



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εκπόνηση μελετών προστασίας υπέρεντασης δικτύων  
ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του λογισμικού  
DIgSILENT PowerFactory**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Φίλιππος Α. Θέμελης

**Επιβλέπων :** Γεώργιος Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Εκπόνηση μελετών προστασίας υπέρτασης δικτύων  
ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του λογισμικού  
DIgSILENT PowerFactory**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Φίλιππος Α. Θέμελης

**Επιβλέπων :** Γεώργιος Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2016

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Πάυλος Γεωργιάκης  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Γκόνος  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2016

.....

Φίλιππος Α. Θέμελης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright© Φίλιππος Α . Θέμελης, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν 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.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

---

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιο Πολυτεχνείου για την απόκτηση του διπλώματος. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory στην προσομοίωση δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και η χρήση του για την εκπόνηση μελετών προστασίας υπερέντασης.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μία αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο των βραχυκυκλωμάτων και της προστασίας υπερέντασης. Πιο συγκεκριμένα, τα θεωρητικά πεδία που θίγονται είναι ο αναλυτικός υπολογισμός των βραχυκυκλωμάτων με την μέθοδο των συμμετρικών συνιστωσών, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης και κάποιες ειδικές περιπτώσεις ρύθμισής τους, οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και ο τρόπος που επηρεάζουν τα βραχυκυκλώματα γης και την λειτουργία των ηλεκτρονόμων υπερέντασης.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί ένα αναλυτικό εγχειρίδιο χρήσης και εκμάθησης των βασικών λειτουργιών του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory. Σκοπός του είναι να συνοδεύσει έναν νέο χρήστη του PowerFactory από το πρώτο του διπλό κλικ στο εικονίδιο της συντόμευσης στην επιφάνεια εργασίας του μέχρι το σημείο να μπορεί να κάνει κάποιες βασικές εργασίες όπως προσομοίωση δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, διεξαγωγή και παρουσίαση αποτελεσμάτων μελετών βραχυκυκλωμάτων και προστασίας υπερέντασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η αυτόματη συνεργασία του DIgSILENT PowerFactory με το MATLAB. Τα δύο λογισμικά συνδέονται και λειτουργούν παράλληλα για την επίλυση ενός προβλήματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εκπόνηση μελετών βραχυκυκλωμάτων και προστασίας υπερέντασης με χρήση του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory για τρία δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο είναι ένα απλό δίκτυο 3 ζυγών, το δεύτερο είναι ένα δίκτυο 15 ζυγών με διεσπαρμένη παραγωγή και το τρίτο είναι ένα πρότυπο δίκτυο 30 ζυγών της IEEE. Αρχικά, τα τρία αυτά δίκτυα προσομοιώνονται στο DIgSILENT PowerFactory και στην συνέχεια γίνεται η μελέτη βραχυκυκλωμάτων για ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων όσον αφορά την θέση, το είδος και την αντίσταση του σφάλματος. Τέλος, στο δεύτερο δίκτυο γίνεται η μελέτη προστασίας υπερέντασης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται μία σύνοψη των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων, σχετικά με τις δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό DIgSILENT PowerFactory τον μελετητή ενεργειακό ηλεκτρολόγο μηχανικό.

### **Λέξεις κλειδιά:**

DIgSILENT PowerFactory, προστασία υπερέντασης, μελέτη βραχυκυκλωμάτων, συνεργασία DIgSILENT PowerFactory με MATLAB, εκπόνηση μελετών, συμμετρικές συνιστώσες, ηλεκτρονόμοι υπερέντασης, μέθοδοι γείωσης, ανίχνευση σφαλμάτων γης



## **ABSTRACT**

---

This diploma thesis is the last part of my studies with Electrical and Computer Engineering Department of the National and Technical University of Athens. The purpose of this thesis is to present the capabilities of DIgSILENT PowerFactory software in creating and developing electrical power systems and the use of this software in the analysis of short-circuits and overcurrent protection.

In the 1<sup>st</sup> chapter, a theoretical background of short-circuits and overcurrent protection is presented. More specifically, the fields presented are the symmetrical components method for short-circuit calculation, the overcurrent relays classification and coordination, the grounding methods used in modern power systems and the meant in which they affect ground fault current magnitude and their detection.

In the 2<sup>nd</sup> chapter, an analytical tutorial for DIgSILENT PowerFactory software is presented. The purpose of the chapter is to introduce the user to DIgSILENT PowerFactory environment. The user will be guided through the creation and development of an electrical power system and in doing so the user will gain familiarity with the basic features of the software.

In the 3<sup>rd</sup> chapter, a more sophisticated capability of the software is described which is the automatic communication procedure for DIgSILENT PowerFactory and MATLAB. These two softwares are linked and can work together in solving complicated problems.

In the 4<sup>th</sup> chapter, DIgSILENT PowerFactory software is used in short-circuit and overcurrent protection analysis for three power systems. The first one is a simplified 3-bus system, the second one is a 15-bus system with distributed generators while the third one is a 30-bus IEEE system. Initially, each system is developed in DIgSILENT PowerFactory software and then the short-circuit analysis is performed for a wide range of cases regarding position, type and resistance of the fault. Finally, in the second power system the overcurrent relays are set and their proper coordination is presented.

In the 5<sup>th</sup> and final chapter of the thesis, the capabilities of DIgSILENT PowerFactory software are summarized.

### **Keywords:**

DIgSILENT PowerFactory, overcurrent protection, short-circuit analysis, Matlab - DIgSILENT communication procedure, symmetrical components, overcurrent relays, grounding methods, ground fault detection





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

---

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Κορρέ που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το θέμα το οποίο θεωρώ ότι αναβαθμίζει το επίπεδο των σπουδών μου γιατί συνδυάζει το μεγάλο ενδιαφέρον από ακαδημαϊκής πλευράς καθώς και την δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής στην μετέπειτα εργασιακή μου πορεία.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Βασίλειο Παπασπηλιωτόπουλο για τις επισημάνσεις, το χρόνο που αφιέρωσε και την γενική συνεισφορά του στην αρτιότητα του τελικού αποτελέσματος.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Κωνσταντίνο Ψυχογιό για την στήριξη, την βοήθεια και τις συζητήσεις που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Φίλιππος Α. Θέμελης  
Αθήνα, Δεκέμβριος 2015



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT .....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	6
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b>	
<b>ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Υπολογισμός βραχυκυκλωμάτων με την μέθοδο των συμμετρικών συνιστωσών [2].....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Συμμετρικές συνιστώσες και ακολουθιακά κυκλώματα .....	16
1.1.2 Ορισμός του προβλήματος .....	18
1.1.3 Μονοφασικό βραχυκύκλωμα .....	20
1.1.4 Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη .....	22
1.1.5 Διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη.....	24
1.1.6 Τριφασικό βραχυκύκλωμα .....	26
<b>1.2 Προστασία υπερέντασης με χρήση ηλεκτρονόμων [5] .....</b>	<b>28</b>
1.2.1 Κατηγορίες και είδη ηλεκτρονόμων προστασίας .....	28
1.2.2 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου ή ορισμένου ρεύματος.....	29
1.2.3 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου .....	30
1.2.4 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου.....	31
1.2.5 Περιορισμοί στην ρύθμιση των ηλεκτρονόμων .....	34
1.2.6 Ρύθμιση ηλεκτρονόμων εκατέρωθεν μετασχηματιστή συνδεσμολογίας Dy.....	34
1.2.7 Ρύθμιση στοιχείων ηλεκτρονόμων αρνητικής ακολουθίας .....	36
<b>1.3 Μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων γης σε Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης [7] .....</b>	<b>38</b>
1.3.1 Απευθείας γειωμένα δίκτυα διανομής .....	39
1.3.2 Δίκτυα διανομής με γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης .....	40
1.3.3 Ανίχνευση σφαλμάτων χαμηλής αντίστασης σε απευθείας γειωμένα και γειωμένα μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης δίκτυα διανομής .....	40
1.3.3.1 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος (Current Polarized Directional Element) .....	40
1.3.3.2 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (Negative-Sequence Voltage-Polarized Directional Element) .....	41
1.3.3.3 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (Zero-Sequence Voltage-Polarized Directional Element) .....	41
1.3.4 Σφάλματα υψηλής σύνθετης αντίδρασης (HIFs).....	42
1.3.4.1 Μετρητικό στοιχείο υπερεντάσεων γης (Residual Overcurrent Counting Element)..	42
1.3.5 Δίκτυα διανομής με γείωση υψηλής σύνθετης αντίστασης.....	43
1.3.6 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής με γείωση υψηλής σύνθετης αντίστασης .....	44
1.3.7 Αγείωτα δίκτυα διανομής .....	44
1.3.8 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε αγείωτα δίκτυα διανομής.....	45
1.3.9 Δίκτυα διανομής με συντονισμένη γείωση.....	47
1.3.10 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής με συντονισμένη γείωση .....	47
1.3.11 Σύνοψη .....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΤΟΥ</b>	
<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIgSILENT PowerFactory.....</b>	<b>51</b>
<b>2.1 Εισαγωγή .....</b>	<b>51</b>
<b>2.2 Σύνδεση, δημιουργία project και εξουκείωση με το περιβάλλον του PowerFactory .....</b>	<b>52</b>

2.2.1	Σύνδεση και δημιουργία λογαριασμού.....	52
2.2.2	Δημιουργία Project.....	52
2.2.3	Ορισμός και επεξεργασία των Study Cases.....	54
2.2.4	Παρουσίαση κυριότερων εικονιδίων και εργαλείων .....	56
<b>2.3</b>	<b>Σχεδίαση ενός Δικτύου Διανομής στο PowerFactory .....</b>	<b>58</b>
2.3.1	Σχεδίαση ζυγών .....	59
2.3.2	Σχεδίαση κλάδων.....	60
2.3.3	Σχεδίαση τερματικών στοιχείων.....	62
<b>2.4</b>	<b>Δημιουργία βιβλιοθηκών.....</b>	<b>66</b>
2.4.1	Δημιουργία βιβλιοθήκης για ζυγούς.....	66
2.4.2	Δημιουργία βιβλιοθήκης για γραμμές .....	69
2.4.3	Δημιουργία βιβλιοθήκης για μετασχηματιστές ισχύος.....	71
2.4.4	Δημιουργία βιβλιοθήκης για ασύγχρονες μηχανές.....	72
2.4.5	Δημιουργία βιβλιοθήκης για σύγχρονες μηχανές.....	75
2.4.6	Δημιουργία βιβλιοθήκης για φορτία.....	77
<b>2.5</b>	<b>Επεξεργασία στοιχείων Δικτύου Διανομής.....</b>	<b>79</b>
2.5.1	Επεξεργασία ζυγών μέσω του παραθύρου επεξεργασίας.....	79
2.5.2	Επεξεργασία μετασχηματιστών με χρήση του κομβίου «Jump to» .....	81
2.5.3	Επεξεργασία ασύγχρονων μηχανών και εξωτερικού δικτύου μέσω του Data Manager ..	84
2.5.4	Επεξεργασία γραμμών και φορτίων μέσω του εικονιδίου Edit Relevant Objects της κύριας γραμμής εικονιδίων.....	87
<b>2.6</b>	<b>Μελέτη ροής φορτίου, παρουσίαση αποτελεσμάτων και χρωματισμός δικτύου .....</b>	<b>91</b>
2.6.1	Διεξαγωγή μελέτης ροής φορτίου .....	91
2.6.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων και επεξεργασία των Result Boxes .....	95
2.6.3	Χρωματισμός ζυγών και κλάδων.....	99
<b>2.7</b>	<b>Μελέτη βραχυκυκλωμάτων .....</b>	<b>102</b>
2.7.1	Παρουσίαση επιλογών ρύθμισης και εκτέλεση βραχυκυκλώματος σε γραμμή .....	102
2.7.2	Επιλογές παρουσίασης αποτελεσμάτων στο Output Window.....	105
2.7.3	Πολλαπλά βραχυκυκλώματα σε ζυγούς και ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα.....	112
<b>2.8</b>	<b>Μελέτη προστασίας υπερέντασης.....</b>	<b>118</b>
2.8.1	Δημιουργία βιβλιοθήκης για μέσα προστασίας με εισαγωγή στο PowerFactory και με μεταφορά από την Global Library.....	119
2.8.2	Προσθήκη και παραμετροποίηση ηλεκτρονόμων και δημιουργία μετασχηματιστών μετρήσεων .....	124
2.8.3	Δημιουργία και μορφοποίηση καμπυλών χρόνου-ρεύματος.....	137
2.8.4	Παρουσίαση αποτελεσμάτων στο Output Window .....	145
2.8.5	Προσθήκη και παραμετροποίηση ασφάλειας.....	148
2.8.6	Δημιουργία μοντέλου ασφάλειας και χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας .....	150
2.8.7	Δημιουργία μονοπατιού επιλογικής συνεργασίας .....	153
<b>2.9</b>	<b>Δημιουργία, εξαγωγή και εισαγωγή αρχείων και δεδομένων από το PowerFactory .....</b>	<b>156</b>
2.9.1	Εξαγωγή διαγραμμάτων και αναφορών κειμένου .....	157
2.9.2	Εξαγωγή αναφοράς προστασίας σε μορφή πίνακα.....	158
2.9.3	Εξαγωγή και εισαγωγή αρχείων του PowerFactory .....	160

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ DiGSILENT PowerFactory ΜΕ ΤΟ MATLAB**

.....	<b>161</b>	
<b>3.1</b>	<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>161</b>
<b>3.2</b>	<b>Υπόβαθρο σύνδεσης του PowerFactory με το Matlab.....</b>	<b>161</b>
<b>3.3</b>	<b>Συνοπτική παρουσίαση του επιδεικτικού παραδείγματος .....</b>	<b>172</b>
3.3.1	Ηλεκτρομηχανικές ταλαντώσεις και παρουσίαση του Two Area Test System.....	172
3.3.2	Δομή του Power System Stabilizer (PSS) .....	173
3.3.3	Αντικειμενική συνάρτηση .....	173
3.3.4	Παρουσίαση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization (PSO).....	174
<b>3.4</b>	<b>Σύνδεση και παράλληλη λειτουργία PowerFactory και Matlab .....</b>	<b>175</b>

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ DIgSILENT PowerFactory .....</b>	<b>192</b>
<b>4.1 Εισαγωγή .....</b>	<b>192</b>
<b>4.2 Δίκτυο 3 ζυγών .....</b>	<b>193</b>
4.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου .....	193
4.2.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων .....	195
<b>4.3 Δίκτυο 15 ζυγών .....</b>	<b>205</b>
4.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου .....	205
4.3.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων .....	207
4.3.3 Προσθήκη και ρύθμιση μέσω προστασίας υπερέντασης.....	240
4.3.4 Αποτελέσματα μελέτης προστασίας υπερέντασης .....	244
<b>4.4 Δίκτυο IEEE 30 ζυγών.....</b>	<b>248</b>
4.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου .....	249
4.4.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων .....	252
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>268</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>269</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

E1.1: Ανάλυση ασύμμετρου τριφασικού συστήματος σε συμμετρικές συνιστώσες .....	17
E1.2: Τα ακολουθιακά κυκλώματα και οι απλουστεύσεις με τα ισοδύναμα Thevenin .....	18
E1.3: Ισοδύναμο Thevenin του ΣΗΕ στην γενική περίπτωση .....	19
E1.4: 1Φ βραχυκύκλωμα – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος .....	20
E1.5: 1Φ βραχυκύκλωμα – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων.....	21
E1.6: 2Φ βραχυκύκλωμα χωρίς γη – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος .....	22
E1.7: 2Φ βραχυκύκλωμα χωρίς γη – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων.....	23
E1.8: 2Φ βραχυκύκλωμα προς γη – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος.....	24
E1.9: 2Φ βραχυκύκλωμα προς γη – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων .....	25
E1.10: 3Φ βραχυκύκλωμα – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος .....	26
E1.11: 3Φ βραχυκύκλωμα – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων.....	27
E1.12: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου στιγμιαίου χρόνου.....	29
E1.13: Διατήρηση επιλογικής συνεργασίας με την βοήθεια στοιχείου στιγμιαίου χρόνου .....	30
E1.14: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου .....	30
E1.15: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου .....	31
E1.16: Τυποποιημένες κατηγορίες καμπύλων αντιστρόφου χρόνου .....	32
E1.17: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντιστρόφου χρόνου .....	32
E1.18: Χαρακτηριστικές καμπύλες ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου για διάφορες τιμές του TDS .....	33
E1.19: Κατανομή ρευμάτων στα τυλίγματα μετασχηματιστή για βραχυκύκλωμα στην χαμηλή τάση .....	34
E1.20: Σύγκριση ρευμάτων στα τυλίγματα του μετασχηματιστή για κάθε βραχυκύκλωμα .....	36
E1.21: Συνεργασία ηλεκτρονόμων εκατέρωθεν μετασχηματιστή συνδεσμολογίας Dy .....	36
E1.22: Απευθείας γείωση μοναδικού σημείου σε σύστημα τριών αγωγών .....	39
E1.23: Απευθείας γείωση μοναδικού σημείου σε σύστημα τεσσάρων αγωγών .....	39
E1.24: Απευθείας γείωση πολλαπλών σημείων σε σύστημα τεσσάρων αγωγών .....	39
E1.25: Διάγραμμα φασιθετών – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα σε απευθείας γειωμένο σύστημα.....	40
E1.26: Πολικό διάγραμμα – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος .....	41
E1.27: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας .....	41
E1.28: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας .....	41
E1.29: Μπλοκ διάγραμμα – Μετρητικό στοιχείο υπερεντάσεων γης [7] .....	43
E1.30: Γείωση συστήματος μέσω υψηλής αντίστασης.....	43
E1.31: Γείωση συστήματος μέσω υψηλής αντίδρασης.....	44
E1.32: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας .....	44
E1.33: Μονοφασικό σφάλμα προς γη σε αγείωτο δίκτυο .....	45
E1.34: Διάγραμμα φασιθετών τάσης – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα σε αγείωτο σύστημα .....	45
E1.35: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας αγείωτου συστήματος – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο .....	46
E1.36: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας αγείωτου συστήματος – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο .....	46
E1.37: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης για αγείωτα συστήματα .....	46
E1.38: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συστήματος με συντονισμένη γείωση – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο .....	47

E1.39: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συστήματος με συντονισμένη γείωση – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο.....	47
E1.40: Διαγράμματα φασιθετών – Βαττομετρικό κατευθυντικό στοιχείο .....	48
E1.41: Μέθοδοι ανίχνευσης μονοφασικών σφαλμάτων για τα διάφορα συστήματα γείωσης [7] .....	49
E1.42: Σύγκριση μεθόδων γείωσης δικτύων διανομής μέσης τάσης [7].....	50
E2.1: Παράθυρο σύνδεσης (log on) σε λογαριασμό .....	52
E2.2: Παράθυρο δημιουργίας project.....	53
E2.3: Παράθυρο δημιουργίας δικτύου .....	53
E2.4: Επιφάνεια εργασίας (workspace) του project.....	54
E2.5: Παράθυρο επεξεργασίας Study Case.....	55
E2.6: Παράθυρο ορισμού ημερομηνίας και ώρα του Study Case .....	56
E2.7: Τοπολογία επιδεικτικού παραδείγματος που χρησιμοποιείται στο Κεφάλαιο 2 .....	58
E2.8: Single line graphic: Σχεδίαση ζυγών .....	59
E2.9: Συνδεσμολογία αναχωρήσεων ζυγού υποσταθμού.....	60
E2.10: Single line graphic: Σχεδίαση μετασχηματιστών .....	61
E2.11: Single line graphic: Σχεδίαση γραμμών .....	62
E2.12: Single line graphic: Σχεδίαση κινητήρων και εξωτερικού δικτύου .....	63
E2.13: Συνδεσμολογία αναχωρήσεων ζυγού τύπου Terminal .....	64
E2.14: Παράθυρο ορισμού θέσης εμβόλιμου στοιχείου .....	64
E2.15: Single line graphic: Σχεδίαση φορτίων.....	65
E2.16: Data Manager: Θέση δημιουργίας βιβλιοθηκών .....	67
E2.17: Παράθυρο δημιουργίας φακέλου βιβλιοθήκης.....	67
E2.18: Παράθυρο επιλογής είδος μοντέλου προς δημιουργία .....	68
E2.19: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ζυγού – καρτέλα Basic Data.....	68
E2.20: Data Manager: Βιβλιοθήκη μοντέλων ζυγών .....	69
E2.21: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Basic Data .....	70
E2.22: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής – καρτέλα Load Flow .....	70
E2.23: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων προς ορισμό .....	70
E2.24: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Basic Data .....	71
E2.25: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Load Flow .....	71
E2.26: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή - καρτέλα Basic Data.....	72
E2.27: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή - καρτέλα Basic Data.....	72
E2.28: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data .....	73
E2.29: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - Load Flow/General.....	73
E2.30: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - Load Flow/Advanced .....	74
E2.31: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data .....	74
E2.32: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Load Flow .....	75
E2.33: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data .....	75
E2.34: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - καρτέλα Load Flow .....	76
E2.35: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - RMS-Simulation/General.....	76
E2.36: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα Basic Data.....	77
E2.37: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα Load Flow.....	77
E2.38: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα RMS-Simulation .....	78
E2.39: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα EMT-Simulation .....	78
E2.40: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων .....	79
E2.41: Παράθυρο επεξεργασίας υποσταθμού .....	80
E2.42: Παράθυρο επεξεργασίας ζυγού .....	81

E2.43: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή.....	82
E2.44: Παράθυρο επιλογής στοιχείου μετάβασης .....	83
E2.45: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή.....	83
E2.46: Data Manager: Λίστα στοιχείων του δικτύου .....	84
E2.47: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Basic Data .....	85
E2.48: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Load Flow .....	85
E2.49: Data Manager: επεξεργασία ονομάτων στοιχείων από την λίστα .....	85
E2.50: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Basic Data .....	86
E2.51: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Load Flow .....	86
E2.52: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα Basic Data.....	86
E2.53: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα Load Flow.....	87
E2.54: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα VDE/IEC Short-Circuit .....	87
E2.55: Εικονίδιο Edit Relevant Objects – λίστες στοιχείων και μοντέλων .....	88
E2.56: Λίστα γραμμών - καρτέλα Flexible Data.....	89
E2.57: Λίστα φορτίων - καρτέλα Basic Data .....	89
E2.58: Λίστα φορτίων - καρτέλα Load Flow .....	90
E2.59: Single line graphic: Το Δίκτυο Διανομής μετά το τέλος της επεξεργασίας .....	90
E2.60: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Basic Options.....	92
E2.61: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Active Power Control .....	92
E2.62: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Advanced Options.....	93
E2.63: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου – καρτέλα Iteration Control .....	94
E2.64: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Outputs.....	94
E2.65: Παράθυρου διαλόγου ροής φορτίου -καρτέλα Advanced Simulation Options .....	95
E2.66: Output Window: Ροή φορτίου .....	95
E2.67: Single line graphic: Παρουσίαση ροής φορτίου στα πλαίσια αποτελεσμάτων .....	96
E2.68: Επιλογή μεταβλητών παρουσίασης των πλαισίων αποτελεσμάτων .....	98
E2.69: Παράθυρο επεξεργασίας πλαισίων αποτελεσμάτων.....	98
E2.70: Single line graphic: πλαίσια αποτελεσμάτων μετά την επεξεργασία .....	99
E2.71: Παράθυρου επεξεργασίας ρυθμίσεων χρωματισμού διαγράμματος μετά την ροής φορτίου	100
E2.72: Παράθυρου επεξεργασίας ρυθμίσεων χρωματισμού διαγράμματος.....	101
E2.73: Single line graphic: Χρωματισμός δικτύου μετά την ροής φορτίου.....	102
E2.74: Παράθυρου διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options.....	104
E2.75: Single line graphic: Παρουσίαση βραχυκυκλώματος στα πλαίσια αποτελεσμάτων .....	105
E2.76: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος .....	105
E2.77: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Fault Locations.....	106
E2.78: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Fault Locations with Feeders ....	107
E2.79: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Currents/Voltages .....	108
E2.80: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος .....	109
E2.81: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Protection .....	109
E2.82: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Edge Elements .....	110
E2.83: Output Window: Αποτελέσματα 2Φ βραχυκυκλώματος - Currents/Voltages .....	111
E2.84: Παράθυρου διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options.....	112
E2.85: Single line graphic: Πολλαπλά βραχυκυκλώματα στους ζυγούς.....	113
E2.86: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ πολλαπλών βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς - Fault Locations with feeders .....	114
E2.87: Λίστα ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων.....	115
E2.88: Παράθυρου διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options.....	116



E2.89: Single line graphic: Παρουσίαση ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων στα πλαίσια αποτελεσμάτων .....	117
E2.90: Output Window: Αποτελέσματα ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων - Fault Locations with Feeders .....	118
E2.91: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων για τα μέσα προστασίας .....	119
E2.92: Παράθυρο διαλόγου για την θέση εισαγωγής αρχείου .....	120
E2.93: Data Manager: Εισαγωγή μοντέλου ηλεκτρονόμου .....	120
E2.94: Data Manager: Θέση μοντέλων στην Global Library προς μεταφορά .....	121
E2.95: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων μέσων προστασίας .....	122
E2.96: Παράθυρο επεξεργασίας μοντέλου ηλεκτρονόμου .....	123
E2.97: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου.....	124
E2.98: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης.....	125
E2.99: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή έντασης.....	126
E2.100: Data Manager: Θέση μοντέλου μετασχηματιστή έντασης .....	127
E2.101: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης.....	128
E2.102: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου.....	129
E2.103: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή τάσης .....	130
E2.104: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή τάσης .....	131
E2.105: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή τάσης .....	132
E2.106: Παράθυρο ορισμού μοντέλου δευτερεύοντος τυλίγματος μετασχηματιστή τάσης .....	133
E2.107: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου.....	134
E2.108: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου 51P .....	135
E2.109: Λίστα στοιχείων ηλεκτρονόμου.....	135
E2.110: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4.....	138
E2.111: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος.....	139
E2.112: Παράθυρο επεξεργασίας κάθετης γραμμής διαγράμματος.....	140
E2.113: Παράθυρο επεξεργασίας διαγράμματος χρόνου-ρεύματος.....	141
E2.114: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4, ρεύμα κανονικής λειτουργίας, μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος και όριο φόρτισης γραμμής.....	142
E2.115: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος κινητήρα, χαρακτηριστική εκκίνησης, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος .....	143
E2.116: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: όλοι οι ηλεκτρονόμοι, τα μέγιστα ρεύματα βραχυκυκλώματος και ρεύματα του πιο μακρινού βραχυκυκλώματος.....	144
E2.117: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος.....	145
E2.118: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος – Relay/Tripping Times .....	146
E2.119: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος – Relays/Detailed .....	147
E2.120: Λίστα ηλεκτρονόμων.....	148
E2.121: Παράθυρο επεξεργασίας ασφάλειας.....	148
E2.122: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 7-8 και ρεύμα κανονικής λειτουργίας. 149	
E2.123: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 7-8, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και ρεύμα του πιο μακρινού βραχυκυκλώματος .....	150
E2.124: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασφάλειας.....	151
E2.125: Παράθυρο ορισμού χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας .....	151
E2.126: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασφάλειας.....	152
E2.127: Παράθυρο επεξεργασίας ασφάλειας.....	152
E2.128: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 6-7, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και ρεύμα βραχυκυκλώματος στον ζυγό 7 .....	153

E2.129: Παράθυρο επεξεργασίας μονοπατιού .....	155
E2.130: Single line graphic: μονοπάτι επιλογικής συνεργασίας.....	155
E2.131: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: μονοπάτι επιλογικής συνεργασίας .....	156
E2.132: Παράθυρο διαλόγου User Settings – καρτέλα Output Window .....	157
E2.133: Παράθυρο διαλόγου αναφοράς μέσω προστασίας -καρτέλα Basic Options .....	158
E2.134: Παράθυρο διαλόγου αναφοράς μέσω προστασίας - καρτέλα Common Options .....	159
E2.135: Αναφορά μέσω προστασίας.....	159
E3.1: Διαδικασία αυτόματης ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ PowerFactory και Matlab.....	162
E3.2: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab .....	163
E3.3: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 1 .....	164
E3.4: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 2 .....	164
E3.5: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 3 .....	165
E3.6: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 4.....	165
E3.7: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 5.....	166
E3.8: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 6.....	166
E3.9: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 7.....	167
E3.10: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 8.....	167
E3.11: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 1 .....	168
E3.12: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 2.....	168
E3.13: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 3.....	169
E3.14: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 4.....	169
E3.15: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 5.....	170
E3.16: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 6.....	170
E3.17: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 7.....	171
E3.18: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 8.....	171
E3.19: Η τοπολογία του επιδεικτικού παραδείγματος που χρησιμοποιείται στο Κεφάλαιο 3.....	172
E3.20: Μπλοκ διάγραμμα του Power System Stabilizer.....	173
E3.21: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου PSO [8].....	175
E3.22: Ο αλγόριθμος του PSO στο Matlab .....	176
E3.23: Παράθυρο επεξεργασίας κώδικα DPL – καρτέλα Script: Η διεύθυνση προορισμού των εντολών fopen είναι ίδια με αυτήν στην κορυφή του παραθύρου Editor του Matlab.....	177
E3.24: Πίνακας περιεχομένων του κώδικα Particle Swarm Optimization.....	178
E3.25: Παράθυρο διαλόγου ascii .....	178
E3.26: Παράθυρο επεξεργασίας κώδικα DPL – καρτέλα Basic Options.....	179
E3.27: Command Window: Στο τέλος της διαδικασίας αναγράφεται ο χρόνος σε ώρες.....	180
E3.28: Matlab: Τα αποτελέσματα για nr_particle=20 και nr_gen=20 .....	180
E3.29: Εικονίδιο Edit Relevant Objects – Εικονίδιο ελεγκτών PSS.....	180
E3.30: Λίστα ελεγκτών PSS.....	181
E3.31: Παράθυρο επεξεργασίας ελεγκτή PSS της γεννήτριας 1 .....	181
E3.32: Παράθυρο επεξεργασίας για τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών.....	182
E3.33: Παράθυρο επεξεργασίας για τον υπολογισμό των πόλων του συστήματος .....	182
E3.34: Οι πόλοι του ΣΗΕ για nr_particle=20 και nr_gen=20 .....	183
E3.35: Παράθυρα επεξεργασίας συμβάντων για την πρόκληση διαταραχής.....	184
E3.36: Παράθυρο επεξεργασίας χρονικής προσομοίωσης.....	184
E3.37: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr_particle=20 και nr_gen=20 .....	185
E3.38: Απόσβεση ταλαντώσεων ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr_particle=20 και nr_gen=20 .....	185

E3.39: Οι πόλοι του ΣΗΕ πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS.....	186
E3.40: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS .....	187
E3.41: Απόσβεση ταλάντωσης ταχυτήτων δρομέων πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS....	187
E3.42: Οι πόλοι του ΣΗΕ για nr_particle=25 και nr_gen=25 .....	188
E3.43: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr_particle=25 και nr_gen=25 .....	189
E3.44 : Απόσβεση ταλάντωσης ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr_particle=25 και nr_gen=25 .....	189
E3.45: Οι πόλοι του ΣΗΕ για nr_particle=150 και nr_gen=80 .....	190
E3.46: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr_particle=150 και nr_gen=80 .....	191
E3.47: Απόσβεση ταλάντωσης ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr_particle=150 και nr_gen=80 .....	191
E4.1: Τοπολογία του δικτύου 3 ζυγών .....	193
E4.2: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου 3 ζυγών.....	193
E4.3: Χαρακτηριστικά των μοντέλων των γραμμών του δικτύου 3 ζυγών.....	194
E4.4: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου 3 ζυγών .....	194
E4.5: Ονομαστικά μεγέθη των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών (μοντέλο σύγχρονης μηχανής)...	194
E4.6: Χαρακτηριστικά του ισοδυναμού κυκλώματος των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών (μοντέλο σύγχρονης μηχανής).....	195
E4.7: Χαρακτηριστικά των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών .....	195
E4.8: Τρόπος συμπλήρωσης των δύο πινάκων για ένα βραχυκύκλωμα .....	196
E4.9: Τοπολογία του δικτύου 15 ζυγών .....	205
E4.10: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου 15 ζυγών.....	206
E4.11: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου 15 ζυγών .....	206
E4.12: Χαρακτηριστικά των γεννητριών του δικτύου 15 ζυγών .....	207
E4.13: Χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών τάσης των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών .	240
E4.14: Χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών .....	241
E4.15: Χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών .....	242
E4.16: Χαρακτηριστικά των στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου 51P των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών.....	243
E4.17: Μελέτη προστασίας υπερέντασης σε τρία μονοπάτια στο δίκτυο 15 ζυγών.....	244
E4.18: Κόκκινο μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου-ρεύματος.....	245
E4.19: Κόκκινο μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων.....	245
E4.20: Πράσινο μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου-ρεύματος.....	246
E4.21: Πράσινο μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων .....	246
E4.22: Μπλε μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου ρεύματος.....	247
E4.23: Μπλε μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων .....	247
E4.24: Τοπολογία του δικτύου IEEE 30 ζυγών .....	248
E4.25: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου IEEE 30 ζυγών .....	249
E4.26: Χαρακτηριστικά των μοντέλων των γραμμών του δικτύου IEEE 30 ζυγών.....	250
E4.27: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου IEEE 30 ζυγών .....	250
E4.28: Χαρακτηριστικά των φορτίων του δικτύου IEEE 30 ζυγών.....	251

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα αποτελέσματα για nr_particle=25 και nr_gen=25.....	188
Πίνακας 2: Τα αποτελέσματα για nr_particle=150 και nr_gen=80.....	190
ΠΒ 1: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $R_F=0\Omega$ .....	197
ΠΒ 2: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=0\Omega$ .....	198
ΠΒ 3: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=0,5\Omega/10\Omega$ .....	199
ΠΒ 4: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=0,5\Omega/10\Omega$ .....	200
ΠΒ 5: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	201
ΠΒ 6: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	202
ΠΒ 7: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=2\Omega/40$ .....	203
ΠΒ 8: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=2\Omega/40\Omega$ .....	204
ΠΒ 9: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=0\Omega$ .....	208
ΠΒ 10: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=0\Omega$ .....	212
ΠΒ 11: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=0,5\Omega/10\Omega$ .....	216
ΠΒ 12: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=0,5\Omega/10\Omega$ .....	220
ΠΒ 13: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	224
ΠΒ 14: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	228
ΠΒ 15: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=2\Omega/40\Omega$ .....	232
ΠΒ 16: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=2\Omega/40\Omega$ .....	236
ΠΒ 17: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=0\Omega$ .....	252
ΠΒ 18: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=0\Omega$ .....	256
ΠΒ 19: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	260
ΠΒ 20: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - $RF=1\Omega/20\Omega$ .....	264

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΘΕΩΡΙΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ

### 1.1 Υπολογισμός βραχυκυκλωμάτων με την μέθοδο των συμμετρικών συνιστωσών [2]

Η ανάλυση μη συμμετρικών συστημάτων παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία καθώς, σε αντίθεση με τα συμμετρικά συστήματα, δεν μπορεί να γίνει απλοποίηση σε τρία ισοδύναμα μονοφασικά συστήματα από τα οποία αρκεί η ανάλυση μόνον του ενός. Τα βραχυκυκλώματα, ως μία ασύμμετρη κατάσταση λειτουργίας σε ένα συμμετρικό σύστημα, παρουσιάζουν αυτή την δυσκολία στην ανάλυσή τους. Ένα χρήσιμο εργαλείο για την μαθηματική μοντελοποίηση ασύμμετρων καταστάσεων είναι η μέθοδος των συμμετρικών συνιστωσών. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα μετασχηματισμό για να μετατρέψει το ασύμμετρο τριφασικό σύστημα σε τρία συμμετρικά συστήματα (ακολουθιακά κυκλώματα) τα οποία διευκολύνουν τους υπολογισμούς. Στην συνέχεια και βάσει αυτού του μαθηματικού μοντέλου, δημιουργείται ένα συνολικό κύκλωμα με κατάλληλη σύνδεση μεταξύ των ακολουθιακών κυκλωμάτων για κάθε περίπτωση σφάλματος.

#### 1.1.1 Συμμετρικές συνιστώσες και ακολουθιακά κυκλώματα

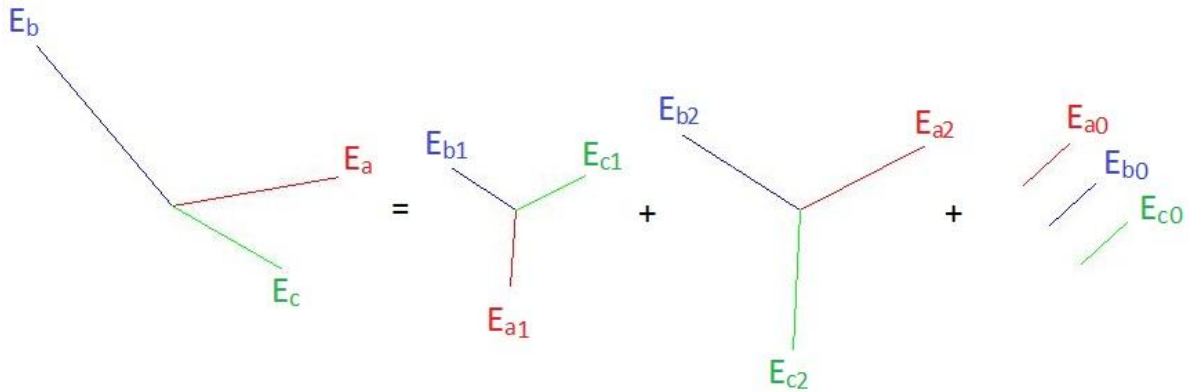
Ο μετασχηματισμός των συμμετρικών συνιστωσών μετατρέπει κάθε ασύμμετρο τριφασικό σύστημα φασιθετών (phasors) σε τρία τριφασικά συστήματα. Τα τρία αυτά συστήματα είναι τα εξής:

- Σύστημα θετικής ακολουθίας ή ευθύ. Είναι ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα με ορθή φασική διαδοχή. Δηλαδή, έχει τρία διανύσματα ίσα κατά μέτρο, με φασική απόκλιση  $120^\circ$  το ένα από το άλλο και φασική διαδοχή abc. Συμβολίζεται ως + ή 1.
- Σύστημα αρνητικής ακολουθίας ή αντίστροφο. Είναι ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα με αντίστροφη φασική διαδοχή. Δηλαδή έχει τρία διανύσματα ίσα κατά μέτρο, με φασική απόκλιση  $120^\circ$  το ένα από το άλλο και φασική διαδοχή acb. Συμβολίζεται ως - ή 2.
- Σύστημα μηδενικής ακολουθίας ή ομοπολικό. Είναι ένα ομοπολικό τριφασικό σύστημα, δηλαδή έχει τρία διανύσματα ίσα κατά μέτρο και φάση. Συμβολίζεται ως 0.

Φυσικά, τα διανύσματα κάθε συστήματος είναι ίσα μεταξύ τους κατά μέτρο αλλά όχι κατ' ανάγκην και με τα διανύσματα των άλλων δύο συστημάτων (ανεξάρτητα συστήματα). Επίσης, έχουν σταθερή μεταξύ τους φασική απόκλιση αλλά δεν είναι συμφασικά με τα αντίστοιχα διανύσματα των άλλων συστημάτων. Αυτή η ελευθερία είναι που επιτρέπει στα τρία αυτά συστήματα να συνθέσουν οποιοδήποτε ασύμμετρο τριφασικό σύστημα.

Λόγω των χαρακτηριστικών των διανυσμάτων κάθε συστήματος που αναφέρθηκαν παραπάνω, αρκεί να υπολογιστούν οι συμμετρικές συνιστώσες μίας μόνο φάσης, λόγω χάρη της  $a$ , και στην συνέχεια οι συνιστώσες των άλλων δύο φάσεων προκύπτουν εύκολα με κατάλληλη στροφή του φασιθέτη. Για την μαθηματική υλοποίηση αυτού ορίζεται το μοναδιαίο διάνυσμα  $a$  ως εξής:

$$a = e^{j \cdot 120^\circ}$$



Ε1.1: Ανάλυση ασύμμετρου τριφασικού συστήματος σε συμμετρικές συνιστώσες

Βάσει των παραπάνω, τα φασικά διανύσματα ενός τριφασικού συστήματος υπολογίζονται από τις συμμετρικές συνιστώσες της φάσης α σύμφωνα με την (1.1) και αντίστροφα αναλύονται στις συμμετρικές συνιστώσες της φάσης α σύμφωνα με την (1.2).

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_a \\ \mathbf{E}_b \\ \mathbf{E}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_{a0} \\ \mathbf{E}_{a1} \\ \mathbf{E}_{a2} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_{a0} \\ \mathbf{E}_{a1} \\ \mathbf{E}_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_a \\ \mathbf{E}_b \\ \mathbf{E}_c \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Χάρη ευκολίας ορίζεται και η μήτρα  $A$  ως εξής:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \Rightarrow A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Σε ένα ΣΗΕ οι εξισώσεις αυτές ισχύουν για τις φασικές τάσεις και τα ρεύματα των φάσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο ορίζονται οι ακολουθιακές τάσεις και τα ακολουθιακά ρεύματα που είναι αντιστοίχως οι συμμετρικές συνιστώσες μίας φασικής τάσης και ενός ρεύματος φάσης. Για τα ακολουθιακά αυτά μεγέθη ισχύουν οι νόμοι του Ohm και του Kirchhoff οπότε είναι δυνατή η κυκλωματική μοντελοποίηση του ασύμμετρου τριφασικού συστήματος με χρήση των ακολουθιακών κυκλωμάτων, δηλαδή κυκλωμάτων που διαρρέονται από ρεύματα, εμφανίζουν τάσεις και περιλαμβάνουν αντιστάσεις μίας μόνο ακολουθίας. Κατ' αναλογίαν των συμμετρικών συνιστωσών τα ακολουθιακά κυκλώματα διακρίνονται σε κυκλώματα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.

Η ανάλυση ενός τριφασικού συστήματος σε συμμετρικές συνιστώσες μπορεί να γίνει ακόμα και όταν είναι συμμετρικό. Βέβαια, στην τετριμμένη αυτή περίπτωση οι συνιστώσες θετικής ακολουθίας ταυτίζονται με τα φασικά διανύσματα και οι συνιστώσες αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας είναι μηδενικές όπως γίνεται εύκολα κατανοητό τόσο από την περιγραφή των ακολουθιακών συστημάτων που έγινε παραπάνω όσο και από τις εξισώσεις (1.1) και (1.2). Οπότε σε ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας υπάρχει μόνο το κύκλωμα θετικής ακολουθίας που ταυτίζεται με το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του ΣΗΕ. Τα κυκλώματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας δεν διαρρέονται από κανένα ρεύμα και δεν έχουν καμία τάση πράγμα που σημαίνει ότι το ΣΗΕ παράγει μόνο τάσεις θετικής ακολουθίας.

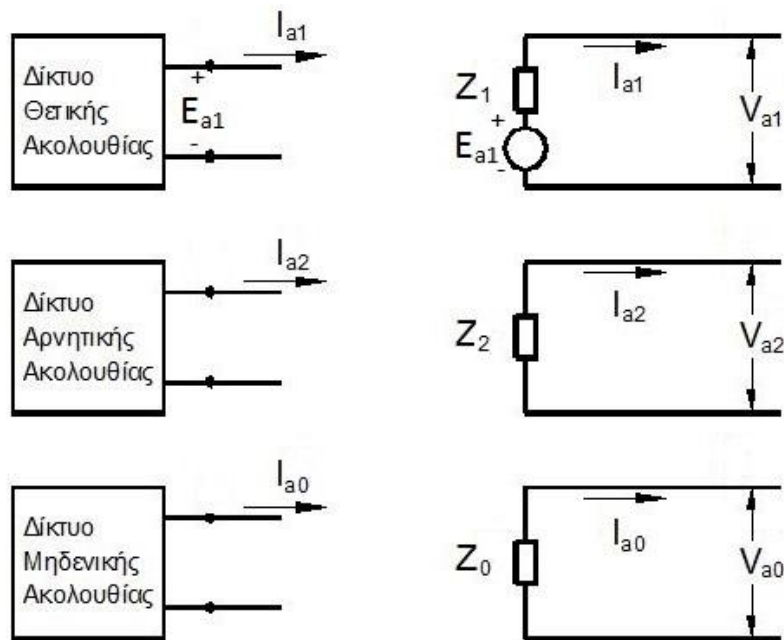
### 1.1.2 Ορισμός του προβλήματος

Τα βραχυκυκλώματα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Μονοφασικά βραχυκυκλώματα
- Διφασικά βραχυκυκλώματα χωρίς γη
- Διφασικά βραχυκυκλώματα προς γη
- Τριφασικά βραχυκυκλώματα

Τα τριφασικά βραχυκυκλώματα είναι ένα είδος σφάλματος που δεν προκαλεί ασυμμετρία ωστόσο μπορεί να εξεταστεί με την ίδια μέθοδο που εξετάζονται και τα ασύμμετρα σφάλματα, όπως θα δούμε παρακάτω, αποτελώντας μία απλουστευμένη ειδική περίπτωση.

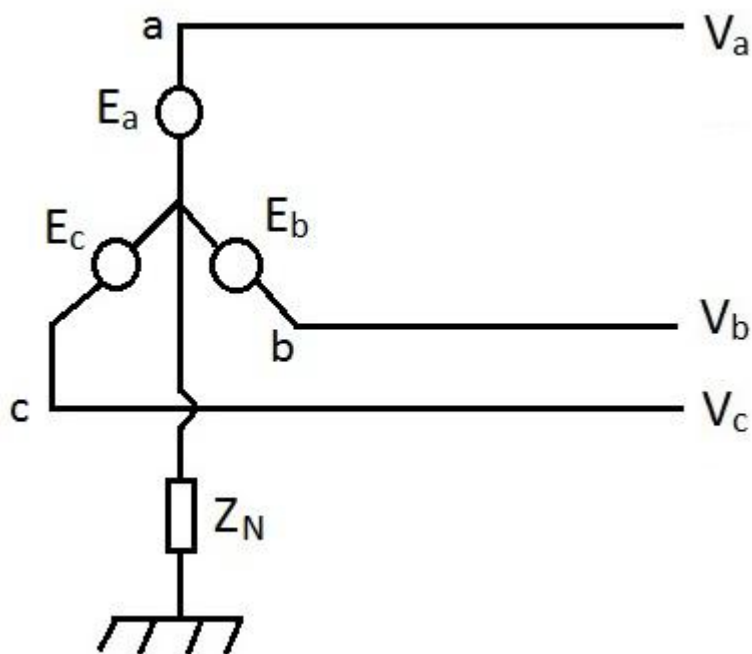
Η ασυμμετρία που δημιουργεί ένα βραχυκύκλωμα που γίνεται σε κάποιο σημείο του ΣΗΕ προκαλεί την ροή ακολουθιακών ρευμάτων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται με την δημιουργία των ακολουθιακών κυκλωμάτων του ΣΗΕ. Για την απλούστευση κάθε ακολουθιακού κυκλώματος συνήθως χρησιμοποιείται το ισοδύναμο Thevenin του δικτύου στο σημείο της ασυμμετρίας. Το ισοδύναμο Thevenin για το κύκλωμα θετικής ακολουθίας περιλαμβάνει μία πηγή τάσης και μία σύνθετη αντίσταση ενώ για τα κυκλώματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας περιλαμβάνει μόνο μία σύνθετη αντίσταση καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το ΣΗΕ παράγει μόνο τάσεις θετικής ακολουθίας. Η τάση του κυκλώματος θετικής ακολουθίας θα συμβολίζεται ως  $E_{a1}$ .



E1.2: Τα ακολουθιακά κυκλώματα και οι απλουστεύσεις με τα ισοδύναμα Thevenin

Οι άγνωστοι του προβλήματος που πρέπει να προσδιοριστούν είναι οι τάσεις των τριών φάσεων προς τον ουδέτερο στο σημείο του βραχυκυκλώματος  $V_a$ ,  $V_b$  και  $V_c$  καθώς και τα ρεύματα των τριών φάσεων με τα οποία τροφοδοτείται το σφάλμα  $I_a$ ,  $I_b$  και  $I_c$ . Με την εφαρμογή της μεθόδου των συμμετρικών συνιστωσών το πρόβλημα ανάγεται στον προσδιορισμό των συμμετρικών συνιστωσών της τάσης και του ρεύματος μίας φάσης, έστω της φάσης  $a$ . Δηλαδή οι άγνωστοι είναι οι  $V_{a0}$ ,  $V_{a1}$ ,  $V_{a2}$ ,  $I_{a0}$ ,  $I_{a1}$  και  $I_{a2}$  που φαίνονται και στην παραπάνω εικόνα. Για τον προσδιορισμό των 6 αγνώστων απαιτούνται και 6 εξισώσεις. Οι 3 από αυτές λαμβάνονται από τις σχέσεις των ρευμάτων και των τάσεων με τις συμμετρικές συνιστώσες του (εξισώσεις (1.1) και (1.2)) και οι άλλες 3 από τις οριακές συνθήκες του προβλήματος.

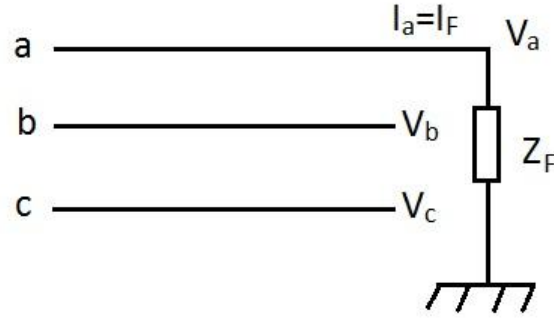
Στις επόμενες παραγράφους εξετάζονται οι τέσσερις περιπτώσεις των βραχυκυκλωμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω για την γενική περίπτωση ενός ΣΗΕ, το ισοδύναμο Thevenin του οποίου φαίνεται στην εικόνα Ε1.3. Σκοπός κάθε παραγράφου είναι η κατάστρωση και επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν το κάθε βραχυκύκλωμα καθώς και η εξαγωγή του τρόπου σύνδεσης των ακολουθιακών κυκλωμάτων που μοντελοποιούν την κάθε περίπτωση ασυμμετρίας. Για λόγους γενίκευσης, στους υπολογισμούς συμπεριλαμβάνονται η αντίσταση γης σε συνδεσμολογία αστέρα του ισοδύναμου Thevenin  $Z_N$  καθώς και η αντίσταση σφάλματος  $Z_F$ . Για την αντίσταση  $Z_N$  αξίζει να σημειωθεί ότι διαρρέεται μόνο από ομοπολικά ρεύματα, γιατί τα συμμετρικά έχουν άθροισμα μηδέν στο κέντρο του αστέρα. Για τον λόγο αυτό συμπεριλαμβάνεται στο κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας. Επίσης, διαρρέεται από τα ομοπολικά ρεύματα και των τριών φάσεων οπότε στα άκρα της δημιουργείται μία τάση τριπλάσια από αυτήν που αντιστοιχεί στο ομοπολικό ρεύμα μίας φάσης.



Ε1.3: Ισοδύναμο Thevenin του ΣΗΕ στην γενική περίπτωση



### 1.1.3 Μονοφασικό βραχυκύκλωμα



Ε1.4: 1Φ βραχυκύκλωμα – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος

Χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορεί να υποτεθεί ότι το μονοφασικό βραχυκύκλωμα αφορά την φάση a όπως φαίνεται στην εικόνα Ε1.4. Οι συνθήκες του σφάλματος είναι:

$$V_a = I_a \cdot Z_F = I_F \cdot Z_F \quad (1.3)$$

$$I_b = I_c = 0 \quad (1.4)$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των τάσεων σε συνδυασμό με την (1.3) δίνουν:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = I_F \cdot Z_F & (1.5) \\ V_b &= V_{a0} + a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} & (1.6) \\ V_c &= V_{a0} + a \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} & (1.7) \end{aligned}$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων σε συνδυασμό με τις (1.4) δίνουν:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} & (1.8) \\ I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} = 0 & (1.9) \\ I_c &= I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} = 0 & (1.10) \end{aligned}$$

Με αφαίρεση κατά μέλη των δύο τελευταίων προκύπτει ότι τα ρεύματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας είναι ίσα:

$$(\alpha^2 - \alpha) \cdot I_{a1} + (\alpha - \alpha^2) \cdot I_{a2} = 0 \Rightarrow (\alpha^2 - \alpha) \cdot I_{a1} = (\alpha^2 - \alpha) \cdot I_{a2} \Rightarrow I_{a1} = I_{a2} \quad (1.11)$$

Η πρώτη από τις εξισώσεις (1.2) για τις συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων σε συνδυασμό με την (1.4) δίνει για το ρεύμα σφάλματος:

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \Rightarrow I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \stackrel{(1.4)}{\Rightarrow} 3I_{a0} = I_a = I_F \quad (1.12)$$

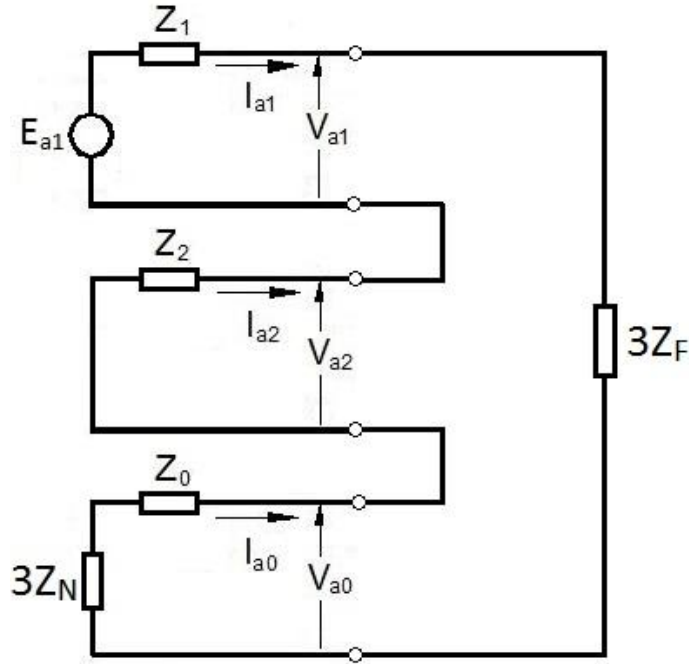
Από την τελευταία σχέση και με χρήση των (1.8) και (1.11) προκύπτει ότι και το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι ίσο με τα άλλα δύο ακολουθιακά ρεύματα:

$$3I_{a0} = I_a \stackrel{(1.8)}{\Rightarrow} 3I_{a0} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \stackrel{(1.11)}{\Rightarrow} 2I_{a0} = 2I_{a1} \Rightarrow I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{I_F}{3} \quad (1.13)$$

Το γεγονός ότι στην περίπτωση του μονοφασικού βραχυκυκλώματος τα ρεύματα μηδενικής, θετικής και αρνητικής ακολουθίας είναι ίσα σημαίνει ότι τα τρία ακολουθιακά κυκλώματα είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Επίσης, αντικαθιστώντας την (1.12) στην (1.5) προκύπτει ότι:

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 3I_{a0} \cdot Z_F \quad (1.14)$$

Όπως προκύπτει από τις δύο τελευταίες εξισώσεις, ο τρόπος σύνδεσης των ακολουθιακών κυκλωμάτων στο σημείο που συμβαίνει το μονοφασικό βραχυκύκλωμα φαίνεται στην εικόνα Ε1.5.



Ε1.5: 1Φ βραχυκύκλωμα – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων

Βάσει του παραπάνω κυκλωματικού μοντέλου προσδιορίζονται οι συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης της φάσης a:

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} \quad (1.15)$$

$$V_{a1} = E_{a1} - I_{a1} \cdot Z_1 = E_{a1} \cdot \frac{Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} \quad (1.16)$$

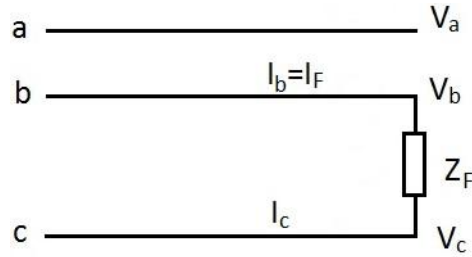
$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot Z_2 = -E_{a1} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} \quad (1.17)$$

$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot (Z_0 + 3Z_N) = -E_{a1} \frac{Z_0 + 3Z_N}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} \quad (1.18)$$

Οι τάσεις των φάσεων b και c του ΣΗΕ υπολογίζονται αντικαθιστώντας τις (1.16), (1.17) και (1.18) στις (1.6) και (1.7) αντίστοιχα. Τέλος, το ρεύμα του βραχυκυκλώματος προκύπτει από τις (1.12) και (1.15) ως εξής:

$$I_F = \frac{3E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} = I_a \quad (1.19)$$

## 1.1.4 Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη



Ε1.6: 2Φ βραχυκύκλωμα χωρίς γη – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος

Χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορεί να υποθεθεί ότι το διφασικό βραχυκύκλωμα γίνεται μεταξύ των φάσεων b και c όπως φαίνεται στην εικόνα Ε1.6. Οι συνθήκες του σφάλματος είναι:

$$I_a = 0 \quad (1.20)$$

$$I_b + I_c = 0 \quad (1.21)$$

$$V_b - V_c = I_b \cdot Z_F = I_F \cdot Z_F \quad (1.22)$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων σε συνδυασμό με τις (1.20) και (1.21) δίνουν:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \Rightarrow I_{a0} = -I_{a1} - I_{a2} & (1.23) \\ I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} = 0 & (1.24) \\ I_c &= I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} = 0 & (1.25) \end{aligned}$$

Με πρόσθεση κατά μέλη των δύο τελευταίων και με χρήση της ταυτότητας  $1+a+a^2=0$  και της (1.23) προκύπτει ότι δεν υπάρχει ομοπολικό ρεύμα στο ΣΗΕ:

$$2I_{a0} + (a^2 + a) \cdot I_{a1} + (a + a^2) \cdot I_{a2} = 0 \Rightarrow 2I_{a0} - I_{a1} - I_{a2} = 0 \xrightarrow{(1.23)} I_{a0} = 0 \quad (1.26)$$

Αυτό σημαίνει ότι το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας είναι ανενεργό και δεν συνδέεται με τα άλλα ακολουθιακά κυκλώματα. Η (1.23) παίρνει την παρακάτω μορφή που δείχνει ότι τα κυκλώματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα αντίθετης φοράς:

$$(1.23) \xrightarrow{(1.26)} I_{a1} + I_{a2} = 0 \quad \text{ή} \quad I_{a1} = -I_{a2} \quad (1.27)$$

Η (1.24) με αντικατάσταση από τις (1.26) και (1.27) δίνει για το ρεύμα σφάλματος:

$$I_b = I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} = (a^2 - a)I_{a1} = -I_c = I_F \quad (1.28)$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των τάσεων είναι:

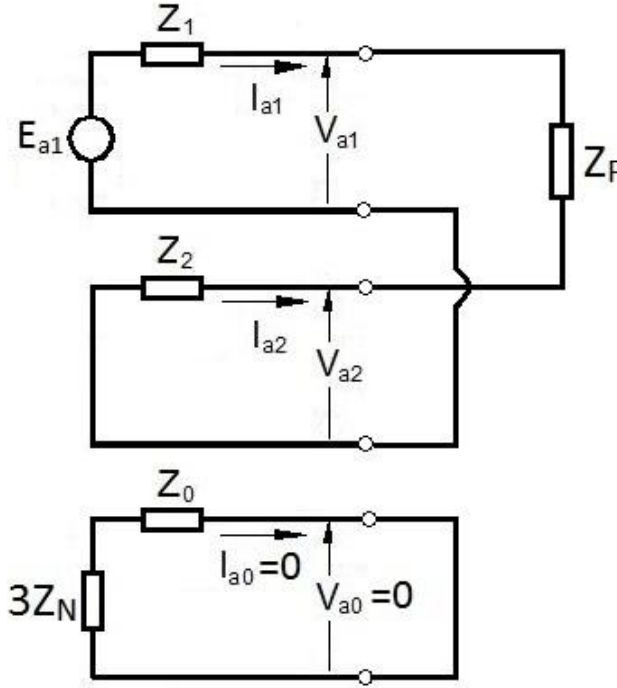
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} & (1.29) \\ V_b &= V_{a0} + a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} & (1.30) \\ V_c &= V_{a0} + a \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} & (1.31) \end{aligned}$$

Με αφαίρεση κατά μέλη των δύο τελευταίων και με αντικατάσταση από τις (1.22) και (1.28) προκύπτει ότι:

$$V_b - V_c = (a^2 - a) \cdot V_{a1} + (a - a^2) \cdot V_{a2} = I_b \cdot Z_F \stackrel{(1.28)}{\implies}$$

$$(a^2 - a) \cdot V_{a1} + (a - a^2) \cdot V_{a2} = (a^2 - a) \cdot I_{a1} \cdot Z_F \implies V_{a1} - V_{a2} = I_{a1} \cdot Z_F \quad (1.32)$$

Όπως προκύπτει από τις εξισώσεις (1.27) και (1.32), ο τρόπος σύνδεσης των κυκλωμάτων θετικής και αρνητικής ακολουθίας στο σημείο που συμβαίνει το διαφασικό βραχυκύκλωμα φαίνεται στην εικόνα Ε1.7.



Ε1.7: 2Φ βραχυκύκλωμα χωρίς γη – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων

Βάσει του παραπάνω κυκλωματικού μοντέλου προσδιορίζονται οι συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης της φάσης a:

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_F} = -I_{a2} \quad (1.33)$$

$$V_{a0} = 0 \quad (1.34)$$

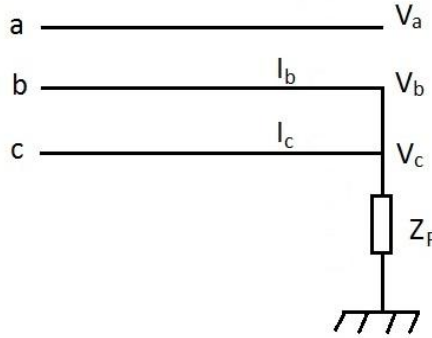
$$V_{a2} = E_{a1} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad (1.35)$$

$$V_{a1} = V_{a2} + I_{a2} \cdot Z_F = E_{a1} \frac{Z_2 + Z_F}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad (1.36)$$

Οι φασικές τάσεις υπολογίζονται αντικαθιστώντας τις (1.34), (1.35) και (1.36) στις (1.29), (1.30) και (1.31). Τέλος, το ρεύμα του βραχυκυκλώματος προκύπτει από τις (1.28) και (1.33) ως εξής:

$$I_F = I_b = -I_c = \frac{(a^2 - a)E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_F} = \frac{-j\sqrt{3}E_{a1}}{Z_1 + Z_2 + Z_F} \quad (1.37)$$

## 1.1.5 Διφασικό βραχυκύκλωμα προς γη



Ε1.8: 2Φ βραχυκύκλωμα προς γη – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος

Χωρίς βλάβη της γενικότητας μπορεί να υποτεθεί ότι το διφασικό βραχυκύκλωμα γίνεται μεταξύ των φάσεων b και c όπως φαίνεται στην εικόνα Ε1.8. Οι συνθήκες του σφάλματος είναι:

$$I_a = 0 \quad (1.38)$$

$$V_b = V_c = (I_b + I_c)Z_F = I_F \cdot Z_F \quad (1.39)$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων σε συνδυασμό με την (1.38) δίνουν:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \Rightarrow I_{a0} = -I_{a1} - I_{a2} & (1.40) \\ I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} & (1.41) \\ I_c &= I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} & (1.42) \end{aligned}$$

Με πρόσθεση κατά μέλη των δύο τελευταίων και με χρήση της ταυτότητας  $1+a+a^2=0$  και της (1.40) προκύπτει για το ρεύμα σφάλματος:

$$I_F = I_b + I_c = 2I_{a0} + (a^2 + a) \cdot I_{a1} + (a + a^2) \cdot I_{a2} = 2I_{a0} - I_{a1} - I_{a2} = 3I_{a0} \quad (1.43)$$

Οι εξισώσεις (1.1) για τις συμμετρικές συνιστώσες των τάσεων είναι:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} & (1.44) \\ V_b &= V_{a0} + a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} & (1.45) \\ V_c &= V_{a0} + a \cdot V_{a1} + a^2 \cdot V_{a2} & (1.46) \end{aligned}$$

Με αφαίρεση κατά μέλη των δύο τελευταίων και λόγω της (1.39) προκύπτει:

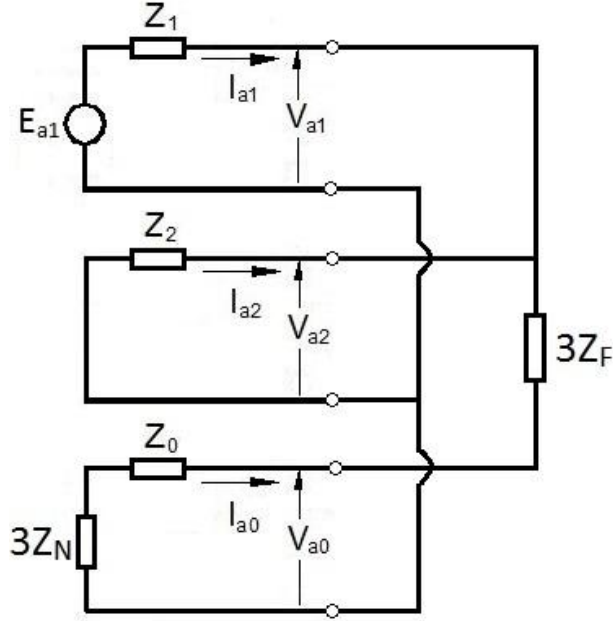
$$V_b - V_c = (a^2 - a) \cdot V_{a1} + (a - a^2) \cdot V_{a2} = 0 \Rightarrow V_{a1} = V_{a2} \quad (1.47)$$

Η (1.45) με αντικατάσταση από τις (1.39), (1.43) και (1.47) και με χρήση της ταυτότητας  $1+a+a^2=0$  δίνει:

$$V_b = V_{a0} + a^2 \cdot V_{a1} + a \cdot V_{a2} \xrightarrow{(1.39),(1.47)} I_F \cdot Z_F = V_{a0} + a^2 \cdot V_{a2} + a \cdot V_{a2} \xrightarrow{(1.43)}$$

$$3I_{a0} \cdot Z_F = V_{a0} + (a^2 + a) \cdot V_{a2} \Rightarrow V_{a2} = V_{a0} - 3I_{a0} \cdot Z_F \quad (1.48)$$

Η εξίσωση (1.40) δείχνει ότι τα τρία ακολουθιακά κυκλώματα έχουν ένα κοινό κόμβο στον οποίο συμβάλουν όλα τα ρεύματα. Η εξίσωση (1.47) δείχνει ότι τα κυκλώματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας έχουν κοινά άκρα ενώ η εξίσωση (1.48) δείχνει ότι το κύκλωμα αρνητικής ακολουθίας έχει κοινά άκρα με τον εν σειρά συνδυασμό του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας και της αντίστασης  $3Z_F$ . Συνεπώς, η συνδεσμολογία των ακολουθιακών κυκλωμάτων για το διαστικό προς γη βραχυκύκλωμα είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα Ε1.9.



Ε1.9: 2Φ βραχυκύκλωμα προς γη – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων

Βάσει του παραπάνω κυκλωματικού μοντέλου προσδιορίζονται οι συμμετρικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης της φάσης a:

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_2 // (Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} = \frac{E_{a1}(Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.49)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \frac{Z_0 + 3Z_N + 3Z_F}{Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} = \frac{-E_{a1}(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.50)$$

$$I_{a0} = -I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0 + 3Z_N + 3Z_F} = \frac{-E_{a1} \cdot Z_2}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.51)$$

$$V_{a1} = I_{a1} [Z_2 // (Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)] = \frac{E_{a1} \cdot Z_2 (Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.52)$$

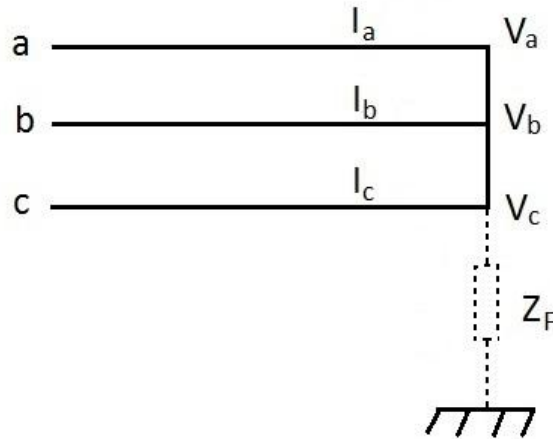
$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot Z_2 = \frac{E_{a1} (Z_0 + 3Z_N + 3Z_F) Z_2}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.53)$$

$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot Z_0 = \frac{E_{a1} \cdot Z_0 \cdot Z_2}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.54)$$

Οι φασικές τάσεις υπολογίζονται αντικαθιστώντας τις (1.52), (1.53) και (1.54) στις (1.44), (1.45) και (1.46) ενώ τα ρεύματα των φάσεων  $b$  και  $c$  υπολογίζονται αντικαθιστώντας τις (1.49), (1.50) και (1.51) στις (1.41) και (1.42). Τέλος, το ρεύμα του βραχυκυκλώματος προκύπτει από τις (1.43) και (1.51) ως εξής:

$$I_F = 3I_{a0} = \frac{-3E_{a1}Z_2}{Z_1 \cdot Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_N + 3Z_F)} \quad (1.55)$$

### 1.1.6 Τριφασικό βραχυκύκλωμα



Ε1.10: 3Φ βραχυκύκλωμα – Σχέδιο φάσεων στο σημείο του σφάλματος

Το τριφασικό βραχυκύκλωμα, με ή χωρίς γη (Ε1.10), δεν εισάγει κάποια ασυμμετρία. Το ΣΗΕ συνεχίζει να είναι συμμετρικό, ενώ οι συνθήκες του σφάλματος είναι οι εξής:

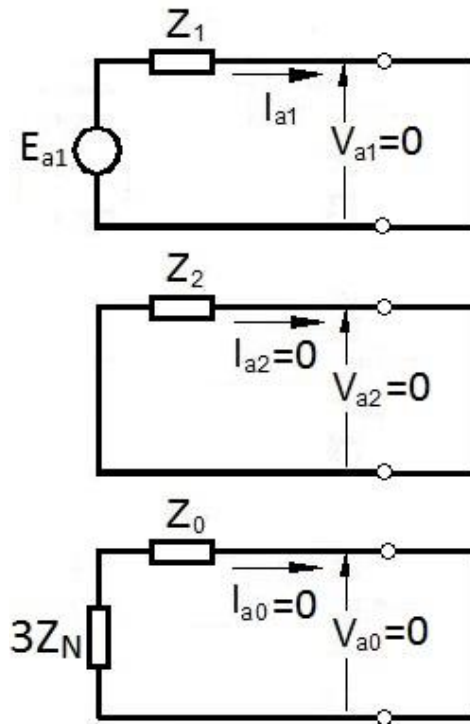
$$V_a = V_b = V_c = 0 \quad (1.56)$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (1.57)$$

Το γεγονός ότι οι φασικές τάσεις είναι μηδενικές σημαίνει ότι και οι συμμετρικές συνιστώσες όλων των φάσεων θα είναι μηδενικές, το οποίο προκύπτει και μαθηματικά μέσω των (1.2) και (1.56).

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = 0 \quad (1.58)$$

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι τα ακολουθιακά κυκλώματα στην περίπτωση του τριφασικού σφάλματος χωρίς αντίσταση σφάλματος είναι βραχυκυκλωμένα στα άκρα τους όπως φαίνεται και στην εικόνα Ε1.11. Επίσης τα ακολουθιακά κυκλώματα δεν συνδέονται μεταξύ τους σε κανένα σημείο, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς δεν υπάρχει ασυμμετρία στο ΣΗΕ, οπότε μόνο το κύκλωμα θετικής ακολουθίας είναι ενεργό ενώ τα κυκλώματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας δεν διαρρέονται από κανένα ρεύμα.



Ε1.11: 3Φ βραχυκύκλωμα – Σύνδεση ακολουθιακών κυκλωμάτων

Το ρεύμα σφάλματος προκύπτει από το κύκλωμα θετικής ακολουθίας:

$$I_F = I_a = I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1} \quad (1.59)$$

Τα ρεύματα των άλλων φάσεων είναι ίσα κατά μέτρο με αυτό της φάσης a με  $120^\circ$  φασικής απόκλιση όπως γίνεται στα συμμετρικά τριφασικά συστήματα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση ύπαρξης αντίστασης σφάλματος  $Z_F$  στο τριφασικό βραχυκύκλωμα, το κύκλωμα θετικής ακολουθίας κλείνει μέσω της αντίστασης αυτής και το ρεύμα σφάλματος γίνεται:

$$I_F = I_a = I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_1 + Z_F} \quad (1.60)$$



## 1.2 Προστασία υπερέντασης με χρήση ηλεκτρονόμων [5]

Η προστασία υπερέντασης είναι το είδος της προστασίας που χρησιμοποιεί την ένταση των ρευμάτων που ρέουν σε ένα ΣΗΕ για να διαγνώσει την ύπαρξη σφαλμάτων και αντιστοίχως να λάβει δράση. Τα σημαντικότερα μέσα προστασίας υπερέντασης είναι:

- οι διακόπτες ισχύος με στοιχείο υπερέντασης
- οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς
- οι ασφάλειες και
- οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης

Το πιο σύνηθες μέσο προστασίας είναι οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης. Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης χρησιμοποιούνται στην μέση και την υψηλή τάση όπου τα ρεύματα σφάλματος μπορεί να είναι πολύ μεγάλα, λόγω της ευκολίας με την οποία χειρίζονται αυτά τα ρεύματα μέσω των μετασχηματιστών έντασης που διαθέτουν. Μία σημαντική διάκριση που γίνεται είναι αυτή ανάμεσα στο σφάλμα και στην υπερφόρτιση. Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης αναλαμβάνουν την προστασία για τις περιπτώσεις σφαλμάτων, όπου το ρεύμα είναι πολλές φορές μεγαλύτερο από ρεύμα κανονικής λειτουργίας, και όχι για τις περιπτώσεις υπερφόρτισης, όπου το ρεύμα είναι λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό, και έχει να κάνει με τα θερμικά όρια του εξοπλισμού. Για τον λόγο αυτό οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης δεν τοποθετούνται μόνοι τους ως συσκευές προστασίας αλλά μαζί και με άλλα μέσα.

### 1.2.1 Κατηγορίες και είδη ηλεκτρονόμων προστασίας

Ο ηλεκτρονόμος προστασίας είναι μία συσκευή η οποία επιτηρεί συνεχώς ηλεκτρικά μεγέθη (ρεύμα, τάση, συχνότητα κτλ.). Αν η τιμή του επιτηρούμενου μεγέθους βγει εκτός μίας προκαθορισμένης περιοχής τιμών τότε ο ηλεκτρονόμος θα εκτελέσει μια συγκεκριμένη ενέργεια, βάσει της ρύθμισης και του σχεδιασμού που έχει γίνει (π.χ. το άνοιγμα ενός διακόπτη ισχύος). Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας κατηγοριοποιούνται βάσει διαφόρων χαρακτηριστικών τους τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Είδη ηλεκτρονόμων βάσει τεχνολογίας:

- ηλεκτρομηχανικοί (electromechanical)
- στατικοί (static or solid-state)
- ψηφιακοί (digital or microprocessor-based)
- αριθμητικοί (numerical)

Είδη ηλεκτρονόμων βάσει λειτουργίας:

- υπερέντασης
- κατεύθυνσης
- απόστασης
- υπέρτασης
- διαφορικοί
- αναστροφής ισχύος κ.α.

Για τα διάφορα είδη συσκευών υπάρχει διεθνής κωδικοποίηση κατά ANSI με έναν διψήφιο αριθμό για κάθε είδος, η οποία περιλαμβάνει και τα είδη των ηλεκτρονόμων. Οι βασικές ηλεκτρικές συσκευές παρουσιάζονται παρακάτω:

- 21: H/N απόστασης
- 27: H/N υπότασης
- 32: H/N αντιστροφής ισχύος
- 37: H/N υπο-έντασης ή υπο-ισχύος
- 46: H/N υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας
- 47: H/N τάσης αρνητικής ακολουθίας
- 50: H/N υπερέντασης σταθερού χρόνου
- 51: H/N υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου
- 52: Διακόπτης ισχύος
- 55: H/N συντελεστή ισχύος
- 59: H/N υπέρτασης
- 67: H/N υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης
- 81: H/N συχνότητας
- 87: H/N διαφορικής προστασίας

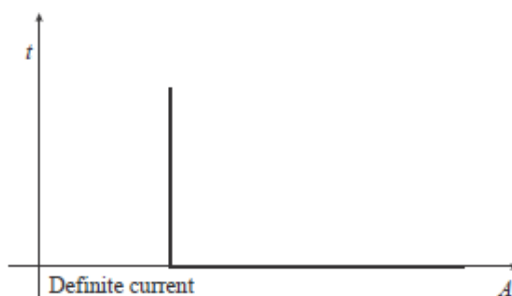
Για την διευκόλυνση της μελέτης των ηλεκτρονόμων στην προστασία υπερέντασης, αυτοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που χρησιμοποιούν ως εξής:

- ηλεκτρονόμοι στιγμιαίου χρόνου ή ορισμένου ρεύματος (50)
- ηλεκτρονόμοι σταθερού χρόνου (50)
- ηλεκτρονόμοι αντιστρόφου χρόνου (51)

Στην πράξη, στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι με μεικτές καμπύλες, δηλαδή που συνδυάζουν περισσότερα από ένα είδος των παραπάνω κατηγοριών. Μία άλλη διάκριση των ηλεκτρονόμων υπερέντασης είναι σε ηλεκτρονόμους φάσης, αρνητικής ακολουθίας και γης ανάλογα με το επιτηρούμενο ρεύμα.

### 1.2.2 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου ή ορισμένου ρεύματος

Ο ηλεκτρονόμος αυτός συνήθως αναφέρεται απλώς ως ηλεκτρονόμος στιγμιαίου χρόνου και λειτουργεί ακαριαία όταν το ρεύμα υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή. Η χαρακτηριστική καμπύλη χρόνου ρεύματος αυτού του ηλεκτρονόμου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Ε1.12: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου στιγμιαίου χρόνου

Σε ένα ακτινικό τμήμα του δικτύου όπου σε κάθε ζυγό έχει τοποθετηθεί ένας τέτοιος ηλεκτρονόμος, η ρύθμιση αυτή επιλέγεται έτσι ώστε στον πιο απομακρυσμένο από την πηγή ζυγό ο ηλεκτρονόμος να λειτουργήσει για μία σχετικά χαμηλή τιμή του ρεύματος και σε κάθε κοντινότερο ζυγό η τιμή αυτή αυξάνεται σταδιακά. Με αυτόν τον τρόπο, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ο κοντινότερος στο σφάλμα ηλεκτρονόμος έχει την μικρότερη ρύθμιση και λειτουργεί γρηγορότερα από τους ηλεκτρονόμους πίσω του. Έτσι επιτυγχάνεται η αποσύνδεση του μικρότερου δυνατού τμήματος του δικτύου.

Αυτός ο τρόπος προστασίας όμως έχει δύο σημαντικά μειονεκτήματα:

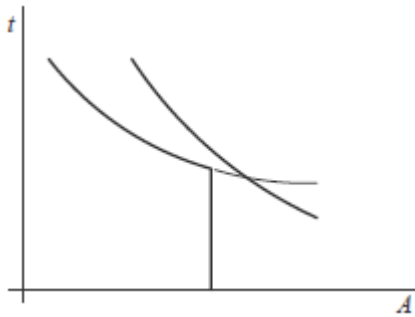
- Δεν υπάρχει μεγάλο περιθώριο επιλεκτικότητας για μεγάλες τιμές του ρεύματος σφάλματος.
- Η αναγνώριση της θέσης του σφάλματος μεταξύ δύο σημείων γίνεται δύσκολη όταν η μεταξύ τους αντίσταση είναι μικρή σε σχέση με την αντίσταση μέχρι την πηγή, πράγμα που καθιστά δύσκολη και την σωστή συνεργασία των ηλεκτρονόμων.

Έτσι, αν η ρύθμιση των ηλεκτρονόμων γίνει βάσει των μέγιστων ρευμάτων βραχυκύκλωσης τότε είναι πιθανό οι ρυθμίσεις αυτές να μην είναι κατάλληλες για καταστάσεις σφαλμάτων με μικρότερα ρεύματα, ενώ αν η ρύθμιση γίνει βάσει των ελάχιστων ρευμάτων βραχυκύκλωσης τότε μπορεί αυτό να έχει σαν αποτέλεσμα την άσκοπη λειτουργία κάποιων διακοπών. Για τους λόγους αυτούς οι ηλεκτρονόμοι στιγμιαίου χρόνου δεν χρησιμοποιούνται ως μοναδικά μέσα προστασίας.

Ωστόσο, στοιχεία στιγμιαίου χρόνου χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτρονόμους με μεικτές χαρακτηριστικές καμπύλες γιατί προσφέρουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Μειώνουν τον χρόνο λειτουργίας του ηλεκτρονόμου στα πολύ μεγάλα ρεύματα σφάλματος.
- Βοηθούν την σωστή επιλογική συνεργασία μεταξύ ηλεκτρονόμων που χρησιμοποιούν διαφορετικές χαρακτηριστικές καμπύλες.

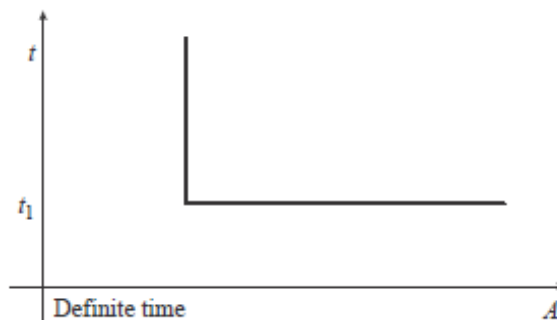
Το τελευταίο επιτυγχάνεται τοποθετώντας ένα στοιχείο στιγμιαίου χρόνου σε σημείο ώστε να αποτρέπει την τομή των χαρακτηριστικών καμπυλών δύο ηλεκτρονόμων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



E1.13: Διατήρηση επιλογικής συνεργασίας με την βοήθεια στοιχείου στιγμιαίου χρόνου

### 1.2.3 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου

Ο ηλεκτρονόμος αυτός λειτουργεί με χρονική καθυστέρηση όταν το ρεύμα υπερβεί το ρεύμα κατωφλίου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η σωστή επιλογική συνεργασία των ηλεκτρονόμων. Η χαρακτηριστική καμπύλη χρόνου ρεύματος του εν λόγω ηλεκτρονόμου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



E1.14: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου

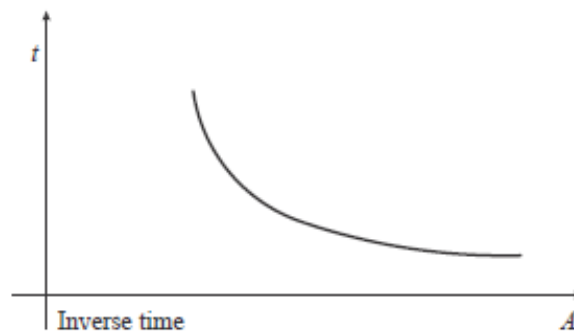
Οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων μπορούν να γίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε βραχυκύκλωμα ο πλησιέστερος ηλεκτρονόμος να λειτουργεί πρώτος και στην συνέχεια να λειτουργούν οι υπόλοιποι ηλεκτρονόμοι. Η διαφορά μεταξύ των χρόνων λειτουργίας δύο ηλεκτρονόμων για το ίδιο ρεύμα ονομάζεται χρονικό περιθώριο ασφαλείας.

Αφού ο χρόνος λειτουργίας μπορεί πλέον να ορισθεί σε συγκεκριμένα βήματα η προστασία είναι πλέον πιο επιλεκτική αναιρώντας τα μειονεκτήματα των ηλεκτρονόμων στιγμιαίας λειτουργίας. Έτσι, οι ηλεκτρονόμοι σταθερού χρόνου χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου η αντίσταση του υπό προστασία στοιχείου είναι μικρή σε σχέση με την αντίσταση μέχρι την πηγή. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως αυτής της μεθόδου είναι ότι κοντά στην πηγή, όπου το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι μεγαλύτερο, ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου είναι σχετικά μεγάλος.

Οι ηλεκτρονόμοι σταθερού χρόνου έχουν δύο ρυθμίσεις προς παραμετροποίηση: την ρύθμιση ρεύματος διέγερσης ή κατωφλίου (pick-up current ή PU) και την ρύθμιση χρόνου καθυστέρησης (time delay).

#### 1.2.4 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου

Ο ηλεκτρονόμος αντιστρόφου χρόνου λειτουργεί σε χρόνο που είναι αντιστρόφως ανάλογος με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει, όπως φαίνεται και στη χαρακτηριστική του καμπύλη που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



E1.15: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου

Το πλεονέκτημα των ηλεκτρονόμων αντιστρόφου χρόνου σε σχέση με τους ηλεκτρονόμους σταθερού χρόνου είναι ότι για μεγάλες τιμές του ρεύματος βραχυκυκλώματος ο χρόνος λειτουργίας είναι μικρός χωρίς να επηρεάζεται η επιλογική συνεργασία με τους άλλους ηλεκτρονόμους.

Η χαρακτηριστική εξίσωση που υλοποιείται από τους σύγχρονους εμπορικούς ηλεκτρονόμους ακολουθεί τα πρότυπα IEC και ANSI/IEEE, με την ακόλουθη μορφή:

$$t = TDS \frac{\beta}{(I/I_{pu})^\alpha - 1} + L \quad (1.61)$$

όπου

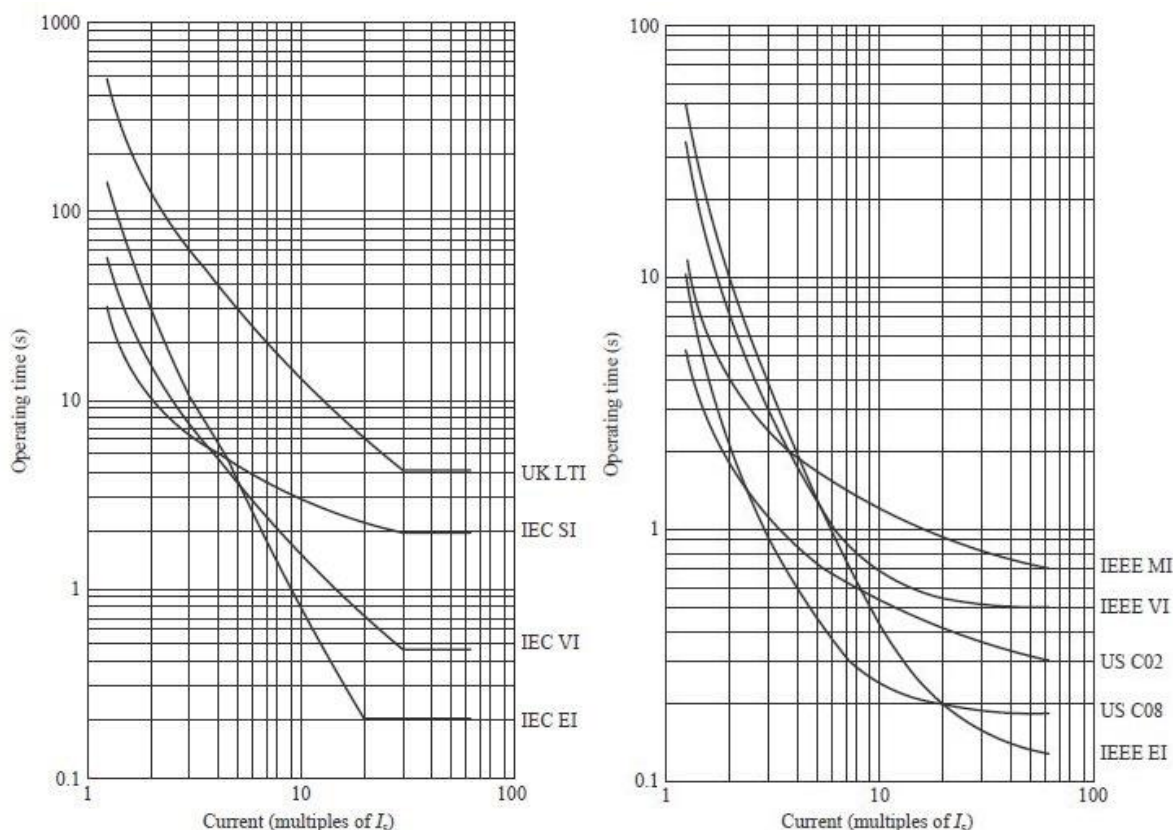
t	ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου σε s
I	το ρεύμα σφάλματος που βλέπει ο ηλεκτρονόμος σε A δευτερεύοντος
TDS	η ρύθμιση χρόνου καθυστέρησης (time dial setting)
$I_{pu}$	η ρύθμιση ρεύματος διέγερσης (pick-up current)
$\alpha, \beta$	σταθερές κλίσης
L	σταθερά

Οι ηλεκτρονόμοι αντιστρόφου χρόνου διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με το πόσο απότομη είναι η κλίση τους η οποία καθορίζεται από τις σταθερές  $\alpha$  και  $\beta$ . Οι τιμές των σταθερών αυτών για κάθε κατηγορία είναι τυποποιημένες από διάφορα πρότυπα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κατηγορίες των καμπυλών και οι τιμές των σταθερών σε κάθε μία από αυτές σύμφωνα με τα πρότυπα ANSI/IEEE και IEC.

