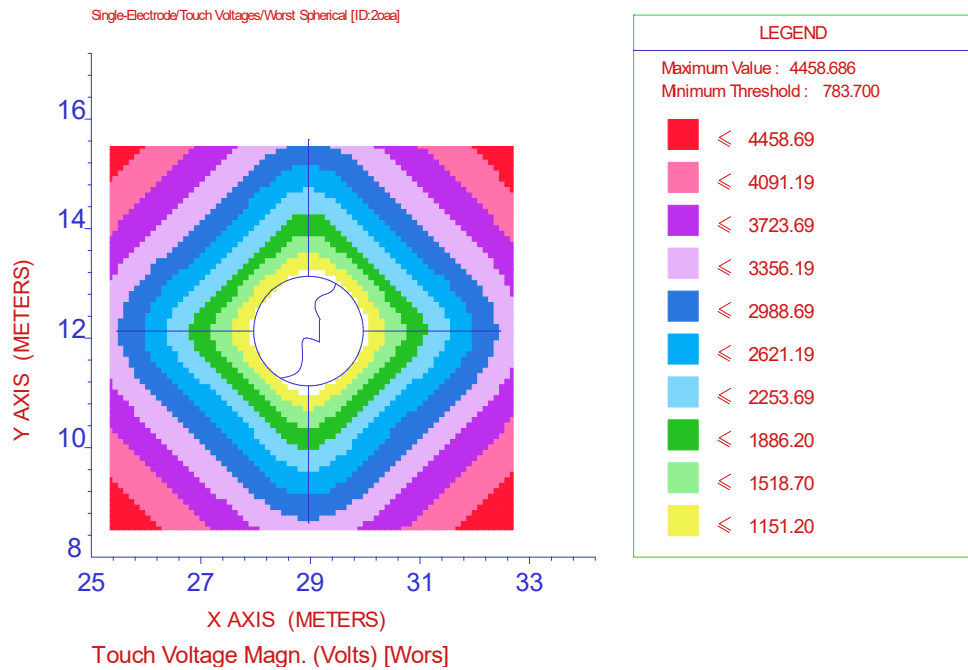


Σχήμα 4.43: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

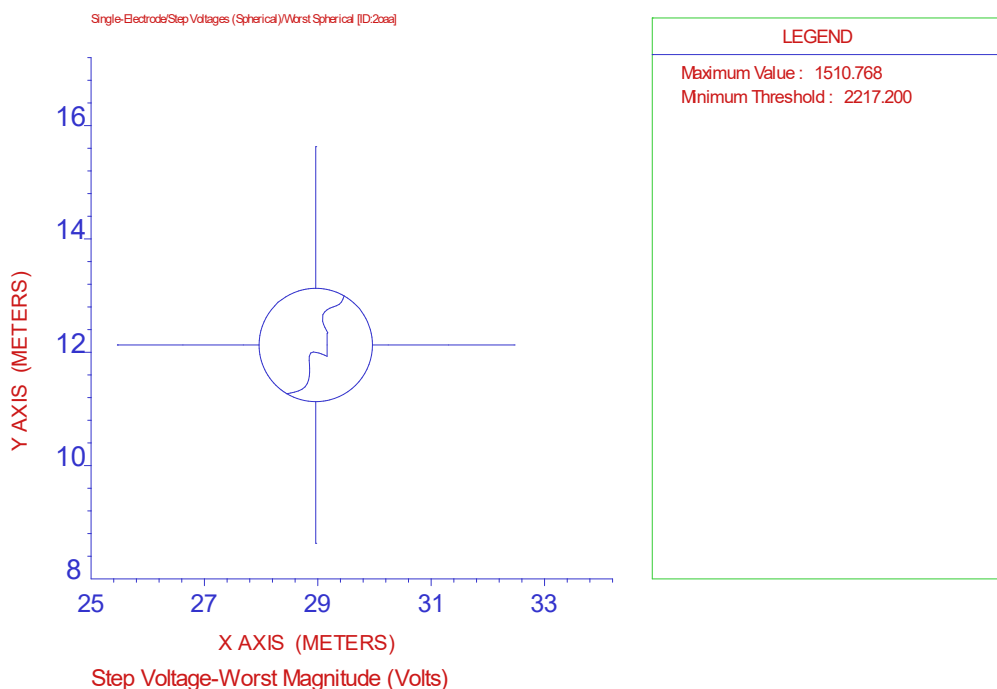


Σχήμα 4.44: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

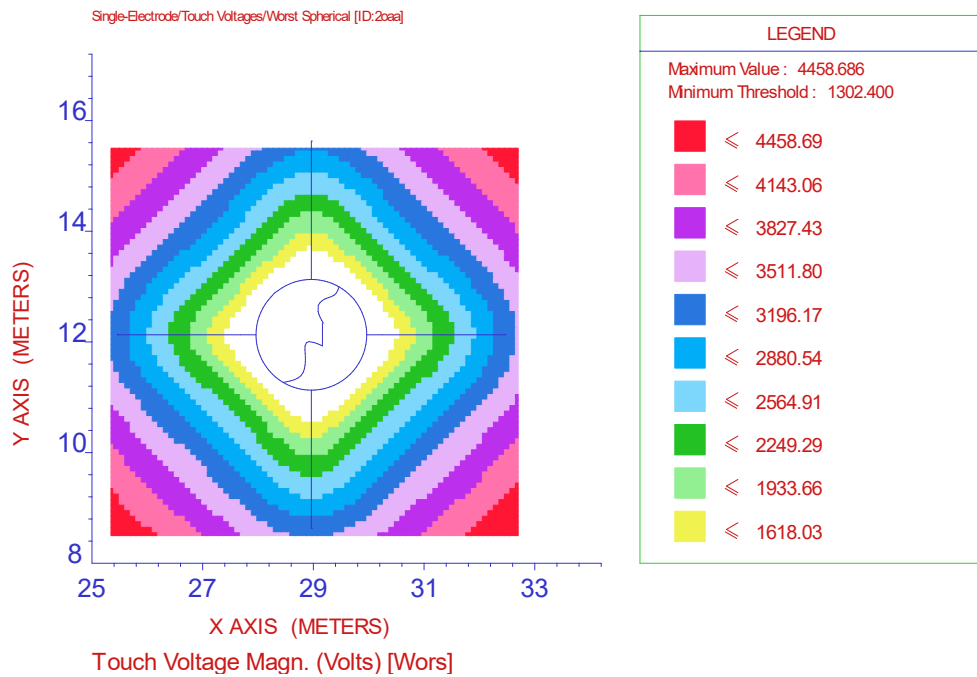
Από τις ανωτέρω γραφικές διαπιστώνεται ότι, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, ότι δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται μόνο στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1\text{m}$ από αυτά, μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα. Επομένως, ο συνδυασμός παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης δημιουργεί ένα ασφαλές σύστημα γείωσης. Ωστόσο, η διάρκεια στο ρεύμα σφάλματος από 0.5 sec αλλάζει σε 0.35 sec και 0.2 sec στα σενάρια προσομοίωσης, οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις είναι πολύ καλύτερες, εντός των ορίων, και τα αποτελέσματά τους απεικονίζονται στον πίνακα αποτελεσμάτων.



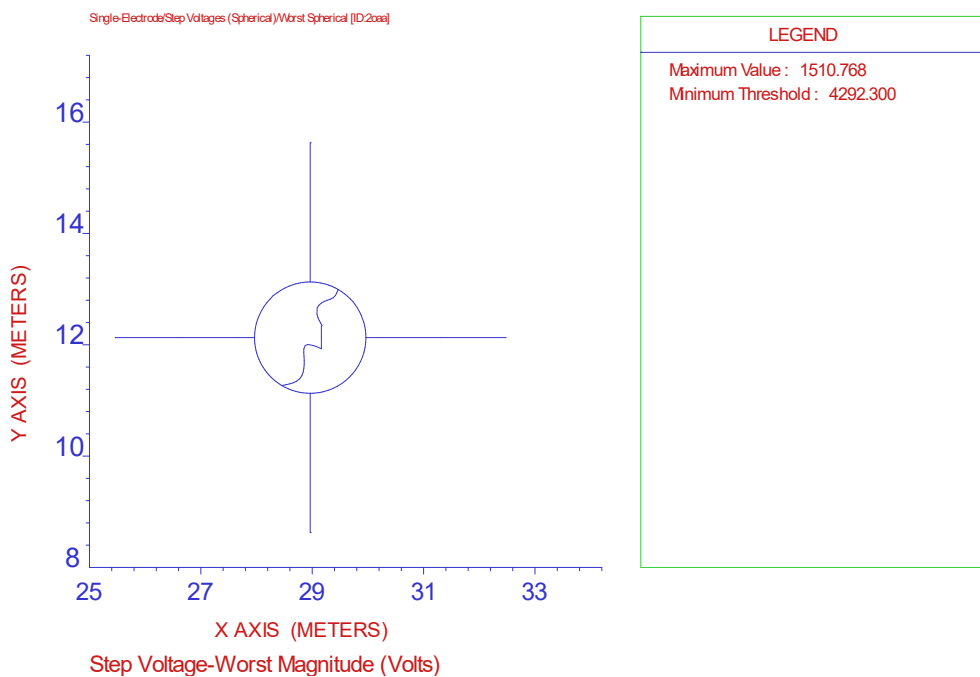
Σχήμα 4.45: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.46: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.47: Τάσεις επαφής για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