Curve description	Standard	$\alpha$	$\beta$	$L$
Moderately inverse	IEEE	0.02	0.0515	0.114
Very inverse	IEEE	2.0	19.61	0.491
Extremely inverse	IEEE	2.0	28.2	0.1217
Inverse	CO8	2.0	5.95	0.18
Short-time inverse	CO2	0.02	0.0239	0.0169
Standard inverse	IEC	0.02	0.14	0
Very inverse	IEC	1.0	13.5	0
Extremely inverse	IEC	2.0	80.0	0
Long-time inverse	UK	1.0	120	0

Ε1.16: Τυποποιημένες κατηγορίες καμπυλών αντιστρόφου χρόνου

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τυπικές μορφές των παραπάνω καμπυλών αντιστρόφου χρόνου σε λογαριθμικούς άξονες.

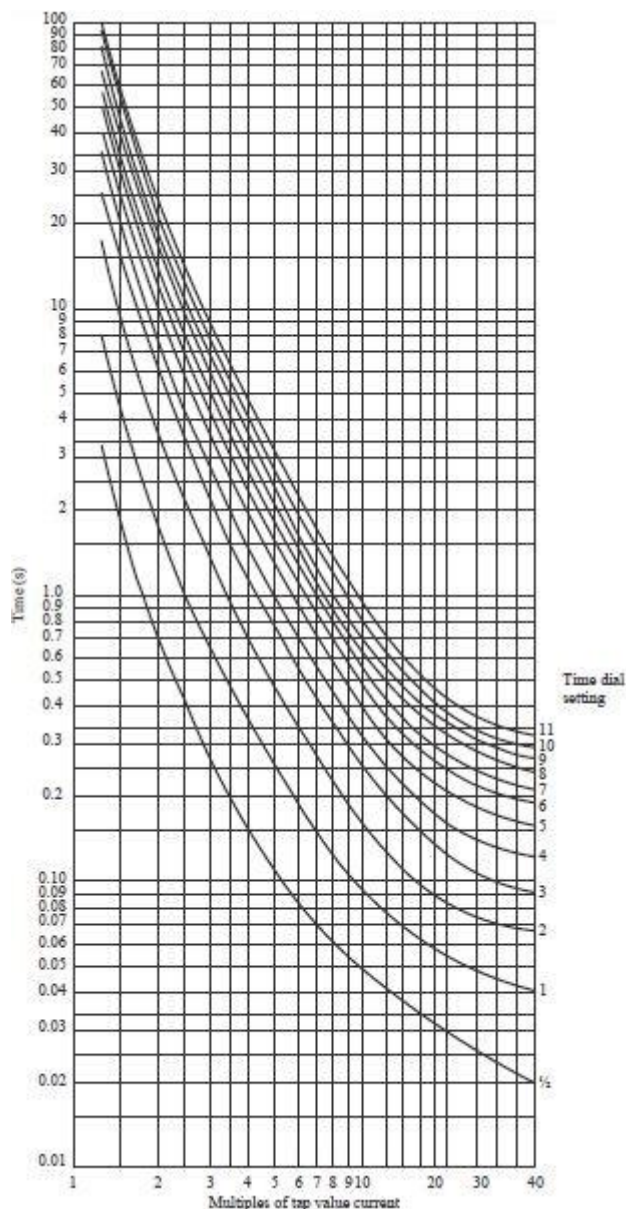


Ε1.17: Χαρακτηριστικές καμπύλες αντιστρόφου χρόνου

Οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων αντιστρόφου χρόνου πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή συνεργασία γειτονικών συσκευών, δηλαδή σε κάθε περίπτωση σφάλματος να λειτουργεί πρώτα ο πλησιέστερος στο σφάλμα ηλεκτρονόμος, και η εκκαθάριση του σφάλματος να γίνεται σε σχετικά μικρό χρόνο. Μόνο σε περίπτωση αστοχίας της πρωτεύουσας προστασίας, το σφάλμα θα εκκαθαρίζεται από γειτονικό ηλεκτρονόμο που παρέχει εφεδρική

(backup) προστασία. Για την εξασφάλιση της σωστής επιλογικής συνεργασίας, τηρείται ένα χρονικό περιθώριο ασφαλείας μεταξύ όλων των ζευγών πρωτεύουσας-δευτερεύουσας προστασίας.

Το ρεύμα pick-up ή  $I_{pu}$  είναι η παράμετρος που καθορίζει την θέση της καμπύλης ως προς τον οριζόντιο άξονα των ρευμάτων, ενώ η παράμετρος TDS είναι αυτή που καθορίζει την θέση της καμπύλης ως προς τον κάθετο άξονα του χρόνου, όπως φαίνεται και στην εικόνα E1.18. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα του αλγορίθμου για τον προσδιορισμό του TDS κάθε ηλεκτρονόμου ώστε να διατηρείται η σωστή συνεργασία μεταξύ τους.



E1.18: Χαρακτηριστικές καμπύλες ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου για διάφορες τιμές του TDS

Το χρονικό περιθώριο ασφαλείας (discrimination margin ή coordination time interval) μεταξύ δύο διαδοχικών ηλεκτρονόμων παίρνει τιμές από 0,25s ως 0,4s για να εξασφαλισθεί η διατήρηση της σωστής επιλογικής συνεργασίας των ηλεκτρονόμων που θα μπορούσε να διαταραχθεί από πολλούς παράγοντες, όπως ο χρόνος που χρειάζεται ο διακόπτης για να ανοίξει, ο χρόνος μετάδοσης του σήματος πτώσης, σφάλματα στα χρονικά των ηλεκτρονόμων κ.α.

### 1.2.5 Περιορισμοί στην ρύθμιση των ηλεκτρονόμων

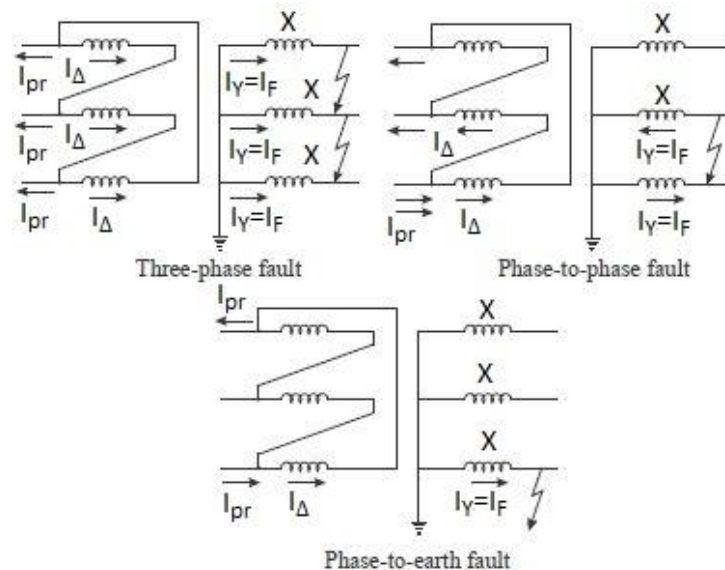
Όπως έχει γίνει φανερό μέχρι τώρα, η σωστή ρύθμιση των ηλεκτρονόμων είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στις μελέτες προστασίας υπερέντασης. Από την μία οι ηλεκτρονόμοι πρέπει να αναγνωρίζουν σφάλματα μεγάλου εύρους τιμών και να δίνουν έγκαιρα εντολή εκκαθάρισης στον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος, και από την άλλη πρέπει να αποφεύγονται άσκοπες λειτουργίες. Για τους λόγους αυτούς, κατά την ρύθμιση των ηλεκτρονόμων πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν ορισμένοι τεχνικοί περιορισμοί.

Όταν το στοιχείο χρονικής καθυστέρησης των ηλεκτρονόμων έχει ρυθμιστεί λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο ρεύμα σφάλματος, πρέπει να ελεγχθεί ότι οι ηλεκτρονόμοι θα ανιχνεύσουν και το ελάχιστο ρεύμα σφάλματος και ότι θα λειτουργήσουν με την σωστή σειρά. Για να εξασφαλιστεί αυτό θα πρέπει σε κάθε ηλεκτρονόμο ο λόγος του ελαχίστου ρεύματος σφάλματος προς το ρεύμα διέγερσης, δηλαδή  $I/I_{pb}$ , να είναι μεγαλύτερο από 1,5.

Αφού προσδιορισθούν οι καμπύλες των ηλεκτρονόμων υπερέντασης πρέπει να ελεγχθεί ότι βρίσκονται κάτω από τα θερμικά όρια των στοιχείων του δικτύου. Για την περίπτωση των αγωγών χρησιμοποιούνται διαγράμματα του κατασκευαστή που δείχνουν τον χρονικό διάστημα για το οποίο διάφορες τιμές ρεύματος μπορούν να γίνουν ανεχτές. Στους μετασχηματιστές το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που μπορούν να αντέξουν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εξαρτάται από την αντίδρασή τους. Για τον λόγο αυτό, οι μετασχηματιστές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ και για κάθε κατηγορία υπάρχουν τυποποιημένες καμπύλες. Για τους κινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης στοιχεία από τον κατασκευαστή.

Ένας άλλος πολύ σημαντικός περιορισμός είναι η αποφυγή λειτουργίας των ηλεκτρονόμων κατά την εκκίνηση ή ηλέκτριση στοιχείων του δικτύου, όπως είναι οι κινητήρες και οι μετασχηματιστές. Για το λόγο αυτό πρέπει να είναι γνωστό το μεταβατικό ρεύμα ούτως ώστε να επιλεχθούν κατάλληλες ρυθμίσεις. Το μέγεθος αυτό είτε δίνεται από τον κατασκευαστή είτε χρησιμοποιούνται τυπικές τιμές ανάλογα με το είδος και την ισχύ του εξοπλισμού.

### 1.2.6 Ρύθμιση ηλεκτρονόμων εκατέρωθεν μετασχηματιστή συνδεσμολογίας Dy



E1.19: Κατανομή ρευμάτων στα τυλίγματα μετασχηματιστή για βραχυκύκλωμα στην χαμηλή τάση

Για την ρύθμιση των ηλεκτρονόμων εκατέρωθεν ενός μετασχηματιστή με συνδεσμολογία τριγώνου-αστέρα (Dy) πρέπει να ελεγχθεί η φορά και η τιμή των ρευμάτων κάθε τυλίγματος για τις

περιπτώσεις του τριφασικού, διφασικού και μονοφασικού βραχυκυκλώματος στην πλευρά χαμηλής τάσης του αστέρα. Οι φορές αυτές φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Για διευκόλυνση των υπολογισμών μπορεί να υποθεθεί ότι οι τάσεις μεταξύ των φάσεων είναι ίσες και στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι ο λόγος των περιελίξεων των πηνίων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος είναι  $\sqrt{3}$ .

Στο τριφασικό βραχυκύκλωμα τα ρεύματα υπολογίζονται ως εξής:

$$I_F = \frac{V_\varphi}{X} = I_Y = I$$

$$I_\Delta = I_Y \frac{N_2}{N_1} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_{pr} = \sqrt{3}I_\Delta = I$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι οι ηλεκτρονόμοι όλων των φάσεων και των δύο πλευρών του μετασχηματιστή βλέπουν το ίδιο ρεύμα, όπως ήταν αναμενόμενο για το συμμετρικό βραχυκύκλωμα.

Στο διφασικό βραχυκύκλωμα τα ρεύματα υπολογίζονται ως εξής:

$$I_F = \frac{V_\pi}{2X} = \frac{\sqrt{3}V_\varphi}{2X} = \frac{\sqrt{3}}{2}I = I_Y$$

$$I_\Delta = I_Y \frac{N_2}{N_1} = \frac{I}{2}$$

$$I_{pr} = 2I_\Delta = I$$

Από τα παραπάνω και από την εικόνα E1.19 φαίνεται ότι το ρεύμα που βλέπουν οι ηλεκτρονόμοι στο δευτερεύον είναι  $\sqrt{3}/2$  φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα που βλέπει ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος στο πρωτεύον, στη φάση που έγινε το σφάλμα. Επίσης το ρεύμα αυτό είναι διπλάσιο από το ρεύμα των άλλων δύο φάσεων και αντίθετης φοράς.

Στο μονοφασικό βραχυκύκλωμα τα ρεύματα υπολογίζονται ως εξής:

$$I_F = \frac{V_\varphi}{X} = I_Y = I$$

$$I_\Delta = I_Y \frac{N_2}{N_1} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$I_{pr} = I_\Delta = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το ρεύμα που βλέπουν οι ηλεκτρονόμοι στο δευτερεύον και στη φάση που έγινε το σφάλμα είναι  $\sqrt{3}$  φορές μεγαλύτερο από το ρεύμα που βλέπουν οι αντίστοιχοι ηλεκτρονόμοι στο πρωτεύον.

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα στον πίνακα της εικόνας E1.20 παρατηρούμε ότι το κρίσιμο σημείο για την ρύθμιση των ηλεκτρονόμων είναι το διφασικό βραχυκύκλωμα. Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα του δευτερεύοντος τυλίγματος είναι σε ανηγμένες τιμές μικρότερο από το ρεύ-

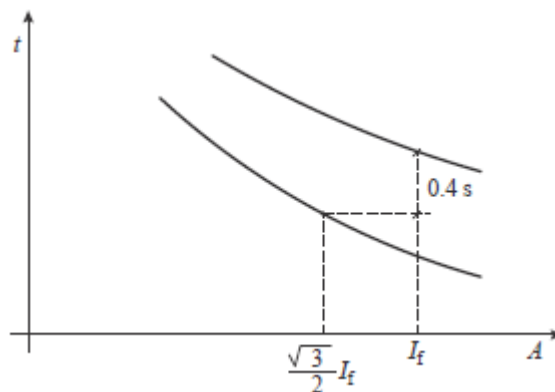


μα του πρωτεύοντος τυλίγματος γεγονός που θέτει σε κίνδυνο την σωστή συνεργασία μεταξύ των ηλεκτρονόμων των δύο πλευρών του μετασχηματιστή.

Fault	$I_{primary}$	$I_{secondary}$
Three-phase	$I$	$I$
Phase-to-phase	$I$	$\sqrt{3}I/2$
Phase-to-earth	$I$	$\sqrt{3}I$

E1.20: Σύγκριση ρευμάτων στα τυλίγματα του μετασχηματιστή για κάθε βραχυκύκλωμα

Συνεπώς, για την εύρεση του TDS του ηλεκτρονόμου του πρωτεύοντος τυλίγματος, το χρονικό περιθώριο ασφαλείας ( $t_c = 0,4$  s) δεν προστίθεται στον πραγματικό χρόνο λειτουργίας του ηλεκτρονόμου του δευτερεύοντος τυλίγματος αλλά στον χρόνο που θα αντιστοιχούσε σε ένα ρεύμα ίσο με  $\sqrt{3}I_F/2$  όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



E1.21: Συνεργασία ηλεκτρονόμων εκατέρωθεν μετασχηματιστή συνδεσμολογίας Dy

### 1.2.7 Ρύθμιση στοιχείων ηλεκτρονόμων αρνητικής ακολουθίας

Η ευαισθησία για τα διφασικά βραχυκυκλώματα μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονόμους αρνητικής ακολουθίας αφού τα συμμετρικά φορτία δεν έχουν ρεύμα αρνητικής ακολουθίας. Το ίδιο ισχύει για τα βραχυκυκλώματα γης και το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας το οποίο επίσης δεν υπάρχει σε συμμετρικά φορτία. Τέτοιου είδους ηλεκτρονόμοι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την λειτουργία τους με την κωδικοποίηση που αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2.1 αλλά χαρακτηρίζονται από ένα επιπλέον γράμμα. Για τους ηλεκτρονόμους αρνητικής ακολουθίας αυτό είναι το Q ενώ για τους ηλεκτρονόμους μηδενικής ακολουθίας είναι το N ή το G. Οι ηλεκτρονόμοι θετικής ακολουθίας προσδιορίζονται από το γράμμα P.

Οι ηλεκτρονόμοι που χρησιμοποιούνται στην πράξη έχουν πολλά στοιχεία μεταξύ των οποίων και στοιχεία υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου αρνητικής ακολουθίας και στοιχεία υπερέντασης με χρονική καθυστέρηση αρνητικής ακολουθίας. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η σωστή συνεργασία με συσκευές προστασίας που επιτηρούν τα ρεύματα φάσης, όπως π.χ. ασφάλειες ή ηλεκτρονόμοι υπερέντασης φάσης.

Ο προσδιορισμός του  $I_{pu}$  για το στοιχείο αρνητικής ακολουθίας γίνεται μέσω της αντίστοιχης ρύθμισης του στοιχείου θετικής ακολουθίας. Η σχέση που τα συνδέει υπολογίζεται ως εξής. Από τα αποτελέσματα του πίνακα E1.20 φαίνεται ότι το μέτρο του ρεύματος σφάλματος του διφασικού βραχυκυκλώματος είναι  $\sqrt{3}/2$  φορές το μέτρο του ρεύματος σφάλματος του τριφασικού βραχυκυκλώματος:

$$I_{F,2\Phi} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{F,3\Phi}$$

Το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας υπολογίζεται από την τρίτη εξίσωση των (1.2) της προηγούμενης ενότητας και σε συνδυασμό με τις συνθήκες (1.19) και (1.20) του διφασικού βραχυκύκλωματος προκύπτει ότι:

$$I_{a2} = \frac{1}{3}(I_a + a^2 \cdot I_b + a \cdot I_c) = \frac{a^2 + a}{3} I_{F,2\Phi}$$

Οπότε για το μέτρο του ρεύματος αρνητικής ακολουθίας ισχύει:

$$I_{a2} = \frac{|a^2 + a|}{3} I_{F,2\Phi} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} I_{F,3\Phi} = \frac{I_{F,3\Phi}}{2}$$

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι για να επιτευχθεί η ίδια ευαισθησία με τα συμμετρικά βραχυκύκλωμα και στα διφασικά πρέπει το  $I_{pu}$  του στοιχείου αρνητικής ακολουθίας να ρυθμιστεί στο μισό της τιμής του στοιχείου θετικής ακολουθίας:

$$I_{pu2} = \frac{I_{pu1}}{2}$$

Για να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη χρόνου ρεύματος ενός στοιχείου αρνητικής ακολουθίας στο ίδιο διάγραμμα με τις καμπύλες άλλων συσκευών σφαλμάτων φάσης και γης, είναι απαραίτητο να αναπροσαρμοστεί το  $I_{pu}$  του στοιχείου αρνητικής ακολουθίας με έναν συντελεστή ο οποίος είναι ο λόγος του ρεύματος σφάλματος προς το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας. Για το διφασικό βραχυκύκλωμα, όπως μπορεί εύκολα να εξαχθεί και από τις προηγούμενες σχέσεις, ο συντελεστής αυτός είναι  $\sqrt{3}$ . Αν το διφασικό βραχυκύκλωμα είναι προς γη τότε ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από  $\sqrt{3}$  ενώ για το μονοφασικό βραχυκύκλωμα ο συντελεστής είναι 3. Στην περίπτωση του τριφασικού βραχυκύκλωματος δεν υπάρχει ρεύμα αρνητικής ακολουθίας οπότε το στοιχείο αρνητικής ακολουθίας δεν λειτουργεί. Γενικά, για την συνεργασία των στοιχείων αρνητικής ακολουθίας με άλλες συσκευές προστασίας υπέρεντασης φάσης που είναι εγκαταστημένες σε επόμενους ζυγούς, το διφασικό βραχυκύκλωμα είναι το πιο κρίσιμο καθώς όλα τα άλλα είδη βραχυκύκλωμάτων δίνουν ίση ή μικρότερη μετατόπιση της καμπύλης προς τα δεξιά στο διάγραμμα χρόνου ρεύματος.

### 1.3 Μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων γης σε Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης [7]

Σε αυτή την ενότητα εξετάζονται η προστασία σφαλμάτων γης και οι μέθοδοι ανίχνευσης τους σε δίκτυα διανομής. Αρχικά, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση και σύγκριση των μεθόδων γείωσης των δικτύων διανομής μέσης τάσης. Στην συνέχεια, αναλύεται η συμπεριφορά διαφόρων γειωμένων συστημάτων όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα γης σε αυτά. Ακολουθώς, παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση των σφαλμάτων αυτών. Τέλος, γίνεται μία σύνοψη των διαφορών μεταξύ στο συστημάτων γείωσης, τον σκοπό της ανίχνευσης σφαλμάτων γης σε αυτά τα συστήματα και τους περιορισμούς κάθε προτεινόμενης μεθόδου.

Το μέτρο του ρεύματος σε ένα σφάλμα γης εξαρτάται από την μέθοδο γείωσης του συστήματος και την αντίσταση του σφάλματος. Στα συστήματα με απευθείας γείωση (solid grounding) και με γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης (low-impedance grounding) τα ρεύματα αυτά είναι μεγάλα όταν η αντίσταση του σφάλματος είναι μικρή γεγονός που υπαγορεύει την απομόνωση της γραμμής για την εκκαθάριση του σφάλματος. Όταν η αντίσταση σφάλματος είναι μεγάλη τότε το ρεύμα σφάλματος είναι μικρό, γεγονός που κάνει δύσκολο για τις συμβατικές συσκευές προστασίας τον διαχωρισμό του από το ασύμμετρο ρεύμα που υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας υπάρχει στο δίκτυο διανομής.

Τα συστήματα με γείωση υψηλής σύνθετης αντίστασης (high-impedance grounding) γειώνονται μέσω μίας αντίστασης ή αντίδρασης με τιμή ίση ή ελαφρώς μικρότερη από την χωρητική αντίδραση του συστήματος προς το έδαφος. Τα ρεύματα σφάλματος για μονοφασικά βραχυκυκλώματα σε αυτά τα συστήματα είναι μικρά και το σύστημα μπορεί να μην διακόψει την λειτουργία του σε συνθήκες βραχυκυκλώματος.

Στα αγείωτα συστήματα (ungrounded systems) δεν υπάρχει σύνδεση με την γη. Τα μονοφασικά σφάλματα δεν έχουν άλλο ηλεκτρικό μονοπάτι επιστροφής και επιστρέφουν στο σύστημα μέσω των εγκάρσιων χωρητικών αντιδράσεων των γραμμών. Τα ρεύματα σφάλματος σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μικρά.

Τα αντισταθμισμένα συστήματα (compensated or resonant-grounded systems) είναι γειωμένα μέσω μίας επαγωγικής αντίδρασης που συνδέεται στον ουδέτερο ενός μετασχηματιστή και είναι συντονισμένη με την χωρητική αντίδραση φάσης-γης του συστήματος. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται αυτό-εκκαθάριση του σφάλματος γης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για την γείωση εναέριων γραμμών και όχι υπόγειων καλωδίων. Στις εναέριες γραμμές, μετά την σβέση του τόξου ο ιονισμένος αέρας αντικαθίσταται από μη ιονισμένο και η μονωτική ικανότητα του μέσου επανέρχεται, κάτι που δεν συμβαίνει στα υπόγεια καλώδια.

Οι κύριοι στόχοι της γείωσης των συστημάτων είναι η ελαχιστοποίηση της καταπόνησης του εξοπλισμού λόγω υπερτάσεων και υπερθέρμανσης, η ασφάλεια του προσωπικού, η μείωση των παρεμβολών με τηλεπικοινωνιακά συστήματα και η συνεισφορά στη γρήγορη ανίχνευση των σφαλμάτων γης.

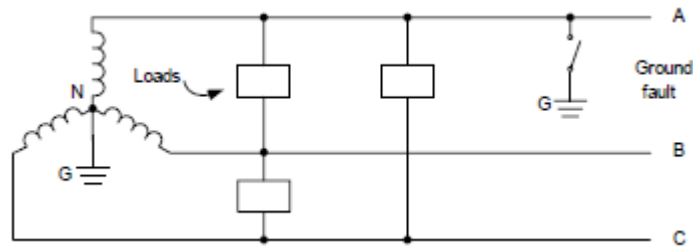
Με την εξαίρεση του πρώτου, η λειτουργία ενός συστήματος ως αγείωτο, με γείωση υψηλής σύνθετης αντίδρασης ή ως αντισταθμισμένο περιορίζει τα ρεύματα σφάλματος για βραχυκυκλώματα γης και πετυχαίνει τους περισσότερους από τους υπόλοιπους στόχους. Το μειονέκτημα όμως αυτών των μεθόδων είναι ότι δημιουργούν προβλήματα στην ευαισθησία της προστασίας για την ανίχνευση σφαλμάτων. Η δημιουργία ενός συστήματος γείωσης που περιορίζει τις καταπονήσεις από υπερτάσεις είναι δυνατή αλλά συνεπάγεται και αύξηση των ρευμάτων σφάλματος. Σε ένα τέτοιο σύστημα η περιοχή του σφάλματος πρέπει να απομονωθεί αμέσως για να αποφευχθούν θερμικές καταπονήσεις, τηλεπικοινωνιακές παρεμβολές και προβλήματα ασφάλειας προσωπικού. Το μειονέκτημα είναι ότι το δίκτυο πρέπει να διακοπεί ακόμα και για παροδικά σφάλματα.

### 1.3.1 Απευθείας γειωμένα δίκτυα διανομής

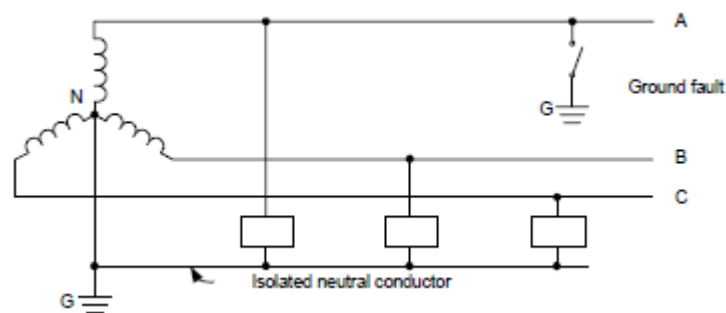
Για να θεωρείται ένα σύστημα απευθείας γειωμένο πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις για τις αντιστάσεις και αντιδράσεις θετικής και μηδενικής ακολουθίας του συστήματος;

$$\frac{X_0}{X_1} \leq 3 \quad \text{και} \quad \frac{R_0}{X_1} \leq 1$$

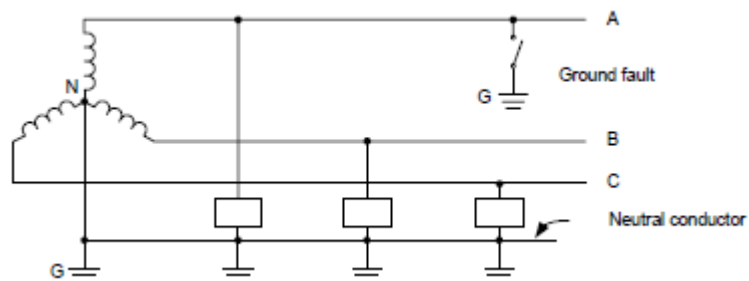
Πρακτικά, τα απευθείας γειωμένα συστήματα έχουν τους αγωγούς του ουδέτερου συνδεδεμένους στην γη χωρίς την σκόπιμη παρεμβολή οποιασδήποτε σύνθετης αντίστασης. Για την εφαρμογή της απευθείας γείωσης υπάρχουν δύο τρόποι: η γείωση μοναδικού σημείου και η γείωση πολλαπλών σημείων. Η απευθείας γείωση μοναδικού σημείου σημαίνει ότι μόνο ένα σημείο του συστήματος συνδέεται στην γη και αφορά είτε συστήματα τριών αγωγών όπου το φορτίο είναι συνδεδεμένο μεταξύ φάσεων όπως φαίνεται στην εικόνα E1.22 είτε σε συστήματα τεσσάρων αγωγών όπου το φορτίο είναι συνδεδεμένο μεταξύ φάσης και ουδέτερου όπως φαίνεται στην εικόνα E1.23. Η απευθείας γείωση πολλαπλών σημείων αφορά συστήματα τεσσάρων αγωγών όπου ο αγωγός του ουδέτερου είναι συνδεδεμένος στην γη σε πολλά σημεία όπως φαίνεται στην εικόνα E1.24.



E1.22: Απευθείας γείωση μοναδικού σημείου σε σύστημα τριών αγωγών



E1.23: Απευθείας γείωση μοναδικού σημείου σε σύστημα τεσσάρων αγωγών

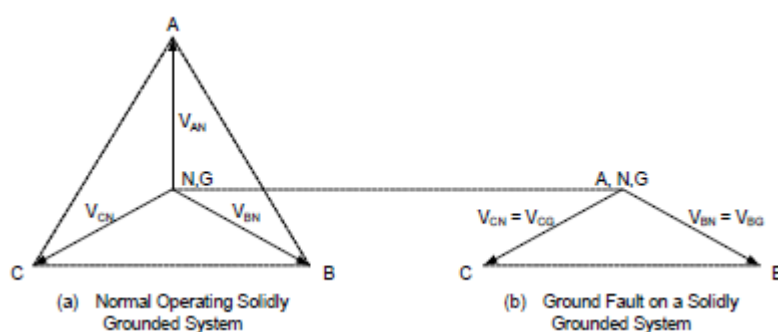


E1.24: Απευθείας γείωση πολλαπλών σημείων σε σύστημα τεσσάρων αγωγών

Τα σφάλματα γης με μικρή αντίσταση προκαλούν μεγάλα ρεύματα στα συστήματα με απευθείας γείωση που απαιτούν την διακοπή ολόκληρου του κυκλώματος γεγονός που επηρεάζει πολλούς καταναλωτές. Ωστόσο, στις εναέριες γραμμές διανομής περίπου το 80% το σφαλμάτων που

συμβαίνουν είναι παροδικά. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συχνά διακόπτες αυτομάτου επαναφοράς που είναι προγραμματισμένοι να εκτελούν έναν προκαθορισμένο αριθμό ελέγχων εκκαθάρισης του σφάλματος πριν διακόψουν οριστικά το κύκλωμα. Ακόμα και αυτή η λύση όμως δεν αφήνει ανεπηρέαστους πελάτες με στρεφόμενα φορτία ή φορτία ευαίσθητα στις πτώσεις τάσης.

Η απευθείας γείωση μειώνει τον κίνδυνο των υπερτάσεων κατά την διάρκεια ενός σφάλματος γης καθώς δε μετατοπίζεται η τάση στον ουδέτερο, όπως φαίνεται στην εικόνα E1.25. Επιπλέον το σύστημα δεν απαιτεί τόσο μεγάλα επίπεδα μόνωσης όσο στα αγείωτα συστήματα. Η απευθείας γείωση είναι μία συνηθισμένη μέθοδος γείωσης στις ΗΠΑ, καθώς και στα συστήματα μεταφοράς παγκοσμίως. Στα δίκτυα διανομής στην Μεγάλη Βρετανία είναι συνηθισμένη η απευθείας γείωση μοναδικού σημείου ενώ στην Αυστραλία, στην Βόρεια Αμερική και σε μερικές χώρες της Νότιας Αμερικής συνηθίζεται η απευθείας γείωση πολλαπλών σημείων.



E1.25: Διάγραμμα φασιστητών – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα σε απευθείας γειωμένο σύστημα

### 1.3.2 Δίκτυα διανομής με γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης

Αυτού το είδους τα συστήματα γειώνονται όπως αυτά της προηγούμενης παραγράφου με την ειδοποιό διαφορά ότι μεταξύ του σημείου του ουδέτερου και της γης παρεμβάλλεται μία αντίσταση ή αντίδραση χαμηλής τιμής με τον αντικειμενικό σκοπό να μειώσει ελεγχόμενα το ρεύμα σφάλματος για τα βραχυκυκλώματα γης. Μειώνοντας τα ρεύματα σφάλματος στην τάξη μεγέθους των μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων amperes μειώνεται η θερμική καταπόνηση του εξοπλισμού και είναι δυνατή η επιλογή οικονομικότερων διακοπτικών μέσων.

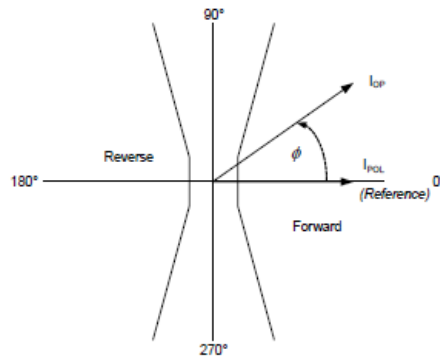
### 1.3.3 Ανίχνευση σφαλμάτων χαμηλής αντίστασης σε απευθείας γειωμένα και γειωμένα μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης δίκτυα διανομής

Η γείωσης χαμηλής σύνθετης αντίστασης είναι ισοδύναμη της απευθείας γείωσης όσον αφορά τις μεθόδους ανίχνευσης σφαλμάτων γης που περιγράφονται παρακάτω. Οι μέθοδοι αυτές υλοποιούνται από τους ηλεκτρονόμους προστασίας και χρησιμοποιούν τα μεγέθη αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.

#### 1.3.3.1 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος (Current Polarized Directional Element)

Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιεί σαν διάνυσμα αναφοράς (polarizing quantity) ένα ρεύμα που παίρνει από κάποια πηγή μηδενικής ακολουθίας, όπως ο ουδέτερος ενός μετασχηματιστή, και για διάνυσμα λειτουργίας (operating quantity) το ρεύμα της προστατευόμενης γραμμής. Από αυτά τα μεγέθη, το στοιχείο υπολογίζει μία ροπή βασιζόμενο στα μέτρα των διανυσμάτων και την μεταξύ τους γωνία. Αν η ροπή είναι θετική και πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο τότε το στοιχείο ανα-

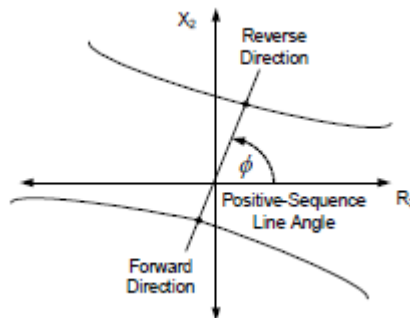
γνωρίζει ένα σφάλμα μπροστά του. Αν η ροπή είναι αρνητική και κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο τότε το στοιχείο αναγνωρίζει σφάλμα πίσω του.



E1.26: Πολικό διάγραμμα – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος

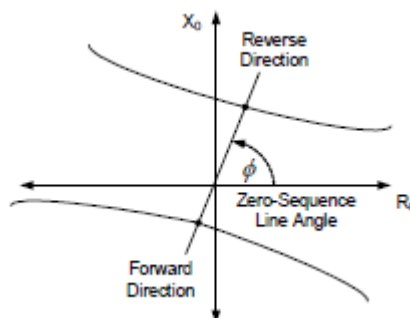
1.3.3.2 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (Negative-Sequence Voltage-Polarized Directional Element)

Τα μεγέθη που μετράει αυτό το στοιχείο είναι η τάση αρνητικής ακολουθίας  $V_2$  και το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας  $I_2$ . Από αυτά τα μεγέθη υπολογίζει την σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας  $Z_2$ . Αν η σύνθετη αντίσταση είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο όριο τότε το στοιχείο αναγνωρίζει σφάλμα μπροστά του. Αν η σύνθετη αντίσταση είναι μεγαλύτερη από ένα προκαθορισμένο όριο τότε το στοιχείο αναγνωρίζει σφάλμα πίσω του.



E1.27: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας

1.3.3.3 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (Zero-Sequence Voltage-Polarized Directional Element)



E1.28: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας

Το εν λόγω στοιχείο έχει όμοια αρχή λειτουργίας με το προαναφερθέν. Σε περίπτωση σφάλματος ο ηλεκτρονόμος χρησιμοποιεί το κατάλληλο στοιχείο κατεύθυνσης για την ανίχνευσή του. Το γεγονός ότι τα όρια των στοιχείων κατεύθυνσης πρέπει να οριστούν πάνω από τα μέγιστα όρια επιτρεπόμενης ασυμμετρίας κάνει τα στοιχεία αυτά αναποτελεσματικά στην ανίχνευση σφαλμάτων γης με μεγάλη αντίσταση, καθώς τέτοια σφάλματα μπορούν να δημιουργήσουν ρεύματα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας κάτω από τα όρια. Για τον λόγο αυτό, τα σφάλματα γης με μεγάλη αντίσταση απαιτούν ειδικούς αλγόριθμους ανίχνευσης.

### 1.3.4 Σφάλματα υψηλής σύνθετης αντίδρασης (HIFs)

Τα σφάλματα υψηλής σύνθετης αντίστασης είναι εκείνα τα σφάλματα που προκαλούν ρεύματα μικρότερα από τις συνηθισμένες τιμές ρύθμισης ( $I_{pu}$ ) των ηλεκτρονόμων, με αποτέλεσμα να μην τους διεγείρουν. Στο εξής θα αναφέρονται ως HIFs (High Impedance Faults) σύμφωνα με το ακρωνύμιο που χρησιμοποιείται στην διεθνή βιβλιογραφία. Συνηθισμένες αιτίες πρόκλησης HIFs είναι πεσμένοι αγωγοί σε μη αγώγιμες επιφάνειες, δέντρα που έρχονται σε επαφή με εναέριες γραμμές, καθώς και μονωτήρες με διαφόρων ειδών ακαθαρσίες. Στα δίκτυα διανομής έχουν καταγραφεί HIFs που προκαλούν ρεύματα σφάλματος ακόμα και μικρότερα από 100A. Τα μικρά ρεύματα των σφαλμάτων αυτών δεν επηρεάζουν την λειτουργία του συστήματος αλλά μπορεί να αποτελούν σοβαρή απειλή για τους ανθρώπους, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των πεσμένων αγωγών.

Τα HIFs σε δίκτυα διανομής με γείωση πολλαπλών σημείων δύσκολα ανιχνεύονται από τους υποσταθμούς λόγω των μονοφασικών φορτίων και των πολλών πιθανών ηλεκτρικών μονοπατιών επιστροφής των ασύμμετρων ρευμάτων. Ένα γειωμένο σύστημα μπορεί να είναι εξαιρετικά ασύμμετρο όταν μία κύρια μονοφασική διακλάδωση είναι εκτός λειτουργίας. Πέραν της εξασφάλισης σωστής συνεργασίας με γειτονικές συσκευές προστασίας, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη και η μέγιστη αναμενόμενη ασυμμετρία. Για τους παραπάνω λόγους τα HIFs δεν γίνεται να ανιχνευθούν από ηλεκτρονόμους υπερέντασης που χρησιμοποιούν τις rms τιμές των ρευμάτων. Είναι δυνατόν να υπάρξουν ακόμα και HIFs που προκαλούν ρεύμα σφάλματος σχεδόν μηδενικής τιμής, π.χ. από αγωγούς πεσμένους σε ασφαλτό ή ξηρή άμμο.

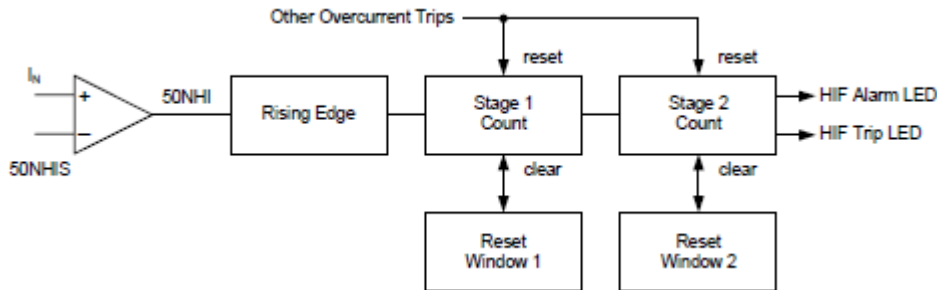
Ενώ είναι σχετικά εύκολο να φτιάξει κάποιος έναν αλγόριθμο που εντοπίζει συγκεκριμένα HIFs είναι δύσκολο να τον κάνει ασφαλή. Αντικειμενικός σκοπός την προστασίας από τέτοια σφάλματα είναι η αποσόβηση πιθανών κινδύνων για το κοινό. Όταν έναν τέτοιο σφάλμα ανιχνευτεί πρέπει να παρθούν αποφάσεις σχετικά με την διακοπή του κυκλώματος ή μη βάσει διαφόρων συνθηκών με σκοπό να μην προκληθούν πιο επικίνδυνες καταστάσεις. Δεν υπάρχει περιθώριο για άσκοπες απορρίψεις φορτίων καθώς θα μπορούσε να είναι επικίνδυνο και επιζήμιο η διακοπή παροχής ισχύος, για παράδειγμα, σε έναν πολυσύχναστο συγκοινωνιακό κόμβο, σε ένα νοσοκομείο ή σε ένα αεροδρόμιο.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα από τα στοιχεία που χρησιμοποιούν οι σύγχρονοι ηλεκτρονόμοι για την ανίχνευση των HIFs, το οποίο βασίζεται στο πλήθος των φορών που ένα ευαίσθητο στοιχείο υπερέντασης γης διεγείρεται και αποδιεγείρεται.

#### 1.3.4.1 Μετρητικό στοιχείο υπερέντασεων γης (Residual Overcurrent Counting Element)

Το μπλοκ διάγραμμα του στοιχείου αυτού φαίνεται στην εικόνα E1.29. Περιέχει ένα πολύ ευαίσθητο στοιχείο υπερέντασης γης, 50NHI, και ένα καταμετρητή δύο σταδίων για την ανίχνευση των σφαλμάτων. Το πρώτο στάδιο καταμέτρησης μετράει της ακμές ανόδου του στοιχείου 50NHI. Αν το πλήθος των μετρήσεων φτάσει σε έναν προκαθορισμένο αριθμό μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο τότε το πρώτο στάδιο καταμέτρησης εξάγει ένα λογικό 1 στο δεύτερο στάδιο. Το δεύτερο στάδιο καταμέτρησης επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία αλλά αυτό που μετράει είναι τα λογικά 1 που

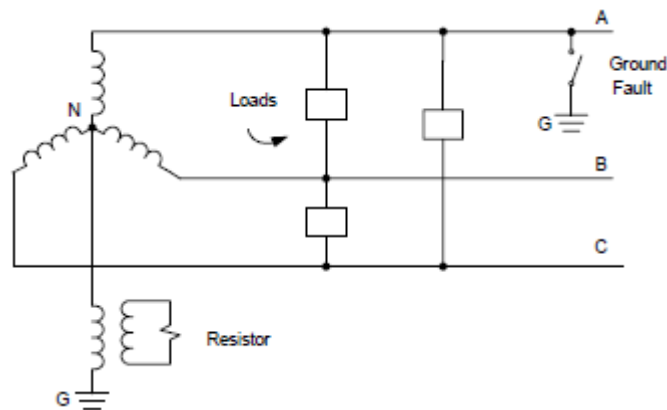
λαμβάνει από το πρώτο στάδιο και έχει διαφορετικό χρονικό παράθυρο από το πρώτο. Όταν το πλήθος των μετρήσεων του δεύτερου σταδίου φτάσει στον δικό του προκαθορισμένο αριθμό τότε δίνει μία έξοδο που ενεργοποιεί μία φωτεινή ένδειξη ή ηχεί μια σήμανση (alarm) ή ανοίγει (trip) έναν διακόπτη. Οι μετρητές και των δύο σταδίων μηδενίζονται (reset) έπειτα από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.



Ε1.29: Μπλοκ διάγραμμα – Μετρητικό στοιχείο υπερεντάσεων γης [7]

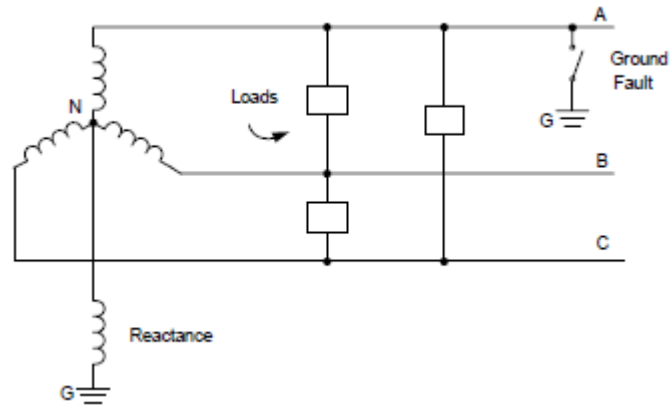
### 1.3.5 Δίκτυα διανομής με γείωση υψηλής σύνθετης αντίστασης

Σε αυτή την μέθοδο γείωσης το σύστημα γειώνεται μέσω μιας αντίστασης ή μιας αντίδρασης υψηλής τιμής η οποία είναι ίση ή ελαφρώς μικρότερη από την συνολική χωρητική αντίδραση του δικτύου ως προς την γη. Αυτή η μέθοδος γείωσης μειώνει τα ρεύματα σφάλματος στα 25A ή και ακόμη χαμηλότερα. Από τα δύο είδη γείωσης αυτής της μεθόδου που αναφέρθηκαν παραπάνω και φαίνονται στις παρακάτω εικόνες, προτιμάται περισσότερο η πρώτη, δηλαδή η γείωση μέσω αντίστασης υψηλής σύνθετης τιμής, επειδή περιορίζει επιπλέον τις υπερτάσεις κατά την διάρκεια σφαλμάτων γης σε ασφαλή επίπεδα. Η αντίσταση γείωσης μπορεί, για παράδειγμα, να συνδεθεί στον ουδέτερο ενός μετασχηματιστή ισχύος, ενός μετασχηματιστή γείωσης ή μιας γεννήτριας.



Ε1.30: Γείωση συστήματος μέσω υψηλής αντίστασης

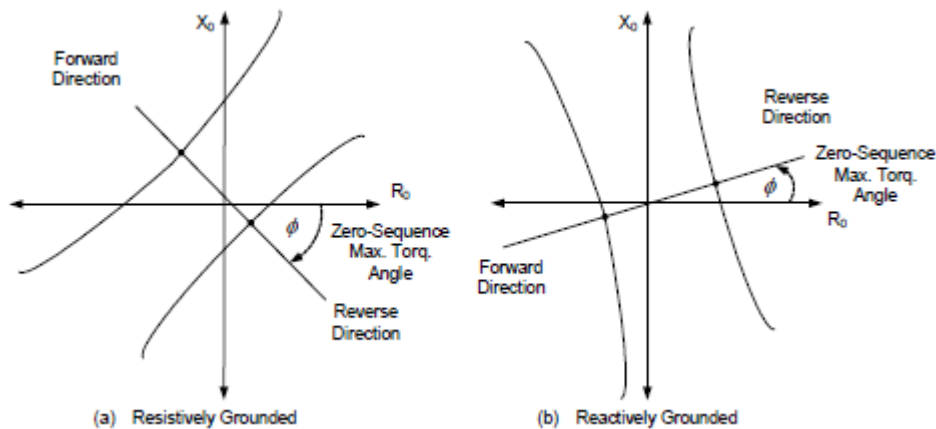




E1.31: Γείωση συστήματος μέσω υψηλής αντίδρασης

### 1.3.6 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής με γείωση υψηλής σύνθετης αντίστασης

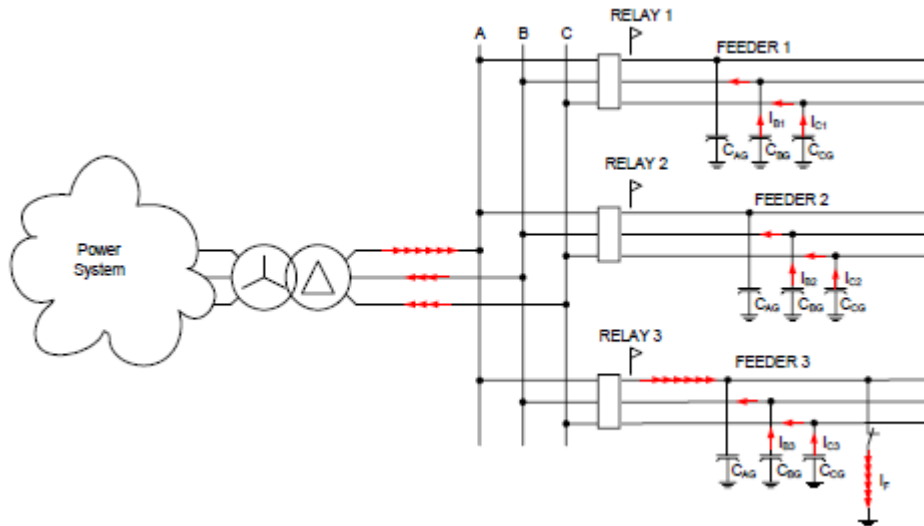
Σε αυτά τα συστήματα τα φορτία είναι συνδεδεμένα μεταξύ φάσεων. Για την ανίχνευση ενός σφάλματος μεταξύ κάποιας φάσης και της γης, οι ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούν ένα στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (zero-sequence voltage-polarized directional element) παρόμοιο με αυτό που περιγράφηκε στην παράγραφο 1.3.5. Για να αυξηθεί η ευαισθησία του στοιχείου χρησιμοποιείται το μετρούμενο αντί για το υπολογισμένο ρεύμα γης, μέσω ειδικών μετασχηματιστών έντασης.



E1.32: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας

### 1.3.7 Αγείωτα δίκτυα διανομής

Σε ένα αγείωτο δίκτυο διανομής, όπως αυτό που φαίνεται στην εικόνα E1.43, ο ουδέτερος δεν συνδέεται σε κανένα σημείο με την γη. Το σύστημα συνδέεται με την γη μόνο μέσω των εγκάρσιων χωρητικότητας των γραμμών. Τα μονοφασικά σφάλματα προς γη μετατοπίζουν το επίπεδο τάσης του ουδέτερου αλλά αφήνουν το τρίγωνο των πολικών τάσεων ανέπαφο (εικόνα E1.44).

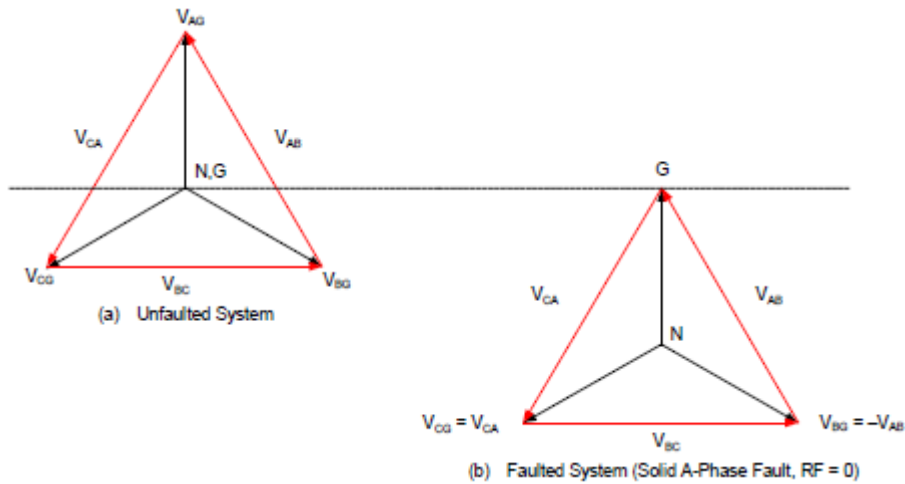


E1.33: Μονοφασικό σφάλμα προς γη σε αγείοτο δίκτυο

Στα αγείωτα δίκτυα, δύο παράγοντες περιορίζουν το μέτρο των ρευμάτων σφάλματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος προς γη:

- οι εγκάρσιες χωρητικότητες μηδενικής ακολουθίας των γραμμών και
- η αντίσταση σφάλματος.

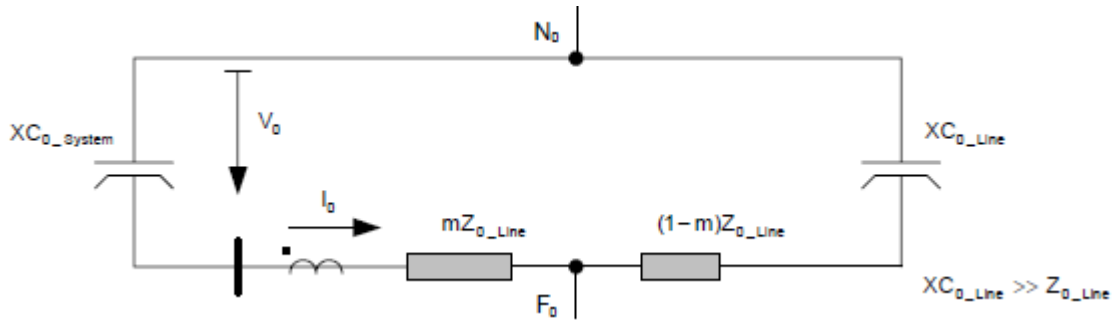
Επειδή των τρίγωνο των πολικών τάσεων μένει σχετικά ανέπαφο, τα συστήματα αυτά μπορούν να παραμείνουν σε λειτουργία κατά την διάρκεια του σφάλματος.



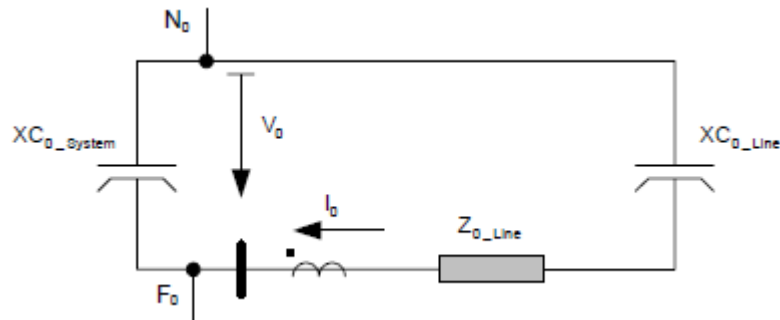
E1.34: Διάγραμμα φασιθετών τάσης – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα σε αγείοτο σύστημα

### 1.3.8 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε αγείωτα δίκτυα διανομής

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας στα αγείωτα δίκτυα είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την σύνθετη αντίσταση των κυκλωμάτων θετικής και αρνητικής ακολουθίας. Έτσι, ο υπολογισμός των σφαλμάτων γης μπορεί να γίνει μέσω του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας, αγνοώντας τα άλλα δύο, χωρίς σημαντική απόκλιση στα αποτελέσματα. Παρακάτω φαίνονται τα κυκλώματα μηδενικής ακολουθίας για ένα σφάλμα το οποίο γίνεται μπροστά και πίσω, αντίστοιχα, από τον ηλεκτρονόμο.

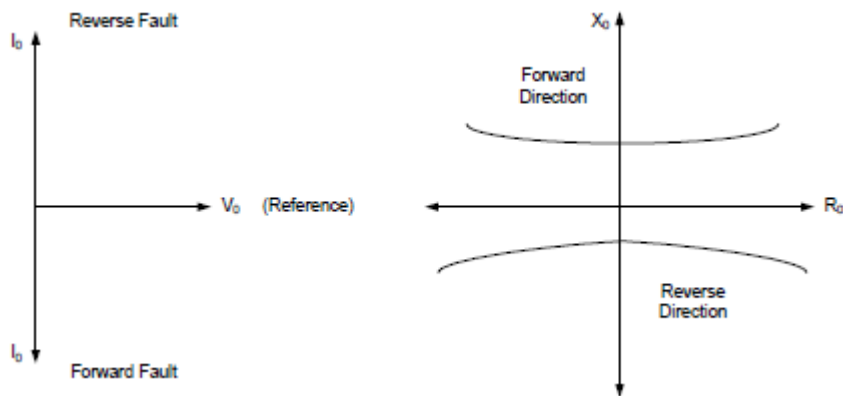


E1.35: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας αγείωτου συστήματος – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο



E1.36: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας αγείωτου συστήματος – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο

Η κατεύθυνση του βραχυκυκλώματος μπορεί να προσδιορισθεί συγκρίνοντας την φάση του ρεύματος  $I_0$  με αυτήν της τάσης  $V_0$ , το διάνυσμα της οποίας χρησιμοποιείται ως αναφορά. Από τις παραπάνω εικόνες είναι εμφανές ότι όταν το σφάλμα γίνεται μπροστά στον ηλεκτρονόμο τότε το ρεύμα έπεται της τάσης κατά  $90^\circ$  ενώ όταν το σφάλμα γίνεται πίσω από τον ηλεκτρονόμο τότε το ρεύμα προηγείται της τάσης κατά  $90^\circ$ . Βάσει αυτής της πληροφορίας και υπολογίζοντας την σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας όπως στα απευθείας γειωμένα συστήματα είναι δυνατή η σχεδίαση του διαγράμματος σύνθετων αντιστάσεων μηδενικής ακολουθίας.



E1.37: Διάγραμμα σύνθετης αντίστασης – Στοιχείο κατεύθυνσης για αγείωτα συστήματα

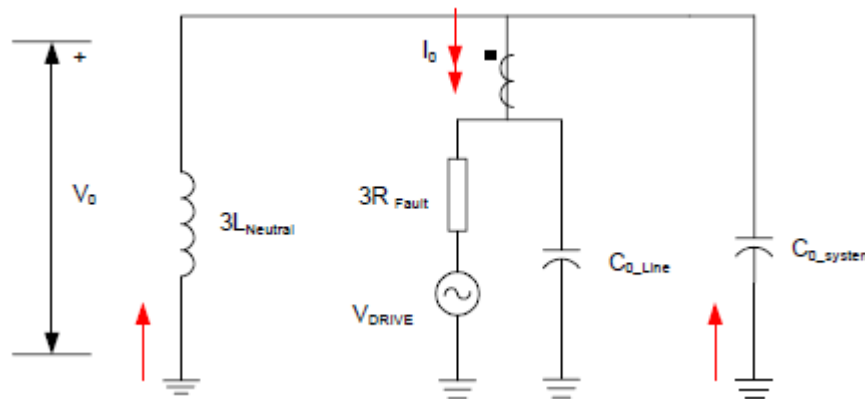
Για τα απευθείας γειωμένα συστήματα, η μόνιμη ασυμμετρία μηδενικής ακολουθίας περιορίζει την ευαισθησία αυτού του στοιχείου. Σε ειδικές περιπτώσεις, το μονοφασικό βραχυκύκλωμα μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα το δίκτυο να μοιάζει πλήρως συμμετρικό.

### 1.3.9 Δίκτυα διανομής με συντονισμένη γείωση

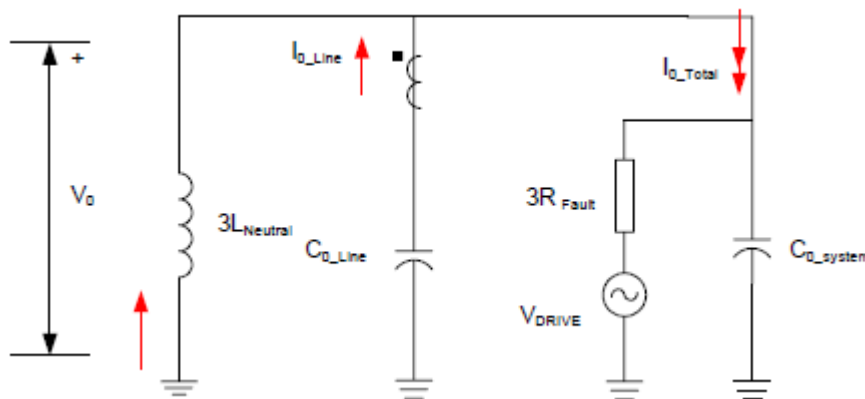
Τα συντονισμένα συστήματα είναι γειωμένα μέσω μίας επαγωγικής αντίδρασης με τιμή περίπου ίση με την χωρητικότητα των γραμμών του συστήματος. Η υψηλή τιμή της σύνθετης αντίστασης του βρόχου γης περιορίζει το ρεύμα σφάλματος στα μονοφασικά βραχυκυκλώματα. Σε αυτό το σύστημα, τα φορτία συνδέονται μεταξύ φάσεων. Κατά την διάρκεια ενός μονοφασικού βραχυκυκλώματος οι τάσεις και των τριών φάσεων προς γη αυξάνεται αλλά το τρίγωνο των πολικών τάσεων παραμένει αναλλοίωτο. Όπως και στα αγειώτα συστήματα, το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμα και κατά την διάρκεια του σφάλματος.

### 1.3.10 Ανίχνευση σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής με συντονισμένη γείωση

Όπως και στα αγειώτα συστήματα, είναι δυνατός ο υπολογισμός των μονοφασικών σφαλμάτων από το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας αγνοώντας τα κυκλώματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας. Στα κυκλώματα μηδενικής ακολουθίας που φαίνονται στις παρακάτω εικόνα, έχει υποθεθεί ότι η αγωγιμότητα του συστήματος είναι άπειρη. Με άλλα λόγια, αυτό σημαίνει ότι οι μονωτήρες είναι ιδανικοί και ότι το σύστημα ήταν πλήρως συμμετρικό πριν το βραχυκύκλωμα. Αυτό σημαίνει ότι η τάση σφάλματος είναι ίση με τη φασική τάση πριν το σφάλμα.



E1.38: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συστήματος με συντονισμένη γείωση – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο

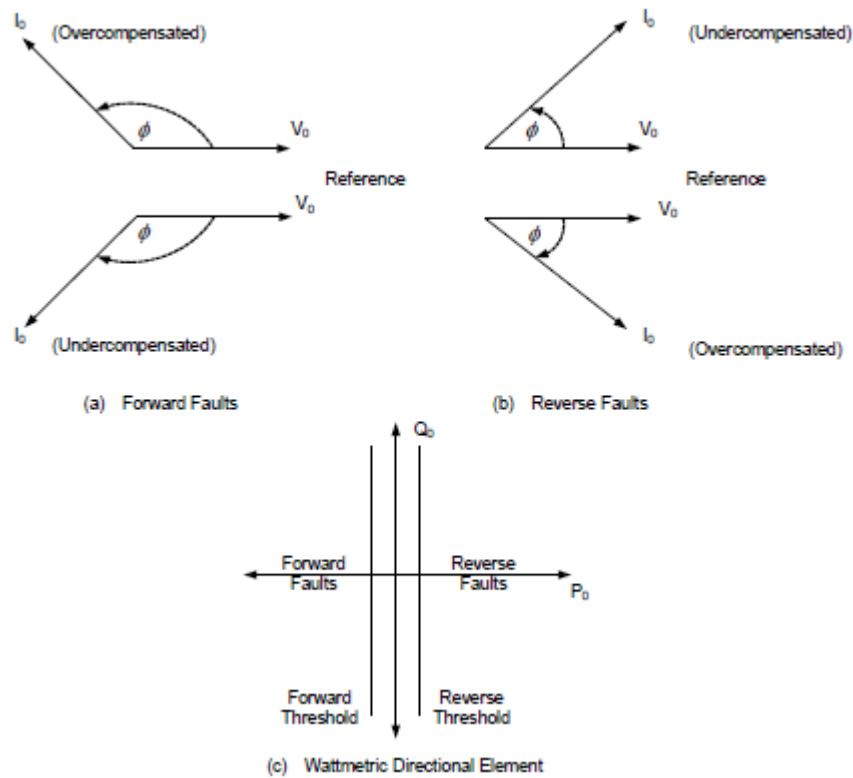


E1.39: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συστήματος με συντονισμένη γείωση – Μονοφασικό βραχυκύκλωμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο

Από το κύκλωμα της εικόνας E1.48 για ένα σφάλμα που συμβαίνει μπροστά από τον ηλεκτρονόμο, είναι εμφανές ότι σε ένα τέλεια συντονισμένο σύστημα το ρεύμα  $I_0$  έχει φασική απόκλιση

180° από την τάση  $V_0$ . Επειδή όμως στις περισσότερες περιπτώσεις τα συστήματα δεν είναι τέλεια συντονισμένα συνήθως το ρεύμα  $I_0$  είτε προηγείται της τάσης  $V_0$  πάνω από 90° είτε έπεται αυτής περισσότερο από -90°. Ο υπολογισμός της ροπής ή της πραγματικής ισχύος από αυτά τα δύο μεγέθη σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις θα έδινε αρνητικό αποτέλεσμα. Αντίστοιχα, από το κύκλωμα της εικόνας E1.49 για ένα σφάλμα που συμβαίνει πίσω από τον ηλεκτρονόμο, είναι εμφανές ότι σε ένα τέλεια συντονισμένο σύστημα το ρεύμα  $I_0$  είναι σε φάση με την τάση  $V_0$ . Επειδή όμως στις περισσότερες περιπτώσεις τα συστήματα δεν είναι τέλεια συντονισμένα συνήθως το ρεύμα  $I_0$  είτε προηγείται της τάσης  $V_0$  λιγότερο από 90° είτε έπεται αυτής λιγότερο από -90°. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ροπή ή πραγματική ισχύς που υπολογίζεται από αυτά τα μεγέθη προκύπτει θετική.

Βάσει των προηγούμενων παρατηρήσεων, προκύπτει ότι μία αρνητική ροπή αναπτύσσεται για σφάλματα που γίνονται μπροστά ενώ μία θετική ροπή αναπτύσσεται για σφάλματα που γίνονται πίσω. Η λογική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα βαττομετρικό (wattmetric) στοιχείο ηλεκτρονόμου. Στην εικόνα E1.50 φαίνονται διαγράμματα φασιθετών όλων των περιπτώσεων και οι χαρακτηριστικές του βαττομετρικού στοιχείου.



E1.40: Διαγράμματα φασιθετών – Βαττομετρικό κατευθυντικό στοιχείο

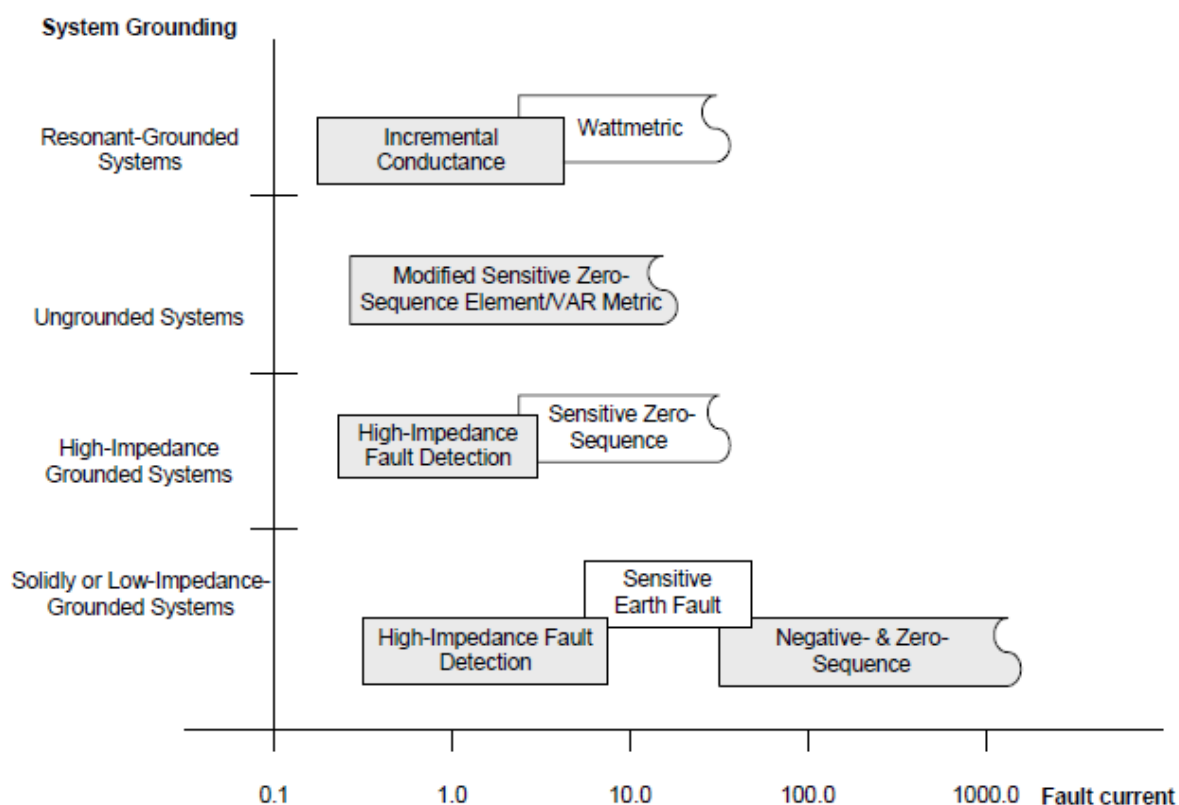
Και σε αυτή την περίπτωση, η ευαισθησία του βαττομετρικού στοιχείου επηρεάζεται από την μόνιμη ασυμμετρία του συστήματος. Όμως, επειδή στις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η ανίχνευση σφαλμάτων που προκαλούν ρεύματα και τάσεις μικρότερα από την μόνιμη ασυμμετρία του συστήματος χρησιμοποιείται η μέθοδος σταδιακής αγωγιμότητας (incremental conductance method). Αυτή η μέθοδος υπολογίζει τις σταδιακές μεταβολές στην αγωγιμότητα του συστήματος διαιρώντας την σταδιακή μεταβολή του ρεύματος, δηλαδή την διαφορά του ρεύματος πριν το σφάλμα με το ρεύμα μετά το σφάλμα, με την σταδιακή μεταβολή της τάσης, δηλαδή την διαφορά της τάσης πριν το σφάλμα με την τάση μετά το σφάλμα. Αν η μεταβολή της αγωγιμότητας είναι θετική τότε το σφάλμα είναι μπροστά από τον ηλεκτρονόμο, ενώ αν είναι αρνητική τότε το σφάλμα είναι πίσω από τον ηλεκτρονόμο.

### 1.3.11 Σύνοψη

Από όλα τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ανίχνευση μονοφασικών σφαλμάτων στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης εξαρτάται από δύο σημαντικούς παράγοντες:

- την μέθοδο γείωσης του δικτύου διανομής και
- την αντίσταση του βραχυκυκλώματος.

Επίσης, είναι εμφανές ότι τα σφάλματα υψηλής σύνθετης αντίστασης (HIFs) σε απευθείας γειωμένα δίκτυα διανομής ή με γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης είναι η μεγαλύτερη πρόκληση για τις συσκευές προστασίας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μονοφασικών σφαλμάτων σε δίκτυα διανομής, κατηγοριοποιημένες βάσει της μεθόδου γείωσης του συστήματος και του μέτρου του ρεύματος σφάλματος που προκύπτει.



E1.41: Μέθοδοι ανίχνευσης μονοφασικών σφαλμάτων για τα διάφορα συστήματα γείωσης [7]

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι διάφορες μέθοδοι γείωσης των δικτύων διανομής μέσης τάσης, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, καθώς και τα κράτη στα οποία χρησιμοποιούνται.

Issues	Grounding Method					
	Isolated Neutral	Solid Grounding (Unigrounding)	Solid Grounding (Multigrounding)	Low-Impedance Grounding	High-Impedance Grounding	Resonant Grounding
Some Countries of Application	Italy, Japan, Ireland, Russia, Peru, Spain	Great Britain	USA, Canada, Australia, Latin America	France, Spain		Northern and Eastern Europe, China, Israel
Permissible Load Connection	Phase-to-phase	Phase-to-phase (3 wires) and phase-to-neutral (4 wires)	Phase-to-phase and phase-to-ground	Phase-to-phase	Phase-to-phase	Phase-to-phase
Required Insulation Level	Phase-to-phase	Phase-to-neutral	Phase-to-neutral	Phase-to-neutral	Phase-to-phase	Phase-to-phase
Limitation of Transient Overvoltages	Bad	Good	Good	Good	Good (R-grounding), average (L-grounding)	Average
Possible Operation With a Ground Fault	Not always	No	No	No	Not always	Almost always
Self-Extinguishing of Ground Faults	Not always	No	No	No	Not always	Almost always
Human Safety	Average	Good	Bad	Good	Average	Good
Equipment Thermal Stress	Low	High	High	High	Low	Lowest
Interference With Communications Lines	Average	High	High	High	Low	Lowest
Ground Fault Protection Sensitivity	Average	Good	Bad	Good	Average	Average

Ε1.42: Σύγκριση μεθόδων γείωσης δικτύων διανομής μέσης τάσης [7]





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIgSILENT PowerFactory

### 2.1 Εισαγωγή

Το υπολογιστικό πρόγραμμα PowerFactory της DIgSILENT (**DI**gital **SI**mu-**L**ation of **E**lectrical **NeT**works) εξειδικεύεται στην ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει σχεδιαστεί ως ένα ολοκληρωμένο και διαδραστικό λογισμικό με σκοπό να βοηθήσει τον μηχανικό να πετύχει τους στόχους του σχεδιασμού και της προσομοίωσης λειτουργίας των συστημάτων μεταφοράς, των δικτύων διανομής και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Με την βοήθεια του PowerFactory ένας μηχανικός μπορεί να σχεδιάσει τοπολογικά ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, να προσομοιώσει τα πραγματικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του και να μελετήσει την συμπεριφορά του σε διάφορα σενάρια λειτουργίας. Οι δυνατότητες του PowerFactory περιλαμβάνουν μία πληθώρα λειτουργιών και μαθηματικών διαδικασιών που μπορεί να εκτελέσει όπως

- μελέτη ροής φορτίου,
- μελέτη βραχυκυκλωμάτων,
- αρμονική ανάλυση,
- δυναμική ανάλυση,
- ανάλυση ευστάθειας,
- ανάλυση αξιοπιστίας,
- μελέτη προστασίας,
- εκτίμηση κατάστασης,
- τεχνοοικονομική ανάλυση, κ.α.

Εκτός όμως από τις μαθηματικές διαδικασίες, το PowerFactory έχει εξελιγμένες δυνατότητες παρουσίασης αποτελεσμάτων που περιλαμβάνουν τη δημιουργία διαγραμμάτων όλων των ειδών και τη συγγραφή στοχευμένων αναφορών, δυνατότητες διαχείρισης λογαριασμών, διαχείρισης και οργάνωσης project και βιβλιοθηκών, δυνατότητα μοντελοποίησης συσκευών ελέγχου και ορισμού της λειτουργίας τους (block definition) και άλλες.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα εγχειρίδιο χρήσης των βασικών λειτουργιών του PowerFactory. Αρχικά γίνεται παρουσίαση του περιβάλλοντος του προγράμματος και όλων των διαδικαστικών βημάτων πριν φτάσει ο χρήστης στο σημείο να αρχίσει να σχεδιάζει ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης και παραμετροποίησης του συστήματος αυτού με αναφορά σε όλα τα ενδιάμεσα βήματα και τις δυνατότητες που προσφέρει το PowerFactory σε κάθε βήμα. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες του PowerFactory που είναι η ροή φορτίου και ο υπολογισμός βραχυκυκλωμάτων, καθώς επίσης η μελέτη προστασίας που αποτελεί και το κύριο κομμάτι της διπλωματικής. Σε κάθε μία από αυτές τις λειτουργίες περιγράφονται και οι διάφορες επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα. Παράλληλα περιγράφονται και οι δυνατότητες του PowerFactory στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

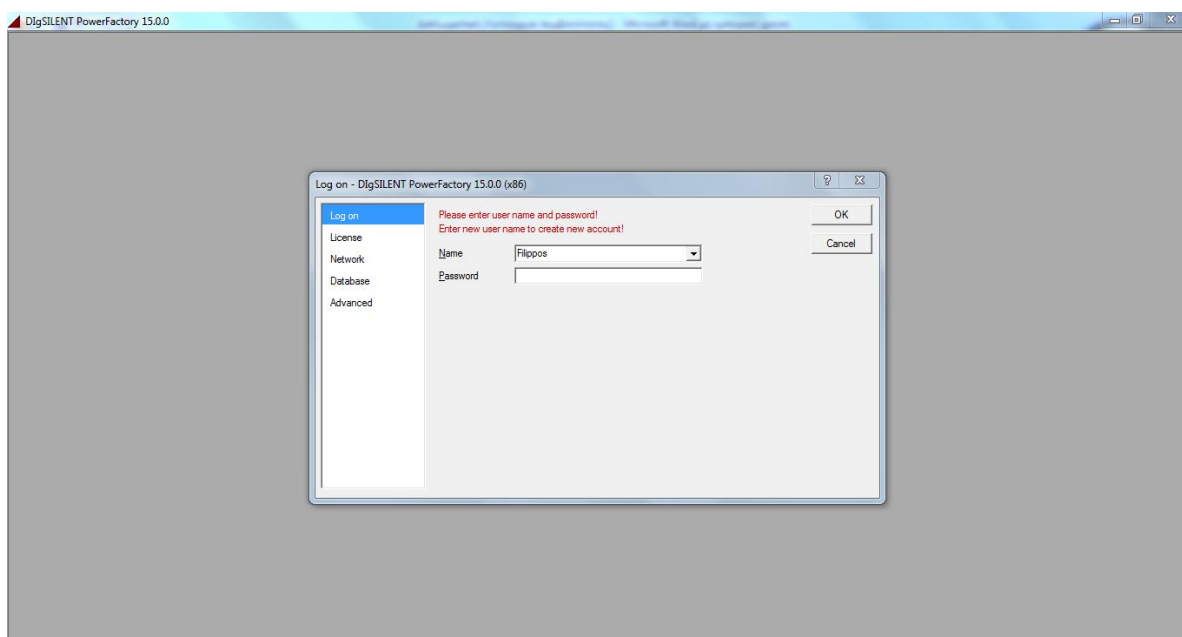
Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να συνοδεύσει έναν νέο χρήστη του PowerFactory από το πρώτο του διπλό κλικ στο εικονίδιο της συντόμευσης στην επιφάνεια εργασίας του μέχρι το σημείο να μπορεί να κάνει κάποιες βασικές εργασίες. Για να το πετύχει αυτό βασίζει την περιγραφή των παραπάνω βημάτων στο παράδειγμα ενός Δικτύου Διανομής που χρησιμοποιείται σε όλες τις ενότητες.

## 2.2 Σύνδεση, δημιουργία project και εξοικείωση με το περιβάλλον του PowerFactory

Σε αυτή την ενότητα θα δούμε όλα τα προκαταρκτικά βήματα που πρέπει να κάνουμε πριν ξεκινήσουμε να σχεδιάζουμε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στο PowerFactory.

### 2.2.1 Σύνδεση και δημιουργία λογαριασμού

Αφού ανοίξουμε το πρόγραμμα PowerFactory το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνουμε είναι να συνδεθούμε σε έναν λογαριασμό. Ένας λογαριασμός με το όνομα Demo είναι διαθέσιμος χωρίς κωδικό. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα δημιουργίας προσωπικού λογαριασμού για κάθε χρήστη του λογισμικού με ή χωρίς κωδικό.



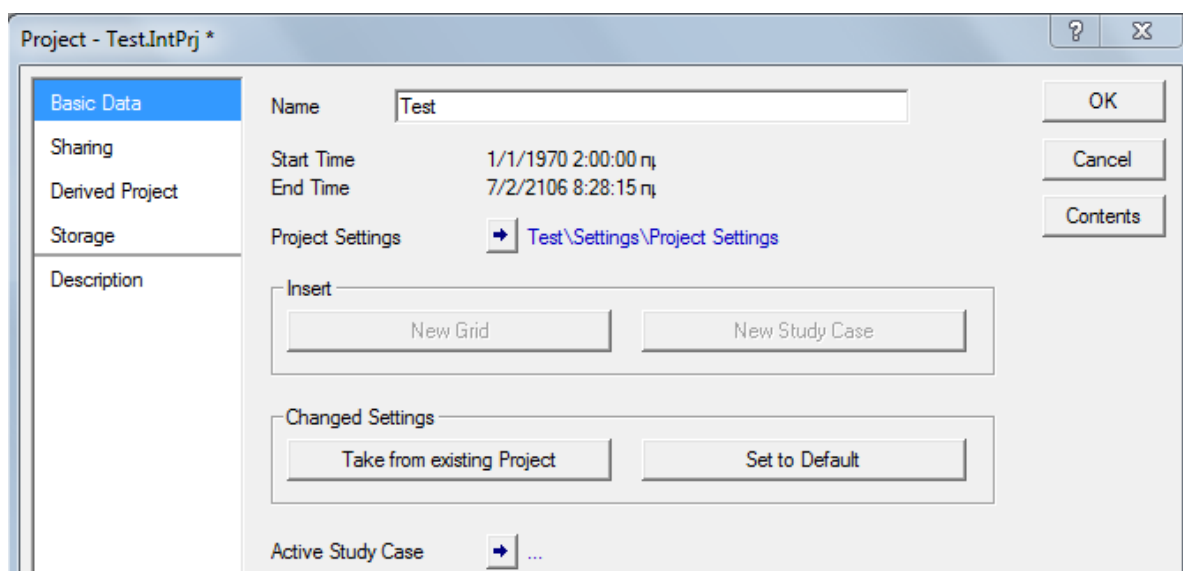
Ε2.1: Παράθυρο σύνδεσης (log on) σε λογαριασμό

Αφού δώσουμε όνομα και κωδικό, πατώντας **OK** συνδεόμαστε στον λογαριασμό μας.

Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε καινούριο λογαριασμό τότε γράφουμε το όνομα και τον κωδικό του καινούριου λογαριασμού στα αντίστοιχα πεδία, πατάμε **OK** και στο παράθυρο επιβεβαίωσης που εμφανίζεται πατάμε ξανά **OK**. Σε περίπτωση που δεν θέλουμε να έχει κωδικό ο νέος λογαριασμός τότε δεν συμπληρώνουμε τίποτα στο πεδίο Password.

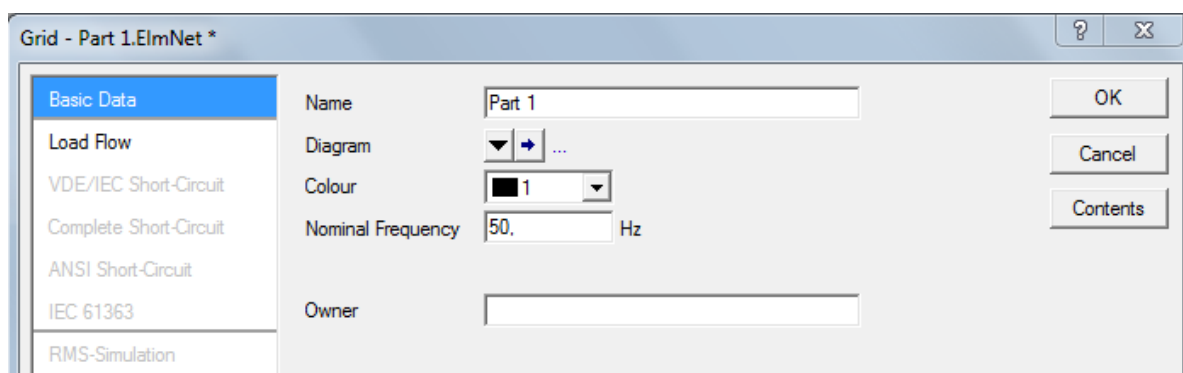
### 2.2.2 Δημιουργία Project

Για να ξεκινήσουμε να φτιάχνουμε ένα σύστημα πρέπει πρώτα να φτιάξουμε ένα project. Αυτό γίνεται από το μενού **File**, στην επιλογή **New** και κλικ στην επιλογή **Project**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει συμπληρώνουμε το όνομα του project και πατάμε **OK** για να το δημιουργήσουμε.



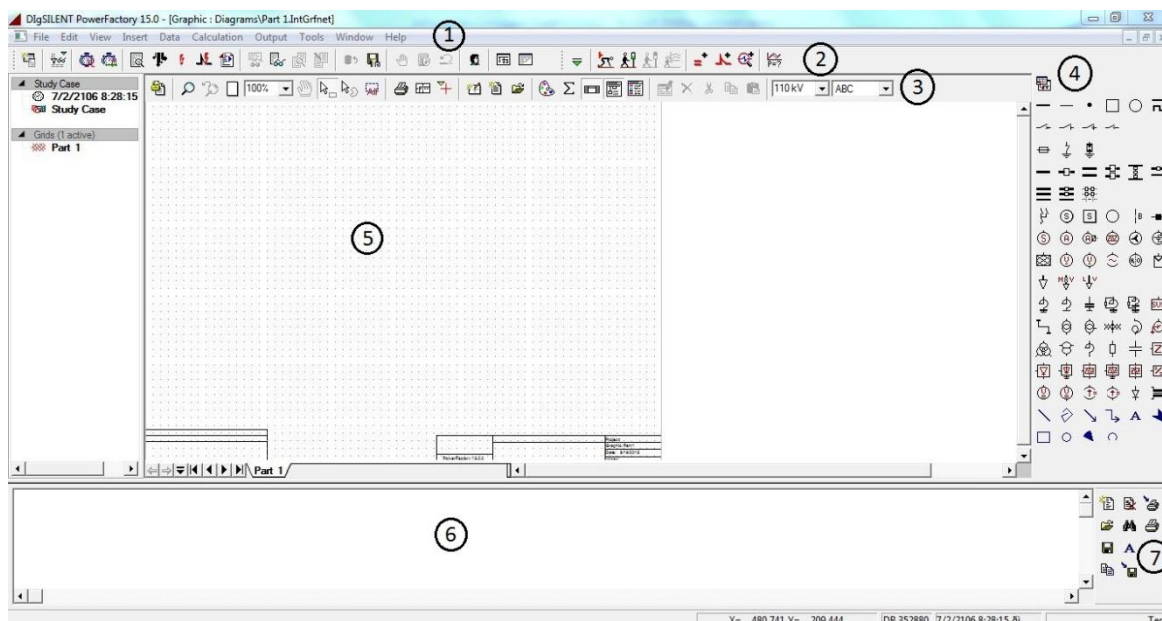
Ε2.2: Παράθυρο δημιουργίας project

Κάθε project πρέπει να περιέχει τουλάχιστον ένα δίκτυο. Για τον λόγο αυτό αμέσως μετά την δημιουργία του project ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου στο οποίο δίνουμε όνομα και ονομαστική συχνότητα στο δίκτυο.



Ε2.3: Παράθυρο δημιουργίας δικτύου

Αφού πατήσουμε **OK** ανοίγει η επιφάνεια εργασίας του project. Τα αριθμημένα τμήματα της εικόνας ονομάζονται παρακάτω όπως θα αναφερόμαστε στο εξής σε αυτά.



E2.4: Επιφάνεια εργασίας (workspace) του project

- 1) γραμμή κύριου μενού
- 2) γραμμή κύριων εικονιδίων
- 3) γραμμή (δευτερευόντων) εικονιδίων, τα εικονίδια σε αυτή την γραμμή εξαρτώνται από το παράθυρο της επιφάνειας εργασίας που είναι ανοιχτό
- 4) εργαλειοθήκη σχεδίασης
- 5) single line graphic window, είναι η περιοχή στην οποία σχεδιάζουμε γραφικά ένα δίκτυο
- 6) output window, είναι η περιοχή στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που διεξάγονται στο δίκτυο (πχ χρόνος ενεργοποίησης ενός διακόπτη σε κάποιο βραχυκύκλωμα) καθώς και μηνύματα σφάλματος, προειδοποιητικά ή άλλα)
- 7) εργαλειοθήκη του output window

Για να ανοίξουμε ένα project το οποίο έχουμε δημιουργήσει παλιότερα πάμε στο μενού **File** στην επιλογή **Activate Project** και από το παράθυρο διαλόγου που ανοίγει επιλέγουμε με διπλό κλικ το project που θέλουμε. Στο κάτω μέρος του μενού File υπάρχει ένα ιστορικό των πρόσφατα ενεργοποιημένων project από το οποίο μπορούμε να ενεργοποιήσουμε ένα project που χρησιμοποιούμε συχνά. Όταν ενεργοποιούμε ένα project αυτομάτως απενεργοποιείται όποιο είναι ενεργό εκείνη την στιγμή καθώς δεν γίνεται να είναι ταυτόχρονα ενεργά δύο projects. Ένα project απενεργοποιείται και από την επιλογή **Deactivate Project** του μενού **File**.

### 2.2.3 Ορισμός και επεξεργασία των Study Cases

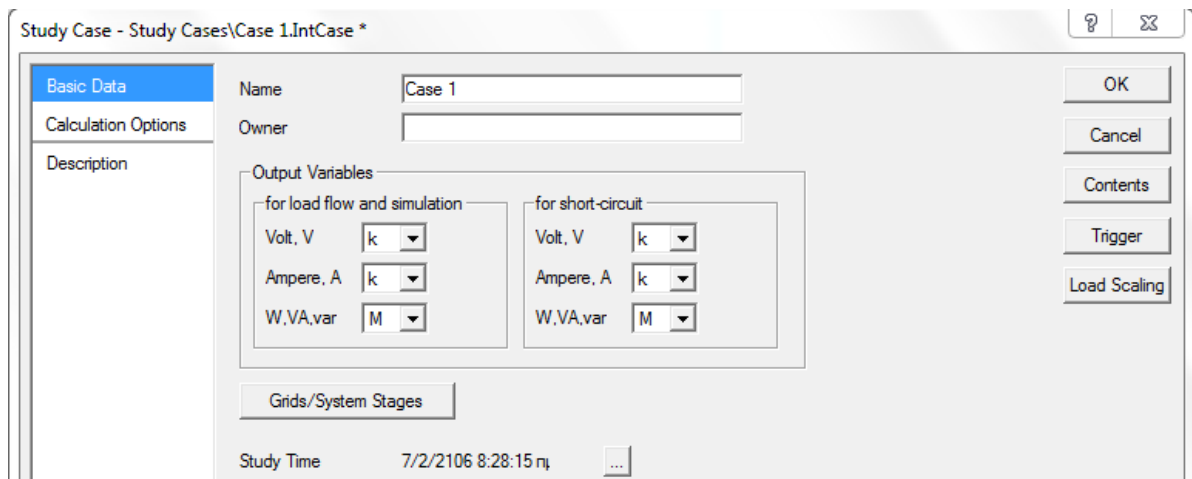
Οι μελέτες που μπορούμε να κάνουμε σε ένα σύστημα το οποίο έχουμε προσομοιώσει στο PowerFactory είναι πολλές και κάθε μία από αυτές έχει διαφορετικές παραμέτρους ρύθμισης και παρουσιάζει τα αποτελέσματα με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, όταν κάνουμε μία μελέτη ροής φορτίου θέλουμε να δούμε το επίπεδο τάσης κάθε ζυγού και την φόρτιση κάθε γραμμής ενώ όταν κάνουμε μία μελέτη προστασίας οι παραπάνω πληροφορίες δεν έχουν νόημα, αντιθέτως θέλουμε τα αποτελέσματα να παρουσιαστούν σε καμπύλες χρόνου-ρεύματος. Δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη να υπάρξει ένας τρόπος ώστε να μην χρειάζεται κάθε φορά που θέλουμε να επαναλάβουμε μία μελέτη να πρέπει να περάσουμε από την αρχή όλες τις ρυθμίσεις που απαιτούνται και να προσαρμόσουμε τις γραμμές εικονιδίων

και τις εργαλείοθήκες. Επίσης θέλουμε να αποφύγουμε την συσσώρευση πολλών παραθύρων τα περισσότερα εκ των οποίων δεν χρησιμοποιούνται σε μία μελέτη γιατί αφορούν τα αποτελέσματα μίας άλλης που δεν τρέχει εκείνη την στιγμή. Για τους λόγους αυτούς είναι δυνατή η δημιουργία και ενεργοποίηση πολλών Study Cases καθένα από τα οποία αποθηκεύει τέτοιες πληροφορίες. Συνοπτικά ένα Study Case αναγνωρίζει:

- τα δίκτυα ενός project που συμπεριλαμβάνονται στην μελέτη,
- το είδος της μελέτης και όλες τις ρυθμίσεις
- τα αποτελέσματα που πρέπει να αποθηκευτούν και να παρουσιαστούν,
- τον τρόπο με τον οποίο τα αποτελέσματα πρέπει να παρουσιαστούν (παράθυρα καμπυλών, μονάδες μέτρησης κτλ),
- άλλες πληροφορίες αν υπάρχουν όπως ενεργά σενάρια λειτουργίας και χρόνο μελέτης.

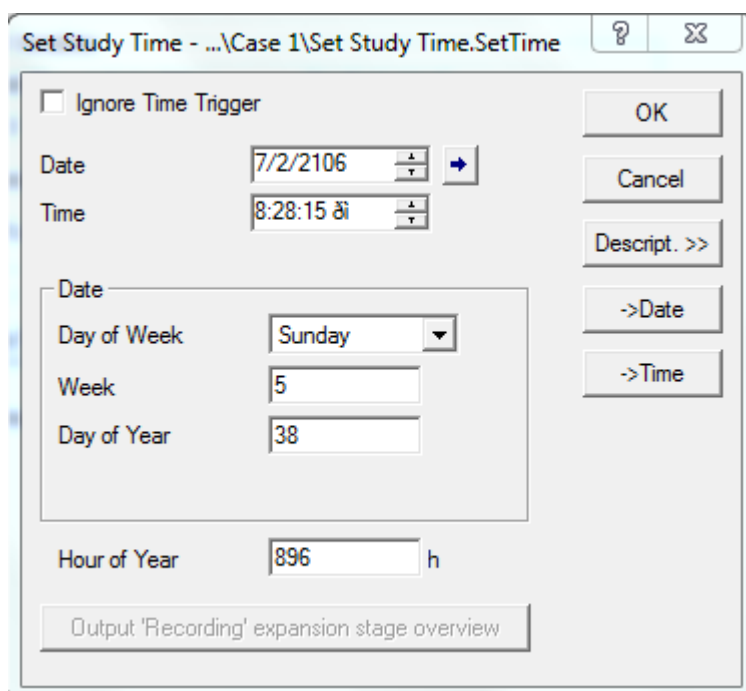
Αριστερά από το single line graphic υπάρχουν τα πεδία Study Case και Grids. Στο πρώτο μπορούμε να δούμε τα Study Cases που υπάρχουν και με έντονα γράμματα αυτό που είναι ενεργό, ενώ στο δεύτερο μπορούμε να δούμε τα δίκτυα που υπάρχουν και με έντονα γράμματα αυτά που είναι ενεργά. Μόνο ένα Study Case μπορεί να είναι ενεργό κάθε φορά αλλά δεν υπάρχει περιορισμός στο πλήθος των ενεργών και ανενεργών δικτύων.

Με την δημιουργία του project δημιουργήθηκε και ενεργοποιήθηκε αυτόματα ένα Study Case με όνομα «Study Case» και κάποιες άλλες προεπιλεγμένες ρυθμίσεις. Για να αλλάξουμε αυτές τις ρυθμίσεις πηγαίνουμε στο μενού **Edit**, στην επιλογή **Project Data** και κάνουμε κλικ στην επιλογή **Study Case** ή εναλλακτικά στο πεδίο των Study Cases αριστερά από το single line graphic κάνουμε δεξί κλικ στο όνομα «Study Case» και κλικ στην επιλογή Edit. Στο πεδίο **Output Variables** αυτού του παραθύρου διαλόγου επιλέγουμε τις μονάδες μέτρησης που προτιμούμε στις περιπτώσεις της ροής φορτίου και του βραχυκυκλώματος, δηλαδή για παράδειγμα αν θα παρουσιάζει τα ρεύματα σε A ή σε kA.



E2.5: Παράθυρο επεξεργασίας Study Case

Πολλές φορές, ειδικά όταν προσομοιώνουμε πραγματικά συστήματα στο PowerFactory, είναι σημαντικό να ξέρουμε σε ποια ημερομηνία αναφέρεται ένα project. Αυτό το ρυθμίζουμε πατώντας το κομμάτι με τις τρεις τελείες στο σημείο **Study Time**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει πατώντας τα κομμάτια **->Date** και **->Time** το πρόγραμμα παίρνει από τον υπολογιστή στον οποίον τρέχει την παρούσα ημερομηνία και ώρα. Εναλλακτικά μπορούμε να ρυθμίσουμε χειροκίνητα οποιαδήποτε ημερομηνία και ώρα επιθυμούμε.



Ε2.6: Παράθυρο ορισμού ημερομηνίας και ώρα του Study Case

### 2.2.4 Παρουσίαση κυριότερων εικονιδίων και εργαλείων

Οι κυριότερες και πιο συχνές λειτουργίες του προγράμματος γίνονται μέσω των συντομεύσεων των γραμμών εικονιδίων. Στην παράγραφο αυτή γίνεται η παρουσίαση των κυριότερων από αυτών, ξεκινώντας από τα εικονίδια της κύριας γραμμής.



Ανοίγει την Data Manager.



Επεξεργασία όμοιων αντικειμένων. Είναι ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία καθώς ομαδοποιεί όμοια στοιχεία ενός δικτύου και δίνει την δυνατότητα γρήγορης παραμετροποίησης του καθενός.



Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Study Time για ρύθμιση ημερομηνίας και ώρας του project όπως είδαμε και παραπάνω.



Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου για τις ρυθμίσεις και την εκτέλεση ροής φορτίου.



Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου για τις ρυθμίσεις και την εκτέλεση βραχυκυκλώματος.



Ανοίγει την λίστα των έτοιμων προγραμμάτων γραμμένων σε DPL (DIgSILENT Programming Language) που έχει το PowerFactory.



Αναίρεση τελευταίας ενέργειας.



Ελαχιστοποίηση output window.



Μεγιστοποίηση output window.



Το εικονίδιο αυτό ανοίγει μία λίστα για κάθε είδος προσομοίωσης που μπορεί να εκτελέσει το PowerFactory. Σε αντίθεση με τα άλλα εικονίδια που αφορούν κυ-

ρίως τις προσομοιώσεις και την παραμετροποίηση των στοιχείων του δικτύου, τα εργαλεία αυτά αφορούν την μορφή και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των διαδικασιών προσομοίωσης, όπως την δημιουργία διαγραμμάτων και καμπυλών.

Τα εικονίδια της δευτερεύουσας γραμμής αλλάζουν ανάλογα με το παράθυρο που είναι ανοιχτό. Εδώ θα δούμε κάποια που είναι κοινά σε πολλά παράθυρα και τα κυριότερα εικονίδια του παραθύρου του δικτύου.



Εναλλαγή μεταξύ λειτουργίας σχεδίασης και παραμετροποίησης. Όταν είναι πατημένο (freeze mode) η εργαλειοθήκη σχεδίασης αποκρύπτεται και δεν γίνεται να αλλάξει ότι έχει σχεδιαστεί στο single line graphic, γίνεται μόνο επεξεργασία των σχεδιασμένων στοιχείων. Παρ' όλα αυτά, όταν δεν είναι πατημένο (unfreeze mode) είναι δυνατή και η σχεδίαση και η επεξεργασία στοιχείων.



Κάνει ζουμ στο παράθυρο που σχηματίζει το ποντίκι.



Επιστρέφει στο προηγούμενο επίπεδο ζουμ.



Ορίζει το επίπεδο του ζουμ στο 100%.



Με πατημένο κλικ μετακινεί το single line graphic ως προς την οθόνη.



Το ποντίκι επιλέγει σχηματίζοντας ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.



Το ποντίκι επιλέγει σχηματίζοντας ένα ακανόνιστο σχήμα.



Επιλογή όλων των αντικειμένων του single line graphic.



Εκτύπωση του παραθύρου που είναι ανοιχτό.



Ορισμός μεγέθους και προσανατολισμού παραθύρου (πχ A4, Landscape κτλ).



Επιλογές για το single line graphic.



Χρώμα αντικειμένων (π.χ. κόκκινη μία γραμμή μεταφοράς όταν υπερφορτίζεται).

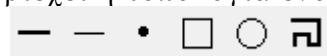


Εμφάνιση/απόκρυψη πλαισίου τίτλου (κάτω δεξιά στο single line graphic).

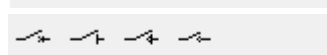


Εμφάνιση/απόκρυψη υπομνήματος (κάτω αριστερά στο single line graphic).

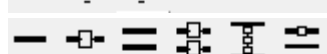
Η εργαλειοθήκη σχεδίασης περιέχει σχεδόν όλα στοιχεία που μπορεί να περιέχει η τοπολογία ενός δικτύου το οποίο πρέπει να προσομοιωθεί.



Τερματικοί ζυγοί και κόμβοι.



Διακόπτες, αποζεύκτες, ασφάλειες, βαρίστορ.



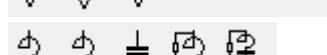
Ζυγοί υποσταθμών



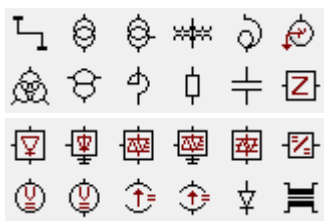
Ηλεκτρικές μηχανές, AC πηγές και εξωτερικό σύστημα.



Φορτία.



Εγκάρσια φίλτρα.



Γραμμή, μετασχηματιστές, σειριακές εμπεδήσεις.

DC συσκευές.

Τέλος, υπάρχουν τρία χρήσιμα εικονίδια που αξίζει να αναφερθούν στην εργαλειοθήκη του output window.



Διαγράφει ότι έχει γραφτεί στο output window.



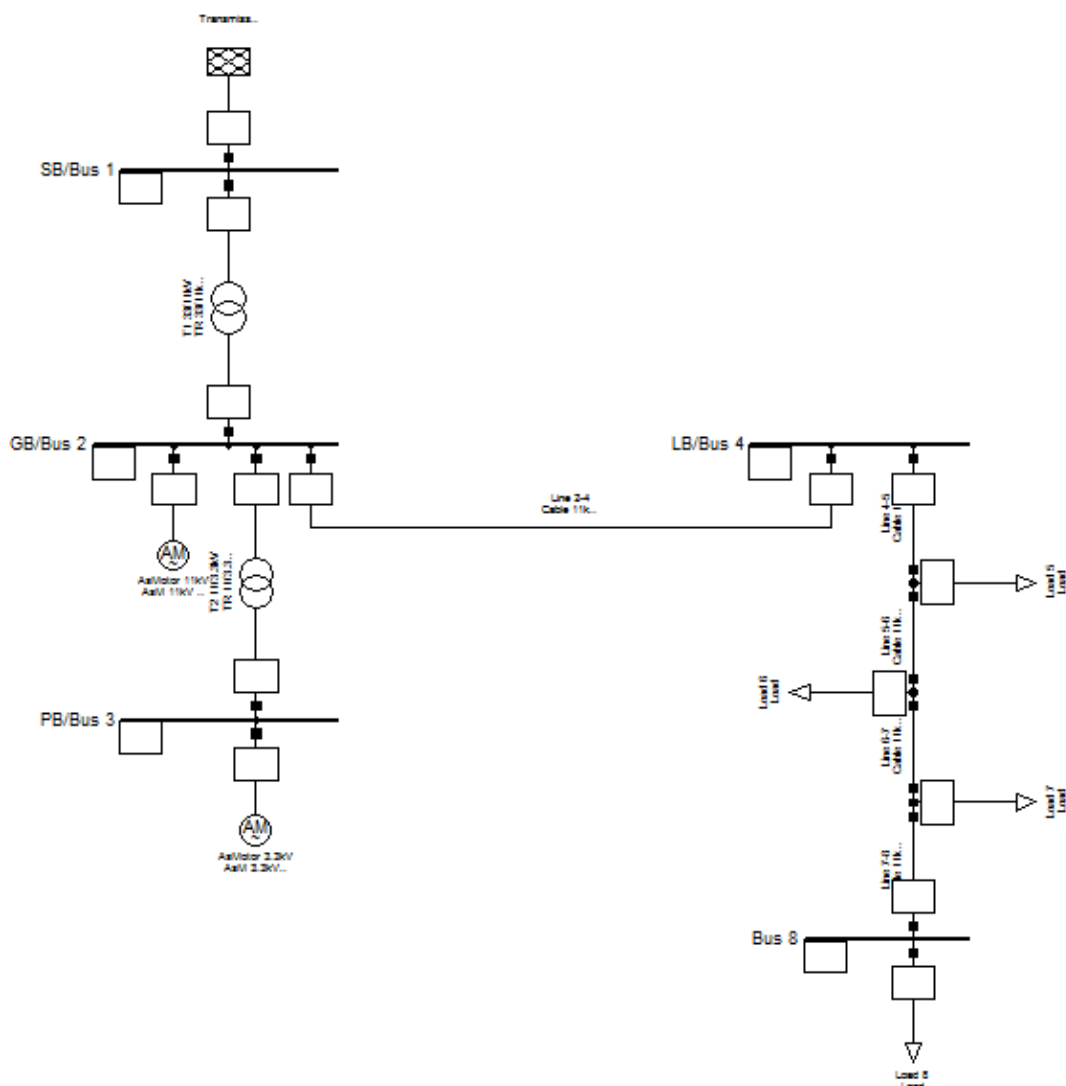
Κάνει αναζήτηση ενός τμήματος κειμένου μέσα στο output window.



Ρυθμίζει την γραμματοσειρά στο output window.

Κάτι ασυνήθιστο στο PowerFactory σε σχέση με άλλα προγράμματα είναι ότι δεν έχει εικονίδιο save. Ότι αλλαγές πραγματοποιούνται στο πρόγραμμα αποθηκεύονται αυτόματα στον δίσκο. Η λειτουργία του προγράμματος μπορεί να διακοπεί οποιαδήποτε στιγμή χωρίς να χαθούν δεδομένα.

### 2.3 Σχεδίαση ενός Δικτύου Διανομής στο PowerFactory



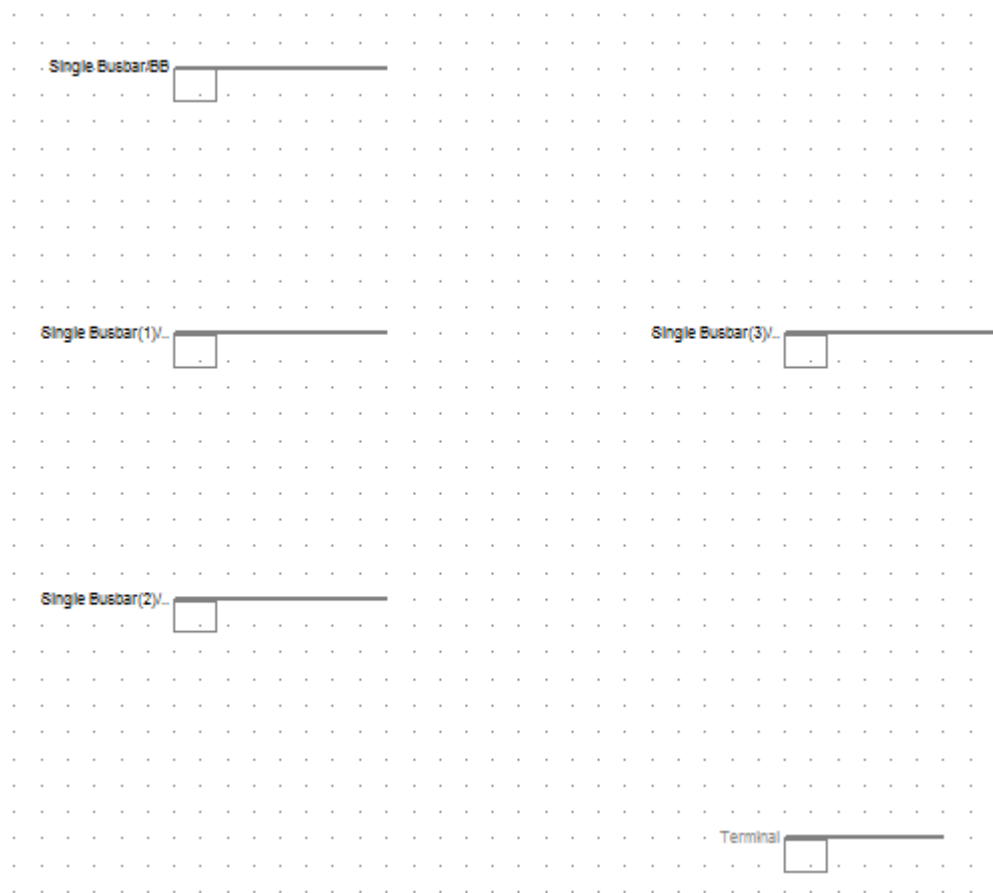
E2.7: Τοπολογία επιδεικτικού παραδείγματος που χρησιμοποιείται στο Κεφάλαιο 2



Σε αυτή την ενότητα θα σχεδιάσουμε ένα δίκτυο η τοπολογία του οποίου φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Πρόκειται για ένα δίκτυο διανομής το οποίο τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή από ένα εξωτερικό σύστημα και έχει τρεις αναχωρήσεις. Η πρώτη τροφοδοτεί έναν ασύγχρονο κινητήρα, η δεύτερη μέσω μετασχηματιστή έναν άλλον ασύγχρονο κινητήρα και η τρίτη μέσω γραμμών κάποια φορτία.

### 2.3.1 Σχεδίαση ζυγών

Ξεκινάμε την σχεδίαση του δικτύου από τους ζυγούς. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο του **Single Busbar System** στην εργαλειοθήκη σχεδίασης. Τώρα το αντικείμενο αυτό είναι στην μύτη του δείκτη του ποντικιού και όπου κάνουμε κλικ μέσα στο single line graphic ένας ζυγός εμφανίζεται. Η σχεδίαση τελειώνει κάνοντας δεξιά κλικ ή πατώντας το πλήκτρο escape. Με αυτή την διαδικασία σχεδιάζουμε τους τρεις ζυγούς στα αριστερά του σχήματος και τον πάνω ζυγό στα δεξιά. Για τον κάτω δεξιό ζυγό του σχήματος ακολουθούμε την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας το εικονίδιο **Busbar** από την εργαλειοθήκη σχεδίασης.



E2.8: Single line graphic: Σχεδίαση ζυγών

Αφού σχεδιάσουμε ένα αντικείμενο μπορούμε να το μετακινήσουμε στο single line graphic και να του αλλάξουμε τις διαστάσεις, δηλαδή για τον ζυγό να αλλάξουμε το μήκος του. Η μετακίνηση γίνεται με πατημένο κλικ στο μέσον του ζυγού και η αλλαγή του μήκους του με πατημένο κλικ σε μία από τις δύο άκρες του. Μπορούμε επίσης να τον περιστρέψουμε κάνοντας πάνω του δεξιά κλικ και πηγαίνοντας στην επιλογή **Rotate**.

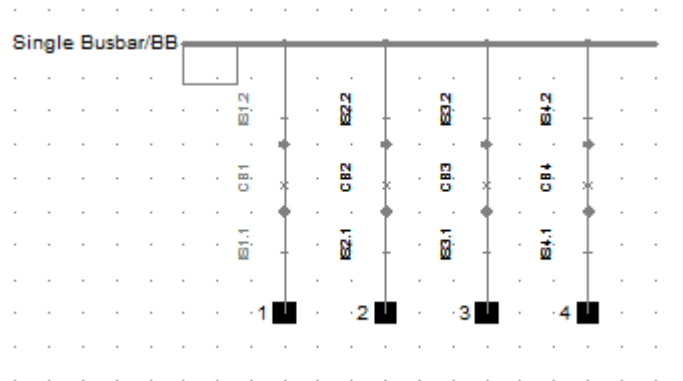
Τα ορθογώνια πλαίσια που είναι κάτω από τους ζυγούς ονομάζονται πλαίσια αποτελεσμάτων (result boxes). Εκεί εμφανίζονται πληροφορίες για τον ζυγό όπως η τάση και η γωνία του μετά από κάποια προσομοίωση όπως για παράδειγμα μετά από μία μελέτη ροής φορτίου. Μπορούμε να το αποκρύψουμε και να τα ξαναεμφανίσουμε κάνοντας δεξί κλικ στον ζυγό και επιλέγοντας **Hide Result Boxes** ή **Show Result Boxes** αντίστοιχα.

Το προεπιλεγμένο όνομα των τριών πρώτων ζυγών που σχεδιάσαμε έχει δύο κομμάτια, το πρώτο είναι το όνομα του υποσταθμού ενώ το δεύτερο είναι το όνομα του ζυγού. Ο τελευταίος ζυγός που σχεδιάσαμε δεν έχει υποσταθμό. Η επεξεργασία των ζυγών θα γίνει παρακάτω.

### 2.3.2 Σχεδίαση κλάδων

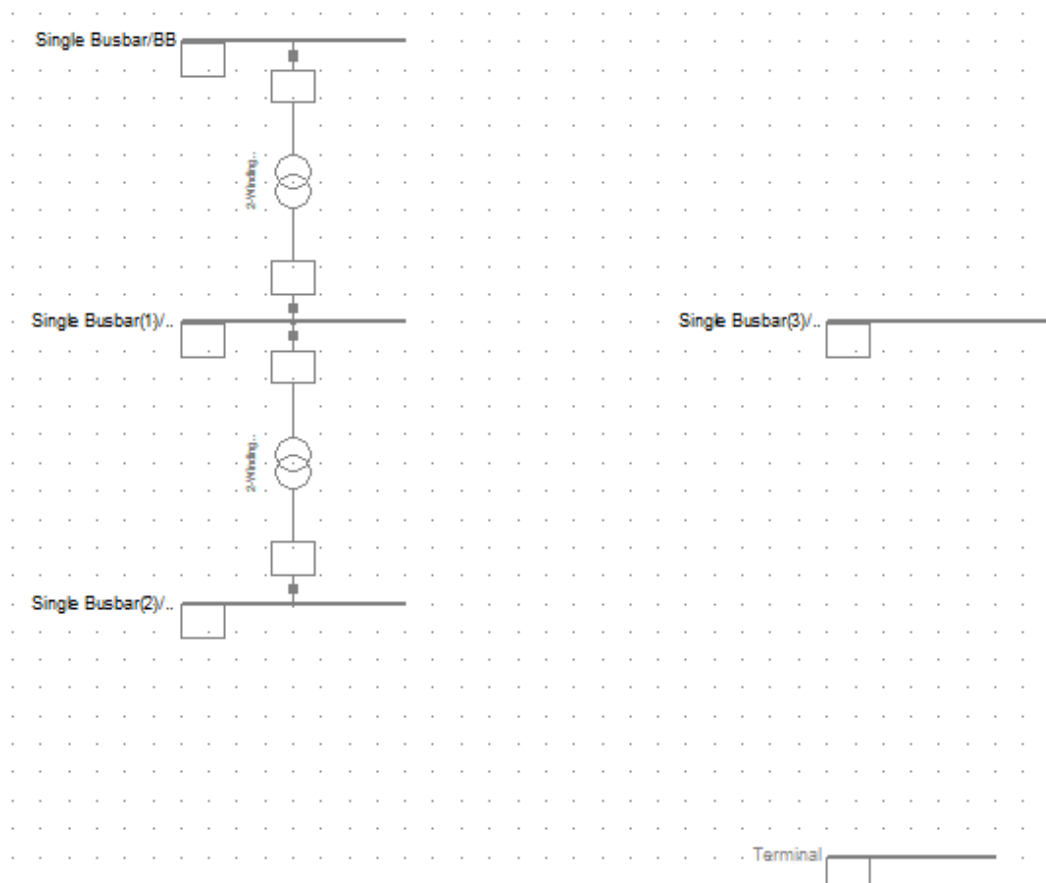
Συνεχίζουμε την σχεδίαση του δικτύου με τους μετασχηματιστές και τις γραμμές που αποτελούν τους κλάδους που ενώνουν τους ζυγούς. Η διαφορά των στοιχείων αυτών σε σχέση με τους ζυγούς έγκειται στο γεγονός ότι η σχεδίαση δεν ολοκληρώνεται με το κλικ στο single line graphic γιατί δεν αρκεί η τοποθέτησή τους αλλά πρέπει να συνδεθούν τα άκρα τους σε κάποιον ζυγό.

Πρώτα θα σχεδιάσουμε τους δύο μετασχηματιστές. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **2-Winding Transformer** από την εργαλειοθήκη σχεδίασης. Στην συνέχεια κάνουμε κλικ στην κενή περιοχή του single line graphic ανάμεσα στους δύο ζυγούς που θα συνδέεται ο μετασχηματιστής και το σύμβολο του μετασχηματιστή εμφανίζεται. Η σχεδίαση όμως δεν έχει ολοκληρωθεί καθώς μία μπλε γραμμή ενώνει το σχέδιο με το ποντίκι. Κάνουμε κλικ στον έναν από τους δύο ζυγούς που θα συνδέεται ο μετασχηματιστής και τότε ανοίγει ένα παράθυρο με το διάγραμμα του ζυγού στο οποίο φαίνονται οι αναχωρήσεις του.



E2.9: Συνδεσμολογία αναχωρήσεων ζυγού υποσταθμού

Τίποτα άλλο δεν έχει συνδεθεί προς το παρόν οπότε όλες οι αναχωρήσεις είναι ελεύθερες. Κάνουμε κλικ σε μία από αυτές και το παράθυρο αυτό κλείνει και επιστρέφουμε στο single line graphic όπου πλέον η σύνδεση του μετασχηματιστή με τον έναν ζυγό έχει γίνει και το ποντίκι ενώνεται πάλι με μία μπλε γραμμή με το σύμβολο του μετασχηματιστή. Κάνουμε κλικ στον άλλον ζυγό και συνδέουμε τον μετασχηματιστή σε μία από τις αναχωρήσεις του ολοκληρώνοντας την τοποθέτηση του πρώτου μετασχηματιστή. Με τον ίδιο τρόπο, σχεδιάζουμε και τον άλλον μετασχηματιστή.

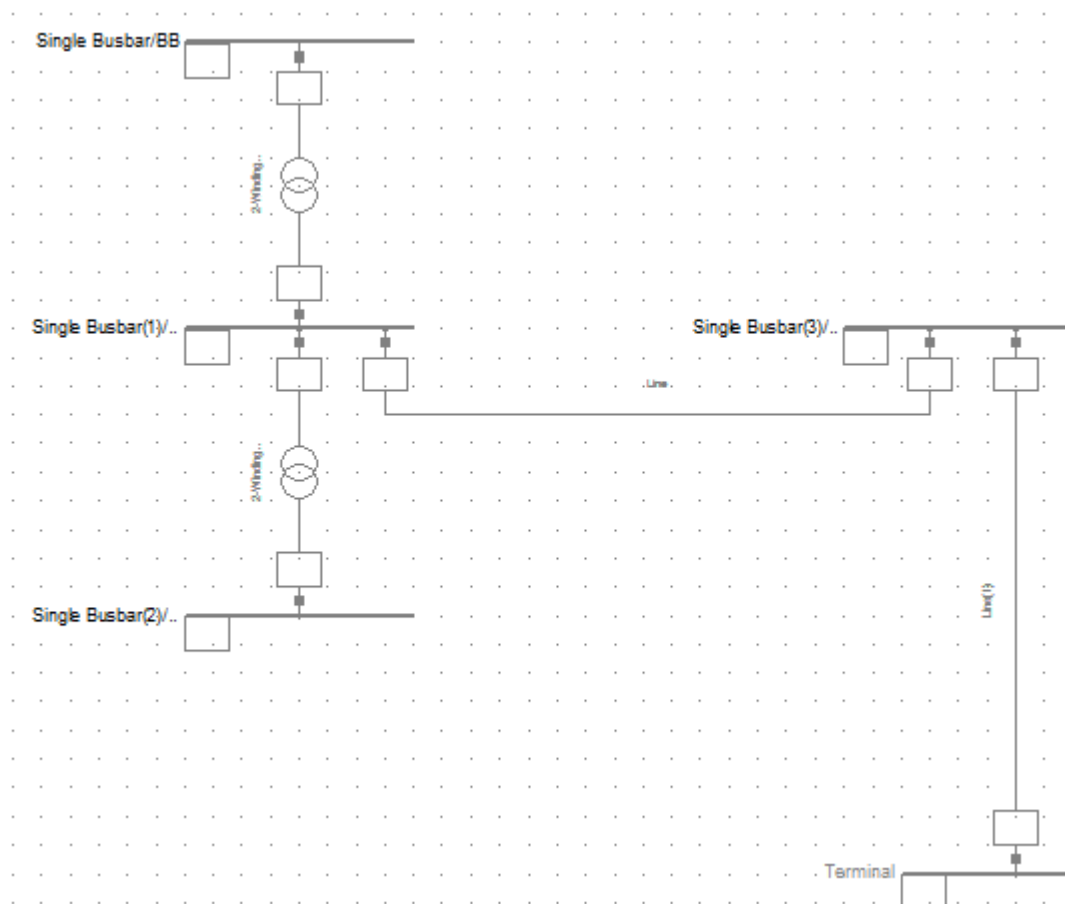


E2.10: Single line graphic: Σχεδίαση μετασχηματιστών

Τώρα θα σχεδιάσουμε τις δύο γραμμές που ενώνουν τους ζυγούς. Αρχικά κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Line** στην εργαλειοθήκη σχεδίασης. Στην συνέχεια κάνουμε κλικ στον ζυγό από τον οποίο ξεκινάει στο σημείο που θέλουμε να φαίνεται γραφικά η ένωσή τους. Όπως και στην περίπτωση του μετασχηματιστή, ένα παράθυρο με το διάγραμμα αναχωρήσεων του ζυγού ανοίγει, συνδέουμε την γραμμή σε μία από τις αναχωρήσεις και επιστρέφουμε στο single line graphic. Η σύνδεση έχει γίνει και το σημείο σύνδεσης ενώνεται με το ποντίκι με μία μπλε γραμμή. Κάνοντας κλικ στο single line graphic σχηματίζουμε με το ποντίκι μία τεθλασμένη γραμμή που καταλήγει στον άλλον ζυγό που συνδέεται η γραμμή. Έτσι καθορίζεται το σχήμα της γραμμής που συνδέει του δύο ζυγούς. Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάζουμε και την άλλη γραμμή.

Η τεθλασμένη γραμμή που ακολουθεί η γραμμή του δικτύου μπορεί να έχει μόνο ορθές γωνίες. Για να το αλλάξουμε αυτό πρέπει να βγάλουμε την λειτουργία Ortho στην γραμμή κατάσταση κάνοντας διπλό κλικ πάνω της.

Όπως και στους ζυγούς έτσι και στα στοιχεία που προσθέσαμε τώρα είναι δυνατή η μετακίνηση και η αλλαγή των διαστάσεών τους με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή με πατημένο κλικ. Επίσης στις άκρες των γραμμών, εκτός από τα πλαίσια αποτελεσμάτων υπάρχουν και διακόπτες. Κάνοντας διπλό κλικ πάνω στον διακόπτη μπορούμε να τον ανοίγουμε και να τον κλείνουμε. Η κατάσταση του διακόπτη φαίνεται από το αν είναι πλήρως σκιαγραμμισμένος ή όχι.



E2.11: Single line graphic: Σχεδίαση γραμμών

### 2.3.3 Σχεδίαση τερματικών στοιχείων

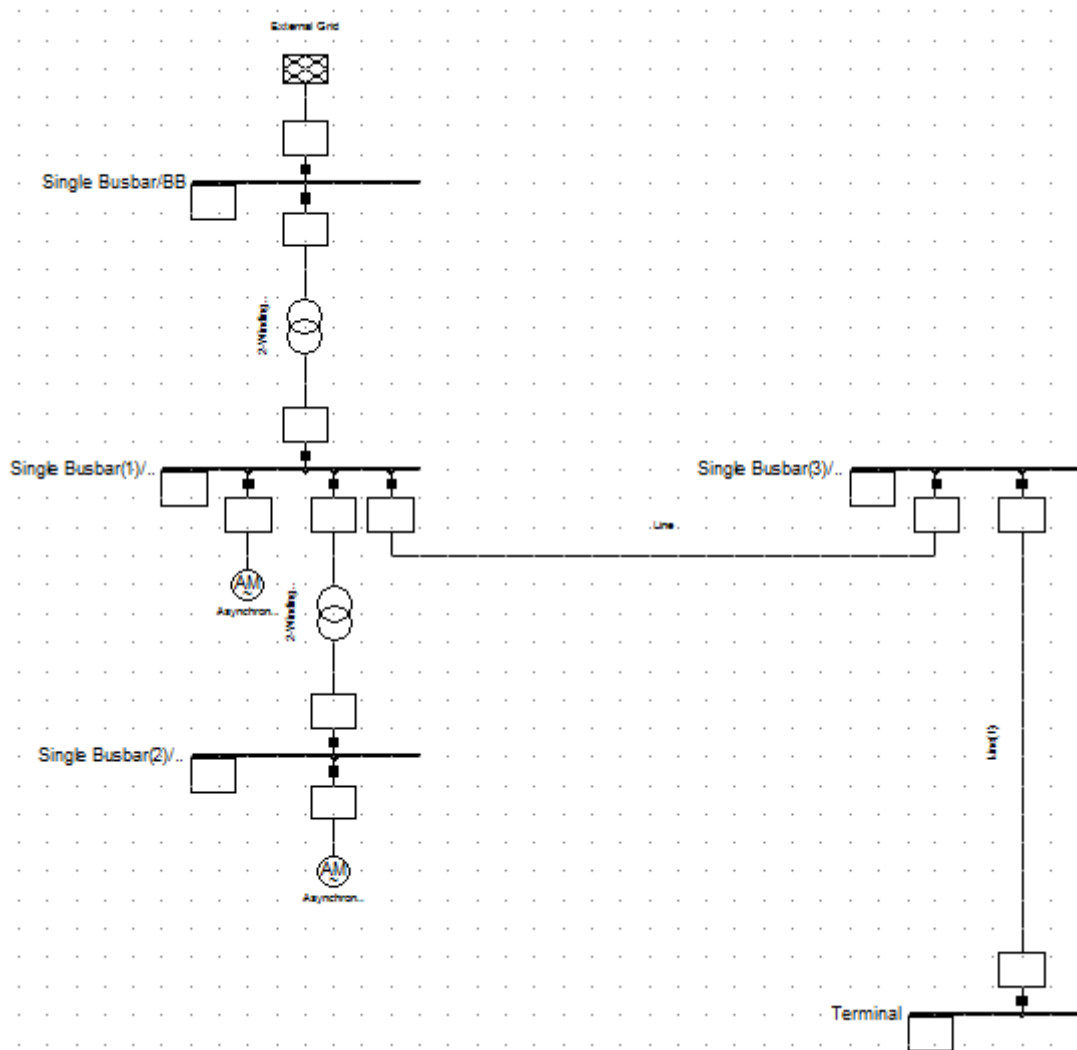
Στην παράγραφο αυτή θα σχεδιάσουμε τα στοιχεία που συνδέονται σε έναν μόνο ζυγό, δηλαδή τους ασύγχρονους κινητήρες, το εξωτερικό σύστημα και τα φορτία. Ο τρόπος σχεδίασής τους δεν διαφέρει πολύ από αυτόν που έχουμε δει μέχρι τώρα.

Πρώτα θα σχεδιάσουμε τους δύο ασύγχρονους κινητήρες. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Asynchronous Machine** στην εργαλειοθήκη σχεδίασης, μετά κάνουμε κλικ στον ζυγό στον οποίο θέλουμε να τον συνδέσουμε και στο παράθυρο με το διάγραμμα αναχωρήσεων που ανοίγει κάνουμε κλικ σε μία από αυτές. Επιστρέφουμε στο single line graphic και ο πρώτος κινητήρας έχει τοποθετηθεί. Στην συνέχεια κάνουμε κλικ στον άλλον ζυγό και με τον ίδιο τρόπο τοποθετούμε και τον δεύτερο κινητήρα.

Η λειτουργία της ασύγχρονης μηχανής, που σχεδιάσαμε, ως γεννήτρια ή ως κινητήρας θα οριστεί σε επόμενη ενότητα που θα κάνουμε την επεξεργασία των στοιχείων. Για να γίνει το σχέδιο που έχουμε φτιάξει ως τώρα πιο ευανάγνωστο μπορούμε να αλλάξουμε αναλόγως τις διαστάσεις των ζυγών και να μετακινήσουμε όποια στοιχεία χρειάζεται.

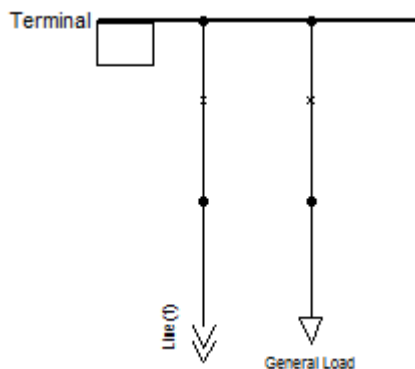
Στην συνέχεια θα σχεδιάσουμε το εξωτερικό σύστημα. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **External Grid** στην εργαλειοθήκη σχεδίασης και το συνδέουμε στον πάνω ζυγό με τον ίδιο τρόπο που συνδέσαμε και τους κινητήρες. Δηλαδή κάνουμε κλικ πάνω στον ζυγό και μετά τον συνδέουμε σε μία από τις ελεύθερες αναχωρήσεις. Αν το σχέδιο του εξωτερικού συστήματος εμφανίζεται κάτω από τον ζυγό

του κάνουμε δεξί κλικ και κλικ στην επιλογή **Flip At Busbar** ώστε να πάει πάνω από τον ζυγό.



E2.12: Single line graphic: Σχεδίαση κινητήρων και εξωτερικού δικτύου

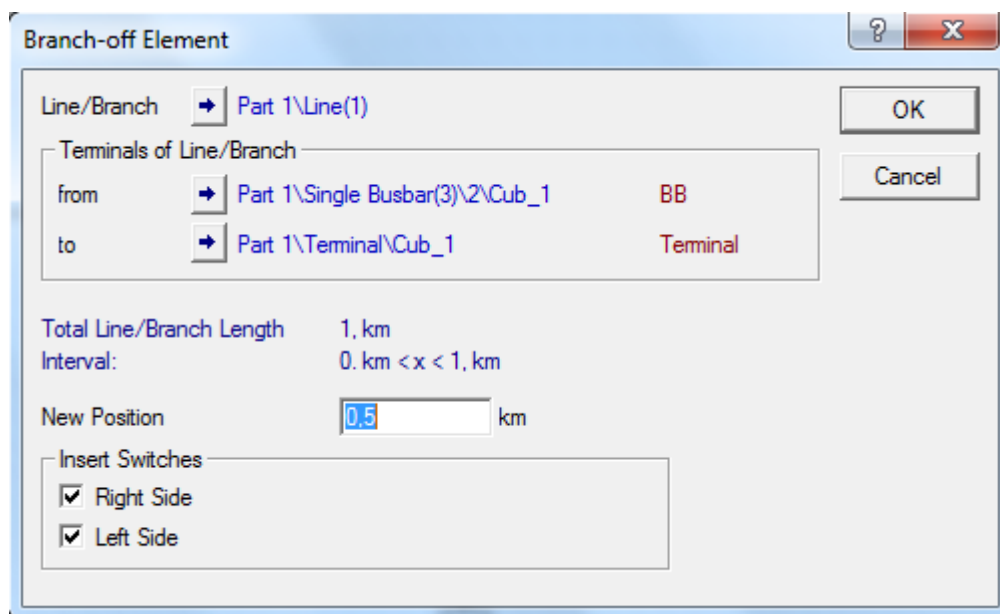
Τέλος, θα σχεδιάσουμε τα φορτία. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **General Load** στην εργαλειοθήκη σχεδίασης και μετά κάνουμε κλικ στον κάτω ζυγό. Το φορτίο σχεδιάστηκε χωρίς να ανοίξει το παράθυρο με το διάγραμμα αναχωρήσεων του ζυγού. Αυτή είναι μία διαφορά του ζυγού τύπου Terminal από τον ζυγό τύπου Busbar System. Στον πρώτο ένας διακόπτης δημιουργείται αυτόματα κάθε φορά που συνδέεται κάτι σε αυτόν ενώ στον δεύτερο υπάρχουν τέσσερις διακόπτες και πρέπει να επιλέξουμε σε ποιον θα γίνει κάθε σύνδεση. Φυσικά είναι δυνατή και η σύνδεση περισσότερων των τεσσάρων κλάδων στον ζυγό με αυτόματη δημιουργία νέου διακόπτη κάθε φορά. Επίσης, ο ζυγός τύπου Terminal έχει μόνο έναν διακόπτη (circuit breaker) ενώ ο ζυγός τύπου Busbar System έχει μία συνδεσμολογία από έναν διακόπτη (circuit breaker) και δύο αποζεύκτες (disconnectors) εκατέρωθεν του διακόπτη σε κάθε αναχώρηση. Η συνδεσμολογία αυτή φαίνεται στο παράθυρο με το διάγραμμα αναχωρήσεων του υποσταθμού που είδαμε στην εικόνα E2.9 και το οποίο μπορούμε να ανοίξουμε κάνοντας δεξί κλικ πάνω του και επιλέγοντας **Show Detailed Graphic of Substation**. Την συνδεσμολογία του ζυγού τύπου Terminal, που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, μπορούμε να την δούμε κάνοντας δεξί κλικ πάνω του και επιλέγοντας **Show Detailed Graphic of Node**.



Ε2.13: Συνδεσμολογία αναχωρήσεων ζυγού τύπου Terminal

Συνεχίζουμε με την σχεδίαση των υπόλοιπων φορτίων. Έχοντας πάρει το **General Load** από την εργαλειοθήκη σχεδίασης κάνουμε κλικ πάνω στην γραμμή στο σημείο που θέλουμε γραφικά να παρεμβληθεί το ενδιάμεσο φορτίο. Ένα παράθυρο διαλόγου ανοίγει το οποίο μας ζητάει να καθορίσουμε την φυσική θέση που παρεμβάλλεται το νέο στοιχείο.

Επειδή δεν έχουμε επεξεργαστεί ακόμα τα στοιχεία του δικτύου που έχουμε σχεδιάσει, το προεπιλεγμένο μήκος της γραμμής είναι 1 χλμ όπως μας λέει το παράθυρο διαλόγου. Στο πεδίο **Terminals of Line/Branch** αναφέρονται τα δύο άκρα της γραμμής και ποιο θεωρείται αφετηρία της μέτρησης του μήκους του και στο πεδίο **New Position** μας ζητάει να ορίσουμε το σημείο παρεμβολής του νέου στοιχείου στην γραμμή εισάγοντας την απόσταση από τον ζυγό έναρξης της μέτρησης. Το μήκος αυτό προφανώς πρέπει να αντιστοιχεί σε κάποιο εσωτερικό σημείο της γραμμής γι' αυτό τα όρια είναι 0 και 1 χλμ χωρίς να περιλαμβάνει τα άκρα της. Στο πεδίο **Insert Switches** επιλέγουμε αν θα προστεθούν διακόπτες και πύ. Πατάμε **OK** και η σχεδίαση του πρώτου ενδιάμεσου φορτίου έχει ολοκληρωθεί.



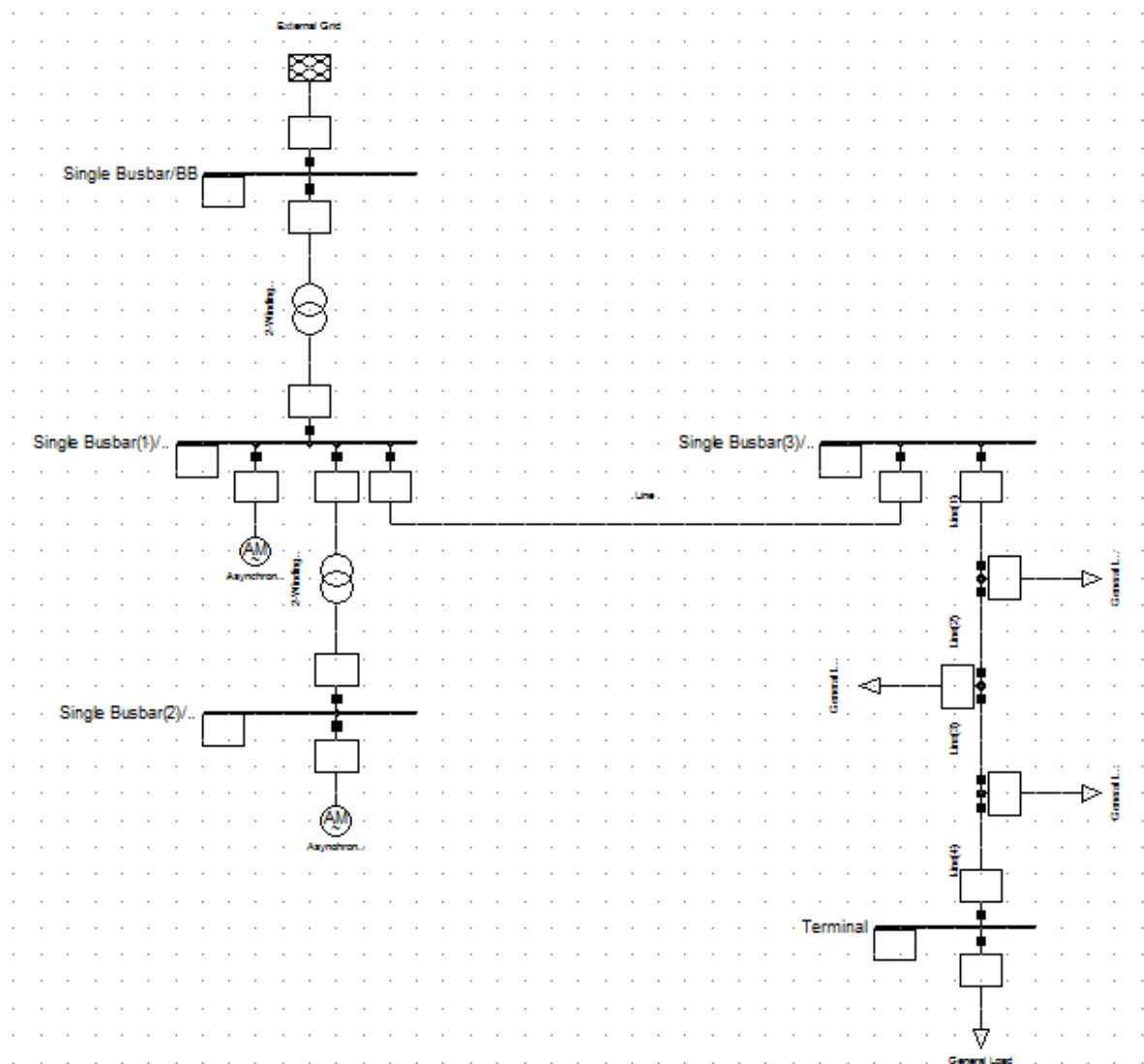
Ε2.14: Παράθυρο ορισμού θέσης εμβόλιμου στοιχείου

Παρατηρούμε ότι ένας νέος κόμβος έχει δημιουργηθεί και έχει χωρίσει την γραμμή σε δύο διαφορετικές γραμμές. Το συνολικό μήκος των δύο νέων γραμμών είναι ίσο με το μήκος της αρχικής γραμμής. Το μήκος όμως της κάθε γραμμής στο γράφημα δεν είναι κατ' ανάγκη ανάλογο με το μήκος το οποίο την έχουμε ρυθμί-

σει να έχει. Τα πραγματικά μήκη των γραμμών θα οριστούν σε επόμενη ενότητα που θα κάνουμε την επεξεργασία και την παραμετροποίηση των στοιχείων που έχουμε σχεδιάσει.

Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάζουμε άλλα δύο ενδιάμεσα φορτία. Στα παράθυρα διαλόγου που ανοίγουν παρατηρούμε ότι οι τερματικοί ζυγοί και το μήκος της γραμμής έχουν αλλάξει από πριν καθώς όπως είπαμε με την εισαγωγή ενδιάμεσου στοιχείου η αρχική γραμμή παύει να υπάρχει και σπάει σε δύο νέες γραμμές με μικρότερο μήκος και με ένα διαφορετικό άκρο από την αρχική, δηλαδή τον κόμβο που δημιουργήθηκε.

Για την βελτίωση της εμφάνισης του σχεδίου μπορούμε να μετακινήσουμε όποιο αντικείμενο χρειάζεται ή να αλλάξουμε τις διαστάσεις του όπως έχουμε πει παραπάνω. Επίσης υπάρχει και η επιλογή **Flip At Busbar** αν θέλουμε να αλλάξουμε την θέση του σχεδίου ενός φορτίου ως προς την γραμμή.



E2.15: Single line graphic: Σχεδίαση φορτίων

## 2.4 Δημιουργία βιβλιοθηκών

Τα όμοια στοιχεία ενός δικτύου έχουν πολλά ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά κοινά. Για παράδειγμα, σε ένα πραγματικό δίκτυο διανομής χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα είδη αγωγών στις γραμμές (π.χ. ACSR-95). Αυτό σημαίνει ότι όλες οι γραμμές αυτού του είδους έχουν την ίδια ωμική και επαγωγική αντίσταση ανά μονάδα μήκους, τις ίδιες εγκάρσιες αντιδράσεις ανά μονάδα μήκους και άλλα πολλά κοινά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτό το PowerFactory λειτουργεί με βιβλιοθήκες. Κάθε project έχει μία βιβλιοθήκη στην οποία υπάρχουν μοντέλα (Type objects) για κάθε είδος στοιχείων του δικτύου, δηλαδή μοντέλα μετασχηματιστών, μοντέλα ασύγχρονων μηχανών, μοντέλα ηλεκτρονόμων κτλ. Κάθε μοντέλο κάποιου στοιχείου έχει ένα διαφορετικό σύνολο ρυθμίσεων. Τα μοντέλα της βιβλιοθήκης ενός project μπορούν να είναι τριών διαφορετικών προελεύσεων:

- 1) Τα έφτιαξε από την αρχή ο χρήστης του project. Σε αυτή την περίπτωση τα μοντέλα αυτά είναι προσβάσιμα μόνο από δίκτυα αυτού του project.
- 2) Από την βιβλιοθήκη του λογαριασμού. Σε αυτή την περίπτωση τα μοντέλα αυτά είναι προσβάσιμα μόνο στα project αυτού του λογαριασμού.
- 3) Από την βιβλιοθήκη του προγράμματος (Global Library). Σε αυτή την περίπτωση τα μοντέλα αυτά είναι προσβάσιμα από όλους τους λογαριασμούς.

Τα μοντέλα της τελευταίας κατηγορίας είναι είτε μοντέλα που έχει από μόνο του το PowerFactory, είτε μοντέλα που έχουν φορτωθεί στο πρόγραμμα χειροκίνητα.

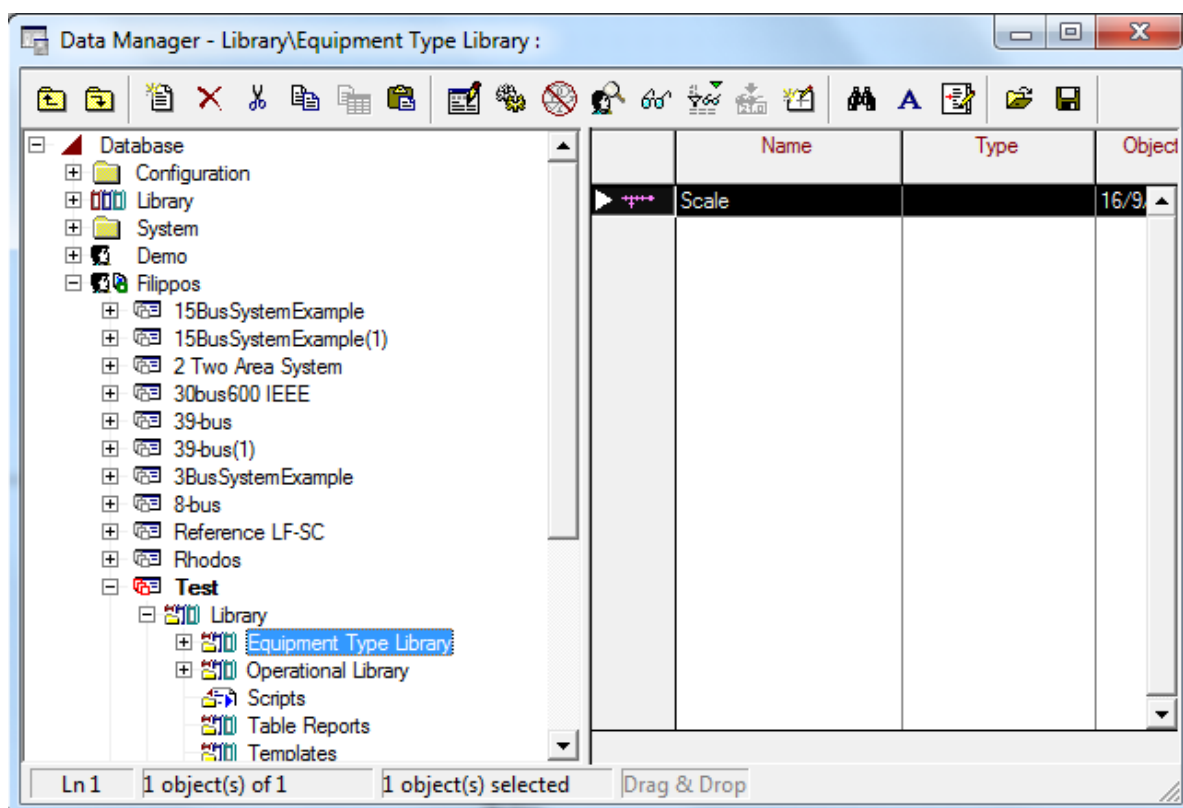
Κατά την επεξεργασία και την παραμετροποίηση των στοιχείων ενός δικτύου, σε κάθε στοιχείο δίνεται ένα αντίστοιχο μοντέλο που σημαίνει ότι παίρνει και το σύνολο των ρυθμίσεων που είναι αποθηκευμένες σε αυτό. Οι πιο ειδικές ρυθμίσεις καθορίζονται σε κάθε στοιχείο ξεχωριστά, όπως για παράδειγμα το μήκος μιας γραμμής.

Σε αυτή την ενότητα θα φτιάξουμε μία βιβλιοθήκη με μοντέλα από τα πιο συχνά στοιχεία ενός δικτύου. Τα μοντέλα αυτά θα τα χρησιμοποιήσουμε στην επόμενη ενότητα που θα επεξεργαστούμε τα στοιχεία του δικτύου που σχεδιάσαμε προηγουμένως. Επίσης, σε επόμενη ενότητα θα δούμε πώς μπορούμε να εισάγουμε στο PowerFactory έτοιμες βιβλιοθήκες.

### 2.4.1 Δημιουργία βιβλιοθήκης για ζυγούς

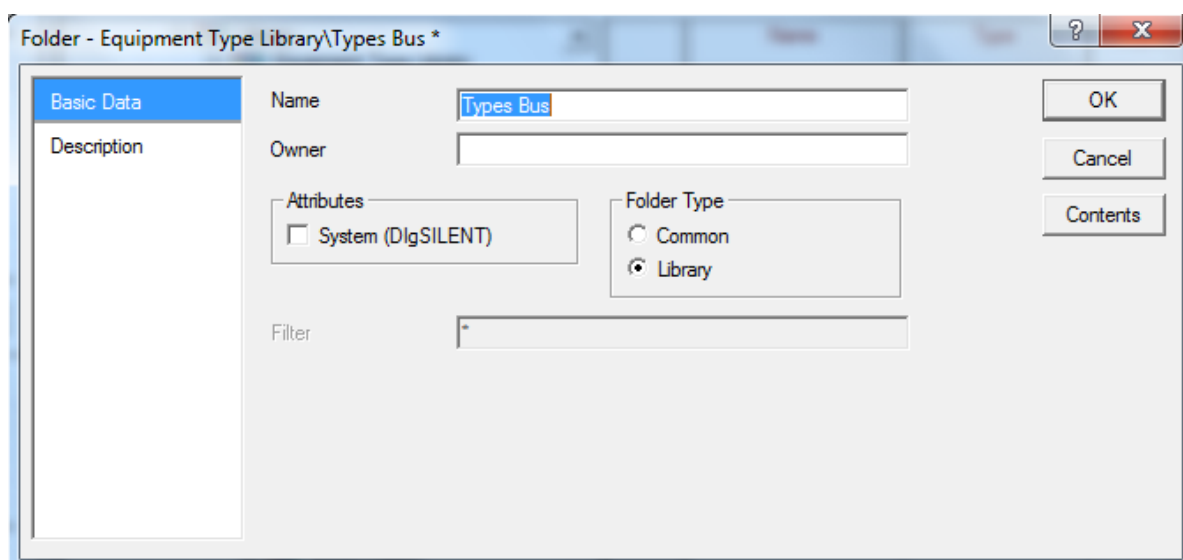
Η δημιουργία και η διαχείριση των βιβλιοθηκών γίνεται μέσω του Data Manager. Ανοίγουμε λοιπόν τον **Data Manager** από το εικονίδιο στην κύρια γραμμή εικονιδίων και ανοίγουμε το δέντρο στο αριστερό μέρος του παραθύρου μέχρι να βρούμε τον φάκελο: Database/USER\_NAME/Test/Library/Equipment Type Library.





Ε2.16: Data Manager: Θέση δημιουργίας βιβλιοθηκών

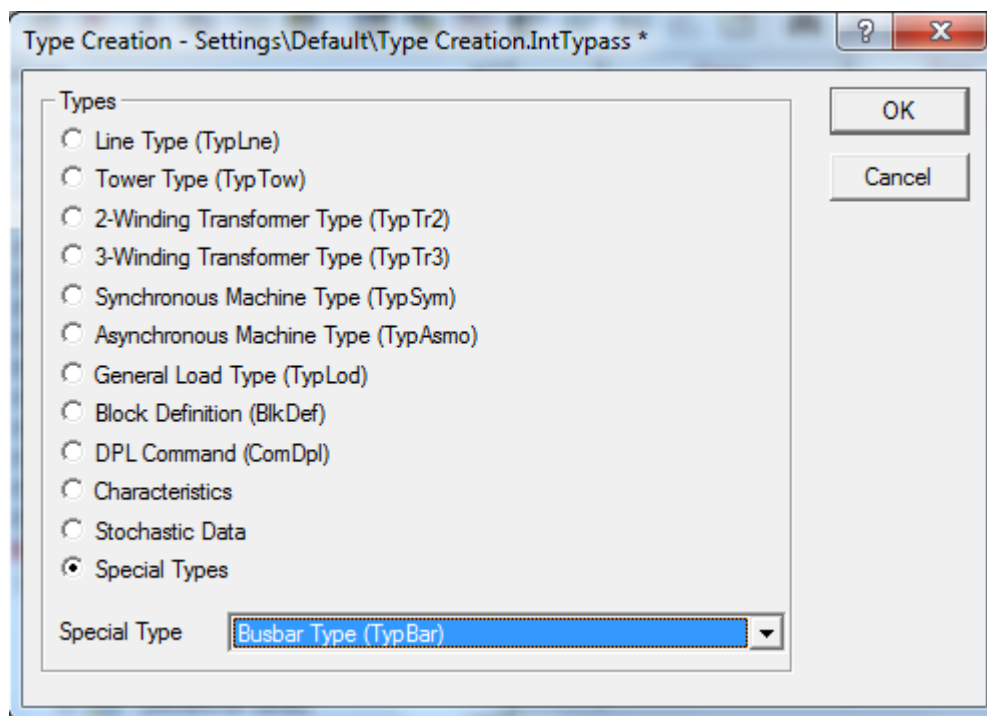
Μέσα σε αυτόν τον φάκελο θα δημιουργήσουμε έναν υποφάκελο για κάθε είδος στοιχείου που θα περιέχει τα μοντέλα που θα φτιάξουμε για το συγκεκριμένο είδος στοιχείου. Κάνουμε δεξί κλικ πάνω σε αυτόν τον φάκελο και επιλέγουμε **New** και μετά **Folder**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει συμπληρώνουμε το όνομα του φακέλου που είναι **Types Bus**, γιατί θα έχει μοντέλα ζυγών, και στο πεδίο **Folder Type** επιλέγουμε **Library**. Η επιλογή αυτή έχει να κάνει με το εικονίδιο του φακέλου που θα δημιουργηθεί.



Ε2.17: Παράθυρο δημιουργίας φακέλου βιβλιοθήκης

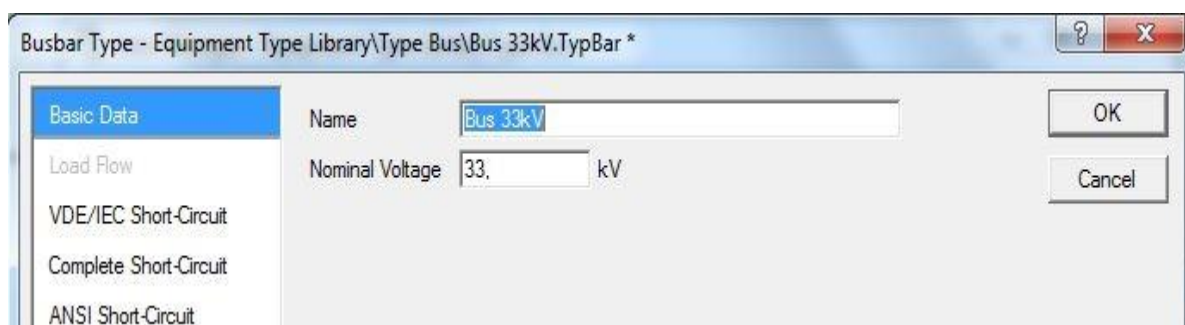
Πατώντας **OK** ο νέος φάκελος που φτιάξαμε φαίνεται στο δέντρο ως υποφάκελος του Equipment Type Library.

Στην συνέχεια θα φτιάξουμε ένα μοντέλο ζυγού. Επιλέγουμε τον φάκελο που μόλις φτιάξαμε και πατάμε το εικονίδιο **New Object** από την γραμμή εικονιδίων του παραθύρου του Data Manager. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει υπάρχουν όλα τα είδη μοντέλων που μπορούμε να φτιάξουμε χειροκίνητα στο PowerFactory. Η επιλογή των ζυγών δεν είναι στις πιο συχνές οπότε επιλέγουμε το **Special Types** και στην λίστα που ανοίγει το βέλος βρίσκουμε την επιλογή **BusBar Type (TypBar)**.



Ε2.18: Παράθυρο επιλογής είδος μοντέλου προς δημιουργία

Πατάμε **OK** και ανοίγει το παράθυρο ορισμού του μοντέλου. Σε αυτό το παράθυρο βάζουμε όλες τις ρυθμίσεις που περιέχει το μοντέλο. Στην περίπτωση του ζυγού οι ρυθμίσεις αυτές δεν είναι πολλές. Συμπληρώνουμε το όνομα του μοντέλου «Bus 33kV» και την ονομαστική του τάση στα 33kV και πατάμε **OK**.

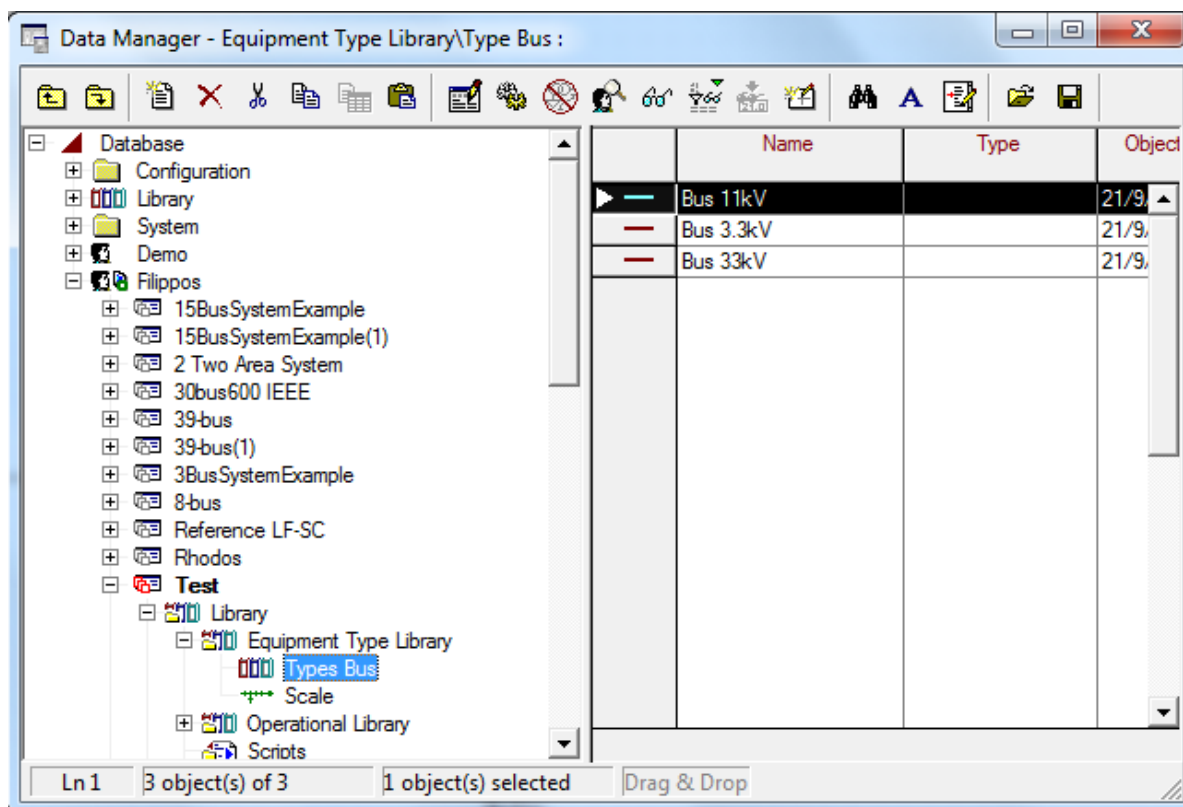


Ε2.19: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ζυγού – καρτέλα Basic Data

Το γεγονός ότι το μοντέλο ενός ζυγού δεν περιέχει καμία άλλη ρύθμιση για τον ζυγό πέραν της ονομαστικής του τάση, κάνει τους ζυγούς το μοναδικό είδος στοιχείου ενός δικτύου μαζί με τα φορτία που μπορεί να παραμετροποιηθεί χωρίς να του αποδοθεί κάποιο μοντέλο βιβλιοθήκης. Για τα υπόλοιπα στοιχεία, η απόδοση κάποιου μοντέλου βιβλιοθήκης είναι υποχρεωτική για να μπορέσει το PowerFactory να τρέξει τις προσομοιώσεις.

Με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε άλλα δύο μοντέλα ζυγών ονομαστικής τάσης 11kV και 3,3kV που θα μας χρειαστούν στο δίκτυο. Όταν έχουμε επιλέξει τον φά-

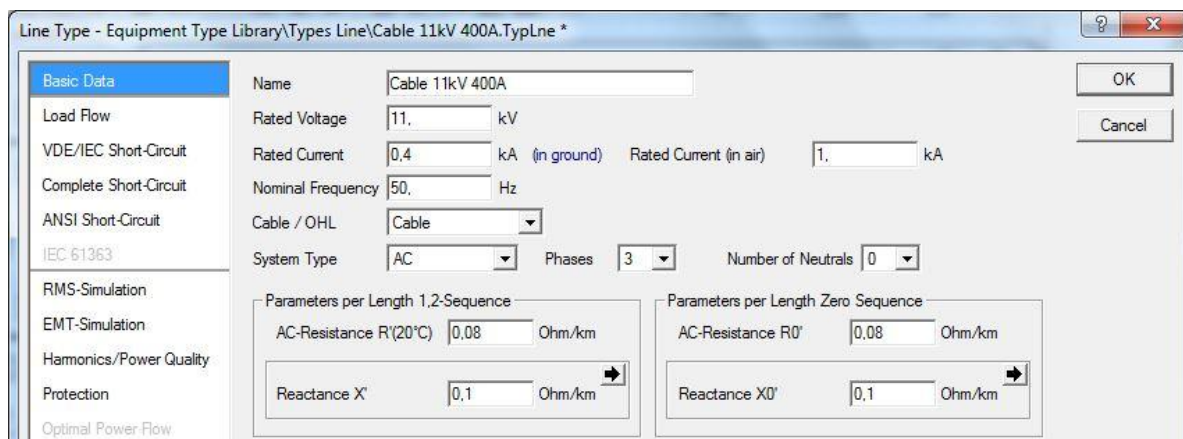
κελο Type Bus στο δέντρο στα αριστερά του παραθύρου του Data Manager τότε στο δεξιό μέρος του παραθύρου φαίνονται τα 3 μοντέλα που περιέχει ο φάκελος.



E2.20: Data Manager: Βιβλιοθήκη μοντέλων ζυγών

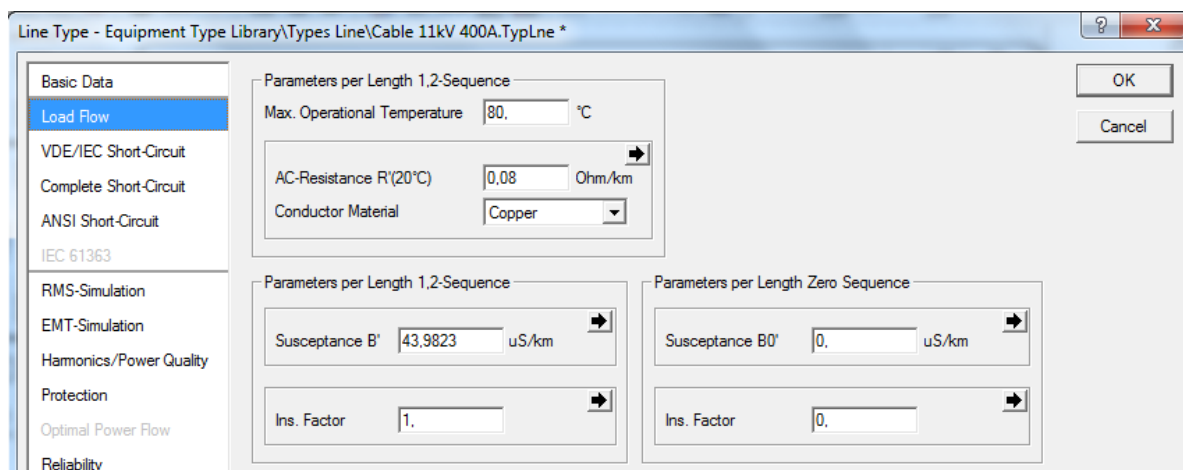
#### 2.4.2 Δημιουργία βιβλιοθήκης για γραμμές

Αρχικά δημιουργούμε όπως πριν ένα υποφάκελο του φακέλου Equipment Type Library με το όνομα Types Line. Στην συνέχεια επιλέγουμε τον φάκελο αυτόν και κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **New Object**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει επιλέγουμε το είδος του μοντέλου που θα φτιάξουμε, δηλαδή **Line Type (TypLne)**, και πατάμε **OK**. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου που ανοίγει συμπληρώνουμε τα στοιχεία του μοντέλου που θα φτιάξουμε. Στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομα του μοντέλου «Cable 11kV 400A», ονομαστική τάση 11kV, ονομαστικό ρεύμα στο έδαφος 400A, ονομαστική συχνότητα 50Hz, τύπος γραμμής cable, τριφασική χωρίς ουδέτερο, και τις ανά μονάδα μήκους ακολουθιακές παραμέτρους.



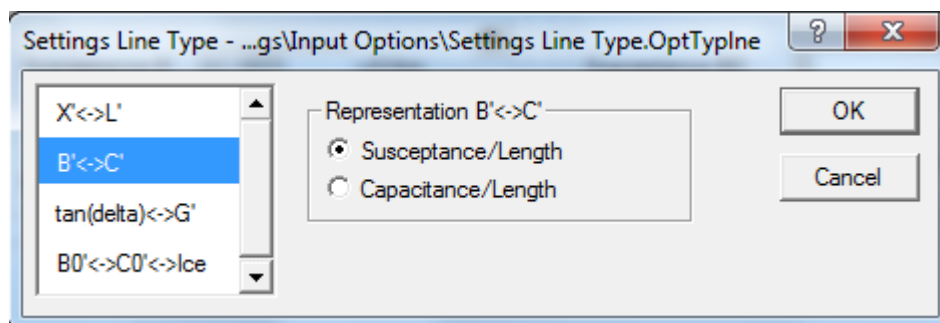
E2.21: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα Load Flow συμπληρώνουμε τις ανά μονάδα μήκους ακολουθιακές παραμέτρους των εγκάρσιων στοιχείων της γραμμής.



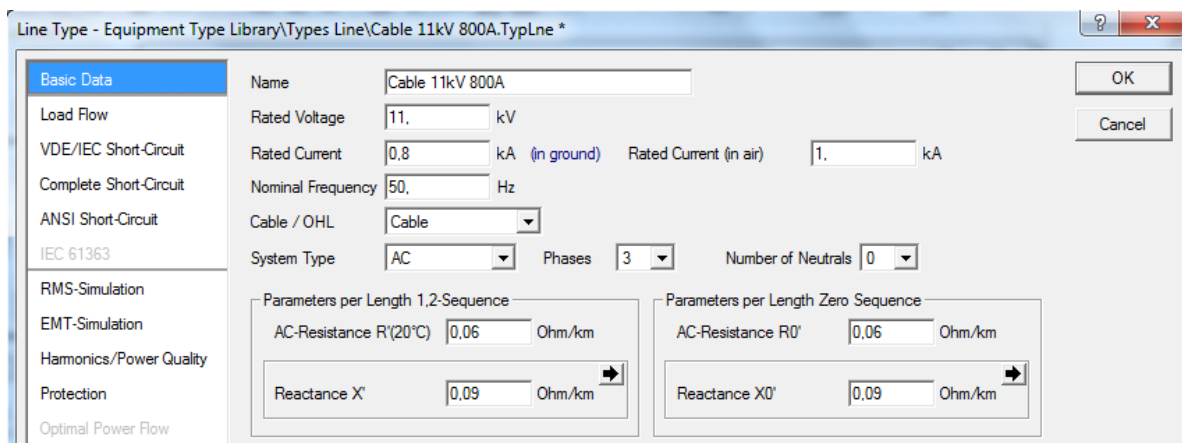
E2.22: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής – καρτέλα Load Flow

Αν κάνουμε κλικ στο μαύρο βέλος βλέπουμε ποιες εναλλακτικές παραμέτρους μπορούμε να δώσουμε αντί για αυτές που μας ζητάει. Για παράδειγμα αντί για την παράμετρο B μπορούμε να δώσουμε την χωρητικότητα C του πυκνωτή ενώ αντί για το συντελεστή μόνωσης ( $\tan\delta$ ) μπορούμε να δώσουμε την παράμετρο G.

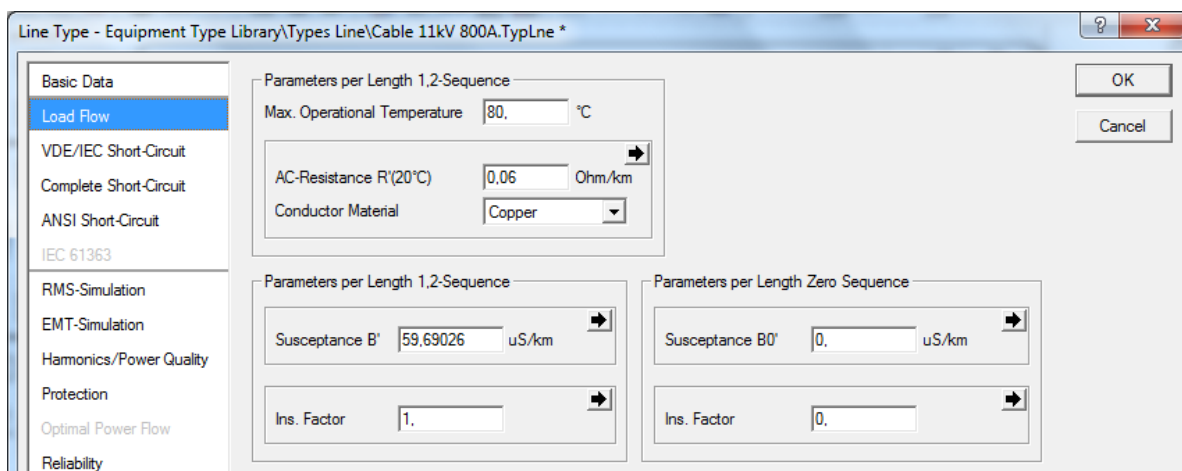


E2.23: Παράθυρο επιλογής παραμέτρων προς ορισμό

Πατάμε **OK** και το μοντέλο της γραμμής είναι έτοιμο. Με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε άλλον ένα μοντέλο γραμμής με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



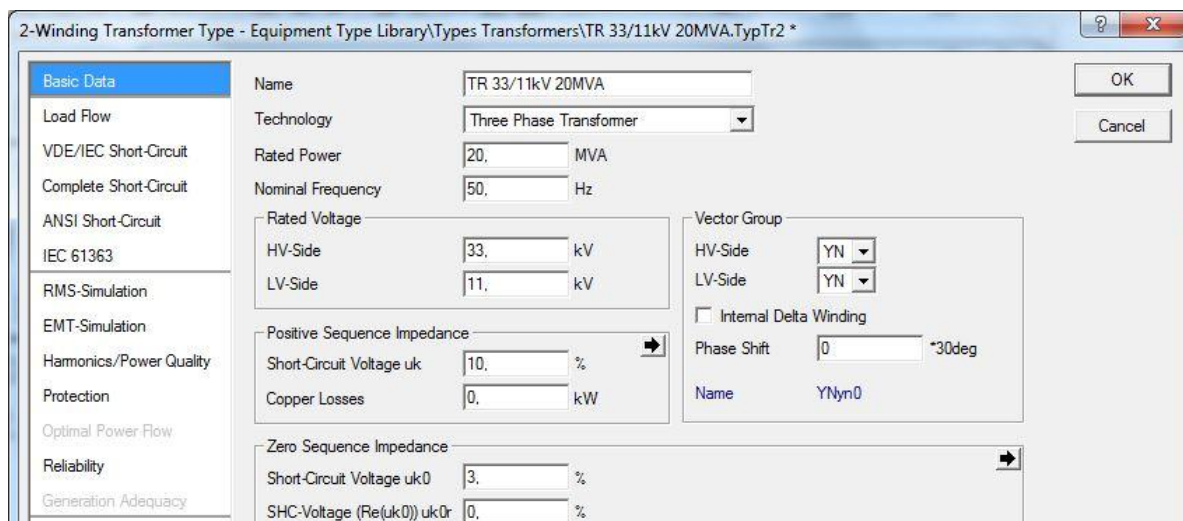
E2.24: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Basic Data



E2.25: Παράθυρο ορισμού μοντέλου γραμμής - καρτέλα Load Flow

### 2.4.3 Δημιουργία βιβλιοθήκης για μετασχηματιστές ισχύος

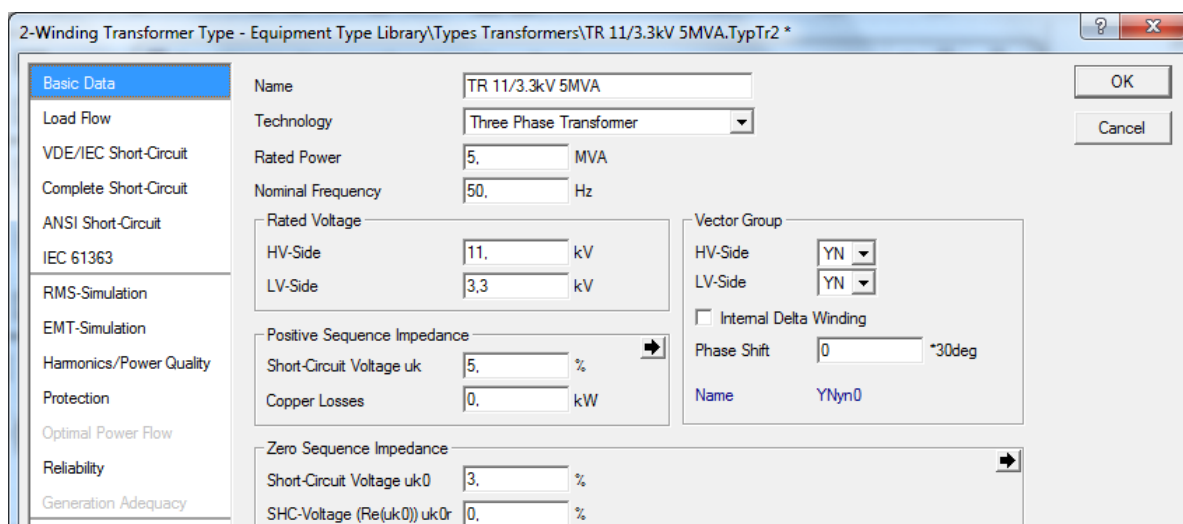
Ακολουθούμε τα ίδια βήματα όπως πριν. Αρχικά φτιάχνουμε έναν καινούριο φάκελο με το όνομα Types Transformers μέσα στον φάκελο Equipment Type Library. Στην συνέχεια μέσα στον καινούριο φάκελο φτιάχνουμε ένα νέο αντικείμενο τύπου **2-Winding Transformer Type (TypTr2)**. Και μετά φτιάχνουμε τις ρυθμίσεις του μοντέλου του μετασχηματιστή στο παράθυρο ορισμού του που ανοίγει. Στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομα του μοντέλου, τα ονομαστικά μεγέθη τάσεων, ισχύος και συχνότητας, την ισχύ βραχυκύκλωσης, τις απώλειες χαλκού, τους τρόπους σύνδεσης των τυλιγμάτων και την στροφή φάσης.



Ε2.26: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα Load Flow ο σχεδιαστής του δικτύου μπορεί να ρυθμίσει το σύστημα αλλαγής τάσης του μετασχηματιστή.

Με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε άλλο ένα μοντέλο μετασχηματιστή με τις ρυθμίσεις που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

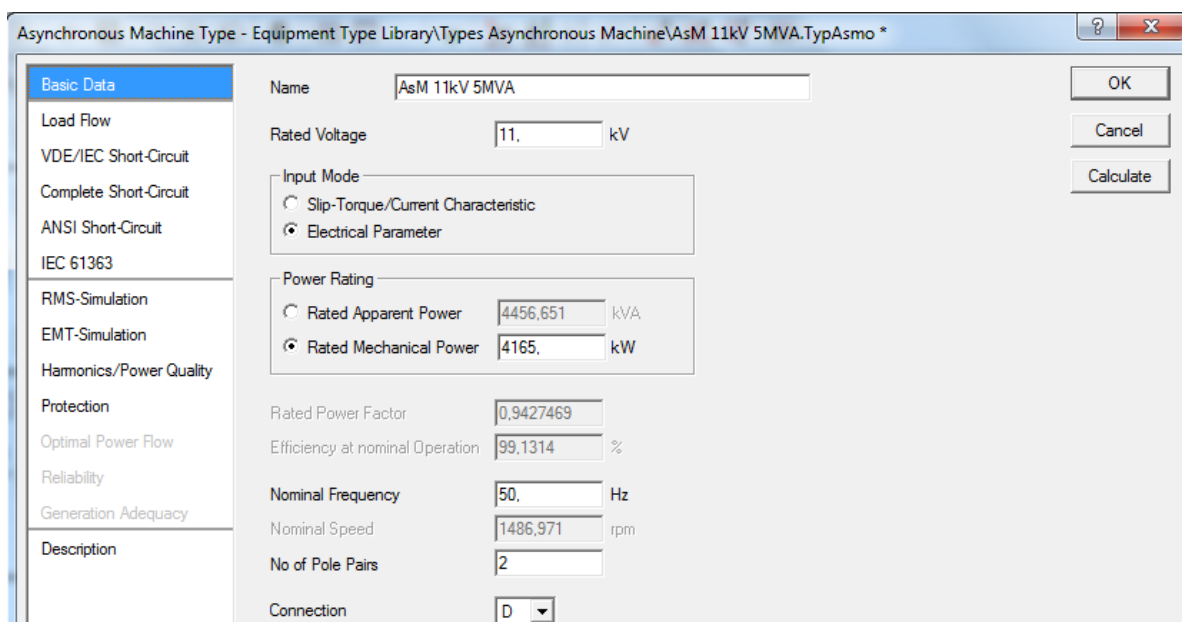


Ε2.27: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή - καρτέλα Basic Data

#### 2.4.4 Δημιουργία βιβλιοθήκης για ασύγχρονες μηχανές

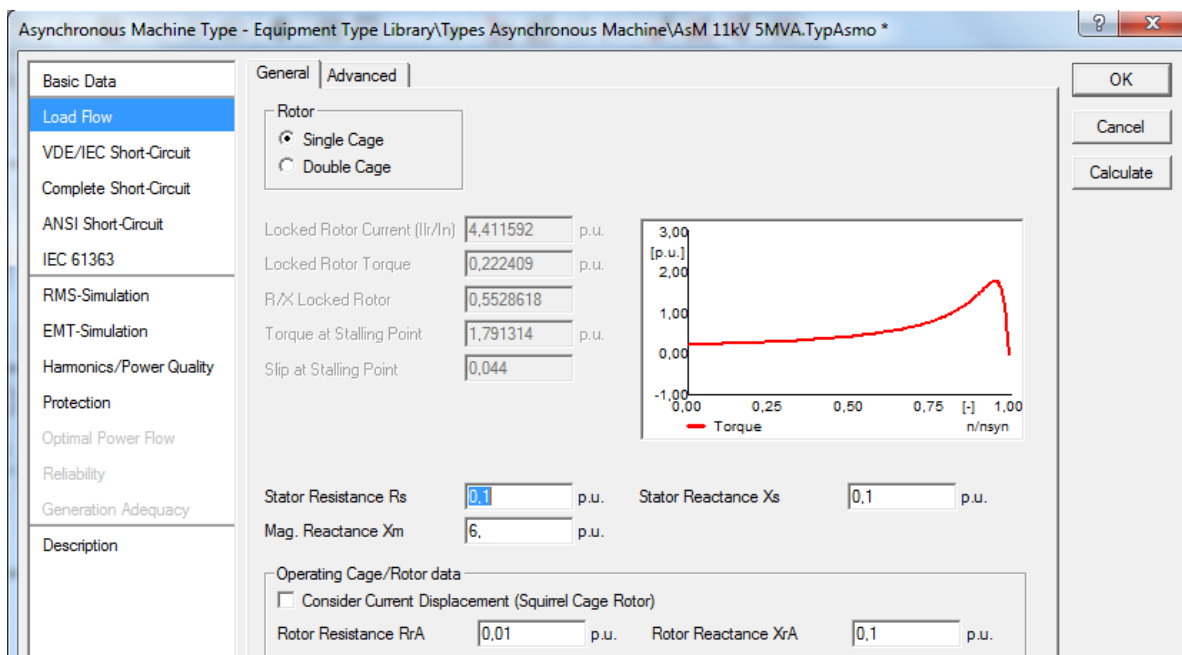
Φτιάχνουμε έναν φάκελο με το όνομα Types Asynchronous Machine και μέσα σε αυτόν ένα αντικείμενο **Asynchronous Machine Type (TypAsmo)**. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου που ανοίγει στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομά του «AsM 11kV 5MVA», την ονομαστική του τάση 11kV, την ονομαστική του συχνότητα 50Hz, 2 ζεύγη πόλων και σύνδεση σε τρίγωνο. Την ονομαστική ισχύ της μηχανής μπορούμε να την ορίσουμε είτε μέσω της μηχανικής ισχύος εξόδου είτε μέσω της φαινόμενης ηλεκτρικής ισχύος εισόδου. Προφανώς, η διάκριση αυτή έχει να κάνει με την χρήση για την οποία προορίζεται η μηχανή ως κινητήρας ή ως γεννήτρια αντίστοιχα. Ορίζουμε την μηχανική ισχύ εξόδου στα 4165kW και βλέπουμε ότι η φαινόμενη ηλεκτρική ισχύς εισόδου υπολογίζεται αυτόματα στα 4457kVA. Η περαιτέρω παραμετροποίηση της ασύγχρονης μηχανής γίνεται με δύο τρόπους από το πεδίο **Input Mode**. Ο πρώτος είναι ορίζοντας τα

σημεία των χαρακτηριστικών καμπυλών στην καρτέλα Basic Data και ο δεύτερος είναι ορίζοντας τις ηλεκτρικές παραμέτρους του ισοδυνάμου κυκλώματος στην καρτέλα Load Flow. Εμείς επιλέγουμε τον δεύτερο τρόπο οπότε βλέπουμε ότι κάποια πεδία είναι απενεργοποιημένα στην καρτέλα Basic Data.