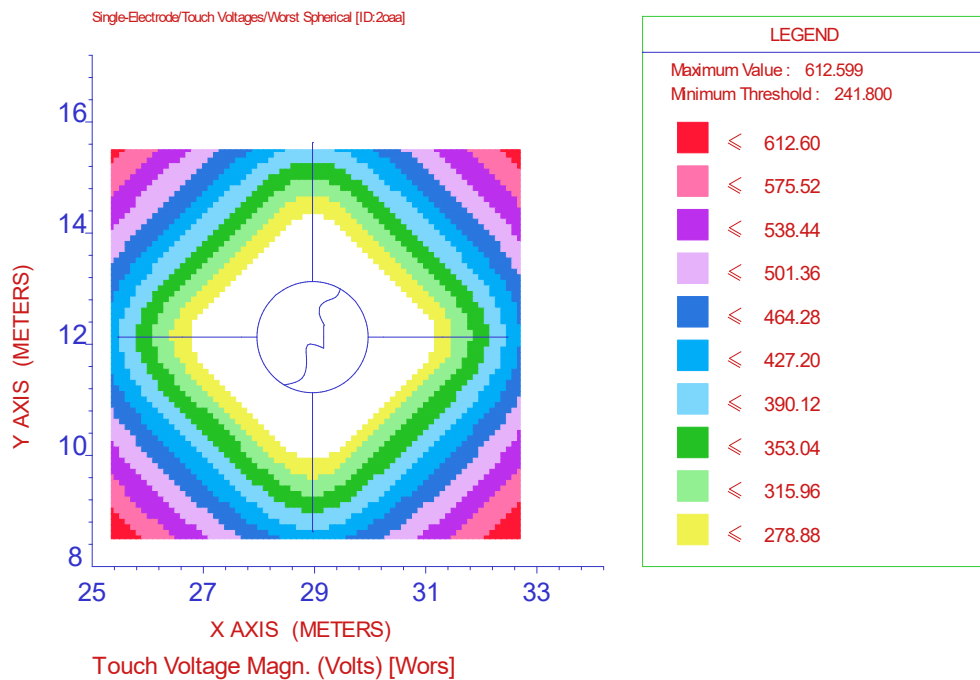
Σχήμα 4.48: Βηματικές τάσεις για μονοστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.2sec, με παρουσία επιφανειακού

στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

Από τις παραπάνω γραφικές διαπιστώνεται, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, ότι δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, δηλαδή άνω των επιτρεπόμενων ορίων, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Αυτό όμως που παρατηρείται είναι ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται κυρίως στην περίπτωση απουσίας επιφανειακού στρώματος. Προσθέτοντας, όμως, στην συγκεκριμένη περίπτωση επιφανειακό στρώμα οι επικίνδυνες τάσεις επαφής είναι στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1\text{m}$. Συμπεριλαμβανομένων των παραπάνω το σύστημα γείωσης μπορεί να κριθεί ασφαλές, με παρουσία επιφανειακού στρώματος.

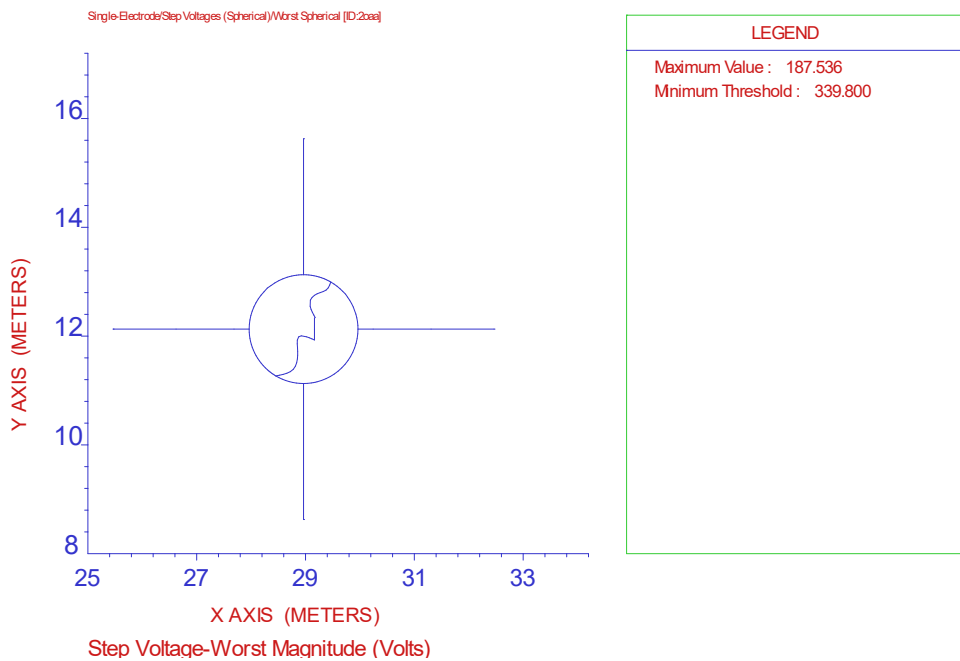
4.4.2 Διστρωματικό έδαφος

Παρακάτω απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των αναπτυσσόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής για την κατασκευή FCP-31ΠΙ, σε διστρωματικό μοντέλο.

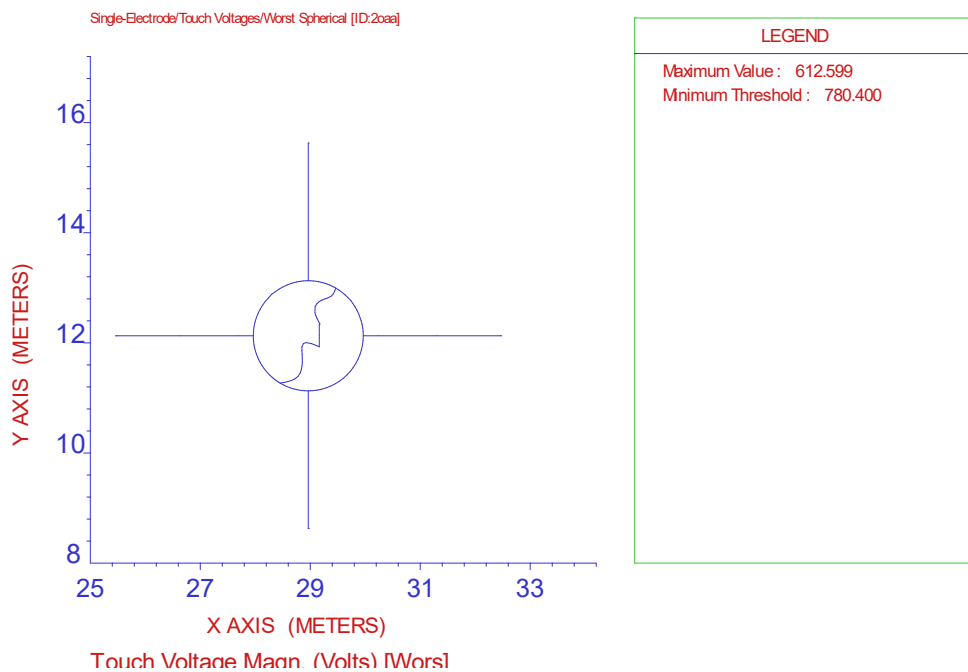


Σχήμα 4.49: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς

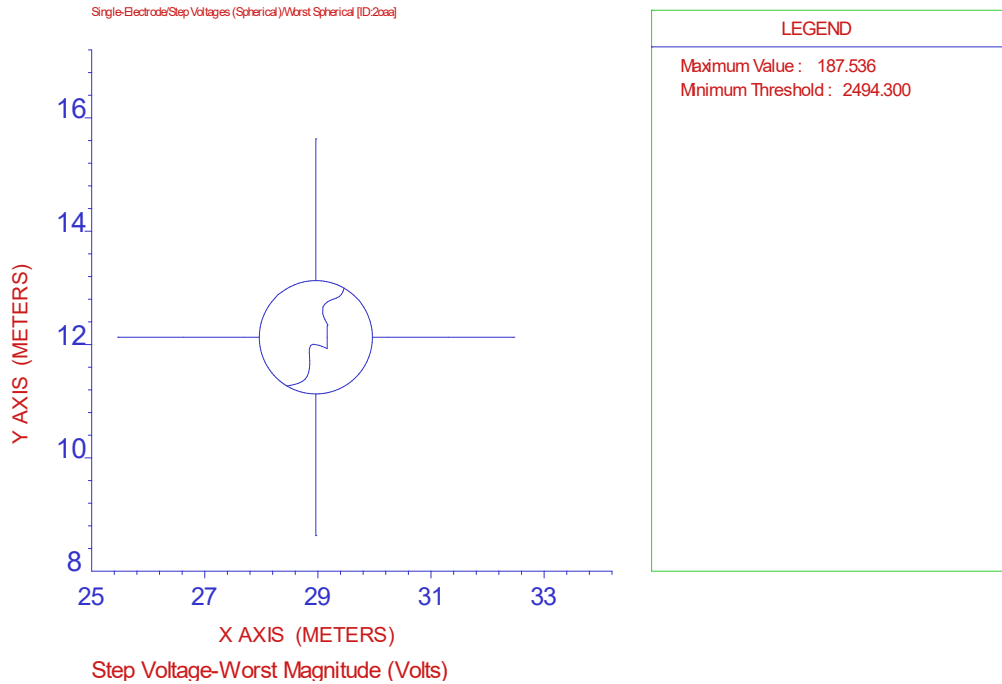
παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



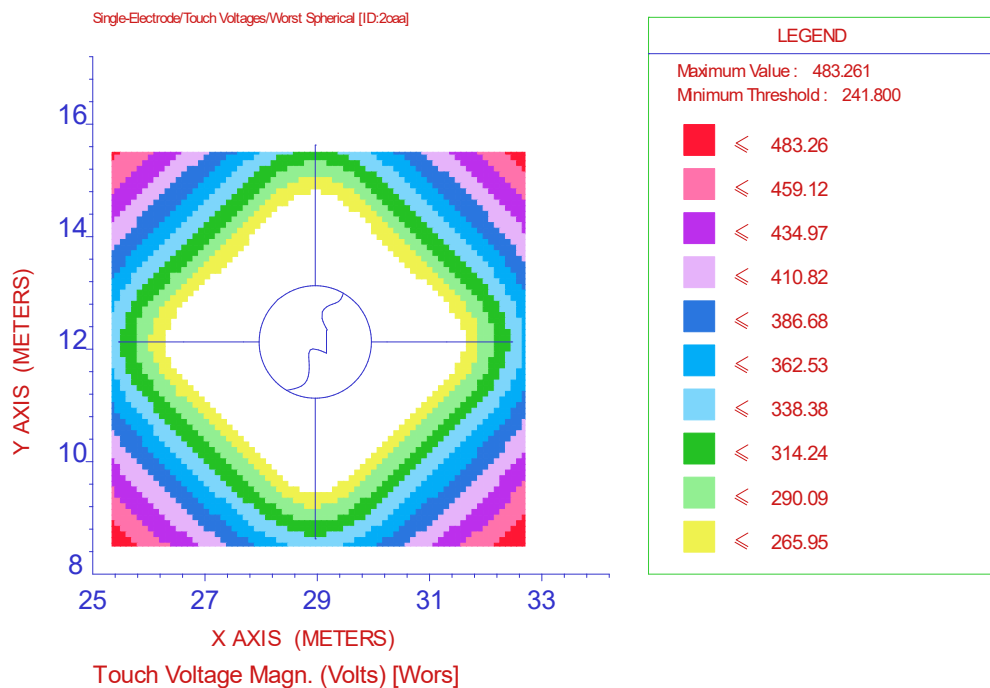
Σχήμα 4.50: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



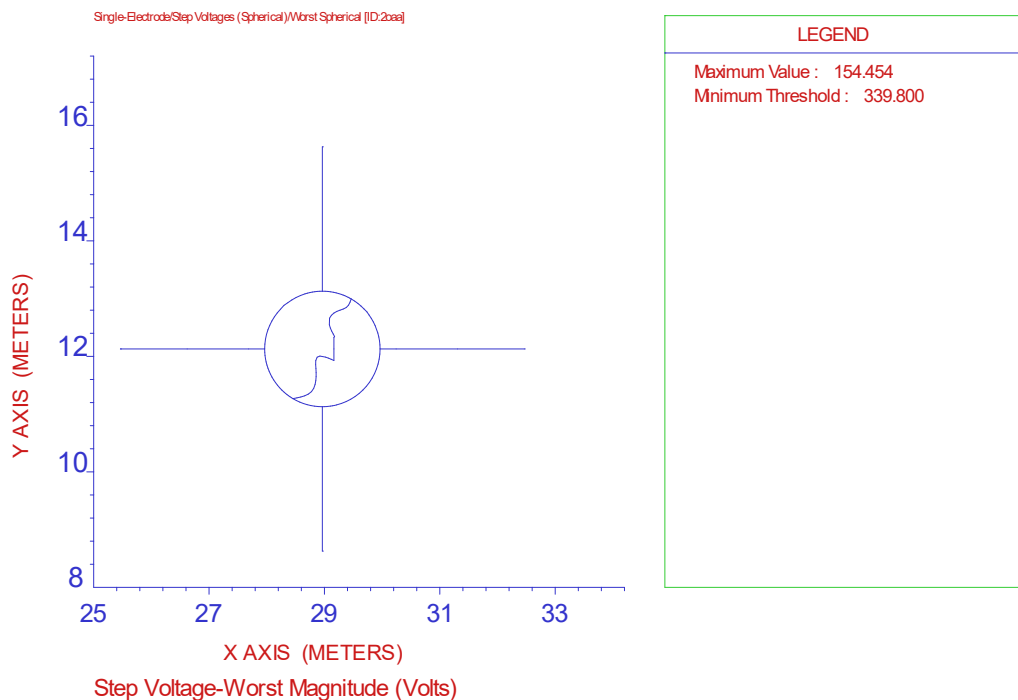
Σχήμα 4.51: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



Σχήμα 4.52: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



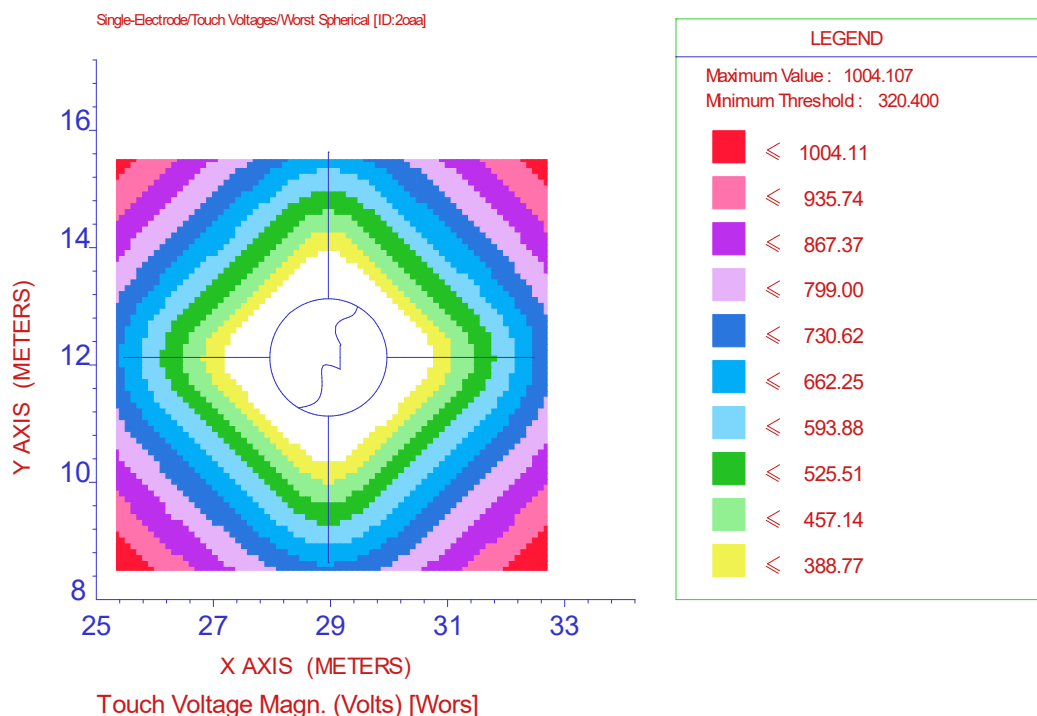
Σχήμα 4.53: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.54: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$ και $h=5\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec, χωρίς

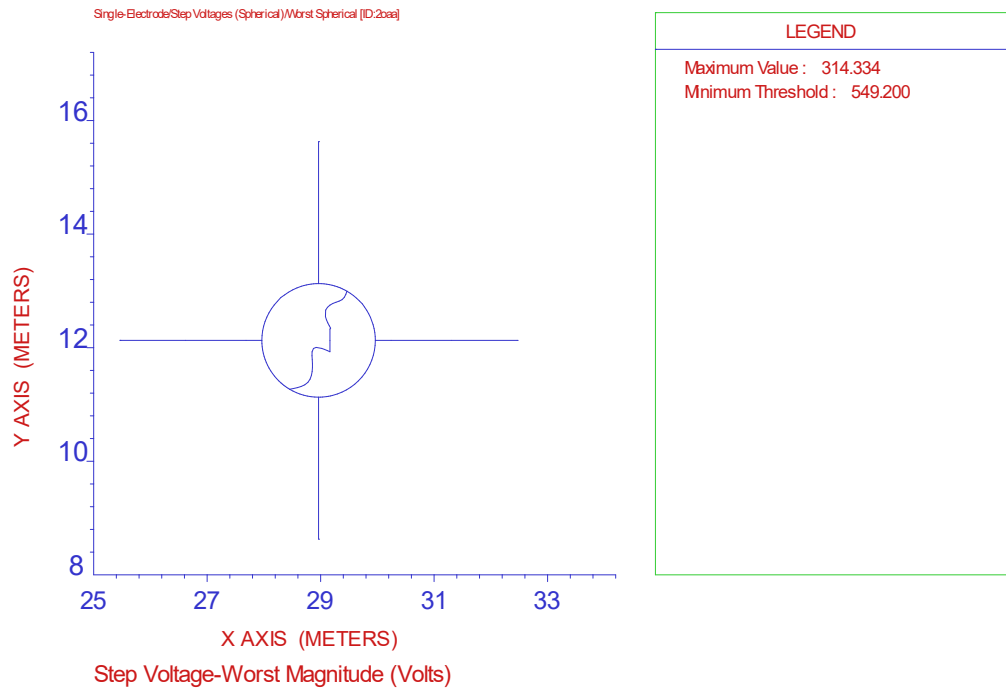
παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

Από τις ανωτέρω γραφικές διαπιστώνεται ότι, για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους και πιο συγκεκριμένα για $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$, και για $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$, $h=5\text{m}$, είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί ότι για την περίπτωση διστρωματικού εδάφους $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=5000\Omega\text{m}$, $h=5\text{m}$, με παρουσία επιφανειακού στρώματος δεν απεικονίζονται οι γραφικές, αξιολογούνται στα παραπάνω σχόλια και οι τιμές τους απεικονίζονται στον πίνακα αποτελεσμάτων. Παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται μόνο στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση $>1\text{m}$ από αυτά, και μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα. Επομένως, διαπιστώνεται ότι με τον συνδυασμό παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης επιτεύχθηκε η δημιουργία ενός ασφαλούς συστήματος γείωσης.