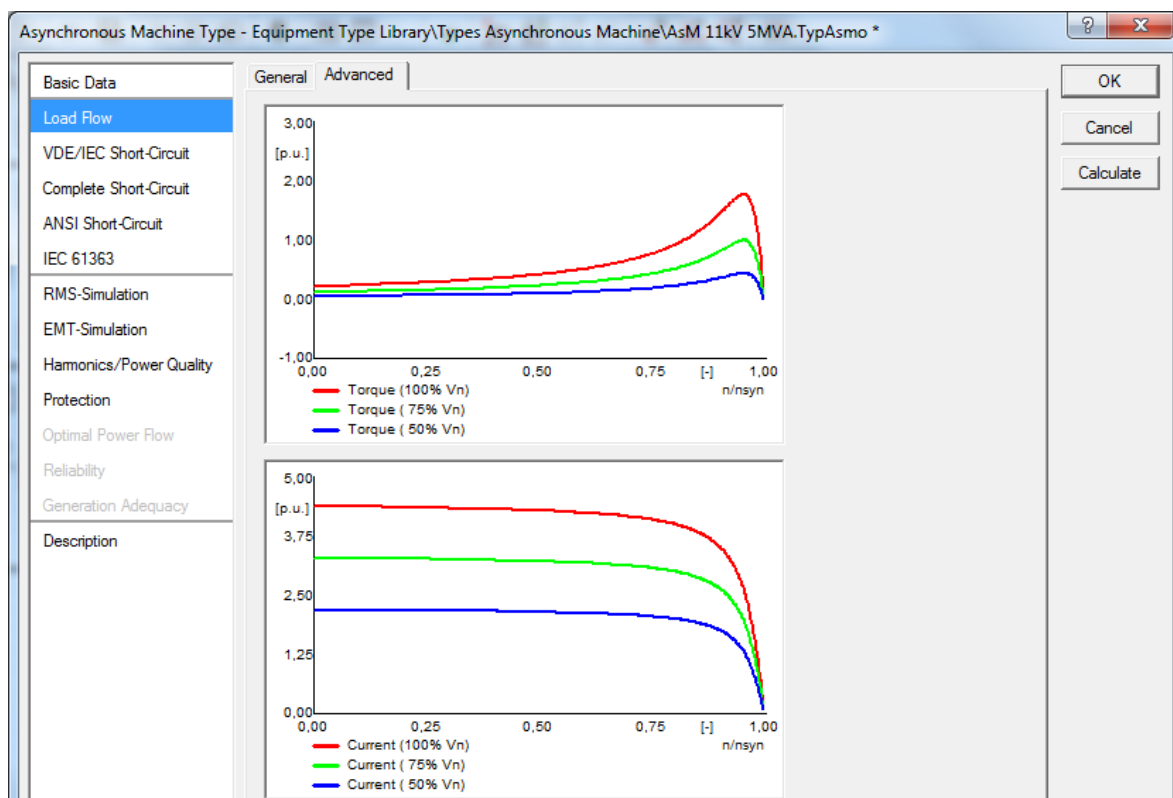
E2.28: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα **Load Flow** έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε αν η μηχανή θα είναι απλού ή διπλού κλωβού και να ορίσουμε τις ηλεκτρικές παραμέτρους της. Τα πεδία αυτά θα ήταν απενεργοποιημένα αν είχαμε διαλέξει προηγουμένως την παραμετροποίηση της μηχανής μέσω των χαρακτηριστικών καμπυλών. Αλλάζοντας τις ρυθμίσεις σε αυτά τα πεδία αλλάζουν οι τιμές στα κλειδωμένα πεδία καθώς και η προεπισκόπηση της χαρακτηριστικής καμπύλης ροπής-ταχύτητας.



E2.29: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - Load Flow/General

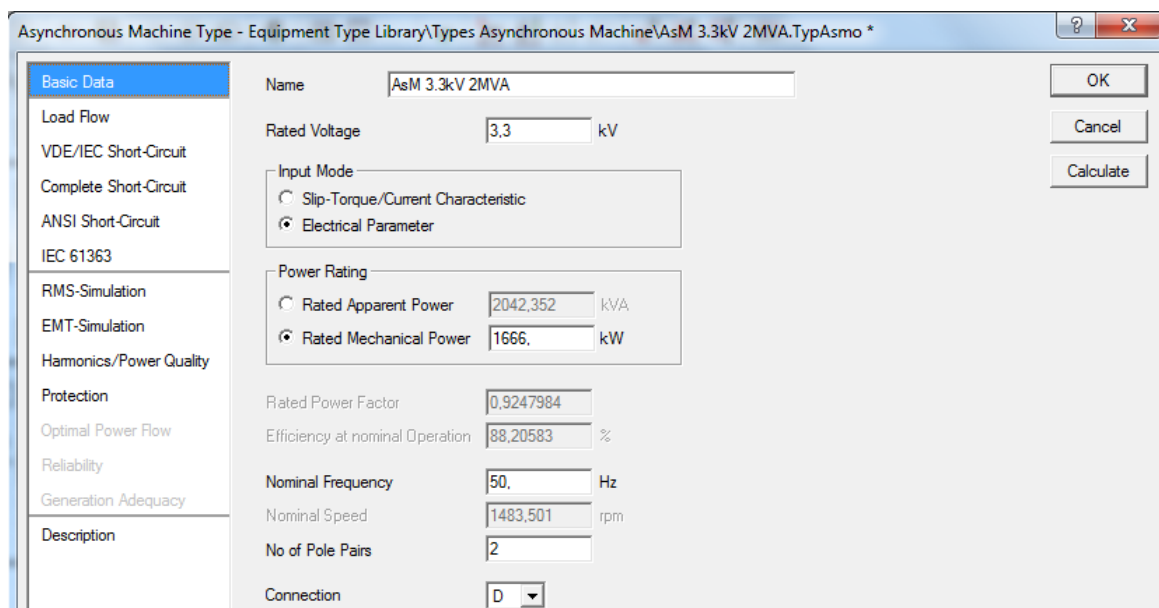
Η καρτέλα Load Flow έχει δύο υποκαρτέλες, τις **General** και **Advanced**. Στην δεύτερη μπορούμε να δούμε την μεταβολή των χαρακτηριστικών καμπυλών ροπής-ταχύτητας και ρεύματος-ταχύτητας για τρία διαφορετικά επίπεδα τάσης.



Ε2.30: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - Load Flow/Advanced

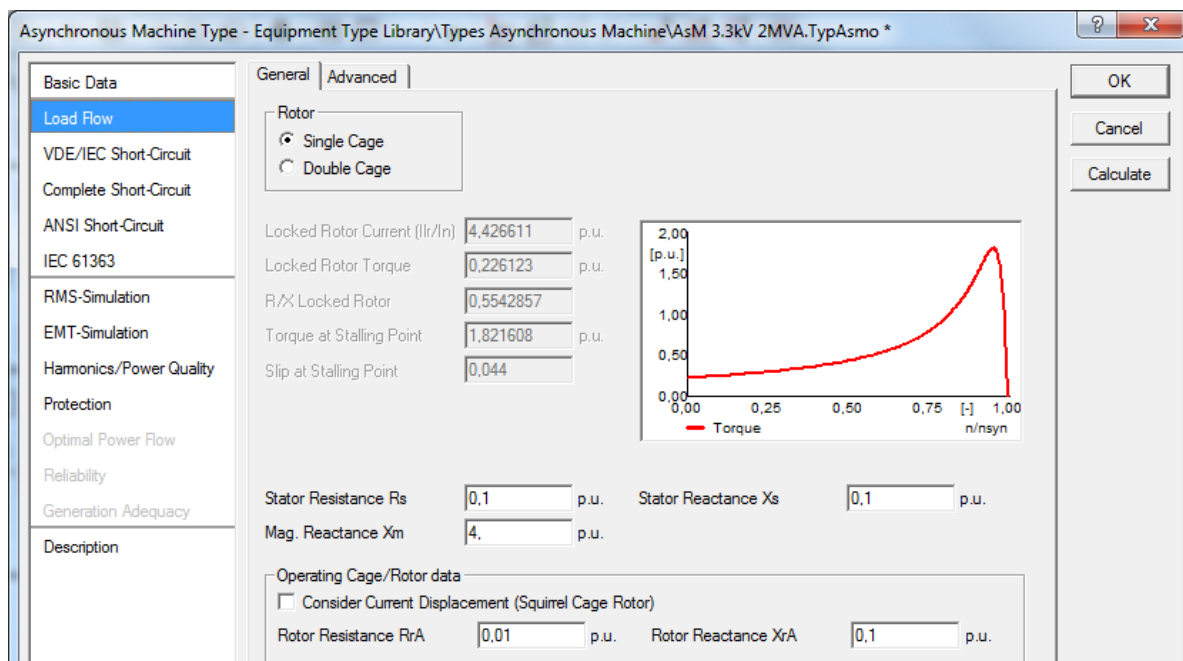
Αν επιστρέψουμε τώρα στην καρτέλα **Basic Data** θα δούμε ότι και εδώ οι τιμές στα κλειδωμένα πεδία έχουν αλλάξει. Πλέον η ηλεκτρική ισχύς εισόδου που αντιστοιχεί στην μηχανική ισχύ εξόδου που έχουμε ορίσει είναι 4975kVA.

Πατώντας **OK** το μοντέλο της ασύγχρονης μηχανής έχει δημιουργηθεί. Με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε άλλο ένα μοντέλο με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στις παρακάτω εικόνες όπως είναι μετά το τέλος της επεξεργασίας.



Ε2.31: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data

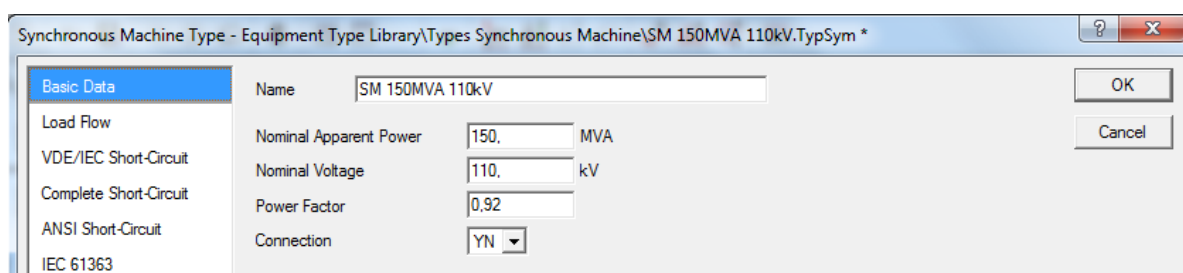




E2.32: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασύγχρονης μηχανής - καρτέλα Load Flow

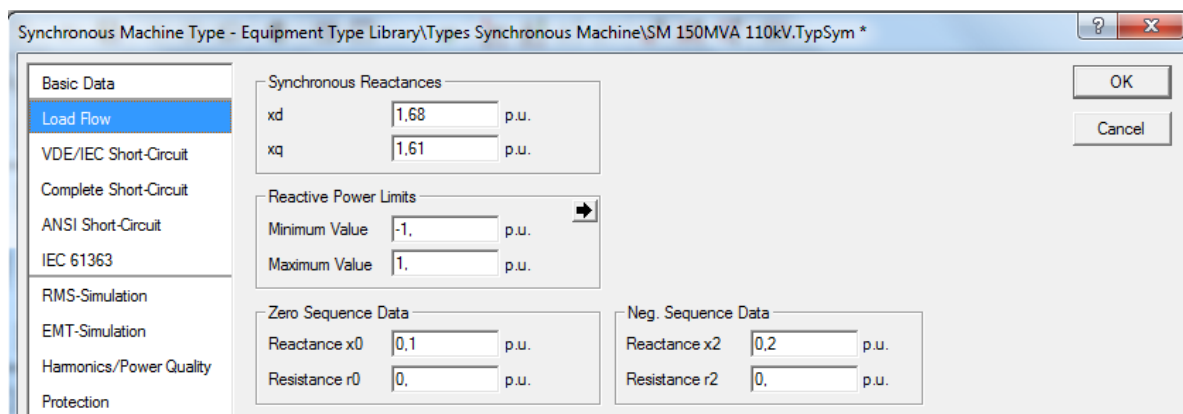
### 2.4.5 Δημιουργία βιβλιοθήκης για σύγχρονες μηχανές

Το δίκτυο που σχεδιάσαμε στην ενότητα 2.3 δεν περιέχει σύγχρονη μηχανή, ωστόσο οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε ηλεκτρικά συστήματα κυρίως ως γεννήτριες και είναι σημαντικό να δούμε πώς φτιάχνεται μία τέτοια βιβλιοθήκη. Ακολουθώντας τα γνωστά βήματα φτιάχνουμε έναν φάκελο με το όνομα **Types Synchronous Machine** και μέσα σε αυτόν τον φάκελο φτιάχνουμε ένα νέο αντικείμενο **Synchronous Machine Type (TypSym)**. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου που ανοίγει συμπληρώνουμε στην καρτέλα **Basic Data** το όνομα, τα ονομαστικά μεγέθη ισχύος, τάσης, συντελεστή ισχύος της μηχανής καθώς και την συνδεσμολογία των τυλιγμάτων της.



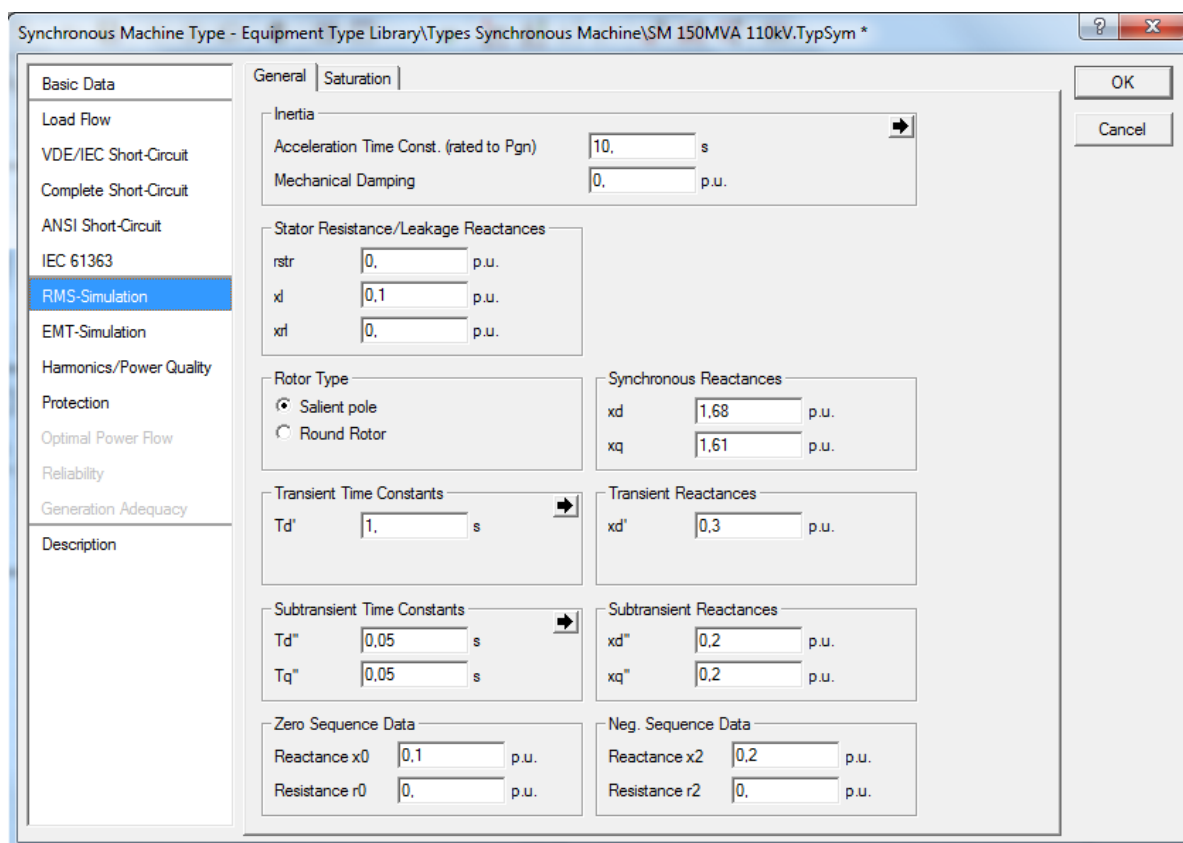
E2.33: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα **Load Flow** συμπληρώνουμε τις σύγχρονες αντιδράσεις της μηχανής, τις ακολουθιακές παραμέτρους και τα όρια της μηχανής σχετικά με την δυνατότητα παραγωγής αέργου ισχύος.



Ε2.34: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - καρτέλα Load Flow

Στις καρτέλες VDE/IEC Short-Circuit, Complete Short-Circuit, ANSI Short-Circuit και IEC 61363 είναι δυνατός ο ορισμός των μεταβατικών και υπομεταβατικών παραμέτρων για κάθε μία από αυτές τις μεθόδους υπολογισμού βραχυκυκλώματος ξεχωριστά. Στην καρτέλα **RMS-Simulation** στο πεδίο **Rotor Type** επιλέγουμε δρομέα έκτυπων πόλων.



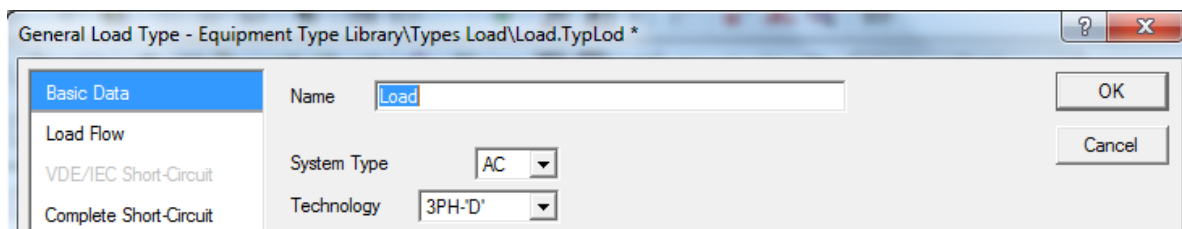
Ε2.35: Παράθυρο ορισμού μοντέλου σύγχρονης μηχανής - RMS-Simulation/General

Τέλος, στην υποκαρτέλα Saturation της καρτέλας RMS-Simulation μπορούμε να παραμετροποιήσουμε τον κορεσμό της μηχανής ή ακόμα και να ορίσουμε χειροκίνητα τα σημεία της καμπύλης κορεσμού. Η προεπιλεγμένη επιλογή είναι μία καμπύλη λειτουργία χωρίς κορεσμό. Πατώντας **OK** το μοντέλο της σύγχρονης μηχανής έχει δημιουργηθεί.

## 2.4.6 Δημιουργία βιβλιοθήκης για φορτία

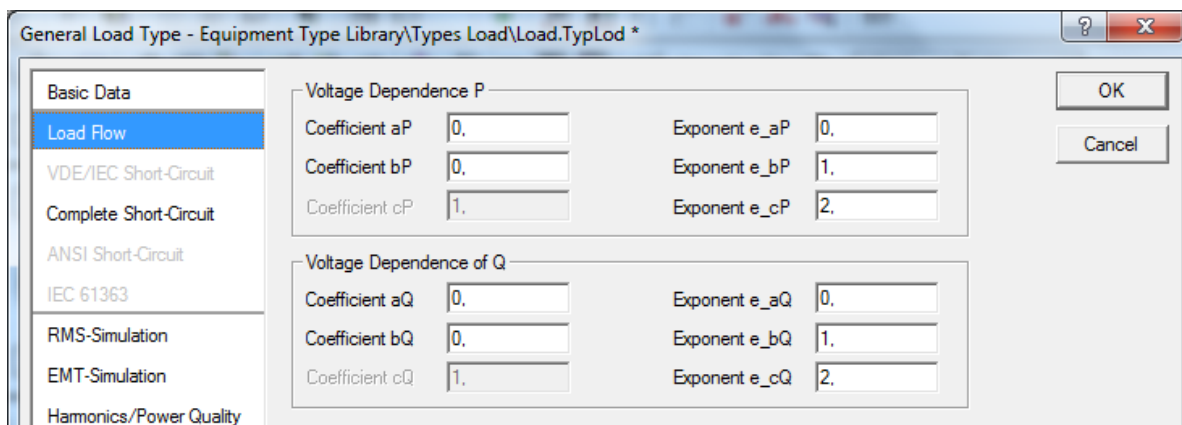
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, τα φορτία και οι ζυγοί είναι μοναδικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού συστήματος τα οποία το PowerFactory αποδέχεται χωρίς να τους έχει αποδοθεί κάποιο μοντέλο από την βιβλιοθήκη. Για όλα τα άλλα στοιχεία, αν δεν έχουν κάποιο μοντέλο το PowerFactory δεν μπορεί να τρέξει καμία διαδικασία προσομοίωσης όπως ροή φορτίου ή βραχυκύκλωμα και βγάζει μήνυμα σφάλματος στο output window. Παρ' όλα αυτά, στην περίπτωση των φορτίων είναι δυνατή η δημιουργία μοντέλων που προσδίδουν στα φορτία πιο εξεζητημένες συμπεριφορές από την απλή κατανάλωση συγκεκριμένης ισχύος, όπως η εξάρτηση από την τάση και η στατικότητα. Η παραμετροποίηση βέβαια τέτοιων μοντέλων είναι μία υπόθεση με την οποία δεν θα ασχοληθούμε αλλά αξίζει να δούμε τις δυνατότητες του PowerFactory και σε αυτό το πεδίο.

Αρχικά φτιάχνουμε έναν φάκελο με το όνομα Types Load και μέσα σε αυτόν φτιάχνουμε ένα νέο αντικείμενο **General Load Type (TypLod)**. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου που ανοίγει στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομα του μοντέλου και το είδος του φορτίου.



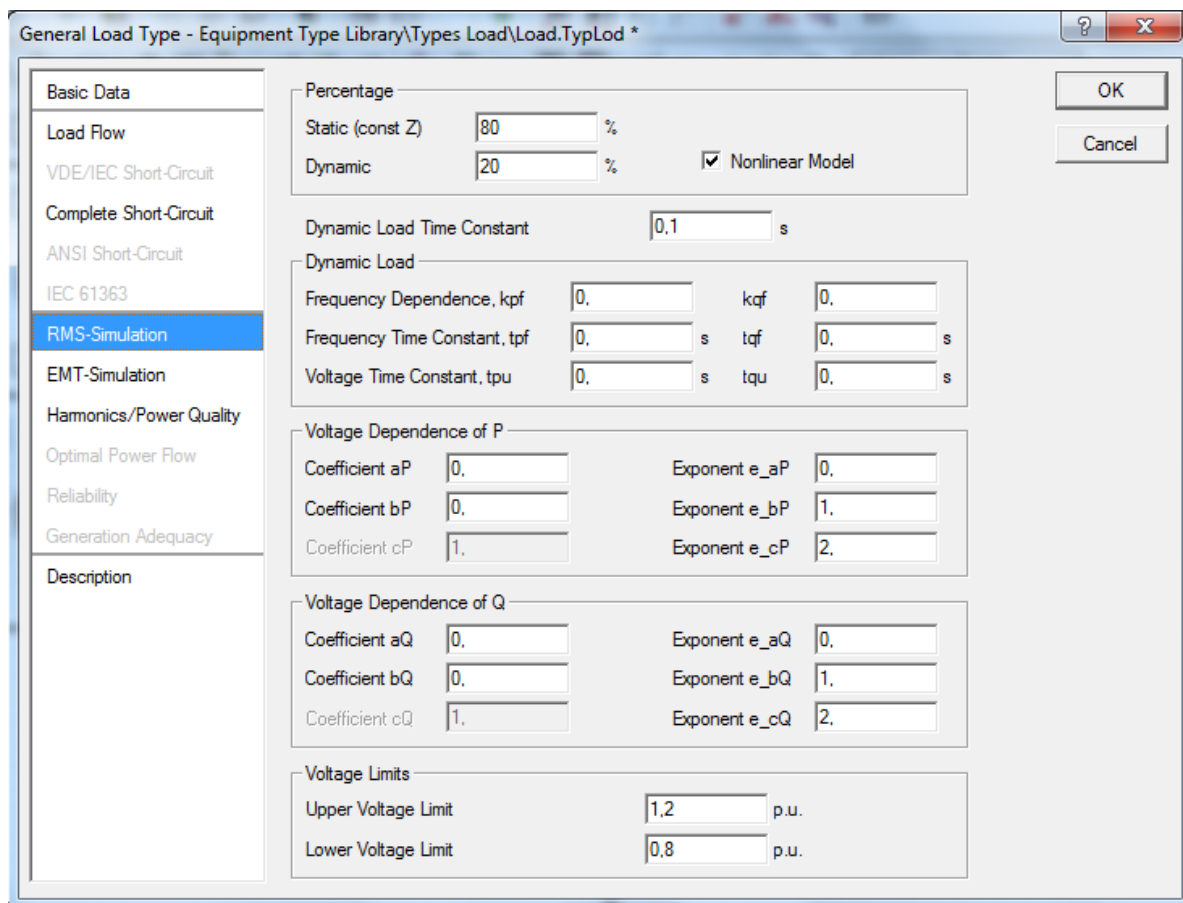
E2.36: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα **Load Flow** παραμετροποιούμε την εξάρτηση της ενεργού και της άεργου ισχύος του φορτίου από την τάση.



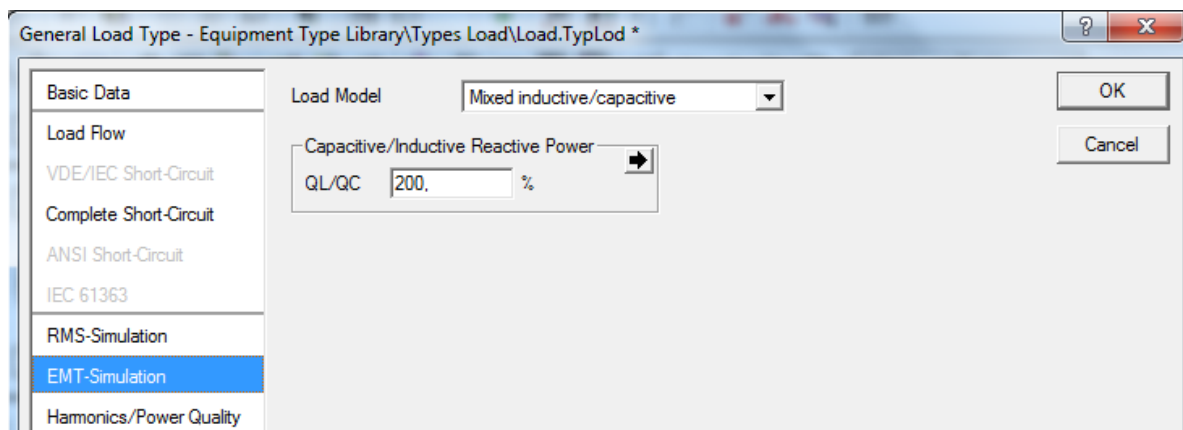
E2.37: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα Load Flow

Στην καρτέλα **RMS-Simulation** ορίζουμε το ποσοστό του φορτίου που είναι στατικό και το ποσοστό που είναι δυναμικό. Αν δεν είναι όλο το φορτίο στατικό τότε ενεργοποιούνται και τα παρακάτω πεδία που φαίνονται στην εικόνα.



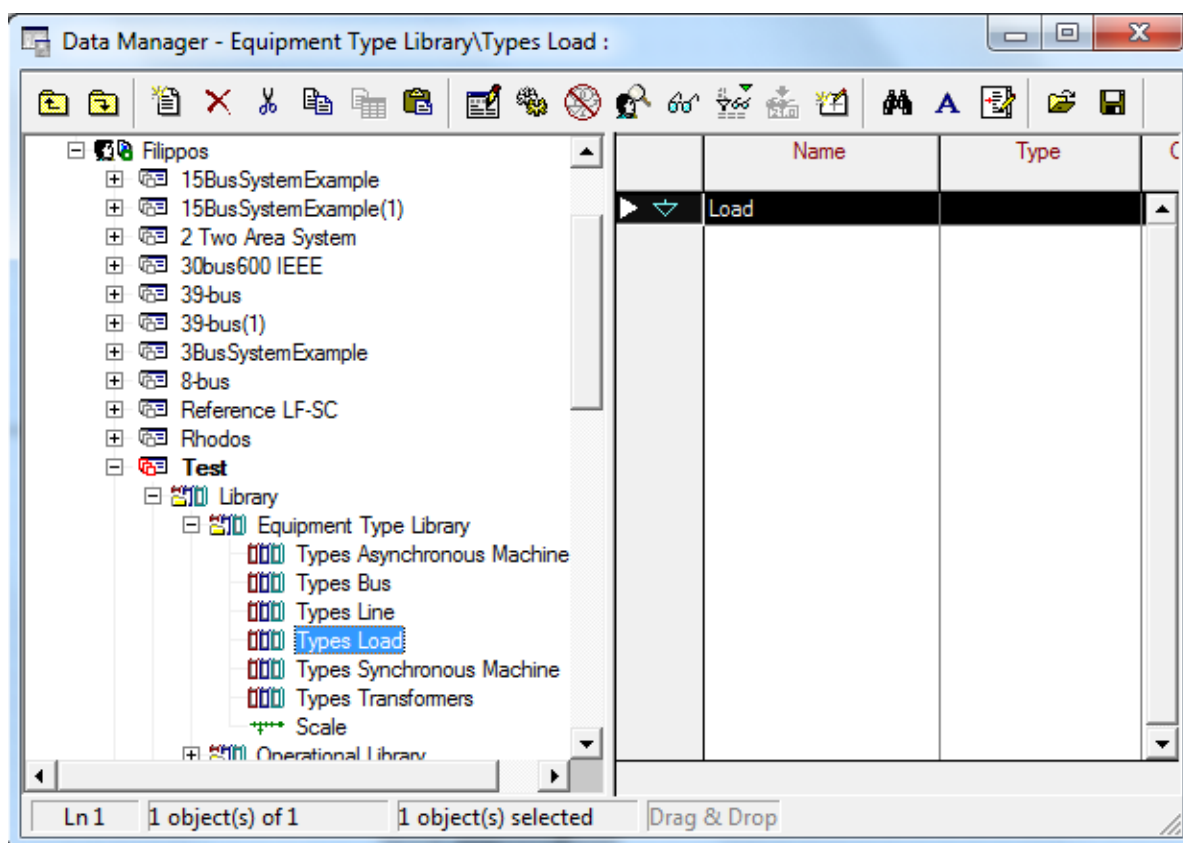
E2.38: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα RMS-Simulation

Στην καρτέλα **EMT-Simulation** ορίζουμε αν το φορτίο θα είναι αμιγώς επαγωγικό ή χωρητικό ανάλογα με την περίπτωση ή αν θα περιέχει επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία ανεξαρτήτως του συνολικού του συντελεστή ισχύος. Στην δεύτερη περίπτωση μπορούμε να ορίσουμε τον λόγο των αέργων ισχύων των δύο αυτών στοιχείων.



E2.39: Παράθυρο ορισμού μοντέλου φορτίου - καρτέλα EMT-Simulation

Ορίζουμε το φορτίο 100% στατικό και αμιγώς επαγωγικό/χωρητικό και πατάμε **OK**. Το μοντέλο του φορτίου έχει δημιουργηθεί και πλέον η βιβλιοθήκη του project έχει συμπληρωθεί.



E2.40: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων

Σε επόμενη ενότητα που θα ασχοληθούμε με την προστασία στο PowerFactory θα φτιάξουμε και άλλες βιβλιοθήκες ηλεκτρονόμων, ασφαλειών και μετασχηματιστών έντασης και τάσης.

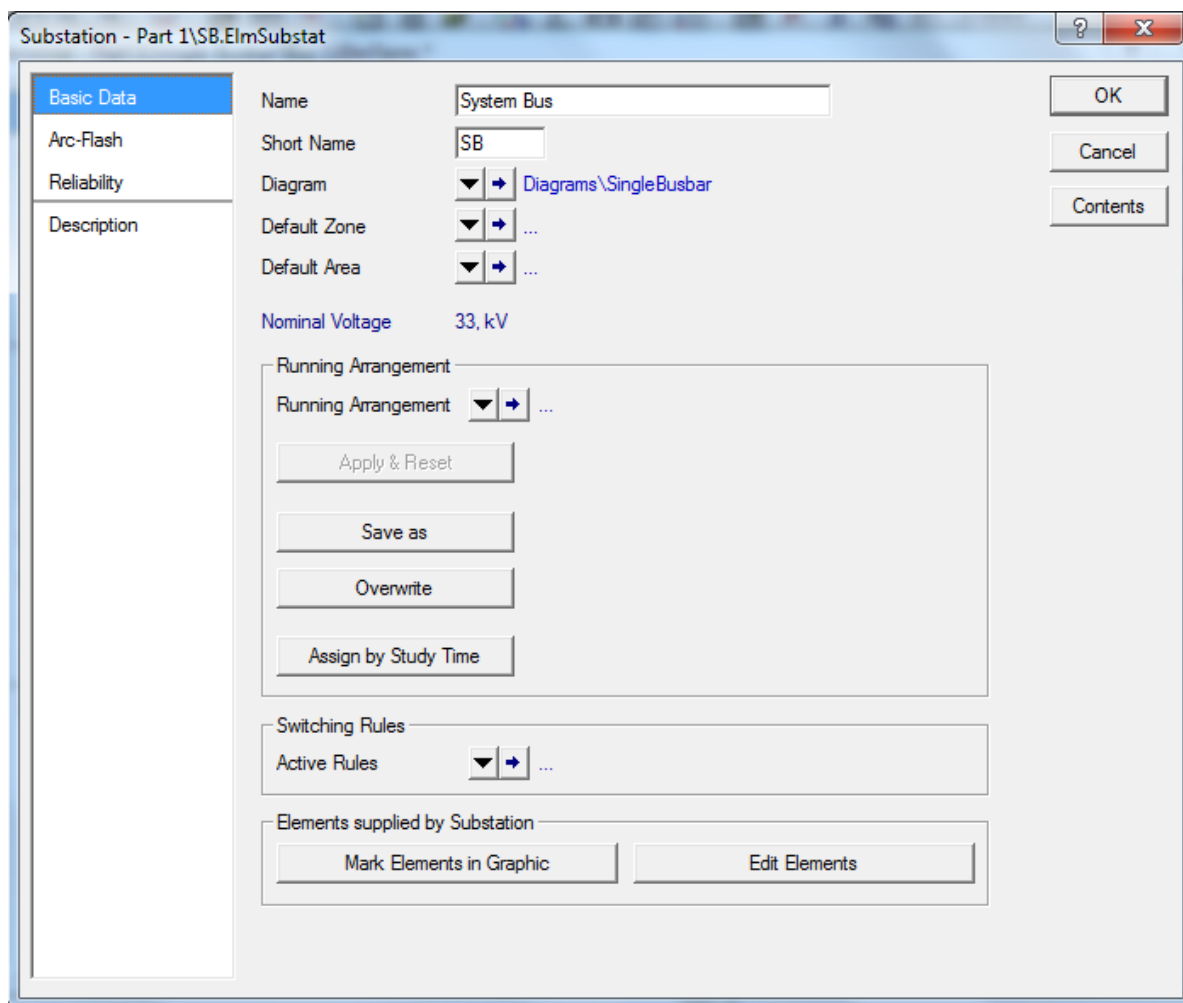
## 2.5 Επεξεργασία στοιχείων Δικτύου Διανομής

Αφού έχουμε σχεδιάσει το Δίκτυο Διανομής και έχουμε φτιάξει τις βιβλιοθήκες μπορούμε να προχωρήσουμε στην επεξεργασία και την παραμετροποίηση των στοιχείων. Σε αυτή την ενότητα, θα χρησιμοποιήσουμε διάφορους τρόπους για να αλλάξουμε τα ονόματα και τις ρυθμίσεις κάθε στοιχείου ώστε το δίκτυο που έχουμε σχεδιάσει να γίνει πλήρως λειτουργικό. Στις περισσότερες περιπτώσεις η επεξεργασία ενός στοιχείου γίνεται από το παράθυρο επεξεργασίας του. Οι τρόποι που θα αναφέρουμε έχουν κυρίως να κάνουν με τους διάφορους τρόπους να καταλήξουμε σε αυτό το παράθυρο αλλά έχει σημασία να τους δούμε γιατί πολλές φορές αποδεικνύονται χρήσιμοι.

### 2.5.1 Επεξεργασία ζυγών μέσω του παραθύρου επεξεργασίας

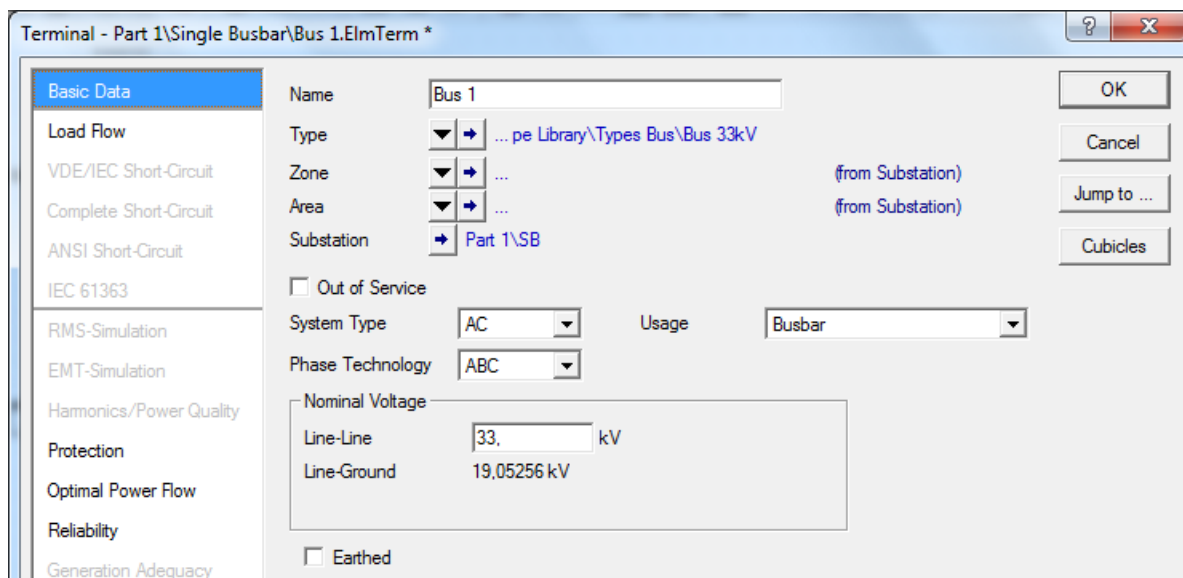
Ο πιο εύκολος τρόπος να ανοίξουμε το παράθυρο επεξεργασίας ενός στοιχείου είναι κάνοντας διπλό κλικ πάνω στο στοιχείο στο single line graphic. Θα ξεκινήσουμε την επεξεργασία των στοιχείων από τους ζυγούς. Κάνουμε διπλό κλικ στον πάνω αριστερά ζυγό και ανοίγουμε το παράθυρο επεξεργασίας του. Συμπληρώνουμε το όνομα του ζυγού «Bus 1». Η ανάθεση μοντέλου από την βιβλιοθήκη γίνεται από το πεδίο Type. Κάνουμε κλικ στο μαύρο βέλος που δείχνει προς τα κάτω δίπλα από το **Type** και στην λίστα που εμφανίζεται επιλέγουμε **Select Project Type**. Η επιλογή αυτή ανοίγει τον Data Manager και μας οδηγεί κατ' ευ-

θείαν στην βιβλιοθήκη ζυγών του project, δηλαδή τον φάκελο Types Bus που φτιάξαμε στην προηγούμενη ενότητα. Αν αυτό δεν γίνει τότε πρέπει να ανοίξουμε το δέντρο μέχρι να τον βρούμε. Όταν τον επιλέξουμε, στο δεξί μέρος του παραθύρου του Data Manager φαίνονται τα περιεχόμενά του, δηλαδή τα μοντέλα ζυγών που έχουμε φτιάξει. Επιλέγουμε το μοντέλο Bus 33kV κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του ζυγού αριστερά από το όνομά του. Αν κάνουμε διπλό κλικ πάνω στο όνομα του μοντέλο τότε μπαίνει σε edit mode του ονόματος, οπότε βγαίνουμε χωρίς να αποθηκεύσουμε τις αλλαγές και ξαναδοκιμάζουμε. Μετά το διπλό κλικ το παράθυρο του Data Manager κλείνει και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού όπου φαίνεται το μοντέλο που επιλέξαμε. Αν στην λίστα είχαμε επιλέξει Select Global Type το παράθυρο του Data Manager που θα άνοιγε θα μας οδηγούσε κατ' ευθείαν στην βιβλιοθήκη ζυγών της Global Library όπου υπάρχουν κάποια έτοιμα μοντέλα. Με την επιλογή New Project Type θα μπορούσαμε να φτιάξουμε απευθείας ένα καινούριο μοντέλο, που θα αποθηκευόταν στον φάκελο Equipment Type Library, και να το αναθέσουμε σε αυτό τον ζυγό. Στο πεδίο **Nominal Voltage** ορίζουμε την πολική τάση στα 33kV. Το γεγονός ότι η τάση ενός ζυγού ορίζεται και από αυτό το πεδίο είναι ο λόγος που για το PowerFactory δεν είναι υποχρεωτική η ανάθεση κάποιου μοντέλου στους ζυγούς. Στην συνέχεια κάνουμε κλικ στο μπλε δεξιό βέλος δίπλα από το πεδίο **Substation** και ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του υποσταθμού. Συμπληρώνουμε το όνομα του υποσταθμού «System Bus» και από κάτω την συντομογραφία «SB».



E2.41: Παράθυρο επεξεργασίας υποσταθμού

Πατώντας **OK** επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού.



Ε2.42: Παράθυρο επεξεργασίας ζυγού

Πατώντας **OK** ολοκληρώνουμε την επεξεργασία του ζυγού και επιστρέφουμε στο single line graphic. Πλέον δίπλα από τον ζυγό υπάρχει το διακριτικό «SB/Bus 1», δηλαδή η συντομογραφία του ονόματος του υποσταθμού και το όνομα του ζυγού. Αν δεν είχαμε ορίσει συντομογραφία θα έγραφε ολόκληρο το όνομα του υποσταθμού.

Με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή κάνοντας διπλό κλικ πάνω σε κάθε ζυγό και ανοίγοντας το παράθυρο επεξεργασίας τους, μορφοποιούμε και τους άλλους ζυγούς ως εξής:

Μεσαίος αριστερά ζυγός

Όνομα: Bus 2  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV  
 Όνομα υποσταθμού: Grid Bus  
 Συντομογραφία: GB

Κάτω αριστερά ζυγός

Όνομα: Bus 3  
 Type: Bus 3.3kV  
 Πολική τάση: 3.3kV  
 Όνομα υποσταθμού: Private Bus  
 Συντομογραφία: PB

Πάνω δεξιά ζυγός

Όνομα: Bus 4  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV  
 Όνομα υποσταθμού: Load Bus  
 Συντομογραφία: LB

Πρώτος ενδιάμεσος κόμβος

Όνομα: Bus 5  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV

Δεύτερος ενδιάμεσος κόμβος

Όνομα: Bus 6  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV

Τρίτος ενδιάμεσος κόμβος

Όνομα: Bus 7  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV

Κάτω δεξιά ζυγός

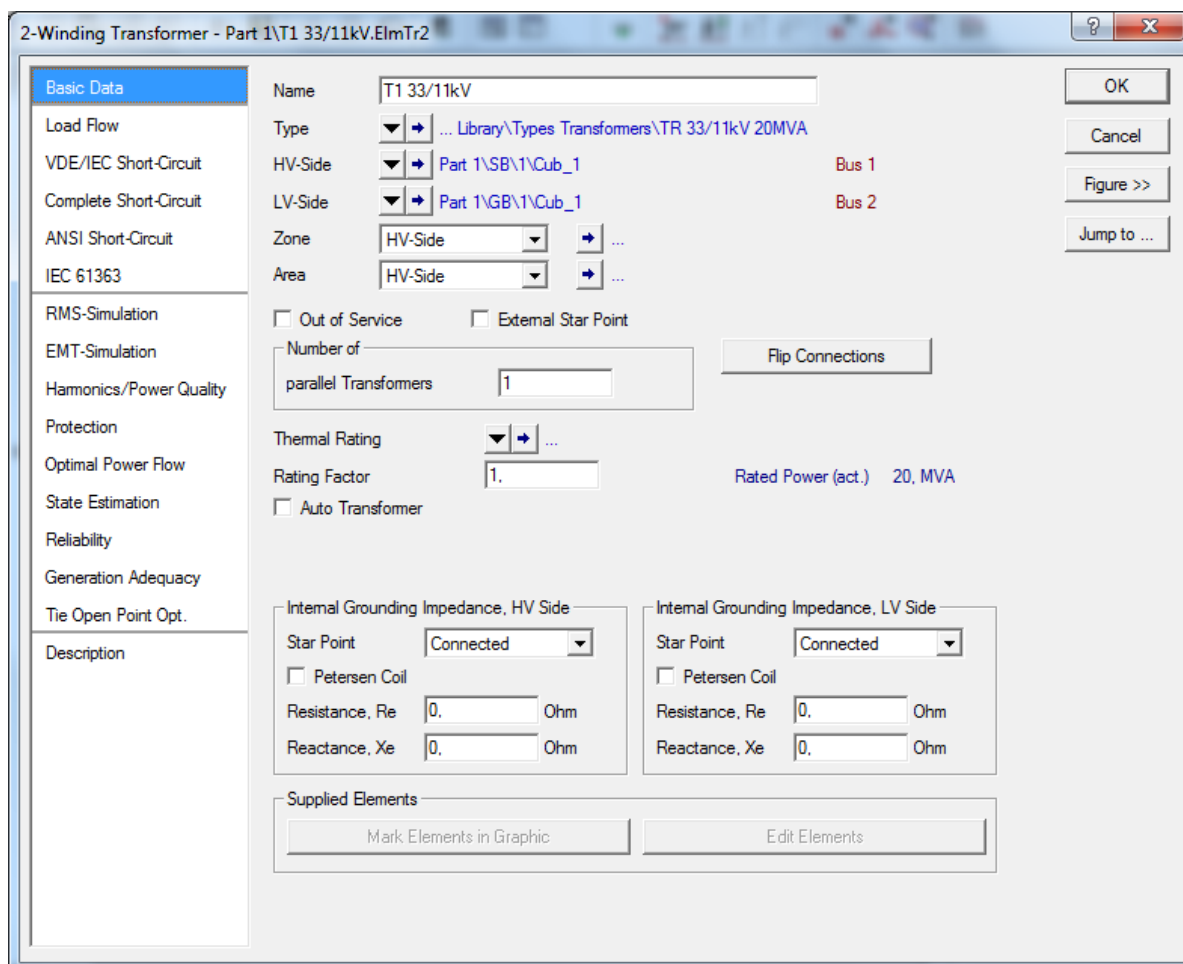
Όνομα: Bus 8  
 Type: Bus 11kV  
 Πολική τάση: 11kV

Οι τρεις ενδιάμεσοι κόμβοι και ο κάτω δεξιά ζυγός δεν έχουν υποσταθμό. Κατά τα άλλα το παράθυρο επεξεργασίας τους είναι ίδιο με αυτό των άλλων.

### 2.5.2 Επεξεργασία μετασχηματιστών με χρήση του κομβίου «Jump to»

Στα παράθυρα επεξεργασίας που είδαμε μέχρι τώρα, πάνω δεξιά εκτός από τα κομβία OK και Cancel υπάρχει και το κομβίο Jump to. Το κομβίο αυτό μας βοηθάει να περνάμε από το παράθυρο επεξεργασίας ενός στοιχείου στα παράθυρα επεξεργασίας των γειτονικών του στοιχείων.

Ανοίγουμε λοιπόν το παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού 1 και πατάμε **Jump to**. Ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου όπου φαίνονται όλα τα γειτονικά στοιχεία του ζυγού 1, δηλαδή το εξωτερικό δίκτυο και ο μετασχηματιστής. Επιλέγουμε τον μετασχηματιστή και πατάμε **OK**. Το παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού 1 κλείνει και ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή. Στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομα του μετασχηματιστή «T1 33/11kV» και από το πεδίο **Type** διαλέγουμε όπως πριν το αντίστοιχο μοντέλο.

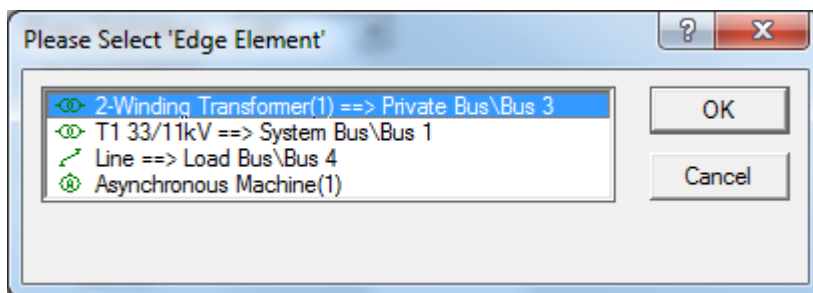


Ε2.43: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή

Στην καρτέλα **Load Flow** ελέγχουμε ότι η επιλογή **Automatic Tap Changing** είναι απενεργοποιημένη αφού δεν έχουμε ορίσει σύστημα αλλαγής τάσης στο μοντέλο που φτιάξαμε στην προηγούμενη ενότητα.

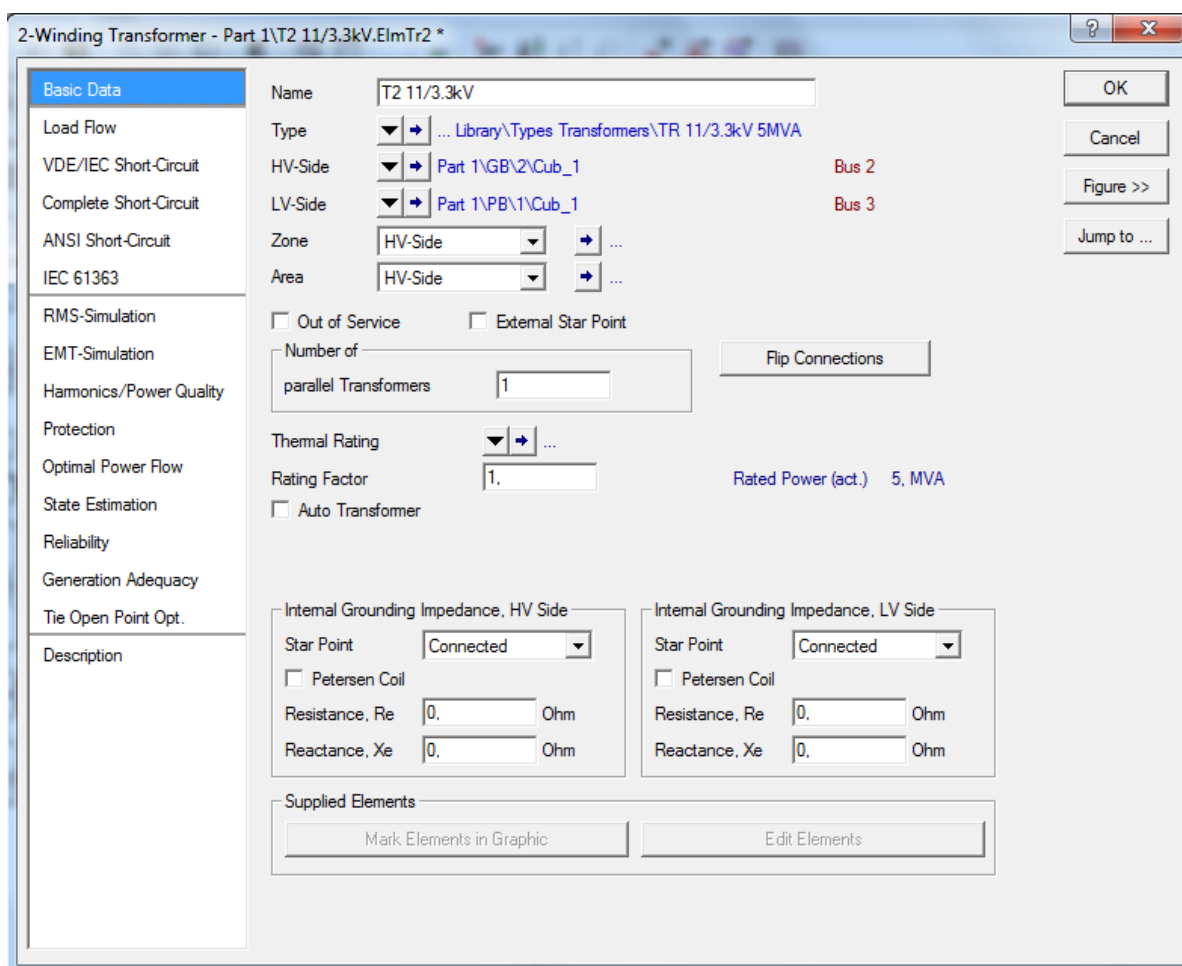
Στην συνέχεια πατάμε **Jump to** και το παράθυρο με τα γειτονικά στοιχεία του μετασχηματιστή, δηλαδή τους ζυγούς 1 και 2, ανοίγει. Επιλέγουμε τον ζυγό 2 και πατάμε **OK**. Ένα άλλο παράθυρο διαλόγου ανοίγει που μας ρωτάει αν θέλουμε να αποθηκεύσουμε τις αλλαγές στον μετασχηματιστή. Πατάμε **YES** και το παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή κλείνει και ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού 2. Αν μετά το YES βγάλει ένα παράθυρο σφάλματος σημαίνει ότι τα άκρα του μετασχηματιστή έχουν συνδεθεί ανάποδα στους ζυγούς. Κλείνουμε το παράθυρο σφάλματος πατώντας **OK** και στο παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή πατάμε το κομβίο **Flip Connections** και επιχειρούμε ξανά την μεταπήδηση στο παράθυρο επεξεργασίας του ζυγού 2. Ο ζυγός 2 είναι ήδη επεξεργασμένος οπότε πατάμε πάλι **Jump to** και ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου με τα γειτονικά στοιχεία του ζυγού 2, που είναι δύο μετασχηματιστές, μία γραμμή και μία ασύγχρονη μηχανή.





E2.44: Παράθυρο επιλογής στοιχείου μετάβασης

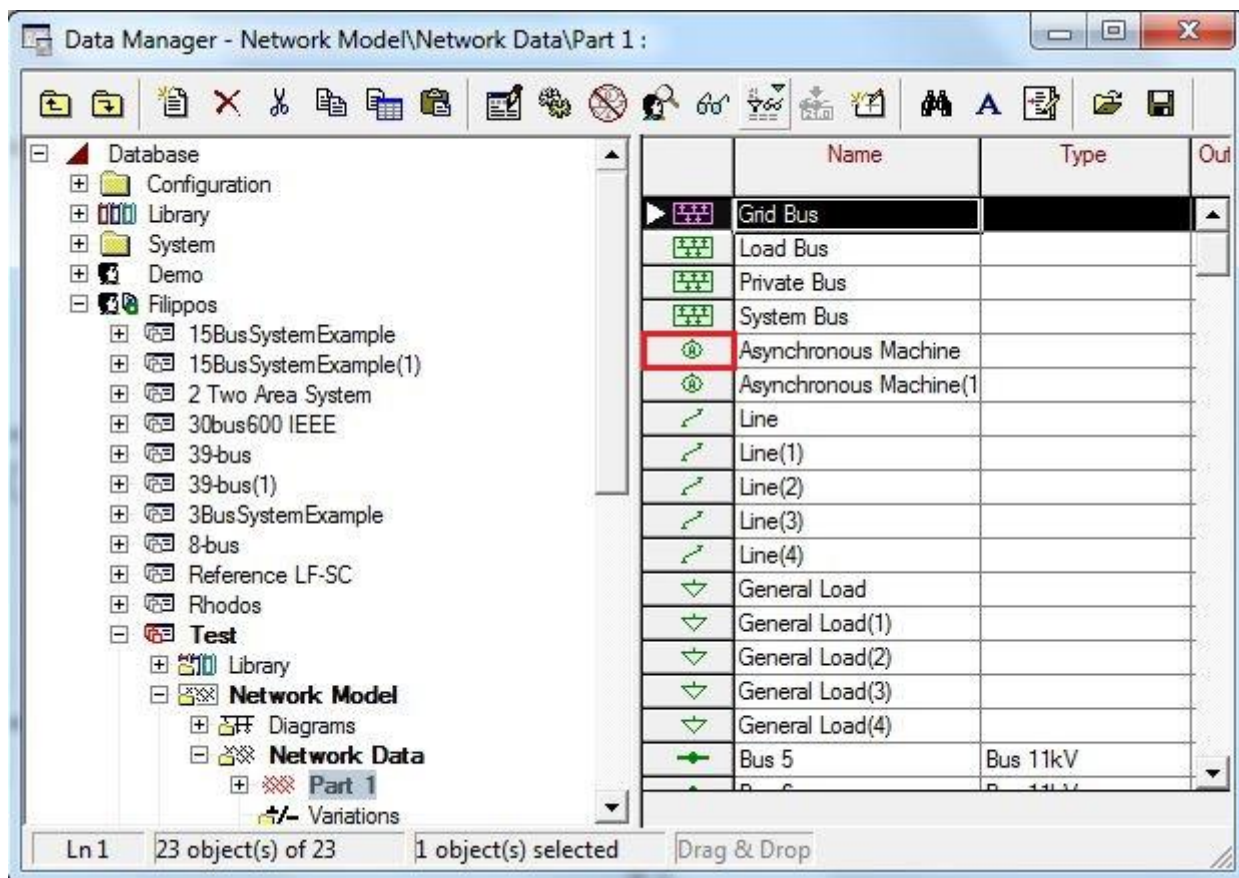
Παρατηρούμε ότι στα στοιχεία που αποτελούν κλάδους του δικτύου, όπως οι δύο μετασχηματιστές και η γραμμή, μας υποδεικνύει τον ζυγό στον οποίο συνδέεται το άλλο άκρο του συγκεκριμένου γειτονικού στοιχείου. Επιλέγουμε λοιπόν τον μετασχηματιστή που είναι προς την μεριά του ζυγού 3 και πατάμε **OK**. Το παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή ανοίγει και συμπληρώνουμε το όνομα και το πεδίο **Type** με το αντίστοιχο μοντέλο όπως πριν. Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic.



E2.45: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή

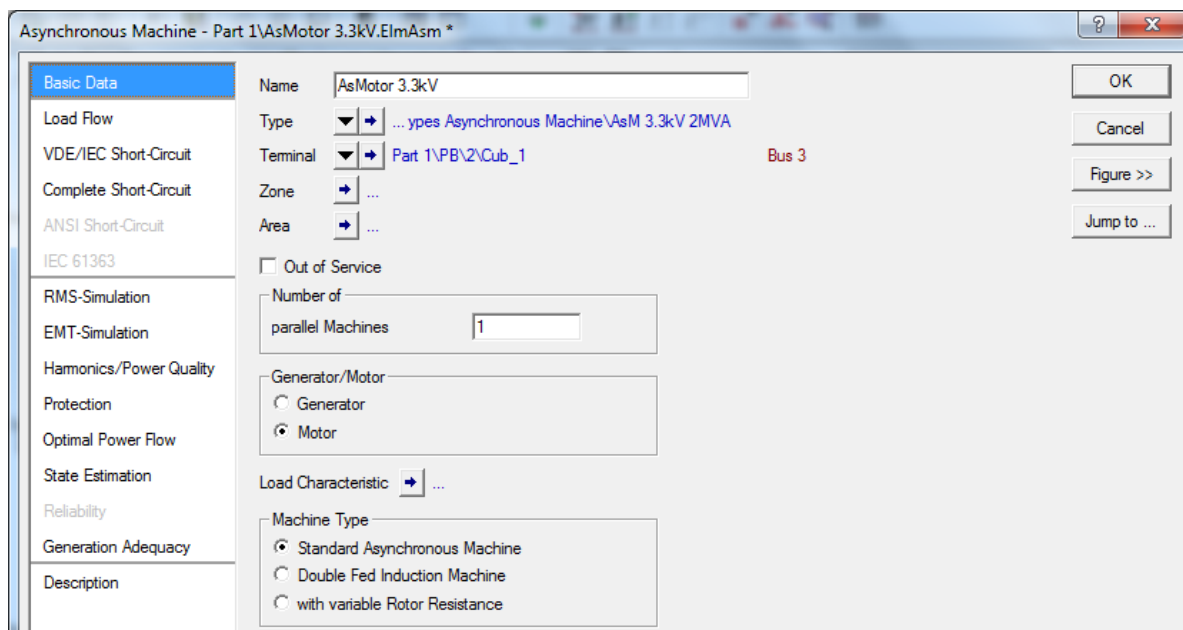
### 2.5.3 Επεξεργασία ασύγχρονων μηχανών και εξωτερικού δικτύου μέσω του Data Manager

Ανοίγουμε τον **Data Manager** από το εικονίδιο του στην κύρια γραμμή εικονιδίων και αναπτύσσουμε το δέντρο στα αριστερά του παραθύρου μέχρι να βρούμε τον φάκελο Database/USER\_NAME/Test/Network Model/Network Data/Part 1. Έχοντας επιλέξει αυτόν τον φάκελο, στα δεξιά του παραθύρου φαίνονται τα περιεχόμενά του που είναι όλα τα στοιχεία του δικτύου. Στον πρώτο από τους δύο ασύγχρονους κινητήρες κάνουμε διπλό κλικ στο εικονίδιο του κινητήρα που φαίνεται σε κόκκινο πλαίσιο στην παρακάτω εικόνα.



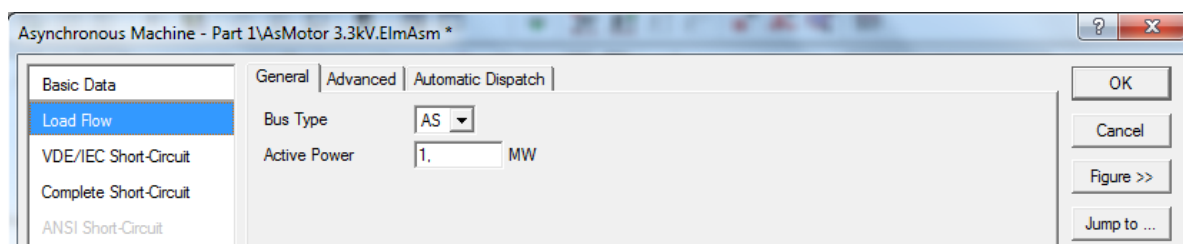
E2.46: Data Manager: Λίστα στοιχείων του δικτύου

Με αυτόν τον τρόπο ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του κινητήρα. Από τα προεπιλεγμένα ονόματα των κινητήρων που φαίνονται στο παράθυρο του Data Manager δεν μπορούμε να καταλάβουμε ποιος από τους δύο κινητήρες είναι αυτός. Στο παράθυρο επεξεργασίας όμως, δίπλα από το πεδίο Terminal βλέπουμε με πορτοκαλί γραμματοσειρά Bus 3, άρα είναι ο κινητήρας στον κάτω αριστερά ζυγό. Στην καρτέλα **Basic Data** συμπληρώνουμε το όνομά του «AsMotor 3.3kV» και του αναθέτουμε το αντίστοιχο μοντέλο, ενώ στο πεδίο Generator/Motor επιλέγουμε **Motor**.



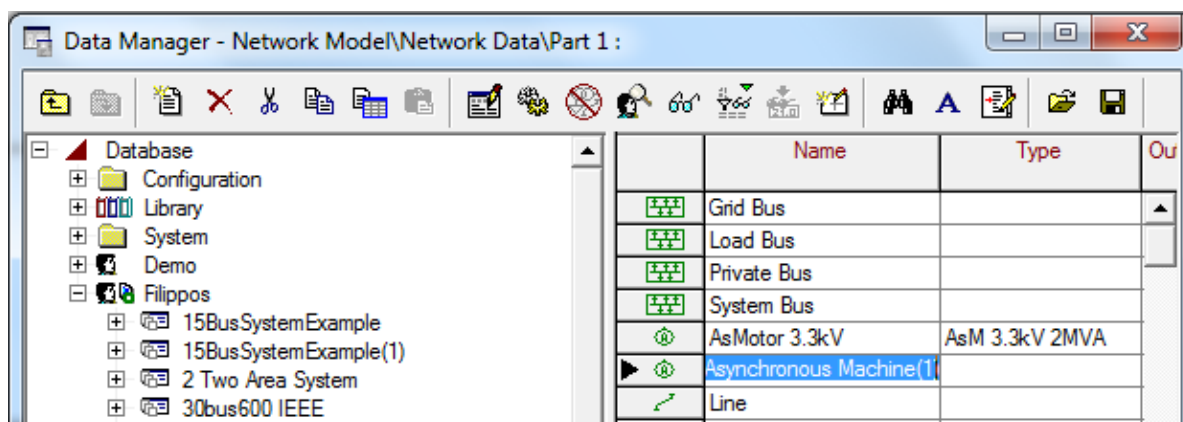
Ε2.47: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα **Load Flow** ορίζουμε την ενεργό ισχύ του κινητήρα στο 1 MW



Ε2.48: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Load Flow

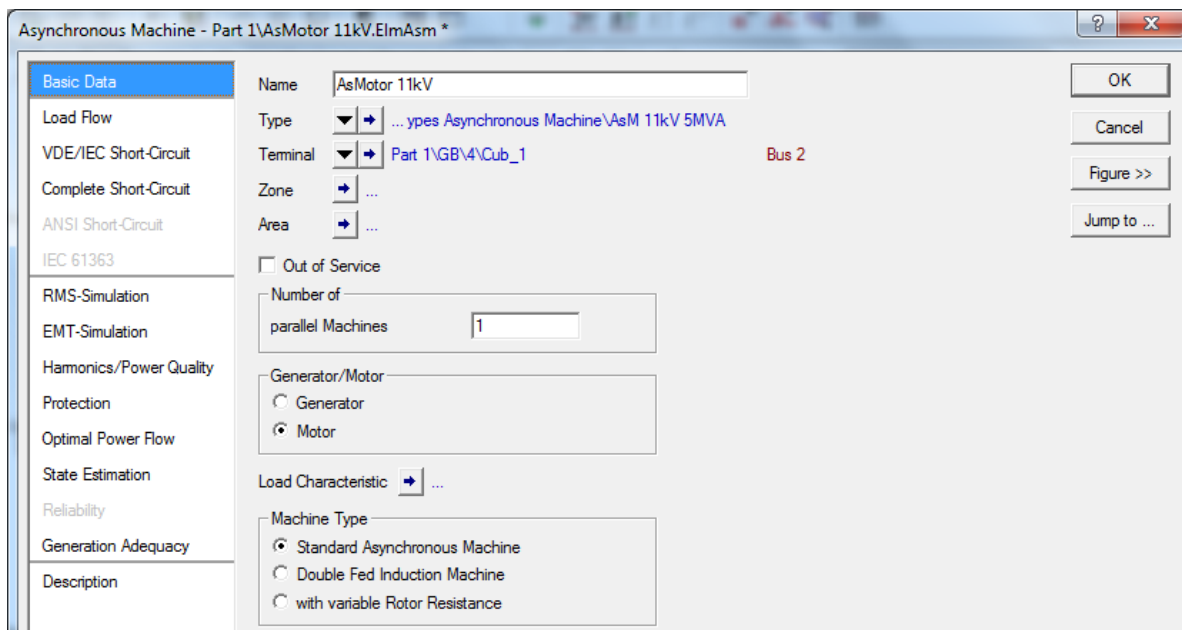
Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο του Data Manager. Το όνομα ενός στοιχείου μπορούμε να το αλλάξουμε από εδώ χωρίς να ανοίξουμε το παράθυρο επεξεργασίας του. Κάνουμε λοιπόν διπλό κλικ στην γραμμή που είναι ο άλλος κινητήρας, πάνω στο κελί που γράφει το όνομά του και όχι στο εικονίδιο του κινητήρα όπως πριν. Έτσι μπορούμε να μορφοποιήσουμε το εσωτερικό του κελιού, δηλαδή το όνομα του κινητήρα.



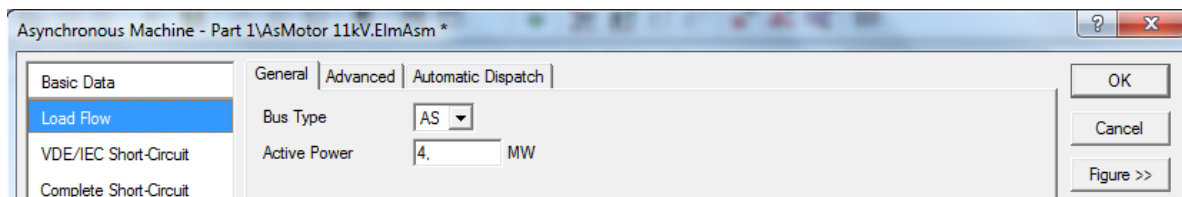
Ε2.49: Data Manager: επεξεργασία ονομάτων στοιχείων από την λίστα

Αλλάζουμε το όνομα σε «AsMotor 11kV» και πατάμε δύο φορές enter για αποθήκευση των αλλαγών. Το κελί Type της διπλανής στήλης θα μπορούσαμε επίσης να συμπληρώσουμε χωρίς να ανοίξουμε το παράθυρο επεξεργασίας με αντι-

γραφή και επικόλληση από το αντίστοιχο κελί του άλλου κινητήρα αλλά οι δύο κινητήρες δεν έχουν το ίδιο μοντέλο. Για τα υπόλοιπα λοιπόν, ανοίγουμε το παράθυρο διαλόγου του κινητήρα και του ορίζουμε μοντέλο και ενεργό ισχύ ίση με 4MW.

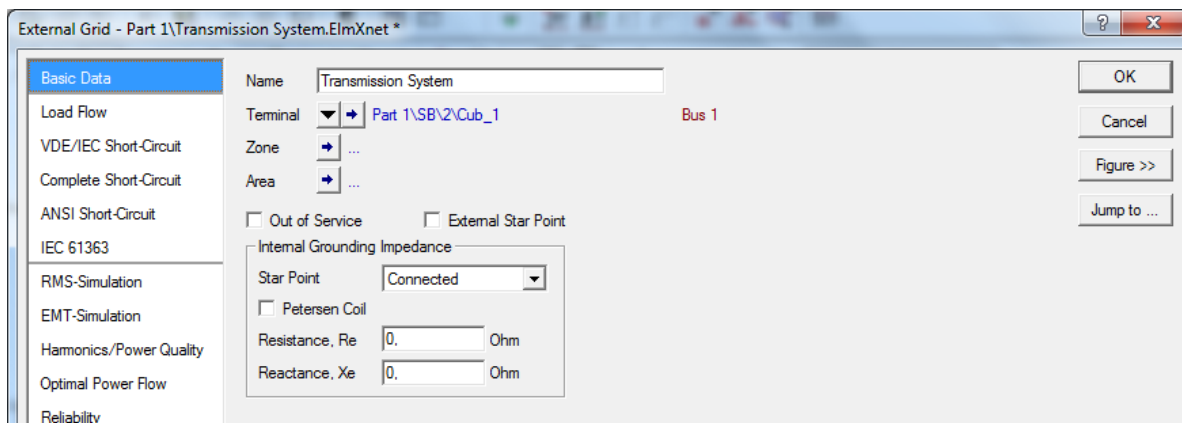


E2.50: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Basic Data



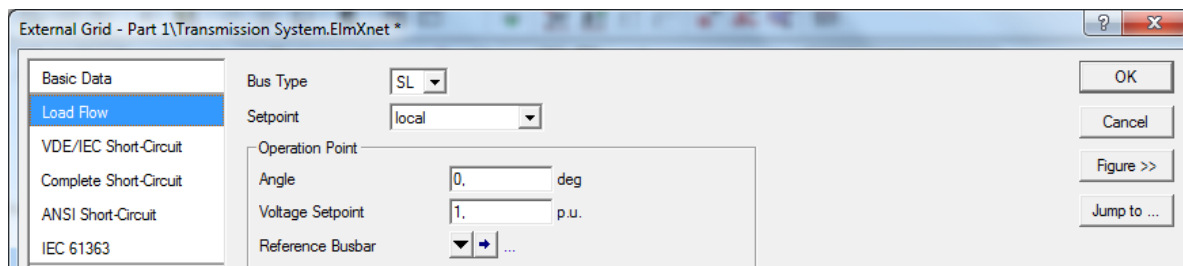
E2.51: Παράθυρο επεξεργασίας ασύγχρονου κινητήρα - καρτέλα Load Flow

Στην συνέχεια, κάνουμε διπλό κλικ στο εικονίδιο του εξωτερικού δικτύου και ανοίγουμε το παράθυρο επεξεργασίας του. Στην καρτέλα **Basic Data** αλλάζουμε το όνομα του στοιχείου σε Transmission System. Το στοιχείο αυτό είναι το μοναδικό στο PowerFactory που δεν έχει πεδίο Type για την ανάθεση κάποιου μοντέλου, γιατί όλες οι πληροφορίες του αποθηκεύονται απευθείας στο στοιχείο.



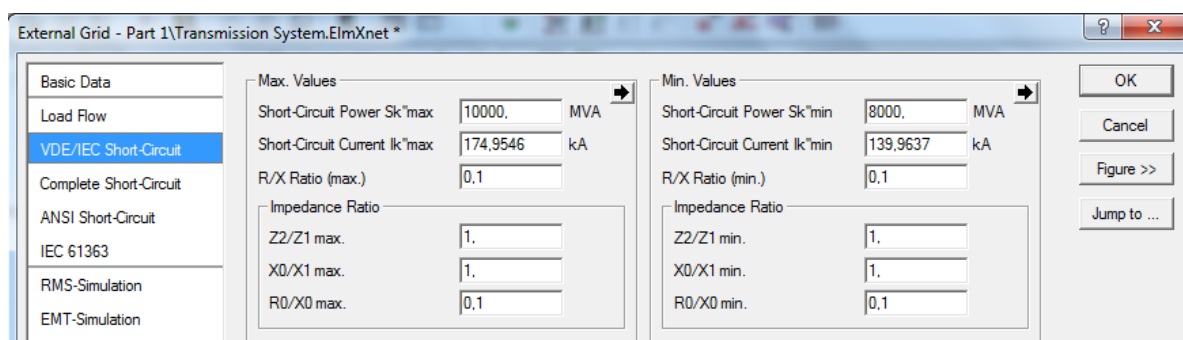
E2.52: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα Basic Data

Στην καρτέλα **Load Flow** και στο πεδίο **Bus Type** βάζουμε την επιλογή **SL**, δηλαδή κάνουμε τον ζυγό του εξωτερικού δικτύου ζυγό αναφοράς, και στο πεδίο **Operation point** ορίζουμε την γωνία στις 0 μοίρες και την τάση στο 1 α.μ.



Ε2.53: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα Load Flow

Στην καρτέλα **VDE/IEC Short-Circuit** ορίζουμε την μέγιστη τιμή της στάθμης βραχυκύκλωσης στα 10.000MVA και τον μέγιστο λόγο R/X στο 0,1.



Ε2.54: Παράθυρο επεξεργασίας εξωτερικού δικτύου - καρτέλα VDE/IEC Short-Circuit

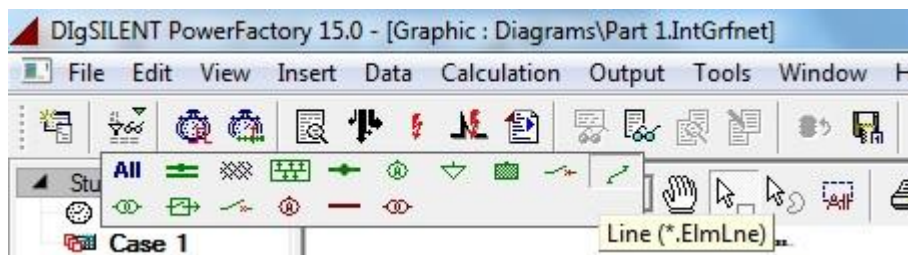
Πατάμε **OK** και κλείνουμε τον Data Manager.

#### 2.5.4 Επεξεργασία γραμμών και φορτίων μέσω του εικονιδίου Edit Relevant Objects της κύριας γραμμής εικονιδίων

Είναι συχνό φαινόμενο ένα δίκτυο που σχεδιάζουμε στο PowerFactory να έχει πολλά ομοειδή στοιχεία, όπως για παράδειγμα πολλές γραμμές, πολλά φορτία ή πολλούς ηλεκτρονόμους. Σε πολλές περιπτώσεις τα ομοειδή στοιχεία μπορεί να έχουν κοινά χαρακτηριστικά οπότε θα ήταν χρήσιμο να μπορούμε να αντιγράψουμε από ένα στοιχείο κάποια ρύθμιση και σε άλλα στοιχεία. Επίσης όταν ένα δίκτυο που σχεδιάζουμε είναι εκτεταμένο, η επεξεργασία κάθε στοιχείου από το single line graphic γίνεται πιο περίπλοκη διαδικασία ενώ υπάρχει η πιθανότητα να ξεχάσουμε κάποιο στοιχείο. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων και για την επιτάχυνση και διευκόλυνση της διαδικασίας της επεξεργασίας και παραμετροποίησης των στοιχείων ενός δικτύου, το PowerFactory έχει λίστες ομοειδών στοιχείων από τις οποίες μπορούμε να κάνουμε ομαδική και γρήγορη επεξεργασία ελέγχοντας οπτικά όλα τα στοιχεία, διατηρώντας παράλληλα την δυνατότητα να ανοίξουμε και το παράθυρο επεξεργασίας ενός στοιχείου αν θέλουμε να επικεντρωθούμε στις ρυθμίσεις του συγκεκριμένου.

Η πρόσβαση σε αυτές τις λίστες γίνεται μέσω του εικονιδίου **Edit Relevant Objects** από την κύρια γραμμή εικονιδίων το οποίο ανοίγει ένα μενού με μικρότερα εικονίδια όπως στην παρακάτω εικόνα. Καθένα από τα πράσινα εικονίδια αντιστοιχεί σε ένα είδος στοιχείου που υπάρχει στο δίκτυο. Κάθε στοιχείο του δικτύου εκπροσωπείται στην λίστα ακόμα και αν υπάρχει μόνο ένα του είδους του. Εκτός από τα εικονίδια για τις ασύγχρονες μηχανές, τις γραμμές και τα άλλα στοιχεία που έχουμε σχεδιάσει χειροκίνητα βλέπουμε και εικονίδια κάποιων στοιχείων

που δεν έχουμε σχεδιάσει εμείς αλλά υπάρχουν μέσα σε άλλα στοιχεία. Για παράδειγμα, όταν σχεδιάζουμε ένα υποσταθμού τύπου Single Busbar System εκτός από τον ζυγό τύπου Busbar που φαίνεται στο single line graphic υπάρχουν και εσωτερικοί κόμβοι στις αναχωρήσεις του, τύπου Terminal, καθώς και διακοπτικά μέσα.



E2.55: Εικονίδιο Edit Relevant Objects – λίστες στοιχείων και μοντέλων

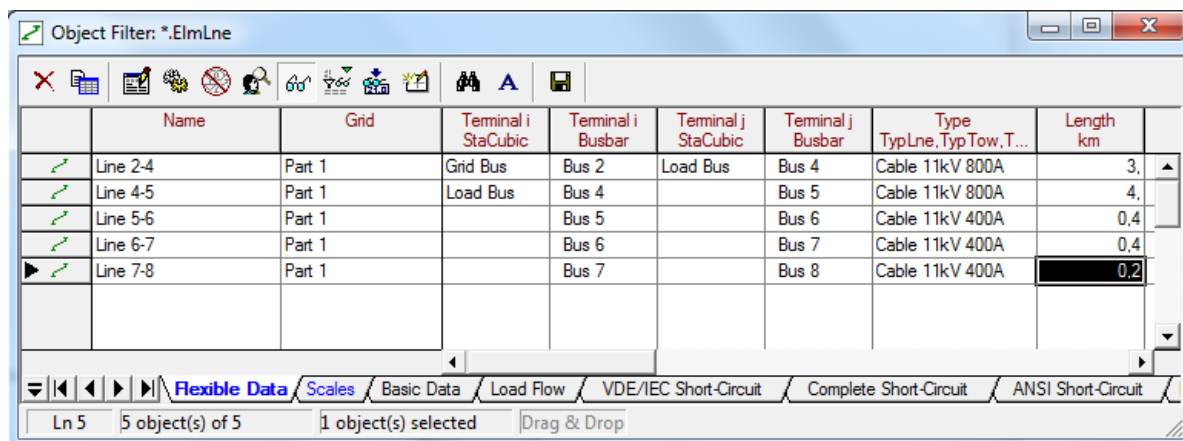
Σε αντίθεση με τα πράσινα εικονίδια που αποτελούν λίστες στοιχείων, τα καφέ εικονίδια αποτελούν λίστες μοντέλων ανά είδος στοιχείου. Για παράδειγμα, το πράσινο εικονίδιο του μετασχηματιστή ανοίγει μία λίστα με τους δύο μετασχηματιστές του δικτύου ενώ το καφέ εικονίδιο του μετασχηματιστή ανοίγει μία λίστα με τα δύο μοντέλα μετασχηματιστών που είναι εν χρήση στο δίκτυο.

Ξεκινάμε λοιπόν από την επεξεργασία των γραμμών πατώντας το εικονίδιο που ανοίγει την αντίστοιχη λίστα. Το παράθυρο που ανοίγει έχει στο κάτω μέρος του τις ίδιες καρτέλες με αυτές που έχει το παράθυρο επεξεργασίας μία γραμμής συν δύο ακόμα. Σε κάθε καρτέλα υπάρχει ένας πίνακας. Κάθε γραμμή αυτού του πίνακα αντιστοιχεί σε μία γραμμή του δικτύου ενώ κάθε στήλη του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα πεδίο της συγκεκριμένης καρτέλας του παραθύρου επεξεργασίας. Κάνοντας διπλό κλικ σε κάποιο κελί μπορούμε να μπούμε σε αυτό και να το αλλάξουμε. Πρακτικά δηλαδή από αυτό το παράθυρο έχουμε πρόσβαση σε όλες τις ρυθμίσεις όλων των γραμμών. Παρ' όλα αυτά, αν το επιθυμούμε μπορούμε να ανοίξουμε το παράθυρο επεξεργασίας μίας γραμμής κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο της γραμμής αριστερά από την στήλη των ονομάτων.

Η πιο χρήσιμη καρτέλα είναι η πρώτη, η **Flexible Data**, που παρουσιάζει μία σύνοψη των κυριότερων χαρακτηριστικών των στοιχείων. Πηγαίνουμε σε αυτή την καρτέλα και με την παραπάνω διαδικασία, δηλαδή κάνοντας διπλό κλικ στα κελιά, αλλάζουμε τα ονόματα των γραμμών σε «Line i-j», όπου i και j οι ζυγοί στα άκρα τους, τους οποίους βλέπουμε από τις στήλες Terminal i Busbar και Terminal j Busbar αντίστοιχα. Η αποθήκευση των αλλαγών γίνεται πατώντας δύο φορές enter: μία για την αποθήκευση της αλλαγής στο κελί και μία για την αποθήκευση της αλλαγής του κελιού στο στοιχείο.

Στην συνέχεια πηγαίνουμε στην στήλη **Type** και κάνουμε διπλό κλικ στο κελί της πρώτης γραμμής. Ο Data Manager ανοίγει και από τον φάκελο Types Line που φτιάξαμε σε προηγούμενη ενότητα επιλέγουμε το μοντέλο Cable 11kV 800A και πατάμε **OK**. Με copy-paste αντιγράφουμε αυτό το κελί και στην γραμμή 4-5. Με τον ίδιο τρόπο επιλέγουμε το μοντέλο Cable 11kV 400A για την γραμμή 5-6 και το αντιγράφουμε και στις άλλες δύο γραμμές.

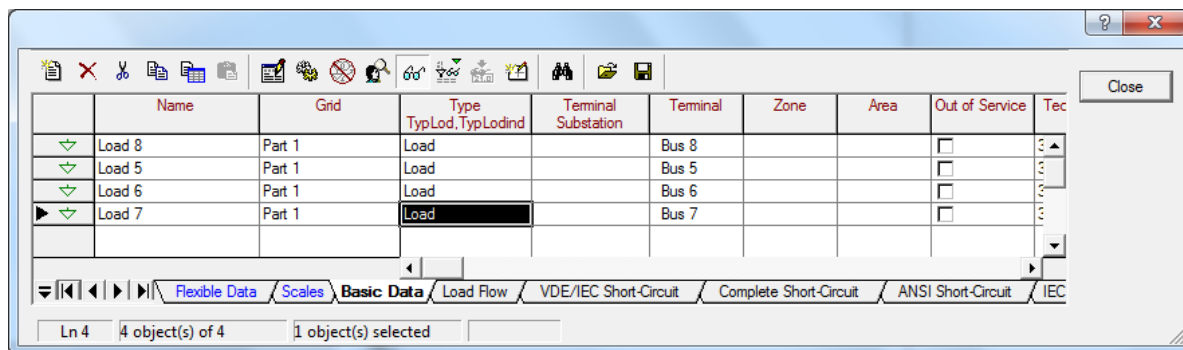
Τέλος, με τον ίδιο τρόπο που αλλάξαμε τα ονόματα των γραμμών αλλάζουμε και τα μήκη τους στην στήλη **Length**.