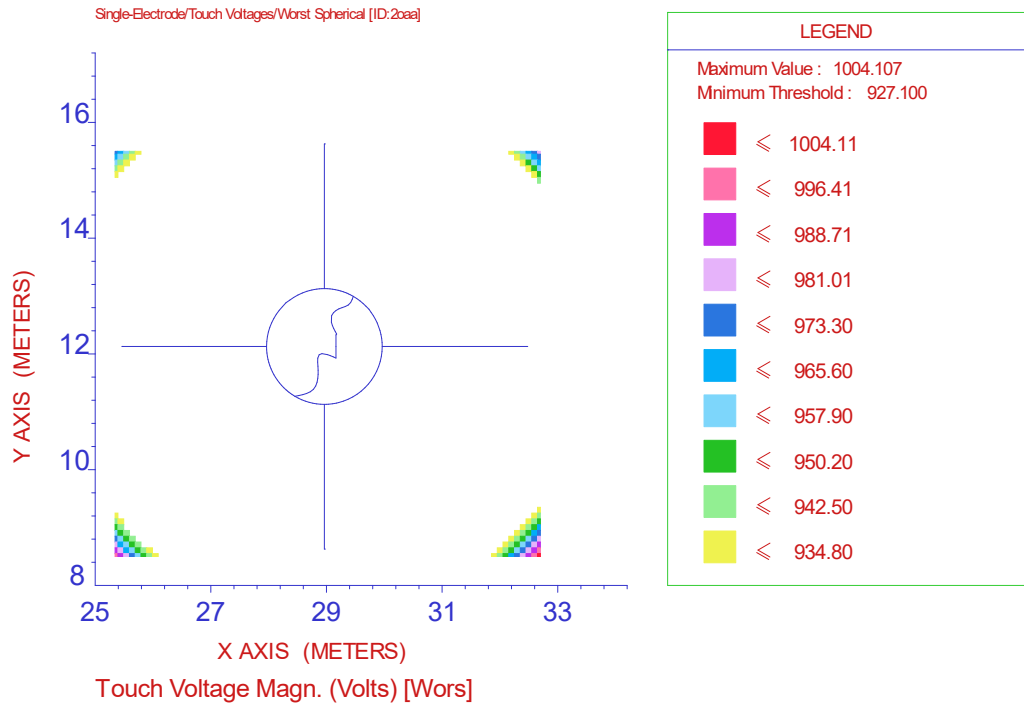


Σχήμα 4.55: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς

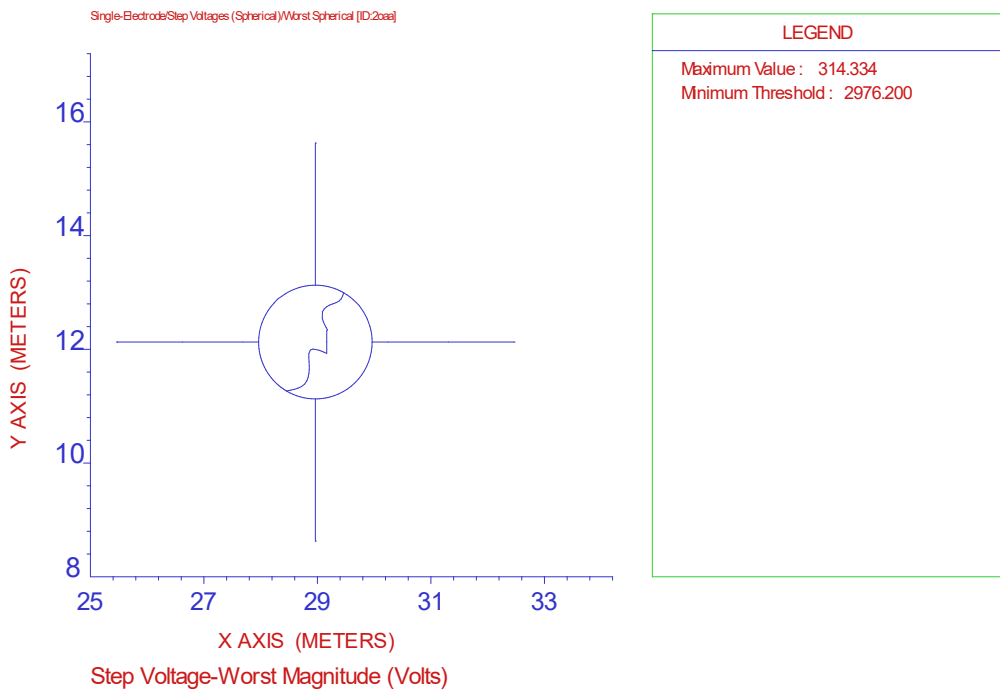
παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.56: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.

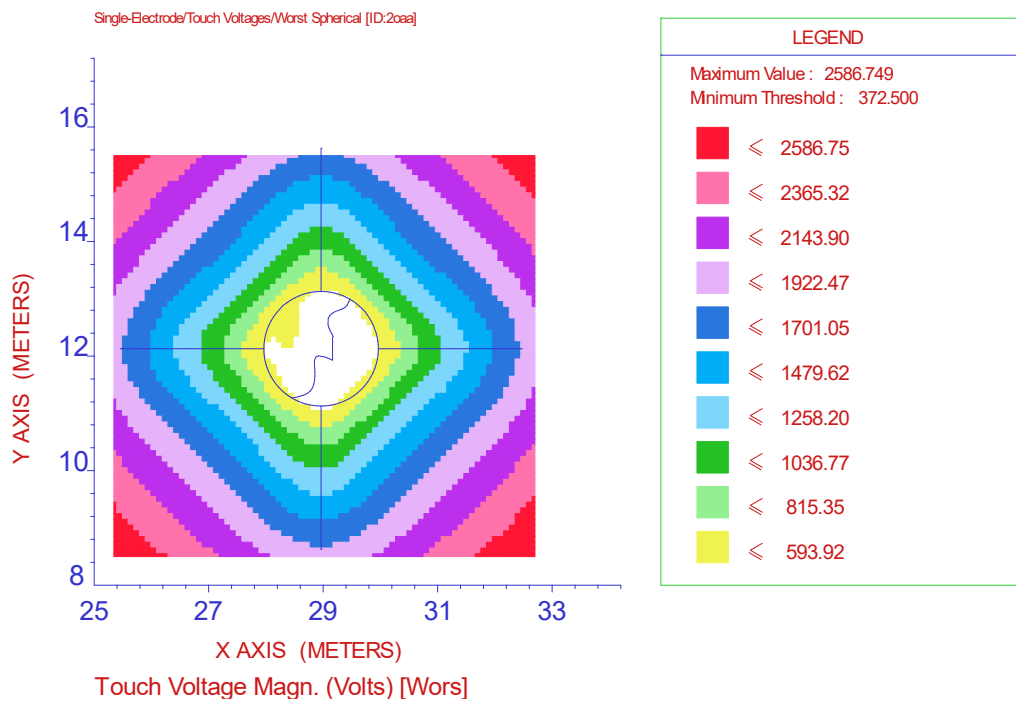


Σχήμα 4.57: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

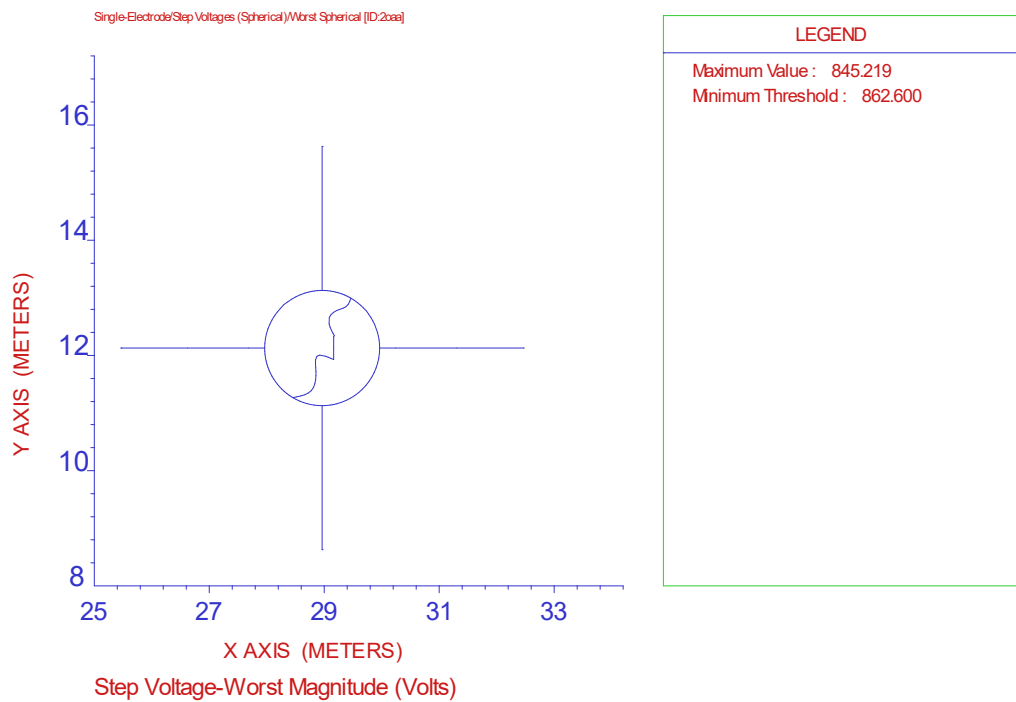


Σχήμα 4.58: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$ και $h=4\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με

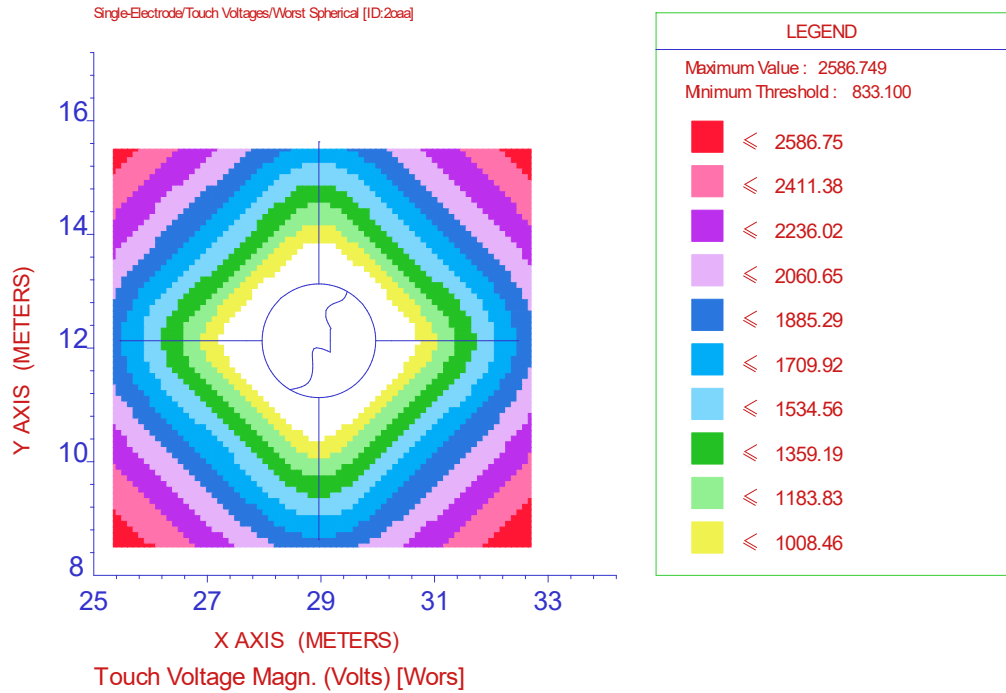
παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



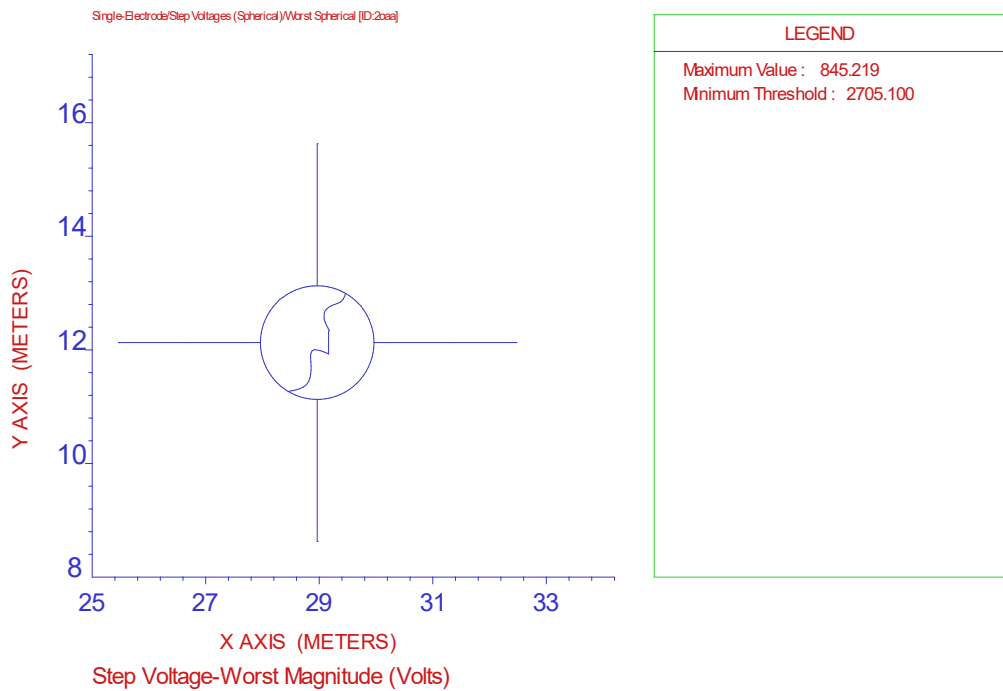
Σχήμα 4.59: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



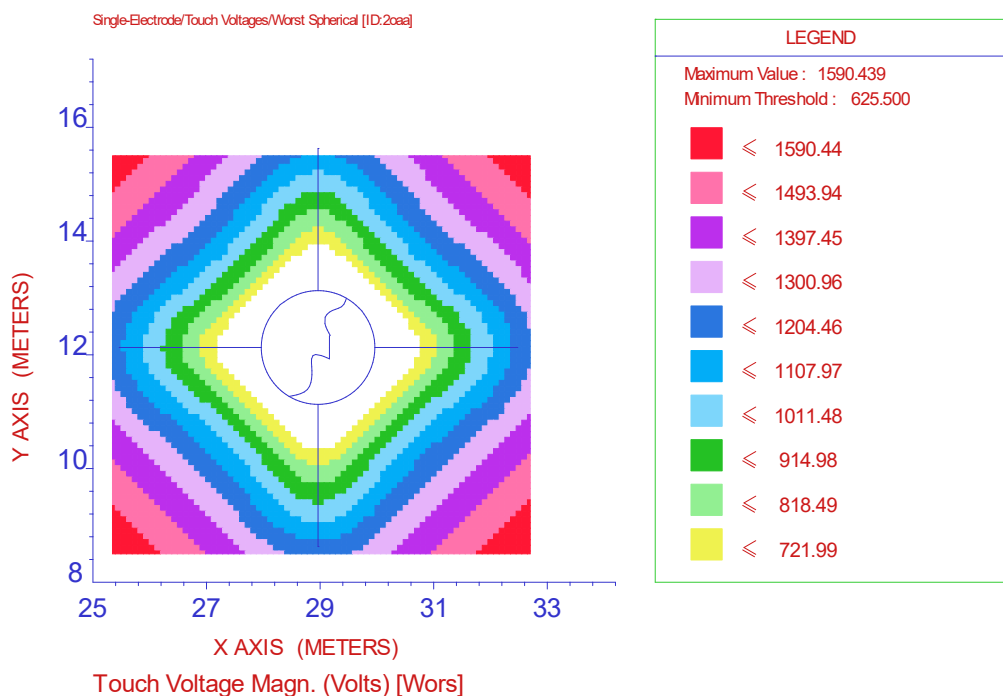
Σχήμα 4.60: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



Σχήμα 4.61: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .

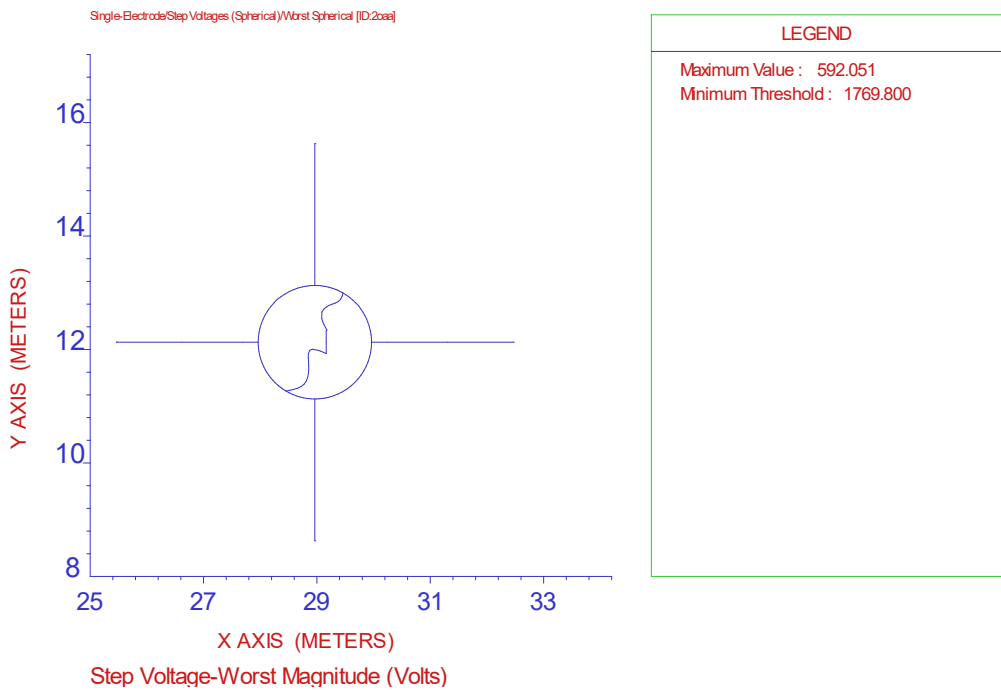


Σχήμα 4.62: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$ και $h=3\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.5sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70Kg .