E2.56: Λίστα γραμμών - καρτέλα Flexible Data

Κλείνουμε το παράθυρο με την λίστα των γραμμών και επιστρέφουμε στο single line graphic για να προχωρήσουμε στην επεξεργασία των φορτίων. Επιλέγουμε τα τέσσερα φορτία χρησιμοποιώντας το ποντίκι και το πλήκτρο Ctrl (ή το εικονίδιο ακανόνιστου σχήματος επιλογής από την δευτερεύουσα γραμμή εικονιδίων), κάνουμε δεξί κλικ σε ένα από αυτά και επιλέγουμε **Edit Data**. Είναι ένας άλλος τρόπος για να ανοίξουμε την λίστα των φορτίων. Αν το παράθυρο που ανοίγει είναι απλοποιημένο σε σχέση με πριν τότε κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Detail Mode** στην γραμμή εικονιδίων του παραθύρου και αποκτούμε την πλήρη μορφή.

Στην καρτέλα **Basic Data** αλλάζουμε τα ονόματα των φορτίων όπως πριν σε «Load i», όπου i ο ζυγός στον οποίο συνδέεται το κάθε φορτίο και τον οποίον βλέπουμε από την στήλη Terminal. Στην στήλη **Type** διαλέγουμε το μοντέλο Load από τον φάκελο Types Load που έχουμε φτιάξει για το πρώτο φορτίο και μετά το αντιγράφουμε και στα υπόλοιπα.



E2.57: Λίστα φορτίων - καρτέλα Basic Data

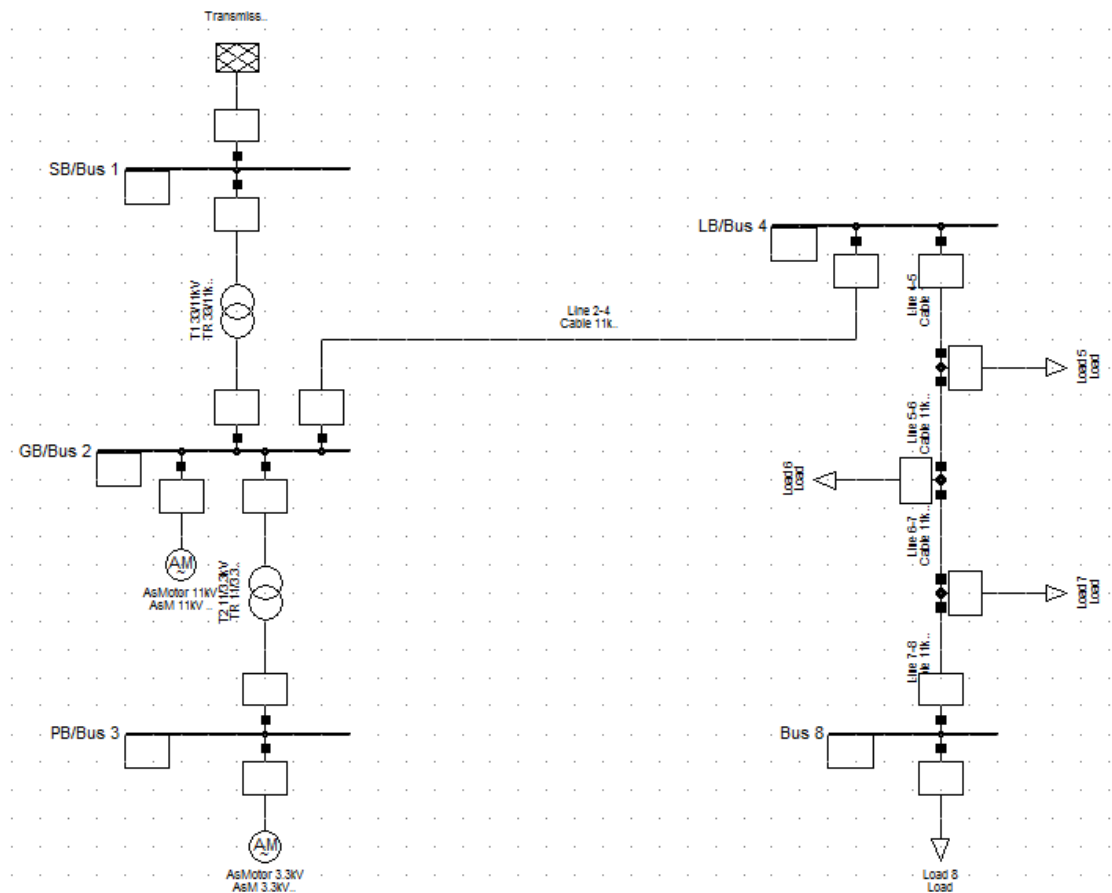
Στην καρτέλα **Load Flow** και στην στήλη **Balanced/Unbalanced** κάνουμε διπλό κλικ στο κελί του πρώτου φορτίου και από το παράθυρο διαλόγου που ανοίγει διαλέγουμε την επιλογή **Balanced**. Η επιλογή αυτή κωδικοποιείται δυαδικά με 0 στο κελί και την αντιγράφουμε και στα άλλα φορτία. Με τον ίδιο τρόπο στην στήλη **Input Mode** διαλέγουμε για όλα τα φορτία την επιλογή **P, cos(phi)** και συμπληρώνουμε τις στήλες για την ενεργό ισχύ και τον συντελεστή ισχύος του κάθε φορτίου όπως φαίνεται στην εικόνα E2.58. Τέλος, στην στήλη **Voltage p.u.** βάζουμε σε όλα τα φορτία 1 α.μ.

Name	Grid	Input Mode	Balanced/Unbala...	Act.Pow. MW	React.Pow. Mvar	App.Pow. MVA	I kA	Pow.Fact.	cos(phi)
Load 8	Part 1	PC	0	1,452967	3,333333	0,1749546	0,9	ind.	
Load 5	Part 1	PC	0	4,	1,937289	4,444445	0,2332729	0,9	ind.
Load 6	Part 1	PC	0	1,	0,4843222	1,111111	0,05831821	0,9	ind.
Load 7	Part 1	PC	0	1,	0,4843222	1,111111	0,05831821	0,9	ind.

Ln 4 4 object(s) of 4 1 object(s) selected

E2.58: Λίστα φορτίων - καρτέλα Load Flow

Η επεξεργασία και η παραμετροποίηση των στοιχείων του δικτύου έχει ολοκληρωθεί. Κλείνουμε το παράθυρο και επιστρέφουμε στο single line graphic.



E2.59: Single line graphic: Το Δίκτυο Διανομής μετά το τέλος της επεξεργασίας



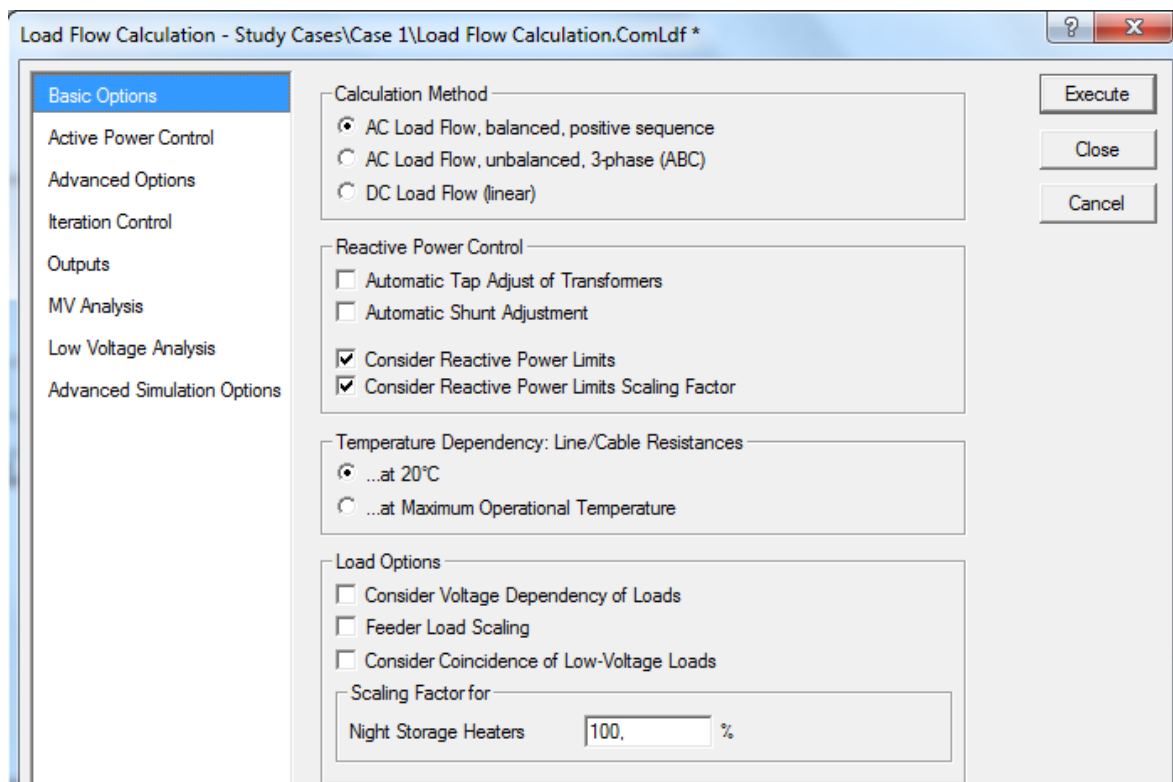
## 2.6 Μελέτη ροής φορτίου, παρουσίαση αποτελεσμάτων και χρωματισμός δικτύου

Στις προηγούμενες παραγράφους σχεδιάσαμε ένα Δίκτυο Διανομής στο PowerFactory, φτιάξαμε τις απαραίτητες βιβλιοθήκες και παραμετροποιήσαμε και επεξεργαστήκαμε κατάλληλα όλα τα στοιχεία του. Πλέον το δίκτυο είναι έτοιμο και πλήρως λειτουργικό οπότε μπορούμε να ξεκινήσουμε την παρουσίαση των δυνατοτήτων του PowerFactory σχετικά με τις προσομοιώσεις που μπορεί να εκτελέσει σε ένα δίκτυο. Αρχικά, θα παρουσιάσουμε τον τρόπο εκτέλεσης προσομοιώσεων που αφορούν μελέτες ροής φορτίου. Θα δούμε επίσης τον τρόπο που παρουσιάζει το PowerFactory τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και πώς μπορούμε να τα επεξεργαστούμε ώστε να τους δώσουμε την μορφή που μας εξυπηρετεί περισσότερο κάθε φορά. Τέλος, θα δούμε πώς μπορούμε να δώσουμε χρώμα στα στοιχεία του δικτύου ώστε από αυτό να φαίνεται αμέσως κάποια σημαντική πληροφορία για καθένα από αυτά όπως για παράδειγμα η μεγάλη πτώση τάσης ενός ζυγού ή υπερφόρτιση μίας γραμμής.

### 2.6.1 Διεξαγωγή μελέτης ροής φορτίου

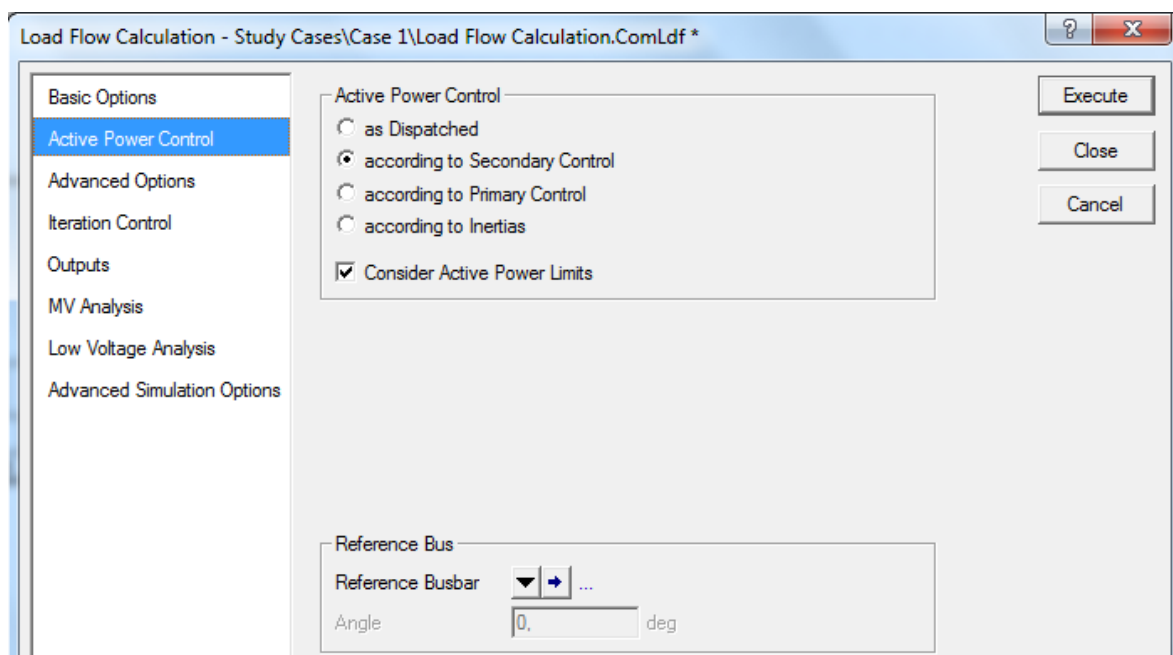
Για να ξεκινήσουμε μία μελέτη ροής φορτίου πηγαίνουμε στο μενού **Calculation** και διαλέγουμε την επιλογή **Load Flow** ή εναλλακτικά κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Calculate Load Flow** στην κύρια γραμμή εικονιδίων. Το παράθυρο διαλόγου της ροής φορτίου που ανοίγει έχει όλες τις ρυθμίσεις που μπορούμε να ορίσουμε στο PowerFactory σχετικά με τον υπολογισμό της ροής φορτίου. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις σημαντικότερες από αυτές και θα επιλέξουμε ένα σύνολο ρυθμίσεων που αντιστοιχεί σε μία τυπική μελέτη ροής φορτίου.

Στην καρτέλα **Basic Options**, στο πεδίο **Calculation Method** επιλέγουμε την πρώτη μέθοδο για AC ροή φορτίου σε συμμετρικό δίκτυο με χρήση του μονοφασικού κυκλώματος θετικής ακολουθίας. Στο πεδίο **Reactive Power Control** ενεργοποιούμε τις δύο τελευταίες επιλογές για να ληφθούν υπ' όψιν τα όρια των γεννητριών που έχουμε θέσει στα παράθυρα επεξεργασίας τους και στα μοντέλα τους. Υπάρχουν επίσης επιλογές για την αυτόματη αλλαγή του επιπέδου τάσης των μετασχηματιστών ή την σύνδεση εγκάρσιων φίλτρων αν τέτοιες ρυθμίσεις έχουν προβλεφθεί. Στο πεδίο **Temperature Dependency** ορίζουμε τον υπολογισμό των αντιστάσεων των γραμμών στους 20°C. Στο πεδίο **Load Options** υπάρχουν επιλογές σχετικά με την συμπεριφορά των φορτίων (π.χ. εξάρτηση από τάση, συντελεστής ετεροχρονισμού).



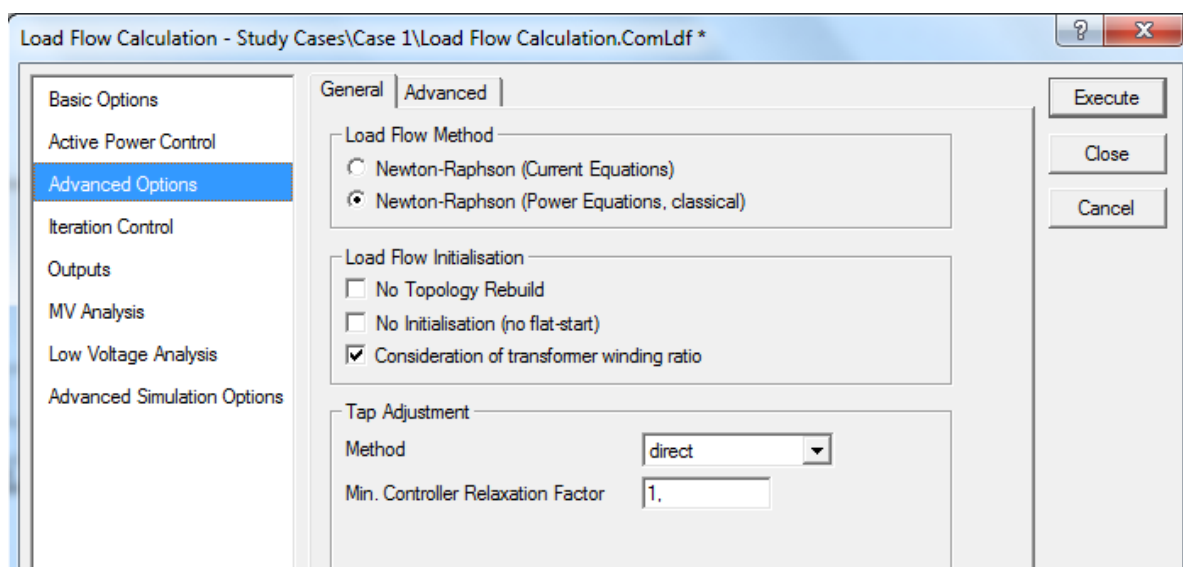
E2.60: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Basic Options

Στην καρτέλα Active Power Control στο πεδίο Active Power Control διαλέγουμε την δεύτερη επιλογή που σημαίνει ότι οι συνεισφορές ενεργού ισχύος ελέγχονται με την επιδίωξη σταθεροποίησης της συχνότητας του δικτύου στην ονομαστική τιμή. Επίσης ενεργοποιούμε την επιλογή ώστε να ληφθούν υπ' όψιν τα όρια των γεννητριών που έχουν τεθεί. Η επιλογή as Dispatched ανοίγει ένα πεδίο στο οποίο μπορούμε να διαλέξουμε πώς θα γίνεται ο έλεγχος των ροών ενεργών ισχύων. Στο πεδίο Reference Bus επιλέγουμε τον ζυγό αναφοράς των τάσεων. Αν το αφήσουμε κενό, ζυγός αναφοράς ορίζεται αυτός στον οποίον είναι το στοιχείο που έχει οριστεί ως slack, εν προκειμένω ο ζυγός του συστήματος μεταφοράς.



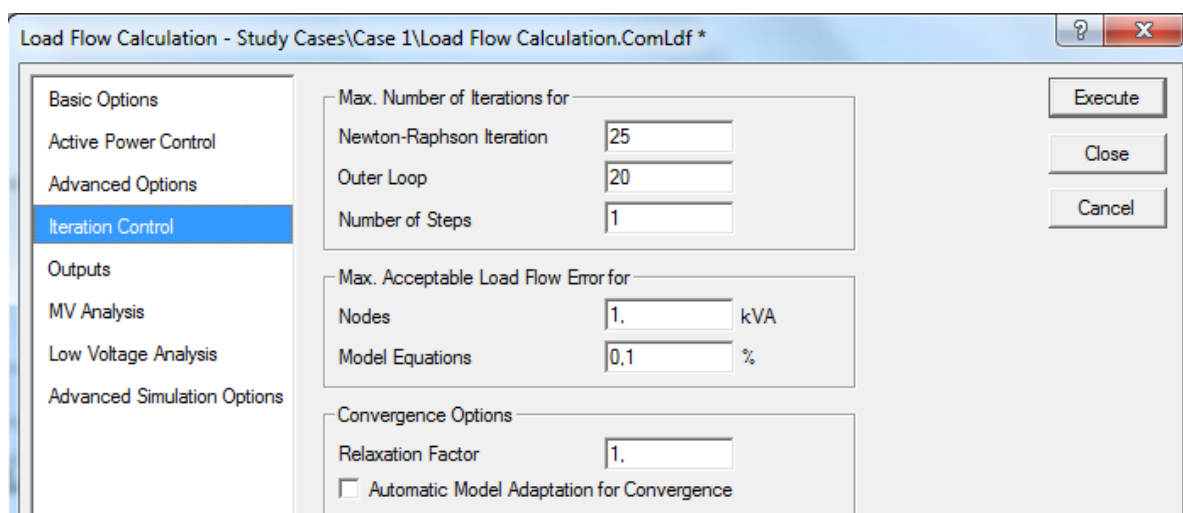
E2.61: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Active Power Control

Στην καρτέλα **Advanced Options** και στο πεδίο **Load Flow Method** επιλέγουμε τη μέθοδο επίλυσης της ροής φορτίου. Στο πεδίο **Load Flow Initialisation** υπάρχουν κάποιες επιλογές σχετικά με την αρχικοποίηση της επαναληπτικής διαδικασίας όπως το αν θα ελέγχεται κάθε φορά η τοπολογία του δικτύου για κάποια αλλαγή, αν θα χρησιμοποιείται η προηγούμενη λύση ως αρχική και αν θα χρησιμοποιούνται οι λόγοι των μετασχηματιστών για την αρχικοποίηση των τάσεων των κόμβων. Στο πεδίο Tap Adjustment επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού των συστημάτων αλλαγής τάσης των μετασχηματιστών στο εξωτερικό loop του αλγορίθμου της επαναληπτικής διαδικασίας.



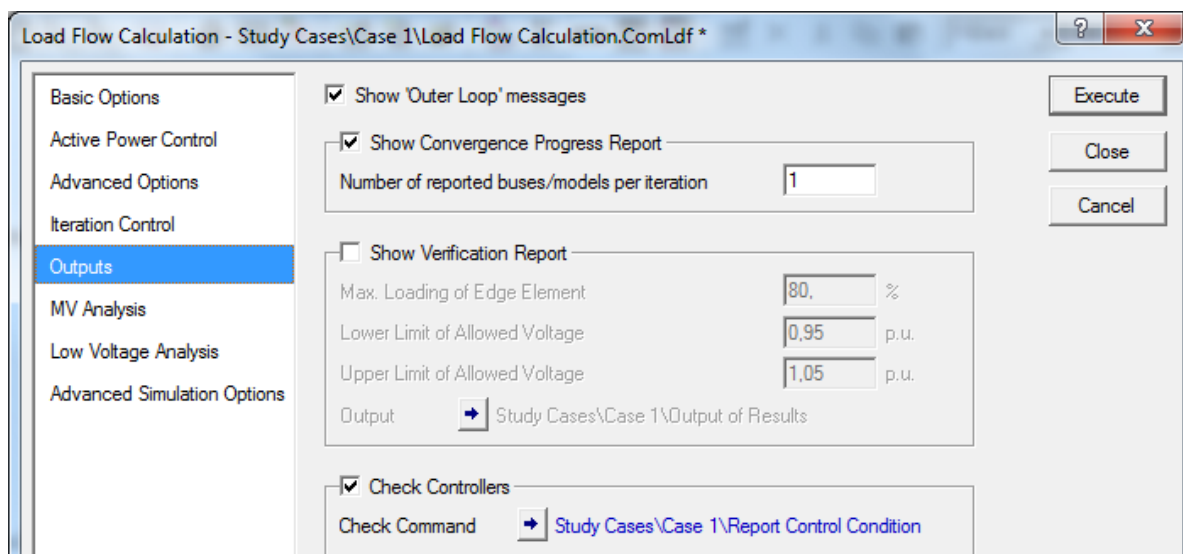
Ε2.62: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Advanced Options

Στην καρτέλα **Iteration Control** υπάρχουν κάποιες ρυθμίσεις σχετικά με τον αλγόριθμο της επαναληπτικής διαδικασίας. Στο πεδίο Max. Number of Iterations μπορούμε να ορίσουμε τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων του εσωτερικού loop που περιλαμβάνει την μέθοδο Newton-Raphson και του εξωτερικού loop που περιέχει τον έλεγχο των επιπέδων τάσης των μετασχηματιστών και των ορίων των γεννητριών. Σε περιπτώσεις αργής σύγκλισης μπορούμε να ορίσουμε η μελέτη ροής φορτίου να γίνει σε περισσότερα από ένα επίπεδα παραγωγής-κατανάλωσης ισχύος στο δίκτυο. Στο πεδίο Max. Acceptable Load Flow Error ορίζουμε τα όρια σύγκλισης που τερματίζουν την επαναληπτική διαδικασία και στο πεδίο Convergence Options, με την επιλογή Automatic Model Adaption for Convergence, ορίζουμε αν το PowerFactory μπορεί να υιοθετήσει πιο γραμμικές προσεγγίσεις αν δεν συγκλίνουν τα αρχικά μη γραμμικά μοντέλα.



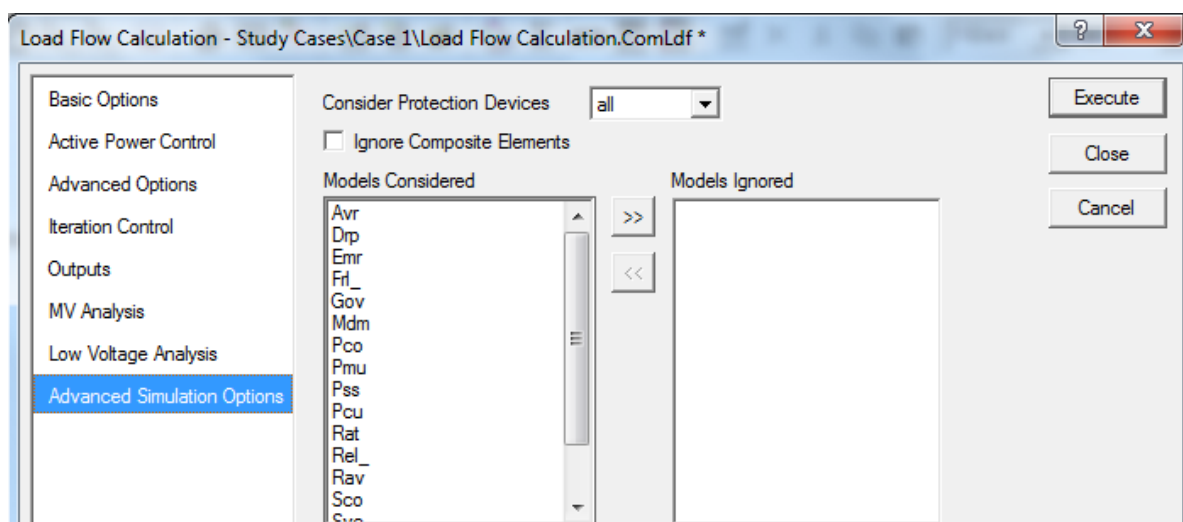
Ε2.63: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου – καρτέλα Iteration Control

Στην καρτέλα **Outputs** υπάρχουν ρυθμίσεις σχετικά με τα μηνύματα που εμφανίζονται στο Output Window κατά την διάρκεια της μελέτης ροής φορτίου. Η επιλογή Show 'Outer Loop' messages επιτρέπει την εμφάνιση μηνυμάτων που αφορούν τις επαναλήψεις του εξωτερικού loop του αλγορίθμου ενώ η επιλογή Show Convergence Progress Report δείχνει τα στοιχεία με την μεγαλύτερη απόκλιση ανά επανάληψη. Το πλήθος των στοιχείων είναι αυτό που ορίζουμε εμείς. Τα μηνύματα αυτά μπορούν να αποδειχτούν χρήσιμα σε περιπτώσεις που υπάρχουν προβλήματα στην σύγκλιση.



Ε2.64: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου - καρτέλα Outputs

Στην καρτέλα **Advanced Simulation Options** υπάρχουν επιλογές για παράληψη ή μη από τον υπολογισμό κάποιων παραμέτρων του δικτύου που μπορεί να βελτιώσει και να επιταχύνει την διαδικασία προσομοίωσης. Η παράληψη για παράδειγμα των συσκευών προστασίας σε μελέτες που δεν χρειάζονται επιταχύνει την διαδικασία. Σε αυτό το παράδειγμα όμως εμείς τα συμπεριλαμβάνουμε όλα.



E2.65: Παράθυρο διαλόγου ροής φορτίου -καρτέλα Advanced Simulation Options

Πατάμε **Execute** και η μελέτη ροής φορτίου ξεκινάει. Το δίκτυο αυτού του παραδείγματος είναι απλό και η διαδικασία είναι πολύ γρήγορη. Μετά το τέλος της βλέπουμε το παρακάτω μήνυμα στο Output Window. Στην πρώτη γραμμή μας εμφανίζει ότι ως αναφορά ελήφθη το Σύστημα Μεταφοράς. Στη συνέχεια, μας ενημερώνει για το στοιχείο με την μεγαλύτερη απόκλιση σε κάθε επανάληψη, ότι η σύγκλιση επετεύχθη μετά από τρεις επαναλήψεις και ότι ο υπολογισμός της ροής φορτίου ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Τέλος, σημειώνει ότι εκπληρώθηκαν όλες οι συνθήκες που είχαν οριστεί. Δεν υπάρχει κάποιο μήνυμα σχετικά με τις επαναλήψεις του εξωτερικού loop.

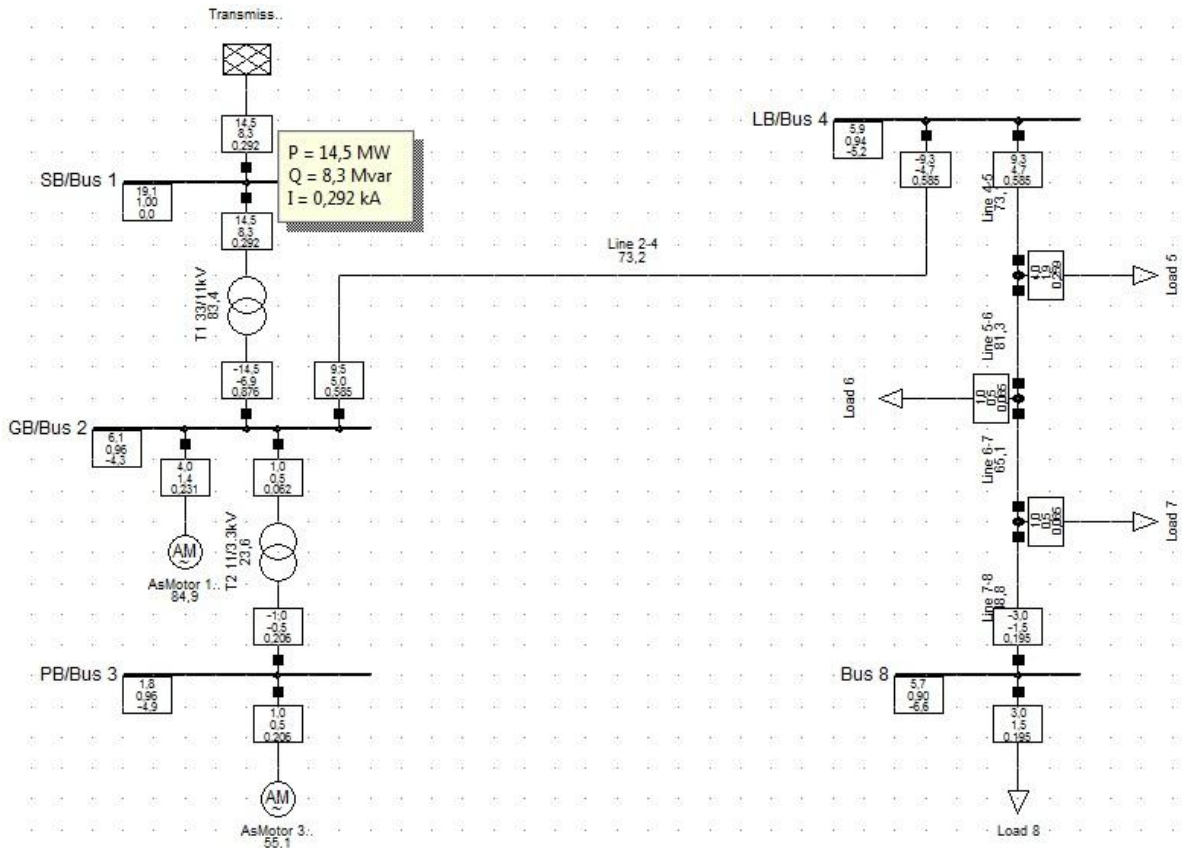
```
DIGSI/info - Element ' Transmission System' is local reference in separated area of '1'
DIGSI/info - Calculating load flow...
DIGSI/info - -----
DIGSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DIGSI/info - Iteration 1: Bus 5 5.73e-001 Load 5 6.24e-002
DIGSI/info - Iteration 2: Bus 5 1.32e-002 Load 5 1.77e-003
DIGSI/info - Iteration 3: Bus 5 7.67e-006 Load 5 9.85e-007
DIGSI/info - Newton-Raphson converged with 3 iterations.
DIGSI/info - Load flow calculation successful.
DIGSI/info - -----
DIGSI/info - Report of Control Condition for Relevant Controllers
DIGSI/info - -----
DIGSI/info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.
```

E2.66: Output Window: Ροή φορτίου

Πιθανώς στο PowerFactory να υπάρχουν κάποιες προεπιλεγμένες ρυθμίσεις χρωματισμού των στοιχείων και το δίκτυο μετά την εκτέλεση της μελέτης ροής φορτίου να έχει ήδη κάποια στοιχεία χρωματισμένα. Περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στη συνέχεια.

## 2.6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων και επεξεργασία των Result Boxes

Σε αντίθεση με τις περισσότερες διαδικασίες προσομοίωσης που μπορεί να εκτελέσει το PowerFactory που παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους στο Output Window, η μελέτη ροής φορτίου παρουσιάζει τα αποτελέσματά της πάνω στο σχέδιο του δικτύου στο single line graphic. Τα πλαίσια αποτελεσμάτων αρχικά ήταν άδεια, ενώ τώρα περιέχουν τρεις τιμές. Αν τοποθετήσουμε τον κέρσορα πάνω σε ένα πλαίσιο θα εμφανιστούν τα μεγέθη που αντιστοιχούν στις τιμές αυτές.



E2.67: Single line graphic: Παρουσίαση ροής φορτίου στα πλαίσια αποτελεσμάτων

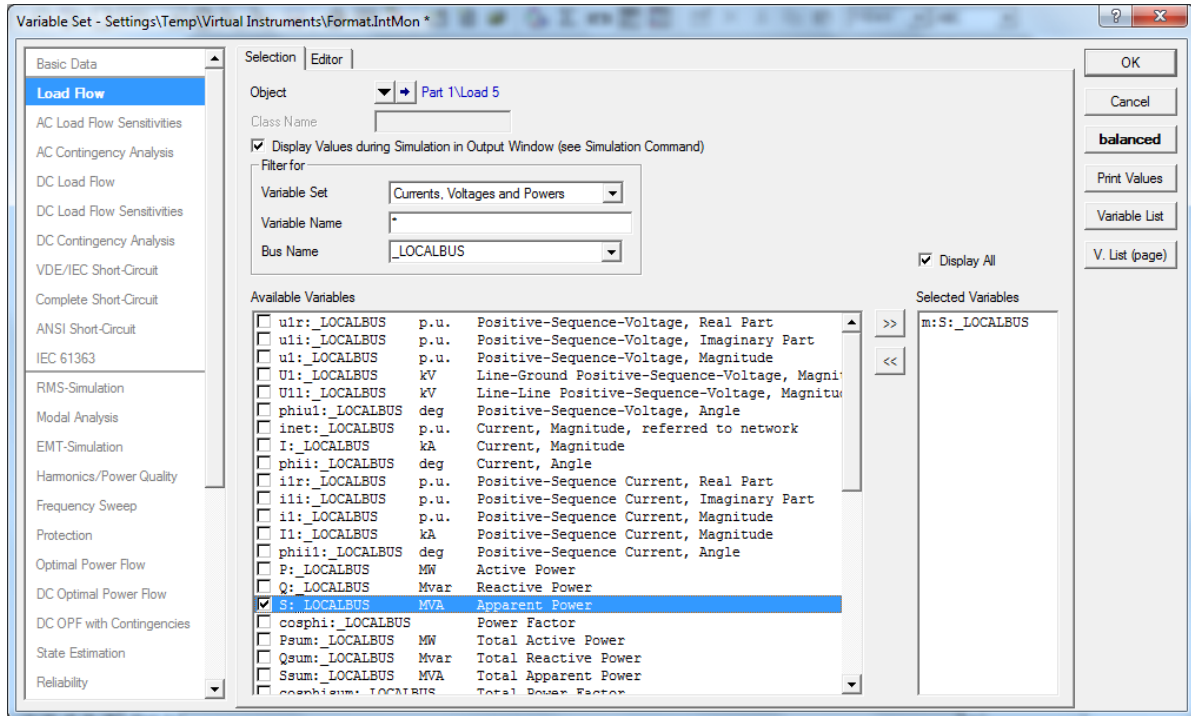
Στους ζυγούς, οι τιμές αποτελεσμάτων αφορούν την φασική τάση, την τάση ανά μονάδα και την γωνία του ζυγού αντίστοιχα, ενώ στα υπόλοιπα στοιχεία αφορούν την ενεργό ισχύ, την άεργο ισχύ και το ρεύμα που διέρχεται. Επίσης στους κλάδους του δικτύου και στις μηχανές κάτω από το όνομα κάθε στοιχείου υπάρχει ένας αριθμός που αντιστοιχεί στην φόρτιση του στοιχείου αυτού. Για παράδειγμα αν αφήσουμε τον κέρσορα πάνω στο όνομα της γραμμής 2-4 θα εμφανιστεί ένα πλαίσιο που γράφει το όνομα του στοιχείου και την φόρτίσή του. Η ενεργός και η άεργος ισχύς θεωρούνται θετικές όταν εξέρχονται από ζυγό και αρνητικές όταν εισέρχονται. Έτσι στο πλαίσιο αποτελεσμάτων της γραμμής 2-4 που είναι κοντά στον ζυγό 2 η ενεργός ισχύς είναι 9,5MW ενώ στο αντίστοιχο πλαίσιο που είναι κοντά στον ζυγό 4 η ενεργός ισχύς είναι -9,3MW. Αυτό σημαίνει ότι η ροή ενεργού ισχύος είναι από τον ζυγό 2 προς τον ζυγό 4 και η διαφορά των δύο τιμών είναι οι απώλειες ενεργού ισχύος επί της γραμμής. Για τα τερματικά στοιχεία που θεωρούνται καταναλωτικά όπως τα φορτία και οι κινητήρες ισχύει η ίδια σύμβαση, δηλαδή η εισερχόμενη ισχύς έχει θετικό πρόσημο και η εξερχόμενη αρνητικό ενώ για τα παραγωγικά τερματικά στοιχεία όπως οι γεννήτριες και το εξωτερικό δίκτυο ισχύει το αντίθετο.

Ανάλογα με το δίκτυο και τον λόγο για τον οποίον το εξετάζουμε τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν είναι διαφορετικά. Για παράδειγμα σε κάποιο δίκτυο μπορεί να μας ενδιαφέρει η πολική και η ανά μονάδα τάση των ζυγών και σε κάποιο άλλο να μας ενδιαφέρει μόνο η ανά μονάδα τάση χωρίς απόλυτη τιμή. Επίσης τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν είναι διαφορετικά για κάθε στοιχείο του δικτύου. Για παράδειγμα, στους μετασχηματιστές και στις γραμμές μπορεί να μας διευκολύνει η αναγραφή ενεργού και άεργου ισχύος, ενώ στα φορτία μπορεί να προτιμάμε φαινόμενη ισχύ και συντελεστή ισχύος. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να μπορούμε να μορφοποιήσουμε τα πλαίσια αποτελεσμάτων ώστε να παίρνουμε κάθε φορά την πληροφορία μας ενδιαφέρει περισσότερο. Παρακάτω θα κάνουμε ενδεικτικά κάποιες τέτοιες μορφοποιήσεις.

Τα πλαίσια αποτελεσμάτων των ζυγών αναγράφουν φασική και όχι πολική τάση. Για να το αλλάξουμε αυτό κάνουμε δεξί κλικ στο κουτί ενός ζυγού, επιλέγουμε **Format for Nodes** και μετά κλικ στο **Line-Line Voltage, Angle**. Η αλλαγή αυτή έχει γίνει σε όλους τους ζυγούς. Ωστόσο οι ζυγοί 5,6 και 7 που έχουν την μορφή κόμβου δεν έχουν πλαίσιο αποτελεσμάτων. Αν θέλουμε να δούμε το επίπεδο τάσης σε κάποιον από αυτούς μπορούμε να κάνουμε δεξί κλικ πάνω του και να διαλέξουμε την επιλογή **Show Result Boxes**. Αν το πλαίσιο εμφανιστεί σε σημείο του γραφήματος που κρύβεται από άλλα αντικείμενα μπορούμε να το επιλέξουμε και με πατημένο κλικ να το μετακινήσουμε. Το ίδιο μπορούμε να κάνουμε και στις γραμμές ανάμεσα σε αυτούς τους ζυγούς που δεν έχουν πλαίσια αποτελεσμάτων.

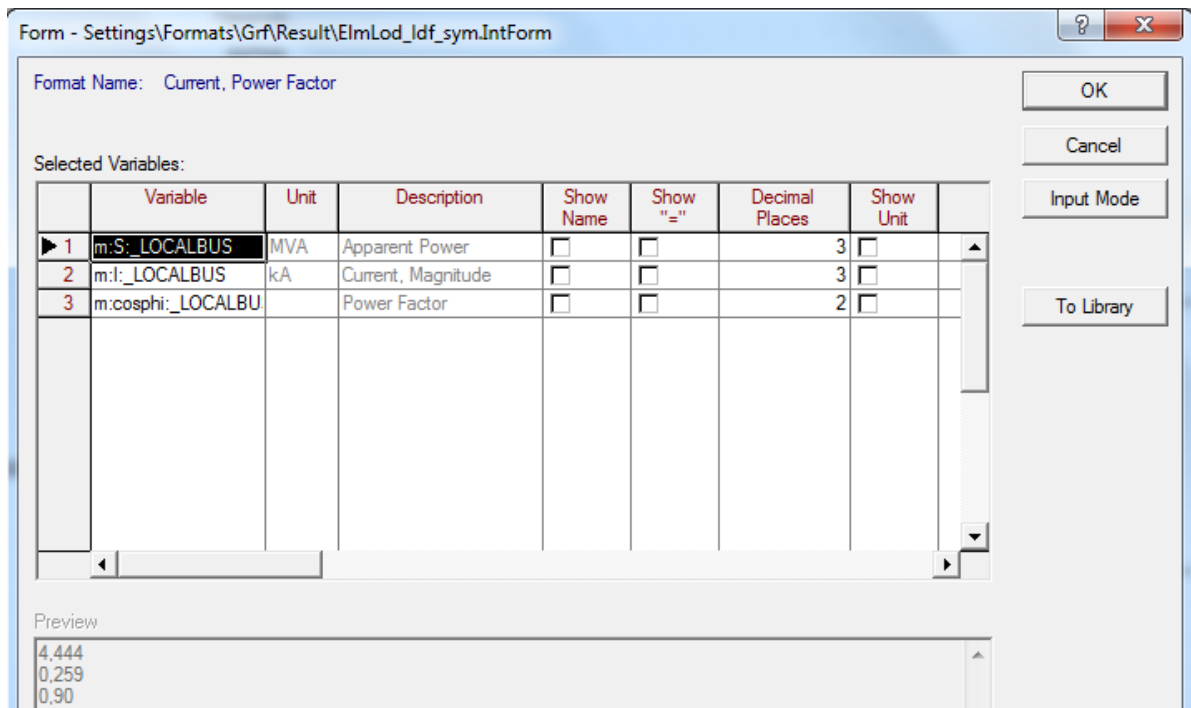
Στους κινητήρες μπορούμε να αντικαταστήσουμε το εμφανιζόμενο επίπεδο φόρτισης με το μοντέλο του κινητήρα. Κάνουμε δεξί κλικ στο όνομα ενός κινητήρα, επιλέγουμε **Format for Asynchronous Machine** και μετά κλικ στην επιλογή **Type Name**. Αν κάναμε την ίδια αλλαγή από το μενού **Format for Edge Elements** θα άλλαζαν και τα άλλα στοιχεία το οποίο δεν είναι επιθυμητό.

Στην συνέχεια θα αλλάξουμε τα αποτελέσματα στα πλαίσια των φορτίων χωρίς να αλλάξουν τα αποτελέσματα στις γραμμές και στους μετασχηματιστές. Κάνουμε δεξί κλικ στο πλαίσιο αποτελεσμάτων ενός φορτίου. Η επιλογή **Edit Format for Edge Elements** δεν είναι η κατάλληλη γιατί αφορά όλα τα στοιχεία. Επιλέγουμε **Format for General Load** και μετά κλικ σε μία επιλογή, έστω στην **Current, Power Factor**. Στην συνέχεια κάνουμε ξανά δεξί κλικ στο πλαίσιο αποτελεσμάτων και τώρα υπάρχει η επιλογή **Edit Format for General Load** που ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου. Στο πάνω μέρος αυτού του παραθύρου υπάρχει ένας πίνακας κάθε γραμμή του οποίου αντιστοιχεί σε ένα αποτέλεσμα που εμφανίζεται, ενώ στο κάτω μέρος υπάρχει ένα παράθυρο προεπισκόπησης που βλέπουμε τι εμφανίζεται και πώς. Διαφορετικά, κάνουμε κλικ στο κομβίο **Input Mode** επιλέγουμε **User Selection** και πατάμε **OK**. Ο συντελεστής ισχύος υπάρχει ήδη οπότε πρέπει απλά να προσθέσουμε την φαινόμενη ισχύ. Κάνουμε δεξί κλικ στον κενό χώρο στην στήλη αριστερά από την στήλη **Variable** και επιλέγουμε **Insert Row(s)**. Στην γραμμή που προστέθηκε κάνουμε διπλό κλικ στο κελί της στήλης **Variable** και ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου όπου υπάρχουν όλες οι διαθέσιμες μεταβλητές. Στο πεδίο **Filter for** από την λίστα **Variable Set** διαλέγουμε την επιλογή **Currents, Voltages and Powers** και από το πεδίο **Available Variables** κάνουμε διπλό κλικ στην μεταβλητή της φαινόμενης ισχύος.



E2.68: Επιλογή μεταβλητών παρουσίασης των πλαισίων αποτελεσμάτων

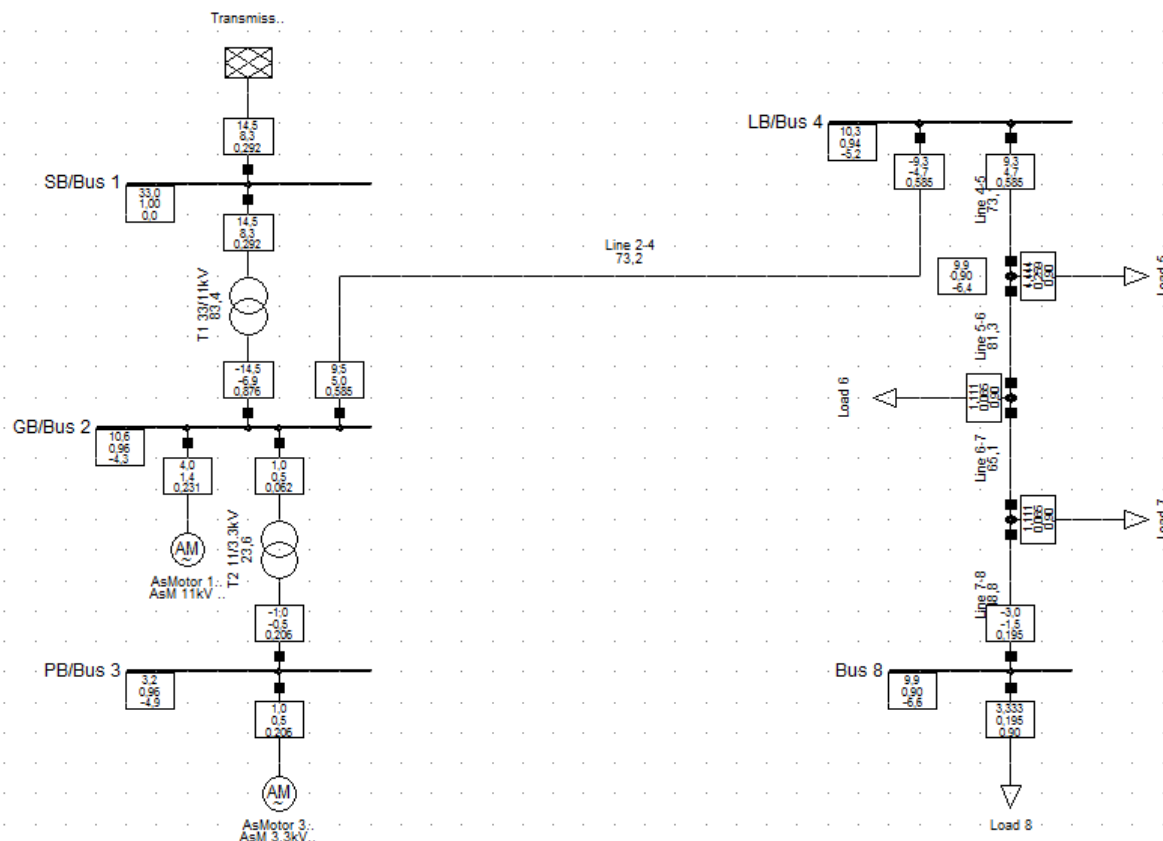
Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο προηγούμενο παράθυρο όπου έχει προ-σθεθεί η μεταβλητή της φαινόμενης ισχύος. Από τις στήλες Show Name και Show "=" επιλέγουμε αν θα εμφανίζεται το σύμβολο της μεταβλητής και το '=' πριν από την τιμή της, ενώ από την στήλη Show Unit επιλέγουμε αν θα εμφανίζεται η μονάδα μέτρησής της μετά από την τιμή της. Τέλος, στην στήλη Decimal Places ορίζουμε πόσα δεκαδικά ψηφία θα φαίνονται σε κάθε τιμή.



E2.69: Παράθυρο επεξεργασίας πλαισίων αποτελεσμάτων

Πατώντας **OK** επιστρέφουμε στο single line graphic όπου πλέον τα φορτία έχουν διαφορετικά αποτελέσματα από τα άλλα στοιχεία.





E2.70: Single line graphic: πλαίσια αποτελεσμάτων μετά την επεξεργασία

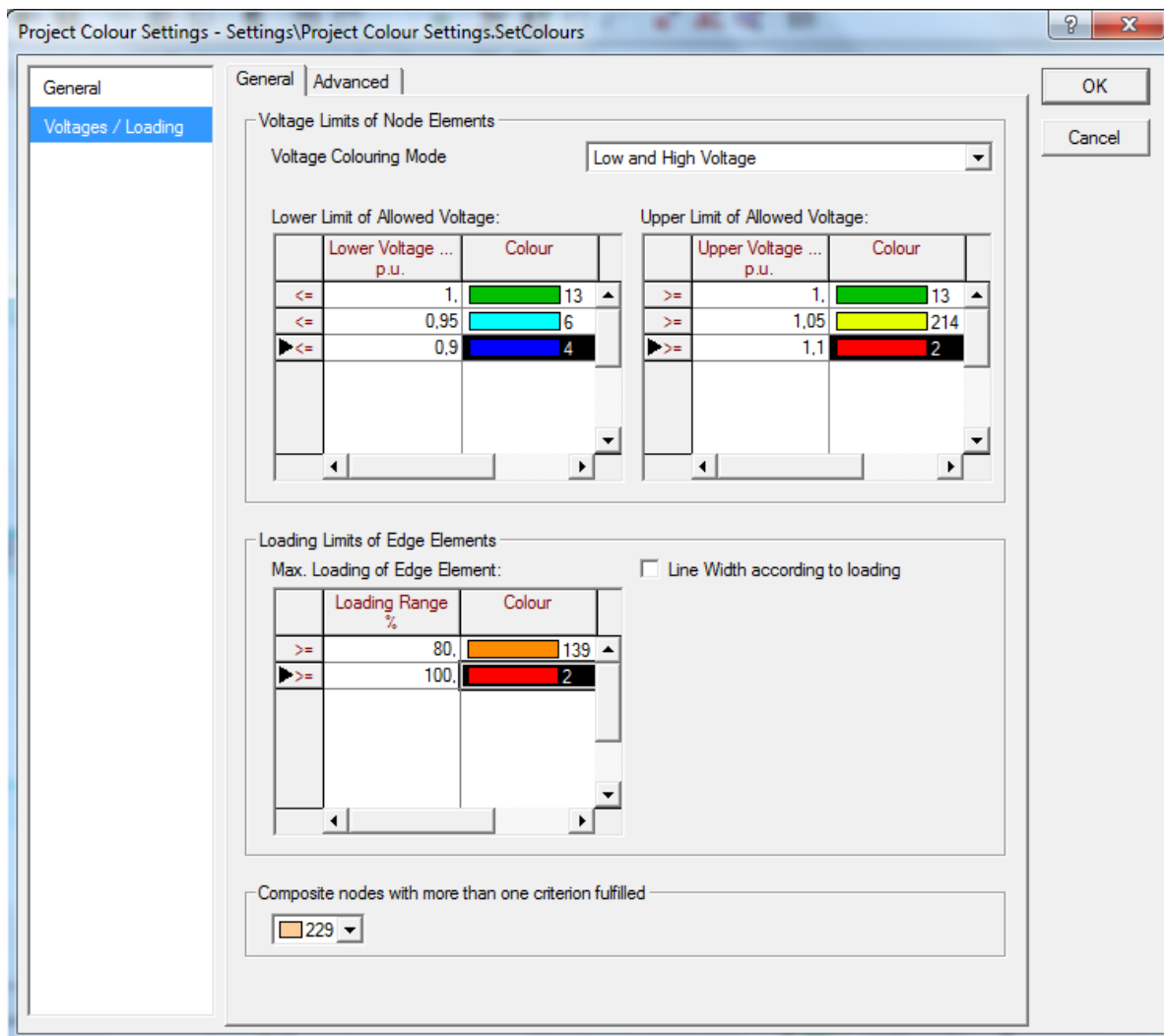
### 2.6.3 Χρωματισμός ζυγών και κλάδων

Παρατηρούμε ότι οι ζυγοί 5 έως 8 έχουν τάση 0,9 α.μ. αφού έχουν συνολικό φορτίο 9MW σε απόσταση 7-8 km από τον ζυγό του μετασχηματιστή. Μία τέτοια πληροφορία είναι σημαντική για τον σχεδιαστή του δικτύου και είναι χρήσιμο να φαίνεται ακόμα πιο παραστατικά από την απλή αναγραφή της τιμής της. Για τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα χρωματισμού ορισμένων στοιχείων του δικτύου με χρώμα ενδεικτικό του επιπέδου λειτουργίας τους.

Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Diagram Colouring** στην δευτερεύουσα γραμμή εικονιδίων. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, στην καρτέλα Load Flow ενεργοποιούμε την τρίτη επιλογή με όνομα **Others**. Στις δύο λίστες που ανοίγουν από τα βέλη διαλέγουμε τις επιλογές **Results** και **Voltages/Loading** αντίστοιχα και πατάμε κλικ στο κομβίο **Colour Settings**. Στο νέο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει και στο πεδίο Voltage Colouring Mode επιλέγουμε **Low and High Voltage**. Στο παράθυρο αυτό υπάρχουν τρεις μικροί πίνακες. Σε καθέναν από αυτούς μπορούμε να ορίσουμε τα όρια των περιοχών χρωματισμού για τις περιπτώσεις της πτώσης τάσης ενός ζυγού, της ανύψωσης τάσης ενός ζυγού και της φόρτισης ενός κλάδου ή ενός τερματικού στοιχείου. Η μορφοποίηση των πινάκων γίνεται όπως έχουμε δει και σε ανάλογες περιπτώσεις με προσθήκη και διαγραφή σειρών και διπλό κλικ για επεξεργασία κελιών.

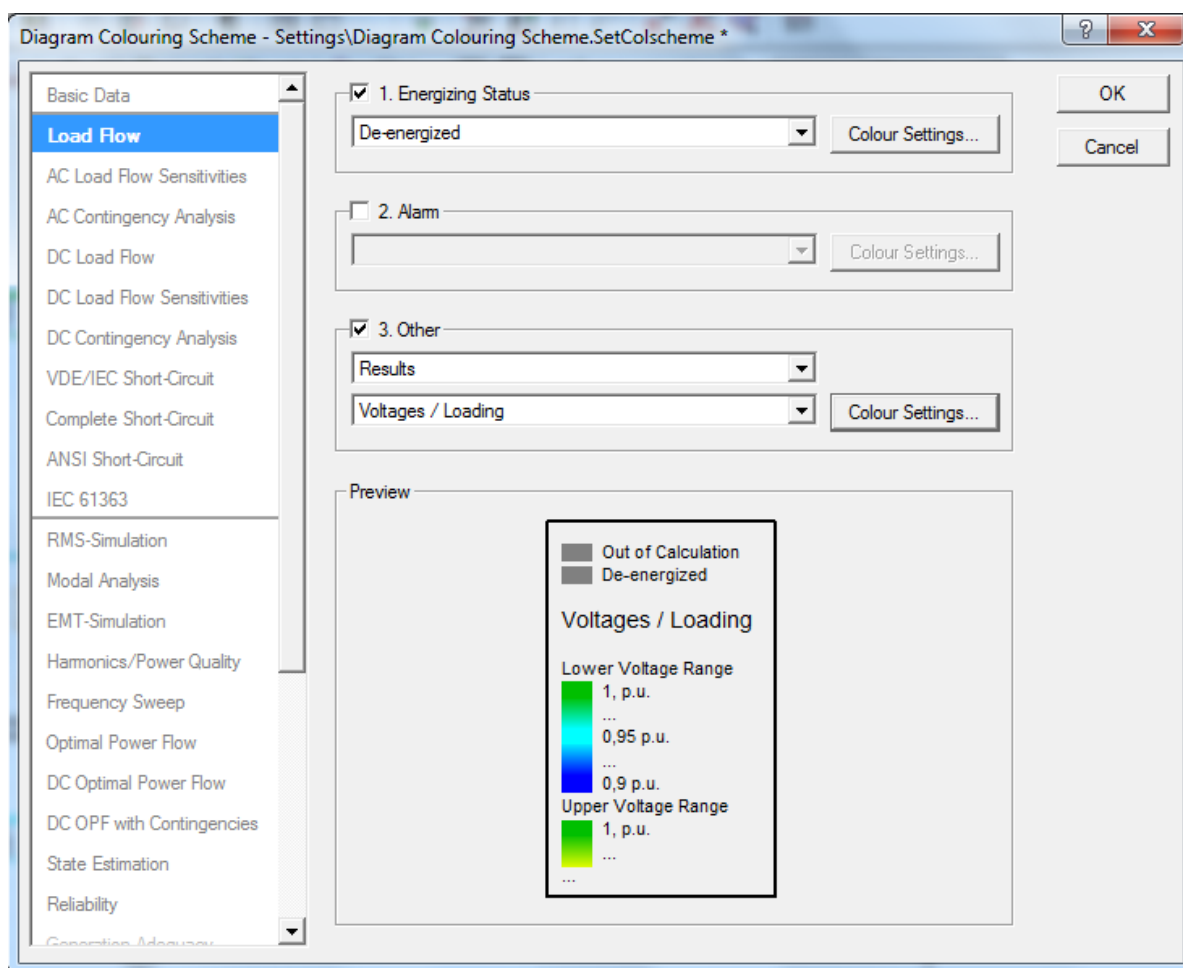
Θα ξεκινήσουμε από τον πρώτο πίνακα που αφορά την πτώση τάσης των ζυγών. Στην πρώτη γραμμή βάζουμε άνω όριο τάσης 1 α.μ. και χρώμα πράσινο (13), στην δεύτερη γραμμή 0,95 α.μ. και χρώμα γαλάζιο (6) και στην τρίτη γραμμή 0,9 α.μ. και χρώμα μπλε (4). Με αυτόν τον τρόπο έχουμε ορίσει τρεις περιοχές πτώσης τάσης. Η πρώτη αφορά τιμές τάσης 0,95-1 α.μ. η δεύτερη 0,9-0,95 α.μ. και τρίτη αφορά τάσεις μικρότερες από 0,9 α.μ. Ο χρωματισμός των περιοχών

αυτών δεν είναι ομογενής αλλά μεταβάλλεται ανάμεσα στα χρώματα των δύο ορίων. Για παράδειγμα, το χρώμα στην πρώτη περιοχή μεταβάλλεται από πράσινο προς γαλάζιο καθώς η τάση μεταβάλλεται από 1 προς 0,95 α.μ. Αν ένας ζυγός έχει τάση 0,99 α.μ. το χρώμα του θα είναι σχεδόν πράσινο ενώ ένας ζυγός με τάση 0,96 α.μ. θα είναι σχεδόν γαλάζιος. Ομοίως, το χρώμα στην δεύτερη περιοχή μεταβάλλεται από γαλάζιο προς μπλε ενώ στην τρίτη περιοχή είναι μπλε για όλες τις τάσεις που είναι μικρότερες από 0,9 α.μ. Με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε και τους πίνακες για την ανύψωση τάσης ζυγών και την φόρτιση των στοιχείων.



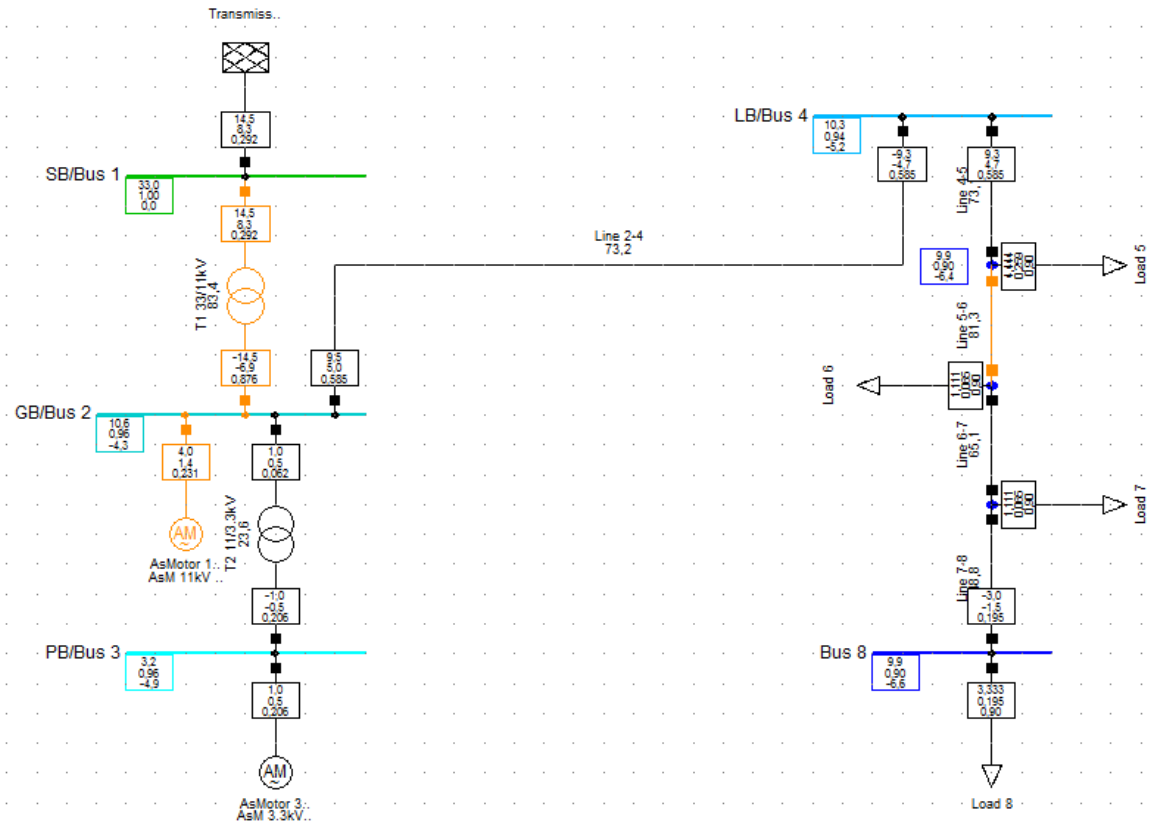
Ε2.71: Παράθυρο επεξεργασίας ρυθμίσεων χρωματισμού διαγράμματος μετά την ροής φορτίου

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο προηγούμενο παράθυρο διαλόγου. Στο πεδίο Preview βλέπουμε σε προεπισκόπηση την χρωματική μεταβολή των περιοχών που έχουμε ορίσει.



Ε2.72: Παράθυρο επεξεργασίας ρυθμίσεων χρωματισμού διαγράμματος

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic όπου πλέον οι ζυγοί και κάποια άλλα στοιχεία είναι χρωματισμένα. Ο ζυγός 1 που έχει τάση 1 α.μ. είναι πράσινος ενώ οι ζυγοί 2, 3 και 4 είναι γαλάζιοι. Ο ζυγός 4 όμως είναι πιο σκούρος από τους 2 και 3 γιατί έχει μικρότερη τάση και ανήκει σε άλλη χρωματική περιοχή. Χρώμα έχουν και οι ζυγοί 5, 6 και 7 παρόλο που έχουν την μορφή κόμβου στο σχέδιο. Η γραμμή 5-6 και ο μετασχηματιστής T1 έχουν φόρτιση λίγο μεγαλύτερη από 80% και για αυτό είναι πορτοκαλί. Αν κατά την παραμετροποίηση των στοιχείων στην γραμμή 4-5 είχαμε βάλει το μοντέλο Cable 11kV 400A αντί για το Cable 11kV 800A τότε η φόρτισή της θα ήταν αρκετά πάνω από το 100% και θα εμφανιζόταν κόκκινη.



E2.73: Single line graphic: Χρωματισμός δικτύου μετά την ροή φορτίου

## 2.7 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τις δυνατότητες του PowerFactory σχετικά με την προσομοίωση βραχυκυκλωμάτων. Θα δούμε τι επιλογές ρύθμισης υπάρχουν, πώς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, καθώς και άλλες δυνατότητες, όπως τα πολλαπλά και τα ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα.

### 2.7.1 Παρουσίαση επιλογών ρύθμισης και εκτέλεση βραχυκυκλώματος σε γραμμή

Η εκτέλεση ενός βραχυκυκλώματος μπορεί να ξεκινήσει με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- 1) από το μενού Calculation διαλέγοντας την επιλογή Short-Circuit,
- 2) από το εικονίδιο Calculate Short-Circuit της κύριας γραμμής εικονιδίων,
- 3) κάνοντας δεξί κλικ στο στοιχείο που θα γίνει το βραχυκύκλωμα και επιλέγοντας **Calculate** και μετά **Short-Circuit**.

Η τρίτη επιλογή είναι πιο εύχρηστη γιατί με αυτήν επιλέγεται και το στοιχείο που θα γίνει το βραχυκύκλωμα ενώ στις άλλες δύο πρέπει να το ορίσουμε χειροκίνητα αν δεν είναι το προεπιλεγμένο (το τελευταίο στοιχείο στο οποίο εκτελέστηκε βραχυκύκλωμα).

Κάνουμε δεξί κλικ στην γραμμή 2-4 και με τον τρίτο τρόπο που προαναφέραμε ανοίγουμε το παράθυρο διαλόγου του βραχυκυκλώματος. Στην καρτέλα **Basic Options** υπάρχουν οι κυριότερες ρυθμίσεις για το βραχυκύκλωμα. Στο πεδίο **Method** επιλέγουμε το πρότυπο σύμφωνα με το οποίο θα γίνει ο υπολογισμός. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι οι VDE0102, IEC60909, ANSI, IEC61363 και η μέθοδος complete. Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους αλλάζει τις διαθέσιμες ρυθμί-

σεις του παραθύρου διαλόγου του βραχυκυκλώματος. Στο παράδειγμά μας, επιλέγουμε την μέθοδο σύμφωνα με το πρότυπο IEC60909 που χρησιμοποιείται στην Δυτική Ευρώπη και θα αναλύσουμε τις παραμέτρους ρύθμισης. Εκτός από την τελευταία έκδοση αυτής της μεθόδου (2001) μπορούμε αν το επιθυμούμε να διαλέξουμε την παλιά της έκδοση (1990).

Στο πεδίο **Fault Type** επιλέγουμε το είδος του βραχυκυκλώματος. Στο πεδίο **Calculate** επιλέγουμε αν θέλουμε τον υπολογισμό των μέγιστων ή των ελάχιστων ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Το πεδίο **Max Voltage tolerance for LV systems** έχει να κάνει με τον υπολογισμό του διορθωτικού συντελεστή τάσης  $c$  σύμφωνα με τα πρότυπα IEC/VDE.

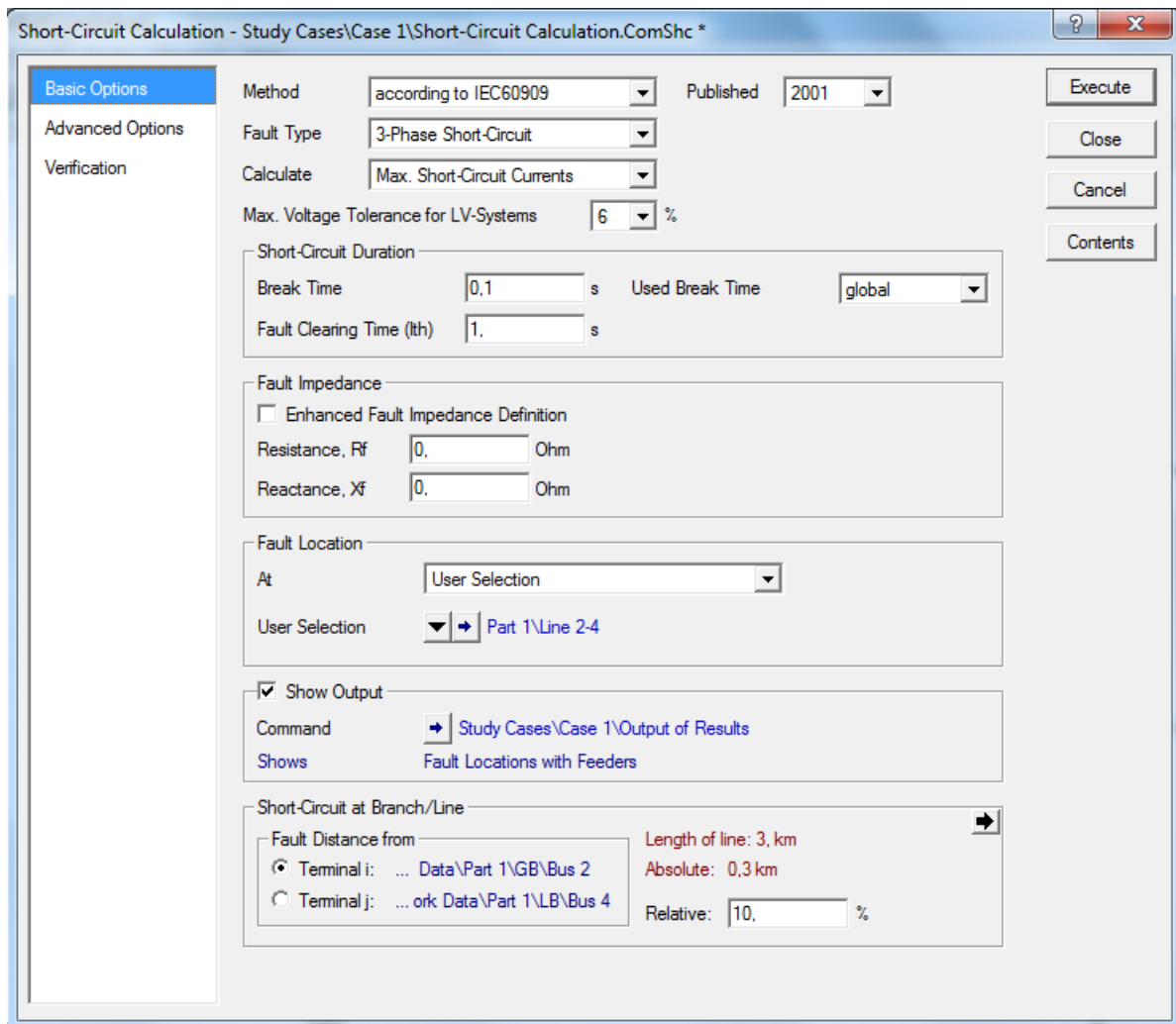
Στο πεδίο **Short-Circuit Duration** οι τιμές των **Breaker Time** και **Fault Clearing Time** ( $I_{th}$ ) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου λειτουργίας της προστασίας και της θερμικής καταπόνησης του προστατευόμενου εξοπλισμού, αντίστοιχα.

Στο πεδίο **Fault Impedance** ορίζουμε την ωμική ( $R_f$ ) και επαγωγική ( $X_f$ ) αντίσταση του βραχυκυκλώματος. Αν υπάρχει η επιλογή **Enhanced Fault Impedance Definition**, ανάλογα με το είδος του βραχυκυκλώματος που έχουμε επιλέξει, μπορούμε αν θέλουμε να την ενεργοποιήσουμε και να ορίσουμε ωμικές ( $R_f$  (L-L)) και επαγωγικές ( $X_f$  (L-L)) αντιστάσεις ανάμεσα στις φάσεις.

Στο πεδίο **Fault Location** φαίνεται με μπλε γραμματοσειρά το στοιχείο του δικτύου στο οποίο θα γίνει το βραχυκύκλωμα. Αν θέλουμε να το αλλάξουμε κάνουμε κλικ στο μαύρο βέλος δίπλα από το **User Selection**, επιλέγουμε **Select** και από το παράθυρο του **Data Manager** που ανοίγει επιλέγουμε το στοιχείο που θέλουμε.

Στο πεδίο **Show Output** επιλέγουμε τον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων στο **Output Window** καθώς και τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν ανάλογα με την μελέτη που κάνουμε. Αν απενεργοποιήσουμε το πεδίο αυτό τότε κανένα μήνυμα δεν θα εμφανιστεί στο **Output Window** μετά το βραχυκύκλωμα εκτός από το μήνυμα επιτυχούς ολοκλήρωσης της προσομοίωσης.

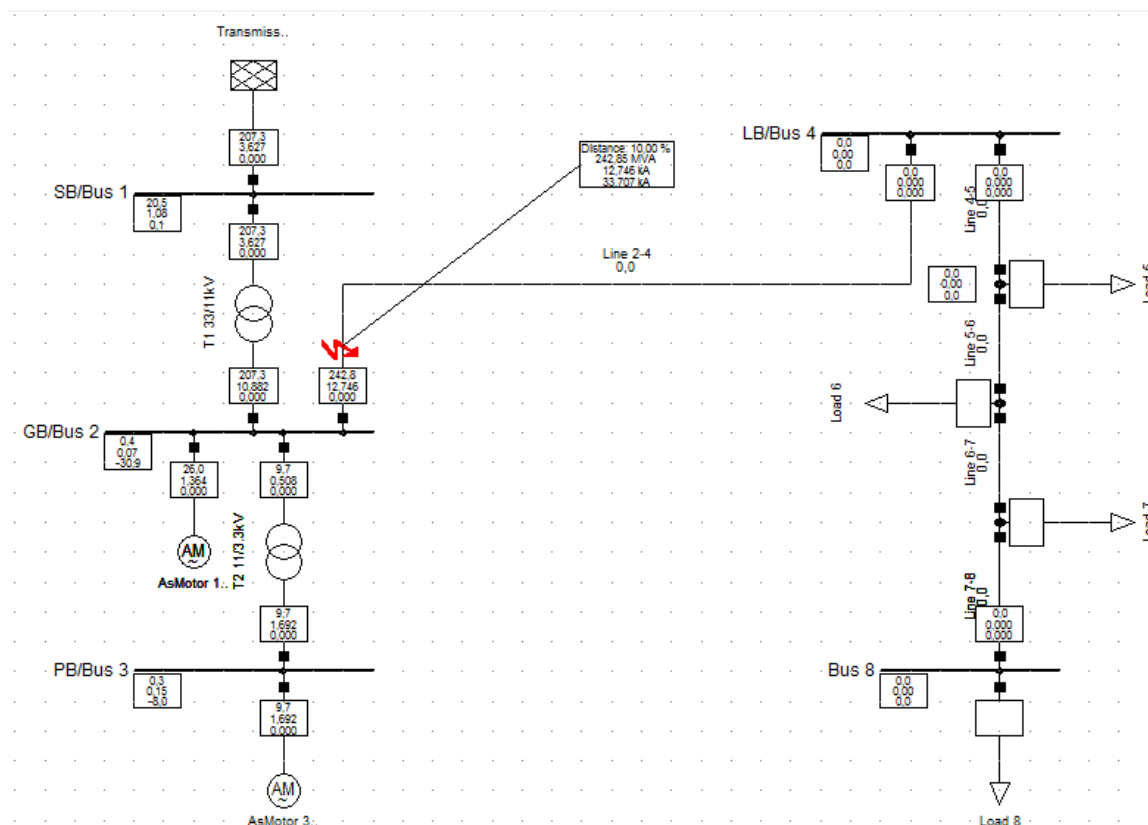
Τέλος, στο πεδίο **Short-Circuit at Branch/Line** επιλέγουμε το σημείο της γραμμής στο οποίο γίνεται το βραχυκύκλωμα. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε είτε δίνοντας την χιλιομετρική απόσταση είτε δίνοντας το ποσοστό ως προς το συνολικό μήκος της. Η εναλλαγή μεταξύ αυτών των δύο επιλογών γίνεται από το μαύρο δεξιό βέλος στο πάνω μέρος του πεδίου. Και στις δύο περιπτώσεις φυσικά ορίζουμε τον ζυγό αναφοράς της μέτρησης.



Ε2.74: Παράθυρο διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options

Στην καρτέλα **Advanced Options** υπάρχουν ρυθμίσεις για τον προσδιορισμό των συντελεστών  $k$  και  $c$ , της συνεχούς συνιστώσας του ρεύματος, της θερμοκρασίας των αγωγών πριν το βραχυκύκλωμα και άλλες ρυθμίσεις σχετικά με την επιλεγμένη μέθοδο. Η παραμετροποίηση των ρυθμίσεων αυτών απαιτεί την γνώση του τρόπου υπολογισμού του αντίστοιχου προτύπου.

Πατάμε το κομβίο **Execute** και το παράθυρο διαλόγου του βραχυκυκλώματος κλείνει. Επιστρέφοντας στο *single line graphic*, είναι σημειωμένο το σημείο της γραμμής όπου έγινε το σφάλμα και υπάρχει ένα πλαίσιο που υποδεικνύει τη θέση σφάλματος (στο 10% της γραμμής) και εμφανίζει τρεις τιμές. Αν αφήσουμε τον κέρσορα πάνω στο πλαίσιο θα δούμε ότι οι τιμές αυτές αναφέρονται κατά σειρά στην υπομεταβατική ισχύ, στο υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης και στην μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Τα ίδια ηλεκτρικά μεγέθη υπάρχουν και στα πλαίσια αποτελεσμάτων των κλάδων και των τερματικών στοιχείων του δικτύου και αφορούν την συνεισφορά κάθε στοιχείου στο βραχυκύκλωμα. Έχει θεωρηθεί ότι τα φορτία δε συνεισφέρουν στο βραχυκύκλωμα. Τα πλαίσια αποτελεσμάτων των ζυγών αναγράφουν την φασική και την α.μ. τάση του κάθε ζυγού καθώς και την γωνία του. Τα πλαίσια αποτελεσμάτων καθώς και το πλαίσιο του βραχυκυκλώματος μπορούν να μορφοποιηθούν όπως είδαμε στην παράγραφο 2.6.2.

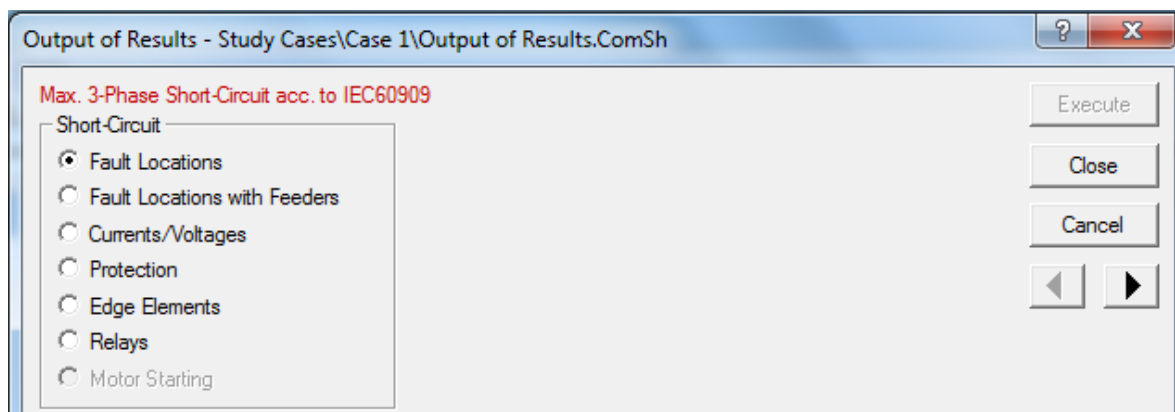


E2.75: Single line graphic: Παρουσίαση βραχυκυκλώματος στα πλαίσια αποτελεσμάτων

### 2.7.2 Επιλογές παρουσίασης αποτελεσμάτων στο Output Window

Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος, σε αντίθεση με την ροή φορτίου, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσω του Output Window είναι πολύ σημαντική καθώς παρουσιάζονται περισσότερες πληροφορίες και μπορούμε να ορίσουμε τον τρόπο παρουσίασης ώστε κάθε φορά να παίρνουμε την πληροφορία ακριβώς που χρειαζόμαστε.

Αφού διαγράψουμε όλα τα περιεχόμενα του Output Window πατώντας το κουμπί **Clear All** από την εργαλειοθήκη του, κάνουμε δεξί κλικ στην γραμμή 2-4, επιλέγουμε **Calculate** και κάνουμε κλικ στο **Short-Circuit**. Στο πεδίο **Show Output** του παραθύρου διαλόγου του βραχυκυκλώματος που ανοίγει κάνουμε κλικ στο μπλε βέλος. Στο νέο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει στο πεδίο Short-Circuit επιλέγουμε **Fault Locations**.



E2.76: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος

Κλείνουμε το παράθυρο πατώντας **Close** και κάνουμε το βραχυκύκλωμα πατώντας **Execute**. Πατάμε το εικονίδιο **Maximize Output Window** από την κύρια γραμμή εικονιδίων και βλέπουμε το Output Window.

```
DIGSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4
DIGSI/info - Short-circuit calculation ready!
```

Short-Circuit Calculation according to IEC60909				3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents							
Asynchronous Motors		Grid Identification		Short-Circuit Duration							
Always Considered		Automatic		Break Time		0,10 s					
				Fault Clearing Time (Ith)		1,00 s					
Decaying Aperiodic Component (idc)		Conductor Temperature		c-Voltage Factor							
Using Method		User Defined		User Defined		No					
		No									
Fault Distance from Terminal i: ... odel\Network Data\Part 1\GB\Bus 2				Absolute		0,30 km					
Line: \Filippos\Test\Network Model\Network Data\Part 1\Line 2-4				Relative		10,00 %					
Grid: Part 1				System Stage: Part 1							
	rtd.V.	Voltage		c-	Sk"	Ik"	ip	Ib	Sb	Ik	Ith
	[kV]	[kV]	[deg]	Factor	[MVA]	[kA]	[kA]	[kA]	[MVA]	[kA]	[kA]
Fault Location:											
Line 2-4											
	0,00	0,00	1,10	242,85	12,75	-87,24	33,71	11,87	226,15	10,88	13,20

□

### E2.77: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Fault Locations

Με πράσινη γραμματοσειρά παρουσιάζονται τα μηνύματα για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας προσομοίωσης του βραχυκυκλώματος, ενώ με μαύρη γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αποτελείται από δύο κομμάτια. Στο πρώτο κομμάτι αναφέρονται οι ρυθμίσεις βάσει των οποίων έγιναν οι υπολογισμοί. Στην πρώτη σειρά αναγράφεται ότι ο υπολογισμός έγινε με την μέθοδο IEC60909, ότι το βραχυκύκλωμα είναι τριφασικό και ότι υπολογίστηκαν τα μέγιστα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Στη συνέχεια, παραθέτονται οι κύριες παράμετροι της επιλεχθείσας μεθόδου. Στο δεύτερο κομμάτι υπάρχει ένας πίνακας με τις τιμές των μεταβλητών που υπολογίστηκαν. Αρχικά το μέτρο και η γωνία της τάσης, μετά ο συντελεστής c, η υπομεταβατική ισχύς βραχυκύκλωσης, το υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης κατά μέτρο και γωνία, το μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης, το ρεύμα και την ισχύ διακοπής και τέλος τη θερμική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Όλα αυτά είναι υπολογισμένα μόνο στο σημείο του βραχυκυκλώματος, γιατί αυτή την επιλογή κάναμε στο Command του πεδίου Show Output στο παράθυρο διαλόγου εκτέλεσης βραχυκυκλωμάτων. Το τετράγωνο στην τελευταία γραμμή σηματοδοτεί το τέλος της παρουσίασης των αποτελεσμάτων για αυτή την προσομοίωση.

Επαναλαμβάνουμε το βραχυκύκλωμα με τις ίδιες ρυθμίσεις με την διαφορά ότι στο παράθυρο που ανοίγει από το μπλε βέλος (Command) επιλέγουμε **Fault Locations with Feeders**.



DiGSi/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
DiGSi/info - Short-circuit calculation ready!

Short-Circuit Calculation according to IEC60909				3-Phase Short-Circuit				/ Max. Short-Circuit Currents			
Asynchronous Motors		Grid Identification		Short-Circuit Duration							
Always Considered		Automatic		Break Time				0,10 s			
				Fault Clearing Time (Ith)				1,00 s			
Decaying Aperiodic Component (idc)		Conductor Temperature		c-Voltage Factor							
Using Method B		User Defined No		User Defined				No			
Fault Distance from Terminal i:		... odel\Network Data\Part 1\GB\Bus 2				Absolute		0,30 km			
Line:		\Filippos\Test\Network Model\Network Data\Part 1\Line 2-4				Relative		10,00 %			
Grid: Part 1				System Stage: Part 1							
	rtd.V.	Voltage		c-	Sk"	Ik"	ip	Ib	Sb	Ik	Ith
	[kV]	[kV]	[deg]	Factor	[MVA]	[kA]	[deg]	[kA]	[MVA]	[kA]	[kA]
Fault Location:											
Line 2-4											
	0,00	0,00	1,10	242,85	12,75	-87,24	33,71	11,87	226,15	10,88	13,20
between:											
Bus 2 /Grid Bus	11,00	0,41	-30,93								
Line 2-4	Load Bus			242,85	12,75	-87,24					
T1 33/11kV	System Bus			207,33	10,88	91,96					
T2 11/3.3kV	Private Bu			9,67	0,51	97,01					
AsMotor 11kV				25,99	1,36	97,55					
and:											
Bus 4 /Load Bus	11,00	0,00	0,00								
Line 2-4	Grid Bus			0,00	0,00	0,00					
Line 4-5	Bus 5			0,00	0,00	0,00					

□

### E2.78: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Fault Locations with Feeders

Παρατηρούμε ότι το Output Window είναι ίδιο με πριν με την διαφορά ότι έχουν προστεθεί κάποιες γραμμές στον πίνακα των αποτελεσμάτων που αφορούν τις συνεισφορές σε υπομεταβατική ισχύ και ρεύμα των γειτονικών ζυγών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι γειτονικοί ζυγοί είναι ο 2 και ο 4 και κατά σειρά το Output Window αναγράφει τα εξής όσον αφορά την υπομεταβατική ισχύ:

-Ο ζυγός 2 με ονομαστική τάση 11kV, κατά το βραχυκύκλωμα έχει τάση 0,41kV με γωνία -30,93°

-συνεισφέρει στο βραχυκύκλωμα μέσω της γραμμής 2-4 με υπομεταβατική ισχύ 242,85MVA

-εκ των οποίων 207,33MVA προέρχονται από τον μετασχηματιστή T1

-9,67MVA από τον μετασχηματιστή T2

-και 25,99MVA από τον κινητήρα

-Ο ζυγός 4 με ονομαστική τάση 11kV, κατά το βραχυκύκλωμα έχει τάση 0 με γωνία 0

-συνεισφέρει στο βραχυκύκλωμα μέσω της γραμμής 2-4 υπομεταβατική ισχύ 0

-εκ των οποίων 0 προέρχονται από την γραμμή 4-5

Δηλαδή, όπως είναι λογικό το βραχυκύκλωμα τροφοδοτείται μόνο από τον ζυγό 2 γιατί ο ζυγός 4 έχει μόνο φορτία και η συνεισφορά του εξωτερικού δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των δύο κινητήρων. Ανάλογα ερμηνεύεται το Output Window και όσον αφορά το υπομεταβατικό ρεύμα.