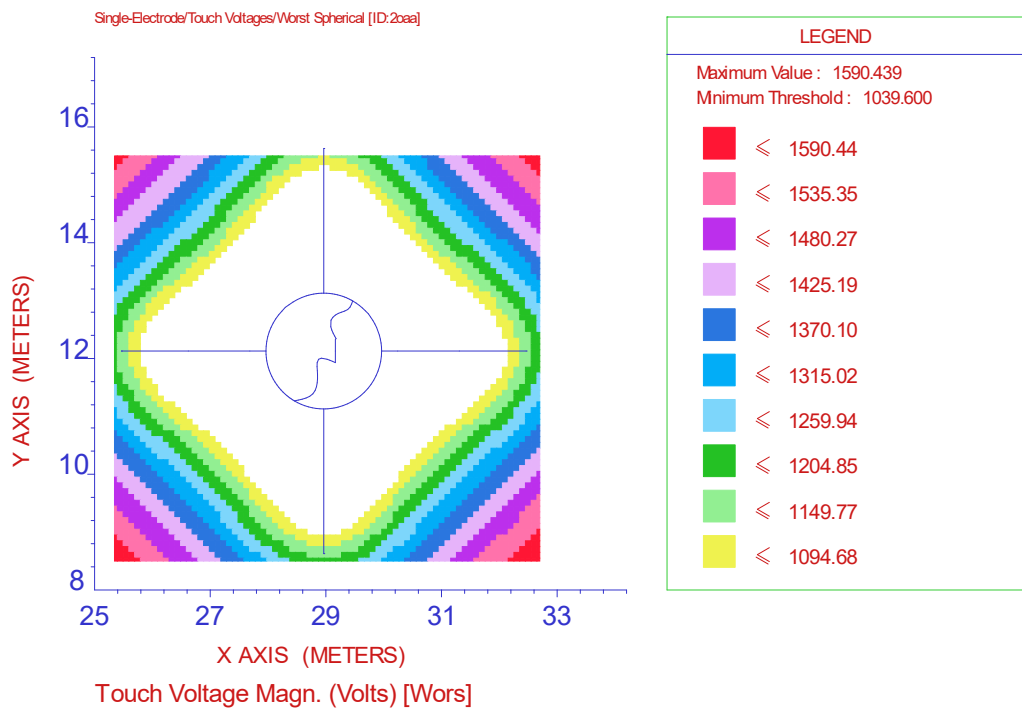


Σχήμα 4.63: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , χωρίς

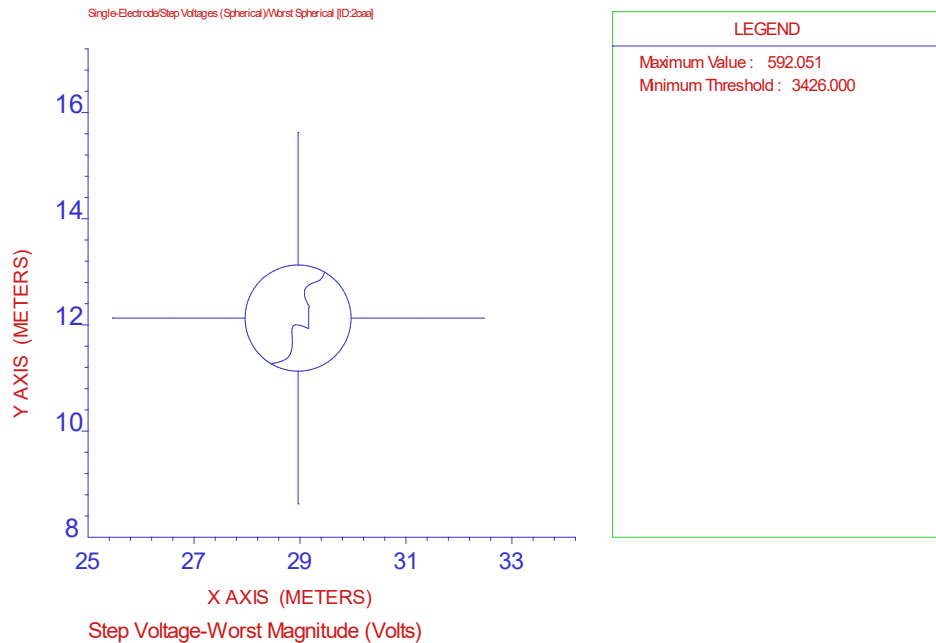
παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.64: Βηματικές τάσεις για διστροφματικό μοντέλο εδάφους με $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$ με διάρκεια σφάλματος 0.35sec, χωρίς παρουσία επιφανειακού στρώματος, σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg.



Σχήμα 4.65: Τάσεις επαφής για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .



Σχήμα 4.66: Βηματικές τάσεις για διστρωματικό μοντέλο εδάφους $\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=100\Omega\text{m}$ και $h=2\text{m}$, με διάρκεια σφάλματος 0.35sec , με παρουσία επιφανειακού στρώματος εδάφους $2500\Omega\text{m}$ και πάχους 10cm , σύμφωνα με το IEEE 80-2000 για άτομο 70 Kg .

Παρατηρώντας τις παραπάνω γραφικές για τις περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους:

$\rho_1=200\Omega\text{m}$, $\rho_2=2000\Omega\text{m}$, $h=4\text{m}$,

$\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$,

$\rho_1=1000\Omega\text{m}$, $\rho_2=200\Omega\text{m}$, $h=2\text{m}$,

είτε με παρουσία επιφανειακού στρώματος είτε χωρίς, δεν αναπτύσσονται επικίνδυνες βηματικές τάσεις, σύμφωνα με το πρότυπο [16]. Στην περίπτωση διστρωματικού εδάφους με $\rho_1=500\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $h=3\text{m}$, διαπιστώθηκε ότι χωρίς την παρουσία επιφανειακού στρώματος οι τάσεις επαφής ξεπέρασαν αρκετά τα όρια ασφαλείας. Παρόλα αυτά με παρουσία επιφανειακού στρώματος, οι τάσεις επαφής για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μέσα στα όρια ασφαλείας του προτύπου για

απόσταση 1m από την κολόνα. Αυξάνοντας και το πάχος του επιφανειακού στρώματος διαπιστώνεται ότι οι τάσεις επαφής είναι μέσα στα όρια ασφαλείας και για μεγαλύτερη απόσταση. Στις άλλες δύο περιπτώσεις διστρωματικού εδάφους, που αναφέρθηκαν παραπάνω, παρατηρείται ότι επικίνδυνες και εκτός ορίων ασφαλείας τάσεις επαφής, αναπτύσσονται μόνο στα άκρα του υποσταθμού και σε απόσταση >1m από αυτά, και μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει επιφανειακό στρώμα. Στο σημείο αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα σχεδιαζόμενα συστήματα γείωσης θα είναι ασφαλή σ' ένα πιθανό ρεύμα σφάλματος, υπό τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν.

Αξίζει να αναφερθεί ότι προσομοιώθηκαν και άλλα σενάρια, των οποίων οι γραφικές παραστάσεις δεν απεικονίζονται στο κείμενο λόγω οικονομίας χώρου, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα αποτελεσμάτων. Αυτό έγινε προκειμένου να υπάρξει μια σαφή εικόνα σχετικά με τον σχεδιασμό των συστημάτων γείωσης.

Τα σχόλια που αποκομίστηκαν από όλα τα σενάρια προσομοιώσεων της συγκεκριμένης εργασίας παρουσιάζονται στα συμπεράσματα.

4.5 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμών για το 1^ο μοντέλο του Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, την κατασκευή FCP-31Π.

ρ_1 (Ωm)	ρ_2 (Ωm)	h (m)	R (Ω)	V_s (V) Maximum value	Χωρίς Επιφανειακό στρώμα			Με Επιφανειακό στρώμα 10cm		
					Minimum Threshold			Minimum Threshold		
					V_{Step} 0,5s (V)	V_{Step} 0,35s (V)	V_{Step} 0,2s (V)	V_{Step} 0,5s (V)	V_{Step} 0,35s (V)	V_{Step} 0,2s (V)
100	-	-	6.76	150.3	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
1000	-	-	67.76	1503.6	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
100	200	1	11.32	225.6	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	500	2	15.32	222.8	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	1000	3	15.83	189.0	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	2000	4	15.88	161.4	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	5000	5	16.90	155.9	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
200	100	1	7.69	185.8	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	500	2	22.35	394.8	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	1000	3	25.36	365.6	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	2000	4	26.70	319.9	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	5000	5	29.57	311.8	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
500	100	1	8.50	231.7	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	200	2	18.42	483.1	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	1000	3	44.77	841.5	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	2000	4	51.29	784.5	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	5000	5	60.37	775.4	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
1000	100	1	8.92	256.3	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	200	2	21.57	612.3	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	500	3	49.32	1251.2	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	2000	4	82.45	1538.4	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	5000	5	101.71	1540.6	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3

Πίνακας 4.2: Υπολογισθείσες τιμές Αντίστασης Γείωσης ανάλογα με τις ειδικές αντιστάσεις του εδάφους και Βηματικών Τάσεων ανάλογα με τα όρια ασφαλείας, το χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για την κατασκευή FCP-31Π.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμών για το 2^ο μοντέλο του Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, την κατασκευή FCP-31ΠΙ.