Ανοίγουμε πάλι το παράθυρο διαλόγου του βραχυκυκλώματος και το παράθυρο διαλόγου από το μπλε βέλος και στο πεδίο Short-Circuit επιλέγουμε **Currents/Voltages**. Σε αντίθεση με πριν που μας εμφάνιζε μόνο τις συνεισφορές των γειτονικών ζυγών, από εδώ μπορούμε να ορίσουμε μέχρι πιο βάθος θέλουμε να βλέπουμε τις συνεισφορές από το πεδίο **Depth**. Με άλλα λόγια, ορίζουμε σε πόσους ζυγούς πίσω από το σφάλμα χρειαζόμαστε πληροφόρηση για τα ρεύματα που προκύπτουν. Ενεργοποιούμε την επιλογή **Start at Short-Circuit(s)** για να ορίσουμε την αφετηρία της μέτρησης των επιπέδων και πατάμε **Close** και **Execute**.

```

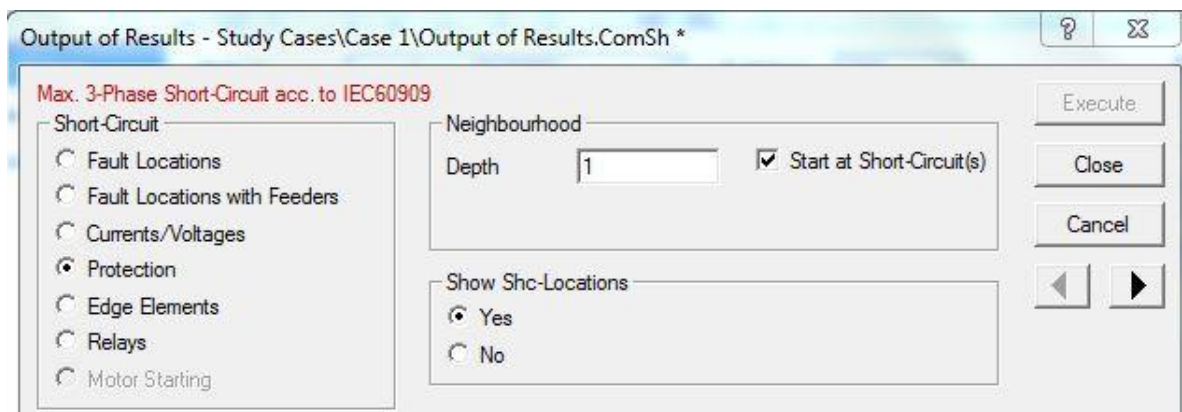
DigSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4
DigSI/info - Short-circuit calculation ready!
-----
|                                     | DIgSILENT | Project: |                                     |
|                                     | PowerFactory |         |                                     |
|                                     | 15.0.0     | Date: 9/28/2015 |                                     |
-----
| Currents/Voltages with short-circuit location(s) |
| Short-Circuit Calculation according to IEC60909 | 3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents |
-----
| Asynchronous Motors | Grid Identification | Short-Circuit Duration | |
| Always Considered | Automatic | Break Time | 0,10 s |
| | | Fault Clearing Time (Ith) | 1,00 s |
| Decaying Aperiodic Component (idc) | Conductor Temperature | c-Voltage Factor |
| Using Method B | User Defined No | User Defined No |
-----
| Short Circuit Location | Voltages | Sk" | Ikss |
| | [kV] [deg] | [MVA] | [kA] [deg] |
-----
| Line 2-4 | 0,00 0,00 | 242,850 | 12,746 92,76 |
-----
| Grid: Part 1 | System Stage: Part 1 | Annex: / 2 |
-----
| rtd.V. | Voltages | Sk" | Currents |
| [kV] | [kV] [deg] | [MVA] | [kA] [deg] |
-----
| Values at Observation Location |
-----
| SHC on line: Line 2-4 | 11,00 | 0,00 | 0,00 |
-----
| Values 1 Buses away |
-----
| Bus 2 | Substation : Grid Bus | 11,00 | 0,41 | -30,93 | |
| Cub_1 /Lne | Line 2-4 | Terminal i | 242,850 | 12,746 | -87,24 |
| Cub_1 /Tr2 | T1 33/11kV | LV-Side | 207,329 | 10,882 | 91,96 |
| Cub_1 /Tr2 | T2 11/3.3kV | HV-Side | 9,671 | 0,508 | 97,01 |
| Cub_1 /Asm | AsMotor 11kV | | 25,988 | 1,364 | 97,55 |
-----
| Bus 4 | Substation : Load Bus | 11,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Cub_1 /Lne | Line 2-4 | Terminal j | 0,000 | 0,000 | 0,00 |
| Cub_1 /Lne | Line 4-5 | Terminal i | 0,000 | 0,000 | 0,00 |
-----
| Values 2 Buses away |
-----
| Bus 1 | Substation : System Bus | 33,00 | 20,52 | 0,08 | |
| Cub_1 /Tr2 | T1 33/11kV | HV-Side | 207,329 | 3,627 | -88,04 |
| Cub_1 /Xnet | Transmission System | | 207,329 | 3,627 | -88,04 |
-----
| Bus 3 | Substation : Private Bus | 3,30 | 0,29 | -7,99 | |
| Cub_1 /Tr2 | T2 11/3.3kV | LV-Side | 9,671 | 1,692 | -82,99 |
| Cub_1 /Asm | AsMotor 3.3kV | | 9,671 | 1,692 | 97,01 |
-----

```

E2.79: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Currents/Voltages

Η δομή του Output Window είναι παρόμοια με πριν. Αρχικά έχει κάποια στοιχεία σχετικά με τις ρυθμίσεις με τις οποίες έγινε ο υπολογισμός του βραχυκυκλώματος. Μετά, στο χωρίο Short Circuit Location, έχει τα αποτελέσματα στο σημείο του βραχυκυκλώματος και από κάτω, στο χωρίο Values at Observation Location, έχει τις συνεισφορές. Πρώτα τις συνεισφορές από το πρώτο επίπεδο στο Values 1 Buses away και μετά από το δεύτερο επίπεδο στο Values 2 Buses away. Η διαφορά σε σχέση με πριν είναι ότι εδώ υπολογίζονται μόνο οι τιμές των υπομεταβατικών ισχύων και ρευμάτων.

Εκτελούμε εκ νέου το βραχυκύκλωμα επιλέγοντας στο παράθυρο του Command την επιλογή **Protection** με βάθος 1.



E2.80: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος

DigSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
 DigSI/info - Short-circuit calculation ready!

		DigSILENT	Project:
		PowerFactory	
		15.0.0	Date: 9/29/2015
-----			
Protection with short-circuit location(s)			
Short-Circuit Calculation according to IEC60909		3-Phase Short-Circuit	/ Max. Short-Circuit Currents
-----			
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration	
Always Considered	Automatic	Break Time	0,10 s
		Fault Clearing Time (Ith)	1,00 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor	
Using Method B	User Defined No	User Defined	No
-----			
Short Circuit Location	Voltages [kV] [deg]	Sk" [MVA]	Ikss [kA] [deg]
Line 2-4	0,00 0,00	242,850	12,746 -87,24
-----			
Grid: Part 1	System Stage: Part 1	Annex: / 2	
-----			
rtd.V. [kV]	Voltages [kV] [deg]	Currents [kA] [deg]	Impedances, Z [Ohm] [deg] Additional Branch Datas
-----			
Values at Observation Location			
-----			
SHC on line: Line 2-4			
11,00 0,00 0,00			
-----			
Values 1 Buses away			
-----			
Bus 2	Substation : Grid Bus		
11,00	0,41 -30,93		
Cub_1 /Line	Line 2-4	Terminal i	12,746 -87,24 0,032 56,31 R1 0,180 Ohm X1 0,270 Ohm
Cub_1 /Tr2	T1 33/11kV	LV-Side	10,882 91,96 0,038 -122,89
Cub_1 /Tr2	T2 11/3.3kV	HV-Side	0,508 97,01 0,815 -127,94
Cub_1 /Asm	AsMotor 11kV	Terminal	1,364 97,55 0,303 -128,48
-----			
Bus 4	Substation : Load Bus		
11,00	0,00 0,00		
Cub_1 /Line	Line 2-4	Terminal j	0,000 0,00 #INF, 0,00 R1 0,180 Ohm X1 0,270 Ohm
Cub_1 /Line	Line 4-5	Terminal i	0,000 0,00 #INF, 0,00 R1 0,240 Ohm X1 0,360 Ohm

E2.81: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Protection

Σε αυτήν την περίπτωση, στο σημείο του βραχυκυκλώματος υπολογίζονται η υπομεταβατική ισχύς και το υπομεταβατικό ρεύμα αλλά οι συνεισφορές των γειτονικών ζυγών υπολογίζονται μόνο για τα ρεύματα. Επιπλέον, εμφανίζονται δύο στήλες που δεν είχαν εμφανιστεί έως τώρα. Στην στήλη Impedances υπολογίζονται οι σύνθετες αντιστάσεις που θα έβλεπαν ηλεκτρονόμοι αποστάσεως τοποθετημένοι στα άκρα της γραμμής. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από την διαίρεση της τάση του ζυγού με το ρεύμα που συνεισφέρει ο καθένας. Στην στήλη Additional Branch Datas αναγράφονται οι συνολικές ωμικές και επαγωγικές αντιστάσεις των γραμμών.

Τέλος, επαναλαμβάνουμε το βραχυκύκλωμα επιλέγοντας στο παράθυρο του Command την επιλογή **Edge Elements**. Σε αυτή την περίπτωση, στο Output Win-

down παρουσιάζονται συνοπτικά οι ροές υπομεταβατικών ισχύων και ρευμάτων από όλους τους κλάδους και τον εξοπλισμό ισχύος του δικτύου.

DIGSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
 DIGSI/info - Short-circuit calculation ready!

Edge Elements		Short-Circuit Calculation according to IEC60909		3-Phase Short-Circuit		/ Max. Short-Circuit Currents	
Asynchronous Motors		Grid Identification		Short-Circuit Duration			
Always Considered		Automatic		Break Time		0,10 s	
				Fault Clearing Time (Ith)		1,00 s	
Decaying Aperiodic Component (idc)		Conductor Temperature		c-Voltage Factor			
Using Method B		User Defined No		User Defined		No	

Grid:		Study Case: Case 1		Page:					
Type	Voltage [kV]	c-Factor	Busbar	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	Ik [kA]	Ith [kA]
AsMotor 11kV	Asm		Grid Bus/Bus 2	25,99 MVA	1,36 kA	0,00 kA			
AsMotor 3.3kV	Asm		Private Bus/Bus 3	9,67 MVA	1,69 kA	0,00 kA			
Transmission System	Xnet		System Bus/Bus 1	207,33 MVA	3,63 kA	0,00 kA			
Line 2-4	Lne		Grid Bus/Bus 2	242,85 MVA	12,75 kA	0,00 kA			
			Load Bus/Bus 4	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 4-5	Lne		Load Bus/Bus 4	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Bus 5	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 5-6	Lne		Bus 5	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Bus 6	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 6-7	Lne		Bus 6	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Bus 7	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 7-8	Lne		Bus 7	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Bus 8	0,00 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
T1 33/11kV	Tr2		System Bus/Bus 1	207,33 MVA	3,63 kA	0,00 kA			
			Grid Bus/Bus 2	207,33 MVA	10,88 kA	0,00 kA			
T2 11/3.3kV	Tr2		Grid Bus/Bus 2	9,67 MVA	0,51 kA	0,00 kA			
			Private Bus/Bus 3	9,67 MVA	1,69 kA	0,00 kA			

### E2.82: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος - Edge Elements

Η επιλογή Relays παρουσιάζει στο Output Window στοιχεία που αφορούν τους ηλεκτρονόμους προστασίας του δικτύου. Περισσότερες πληροφορίες για την συγκεκριμένη επιλογή δίνονται στη συνέχεια.

Είδαμε μέχρι τώρα πώς αλλάζει η μορφή του Output Window ανάλογα με τις ρυθμίσεις που κάνουμε στο πεδίο Show Output. Εκτός από τις ρυθμίσεις εξόδου όμως, το Output Window αλλάζει μορφή ανάλογα και με τα είδη του βραχυκυκλώματος καθώς είναι διαφορετικά και τα μεγέθη που περιγράφουν το καθεύνα. Ενδεικτικά, κάνουμε ένα βραχυκύκλωμα επιλέγοντας στο πεδίο **Fault Type** διφασικό και στο πεδίο Show Output την επιλογή **Currents/Voltages** με βάθος 1.

Αρχικά, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το Output Window έχει μια περιοχή με την σύνοψη των ρυθμίσεων βάσει των οποίων έγιναν οι υπολογισμοί. Στην συνέχεια, στην περιοχή Short Circuit Location υπολογίζονται για το σημείο του βραχυκυκλώματος οι ακολουθιακές τάσεις, οι υπομεταβατικές ισχύεις και ρεύματα ανά φάση και τα ακολουθιακά ρεύματα. Στην περιοχή Values at Observation Location υπολογίζονται οι φασικές και ακολουθιακές τάσεις στο σημείο βραχυκυκλώματος και στην περιοχή Values 1 Buses away υπολογίζονται οι συνεισφορές κάθε κλάδου των γειτονικών ζυγών σε υπομεταβατικές ισχύεις και ρεύματα ανά φάση και σε ακολουθιακά ρεύματα.

DIgSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
 DIgSI/info - Short-circuit calculation ready!

	DIgSILENT	Project:
	PowerFactory	
	15.0.0	Date: 9/29/2015

Currents/Voltages with short-circuit location(s)  
 Short-Circuit Calculation according to IEC60909 2-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents

Asynchronous Motors Always Considered	Grid Identification Automatic	Short-Circuit Duration Break Time	0,10 s
	Conductor Temperature User Defined	Fault Clearing Time (Ith)	1,00 s
	No	c-Voltage Factor User Defined	No

Short Circuit Location	0-1-2 Sequence Voltages [kV] [deg]		Sk"	Ikss [ ] [ ] [ ]			0-1-2 Sequence Currents [ ] [ ]	
Line 2-4	U1	3,49 -0,00	A	0,000	0,000	0,00	I1	6,373 92,76
	U2	3,49 0,00	B	70,105	11,039	2,76	I2	6,373 -87,24
	U0	0,00 0,00	C	70,105	11,039	-177,24	3*I0	0,000 0,00

Grid: Part 1 System Stage: Part 1 Annex: / 2

rtd.V. [kV]	Line to Ground Voltages [kV]	0-1-2 Sequence Voltages [deg]	Sk"	Currents [kA]	0-1-2 Sequence Currents [deg]
-------------	------------------------------	-------------------------------	-----	---------------	-------------------------------

Values at Observation Location

SHC on line: Line 2-4	A	6,99 -0,00	U1	3,49 -0,00
	B	3,49 180,00	U2	3,49 0,00
	C	3,49 -180,00	U0	0,00 0,00

Values 1 Buses away

Bus 2	11,00	Substation : Grid Bus		A	6,99 -0,00	U1	3,67 -1,66	
		B	3,69 -175,22	U2	3,32 1,84			
		C	3,32 174,69	U0	0,00 0,00			
Cub_1 /Lne	Line 2-4	Terminal i	A	0,000	0,000	0,00	I1	6,373 -87,24
to : Load Bus			B	70,105	11,039	-177,24	I2	6,373 -87,24
			C	70,105	11,039	2,76	3*I0	0,000 0,00
Cub_1 /Tr2	T1 33/11kV	LV-Side	A	0,000	0,000	0,00	I1	5,441 91,96
to : System Bus			B	59,851	9,424	1,96	I2	5,441 -88,04
			C	59,851	9,424	-178,04	3*I0	0,000 0,00
Cub_1 /Tr2	T2 11/3.3kV	HV-Side	A	0,000	0,000	0,00	I1	0,254 97,01
to : Private Bus			B	2,792	0,440	7,01	I2	0,254 -82,99
			C	2,792	0,440	-172,99	3*I0	0,000 0,00
Cub_1 /Asm	AsMotor 11kV		A	0,000	0,000	0,00	I1	0,682 97,55
			B	7,502	1,181	7,55	I2	0,682 -82,45
			C	7,502	1,181	-172,45	3*I0	0,000 0,00
Bus 4	11,00	Substation : Load Bus		A	6,99 -0,00	U1	3,49 0,00	
		B	3,49 -180,00	U2	3,49 -0,00			
		C	3,49 180,00	U0	0,00 0,00			
Cub_1 /Lne	Line 2-4	Terminal j	A	0,000	0,000	0,00	I1	0,000 0,00
to : Grid Bus			B	0,000	0,000	0,00	I2	0,000 0,00
			C	0,000	0,000	0,00	3*I0	0,000 0,00
Cub_1 /Lne	Line 4-5	Terminal i	A	0,000	0,000	0,00	I1	0,000 0,00
to : Bus 5			B	0,000	0,000	0,00	I2	0,000 0,00
			C	0,000	0,000	0,00	3*I0	0,000 0,00

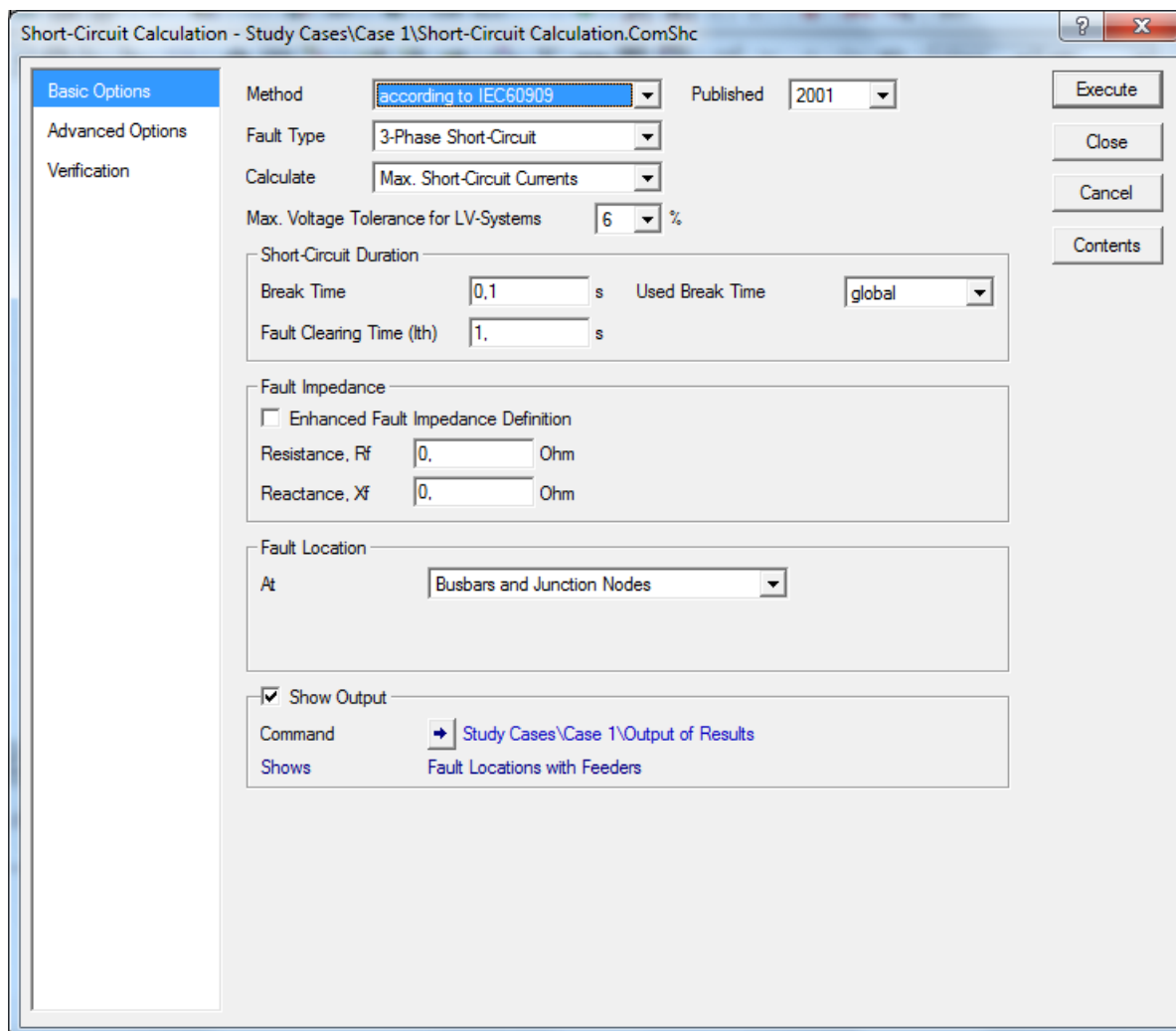
□

### E2.83: Output Window: Αποτελέσματα 2Φ βραχυκυκλώματος - Currents/Voltages

Την ίδια δομή έχει το Output Window και για τα υπόλοιπα βραχυκυκλώματα στα οποία υπολογίζονται τα ακολουθιακά μεγέθη, ενώ ανάλογα με τις επιλογές εξόδου που γίνονται από το πεδίο Show Output αλλάζει και η πληροφορία στην οποία εστιάζεται η παρουσίαση. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η παρουσίαση αποτελεσμάτων μέσω των πλαισίων στο single line graphic είναι δυνατή και για τα άλλα βραχυκυκλώματα, αλλά απαιτείται κατάλληλος ορισμός των μεταβλητών που παρουσιάζονται.

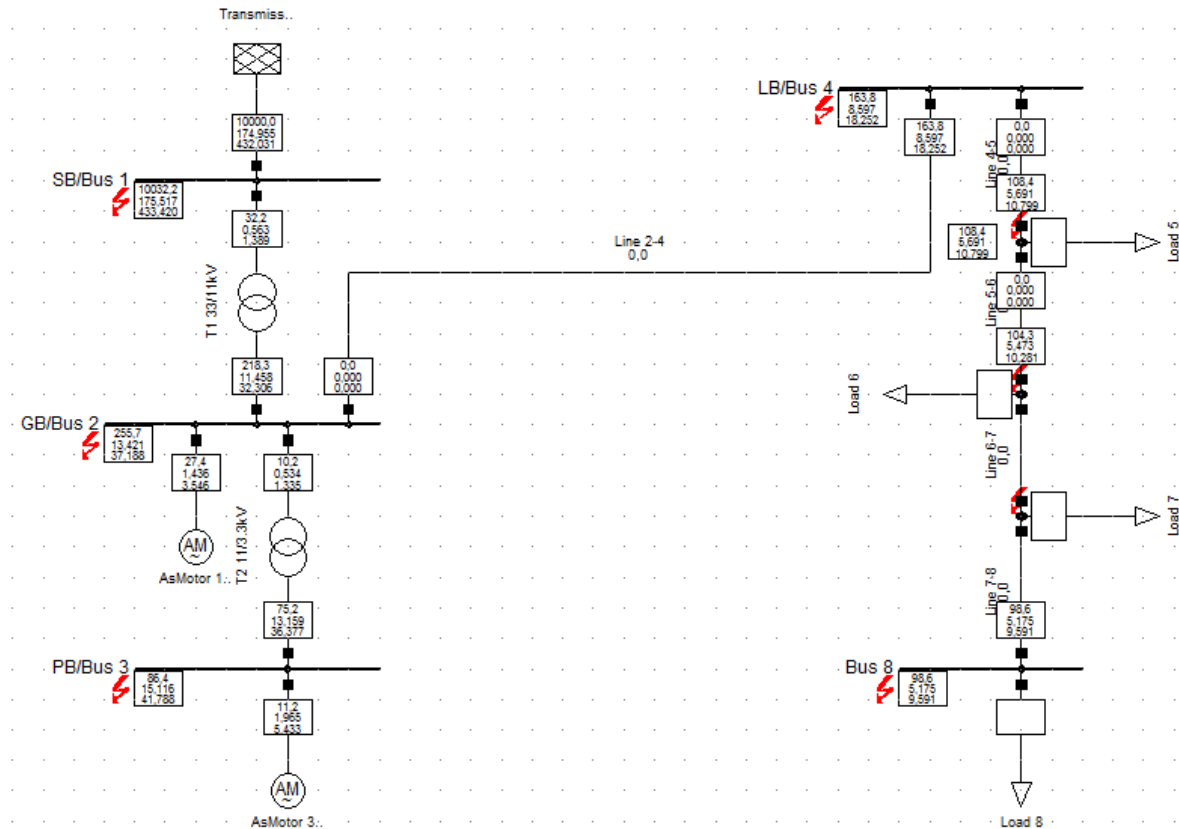
### 2.7.3 Πολλαπλά βραχυκυκλώματα σε ζυγούς και ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα

Με τον ίδιο τρόπο που κάνουμε τα βραχυκυκλώματα μέχρι τώρα στην γραμμή μπορούμε να κάνουμε και σε κάποιον ζυγό. Τα βραχυκυκλώματα στους ζυγούς ενός δικτύου είναι εξίσου σημαντικά για τον έλεγχο της καταλληλότητας του εγκατεστημένου εξοπλισμού. Για τον λόγο αυτό, το PowerFactory έχει την δυνατότητα να υπολογίσει με μία εντολή τα βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Για να το κάνουμε αυτό, ανοίγουμε το παράθυρο διαλόγου του βραχυκυκλώματος από το εικονίδιο στην κύρια γραμμή εικονιδίων και στο πεδίο Fault Location στην λίστα, δίπλα από το At, επιλέγουμε **All Busbars** ή **Busbars and Junction Nodes**.



Ε2.84: Παράθυρο διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options

Τα βραχυκυκλώματα στους κόμβους υπολογίζονται αλλά δεν παρουσιάζονται στο Output Window. Μπορούμε όμως να τα διαβάσουμε από single line graphic όπως και των άλλων ζυγών. Τα πλαίσια αποτελεσμάτων των κλάδων που συνδέονται σε έναν ζυγό γράφουν την συνεισφορά του αντίστοιχου κλάδου στο βραχυκύκλωμα του συγκεκριμένου ζυγού. Για τον λόγο αυτό βλέπουμε ότι τα δύο πλαίσια ενός κλάδου αναγράφουν διαφορετικές τιμές, γιατί αναφέρονται σε διαφορετικά βραχυκυκλώματα.



E2.85: Single line graphic: Πολλαπλά βραχυκυκλώματα στους ζυγούς

Στην περίπτωση των πολλαπλών βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς η παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο Output Window γίνεται μόνο με τις επιλογές Fault Locations with Feeders και Edge Elements από το παράθυρο του Command. Οι επιλογές Currents/Voltages και Protection φαίνονται ενεργές αλλά αν τις επιλέξουμε αλλάζουν αυτόματα σε Fault Locations with Feeders.

```
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal System Bus\Bus 1
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Grid Bus\Bus 2
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Load Bus\Bus 4
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Private Bus\Bus 3
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Part 1\Bus 8
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Part 1\Bus 5
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Part 1\Bus 6
DIgSI/info - Short-circuit calculated at Terminal Part 1\Bus 7
DIgSI/info - Short-circuit calculation ready!
```

		DIgSILENT		Project:								
		PowerFactory		Date: 9/29/2015								
		15.0.0										
Fault Locations with Feeders												
Short-Circuit Calculation according to IEC60909												
3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents												
Asynchronous Motors		Grid Identification		Short-Circuit Duration								
Always Considered		Automatic		Break Time 0,10 s								
Decaying Aperiodic Component (idc)		Conductor Temperature		Fault Clearing Time (Ith) 1,00 s								
Using Method B		User Defined No		c-Voltage Factor								
				User Defined No								
Grid: Part 1		System Stage: Part 1		Annex: / 1								
rtd.V.	Voltage	c-	Sk"	Ik"	ip	Ib	Sb	Ik	Ith			
[kV]	[kV]	[deg]	[MVA/MVA]	[kA/kA]	[deg]	[kA/kA]	[MVA]	[kA]	[kA]			
Grid Bus												
Bus 2	11,00	0,00	0,00	1,10	255,71 MVA	13,42 kA	-89,08	37,19 kA	12,39	235,98	11,46	17,09
Line 2-4	Load Bus				0,00 MVA	0,00 kA	0,00	0,00 kA				
T1 33/11kV	System Bus				218,31 MVA	11,46 kA	90,12	32,31 kA				
T2 11/3.3kV	Private Bu				10,18 MVA	0,53 kA	95,18	1,34 kA				
AsMotor 11kV					27,36 MVA	1,44 kA	95,71	3,55 kA				
Load Bus												
Bus 4	11,00	0,00	0,00	1,10	163,80 MVA	8,60 kA	-76,60	18,25 kA	8,27	157,50	7,34	8,66
Line 2-4	Grid Bus				163,80 MVA	8,60 kA	103,40	18,25 kA				
Line 4-5	Bus 5				0,00 MVA	0,00 kA	0,00	0,00 kA				
Private Bus												
Bus 3	3,30	0,00	0,00	1,10	86,40 MVA	15,12 kA	-89,06	41,79 kA	13,98	79,90	11,70	15,45
T2 11/3.3kV	Grid Bus				75,21 MVA	13,16 kA	90,23	36,38 kA				
AsMotor 3.3kV					11,23 MVA	1,97 kA	95,71	5,43 kA				
System Bus												
Bus 1	33,00	0,00	0,00	1,10	10032,15 MVA	175,52 kA	-84,29	433,42 kA	175,52	10032,15	175,52	178,49
T1 33/11kV	Grid Bus				32,16 MVA	0,56 kA	94,76	1,39 kA				
Transmission Sy					10000,00 MVA	174,95 kA	-84,29	432,03 kA				
Bus 8												
Line 7-8	11,00	0,00	0,00	1,10	98,60 MVA	5,18 kA	-67,88	9,59 kA	5,11	97,40	4,42	5,20
	Bus 7				98,60 MVA	5,18 kA	112,12	9,59 kA				

E2.86: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ πολλαπλών βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς - Fault Locations with feeders

Εκτός από τα πολλαπλά βραχυκυκλώματα στους ζυγούς του δικτύου με τον τρόπο που είδαμε, το PowerFactory δεν έχει άλλες δυνατότητες σχετικά με πολλαπλά βραχυκυκλώματα. Δεν μπορούμε, για παράδειγμα, να κάνουμε βραχυκύκλωμα σε όλες τις γραμμές με μία εντολή. Για αυτές τις περιπτώσεις το PowerFactory έχει την δυνατότητα εκτέλεσης αλγορίθμων που γράφει ο χρήστης. Θα μπορούσε δηλαδή ο χρήστης να γράψει ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει με την σειρά ένα βραχυκύκλωμα σε κάθε γραμμή του δικτύου και θα παρουσιάζει τα αποτελέσματα στο Output Window. Η γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει το PowerFactory είναι η DPL (DIgSILENT Programming Language) που μοιάζει με τη γλώσσα C.

Το PowerFactory δίνει και την δυνατότητα υπολογισμού ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων, δηλαδή βραχυκυκλωμάτων που συμβαίνουν σε δύο ή περισσότερα σημεία του δικτύου την ίδια στιγμή. Τα βραχυκυκλώματα αυτά αναφέρονται στο πρόγραμμα ως «Multiple Faults» ωστόσο ο όρος αυτός δεν αφορά πολλαπλά ανεξάρτητα βραχυκυκλώματα όπως είδαμε πριν με τους ζυγούς αλλά ταυτόχρονα σφάλματα.

Επιλέγουμε στο single line graphic την γραμμή 2-4 και τον ζυγό 3 του δικτύου. Κάνουμε δεξί κλικ πάνω σε κάποιο από αυτά, επιλέγουμε **Calculate** και κάνουμε κλικ στο **Multiple Faults**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει φαίνονται τα δύο στοιχεία που έχουμε επιλέξει. Μπορούμε να προσθέσουμε και άλλα στοι-

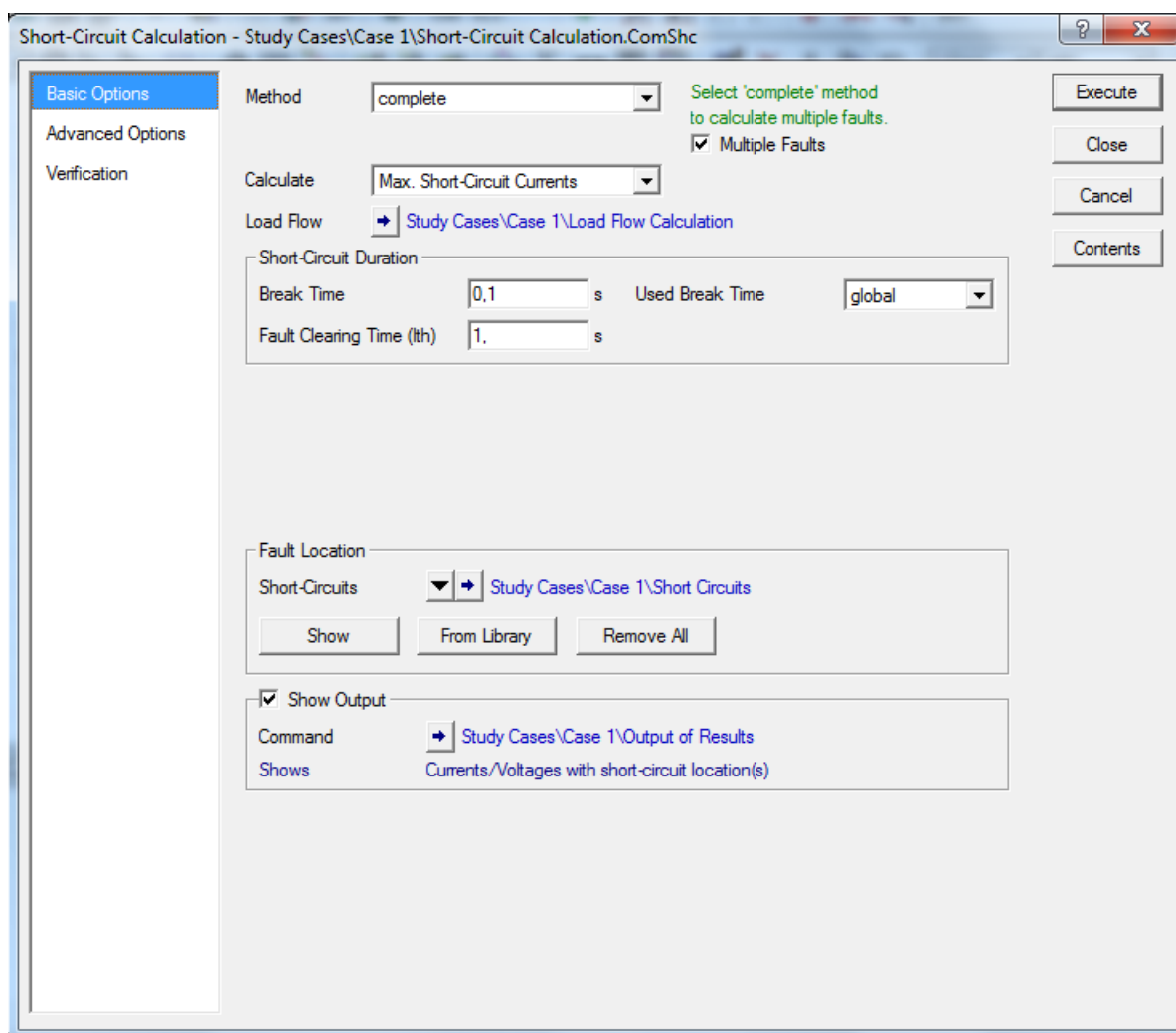


χεία ή να αφαιρέσουμε κάποιο από αυτή την λίστα χρησιμοποιώντας τα εικονίδια New Object και Delete Object, αντίστοιχα, από την γραμμή εικονιδίων του παραθύρου. Σε αυτό το παράθυρο μπορούμε να ορίσουμε διαφορετικές ρυθμίσεις βραχυκυκλώματος σε κάθε στοιχείο. Για παράδειγμα, στην στήλη **Fault Type** βάζουμε τριφασικό βραχυκύκλωμα (0) για τον ζυγό 3 και μονοφασικό προς γη (2) για την γραμμή 2-4. Στην στήλη **Phase** ορίζουμε σε ποια από τις τρεις φάσεις θα γίνει το βραχυκύκλωμα. Η προεπιλεγμένη θέση του βραχυκυκλώματος στην στήλη Fault Location είναι στο 50% της γραμμής και δεν αλλάζει από αυτό το παράθυρο.

Name	Object	Fault Type	Phases	Phase	Phases	Fault Resistance Ohm	Fault Reactance Ohm	Fault Inductance mH	Fault Location %
Short-Circuit Event	Bus 3	0	a-b	a	a,b	0,	0,	0,	
Short-Circuit Event(1)	Line 2-4	2	a-b	a	a,b	0,	0,	0,	50,

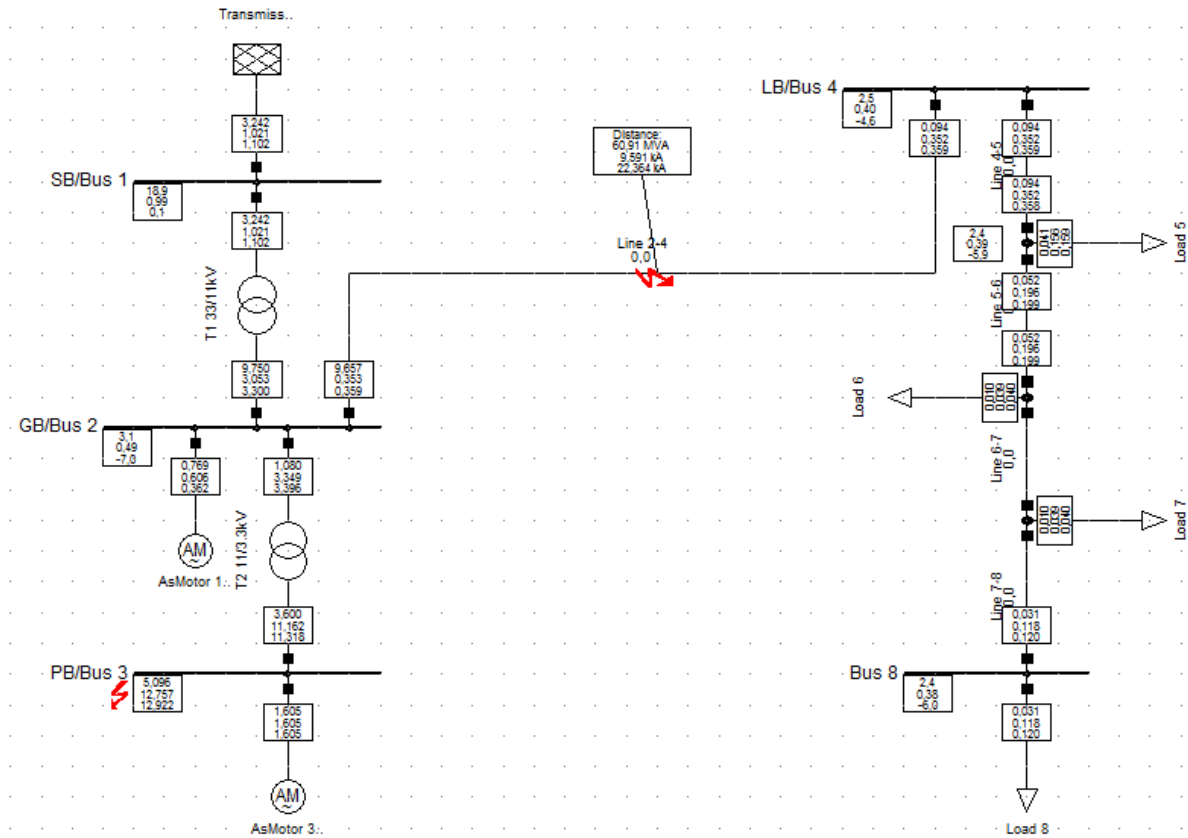
Ε2.87: Λίστα ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων

Πατάμε **Close** και ανοίγει το παράθυρο διαλόγου του βραχυκυκλώματος. Στο πεδίο **Method** είναι επιλεγμένη η μέθοδος complete και η επιλογή **Multiple Faults** είναι ενεργοποιημένη. Τα ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα γίνονται μόνο με την μέθοδο complete όπως αναφέρεται με πράσινα γράμματα. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει και την διεξαγωγή ροής φορτίου πριν το βραχυκύκλωμα. Το μπλε βέλος στο πεδίο **Load Flow** ανοίγει το παράθυρο διαλόγου της ροής φορτίου για να ορίσουμε τις ρυθμίσεις της. Με το κομβίο **Show** στο πεδίο Fault Location μπορούμε να ανοίξουμε πάλι το προηγούμενο παράθυρο όπου αλλάξαμε ξεχωριστά τις ρυθμίσεις για καθένα από τα δύο βραχυκυκλώματα.



Ε2.88: Παράθυρο διαλόγου βραχυκυκλωμάτων - καρτέλα Basic Options

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο single line graphic. Στο Output Window φαίνονται τα αποτελέσματα μόνο για τους ζυγούς και όχι για τις γραμμές στα ταυτόχρονα βραχυκυκλώματα. Όπως και στην περίπτωση των πολλαπλών βραχυκυκλωμάτων μόνο οι επιλογές Fault Locations with Feeders και Edge Elements από το παράθυρο του Command μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



E2.89: Single line graphic: Παρουσίαση ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων στα πλαίσια αποτελεσμάτων

```

DlgSI/info - Element ' Transmission System' is local reference in separated area of 'T1.2'
DlgSI/info - Calculating load flow...
DlgSI/info -----
DlgSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DlgSI/info - Iteration 1: Bus 5 5.73e-001 Load 5 6.24e-002
DlgSI/info - Iteration 2: Bus 5 1.32e-002 Load 5 1.77e-003
DlgSI/info - Iteration 3: Bus 5 7.67e-006 Load 5 9.85e-007
DlgSI/info - Newton-Raphson converged with 3 iterations.
DlgSI/info - Load flow calculation successful.
DlgSI/info -----
DlgSI/info - Report of Control Condition for Relevant Controllers
DlgSI/info -----
DlgSI/info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.
DlgSI/info - Element ' Transmission System' is local reference in separated area of 'T1.2'
DlgSI/info - Short-circuit calculation ready!

```

		DlgSILENT	Project:										
		PowerFactory											
		15.0.0	Date: 9/29/2015										
-----													
Fault Locations with Feeders			Short-Circuit Calculation complete										
/ Max. Short-Circuit Currents													
-----													
Short-Circuit Duration													
Break Time	0,10 s												
Fault Clearing Time (Ith)	1,00 s												
-----													
Short-Circuit Event	Object	Fault Resistance [Ohm]	Fault Reactance [Ohm] Fault Type Phases										
1	.\PB\Bus 3	0,000	3-Phase Short-Circuit										
2	.\Line 2-4	0,000	Single Phase to Ground Fault a										
-----													
Grid: Part 1		System Stage: Part 1											
		Annex: / 1											
-----													
rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- [deg]	Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA]	Ik' [deg]	Ik' [kA]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	ib [kA]	EFF [-]		
Private Bus													
Bus 3	A	3,30	0,00	0,00	1,00	9,71 MVA	5,10 kA	-113,1	3,41	14,09 kA	3,55	11,17	0,00
	B		0,00	-120,00		24,31 MVA	12,76 kA	150,3	10,57	35,27 kA	10,75	30,61	0,00
	C		0,00	120,00		24,62 MVA	12,92 kA	22,7	10,72	35,72 kA	10,90	31,02	0,00
T2 11/3.3k Grid Bus													
	A					6,86 MVA	3,60 kA	59,2	3,41	9,95 kA			
	B					21,27 MVA	11,16 kA	-28,9	10,57	30,85 kA			
	C					21,56 MVA	11,32 kA	-157,6	10,72	31,29 kA			
AsMotor 3.													
	A					3,06 MVA	1,60 kA	84,6	0,00	4,44 kA			
	B					3,06 MVA	1,60 kA	-35,4	0,00	4,44 kA			
	C					3,06 MVA	1,60 kA	-155,4	0,00	4,44 kA			

E2.90: Output Window: Αποτελέσματα ταυτόχρονων βραχυκυκλωμάτων - Fault Locations with Feeders

## 2.8 Μελέτη προστασίας υπερέντασης

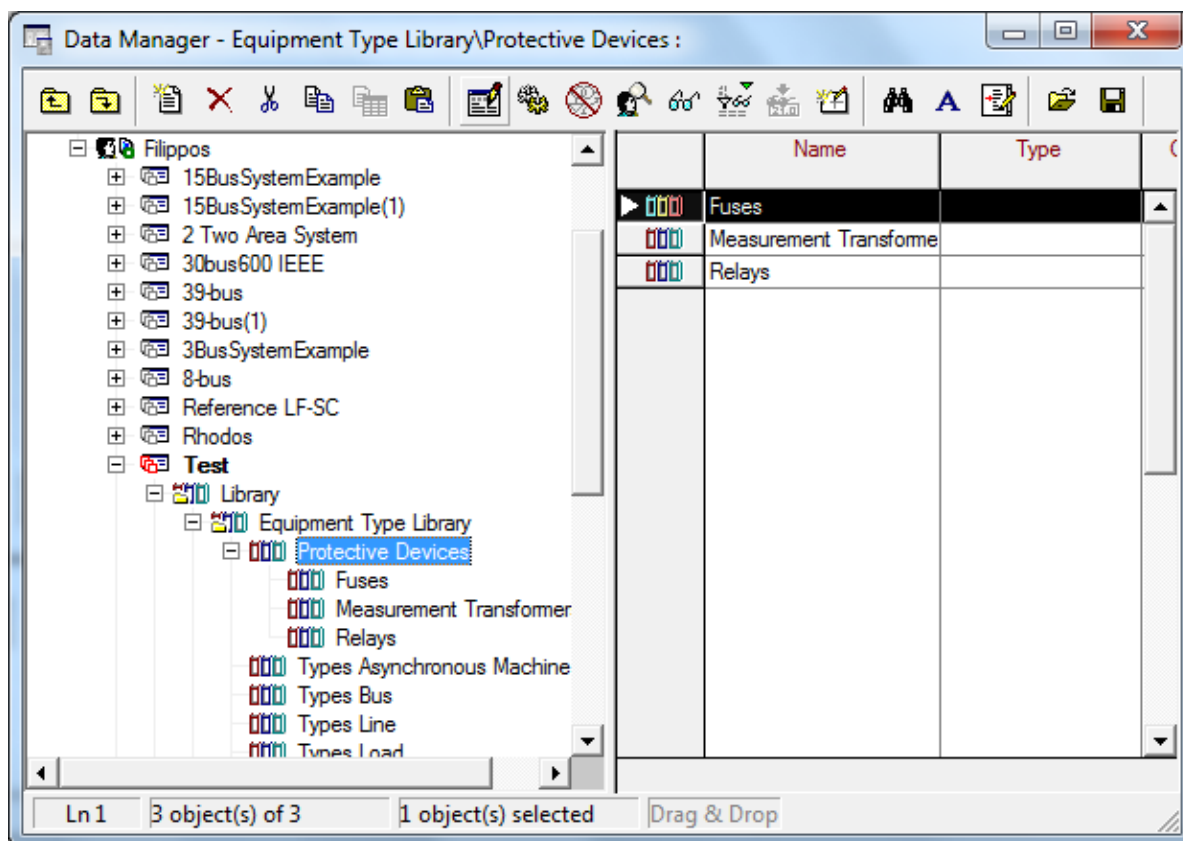
Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τις δυνατότητες και τα εργαλεία που προσφέρει το PowerFactory για την διεξαγωγή μελετών προστασίας υπερέντασης. Σκοπός είναι να δείξει στον αναγνώστη τις δυνατότητες που προσφέρει το PowerFactory στον τομέα της προστασίας, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το δίκτυο που έχουμε χρησιμοποιήσει έως τώρα για λόγους επίδειξης. Συγκεκριμένα,

- θα οργανώσουμε τη βιβλιοθήκη με τα μέσα προστασίας που θα χρησιμοποιήσουμε (ηλεκτρονόμους, ασφάλειες κτλ.),
- θα ορίσουμε τους μετασχηματιστές έντασης και τάσης που χρειάζονται οι ηλεκτρονόμοι για την λειτουργία τους,
- θα τοποθετήσουμε μέσα προστασίας σε επιλεγμένες θέσεις του δικτύου,
- θα σχεδιάσουμε τις καμπύλες λειτουργίας των στοιχείων προστασίας,
- θα δούμε πώς μπορούμε να τροποποιήσουμε τις παραμέτρους των μέσων προστασίας από τα διαγράμματα επιλογικής συνεργασίας,
- και τέλος θα μορφοποιήσουμε τα εν λόγω διαγράμματα για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

### 2.8.1 Δημιουργία βιβλιοθήκης για μέσα προστασίας με εισαγωγή στο PowerFactory και με μεταφορά από την Global Library

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.4, τα μοντέλα της βιβλιοθήκης ενός project είτε έχουν φτιαχτεί από τον χρήστη, είτε έχουν μεταφερθεί από άλλες βιβλιοθήκες του προγράμματος, είτε έχουν εισαχθεί από εξωτερική πηγή. Στην ενότητα 2.4 είχαμε φτιάξει τα μοντέλα για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε στο δίκτυο. Σε αυτή την παράγραφο θα φτιάξουμε την βιβλιοθήκη των μέσων προστασίας εισάγοντας και μεταφέροντας έτοιμα μοντέλα, ενώ σε επόμενη παράγραφο θα φτιάξουμε ένα μοντέλο ασφάλειας.

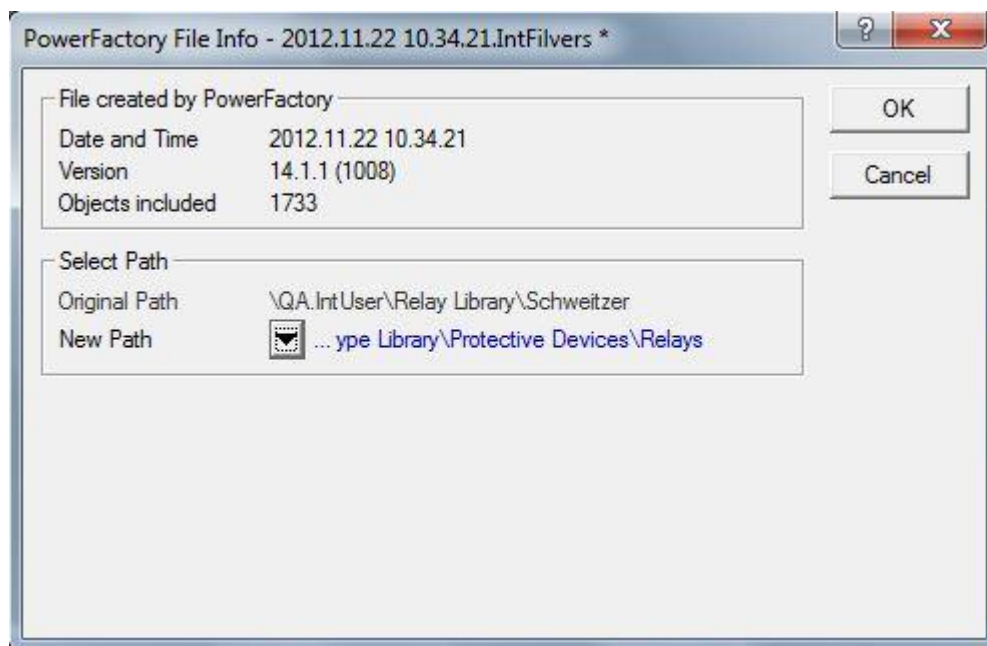
Πριν εισάγουμε τα μοντέλα, πρέπει να φτιάξουμε πρώτα τους κατάλληλους φακέλους στην βιβλιοθήκη του project ώστε να μπορούμε στο μέλλον να βρούμε εύκολα ότι ψάχνουμε. Ανοίγουμε λοιπόν τον **Data Manager** και ξεδιπλώνουμε το δέντρο μέχρι να βρούμε τον φάκελο Equipment Type Library στην βιβλιοθήκη του project το οποίο επεξεργαζόμαστε. Κάνοντας δεξί κλικ πάνω σε αυτόν τον φάκελο και διαλέγοντας την επιλογή **New** φτιάχνουμε έναν νέο υποφάκελο τον οποίον ονομάζουμε Protective Devices. Στην συνέχεια με τον ίδιο τρόπο φτιάχνουμε στο φάκελο Protective Devices άλλους τρεις υποφακέλους με ονόματα Relays, Fuses και Measurement Transformers.



E2.91: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων για τα μέσα προστασίας

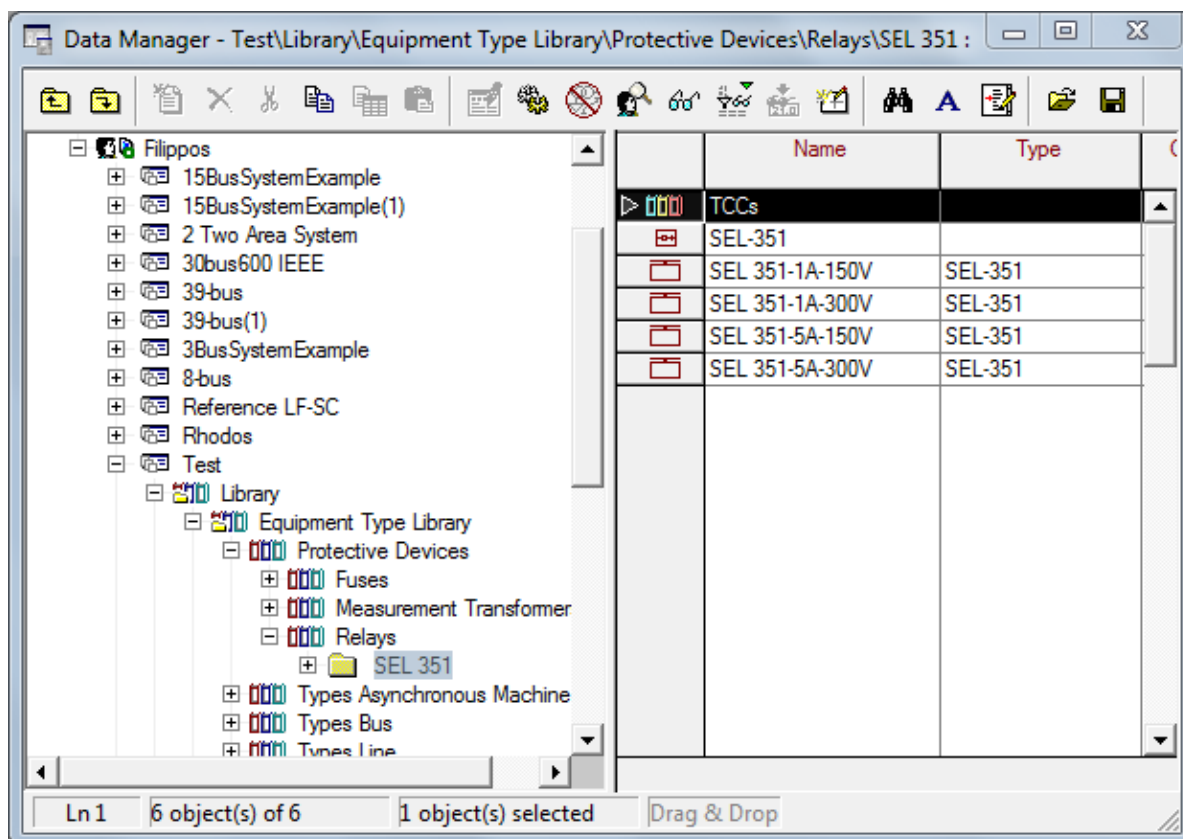
Για να εισάγουμε ένα αρχείο στο PowerFactory πρέπει να μην είναι ενεργό κανένα project. Κάνουμε δεξί κλικ στο όνομα του project, επιλέγουμε **Deactivate** και κλείνουμε τον Data Manager. Στην συνέχεια, πηγαίνουμε στο μενού **File**, στην επιλογή **Import** και κάνουμε κλικ στην επιλογή **Data (\*.dz;\*.dat;\*.pfd;\*.dle)**. Στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει, αναζητούμε τον φάκελο στο οποίο έχουμε αποθηκεύσει το αρχείο .dz που αντιστοιχεί στο μοντέλο του ηλεκτρονόμου που θέλουμε να εισάγουμε, το επιλέγουμε και πατάμε **Open**. Στο παράθυρο διαλόγου

που ανοίγει και στο πεδίο Select Path κάνουμε κλικ στο μαύρο βέλος δίπλα από το **New Path** και επιλέγουμε τον φάκελο Relays που φτιάξαμε στο project Test.



E2.92: Παράθυρο διαλόγου για την θέση εισαγωγής αρχείου

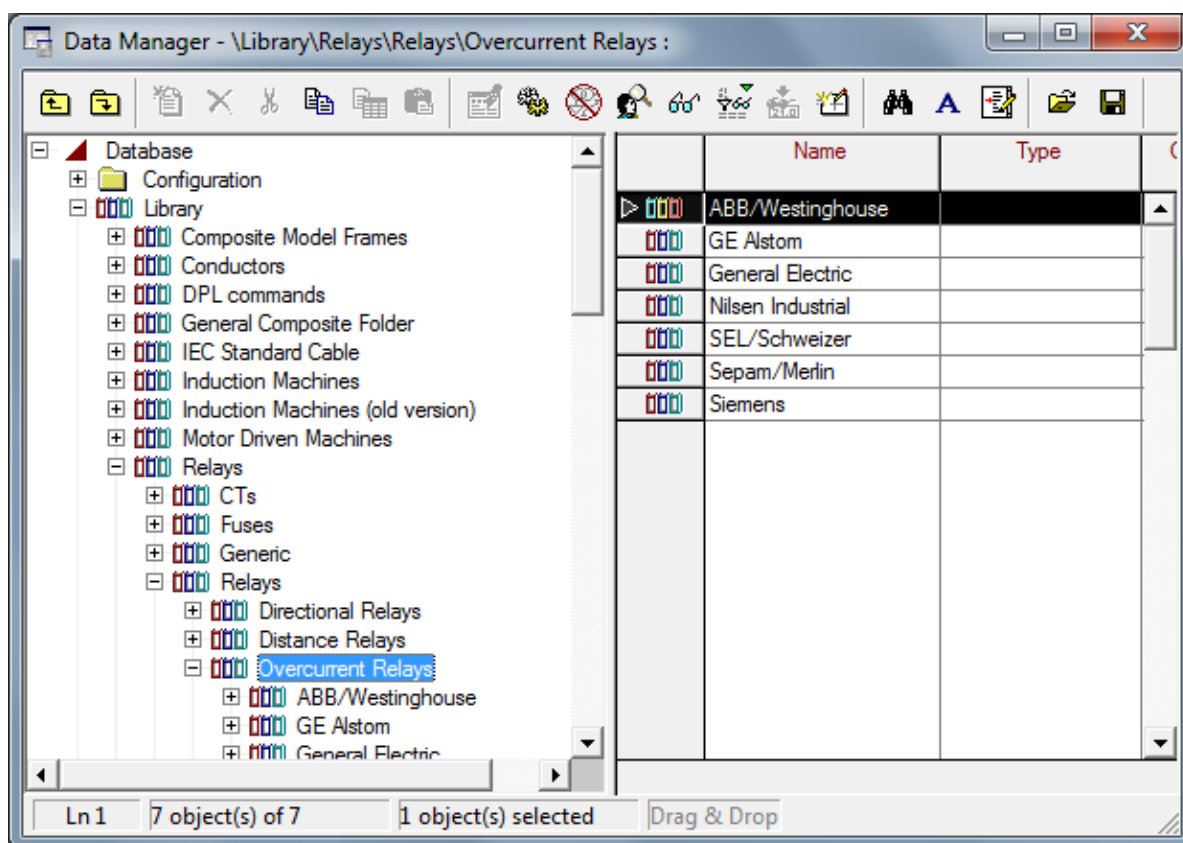
Πατάμε **OK** και η εισαγωγή του μοντέλου ολοκληρώνεται μετά από λίγα δευτερόλεπτα. Για αυτό το παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε τον ηλεκτρονόμο SEL 351 της εταιρίας Schweitzer.



E2.93: Data Manager: Εισαγωγή μοντέλου ηλεκτρονόμου

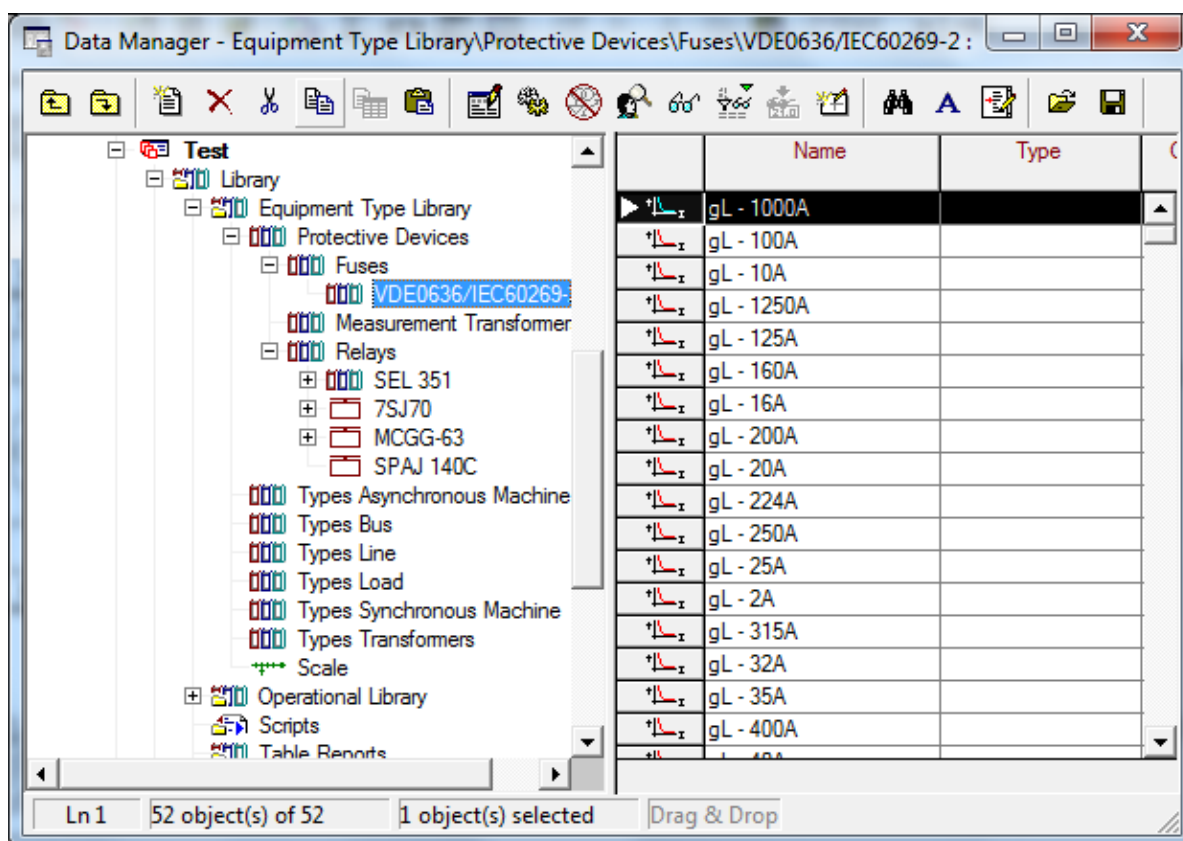
Αν θέλουμε μπορούμε να αλλάξουμε το εικονίδιο του φακέλου που δημιουργήθηκε ώστε να φαίνεται ότι είναι βιβλιοθήκη κάνοντας πάνω του δεξί κλικ και επιλέγοντας **Edit**. Για να γίνει όμως αυτό πρέπει πρώτα να ενεργοποιήσουμε το project κάνοντας δεξί κλικ πάνω του και επιλέγοντας **Activate**.

Στην συνέχεια θα μεταφέρουμε στην βιβλιοθήκη του project κάποια μοντέλα από την Global Library. Ξεδιπλώνουμε το δέντρο του Data Manager μέχρι να βρούμε τον φάκελο Database/Library/Relays/Relays/Overcurrent Relays. Εδώ υπάρχουν κάποιοι προεγκατεστημένοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης ομαδοποιημένοι ανά εταιρία.



E2.94: Data Manager: Θέση μοντέλων στην Global Library προς μεταφορά

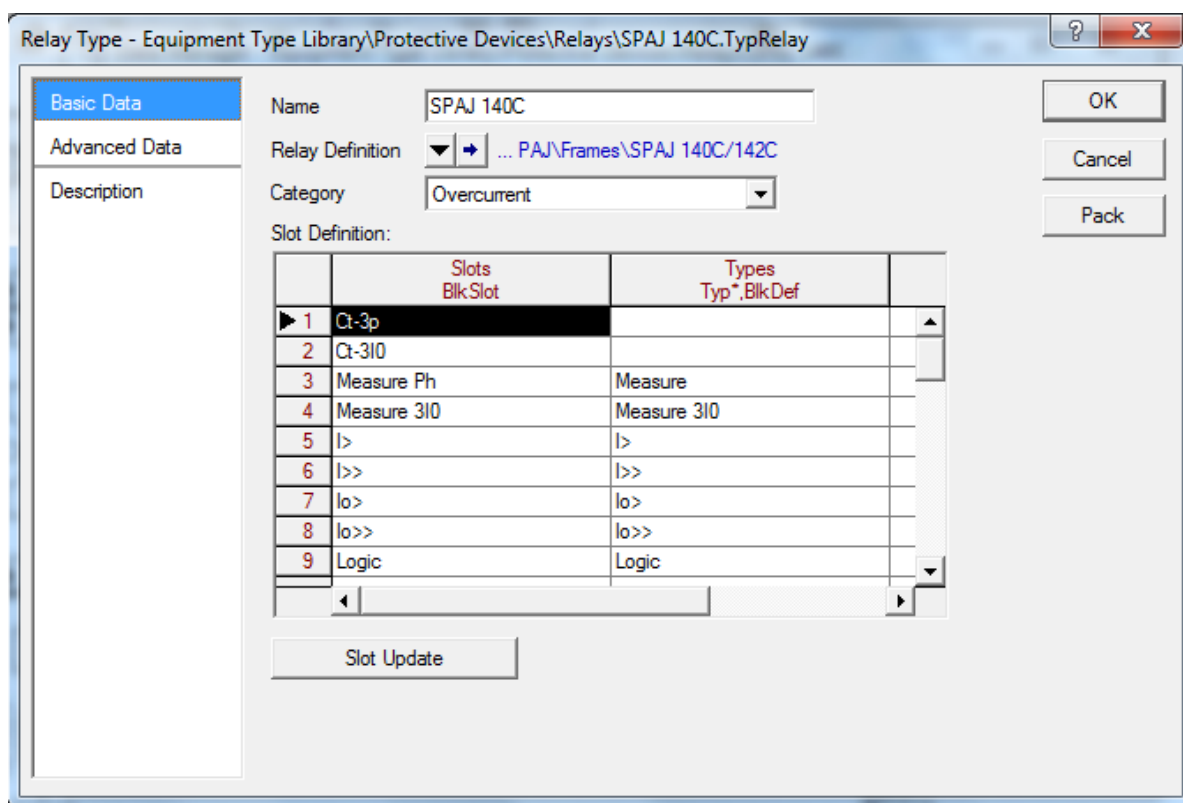
Ανοίγουμε τον φάκελο ABB/Westinghouse και μετά τον φάκελο SPAJ και επιλέγουμε τον ηλεκτρονόμο SPAJ 140C στο δεξί μέρος του Data Manager. Κάνουμε δεξί κλικ στο εικονίδιο του στην στήλη αριστερά από την στήλη των ονομάτων και επιλέγουμε **Copy**. Στην συνέχεια πηγαίνουμε στον φάκελο Relays που έχουμε φτιάξει στο project Test, κάνουμε πάνω του δεξί κλικ και επιλέγουμε **Paste**. Με τον ίδιο τρόπο μεταφέρουμε στην βιβλιοθήκη Relays του project από την Global Library τους ηλεκτρονόμους MCGG 63 της GE Alstom και 7SJ70 της Siemens. Τέλος, ανοίγουμε τον φάκελο Database/Library/Relays/Fuses, επιλέγουμε τον φάκελο VDE0636/IEC60269-2 και με αντιγραφή και επικόλληση όπως πριν, μεταφέρουμε ολόκληρο στον φάκελο Fuses που έχουμε φτιάξει στο project Test.



Ε2.95: Data Manager: Βιβλιοθήκες μοντέλων μέσω προστασίας

Όπως τα στοιχεία ενός δικτύου αναφέρονται σε κάποιο μοντέλο, που το PowerFactory αποκαλεί Object Type, έτσι και τα μοντέλα των ηλεκτρονόμων αναφέρονται σε κάποια άλλα αντικείμενα που το PowerFactory αποκαλεί Relay Frames. Επίσης ένας ηλεκτρονόμος μπορεί να χρησιμοποιεί και άλλα αντικείμενα όπως τις χαρακτηριστικές καμπύλες ή καμπύλες χρόνου-ρεύματος. Μετά την αντιγραφή των ηλεκτρονόμων στην βιβλιοθήκη του project αυτά τα αντικείμενα συνεχίζουν να είναι αποθηκευμένα στην Global Library. Έτσι σε περίπτωση που μεταφέρουμε αυτό το project σε κάποιον άλλον υπολογιστή οι ηλεκτρονόμοι δεν θα λειτουργούν γιατί δεν θα έχουν αυτά τα αντικείμενα. Για να το αποφύγουμε αυτό καλό είναι μαζί με τους ηλεκτρονόμους να αντιγράψουμε στην βιβλιοθήκη ενός project και τα αντικείμενα στα οποία αναφέρονται οι ηλεκτρονόμοι. Αυτή η διαδικασία χειροκίνητα θα ήταν πολύπλοκη αλλά μπορεί να γίνει αυτόματα. Επιλέγουμε τον ηλεκτρονόμο SPAJ 140C, κάνουμε πάνω του δεξί κλικ και επιλέγουμε **Edit**. Στο παράθυρο επεξεργασίας που ανοίγει κάνουμε κλικ στο κομβίο **Pack** και στο παράθυρο επιβεβαίωσης που εμφανίζεται πατάμε **OK**.





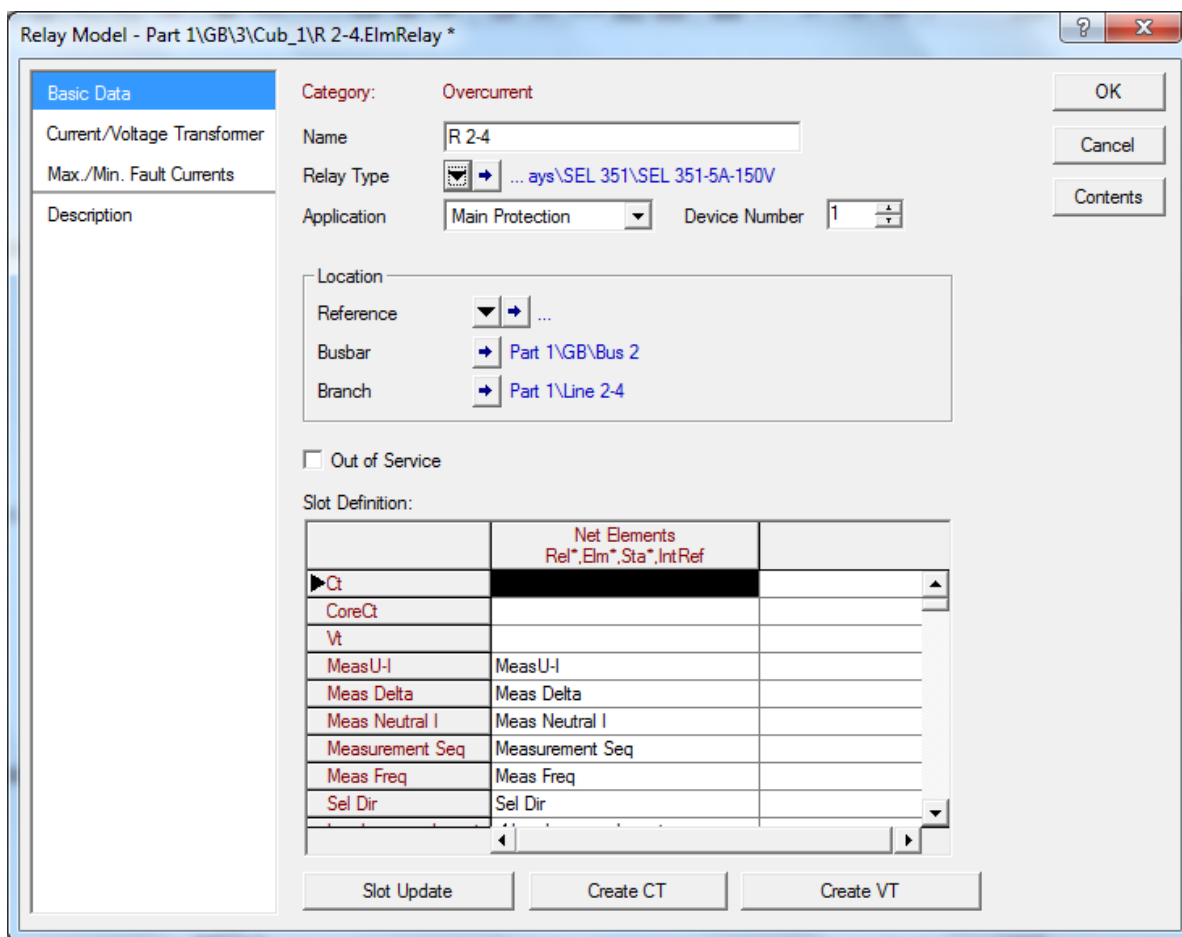
Ε2.96: Παράθυρο επεξεργασίας μοντέλου ηλεκτρονόμου

Τέλος, κλείνουμε το παράθυρο επεξεργασίας του μοντέλου του ηλεκτρονόμου πατώντας **OK**. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία και για τα άλλα μοντέλα ηλεκτρονόμων. Αν σε κάποιον ηλεκτρονόμο το κομβίο Pack δεν είναι ενεργό σημαίνει ότι δεν υπάρχει τίποτα που χρειάζεται να αντιγραφεί.

Η βιβλιοθήκη των μέσων προστασίας που θα χρησιμοποιήσουμε είναι έτοιμη. Τα μοντέλα των μετασχηματιστών τάσης και έντασης που χρειάζονται οι ηλεκτρονόμοι για να λειτουργήσουν θα δημιουργηθούν κατά την παραμετροποίηση τους.

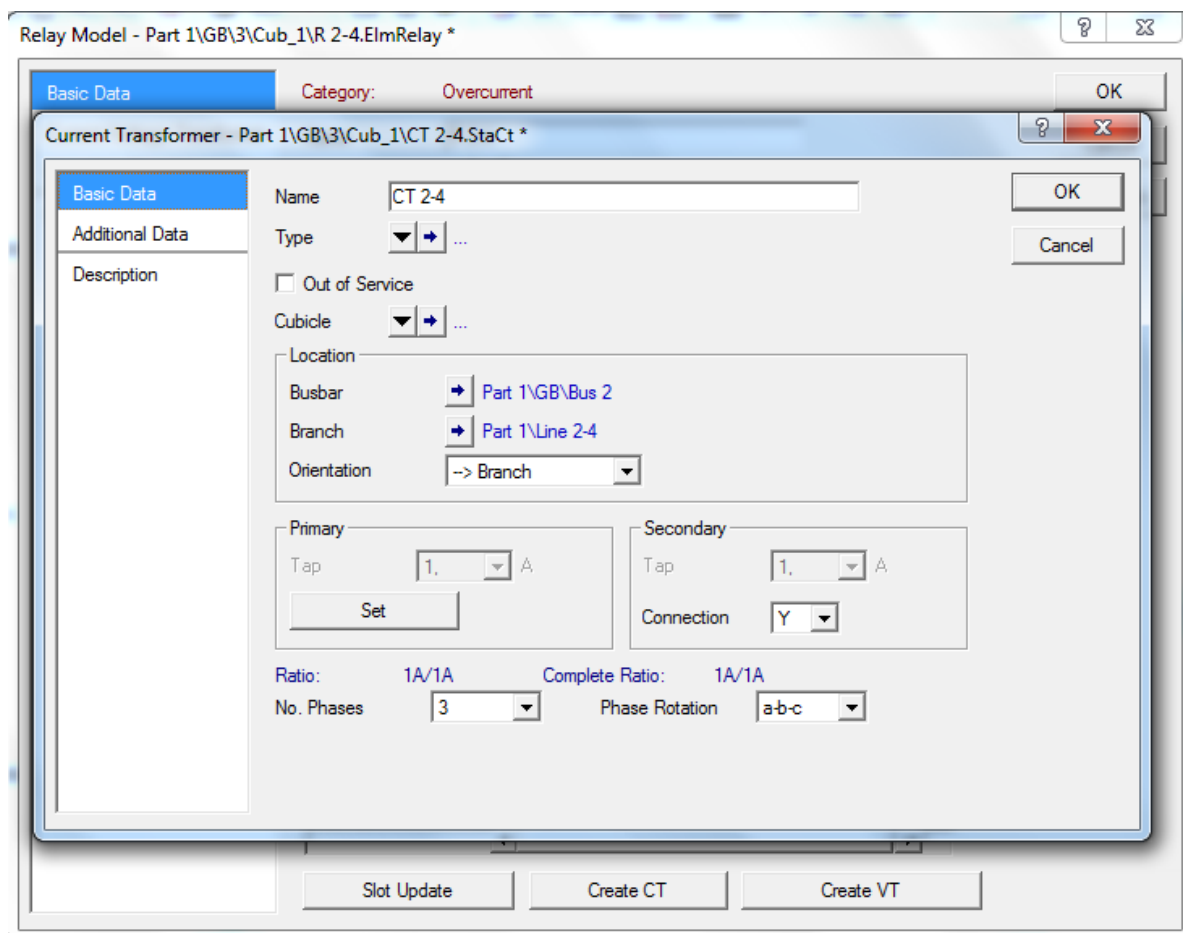
## 2.8.2 Προσθήκη και παραμετροποίηση ηλεκτρονόμων και δημιουργία μετασχηματιστών μετρήσεων

Θα ξεκινήσουμε τοποθετώντας έναν ηλεκτρονόμο στην γραμμή 2-4 στο άκρο της πλησίον του ζυγού 2. Τα μαύρα στοιχεία τετραγωνικού σχήματος ανάμεσα σε έναν ζυγό και το πλαίσιο αποτελεσμάτων ενός κλάδου αντιπροσωπεύουν τον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος που αλλάζει κατάσταση με διπλό κλικ, εντός του οποίου τοποθετούνται τα μέσα προστασίας. Οι θέσεις αυτές αποκαλούνται cubicles από το PowerFactory. Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle της γραμμής 2-4 πλησίον του ζυγού 2, επιλέγουμε **New Devices** και κάνουμε κλικ στο **Relay Model**. Στο παράθυρο επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα R 2-4, κάνουμε κλικ στο βέλος δίπλα από το **Relay Type** και επιλέγουμε **Select Project Type**. Ανοίγει το παράθυρο του Data Manager και από την βιβλιοθήκη που φτιάξαμε επιλέγουμε τον ηλεκτρονόμο SEL 351-5A-150V και πατάμε **OK**.



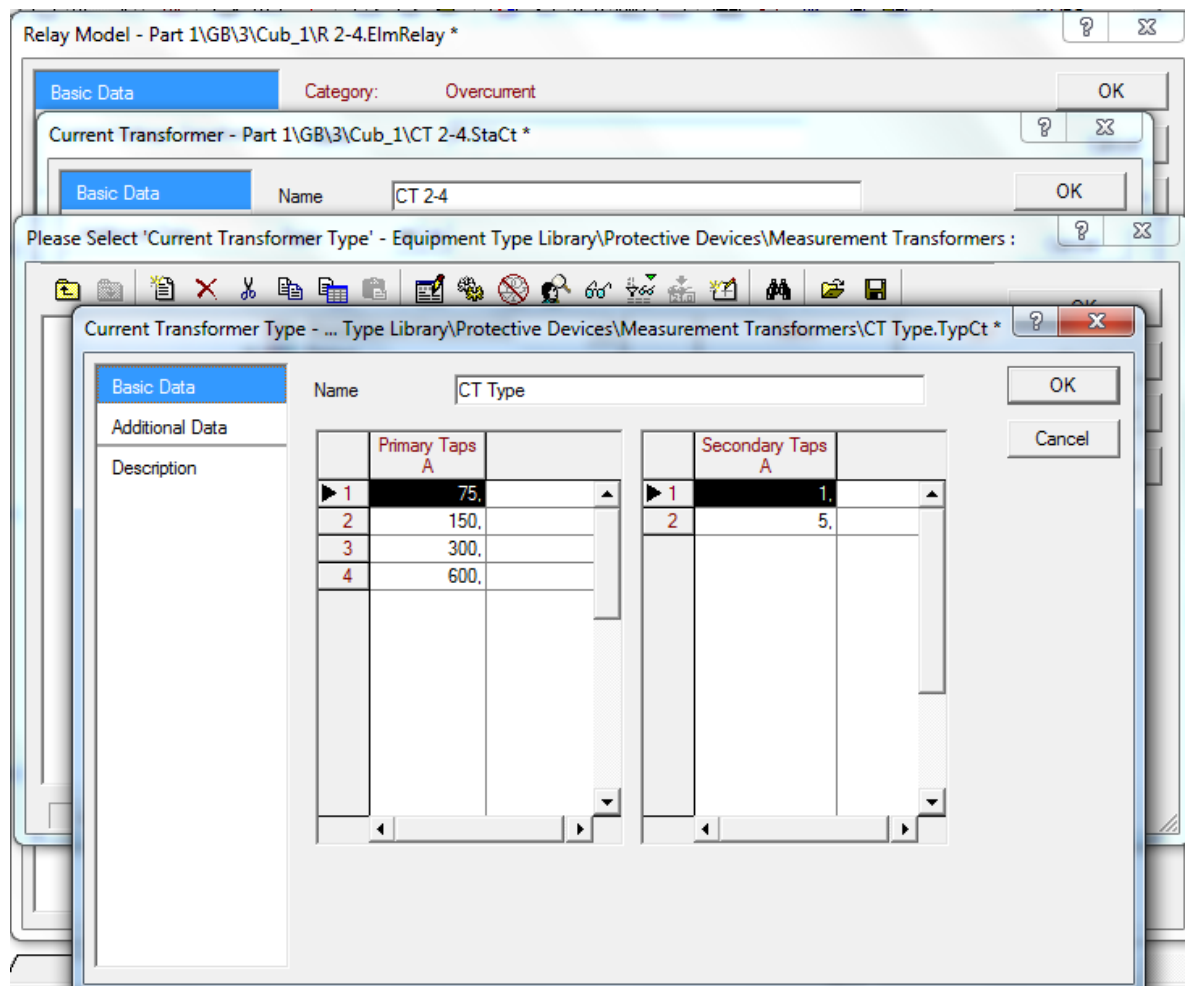
Ε2.97: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Το πεδίο Slot Definition τώρα περιέχει όλα τα στοιχεία του ηλεκτρονόμου προς παραμετροποίηση. Στα πρώτα κελιά πρέπει να αντιστοιχίσουμε στον ηλεκτρονόμο έναν μετασχηματιστή έντασης και έναν μετασχηματιστή τάσης. Αν κάνουμε διπλό κλικ στο κελί της στήλης Net Elements στην πρώτη γραμμή ανοίγει ο Data Manager για να διαλέξουμε κάποιον μετασχηματιστή έντασης. Για να δημιουργήσουμε ένα νέο, κάνουμε κλικ στο κουμπί **Create CT** και ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή όπου συμπληρώνουμε στο όνομα CT 2-4.



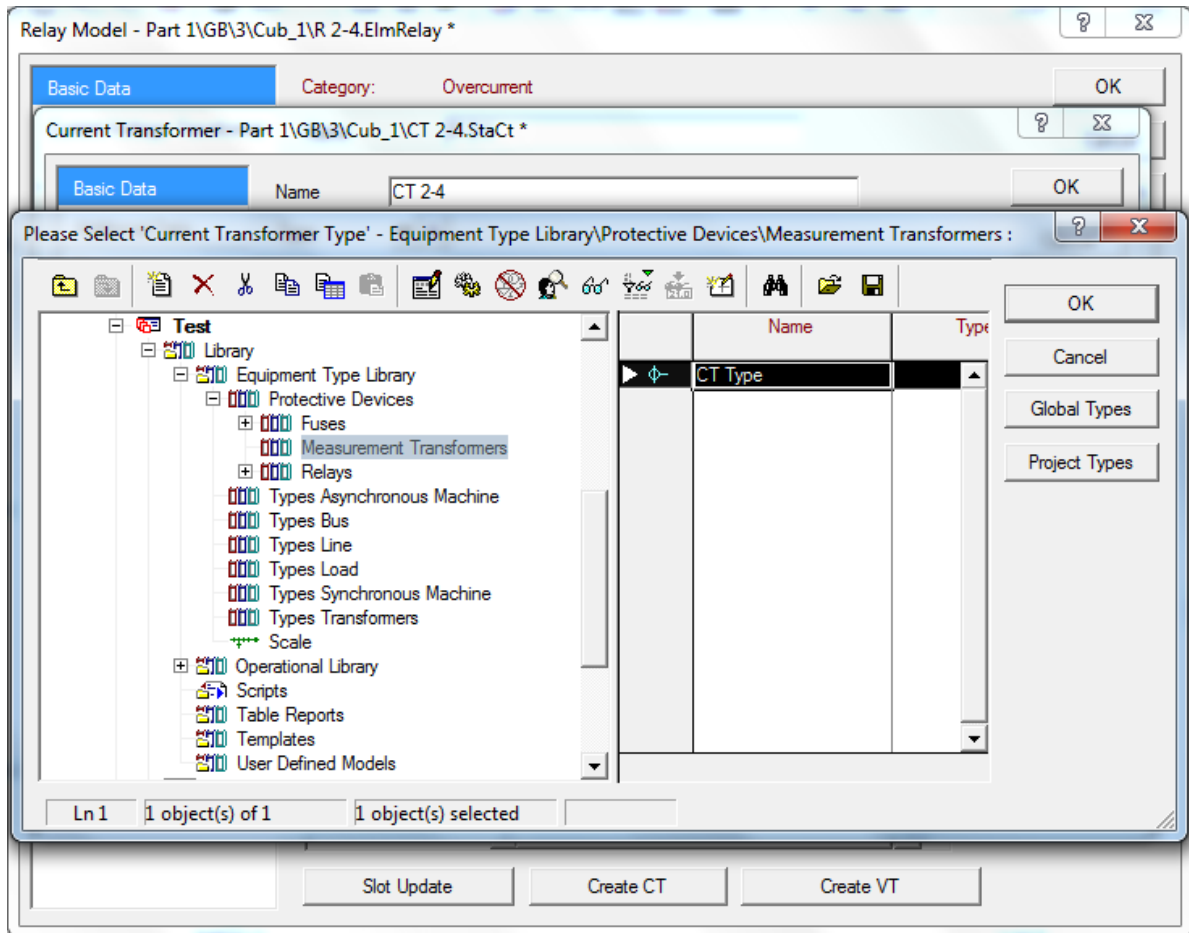
Ε2.98: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης

Στο πεδίο **Type** επιλέγουμε **Select Project Type** και ο Data Manager ανοίγει για να διαλέξουμε κάποιο μοντέλο μετασχηματιστή έντασης. Δεν έχουμε φτιάξει ακόμα κάποιο μοντέλο. Επιλέγουμε τον φάκελο Measurement Transformers για να αποθηκευτεί εκεί το μοντέλο που θα φτιάξουμε και κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **New Object** από την γραμμή εικονιδίων του Data Manager. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου που ανοίγει συμπληρώνουμε το όνομα και τις τιμές των ρευμάτων του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος ώστε να έχουμε πολλές επιλογές για το CTR σε αυτόν τον μετασχηματιστή έντασης γενικής χρήσης.