ρ_1 (Ωm)	ρ_2 (Ωm)	h (m)	R (Ω)	V_s (V) Maximum Value	Χωρίς χαλίκι Minimum Threshold			Με χαλίκι Minimum Threshold		
					$V_{s_{\max}}$ 0,5s (V)	$V_{s_{\max}}$ 0,35s (V)	$V_{s_{\max}}$ 0,2s (V)	$V_{s_{\max}}$ 0,5s (V)	$V_{s_{\max}}$ 0,35s (V)	$V_{s_{\max}}$ 0,2s (V)
					100	-	-	7.34	151.1	339.8
1000	-	-	73.37	1510.8	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
100	200	1	12.55	234.8	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	500	2	16.58	224.1	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	1000	3	16.80	187.5	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	2000	4	16.62	158.0	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
	5000	5	17.57	154.5	339.8	396.7	497	2494.3	2911.6	3647.8
200	100	1	8.14	181.8	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	500	2	24.32	398.6	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	1000	3	27.13	364.7	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	2000	4	28.12	314.3	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
	5000	5	30.90	308.7	470.5	549.2	688.1	2549.6	2976.2	3728.7
500	100	1	8.77	222.8	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	200	2	19.60	475.9	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	1000	3	48.43	845.2	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	2000	4	54.65	776.4	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
	5000	5	63.62	769.5	862.6	1006.9	1261.5	2705.1	3157.7	3956.1
1000	100	1	9.08	243.7	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	200	2	22.56	592.0	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	500	3	53.17	1248.3	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	2000	4	88.64	1533.7	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3
	5000	5	108.00	1533.0	1516.1	1769.8	2217.2	2935.0	3426.0	4292.3

Πίνακας 4.3: Υπολογισθείσες τιμές Αντίστασης Γείωσης ανάλογα με τις ειδικές αντιστάσεις του εδάφους και Βηματικών Τάσεων ανάλογα με τα όρια ασφαλείας, το χρόνο εκκαθάρισης σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για την κατασκευή FCP-31ΠΙ.

Τα μέγιστα όρια ασφαλείας για τις αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής, βηματικές τάσεις καθώς και την αντίσταση ποδιού, όπως ορίζονται από το πρότυπο IEEE Std.80-2000 για 70Kgr άνθρωπο για κάθε μία από τις παρακάτω διαφορετικές περιπτώσεις ειδικής αντίστασης εδάφους, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Όταν ειδική αντίσταση εδάφους είναι: $\rho=100\Omega\text{m}$

Χρονική διάρκεια σφάλματος	Χωρίς επιφανειακό στρώμα			Με επιφανειακό στρώμα 10cm		
	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}
0.500	339.8	241.8	312.5	2494.3	780.4	5463.8
0.350	396.7	282.2	312.5	2911.6	911.0	5463.8
0.200	497.0	353.6	312.5	3647.8	1141.3	5463.8

Πίνακας 4.4: Όρια ασφαλείας ανάλογα με τη χρονική διάρκεια σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=100\Omega\text{m}$

Όταν ειδική αντίσταση εδάφους είναι: $\rho=200\Omega\text{m}$

Χρονική διάρκεια σφάλματος	Χωρίς επιφανειακό στρώμα			Με επιφανειακό στρώμα 10cm		
	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}
0.500	470.5	274.5	625.0	2549.6	794.2	5596.2
0.350	549.2	320.4	625.0	2976.2	927.1	5596.2
0.200	688.1	401.4	625.0	3728.7	1161.5	5596.2

Πίνακας 4.5: Όρια ασφαλείας ανάλογα με τη χρονική διάρκεια σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=200\Omega\text{m}$

Όταν ειδική αντίσταση εδάφους είναι: $\rho=500\Omega\text{m}$

Χρονική διάρκεια σφάλματος	Χωρίς επιφανειακό στρώμα			Με επιφανειακό στρώμα 10cm		
	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}
0.500	862.6	372.5	1562.5	2705.1	833.1	5967.9
0.350	1006.9	434.8	1562.5	3157.7	972.5	5967.9
0.200	1261.5	544.8	1562.5	3956.1	1218.4	5967.9

Πίνακας 4.6: Όρια ασφαλείας ανάλογα με τη χρονική διάρκεια σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=500\Omega\text{m}$

Όταν ειδική αντίσταση εδάφους είναι: $\rho=1000\Omega\text{m}$

Χρονική διάρκεια σφάλματος	Χωρίς επιφανειακό στρώμα			Με επιφανειακό στρώμα 10cm		
	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}	V_{Step}	V_{touch}	R_{foot}
0.500	1516.1	535.9	3125.0	2935.0	890.6	6517.5
0.350	1769.8	625.5	3125.0	3426.0	1039.6	6517.5
0.200	2217.2	783.7	3125.0	4292.3	1302.4	6517.5

Πίνακας 4.7: Όρια ασφαλείας ανάλογα με τη χρονική διάρκεια σφάλματος και το επιφανειακό στρώμα, για ειδική αντίσταση εδάφους $\rho=1000\Omega\text{m}$

4.6 Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, το κύριο ζητούμενο της εργασίας ήταν ποια θα πρέπει να είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη αντίσταση γείωσης η οποία θα πρέπει να επιτυγχάνεται στις εγκαταστάσεις Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου και η ασφάλεια του τεχνικού προσωπικού ή τρίτων, που θα μπορούσαν να βρεθούν πλησίον ή σε επαφή με τα εν λόγω στοιχεία του δικτύου, στην περίπτωση ενός ρεύματος σφάλματος. Επίσης, οι τάσεις επαφής όπως και οι βηματικές τάσεις να τηρούν τα όρια ασφαλείας, ώστε σε μια γραμμή του υποσταθμού αν προκύψει ένα ρεύμα σφάλματος να μην κινδυνέψει ο εξοπλισμός του υποσταθμού καθώς και οι ανθρώπινες ζωές που θα βρίσκονται εντός του υποσταθμού ή σε πλησιέστερη απόσταση αυτού.

Με την παρούσα εργασία μελετήθηκαν και εξετάστηκαν δύο τυποποιημένες κατασκευές που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό Σύστημα Διανομής. Μετρήθηκε η αντίσταση γείωσης, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις για κάθε σενάριο προσομοίωσης σύμφωνα με το πρότυπο [16] και την οδηγία [10].

Το ρεύμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν 100 A να ρέουν στο σύστημα γείωσης, για όλα τα σενάρια προσομοίωσης και για τα δύο μοντέλα Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ.

Από τις παραπάνω γραφικές και για τα δύο μοντέλα Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, διαπιστώθηκε ότι οι βηματικές τάσεις δεν ξεπέρασαν τα όρια ασφαλείας του προτύπου, είτε χωρίς επιφανειακό στρώμα, είτε με επιφανειακό στρώμα, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το σύστημα γείωσης που σχεδιάστηκε είναι ασφαλές. Αξίζει να αναφερθεί ότι αν και σε μερικές περιπτώσεις η αντίσταση γείωσης ξεπερνά τα 40 Ω, κατώφλι που ορίζεται στην οδηγία [10], οι αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις είναι κάτω των ορίων ασφαλείας και οι τάσεις επαφής ξεπερνούν τα όρια σε απόσταση >1m από την κολόνα. Ωστόσο, στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιώντας χαλίκι με ειδική αντίσταση 2500Ωm και πάχος επιφανειακού στρώματος 10cm το πρόβλημα με τις τάσεις επαφής εξαλείφεται, έχοντας πιο αυξημένα όρια ασφαλείας. Υπάρχουν, βέβαια, και περιπτώσεις όπου με μεγάλη ειδική αντίσταση εδάφους, της τάξης των 1000Ωm, οι τάσεις επαφής ξεπερνούν αρκετά τα όρια ασφαλείας. Δεν ισχύει όμως το ίδιο για τις βηματικές τάσεις, καθώς δεν ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας. Το πρόβλημα

όμως με τις αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής λύνεται προσθέτοντας επιφανειακό στρώμα και μικραίνοντας τη χρονική διάρκεια εκκαθάρισης σφάλματος από 0.5sec σε 0.35sec και 0.2sec. Με τον τρόπο αυτό, οι αναπτυσσόμενες τάσεις επαφής σ' όλα τα σενάρια προσομοίωσης και για τις δύο κατασκευές Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ είναι κάτω των ορίων ασφαλείας για αποστάσεις μικρότερες των 1m από την κολόνα. Τα επιτρεπτά όρια ασφαλείας των βηματικών τάσεων είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά των τάσεων επαφής οπότε η εξάλειψη των επικίνδυνων τάσεων επαφής συνεπάγεται την εξάλειψη των επικίνδυνων βηματικών τάσεων.

Διαπιστώνεται ότι με την χρήση επιπρόσθετων προστατευτικών μέτρων, όπως η επίστρωση με υλικό επιφανείας στις κρίσιμες γωνίες του προς μελέτη υποσταθμού, το σύστημα γείωσης με βάση το κριτήριο IEEE θεωρείται ασφαλές και προσεγγίζει την επίτευξη τάσεων επαφής κάτω από τα όρια ασφαλείας στο μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του. Αυξάνοντας το επιφανειακό στρώμα σε τιμές μεγαλύτερες των 10cm, παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα για τις τάσεις επαφής.

Επομένως, η αντίσταση γείωσης που επιτυγχάνεται στις παραπάνω εγκαταστάσεις μέσω των σεναρίων προσομοίωσης είναι μεγαλύτερη από 40Ω, σε ορισμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου και η ασφάλεια του τεχνικού προσωπικού ή τρίτων, που θα μπορούσαν να βρεθούν πλησίον ή σε επαφή με τα εν λόγω στοιχεία του δικτύου, στις περισσότερες των περιπτώσεων και σ' όλες προσθέτοντας χαλίκι με ειδική αντίσταση εδάφους 2500Ωm και πάχος επιφανειακού στρώματος 10cm. Έτσι, οι τάσεις επαφής όπως και οι βηματικές τάσεις τηρούν τα όρια ασφαλείας, ώστε στην περίπτωση ενός ρεύματος σφάλματος σε μια γραμμή του υποσταθμού να μην κινδυνέψει ο εξοπλισμός του υποσταθμού καθώς και οι ανθρώπινες ζωές που θα βρίσκονται εντός του υποσταθμού ή σε πλησιέστερη απόσταση αυτού. Τέλος, η αντίσταση γείωσης εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους, όσο μικρότερη είναι η ειδική αντίσταση του εδάφους τόσο μικρότερη θα είναι και η αντίσταση γείωσης.