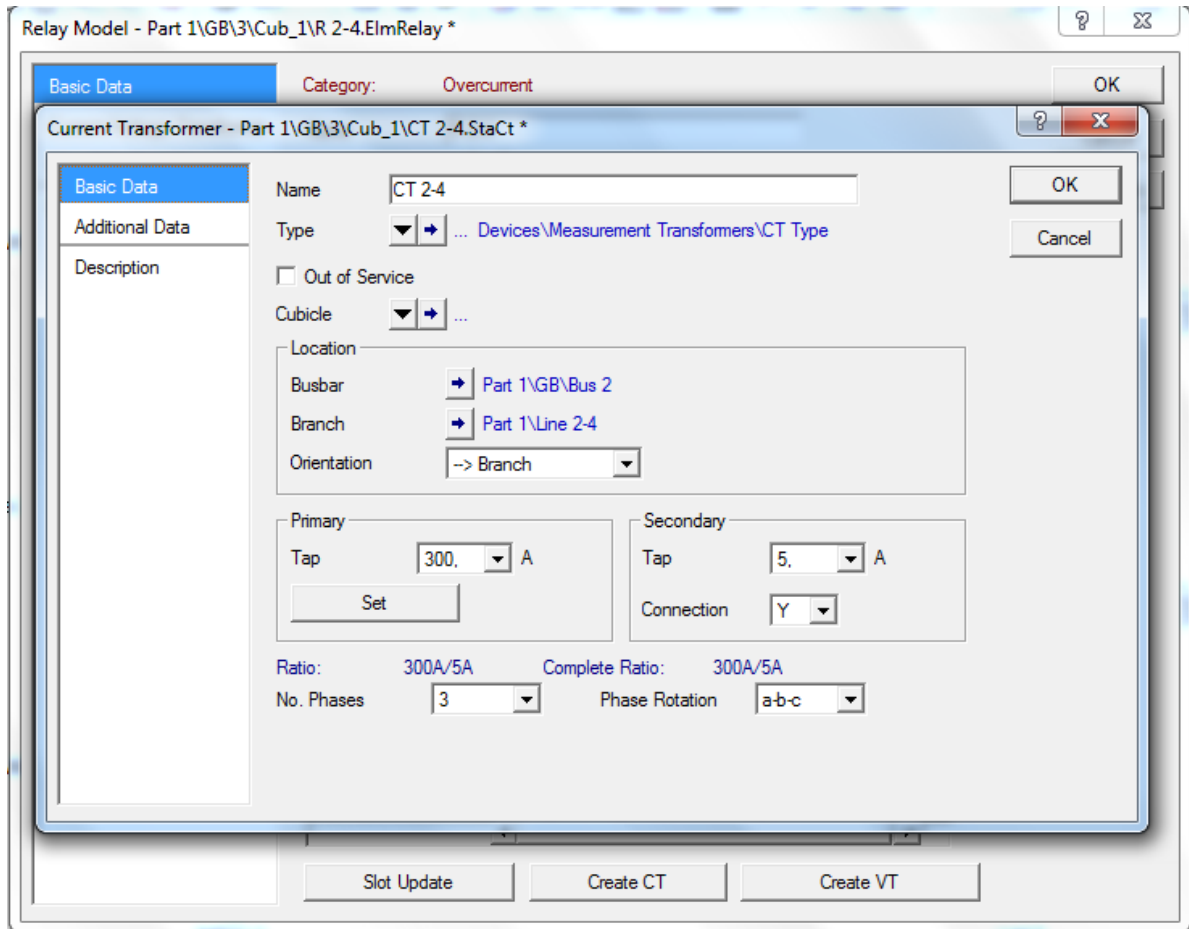
Ε2.99: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή έντασης

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στον Data Manager όπου βλέπουμε το μοντέλο που μόλις φτιάξαμε αποθηκευμένο στον φάκελο Measurement Transformers.



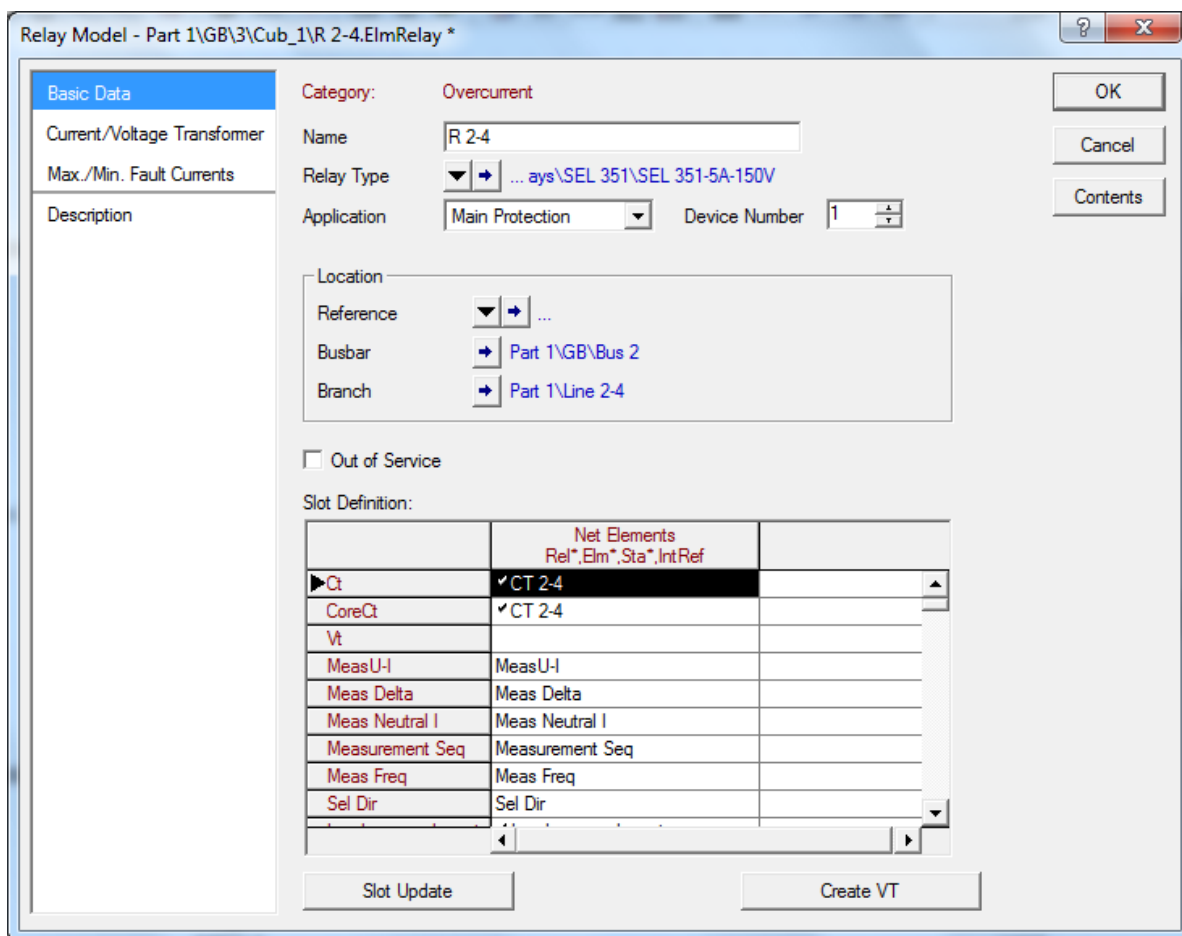
E2.100: Data Manager: Θέση μοντέλου μετασχηματιστή έντασης

Επιλέγουμε το μοντέλο και πατάμε **OK**. Επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή έντασης όπου ορίζουμε CTR 300/5.



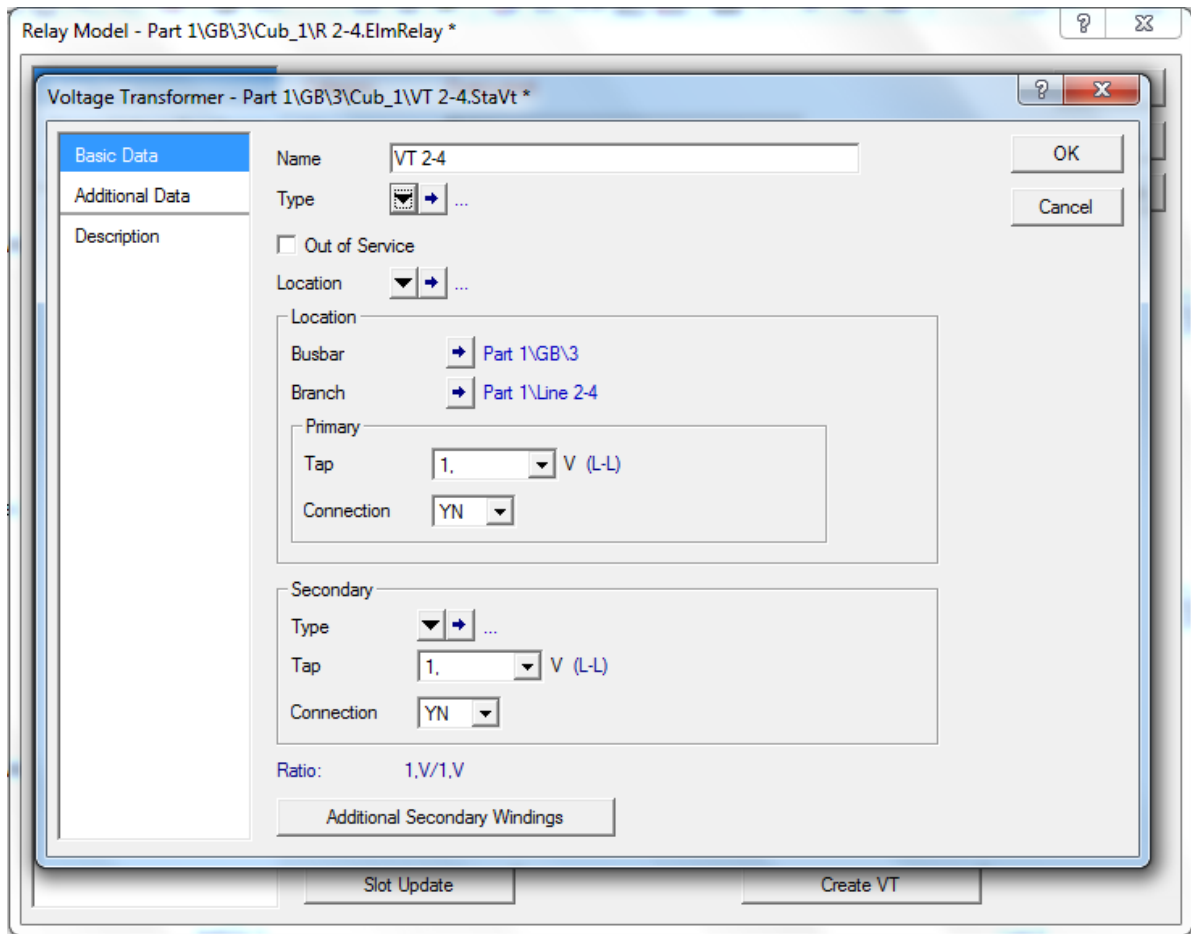
Ε2.101: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου όπου έχει προστεθεί πλέον ο μετασχηματιστής έντασης.



E2.102: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

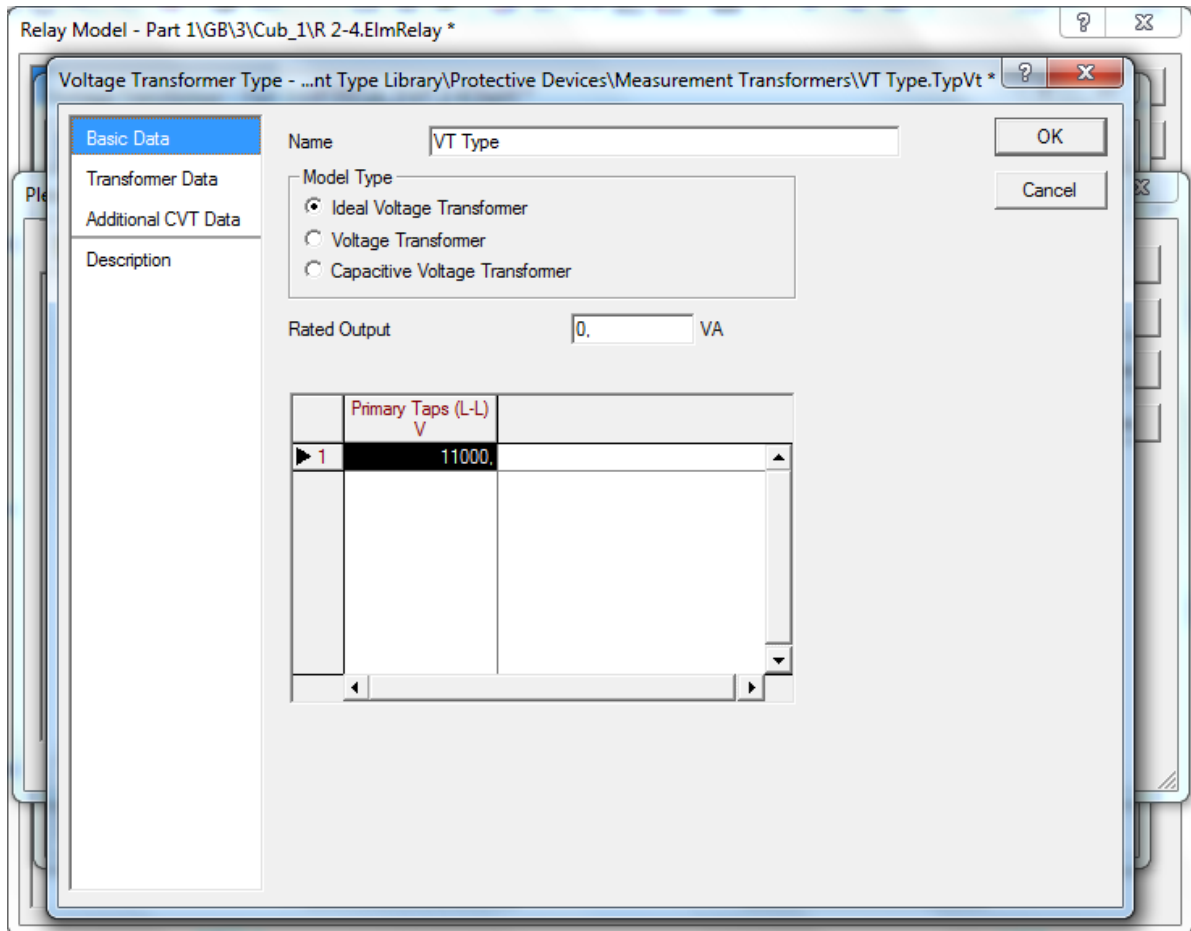
Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούμε και τον μετασχηματιστή τάσης. Κάνουμε κλικ στο κομβίο **Create VT** και ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας, όπου συμπληρώνουμε το όνομα του μετασχηματιστή VT 2-4.



Ε2.103: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή τάσης

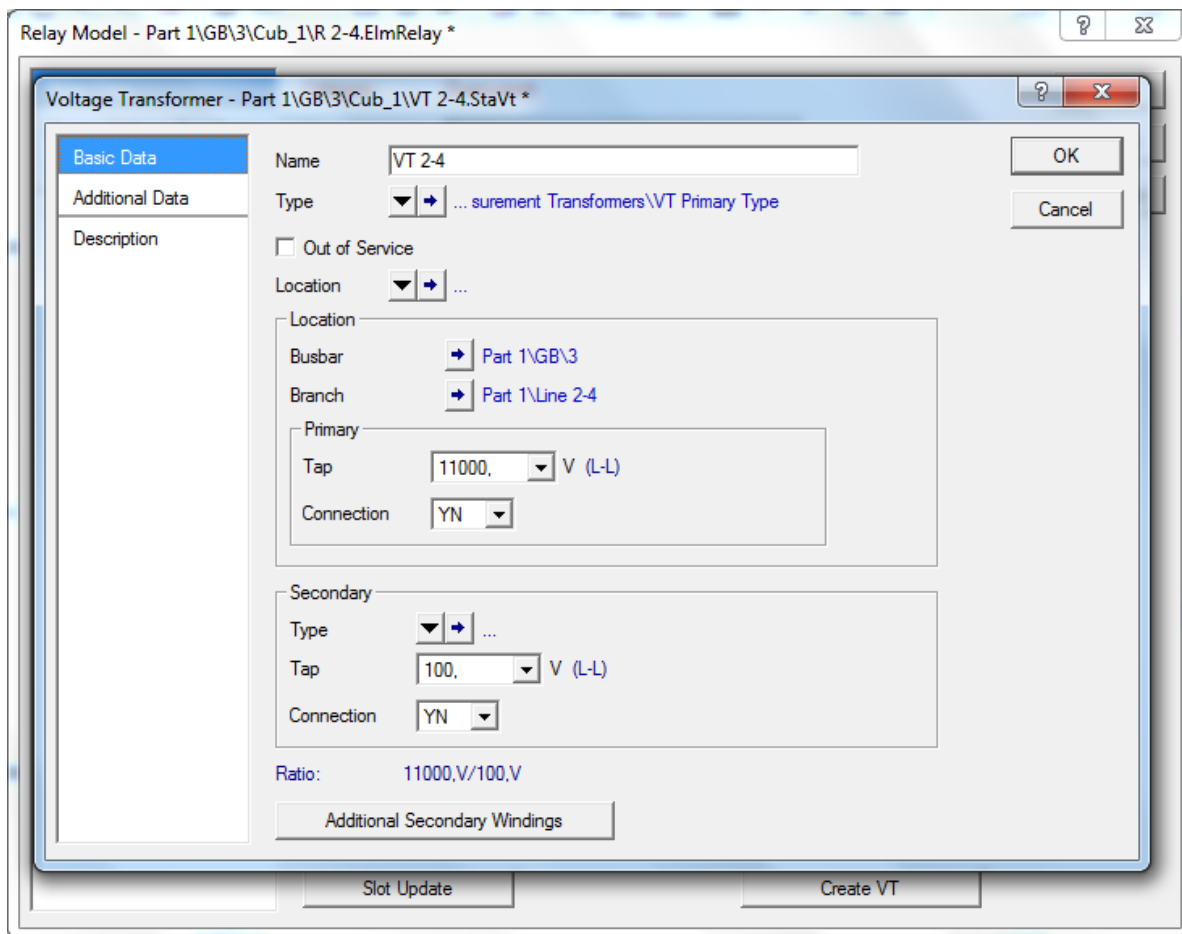


Από το πεδίο **Type** ανοίγουμε τον Data Manager για να ορίσουμε κάποιο μοντέλο. Επειδή δεν υπάρχει κάποιο έτοιμο επιλέγουμε τον φάκελο Measurement Transformers και κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **New Object**. Στο παράθυρο ορισμού του μοντέλου του μετασχηματιστή τάσης που ανοίγει συμπληρώνουμε το όνομα VT Primary Type, στο πεδίο Model Type επιλέγουμε **Ideal Voltage Transformer** και στον πίνακα Primary Taps συμπληρώνουμε 11000V.



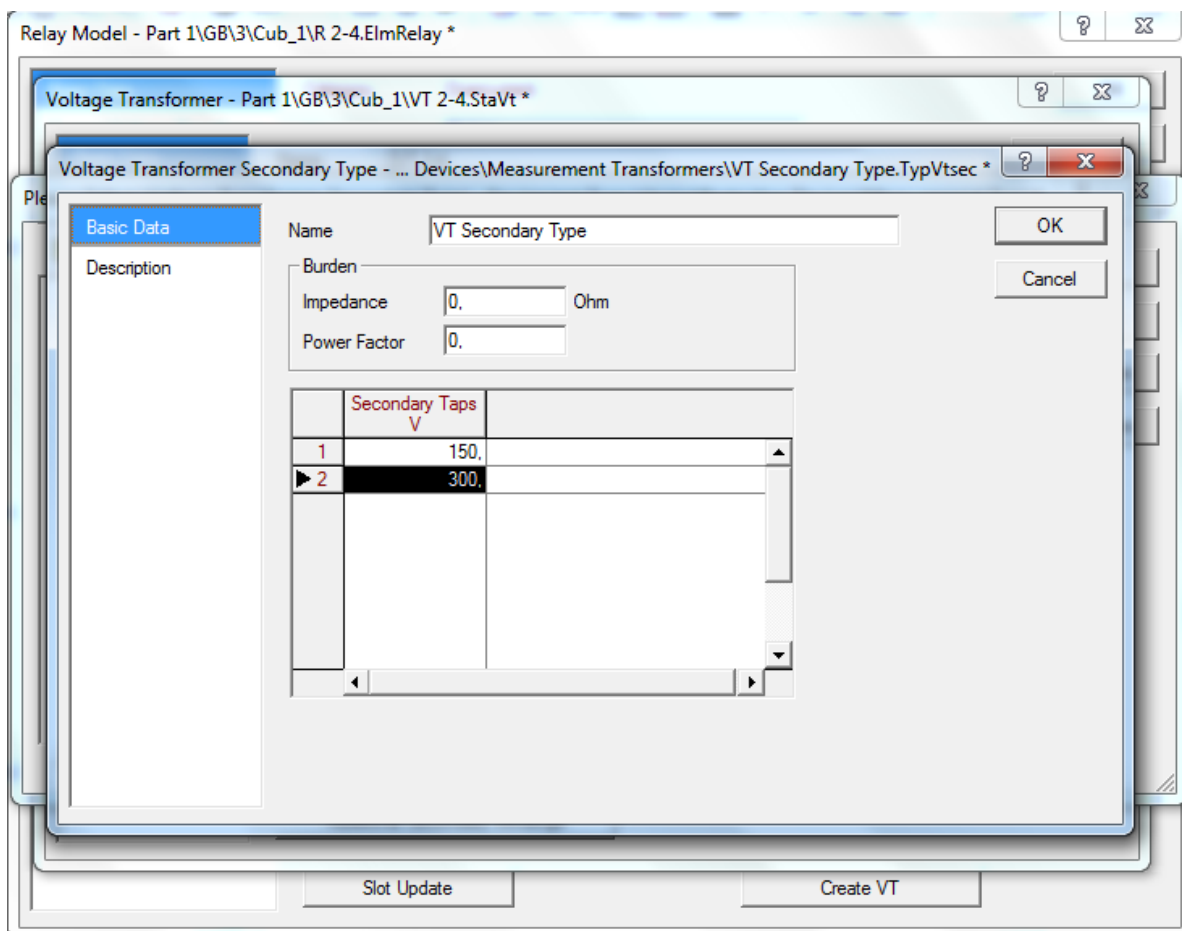
Ε2.104: Παράθυρο ορισμού μοντέλου μετασχηματιστή τάσης

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στον Data Manager όπου επιλέγουμε το μοντέλο που μόλις φτιάξαμε, πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή τάσης.



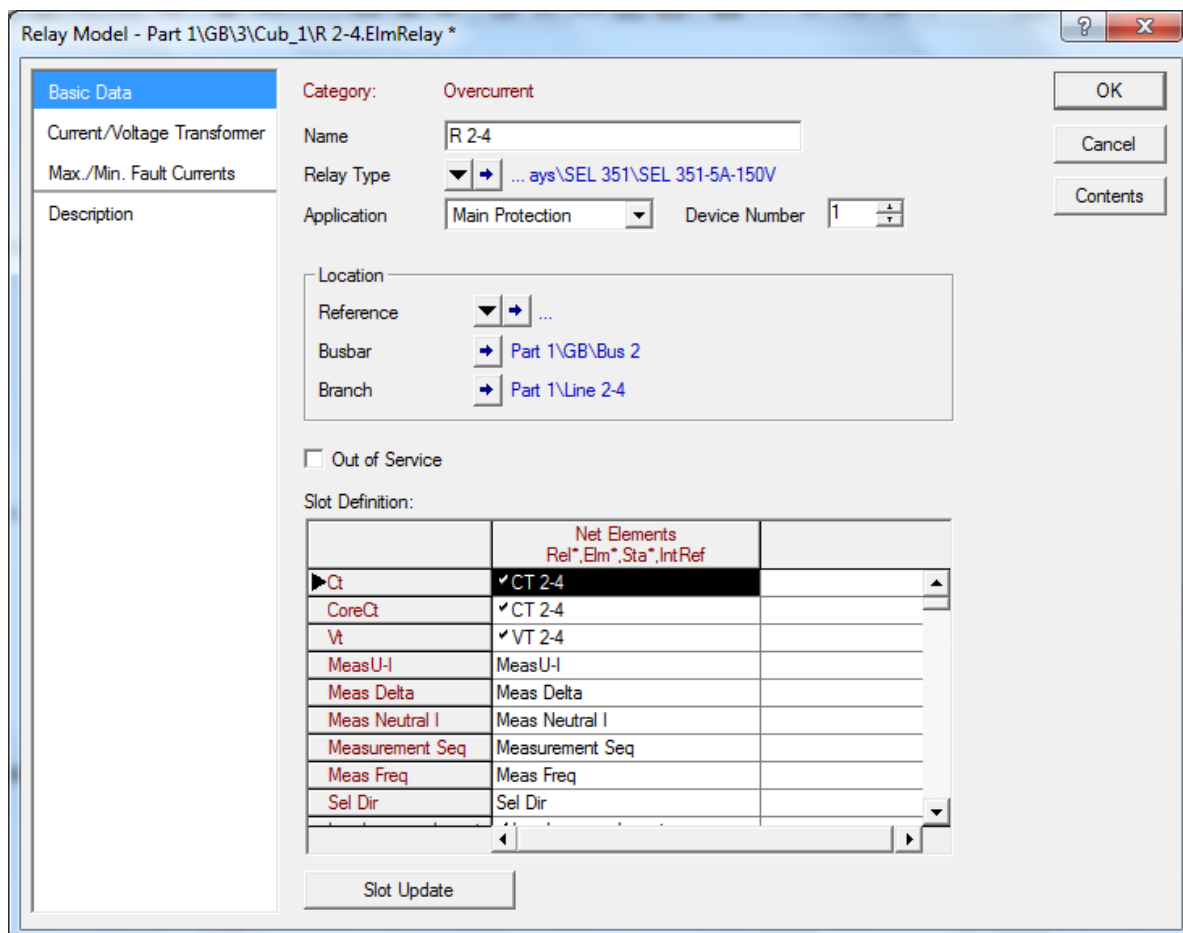
Ε2.105: Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή τάσης

Ο ηλεκτρονόμος που έχουμε επιλέξει έχει ονομαστική τιμή τάσης 150V, αλλά αυτή η επιλογή δεν υπάρχει στο πεδίο Secondary. Για αυτό πρέπει να φτιάξουμε και ένα μοντέλο δευτερεύοντος τυλίγματος μετασχηματιστή τάσης. Από το μαύρο βέλος δίπλα από το **Type** αυτού του πεδίου ανοίγουμε πάλι τον Data Manager. Όπως και πριν, επιλέγουμε τον φάκελο Measurement Transformers και κάνουμε κλικ στον εικονίδιο **New Object**. Στο παράθυρο επεξεργασίας του μοντέλου που ανοίγει, συμπληρώνουμε το όνομα και δύο τιμές τάσης για το δευτερεύον.



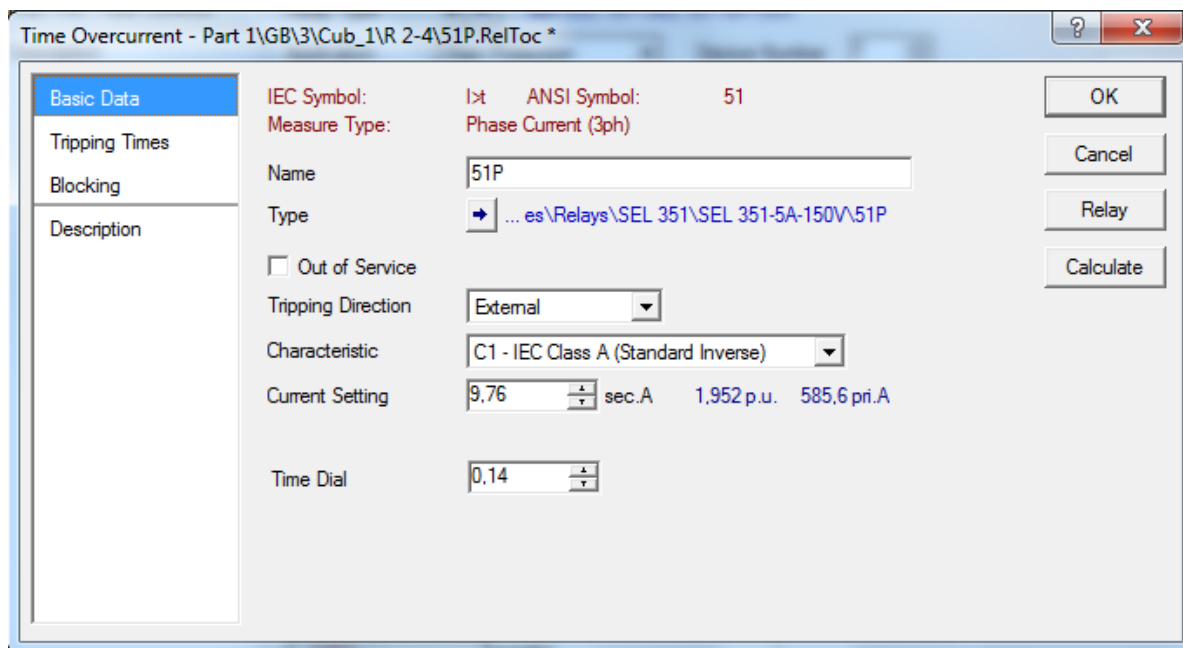
E2.106: Παράθυρο ορισμού μοντέλου δευτερεύοντος τυλίγματος μετασχηματιστή τάσης

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στον Data Manager. Επιλέγουμε το μοντέλο που μόλις φτιάξαμε, πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του μετασχηματιστή τάσης. Επιλέγουμε 150V για το δευτερεύον, πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου όπου έχει προστεθεί πλέον και ο μετασχηματιστής τάσης.



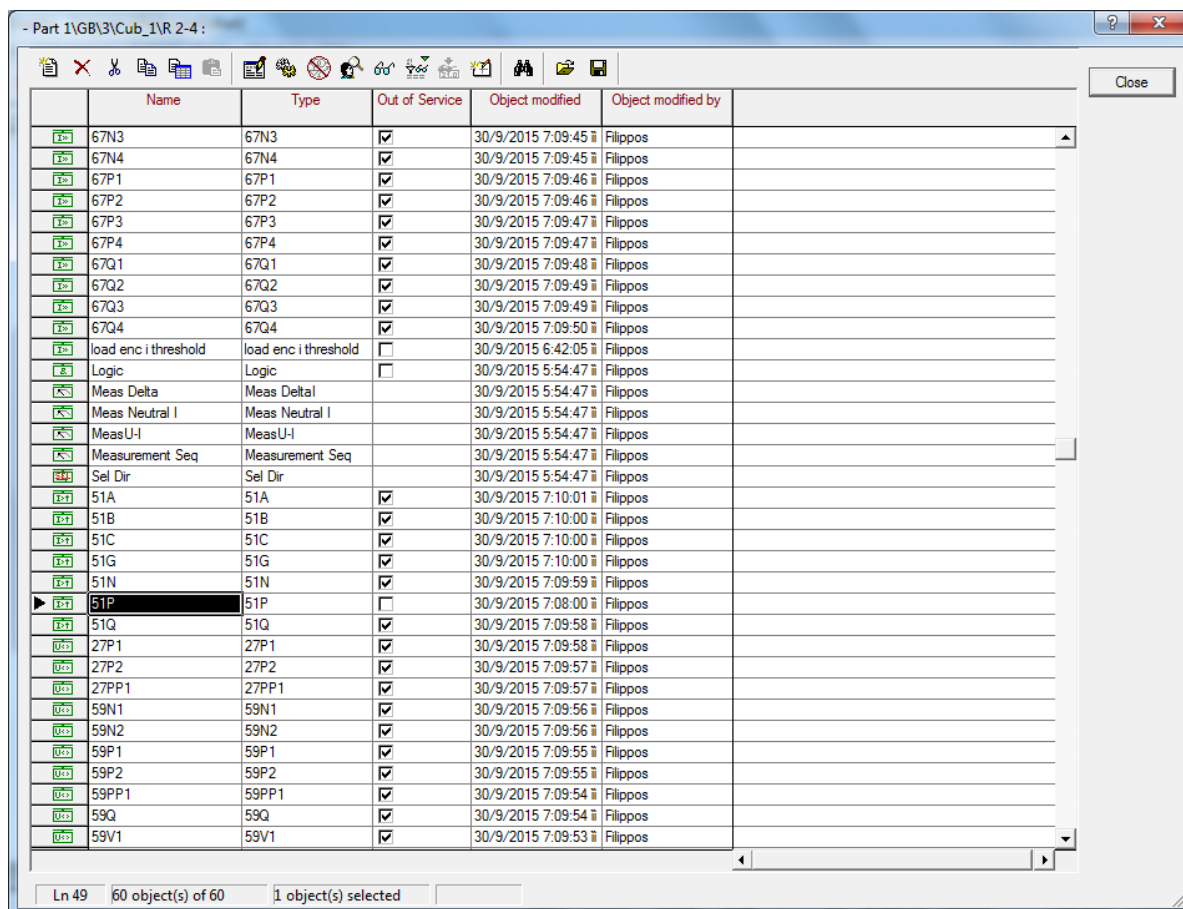
E2.107: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Ο ηλεκτρονόμος SEL 351-5A-150V που επιλέξαμε έχει πολλά στοιχεία προστασίας κι ελέγχου με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για λόγους απλούστευσης, στο παράδειγμα θα ασχοληθούμε μόνο με το στοιχείο υπερέντασης αντιστροφου χρόνου 51P, μέσω του οποίου θα αναδείξουμε τις δυνατότητες του PowerFactory. Βρίσκουμε λοιπόν το στοιχείο **51P** στο πεδίο Slot Definition και κάνουμε διπλό κλικ. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει διαλέγουμε την χαρακτηριστική **Standard Inverse**, ορίζουμε το **Pickup Current** στα 9,76 A δευτερεύοντος και το **Time Dial** ίσο με 0,14 και πατάμε **OK**.



E2.108: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου 51P

Για να απενεργοποιήσουμε τα άλλα στοιχεία κάνουμε κλικ στο κουμπί **Contents** και στην λίστα των στοιχείων του ηλεκτρονόμου που ανοίγει ενεργοποιούμε την επιλογή **Out of Service** για όλα τα στοιχεία των οποίων το όνομα αρχίζει από 50, 67, 51 (εκτός από το 51P), 27 και 59.



E2.109: Λίστα στοιχείων ηλεκτρονόμου

Αφού τα απενεργοποιήσουμε πατάμε **Close** και μετά **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic. Η τοποθέτηση του ηλεκτρονόμου στην γραμμή 2-4 έχει ολοκληρωθεί.

Πριν παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του ηλεκτρονόμου στις διάφορες λειτουργίες του δικτύου θα τοποθετήσουμε δύο επιπλέον ηλεκτρονόμους, έναν στον κινητήρα του ζυγού 2 και έναν στην πλευρά υψηλής τάσης του μετασχηματιστή T1. Η διαδικασία είναι όμοια με την προαναφερθείσα, με την διαφορά ότι δεν χρειάζεται να φτιάξουμε νέα μοντέλα μετασχηματιστών οργάνων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα της διαδικασίας προσθήκης των δύο ηλεκτρονόμων, καθώς και η παραμετροποίησή τους.

Δεξί κλικ στο cubicle του AsMotor 11kV, New Devices, Relay Model

Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Name: R AsM 11

Relay Type: 7SJ70

κλικ στο Create CT

Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης

Name: CT AsM 11

Type: CT Type

Primary Tap: 600A

Secondary Tap: 5A

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο I>

Pickup Current: 3.9 α.μ.

Time Setting: 0.48s

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο I>>

Pickup Current: 39 α.μ.

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο IE>

ενεργοποίηση της επιλογής Out of Service

κλικ στο OK

κλικ στο OK και επιστροφή στο single line graphic

Δεξί κλικ στο cubicle του T1 33/11kV κοντά στον ζυγό 1, New Devices, Relay Model

Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Name: R T1 HV

Relay Type: MCGG-63

κλικ στο Create CT

Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης

Name: CT T1 HV

Type: CT Type

Primary Tap: 300A

Secondary Tap: 1A

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο Toc Ph

Characteristic: Standard Inverse

Pickup Current: 1.6 α.μ.

Time Dial: 0.2

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο Ioc Ph

Pickup Current: 10 α.μ.

Time Setting: 0.095s

κλικ στο OK

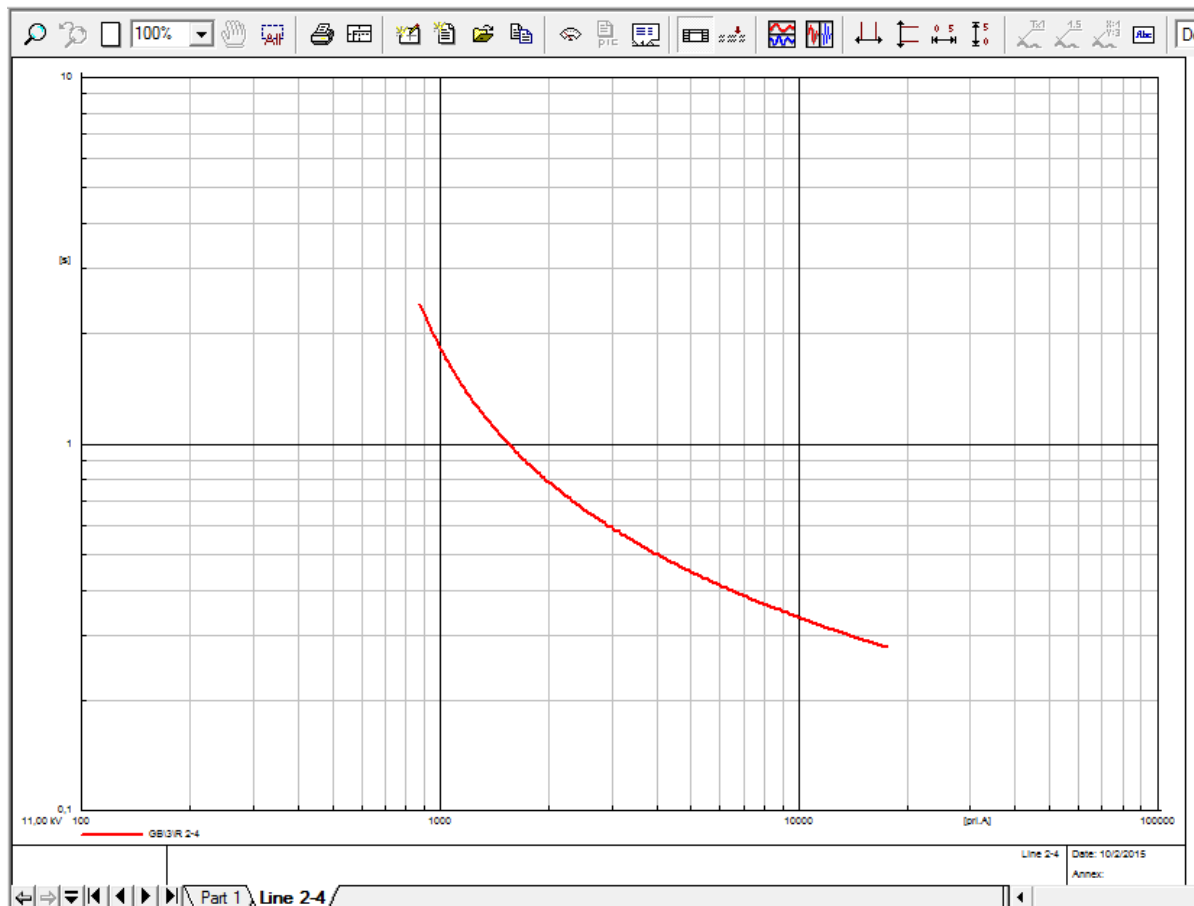
κλικ στο OK και επιστροφή στο single line graphic

Σε κάθε cubicle είναι δυνατή η προσθήκη πολλών συσκευών. Η λίστα όλων των συσκευών που υπάρχουν σε ένα cubicle εμφανίζεται κάνοντας δεξί κλικ πάνω του και επιλέγοντας Edit Devices.

### 2.8.3 Δημιουργία και μορφοποίηση καμπυλών χρόνου-ρεύματος

Κυρίαρχο ρόλο στις μελέτες προστασίας υπερέντασης έχουν τα διαγράμματα χρόνου ρεύματος. Σε αυτά τα διαγράμματα μας ενδιαφέρει να βλέπουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες κάθε μέσου προστασίας, τις σχετικές τους θέσεις ώστε να ελέγχουμε την επιλογική συνεργασία τους, καθώς και τιμές των ρευμάτων βραχυκυκλώματος και κανονικής λειτουργίας. Σε αυτή την παράγραφο θα δούμε πώς γίνονται αυτά στο PowerFactory καθώς και την δυνατότητα που μας δίνει να μετακινούμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες των μέσων προστασίας πάνω στο διάγραμμα, αλλάζοντας δυναμικά τις παραμέτρους που έχουμε ορίσει στο παράθυρο επεξεργασίας τους.

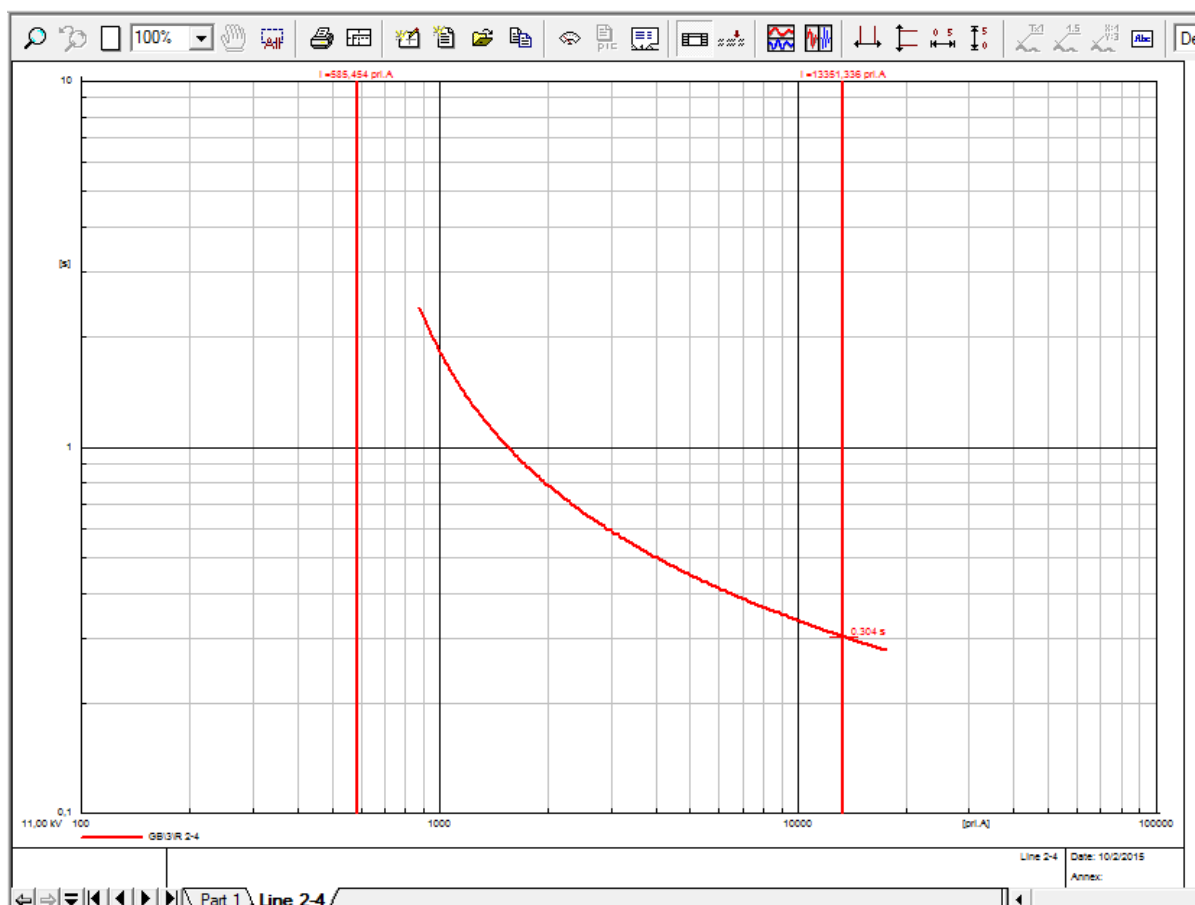
Το πρώτο διάγραμμα που θα φτιάξουμε θα αντιστοιχεί στον ηλεκτρονόμο της γραμμής 2-4. Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle στο οποίο είναι τοποθετημένος και επιλέγουμε **Create Time-Overcurrent Plot**. Ένα νέο παράθυρο ανοίγει με ένα διάγραμμα. Ο άξονας των y είναι σε λογαριθμική κλίμακα και αντιστοιχεί σε χρόνο μετρούμενο σε sec, ενώ ο άξονας των x που είναι επίσης σε λογαριθμική κλίμακα αντιστοιχεί σε ρεύμα μετρούμενο σε A πρωτεύοντος. Η εναλλαγή μεταξύ του παραθύρου του διαγράμματος και του single line graphic γίνεται από τις καρτέλες στο κάτω αριστερό μέρος. Το προεπιλεγμένο όνομα του παραθύρου του διαγράμματος είναι Time-Overcurrent Plot. Το όνομα αυτό μπορούμε να το αλλάξουμε κάνοντας δεξί κλικ πάνω του και επιλέγοντας **Rename Page**. Η κόκκινη καμπύλη του διαγράμματος είναι η καμπύλη αντιστρόφου χρόνου του ηλεκτρονόμου. Για την ακρίβεια είναι η καμπύλη του στοιχείου 51P του ηλεκτρονόμου. Αν δεν είχαμε απενεργοποιήσει τα άλλα στοιχεία τότε στο διάγραμμα θα υπήρχαν και άλλες καμπύλες.



Ε2.110: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4

Εκτελούμε τριφασικό βραχυκύκλωμα μπροστά στο διακόπτη (close-in, 1% της γραμμής 2-4), με τις ρυθμίσεις που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.7.1 (μέθοδος IEC60909 του 2001, υπολογισμός μέγιστων ρευμάτων βραχυκύκλωσης, χωρίς αντίστασης σφάλματος). Στο διάγραμμα προστίθεται μία κάθετη γραμμή με τιμή 13.351,336A που είναι το ρεύμα που «αισθάνεται» ο ηλεκτρονόμος κατά το βραχυκύκλωμα, όπως μπορούμε να δούμε και από το πλαίσιο αποτελεσμάτων στον single line graphic. Το σημείο τομής της γραμμής αυτής με την καμπύλη του ηλεκτρονόμου σημειώνεται στο διάγραμμα και αντιστοιχεί σε χρόνο 0,304s που είναι ο χρόνος στον οποίον διεγείρεται ο ηλεκτρονόμος. Επιστρέφουμε στο single line graphic και εκτελούμε ροή φορτίου με τις ρυθμίσεις που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.6.1 ελέγχοντας ότι στην καρτέλα Advanced Simulation Options στο πεδίο **Consider Protection Devices** υπάρχει η επιλογή **all**. Τώρα στο διάγραμμα η κάθετη γραμμή του βραχυκυκλώματος σβήνεται και εμφανίζεται η κάθετη γραμμή που αντιστοιχεί στο ρεύμα κανονικής λειτουργίας, η οποία δεν τέμνει την καμπύλη του. Αν στην συνέχεια εκτελέσουμε άλλη προσομοίωση ή αλλάξουμε κάποια παράμετρο του δικτύου, τότε θα σβηστεί και αυτή η γραμμή. Για να μην γίνεται αυτό και για να μπορούμε να δούμε τις δύο γραμμές μαζί πρέπει να τις ορίσουμε σαν σταθερές στο διάγραμμα. Κάνουμε, λοιπόν, δεξί κλικ πάνω στην γραμμή, επιλέγουμε **Set user defined** και στο παράθυρο επιβεβαίωσης που εμφανίζεται πατάμε **OK**. Στην συνέχεια, εκτελούμε εκ νέου το βραχυκύκλωμα στο 1% της γραμμής 2-4 και με τον ίδιο τρόπο κάνουμε και την γραμμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος σταθερή.

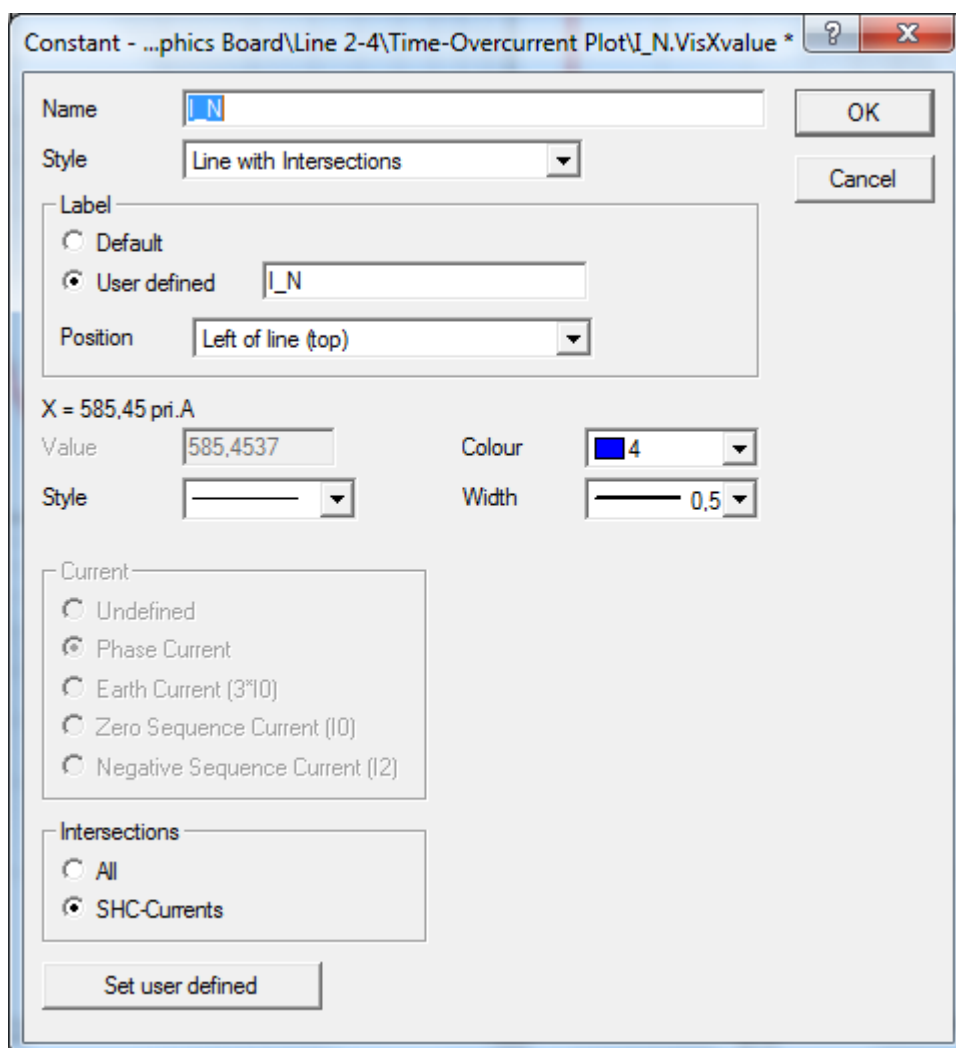




E2.111: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος

Δεδομένων των τιμών του ρεύματος κανονικής λειτουργίας και του μέγιστου ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι πιθανόν να θέλουμε να μετατοπίσουμε την καμπύλη του ηλεκτρονόμου πιο δεξιά για να την απομακρύνουμε από το ρεύμα κανονικής λειτουργίας και πιο κάτω για να έχουμε γρηγορότερη λειτουργία στο μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ένα τρόπος για να το κάνουμε είναι από το παράθυρο επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αυτός ο τρόπος, όμως, δεν είναι πρακτικός γιατί θα πρέπει να επιστρέφουμε κάθε φορά στο διάγραμμα για να δούμε πώς και πόσο μετακινήθηκε. Ένας πιο πρακτικός τρόπος είναι μετακινώντας την ίδια την καμπύλη πάνω στο διάγραμμα. Για να γίνει αυτό κάνουμε δεξί κλικ πάνω της και ενεργοποιούμε την επιλογή **Split**. Τώρα κάνοντας κλικ πάνω στην καμπύλη και κρατώντας το πατημένο μπορούμε να την σύρουμε είτε πάνω-κάτω αλλάζοντας το Time Dial, είτε δεξιά-αριστερά αλλάζοντας το Pickup Current. Με διπλό κλικ πάνω της ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας τους στοιχείου 51P όπου μπορούμε να δούμε τις νέες τιμές των παραμέτρων μετά την μετακίνηση της καμπύλης. Τέλος, κάνουμε πάλι δεξί κλικ πάνω της και απενεργοποιούμε την επιλογή **Split**.

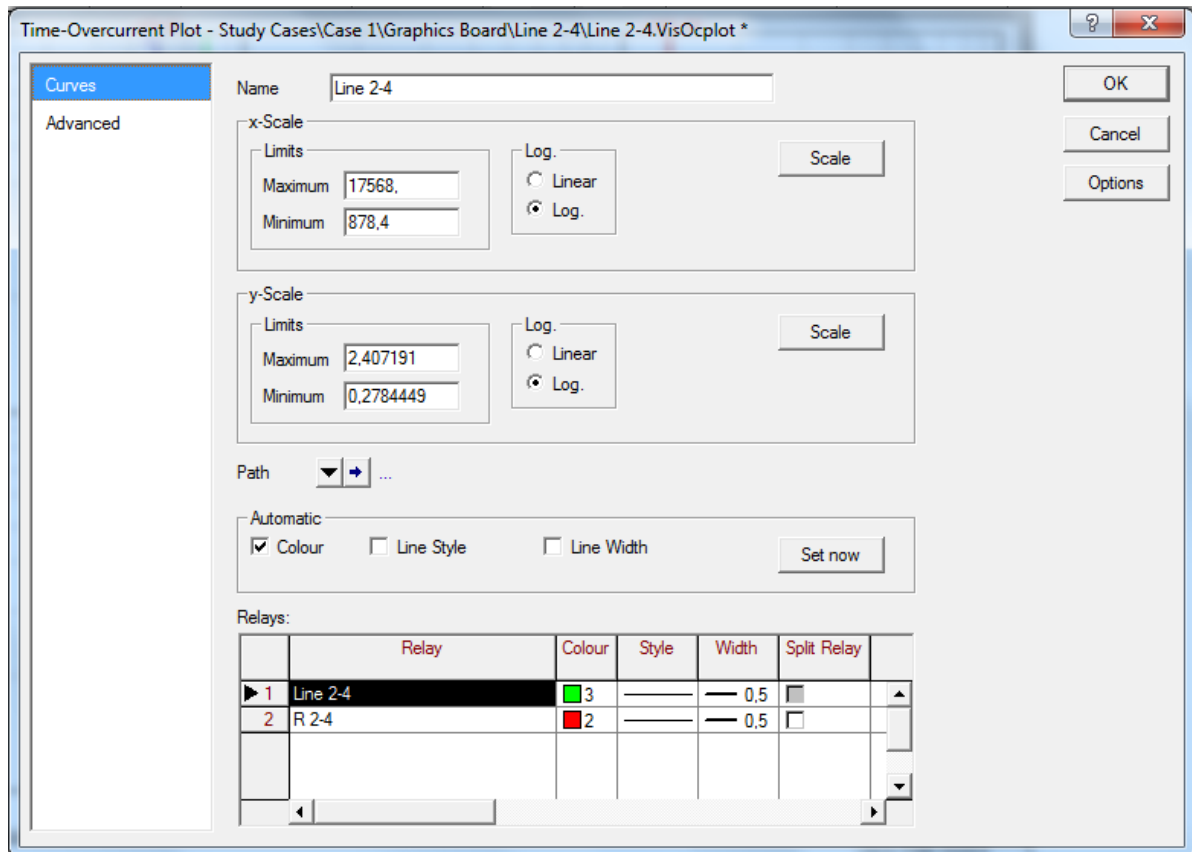
Κάνοντας διπλό κλικ πάνω σε μία γραμμή, ή κάνοντας δεξί κλικ πάνω της και επιλέγοντας **Edit**, ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της όπου μπορούμε να της δώσουμε κάποιο όνομα, να ορίσουμε ποιο θα είναι το ενδεικτικό όνομά της και πού θα εμφανίζεται στο διάγραμμα, να της αλλάξουμε χρώμα και εμφάνιση.



Ε2.112: Παράθυρο επεξεργασίας κάθετης γραμμής διαγράμματος

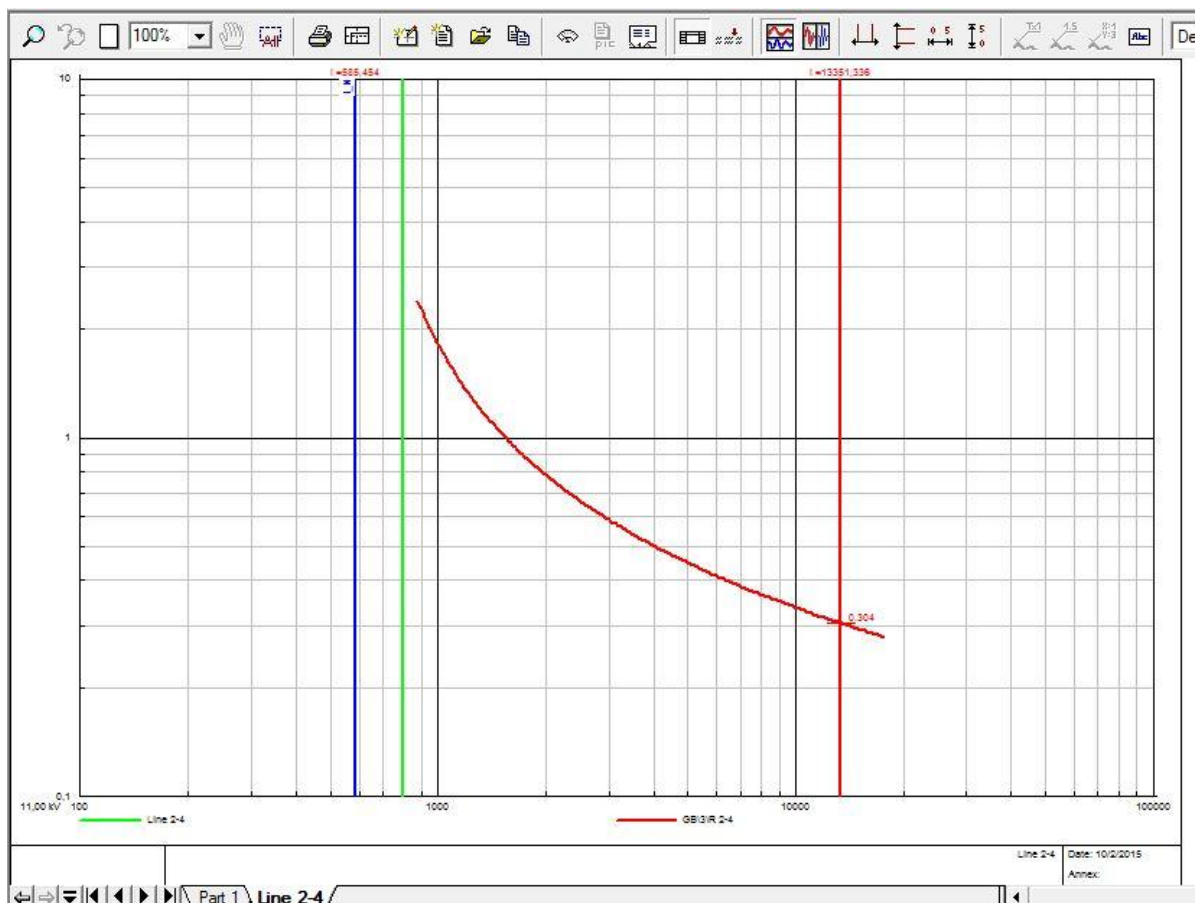
Αν πατήσουμε το κουμπί **Set user defined** στο κάτω μέρος το παραθύρου ενεργοποιούνται τα πεδία Value και Current οπότε μπορούμε να ορίσουμε χειροκίνητα την τιμή της καθώς και το μέγεθος στο οποίο αντιστοιχεί.

Κάνοντας διπλό κλικ στον κενό χώρο του διαγράμματος, ή κάνοντας δεξί κλικ και επιλέγοντας **Edit**, ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας του. Μπορούμε να δώσουμε στο διάγραμμα κάποιο όνομα, να ορίσουμε την γραμμή ή λογαριθμική μορφή κάθε άξονα και τα όριά του ή να πατήσουμε **Scale** και να ρυθμιστούν αυτόματα. Στο πεδίο **Relays** στο κάτω μέρος του παραθύρου φαίνονται όλες οι χαρακτηριστικές καμπύλες του διαγράμματος. Μπορούμε να τους αλλάξουμε χρώμα, μορφή και πάχος. Μπορούμε επίσης να ενεργοποιήσουμε ή να απενεργοποιήσουμε την επιλογή **Split** από εδώ. Μπορούμε επίσης να προσθέσουμε κάποια άλλη ή να διαγράψουμε μία υπάρχουσα. Κάνουμε για παράδειγμα δεξί κλικ στον κενό χώρο του πεδίου και επιλέγουμε **Insert Row(s)**. Στην νέα γραμμή που εμφανίζεται κάνουμε διπλό κλικ στο κελί στην στήλη Relay και στον Data Manager που εμφανίζεται επιλέγουμε την γραμμή 2-4 ακολουθώντας το μονοπάτι Database/USER\_NAME/Test/Network Model/Network Data/Part 1/Line 2-4 και πατάμε **OK**.



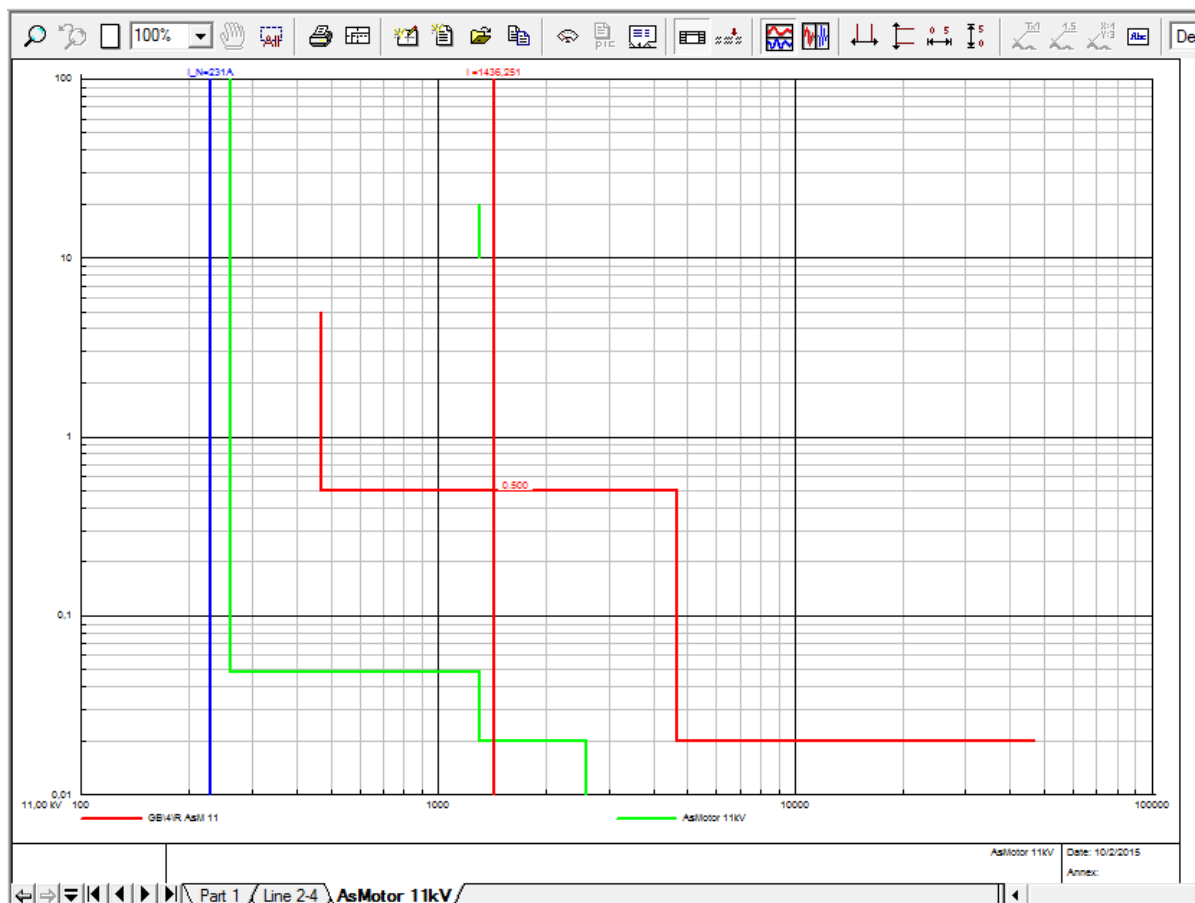
Ε2.113: Παράθυρο επεξεργασίας διαγράμματος χρόνου-ρεύματος

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο διάγραμμα όπου έχει προστεθεί μία πράσινη γραμμή. Η γραμμή αυτή είναι το όριο φόρτισης της γραμμής 2-4 του δικτύου και είναι στην τιμή 800A του διαγράμματος γιατί αυτό είναι το ονομαστικό ρεύμα που έχουμε ορίσει στο μοντέλο της.



Ε2.114: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος γραμμής 2-4, ρεύμα κανονικής λειτουργίας, μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος και όριο φόρτισης γραμμής

Το όριο φόρτισης ενός στοιχείου πρέπει να είναι δεξιότερα από το ρεύμα κανονικής κατάστασης για να αποφευχθεί βλάβη λόγω υπερφόρτισης, και αριστερά της καμπύλης του ηλεκτρονόμου για να αποτραπεί λειτουργία της προστασίας σε κανονική λειτουργία. Πιο καλά αυτό θα το δούμε στην περίπτωση του κινητήρα. Επιστρέφουμε στο single line graphic και κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle που έχουμε τοποθετήσει τον ηλεκτρονόμο του κινητήρα. Τώρα υπάρχουν δύο επιλογές: η πρώτη είναι **Create Time-Overcurrent Plot** για να φτιάξουμε καινούριο διάγραμμα και η δεύτερη είναι **Add to Time-Overcurrent Plot** για να προσθέσουμε την καμπύλη στο ήδη υπάρχον διάγραμμα. Επιλέγουμε το πρώτο και μετονομάζουμε το νέο διάγραμμα σε AsMotor 11kV. Στην συνέχεια επιστρέφουμε πάλι στο single line graphic, κάνουμε δεξί κλικ πάνω στον κινητήρα και επιλέγουμε **Show** και μετά **Add to Time-Overcurrent Plot**. Ανοίγει ένα παράθυρο με την λίστα των διαγραμμάτων χρόνου-ρεύματος, επιλέγουμε το διάγραμμα του κινητήρα και πατάμε **OK**. Με αυτόν τον τρόπο προσθέτουμε στο διάγραμμα την χαρακτηριστική εκκίνησης του κινητήρα. Όπως και πριν, εκτελούμε ροή φορτίου και βραχυκύκλωμα στον ζυγό 2 και μετατρέπουμε τις γραμμές ρεύματος σε σταθερές. Επίσης, κάνουμε την γραμμή κανονικής λειτουργίας μπλε όπως πριν για να ξεχωρίζει, και τέλος κάνουμε **Scale** και στους δύο άξονες.



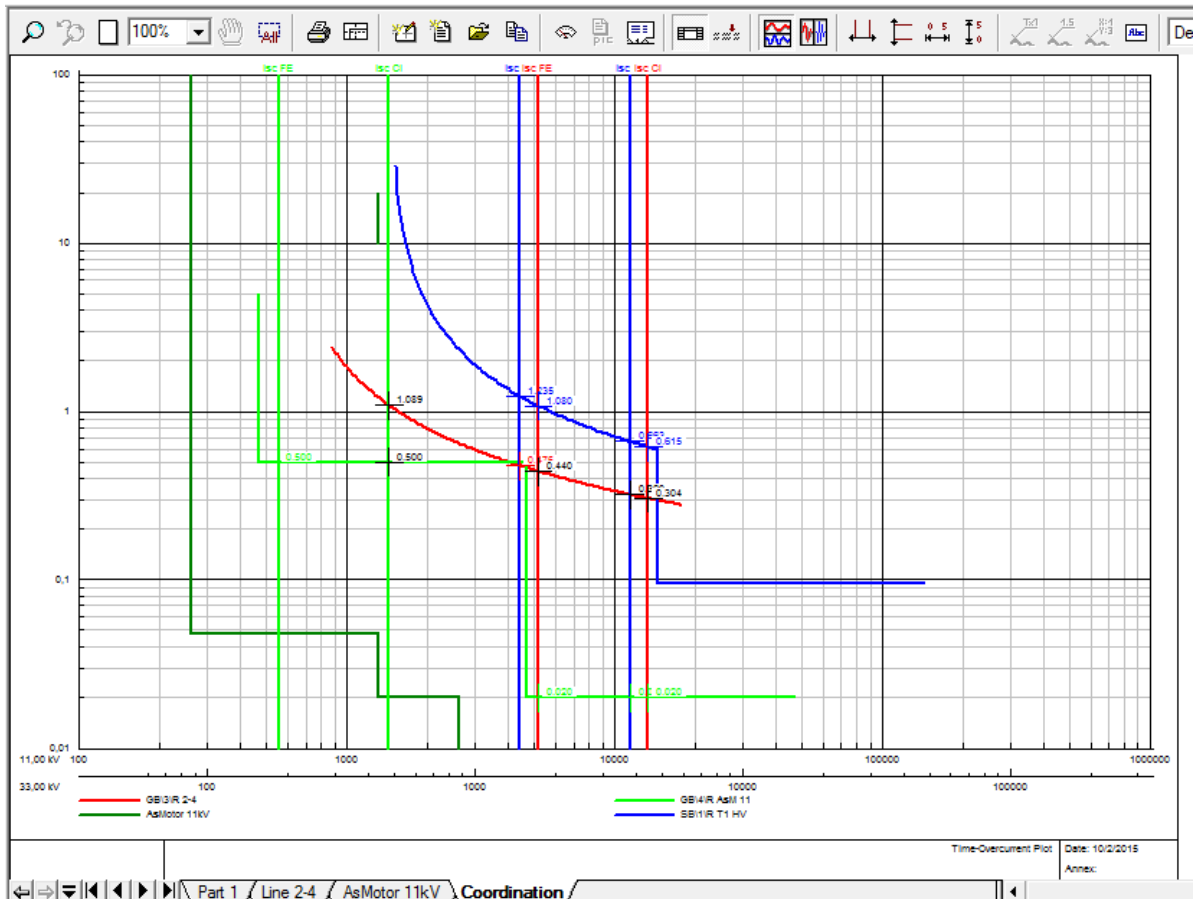
Ε2.115: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ηλεκτρονόμος κινητήρα, χαρακτηριστική εκκίνησης, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος

Ο ηλεκτρονόμος προστασίας του κινητήρα δεν έχει ενεργοποιημένο στοιχείο αντιστρόφου χρόνου. Χρησιμοποιεί δύο στάδια σταθερού χρόνου, ένα αργό και ένα γρήγορο. Αν κάνουμε δεξί κλικ πάνω στην καμπύλη του ηλεκτρονόμου και ενεργοποιήσουμε την επιλογή Split οι χαρακτηριστικές των δύο αυτών στοιχείων διαχωρίζονται και μπορούμε να μετακινήσουμε την μία ανεξάρτητα από την άλλη. Όταν απενεργοποιήσουμε πάλι την επιλογή Split οι χαρακτηριστικές των δύο στοιχείων ενοποιούνται πάλι, σχηματίζοντας την συνολική χαρακτηριστική καμπύλη του ηλεκτρονόμου.

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα θα φτιάξουμε ένα διάγραμμα όπου θα φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες όλων των ηλεκτρονόμων που έχουμε τοποθετήσει μέχρι τώρα στο δίκτυο. Η διαδικασία περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

- Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle του ηλεκτρονόμου της γραμμής 2-4 και επιλέγουμε Create Time-Overcurrent Plot.
- Κάνουμε δεξί κλικ στο όνομα του παραθύρου που δημιουργήθηκε, επιλέγουμε Rename και αλλάζουμε το όνομά του σε Coordination.
- Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle του ηλεκτρονόμου του κινητήρα και επιλέγουμε Add to Time-Overcurrent Plot.
- Στο παράθυρο που ανοίγει, επιλέγουμε το διάγραμμα Coordination και πατάμε OK.
- Κάνουμε δεξί κλικ στον κινητήρα, επιλέγουμε Show και μετά Add to Time-Overcurrent Plot.
- Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε το διάγραμμα Coordination και πατάμε OK.
- Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle του ηλεκτρονόμου του μετασχηματιστή και επιλέγουμε Add to Time-Overcurrent Plot.

- Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε το διάγραμμα Coordination και πατάμε OK.
- Κάνουμε διπλό κλικ στον κενό χώρο του διαγράμματος για να ανοίξει το παράθυρο επεξεργασίας του.
- Πατάμε το κομβίο Scale και για τους δύο άξονες, αλλάζουμε το χρώμα της χαρακτηριστικής του κινητήρα σε σκούρο πράσινο (12) και του ηλεκτρονόμου του μετασχηματιστή σε μπλε (4) και πατάμε OK.
- Εκτελούμε ροή φορτίου και ελέγχουμε ότι τηρούνται οι προϋποθέσεις για τα ρεύματα κανονικής λειτουργίας.
- Εκτελούμε βραχυκύκλωμα στο 1% της γραμμής 2-4.
- Κάνουμε διπλό κλικ στην πράσινη γραμμή, κάνουμε κλικ στο κομβίο Set user defined, στο πεδίο Label επιλέγουμε User defined και γράφουμε για όνομα ετικέτας Isc CI. Κάνουμε το ίδιο και στις άλλες δύο γραμμές.
- Εκτελούμε βραχυκύκλωμα στον ζυγό 8.
- Κάνουμε διπλό κλικ στην πράσινη γραμμή, κάνουμε κλικ στο κομβίο Set user defined, στο πεδίο Label επιλέγουμε User defined και γράφουμε για όνομα ετικέτας Isc FE. Κάνουμε το ίδιο και στις άλλες δύο γραμμές



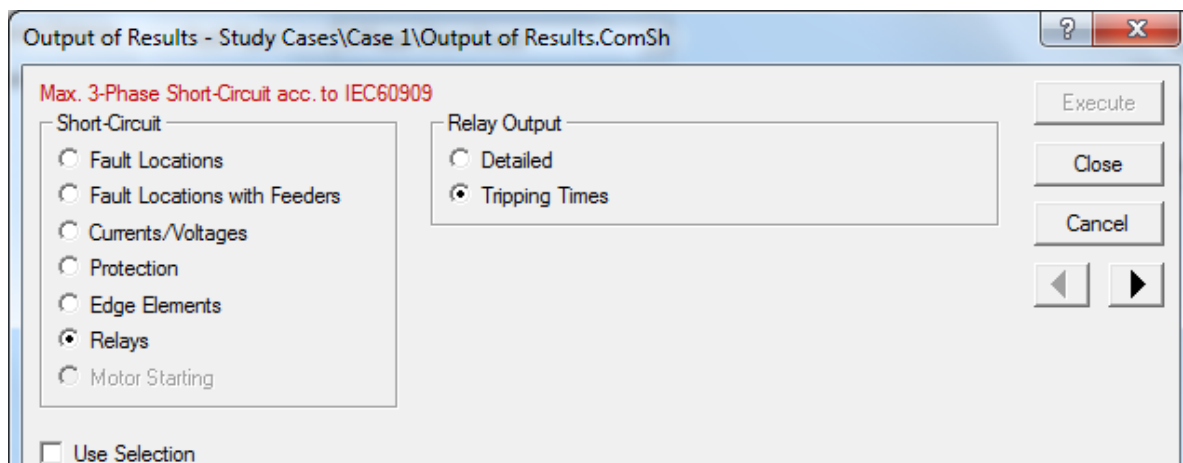
E2.116: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: όλοι οι ηλεκτρονόμοι, τα μέγιστα ρεύματα βραχυκυκλώματος και ρεύματα του πιο μακρινού βραχυκυκλώματος

Από αυτό το διάγραμμα βλέπουμε ότι στο close-in βραχυκύκλωμα ο ηλεκτρονόμος της γραμμής 2-4 (κόκκινος) διεγείρεται σε 0.304s, πιο γρήγορα από τους ηλεκτρονόμους του κινητήρα (πράσινος) και του μετασχηματιστή (μπλε) που χρειάζονται αντίστοιχα 0.5s και 0.663s. Το ίδιο ισχύει και για το far-end βραχυκύκλωμα, για το οποίο ο ηλεκτρονόμος της γραμμής 2-4 χρειάζεται 0.44s για να διεγερθεί, ενώ οι άλλοι δύο διεγείρονται σε 0.5s και 1.235s αντίστοιχα.

## 2.8.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων στο Output Window

Εκτός από τις καμπύλες χρόνου-ρεύματος των ηλεκτρονόμων και τα σημεία τομής τους με τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που φαίνονται στα διαγράμματα, σημαντικά είναι και τα αποτελέσματα που μπορούμε να πάρουμε από το Output Window.

Αφού διαγράψουμε όλα τα περιεχόμενα του Output Window με το κομβίο **Clear All**, εκτελούμε βραχυκύκλωμα στο 1% της γραμμής 2-4 πλησίον του ζυγού 2 με τις ρυθμίσεις που είχαμε και στα προηγούμενα βραχυκυκλώματα. Στο πεδίο **Show Output** και στο παράθυρο που ανοίγει από το μπλε βέλος του Command επιλέγουμε **Relays** και **Tripping Times**.



E2.117: Παράθυρο διαλόγου ρυθμίσεων παρουσίασης αποτελεσμάτων βραχυκυκλώματος

Σε αυτή την περίπτωση το Output Window είναι αρκετά εκτεταμένο καθώς τα αποτελέσματα για καθέναν από τους τρεις ηλεκτρονόμους επαναλαμβάνονται πολλές φορές. Στην παρακάτω εικόνα του Output Window έχουν παραληφθεί μερικές από τις επαναλήψεις ώστε να είναι πιο ευανάγνωστο. Για κάθε ηλεκτρονόμο παρουσιάζονται κάποια στοιχεία για τον ζυγό στον οποίο είναι τοποθετημένος και για το μοντέλο του και μετά για κάθε στοιχείο του ηλεκτρονόμου αναγράφονται το ρεύμα που «βλέπει», σε τιμές πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, και ο χρόνος στον οποίον διεγείρεται το συγκεκριμένο στοιχείο.

Ας δούμε για παράδειγμα το πεδίο που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ηλεκτρονόμου του μετασχηματιστή. Στην πρώτη γραμμή μας λέει ότι ο ηλεκτρονόμος R T1 HV που είναι τοποθετημένος στον ζυγό 1, στον υποσταθμό System Bus, είναι τύπου MCGG-63 και επενεργεί σε 0,663s ως αποτέλεσμα της λειτουργίας κάποιου από τα στοιχεία του. Στη συνέχεια, παρουσιάζει καθένα από τα ενεργά στοιχεία. Το στοιχείο Toc Ph είναι το στοιχείο αντιστρόφου χρόνου φάσης, διαρρέεται από 12,665A δευτερεύοντος που αντιστοιχούν σε 3799,49A πρωτεύοντος και λειτουργεί σε 0,663s. Το στοιχείο Ioc Ph είναι στοιχείο σταθερού χρόνου φάσης, διαρρέεται από τα ίδια ρεύματα αλλά δε διεγείρεται (χρόνος λειτουργίας 9999,999s). Αναλόγως, βλέπουμε τα αποτελέσματα και για τους ηλεκτρονόμους του κινητήρα και της γραμμής, όπου παρουσιάζονται τα στοιχεία σταθερού χρόνου I> και I>> για τον πρώτο, και το στοιχείο αντιστρόφου χρόνου 51P για τον δεύτερο. Για αυτούς τους ηλεκτρονόμους παρουσιάζονται τα ρεύματα ανά φάση σε τιμές πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

DigSI/info - Element 'Transmission System' is local reference in separated area of 'T1.2'  
 DigSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
 DigSI/info - Short-circuit calculation ready!

		DigSILENT	Project:	
		PowerFactory		
		15.0.0	Date: 10/4/2015	
Relays Tripping Times				
Short-Circuit Calculation according to IEC60909		3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents		
Asynchronous Motors		Grid Identification		
Always Considered		Automatic		
Decaying Aperiodic Component (idc)		Short-Circuit Duration		
Using Method B		Break Time 0,10 s		
		Fault Clearing Time (Ith) 1,00 s		
Conductor Temperature		c-Voltage Factor		
User Defined No		User Defined No		
-----				
Grid: Part 1	System Stage: Part 1	Study Case: Case 1	Annex: / 1	
Relay	Branch	Terminal /Station	Type	Tripping Times
R T1 HV		Bus 1 / System Bus	MCGG-63	0,663 s
Toc Ph	(IEC: I>t ANSI: 51 )		Currents 12,665 sec.A	3799,49 pri.A 0,663 s
Ioc Ph	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents 12,665 sec.A	3799,49 pri.A 9999,999 s
R 2-4		Bus 2 / Grid Bus	SEL 351-5A-150V	0,304 s
51P	(IEC: I>t ANSI: 51 )		Currents A : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A 0,304 s
			B : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A
			C : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A
load enc i threshold	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents 222,522 sec.A	13351,34 pri.A 0,001 s
-----				
Grid: Part 1	System Stage: Part 1	Study Case: Case 1	Annex: / 2	
Relay	Branch	Terminal /Station	Type	Tripping Times
R 2-4		Bus 2 / Grid Bus	SEL 351-5A-150V	0,304 s
51P	(IEC: I>t ANSI: 51 )		Currents A : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A 0,304 s
			B : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A
			C : 222,522 sec.A	13351,34 pri.A
load enc i threshold	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents 222,522 sec.A	13351,34 pri.A 0,001 s
R AsM 11		Bus 2 / Grid Bus	7SJ70	0,500 s
I>	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents A : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A 0,500 s
			B : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
			C : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
I>>	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents A : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A 9999,999 s
			B : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
			C : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
-----				
Grid: Part 1	System Stage: Part 1	Study Case: Case 1	Annex: / 3	
Relay	Branch	Terminal /Station	Type	Tripping Times
R AsM 11		Bus 2 / Grid Bus	7SJ70	0,500 s
I>	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents A : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A 0,500 s
			B : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
			C : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
I>>	(IEC: I>> ANSI: 50 )		Currents A : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A 9999,999 s
			B : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A
			C : 11,906 sec.A	1428,75 pri.A

E2.118: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος – Relay/Tripping Times

Επαναλαμβάνουμε το βραχυκύκλωμα με την διαφορά ότι στο παράθυρο που ανοίγει από το Command επιλέγουμε **Relays** και **Detailed**. Σε αυτή την περίπτωση το Output Window είναι ακόμα πιο εκτεταμένο από πριν με πολλές επαναλήψεις των αποτελεσμάτων του κάθε ηλεκτρονόμου. Στην παρακάτω εικόνα από το Output Window έχει συμπεριληφθεί μόνο μία φορά ο κάθε ηλεκτρονόμος. Η δομή της παρουσίασης είναι παρόμοια με την προηγούμενη αλλά εδώ υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες για κάθε ηλεκτρονόμο. Για παράδειγμα, εκτός από το όνομα, την θέση και το μοντέλο ενός ηλεκτρονόμου αναφέρεται και το μοντέλο του μετασχηματιστή έντασης, ο λόγος μετασχηματισμού (CTR) και η συνδεσμολογία του. Στην συνέχεια, σε κάθε στοιχείο του ηλεκτρονόμου εκτός από τα ρεύματα που το διαρρέουν και τον χρόνο στον οποίο λειτουργεί, αναφέρονται και οι ρυθμίσεις τις οποίες έχουμε ορίσει στο παράθυρο επεξεργασίας του, όπως το Pickup Current σε τιμές πρωτεύοντος, δευτερεύοντος και ανά μονάδα, το Time Dial και το είδος της χαρακτηριστικής καμπύλης. Επίσης, αναφέρονται πληροφορίες για τον διακόπτη τον οποίο ελέγχει κάθε ηλεκτρονόμος και η τοποθεσία του (ζυγός και υποσταθμός).



DigSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 2-4  
 DigSI/info - Short-circuit calculation ready!

		DigSILENT	Project:
		PowerFactory	
		15.0.0	Date: 10/4/2015
Relays Detailed			
Short-Circuit Calculation according to IEC60909		3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents	
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration	
Always Considered	Automatic	Break Time	0,10 s
		Fault Clearing Time (Ith)	1,00 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor	
Using Method	User Defined	User Defined	No
Grid: Part 1 System Stage: Part 1 Study Case: Case 1 Annex: / 1			
R T1 HV Relay Type : MCGG-63			
Ct-3P : CT T1 HV	Location : Busbar	: Bus 1	/System Bus
	Branch	: T1 33/11kV	Ratio : 300A/1A
			Connection : Y
Toc Ph : Toc Ph	( IEC: I>t ANSI: 51 )	Tripping Current	[pri.A] Tripping Time
Current Setting : 1,600 sec.A	480,00 pri.A 1,600 p.u.	12,665	3799,49 0,663 s
Time Dial : 0,200	Time Shift : 1,000		
Characteristic : Standard Inverse	IEC 255-3		
Ioc Ph : Ioc Ph	( IEC: I>> ANSI: 50 )	Tripping Current	[pri.A] Tripping Time
Pickup Current : 16,000 sec.A	4800,00 pri.A 10,000 p.u.	12,665	3799,49 9999,999 s
Time Setting : 0,095 s			
Total Time : 0,095 s			
Logic Tdel: Logic Tdel	Tripping Block: Toc Ph	Tripping	: 0,663 s
Breaker	Cubicle Branch Busbar	/ Substation	Fault Clearing Time
CB1	Cubicle_S0.0.1B1 T1.2	/ System Bus	0,663 s
Logic Inst: Logic Inst	Tripping Block:	Tripping	: 9999,999 s
Breaker	Cubicle Branch Busbar	/ Substation	Fault Clearing Time
CB1	Cubicle_S0.0.1B1 T1.2	/ System Bus	0,663 s
R 2-4 Relay Type : SEL 351-5A-150V			
Ct : CT 2-4	Location : Busbar	: Bus 2	/Grid Bus
	Branch	: Line 2-4	Ratio : 300A/5A
			Connection : Y
CoreCt: CT 2-4	Location : Busbar	: Bus 2	/Grid Bus
	Branch	: Line 2-4	Ratio : 300A/5A
			Connection : Y
Vt : VT 2-4	Location : Busbar	: 3	/Grid Bus
	Branch	: Line 2-4	Ratio : 11000V/150V
			Connection : Y - Y
51P : 51P	( IEC: I>t ANSI: 51 )	Current [sec.A]	[pri.A] Tripping Time
Current Setting : 9,760 sec.A	585,60 pri.A 1,952 p.u.	A : 222,522	13351,34 0,304 s
Time Dial : 0,140	Time Shift : 1,000	B : 222,522	13351,34
Characteristic : C1 - IEC Class A (Standard Inverse)		C : 222,522	13351,34
Logic : Logic			
Breaker	Cubicle Branch Busbar	/ Substation	Fault Clearing Time
CB3	Cubicle_S0.0.1B3 T2.2	/ Grid Bus	0,304 s
load enc i threshold threshold ( IEC: I>> ANSI: 50 )		Tripping Current	[pri.A] Tripping Time
Pickup Current : 0,500 sec.A	30,00 pri.A 0,100 p.u.	222,522	13351,34 0,001 s
Time Setting : 0,000 s			
Total Time : 0,001 s			
R AsM 11 Relay Type : 7SJ70			
Ct : CT AsM 11	Location : Busbar	: Bus 2	/Grid Bus
	Branch	: AsMotor 11kV	Ratio : 600A/5A
			Connection : Y
I> : I>	( IEC: I>> ANSI: 50 )	Tripping Current	[pri.A] Tripping Time
Pickup Current : 3,900 sec.A	468,00 pri.A 3,900 p.u.	A : 11,906	1428,75 0,500 s
Time Setting : 0,480 s		B : 11,906	1428,75
Total Time : 0,500 s		C : 11,906	1428,75
I>> : I>>	( IEC: I>> ANSI: 50 )	Tripping Current	[pri.A] Tripping Time
Pickup Current : 39,000 sec.A	4680,00 pri.A 39,000 p.u.	A : 11,906	1428,75 9999,999 s
Time Setting : 0,000 s		B : 11,906	1428,75
Total Time : 0,020 s		C : 11,906	1428,75
Logic : Logic	Tripping Block: I>	Tripping	: 0,500 s
Breaker	Cubicle Branch Busbar	/ Substation	Fault Clearing Time
CB4	Cubicle_S0.0.1B4 T2.4	/ Grid Bus	0,500 s

E2.119: Output Window: Αποτελέσματα 3Φ βραχυκυκλώματος – Relays/Detailed

Όταν το δίκτυο έχει πολλούς ηλεκτρονόμους τότε η παρουσίαση στο Output Window είναι μακροσκελής και η αναζήτηση του ηλεκτρονόμου που μας ενδιαφέρει γίνεται δύσκολη. Για αυτές τις περιπτώσεις είναι χρήσιμο το κομβίο **Search** από την εργαλειοθήκη του Output Window, με το οποίο μπορούμε να αναζητήσουμε κάποιον ηλεκτρονόμο με το όνομά του. Αν θέλουμε να δούμε από όλους τους ηλεκτρονόμους του δικτύου ποιοι λειτουργούν, τότε ούτε η αναζήτηση στο Output Window είναι πρακτική ούτε οι αναζήτηση από τα παράθυρα με τα διαγράμματα. Σε αυτή την περίπτωση μας διευκολύνει το εικονίδιο **Edit Relevant Objects** στην

κύρια γραμμή εικονιδίων. Κάνοντας κλικ στο εικονίδιο **Relay Model** ανοίγει μία λίστα με όλους τους ηλεκτρονόμους του δικτύου όπου αναγράφονται με πράσινα γράμματα οι χρόνοι διέγερσης του καθενός.