4.6.1 Η επόμενη μέρα

Για την παρούσα εργασία υπάρχουν αρκετά πράγματα που μπορούν να γίνουν, καθώς είναι ευρέως διαδεδομένο ότι τα συστήματα γείωσης αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην ασφάλεια των ανθρώπων και των εγκαταστάσεων και στην αξιόπιστη και ευσταθή λειτουργία του εξοπλισμού (ηλεκτρολογικού και μη) της εγκατάστασης. Έχοντας στο νου τα παραπάνω, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη συνέχισης και επέκτασης της συγκεκριμένης εργασίας.

Θα μπορούσαν να γίνουν προσομοιώσεις και για άλλες κατασκευές Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, πέραν των δύο τυποποιημένων που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης, να χρησιμοποιηθούν και άλλες τιμές ειδικών αντιστάσεων εδάφους, προκειμένου να διευκρινιστεί αν το πρόβλημα μπορεί να θεραπευτεί, βλέποντας πάντα ότι τηρούνται τα όρια ασφαλείας που μας ορίζει το πρότυπο [16]. Επιπλέον, μια πρόταση είναι να ληφθούν υπόψιν και οι καμπύλες των μέσων προστασίας ώστε η σύγκριση να είναι πιο ακριβής και αξιόπιστη.

Κατόπιν, να παρθούν τα πραγματικά δεδομένα από Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ του Ελληνικού Συστήματος Διανομής και να συγκριθούν μ' αυτά των προσομοιώσεων. Έτσι, αποκτάται μια πληρέστερη εικόνα και πιο ορθά τεκμηριωμένη, για τις τιμές αντίστασης γείωσης και τις αναπτυσσόμενες τάσεις σε διάφορες κατασκευές Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ ώστε στο μέλλον να κατασκευάζονται συστήματα γείωσης που θα λειτουργούν με ασφάλεια, προστατεύοντας ανθρώπους και εξοπλισμό. Τέλος, θεωρείται πρωταρχικής σημασίας η εγκατάσταση ηλεκτροδίων με βελτιωτικά υλικά γείωσης σε διαφορετικούς τύπους εδάφους.

Βιβλιογραφία

- [1] Μιχ. Π. Παπαδόπουλου, «Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος Ι, Αθήνα 1994
- [2] Κ.Βουρνά, Γ.Κονταξή «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Εκδόσεις ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, 2010
- [3] Περικλή Δ. Μπούρκα, «Ασκήσεις Κτιριακών-Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων (Υποσταθμός Μέσης Τάσης, Βραχυκύκλωμα-Γειώσεις) », Αθήνα 2008
- [4] M., Weedy B., Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, Αθήνα: Χ. ΓΚΙΟΥΡΔΑ & ΣΙΑ ΕΕ, 1980.
- [5] ΔΕΔΔΗΕ, «Διαχειριστής Ελληνικού Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.deddie.gr.
- [6] Μιχ. Π. Παπαδόπουλου, «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 1997
- [7] Στεφάνου Παπαϊωάννου, «Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας με Εναέρια Δίκτυα», ΔΕΗ, Αθήνα 2010.
- [8] Π. Δ. Μπούρκα, Κ. Γ. Καραγιαννόπουλου, «Μετρήσεις σε Βιομηχανικές Διατάξεις και Υλικά», Αθήνα 2004.
- [9] «Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής», ΔΕΗ, Αθήνα 8^{ος} 2010.
- [10] Οδηγία Διανομής Νο 119, «Γειώσεις Δικτύων Διανομής», ΔΕΗ, Αθήνα, 1976.
- [11] Βασιλείου Π. Ανδροβιτσανέα, Συμβολή στη μελέτη της συμπεριφοράς συστημάτων γείωσης με προσθήκη βελτιωτικών υλικών, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2016.
- [12] J. Nahman, D. Salamon, «Mutual interference of neighboring grounding systems and approximate formulation», journal homepage: www.elsevier.com/locate/epsr ,5 June 2017

- [13] Zacharias G. Datsios, Pantelis N. Mikropoulos, « Safety performance evaluation of typical grounding configurations of MV/LV distribution substations», journal home page: www.elsevier.com/locate/epsr, 12 May 2017
- [14] H. E. Martinez, E. L. Fuentealba, L. A. Cisternas, H. R. Galleguillos, J. F. Kasaneva and O. A. de la Fuente, “A new artificial treatment for the reduction of resistance in ground electrode”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 2, pp. 601–608, April 2004.
- [15] IEEE Std 142-2007, “IEEE Recommended Practice of Grounding for Industrial and Commercial Power Systems”, IEEE Green Book, November 30th, 2007.
- [16] ANSI/IEEE Std 80-2013, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, May 2015.
- [17] ΕΛΟΤ HD 384, «Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», 2^η έκδοση, 04/03/2004.
- [18] Π. Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών σύμφωνα με το νέο κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384», Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα, 2005.
- [19] Ιωάννη Φ. Γκόνου, «Μεταβατική Συμπεριφορά Συστημάτων Γείωσης», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2002.
- [20] C. F. Tagg, “Earth resistances”, First edition, London, England, George Newnes Ltd., 1964.
- [21] E. D. Sunde, “Earth conduction effects in transmission systems”, New York, Dover Publications Inc., 1968.
- [22] ANSI/IEEE Std 81-2012, “IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance and earth surface potentials of a grounding system”, December 28th, 2012.
- [23] F. Wenner, “A method of measuring earth resistivity”, Scientific Paper No. 258, Bulletin of the Bureau of Standards, Vol. 12, No. 4, pp. 469–478, May 1916.
- [24] E. Hering, “Measuring earth resistance”, Dresden, Germany.

[25] Βασιλείου Π. Ανδροβιτσάνεα, Επίδραση μικροεδάφους σε συστήματα γείωσης εγκαταστάσεων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2011.

[26] <http://faraday.ee.auth.gr/kosmanis/files/grounding.ppt>

[27] Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3, “Protection against lightning Part 3: Physical damage to structure and life hazard”, Annex E, §E.5.6.2.2.2., pp. 275, “Metals in concrete”, February 2006.

[28] AEMC Instruments, “Understanding ground resistance testing”, Workbook edition 7.0.

[29] F. Dawalibiand D.Mukhedkar, “Ground electrode resistance measurements in non uniform soils”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, No. 1, pp. 109–115, January 1974.

[30] Hering E., “Schutzerder des TT-Systems”, Elektropraktiker, pp. 370–373, Berlin 59 (2005) 5.

[31] IEC 60364-4-41:205 “Erection of power installations with nominal voltages up to 1000V— Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock”.

[32] www.erico.com

[33] IEC 60364-6:2006-02 “Low-voltage electrical installations — Part 6: Verification”.

[34] IEC 61557-1:2007 “Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures — Part 1: General requirements”.

[35] IEC 61557-5:2007 “Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures — Part 5: Resistance to earth”.

[36] IEC 61557-6:2007 “Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures — Part 6: Effectiveness of residual current devices (RCD) in TT, TN and IT systems”.

[37] IEC 61557-10:2007 “Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures — Part 10: Combined measuring equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures”.

[38] Πρότυπο HD 60364-5-54, “Low voltage installations — Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors”, February 2007.

[39] Hering E., “Problem emit einemder Erdungsmeßverfahren beim TN-System”, Elektropraktiker, pp. 820–822, Berlin 53 (1999) 9.

[40] <http://us.fluke.com>

[41] <http://www.nachi.org>

[42] <http://www.techteam.gr>

[43] Ν. Παναγιωτόπουλος: “Γειώσεις και αντικεραυνική προστασία δικτύων και εγκαταστάσεων”, Σεμινάριο.

[44] Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 1424, “Απαιτήσεις για θεμελιακή γείωση”, 03/11/2006.

[45] <https://www.aemc.com/products/ground-testers/>

[46] American National Standard Dictionary for Technologies of Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Pulse (EMP) and Electrostatic Discharge (ESD) (Dictionary of EMC/EMP/ESD Terms and Definitions), ANSI C63.14-1998 (Revision of ANSI C63.14-1992), approved on 28 October 1998.

[47] Dick W. K. and Holliday H. R., “Impulse and Alternating Current Tests on Grounding Electrodes in Soil Environments”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-97, no. 1, pp. 102–108, Jan/Feb 1978.

[48] www.elemko.gr

[49] E. J. Fagan and R. H. Lee, “The use of concrete-enclosed reinforcing rods as grounding electrodes”, IEEE Transactions on Industry and General Applications, Vol. IGA-6, No.4, pp.337–348, July/August 1970.

[50] H. Kutter and W. Lange, "Grounding improvement by using bentonite", *Elektrie*, Vol. 21, No. 11, pp.421–424, 1967.

[51] K.L. Mc Gowan, "Use of conductive backfills in reducing transmission tower surge impedance and footing resistance", *Proceedings of the IEEE PES Summer Meeting*, San Francisco, California, USA, July 20th–25th, 1975.

[52] W.R. Jones, "Bentonite rods assure ground rod installation in problem soils", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-99, No.4, pp.1343–1346, July 1980.

[53] M. Veledar, Z. Timic, S. Skokand Z. First, "Improvement of grounding properties by using bentonite", *Proceedings of the CIGRE Paris Conference*, paper 22-06, 1982.