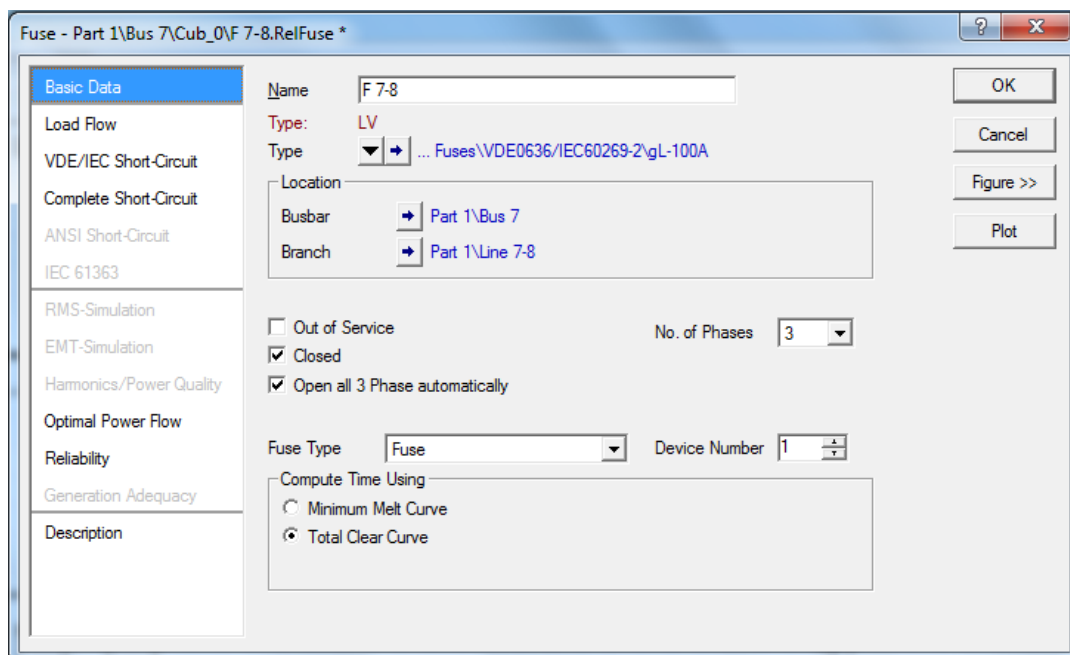
Name	In Folder	Type	Out of Service	Object modified	Object modified by	Tripping Time s
R 2-4	Cub_1	SEL 351-5A-150V	<input type="checkbox"/>	30/9/2015 6:44:50	Filippos	0.3037281
R AsM 11	Cub_1	7SJ70	<input type="checkbox"/>	2/10/2015 7:32:35	Filippos	0.5
R T1 HV	Cub_1	MCGG-63	<input type="checkbox"/>	2/10/2015 7:32:37	Filippos	0.6628054
7SJ70	Relays	7SJ70		30/9/2015 2:43:38	Filippos	
MCGG-63	Relays	MCGG63		30/9/2015 7:42:30	Filippos	
SEL 351-5A-150V	SEL 351	SEL-351		30/9/2015 7:42:50	Filippos	

E2.120: Λίστα ηλεκτρονόμων

### 2.8.5 Προσθήκη και παραμετροποίηση ασφάλειας

Σε αυτή την παράγραφο θα δούμε πώς μπορούμε να βάλουμε μία ασφάλεια στο δίκτυο χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο από αυτά που έχουμε μεταφέρει στην βιβλιοθήκη του project από την Global Library.

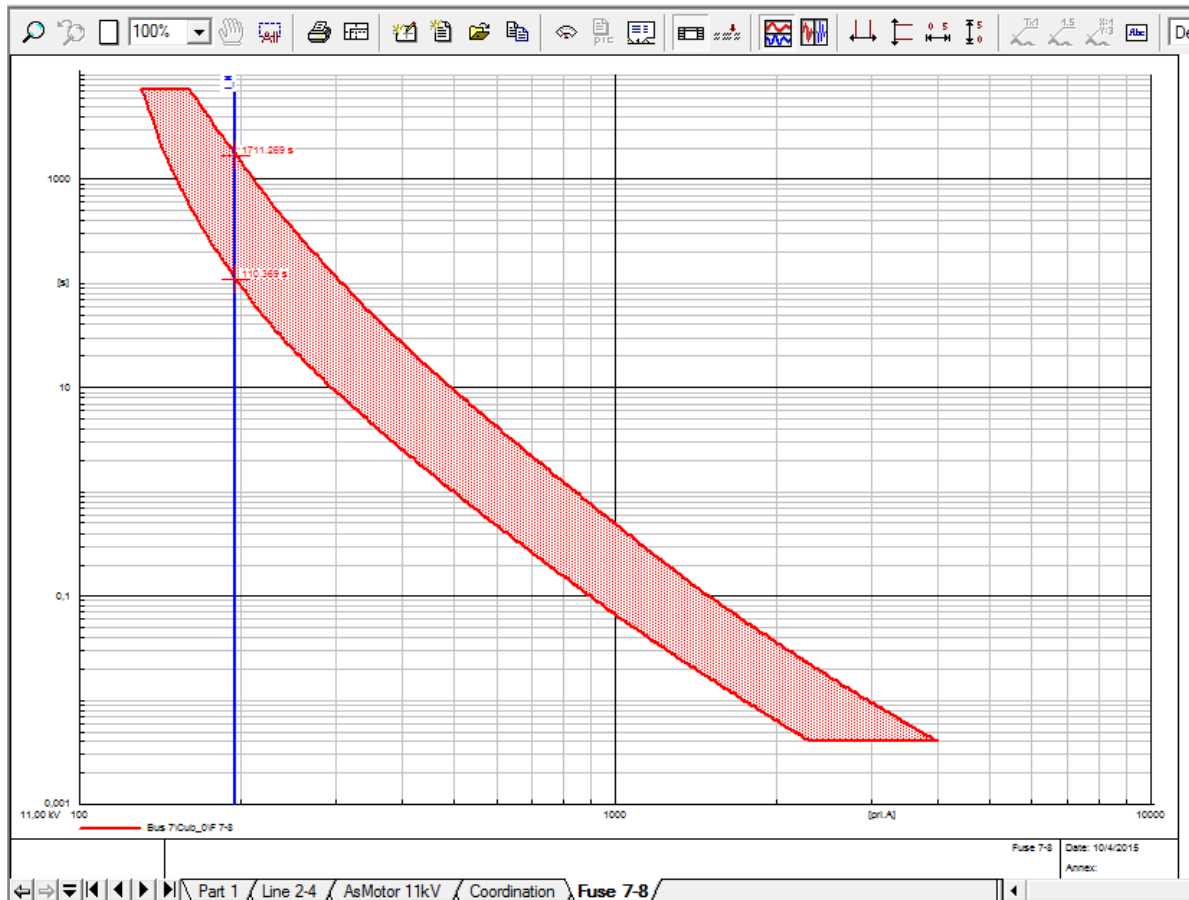
Η διαδικασία εισαγωγής μίας ασφάλειας στο δίκτυο είναι παρόμοια με αυτή των ηλεκτρονόμων. Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle της γραμμής 7-8 πλησίον του ζυγού 7, επιλέγουμε **New Devices** και μετά **Fuse**. Στο παράθυρο επεξεργασίας της ασφάλειας που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα F 7-8, από το πεδίο **Type** επιλέγουμε το μοντέλο gL-100A στον φάκελο VDE0636/IEC60269-2 που μεταφέραμε από την Global Library, ενεργοποιούμε την επιλογή **Open all 3 Phases automatically** και επιλέγουμε **Compute Time Using Total Clear Curve**.



E2.121: Παράθυρο επεξεργασίας ασφάλειας

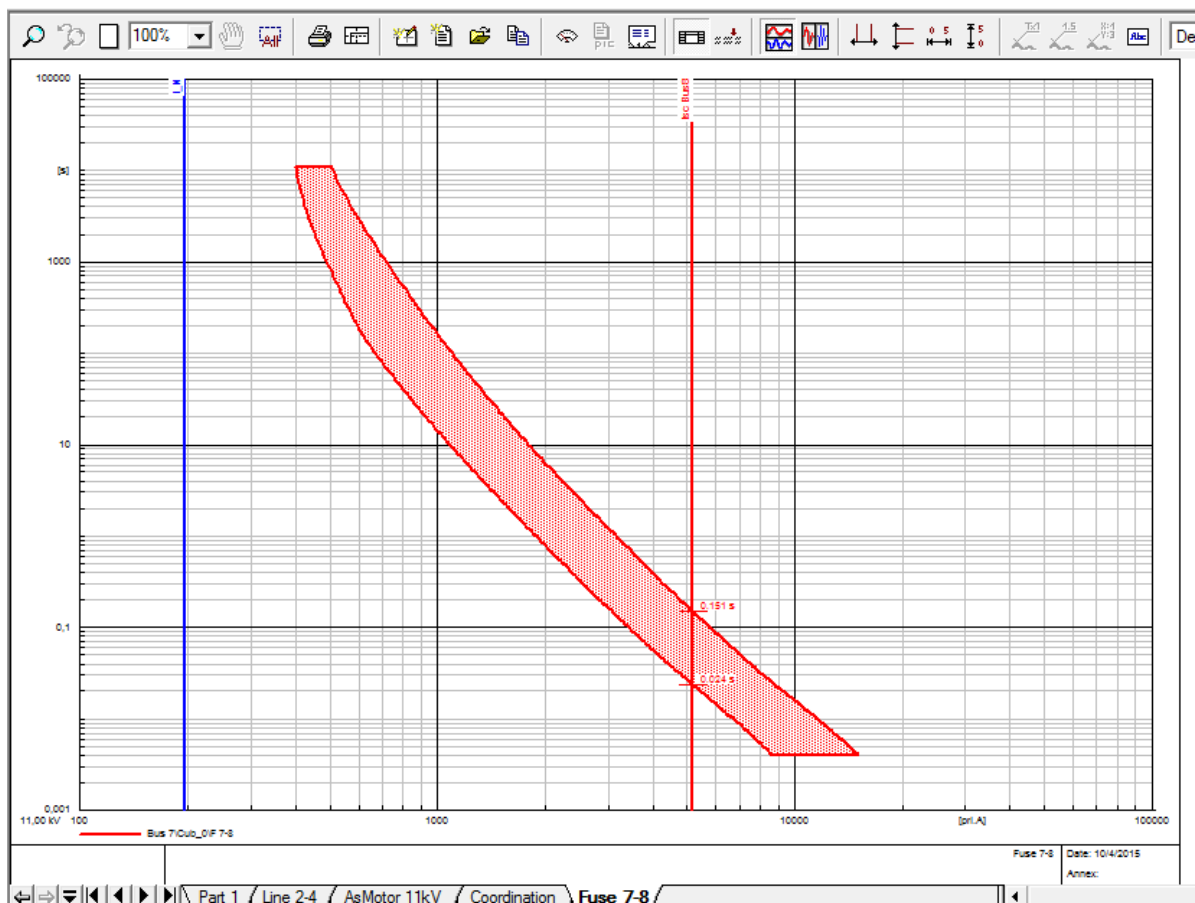
Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic. Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle που μόλις βάλουμε την ασφάλεια και επιλέγουμε **Create Time-**

**Overcurrent Plot.** Μετονομάζουμε το νέο παράθυρο σε Fuse 7-8 και εκτελούμε ροή φορτίου. Αν χρειάζεται κάνουμε **Scale** τους άξονες και μετά κάνουμε σταθερή την γραμμή της ροής φορτίου με μπλε χρώμα και εμφανιζόμενο όνομα I\_N.



Ε2.122: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 7-8 και ρεύμα κανονικής λειτουργίας

Παρατηρούμε ότι η γραμμή του ρεύματος κανονικής λειτουργίας τέμνει την χαρακτηριστική της ασφάλειας πράγμα που σημαίνει ότι χρησιμοποιήσαμε υποδιαστασιοποιημένο μοντέλο. Επιλέγοντας την χαρακτηριστική της ασφάλειας με απλό κλικ εμφανίζονται πάνω της μικρά τετράγωνα. Αν δεν εμφανιστούν σημαίνει ότι το κλικ δεν έγινε πάνω στην καμπύλη και πρέπει να ξαναπροσπαθήσουμε με χρήση και του ζουμ. Κάνουμε δεξί κλικ πάνω σε ένα από αυτά τα τετράγωνα και ενεργοποιούμε την επιλογή **Split**. Μετά την ενεργοποίηση του Split, όπως και με τους ηλεκτρονόμους, μπορούμε κάνοντας κλικ πάνω στην χαρακτηριστική της ασφάλειας και κρατώντας το πατημένο να την μεταφέρουμε. Η μεταφορά αυτή δεν είναι συνεχής αλλά διακριτή γιατί κάθε θέση της χαρακτηριστικής αντιστοιχεί σε διαφορετικό μοντέλο. Κάνοντας διπλό κλικ πάνω στην χαρακτηριστική ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της και μπορούμε να δούμε ότι μετά την μεταφορά έχει αλλάξει το μοντέλο στο πεδίο **Type**. Την μεταφέρουμε λοιπόν σε θέση που αντιστοιχεί στο μοντέλο gL-315A και κάνουμε εκ νέου **Scale**. Τέλος, εκτελούμε βραχυκύκλωμα στον ζυγό 8 και κάνουμε σταθερή την γραμμή της τιμής του ρεύματος του βραχυκυκλώματος. Η ασφάλεια αρχίζει να λιώνει σε 0,024s και εκκαθαρίζει το σφάλμα σε 0,151s.

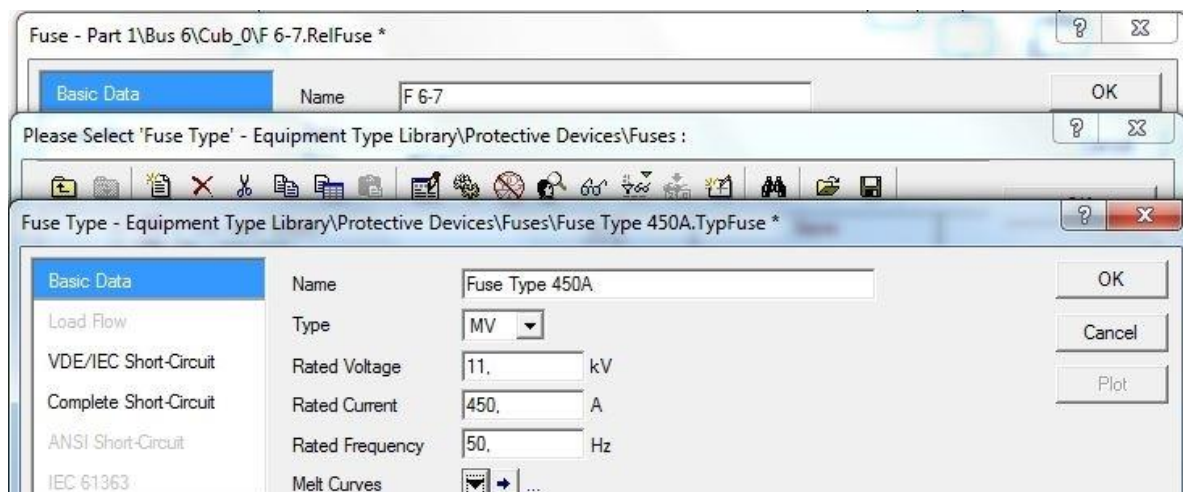


Ε2.123: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 7-8, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και ρεύμα του πιο μακρινού βραχυκυκλώματος

### 2.8.6 Δημιουργία μοντέλου ασφάλειας και χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας

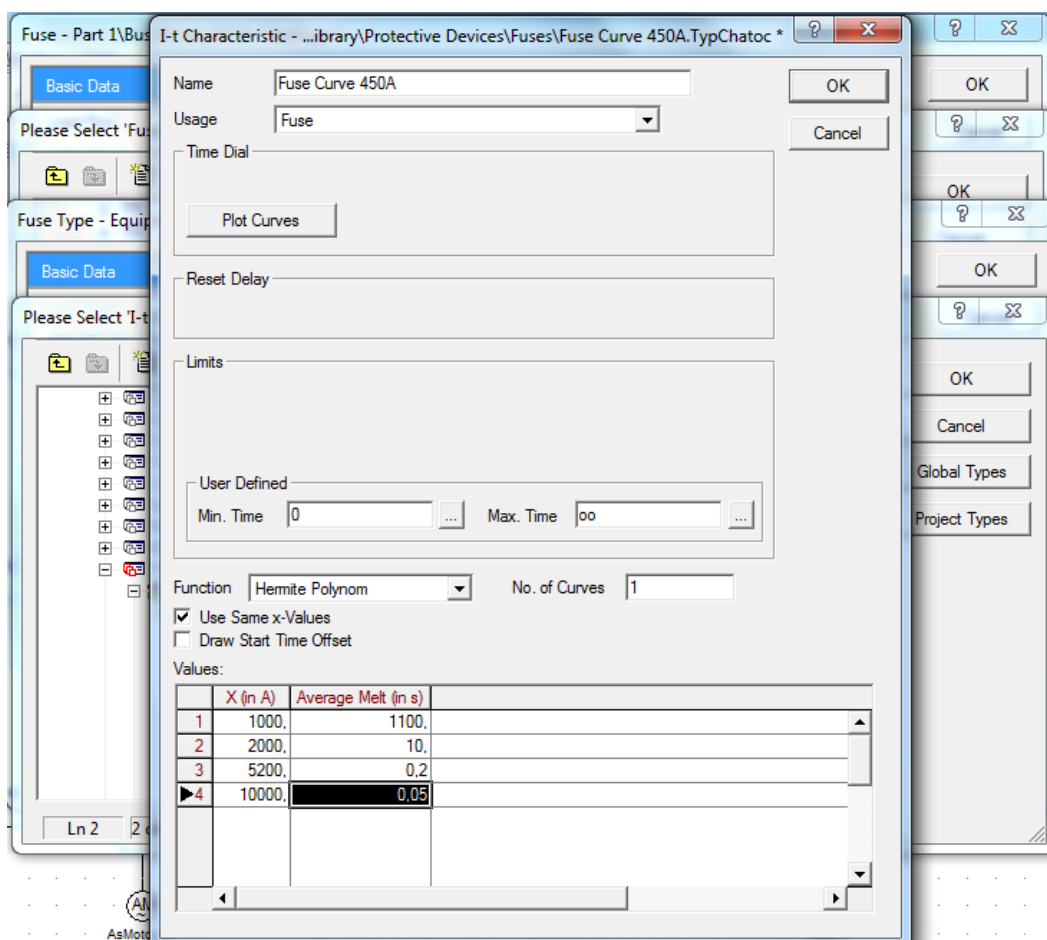
Σε αυτή την παράγραφο θα βάλουμε μία ακόμα ασφάλεια στην γραμμή 6-7 στο άκρο της πλησίον του ζυγού 6 της οποία το μοντέλο καθώς και την χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας θα δημιουργήσουμε χειροκίνητα.

Κάνουμε δεξί κλικ στο cubicle που θέλουμε να προσθέσουμε την ασφάλεια, επιλέγουμε **New Devices** και μετά **Fuse**. Στο παράθυρο επεξεργασίας της ασφάλειας που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα F 6-7, ενεργοποιούμε την επιλογή **Open all 3 Phases automatically** και από το βέλος στο πεδίο **Type** ανοίγουμε τον Data Manager. Επιλέγουμε τον φάκελο Fuses που έχουμε φτιάξει και κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **New Object**. Στο παράθυρο επεξεργασίας του μοντέλου που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα Fuse Type 450A, τύπου MV και ονομαστικά χαρακτηριστικά 11kV, 450A, 50Hz.



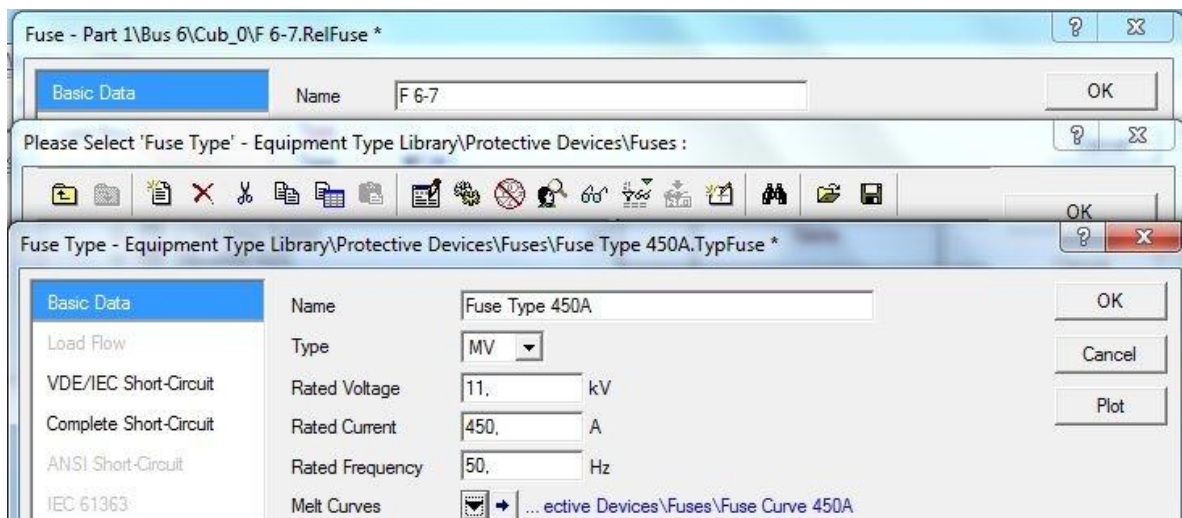
E2.124: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασφάλειας

Στη συνέχεια, δημιουργούμε τη χαρακτηριστική λειτουργίας της ασφάλειας. Ανοίγουμε πάλι τον Data Manager από το βέλος στο πεδίο **Melt Curves** επιλέγοντας **Select Project Type**, επιλέγουμε τον φάκελο Fuses και κάνουμε πάλι κλικ στο εικονίδιο **New Object**. Στο παράθυρο επεξεργασίας της καμπύλης που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα Fuse Curve 450A, στο πεδίο Usage επιλέγουμε **Fuse** και στο πεδίο Function επιλέγουμε **Hermite Polynom**. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ορίσουμε χειροκίνητα τα σημεία που θα ορίζουν τη χαρακτηριστική καμπύλη (ή ζεύγος καμπυλών, όπως στην περίπτωση μας). Επιλέγουμε να βάλουμε 1 χαρακτηριστική της οποία τα σημεία φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



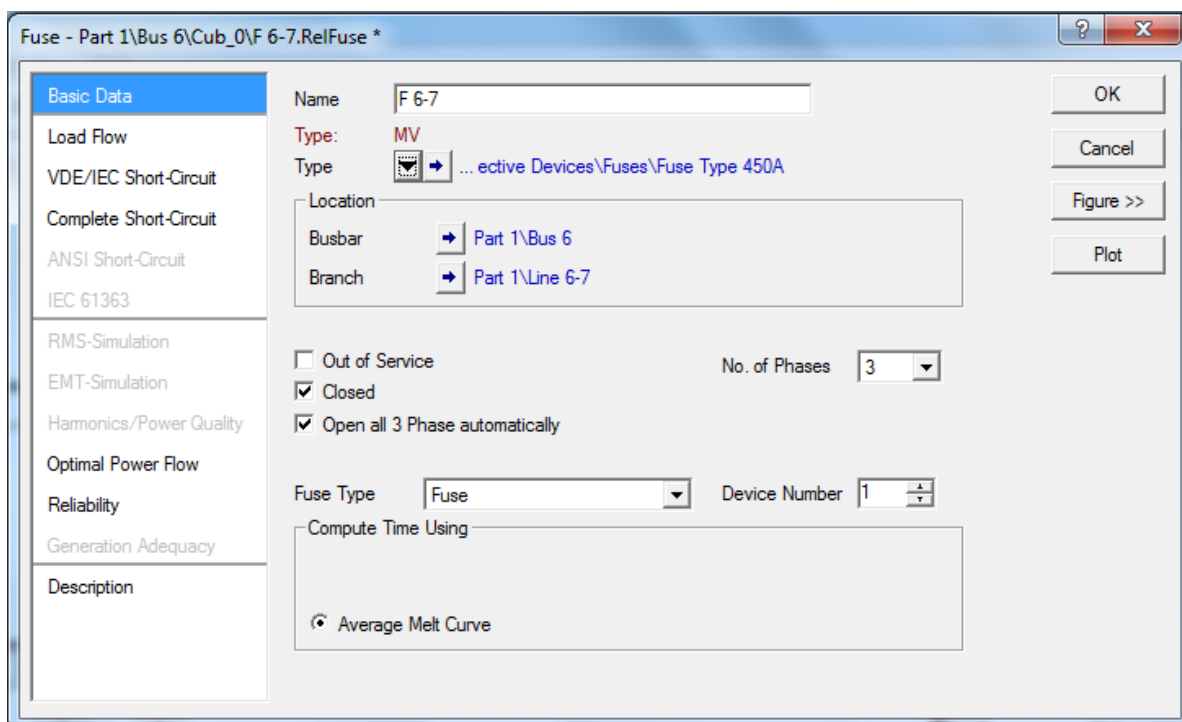
E2.125: Παράθυρο ορισμού χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε Data Manager όπου πρέπει να επιλέξουμε κάποια καμπύλη. Επιλέγουμε αυτήν που μόλις ορίσαμε, πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο διαλόγου του μοντέλου της ασφάλειας όπου πλέον έχει προστεθεί η χαρακτηριστική καμπύλη.



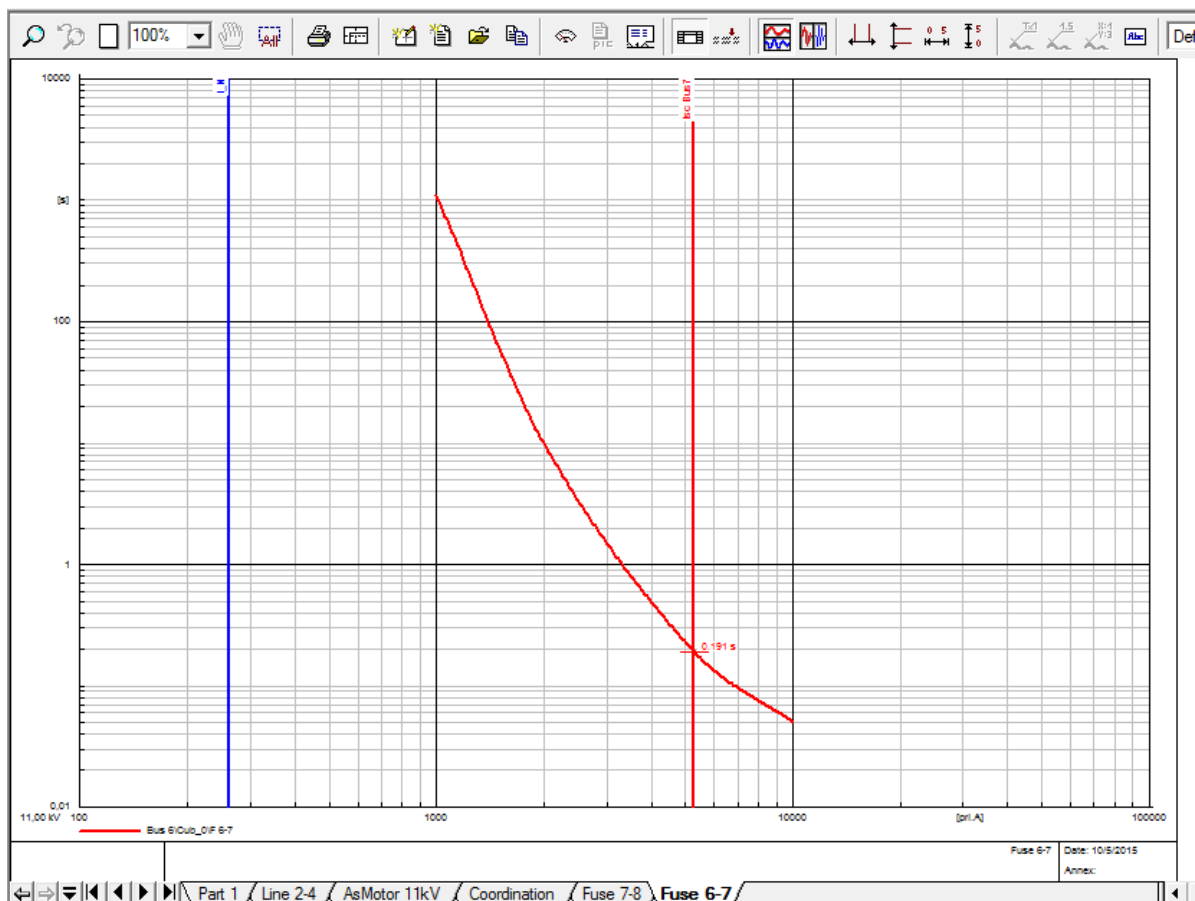
E2.126: Παράθυρο ορισμού μοντέλου ασφάλειας

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στον Data Manager όπου μας ζητάει να επιλέξουμε μοντέλο για την ασφάλεια. Επιλέγουμε το μοντέλο που μόλις δημιουργήσαμε, πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας της ασφάλειας όπου πλέον έχει ορισθεί το μοντέλο της.



E2.127: Παράθυρο επεξεργασίας ασφάλειας

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic. Η προσθήκη της ασφάλειας έχει ολοκληρωθεί. Όπως και για τα προηγούμενα μέσα προστασίας, φτιάχνουμε ένα νέο παράθυρο με την χαρακτηριστική αυτής της ασφάλειας το οποίο ονομάζουμε Fuse 6-7. Τέλος, εκτελούμε ροή φορτίου και βραχυκύκλωμα στον ζυγό 7, σταθεροποιώντας τις γραμμές των ρευμάτων στο διάγραμμα.



Ε2.128: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: ασφάλεια γραμμής 6-7, ρεύμα κανονικής λειτουργίας και ρεύμα βραχυκυκλώματος στον ζυγό 7

Το βραχυκύκλωμα στον ζυγό 7 προκαλεί λιώσιμο της ασφάλειας σε 0,191s. Όπως και στους ηλεκτρονόμους, μπορούμε να δούμε τους χρόνους τήξης όλων των ασφαλειών ενός δικτύου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο **Edit Relevant Objects** στην κύρια γραμμή εικονιδίων και επιλέγοντας **Fuses**.

### 2.8.7 Δημιουργία μονοπατιού επιλογικής συνεργασίας

Οι μελέτες προστασίας υπερέντασης στοχεύουν στην επιλογική συνεργασία μεταξύ των μέσων προστασίας που είναι εγκατεστημένα σε ένα δίκτυο. Οι ρυθμίσεις τους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε σε κάθε βραχυκύκλωμα να ανοίγει ο σωστός διακόπτης που είναι ο πλησιέστερος στο σφάλμα. Για να γίνει ευκολότερη η ρύθμιση των ηλεκτρονόμων, το PowerFactory μας δίνει την δυνατότητα δημιουργίας ενός μονοπατιού σε ένα ακτινικό τμήμα ενός δικτύου του οποίου τα μέσα προστασίας εξετάζουμε συνολικά.

Στο δίκτυο που χρησιμοποιούμε ως επιδεικτικό παράδειγμα, επιλέγουμε το μονοπάτι ανάμεσα στους ζυγούς 2 και 8. Προσθέτουμε δύο επιπλέον ηλεκτρονόμους στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου, τύπου SPAJ 140C, και θέτουμε τις δύο ασφάλειες εκτός λειτουργίας. Οι ηλεκτρονόμοι θα μπουν στις γραμμές 4-5 και 5-6 στα cubicles που είναι πλησίον των ζυγών 4 και 5, αντίστοιχα. Επίσης, αλλάζουμε τις ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου R 2-4 για να επιτευχθεί η σωστή επιλογική συνεργασία με τους δύο νέους ηλεκτρονόμους. Η διαδικασία τοποθέτησής και επεξεργασίας των ρυθμίσεων των ηλεκτρονόμων έχει περιγραφεί στην παράγραφο 2.8.2 και παρουσιάζεται συνοπτικά στη συνέχεια.

Δεξί κλικ στο cubicle της γραμμής 4-5, New Devices, Relay Model

Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Name: R 4-5

Relay Type: SPAJ 140C

κλικ στο Create CT

Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή έντασης

Name: CT 4-5

Type: CT Type

Primary Tap: 600A

Secondary Tap: 5A

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο I>

Characteristic: Normal Inverse

Current Setting: 5pu

Time Setting: 0.14

κλικ στο OK

διπλό κλικ κατά σειρά στα στοιχεία I>>, Io> και Io>>

ενεργοποίηση της επιλογής Out of Service

κλικ στο OK

κλικ στο OK και επιστροφή στο single line graphic

Δεξί κλικ στο cubicle της γραμμής 5-6, New Devices, Relay Model

Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

Name: R 5-6

Relay Type: SPAJ 140C

κλικ στο Create CT

Παράθυρο επεξεργασίας μετασχηματιστή ρεύματος

Name: CT 5-6

Type: CT Type

Primary Tap: 600A

Secondary Tap: 5A

κλικ στο OK

διπλό κλικ στο στοιχείο I>

Characteristic: Normal Inverse

Current Setting: 2.8pu

Time Setting: 0.05

κλικ στο OK

διπλό κλικ κατά σειρά στα στοιχεία I>>, Io> και Io>>

ενεργοποίηση της επιλογής Out of Service

κλικ στο OK

κλικ στο OK και επιστροφή στο single line graphic

Δεξί κλικ στο cubicle της γραμμής 2-4, Edit Devices, διπλό κλικ στον R 2-4

Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου

διπλό κλικ στο στοιχείο 51P

Current Setting: 8.4 sec A

Time Dial: 0.28

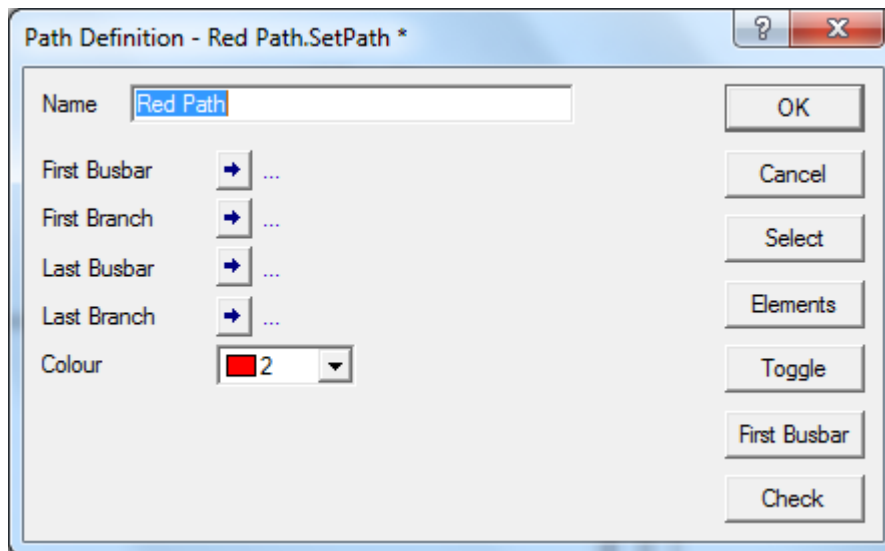
κλικ στο OK

κλικ στο OK και επιστροφή στο single line graphic

Ο πιο γρήγορος τρόπος για να θέσουμε τις δύο ασφάλειες εκτός λειτουργίας είναι κάνοντας κλικ στο εικονίδιο **Edit Relevant Objects** και στην συνέχεια στο εικονίδιο **Fuse**. Στην καρτέλα **Basic Data** βρίσκουμε την στήλη **Out of Service**, ενεργοποιούμε την επιλογή αυτή και για τις δύο ασφάλειες και κλείνουμε το παράθυρο.

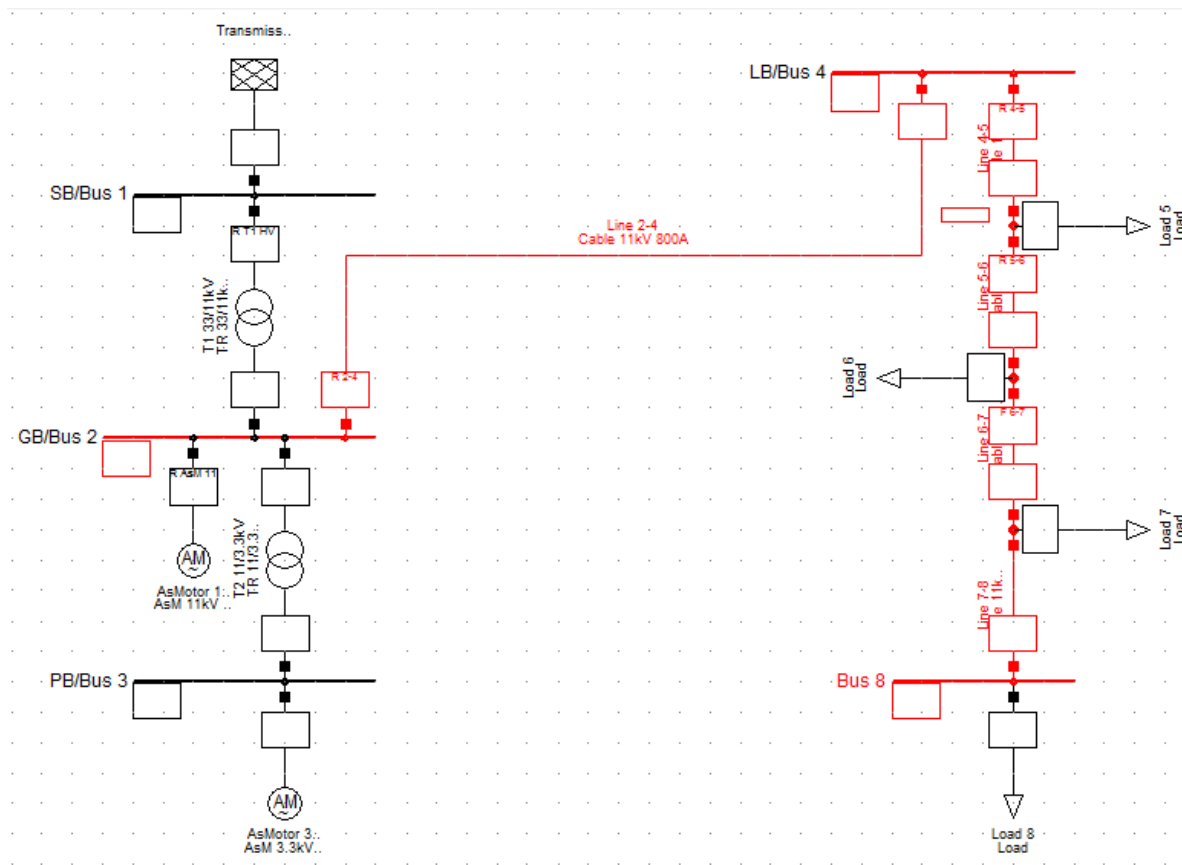


Για να φτιάξουμε το μονοπάτι επιλέγουμε όλα τα στοιχεία που θα περιλαμβάνει, δηλαδή ότι υπάρχει μεταξύ των ζυγών 2 και 8, συμπεριλαμβανομένων και των ιδίων. Στην συνέχεια, κάνουμε δεξί κλικ σε ένα από τα επιλεγμένα στοιχεία, επιλέγουμε **Path** και κάνουμε κλικ στο **New**. Στο παράθυρο επεξεργασίας του μονοπατιού που ανοίγει συμπληρώνουμε στο όνομα Red Path και στο πεδίο Colour διαλέγουμε το κόκκινο (2).



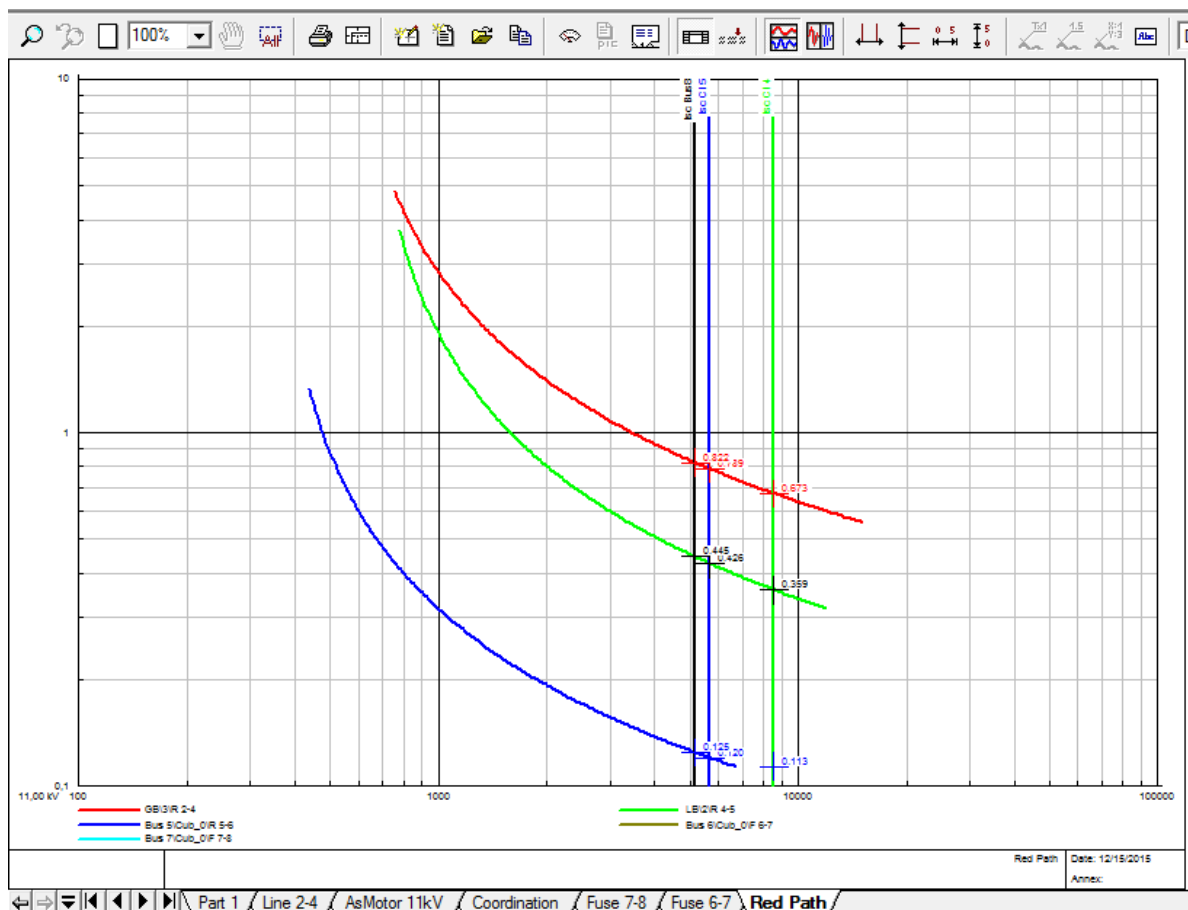
E2.129: Παράθυρο επεξεργασίας μονοπατιού

Πατάμε **OK** και επιστρέφουμε στο single line graphic όπου πλέον τα στοιχεία του μονοπατιού εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα.



E2.130: Single line graphic: μονοπάτι επιλογικής συνεργασίας

Κάνουμε δεξί κλικ σε ένα στοιχείο του μονοπατιού, επιλέγουμε **Path** και μετά **Time-Overcurrent Plot**. Ένα νέο παράθυρο ανοίγει με ένα διάγραμμα χρόνου-ρεύματος το οποίο έχει τις χαρακτηριστικές όλων των ενεργών μέσων προστασίας που υπάρχουν στο μονοπάτι. Το χρώμα της καμπύλης του κάθε μέσου προστασίας το βλέπουμε από το υπόμνημα, στο κάτω μέρος του διαγράμματος. Αλλάζουμε το όνομα του παραθύρου σε Red Path και κάνουμε ένα βραχυκύκλωμα μπροστά στους ηλεκτρονόμους R 4-5 και R 5-6 όπως πριν (close-in, 1% της γραμμής) το οποίο αντιστοιχεί στο μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος που βλέπει ο κάθε ηλεκτρονόμος και ένα βραχυκύκλωμα στον ζυγό 8 που αντιστοιχεί στο ελάχιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος. Σε κάθε περίπτωση μετατρέπουμε τις γραμμές των ρευμάτων στο διάγραμμα σε σταθερές.



E2.131: Διάγραμμα χρόνου ρεύματος: μονοπάτι επιλογικής συνεργασίας

Παρατηρούμε ότι για το close-in βραχυκύκλωμα στην γραμμή 5-6 ο ηλεκτρονόμος R 5-6 διεγείρεται σε 0,120 sec, ο ηλεκτρονόμος R 4-5 σε 0,426 sec και ο ηλεκτρονόμος R 2-4 σε 0,789 sec. Όλοι οι ηλεκτρονόμοι βλέπουν το ίδιο ρεύμα και η σειρά διέγερσής τους είναι ιδανική, με χρονικό περιθώριο ασφαλείας μεγαλύτερο των 0,3 sec. Επιλογική συνεργασία επιτυγχάνεται και για βραχυκύκλωμα στον ζυγό 8 καθώς και για close-in βραχυκύκλωμα στην γραμμή 4-5.

## 2.9 Δημιουργία, εξαγωγή και εισαγωγή αρχείων και δεδομένων από το PowerFactory

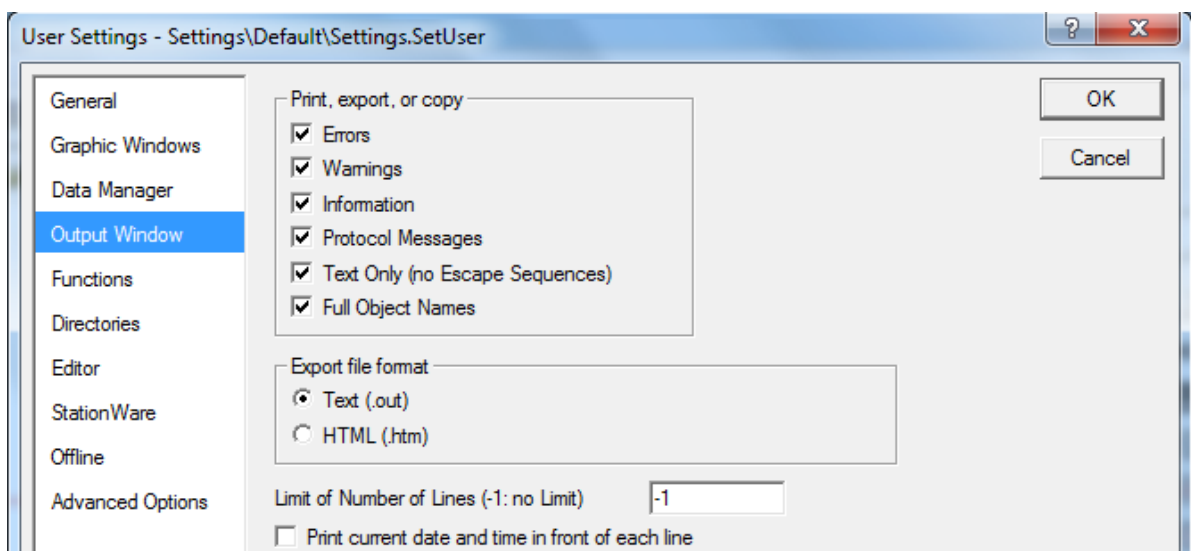
Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ένα λογισμικό να μπορεί να επικοινωνήσει με άλλα προγράμματα είτε για να ανταλλάξει δεδομένα, είτε για να εξαγει αποτελέσματα τα οποία θα επεξεργαστούν περαιτέρω με άλλου είδους λογισμικά. Σε

αυτή την ενότητα θα δούμε πώς το PowerFactory μπορεί να εξάγει τα αποτελέσματα των διεργασιών και των προσομοιώσεων που εκτελεί, όπως για παράδειγμα τα διαγράμματα με τις καμπύλες και τις αναφορές στο Output Window, σε μορφή τέτοια ώστε να μπορούν να αναγνωστούν από άλλα προγράμματα όπως επεξεργαστές εικόνας και κειμένου αντίστοιχα. Επίσης θα δούμε πώς μπορεί να φτιάξει αρχεία που θα μπορούν να διαβαστούν από το PowerFactory σε άλλους υπολογιστές μεταφέροντας έτσι βιβλιοθήκες ή ολόκληρα project.

### 2.9.1 Εξαγωγή διαγραμμάτων και αναφορών κειμένου

Το PowerFactory μας δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε αρχεία εικόνων με τα διαγράμματα που έχουμε σχεδιάσει ή ακόμα και με την τοπολογία του δικτύου στο single line graphic. Μεταφερόμαστε στο παράθυρο από το οποίο θέλουμε να πάρουμε το περιεχόμενο ως αρχείο εικόνας, για παράδειγμα το παράθυρο Red Path, πηγαίνουμε στο μενού **File**, επιλέγουμε **Export** και κάνουμε κλικ στο **Windows Bitmap (\*.BMP)**. Στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει δίνουμε όνομα στο αρχείο, επιλέγουμε πού θέλουμε να αποθηκευτεί στον υπολογιστή και πατάμε **Save**. Το αρχείο που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο ανοίγει με πρόγραμμα προβολής εικόνων και περιέχει ολόκληρο το διάγραμμα του παραθύρου Red Path μαζί με τους άξονες και το υπόμνημα. Αν αντί για Windows Bitmap (\*.BMP) επιλέγαμε Windows Metafile (\*.WMF) τότε το αρχείο που θα δημιουργούνταν θα άνοιγε με πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων.

Το PowerFactory μας δίνει επίσης την δυνατότητα να εξάγουμε τις αναφορές που τυπώνονται στο Output Window με την μορφή αρχείων κειμένου. Για να γίνει αυτό κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Save Output File** στην εργαλειοθήκη του Output Window. Στο παράθυρο επιβεβαίωσης που ανοίγει κάνουμε κλικ στο κουμπί **User Settings** και ελέγχουμε ότι είναι ενεργοποιημένες όλες οι επιλογές στην καρτέλα Output Window.



E2.132: Παράθυρο διαλόγου User Settings – καρτέλα Output Window

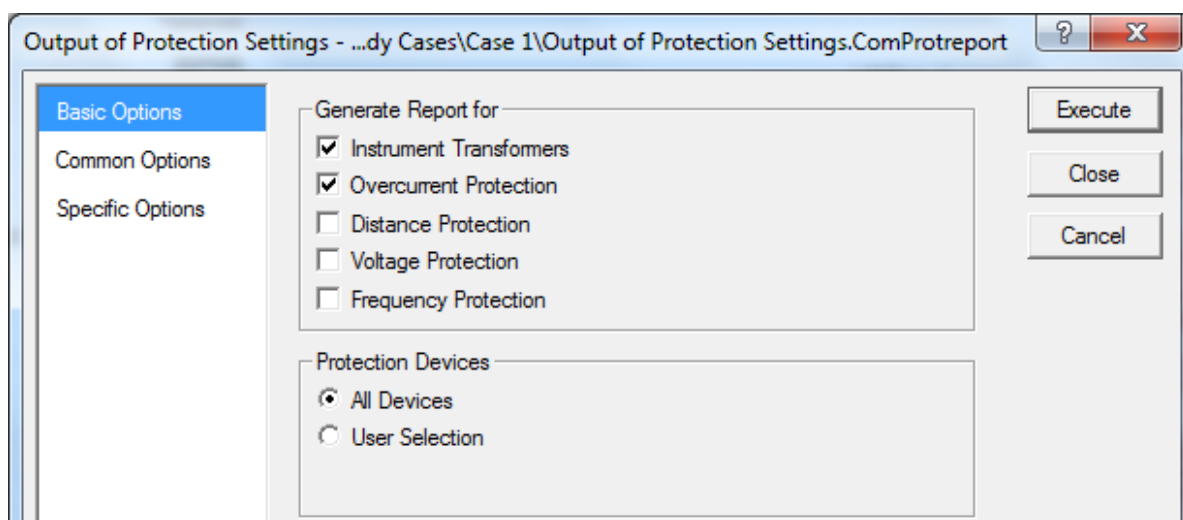
Αν μία από τις επιλογές δεν είναι ενεργοποιημένη, θα εμφανίζεται με κόκκινα γράμματα στο παράθυρο επιβεβαίωσης. Κλείνουμε το παράθυρο διαλόγου User Settings και το παράθυρο επιβεβαίωσης πατώντας **OK**. Στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει δίνουμε όνομα και επιλέγουμε μέρος αποθήκευσης του αρχείου που θα δημιουργήσουμε και πατάμε **Save**. Το αρχείο που δημιουργείται ανοίγει με οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου.

Εκτός από την δημιουργία αρχείων εικόνας και κειμένου έχουμε την δυνατότητα για απευθείας εκτύπωση των διαγραμμάτων ή των περιεχομένων του Output Window. Αυτό γίνεται από το κουμπί **Print** στην δευτερεύουσα γραμμή εικονιδίων του αντίστοιχου παραθύρου ή στην εργαλειοθήκη του Output Window.

## 2.9.2 Εξαγωγή αναφοράς προστασίας σε μορφή πίνακα

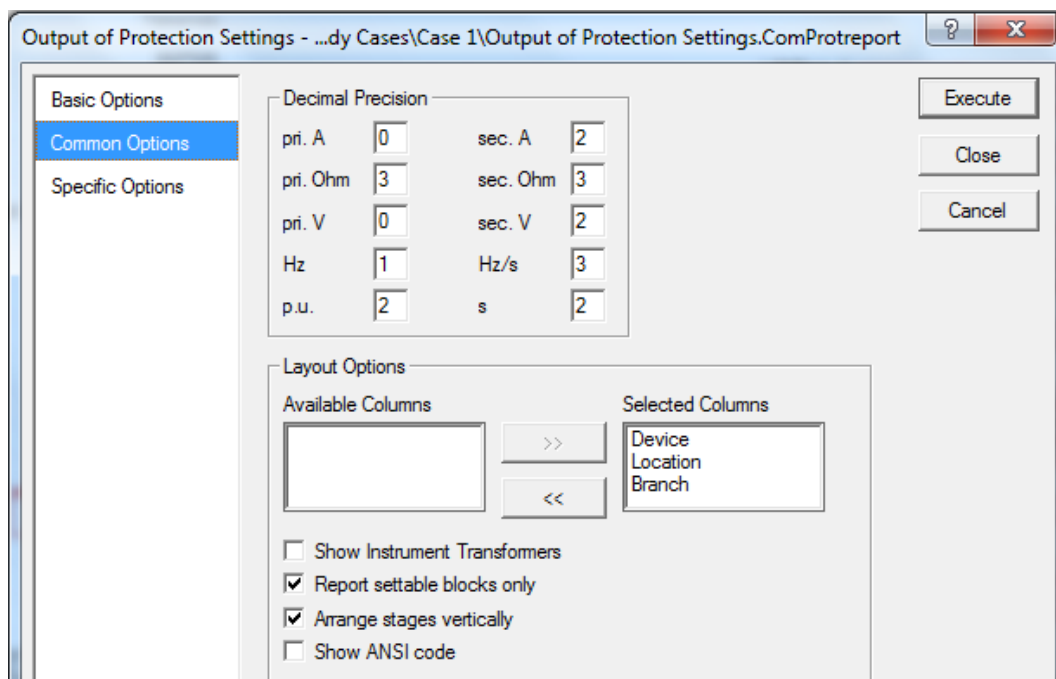
Το PowerFactory έχει ένα εργαλείο παρουσίασης αποτελεσμάτων ειδικά για τις μελέτες προστασίας. Το εργαλείο αυτό δημιουργεί μία αναφορά με την μορφή πίνακα όπου περιέχονται όλα τα μέσα προστασίας που υπάρχουν στο εξεταζόμενο δίκτυο, και παρουσιάζονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι ρυθμίσεις των παραμέτρων τους. Εκτός από την συνοπτική παρουσίαση όλων των παραμέτρων προστασίας του δικτύου, το εργαλείο αυτό προσφέρει και την δυνατότητα εύκολης μεταφοράς των περιεχομένων του πίνακα σε άλλα προγράμματα με αντιγραφή και επικόλληση.

Για να φτιάξουμε αυτή την αναφορά πηγαίνουμε στο μενού **Output**, επιλέγουμε **Protection** και κάνουμε κλικ στο **Output of Protection Settings**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, στην καρτέλα **Basic Options** επιλέγουμε για ποιες κατηγορίες οργάνων θέλουμε αναφορά. Αν για τις κατηγορίες που επιλέξουμε δεν θέλουμε αναφορά για όλες τις συσκευές, τότε στο πεδίο Protection Devices επιλέγουμε **User Selection** και μετά επιλέγουμε από τον Data Manager ποιες συγκεκριμένες συσκευές θέλουμε να αναφέρονται.



E2.133: Παράθυρο διαλόγου αναφοράς μέσω προστασίας -καρτέλα Basic Options

Στην καρτέλα **Common Options** ορίζουμε το πλήθος των δεκαδικών ψηφίων διαφόρων μεγεθών και την σειρά εμφάνισης των διακριτικών χαρακτηριστικών.



E2.134: Παράθυρο διαλόγου αναφοράς μέσω προστασίας - καρτέλα Common Options

Πατάμε **Execute** και εμφανίζονται δύο παράθυρα, ένα για την κάθε αναφορά που ζητήσαμε στην πρώτη καρτέλα. Το πρώτο δείχνει όλους μετασχηματιστές μετρήσεων που υπάρχουν στους ηλεκτρονόμους του δικτύου και παρουσιάζει τα στοιχεία θέσης του καθενός, το μοντέλο και τον κατασκευαστή του καθώς και την συνδεσμολογία του. Το δεύτερο δείχνει όλα τα μέσα προστασίας υπερέντασης του δικτύου, δηλαδή τους ηλεκτρονόμους και τις ασφάλειες, και παρουσιάζει τα στοιχεία θέσης του καθενός, το μοντέλο και τον κατασκευαστή του, τα ενεργά του στοιχεία και τις παραμέτρους του.

Instrument Transformer Settings

Protection Device	Location	Branch	Manufacturer	Model	CT	Slot	Ratio [pri.A/sec.A]	VT	Slot	Ratio [pri.V/sec.V]
1 R T1 HV	SB/Bus 1	T1 33/11kV	Alstom	MCGG-63	CT T1 HV	Ct-3P	300A/1A			
2 R 2-4	GB/Bus 2	Line 2-4	Schweitzer	SEL 351-5A-15C	CT 2-4	Ct	300A/5A	VT 2-4	Vt	11000.V/150.V
3					CT 2-4	CoreCt	300A/5A			
4 R AsM 11	GB/Bus 2	AsMotor 11kV	Siemens	7SJ70	CT AsM 11	Ct	600A/5A			
5 R 4-5	LB/Bus 4	Line 4-5	ABB	SPAJ 140C	CT 4-5	Ct-3p	600A/5A			
6					CT 4-5	Ct-3I0	600A/5A			
7 R 5-6	Bus 5	Line 5-6	ABB	SPAJ 140C	CT 5-6	Ct-3p	600A/5A			
8					CT 5-6	Ct-3I0	600A/5A			

Ln1 8 Line(s) of 8 1 Line(s) selected

---

Protection Settings (Over-/Undercurrent)

Protection Device	Location	Branch	Manufacturer	Model	Stage (Phase)	Current [pri.A]	Current [sec.A]	Current [p.u.]	Time	Characteristic	Directional
1 R T1 HV	SB/Bus 1	T1 33/11kV	Alstom	MCGG-63	Toc Ph	480	1.60	1.60	0.20	Standard Inverse	None
2					loc Ph	4800	16.00	10.00	0.09	Definite	None
3 R 2-4	GB/Bus 2	Line 2-4	Schweitzer	SEL 351-5A-15C	51P	586	9.76	1.95	0.14	C1 - IEC Class A	External
4 R AsM 11	GB/Bus 2	AsMotor 11kV	Siemens	7SJ70	I>	468	3.90	3.90	0.48	Definite	None
5					I>>	4680	39.00	39.00	0.00	Definite	None
6 R 4-5	LB/Bus 4	Line 4-5	ABB	SPAJ 140C	I>	600	5.00	5.00	0.12	Normal Inverse	None
7 F 6-7	Bus 6	Line 6-7		Fuse Type 450A	F 6-7	450				Fuse	
8 F 7-8	Bus 7	Line 7-8		gL-315A	F 7-8	315				Fuse	
9 R 5-6	Bus 5	Line 5-6	ABB	SPAJ 140C	I>	600	5.00	5.00	0.10	Normal Inverse	None

Ln1 9 Line(s) of 9 1 Line(s) selected

E2.135: Αναφορά μέσω προστασίας

Τα περιεχόμενα αυτών των πινάκων μπορούμε εύκολα, με αντιγραφή και επικόλληση, να τα μεταφέρουμε σε άλλα προγράμματα (π.χ. MS Word ή Excel).

### 2.9.3 Εξαγωγή και εισαγωγή αρχείων του PowerFactory

Τα δεδομένα που μπορούν να εισαχθούν και να εξαχθούν από το PowerFactory χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: τις *libraries* και τα *projects*. Το PowerFactory έχει την δυνατότητα δημιουργίας ειδικών αρχείων για την εξαγωγή, την μεταφορά και την εισαγωγή αυτών των δεδομένων. Τα αρχεία αυτά είναι τύπου *.dz* και *.pfd*.

Η εξαγωγή βιβλιοθήκης επιτυγχάνεται με την διαδικασία του *Export* αλλά αυτή την φορά θα φτιάξουμε ένα αρχείο τύπου *.dz*. Κάνουμε κλικ στο μενού **File**, επιλέγουμε **Export** και μετά **Data (\*.dz;\*.dat;\*.pfd;\*.dle)**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει ξεδιπλώνουμε το δέντρο μέχρι τον φάκελο *Equipment Type Library* του *project* το οποίο δουλεύουμε. Αφού τον επιλέξουμε πατάμε **OK** και στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει επιλέγουμε πού θα αποθηκευτεί στον υπολογιστή μας και πατάμε **Save**. Η εξαγωγή κάποιας βιβλιοθήκης δεν εξαρτάται από το *project* που είναι ανοιχτό εκείνη την στιγμή. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να εξάγουμε την βιβλιοθήκη ενός λογαριασμού ή ακόμα και την *Global Library*.

Για την εξαγωγή ενός *project* πρέπει πρώτα να απενεργοποιήσουμε όποιο είναι ενεργό κάνοντας κλικ στην επιλογή **Deactivate Project** στο μενού **File**. Στην συνέχεια πηγαίνουμε πάλι στο μενού **File**, επιλέγουμε **Export** και μετά **Data (\*.dz;\*.dat;\*.pfd;\*.dle)**. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγουμε το *project* που θέλουμε να εξάγουμε και πατάμε **OK**. Στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει ελέγχουμε ότι ο τύπος του αρχείου είναι *.pfd*, επιλέγουμε πού θα αποθηκευτεί και πατάμε **Save**. Τέλος, στο παράθυρο που εμφανίζεται πατάμε **Execute**. Ανάλογα με το μέγεθος του *project* η εξαγωγή διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα και βλέπουμε την πρόοδο της από την μπάρα στην γραμμή κατάστασης.

Η εισαγωγή αρχείων γίνεται από την επιλογή *Import* του μενού *File* και ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με αυτή της εξαγωγής. Προϋπόθεση όμως για την εισαγωγή οποιουδήποτε αρχείου είναι να μην είναι ενεργό κανένα *project*. Στην παράγραφο 2.8.1 είδαμε πώς γίνεται η εισαγωγή βιβλιοθηκών με αρχεία τύπου *.dz*. Για την εισαγωγή ενός *project* πηγαίνουμε στο **File**, στην επιλογή **Import** και κάνουμε κλικ στο **Data (\*.dz;\*.dat;\*.pfd;\*.dle)**. Στο παράθυρο περιήγησης που ανοίγει επιλέγουμε το *project* που θέλουμε να εισάγουμε, πατάμε **Open** και στο νέο παράθυρο πατάμε **Execute**. Το μοναδικό αποδεκτό από το πρόγραμμα μέρος αποθήκευσης του αρχείου είναι ο λογαριασμός στον οποίον είμαστε συνδεδεμένοι.

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα στην εισαγωγή και εξαγωγή αρχείων στο PowerFactory, όπως και σε άλλα προγράμματα, είναι η αποτυχία της ολοκλήρωσης της διαδικασίας χωρίς κάποιο διευκρινιστικό μήνυμα σφάλματος ή με την εμφάνιση ενός μηνύματος που λέει ότι το πρόγραμμα δεν βρίσκει το αρχείο ή την διεύθυνση προορισμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό συμβαίνει όταν το πρόγραμμα τρέχει σε υπολογιστή με λειτουργικό σε γλώσσα διαφορετική της αγγλικής και δεν μπορεί να διαβάσει την διεύθυνση. Για παράδειγμα, όταν ένας υπολογιστής έχει ελληνική έκδοση των Windows και θέλουμε να εισάγουμε ένα *project* από την επιφάνεια εργασίας τότε η διεύθυνση στην οποία ψάχνει το PowerFactory να βρει το *project* περιέχει ελληνικούς χαρακτήρες τους οποίους δεν αναγνωρίζει. Το πρόβλημα αυτό λύνεται δημιουργώντας έναν φάκελο στον σκληρό δίσκο, που αναφέρεται ως «C:\», με όνομα αποτελούμενο αποκλειστικά από λατινικούς χαρακτήρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ DIgSILENT PowerFactory ΜΕ ΤΟ MATLAB

### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η συνεργασία του PowerFactory με το Matlab. Τα δύο προγράμματα συνδέονται σε μία επαναληπτική διαδικασία αυτόματης ανταλλαγής δεδομένων με σκοπό την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης που αφορά ένα ΣΗΕ.

Η παράλληλη λειτουργία του PowerFactory και του Matlab είναι πολύ χρήσιμη για την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους στην επίλυση σύνθετων προβλημάτων. Το PowerFactory εξειδικεύεται στην ανάλυση και την ρεαλιστική προσομοίωση των ΣΗΕ ενώ το Matlab χαρακτηρίζεται από την ευκολία προγραμματισμού και εντοπισμού σφαλμάτων (debugging) αλγορίθμων. Έτσι σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, το PowerFactory, όπου μοντελοποιείται το ΣΗΕ και όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός, υπολογίζει τα αποτελέσματα μίας λύσης αναλύοντας το δίκτυο, ενώ το Matlab, όπου προγραμματίζεται ο αλγόριθμος, αξιολογεί την λύση βάσει κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης και αναζητεί μία καλύτερη. Η ανταλλαγή αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο προγραμμάτων που απαιτεί αυτή η επαναληπτική διαδικασία γίνεται μέσω ενός ενδιάμεσου σταδίου (buffer) αρχείων γραφής και ανάγνωσης. Ένας κώδικας γραμμένος σε DPL που τρέχει το PowerFactory και ένα αρχείο που λειτουργεί ως «μεταγωγέας» μεταξύ των δύο προγραμμάτων επιτρέπουν στην διαδικασία να είναι αυτόματη και να μην χρειάζεται η παρέμβαση του χρήστη μετά την εκκίνησή της.

Ως επιδεικτικό παράδειγμα για την ανάδειξη της διαδικασίας σύνδεσης και της παράλληλης λειτουργίας του PowerFactory με το Matlab χρησιμοποιείται το Two Area Test System. Το παράδειγμα αυτό αφορά ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελείται από δύο περιοχές με ασθενή μεταξύ τους σύνδεση μεγάλου μήκους. Το θέμα που εξετάζει αυτό το παράδειγμα είναι τα προβλήματα ευστάθειας του συστήματος λόγω των ηλεκτρικών ταλαντώσεων μεταξύ των γεννητριών των δύο περιοχών. Ο τρόπος που αντιμετωπίζεται το πρόβλημα αυτό στο παράδειγμα Two Area Test System είναι η τοποθέτηση ελεγκτών PSS (Power System Stabilizers) που «ωθούν» τις ιδιοτιμές του συστήματος αριστερά στο μιγαδικό επίπεδο. Για την κατάλληλη παραμετροποίηση των ελεγκτών αυτών ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση χρησιμοποιείται ο ευρετικός αλγόριθμος PSO (Particle Swarm Optimization).

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της διαδικασίας με την οποία επιτυγχάνεται η σύνδεση και η αυτόματη ανταλλαγή δεδομένων των δύο προγραμμάτων και όχι η μελέτη και επίλυση των προβλημάτων ευστάθειας του ΣΗΕ που χρησιμοποιείται για λόγους επίδειξης. Ωστόσο, για λόγους πληρότητας γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση τόσο του προβλήματος και της προτεινόμενης λύσης με τους ελεγκτές PSS, όσο και του αλγορίθμου PSO.

### 3.2 Υπόβαθρο σύνδεσης του PowerFactory με το Matlab

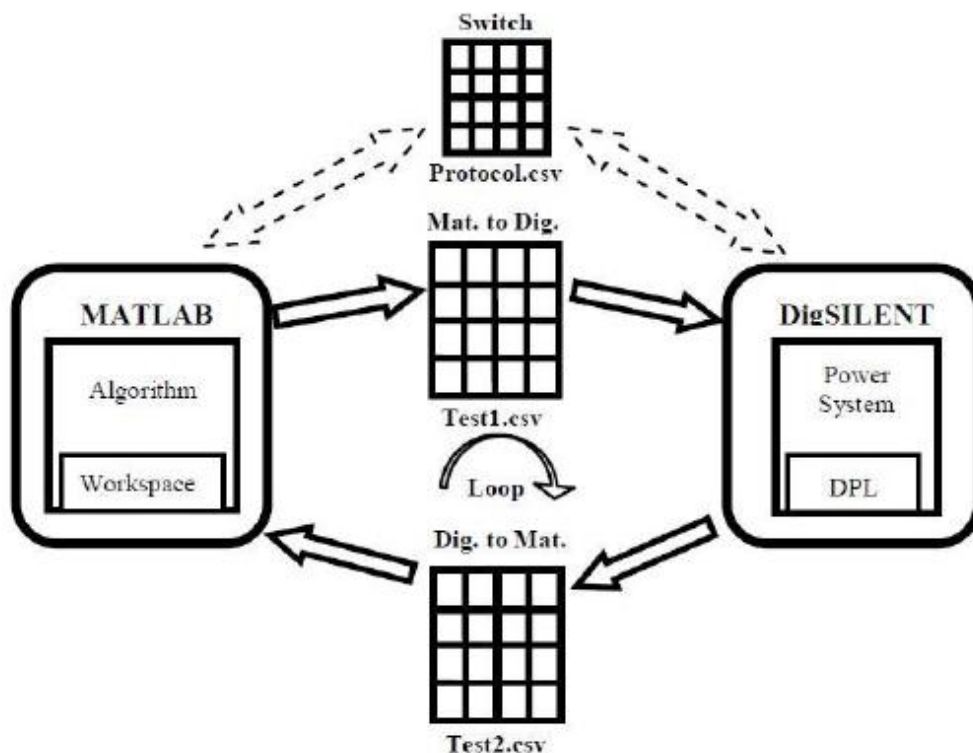
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται διαγραμματικά ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η σύνδεση (interface) του PowerFactory με το Matlab σε μία επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία απαιτείται η μεταξύ τους αυτόματη ανταλλαγή δεδομένων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αντικείμενο της αναζήτησης της επαναληπτικής διαδικασίας είναι οι τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών PSS που επιλύουν βέλτιστα το πρόβλημα

ευστάθειας του ΣΗΕ. Άρα κάθε λύση που υπολογίζει ο αλγόριθμος PSO είναι ένα διάνυσμα που περιέχει αυτές τις τιμές. Το διάνυσμα αυτό ονομάζεται particle όπως εξηγείται στην παράγραφο 3.3.4. Το ΣΗΕ και οι ελεγκτές PSS είναι μοντελοποιημένοι στο PowerFactory το οποίο υπολογίζει τους πόλους του συστήματος για κάθε particle, ενώ στο Matlab είναι υλοποιημένος ο αλγόριθμος PSO που αξιολογεί κάθε particle και παράγει το επόμενο. Η αλληλουχία των δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο προγραμμάτων έχει ως εξής:

- Ένα particle εξάγεται από το Matlab στο PowerFactory.
- Το PowerFactory αλλάζει τις τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών σύμφωνα με αυτό και υπολογίζει τους πόλους του συστήματος.
- Το PowerFactory εξάγει τις τιμές των πόλων στο Matlab.
- Το Matlab αξιολογεί το particle βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογίζει το νέο particle βάσει του αλγορίθμου PSO.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας βελτιστοποίησης κάθε particle πρέπει να περάσει από αυτή την αλληλουχία, άρα σε κάθε επανάληψη τα δύο προγράμματα επικοινωνούν δύο φορές: όταν το Matlab εξάγει το particle στο PowerFactory και όταν το PowerFactory εξάγει τους πόλους στο Matlab. Η επικοινωνία σε αυτά τα δύο σημεία γίνεται μέσω αρχείων τύπου .csv. Για την επίτευξη της σύνδεσης απαιτούνται τρία τέτοια αρχεία: ένα αρχείο για την μεταφορά των particles στο οποίο γράφει το Matlab και διαβάζει το PowerFactory (έστω MAT\_to\_DIg.csv), ένα αρχείο για την μεταφορά των πόλων στο οποίο γράφει το PowerFactory και διαβάζει το Matlab (έστω DIg\_to\_MAT.csv) και ένα αρχείο που λειτουργεί ως μεταγωγέας μεταξύ των δύο προγραμμάτων (έστω Switch.csv).



Ε3.1: Διαδικασία αυτόματης ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ PowerFactory και Matlab

Το αρχείο Switch.csv παίρνει τιμές 0 και 1 και ορίζει ποιο πρόγραμμα είναι εν λειτουργία και ποιο είναι σε αναμονή αποτελεσμάτων. Όταν το αρχείο Switch.csv έχει την τιμή 1 τότε το Matlab διαβάζει το αρχείο DIg\_to\_MAT.csv, τρέχει τον αλγόριθμο PSO και γράφει στο αρχείο MAT\_to\_DIg.csv ενώ το PowerFactory περιμένει. Όταν το αρχείο Switch.csv έχει τιμή 0 τότε το PowerFactory διαβάζει από το αρχείο MAT\_to\_DIg.csv, υπολογίζει τους νέους πόλους του συστή-

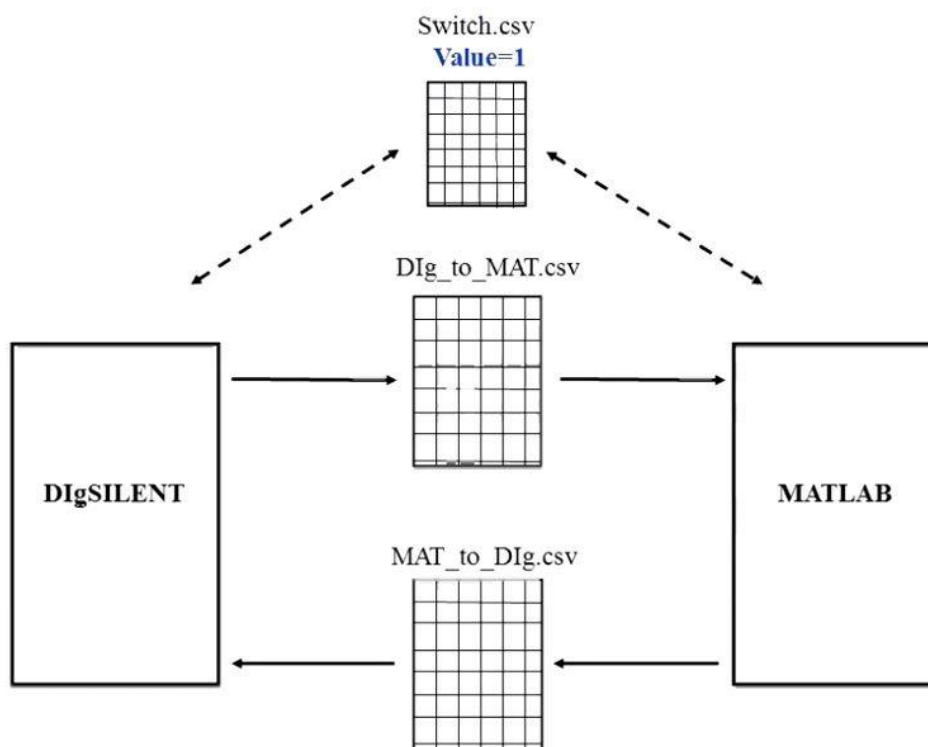


ματος και γράφει στο αρχείο DIg\_to\_MAT.csv ενώ το Matlab περιμένει. Τα δύο προγράμματα μόλις τελειώσουν τις διεργασίες τους αλλάζουν την τιμή του αρχείου Switch.csv και αναμένουν μέχρι να αλλάξει εκ νέου τιμή. Η διαδικασία αυτόματης ανταλλαγής δεδομένων που περιγράφηκε απεικονίζεται στην εικόνα E3.1.

Η επίτευξη της συνεργασίας των δύο προγραμμάτων γίνεται μέσω κώδικα που είναι γραμμένος εν μέρει στο PowerFactory και εν μέρει στο Matlab. Η γλώσσα στην οποία είναι γραμμένος ο αλγόριθμος που τρέχει στο PowerFactory είναι η DPL (DIgSILENT Programming Language), μία γλώσσα που μοιάζει αρκετά με την C και αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα.

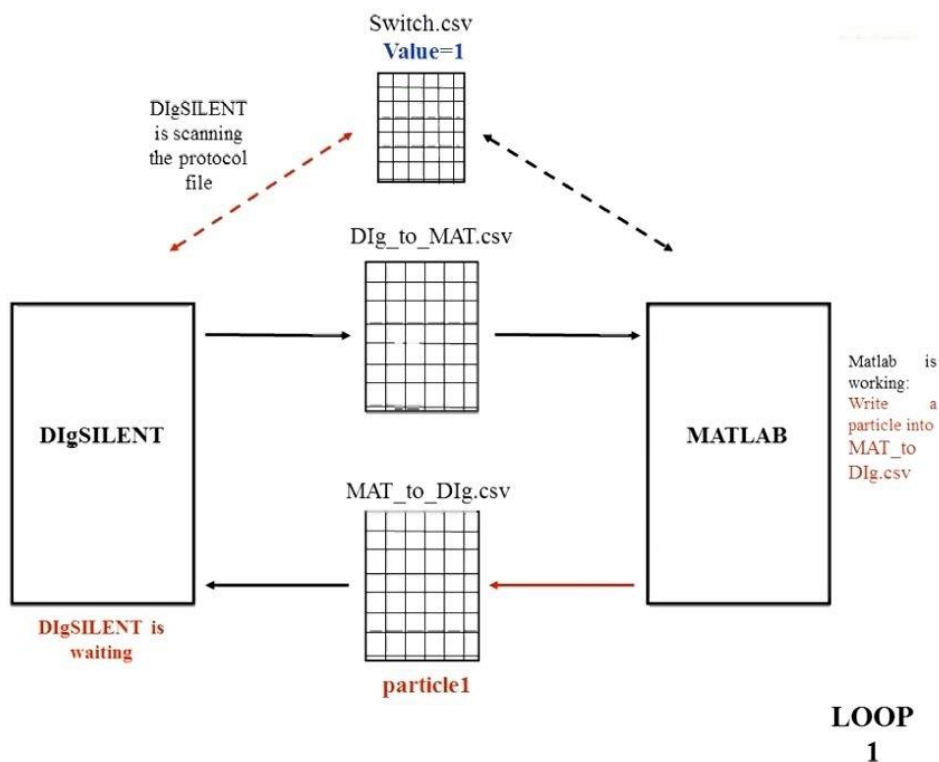
Για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας σύνδεσης των δύο προγραμμάτων παρακάτω παρουσιάζεται βήμα-βήμα η αλληλουχία των γεγονότων για τις δύο πρώτες επαναλήψεις με την βοήθεια ενός διαγράμματος όμοιο με την εικόνα E3.2.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα δύο προγράμματα και τα τρία αρχεία τύπου .csv μέσω των οποίων επικοινωνούν. Τα μονά βέλη με την συνεχή γραμμή υποδηλώνουν την μονόδρομη ροή της πληροφορίας η οποία είναι είτε η γραφή σε αρχείο είτε η ανάγνωση από αρχείο, ενώ τα διπλά βέλη με την διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνουν την αμφίδρομη ροή της πληροφορίας που έχουν τα δύο προγράμματα με το αρχείο Switch.csv, δηλαδή την αλλαγή της τιμής του αρχείου όταν κάθε πρόγραμμα ολοκληρώσει την εκτελούμενη διεργασία του και την ανάγνωση της τιμής του αρχείου όσο κάθε πρόγραμμα περιμένει. Με κόκκινο χρώμα θα εμφανίζονται τα βέλη που είναι ενεργά σε κάθε βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας. Η αρχική τιμή του αρχείου Switch.csv είναι 1.



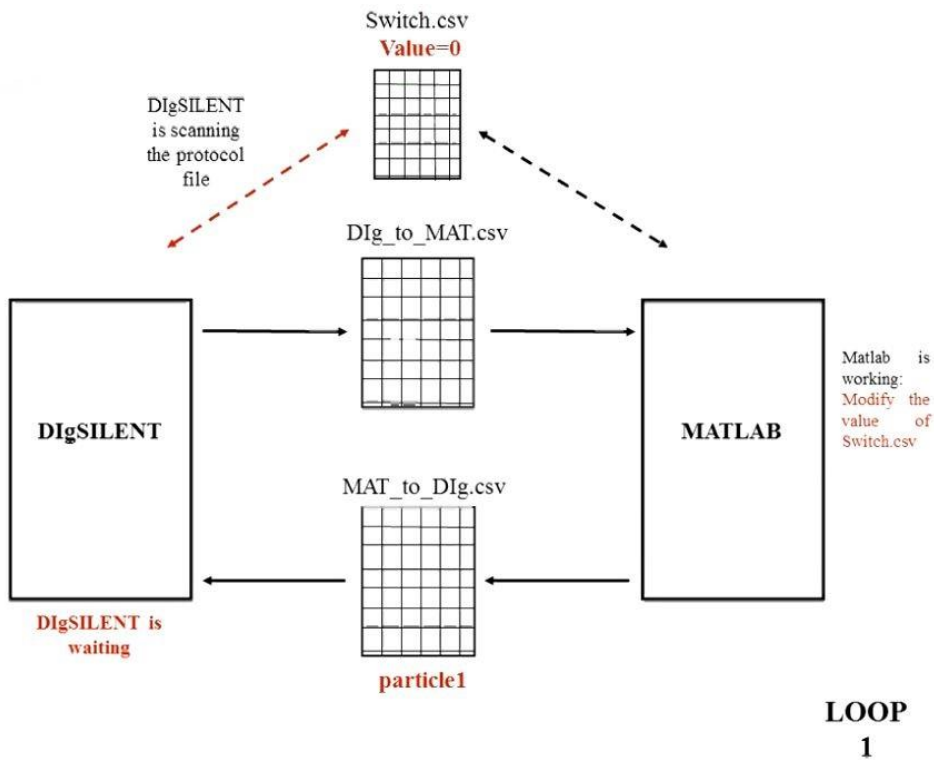
E3.2: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab

Μπαίνοντας στον πρώτο βρόχο, η τιμή του αρχείου Switch.csv υπαγορεύει στο PowerFactory να περιμένει και στο Matlab να λειτουργήσει. Το Matlab γράφει το particle1 στο αρχείο MAT\_to\_DIg.csv. Το PowerFactory όσο περιμένει διαβάζει το αρχείο Switch.csv.



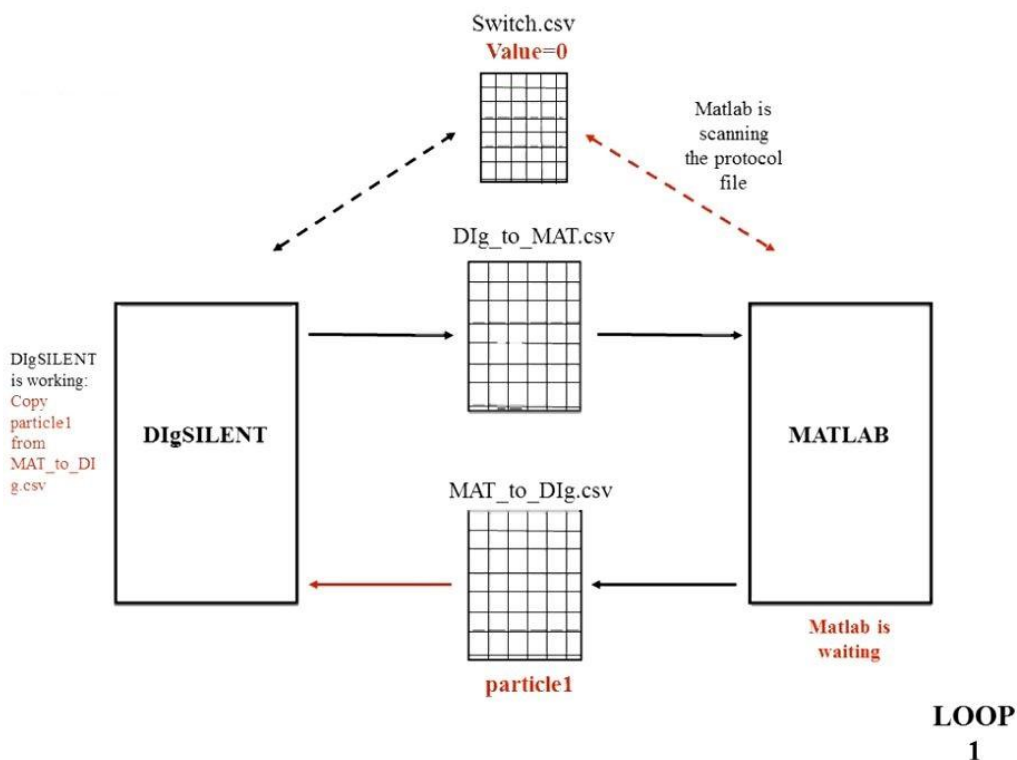
Ε3.3: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 1

Το Matlab αλλάζει την τιμή του αρχείου Switch.csv από 1 σε 0.



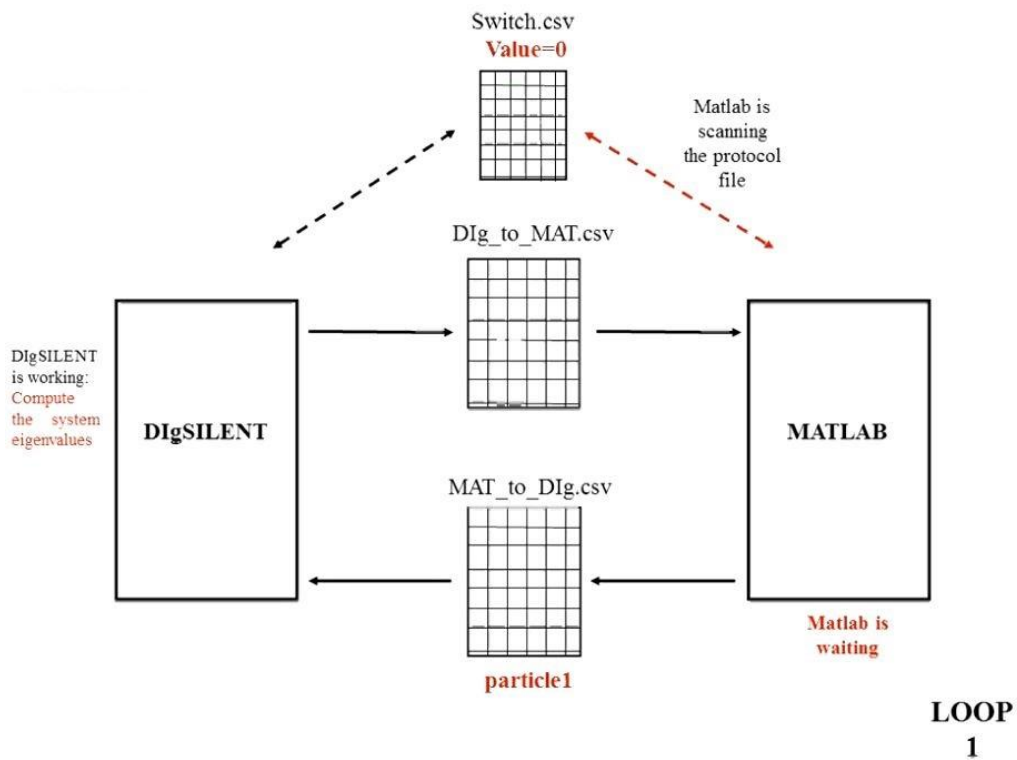
Ε3.4: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 2

Η τιμή του αρχείου Switch.csv υπαγορεύει στο Matlab να περιμένει και στο PowerFactory να λειτουργήσει. Το PowerFactory διαβάζει το particle1 από το αρχείο MAT\_to\_DIg.csv ενώ το Matlab διαβάζει το αρχείο Switch.csv περιμένοντας να αλλάξει τιμή.



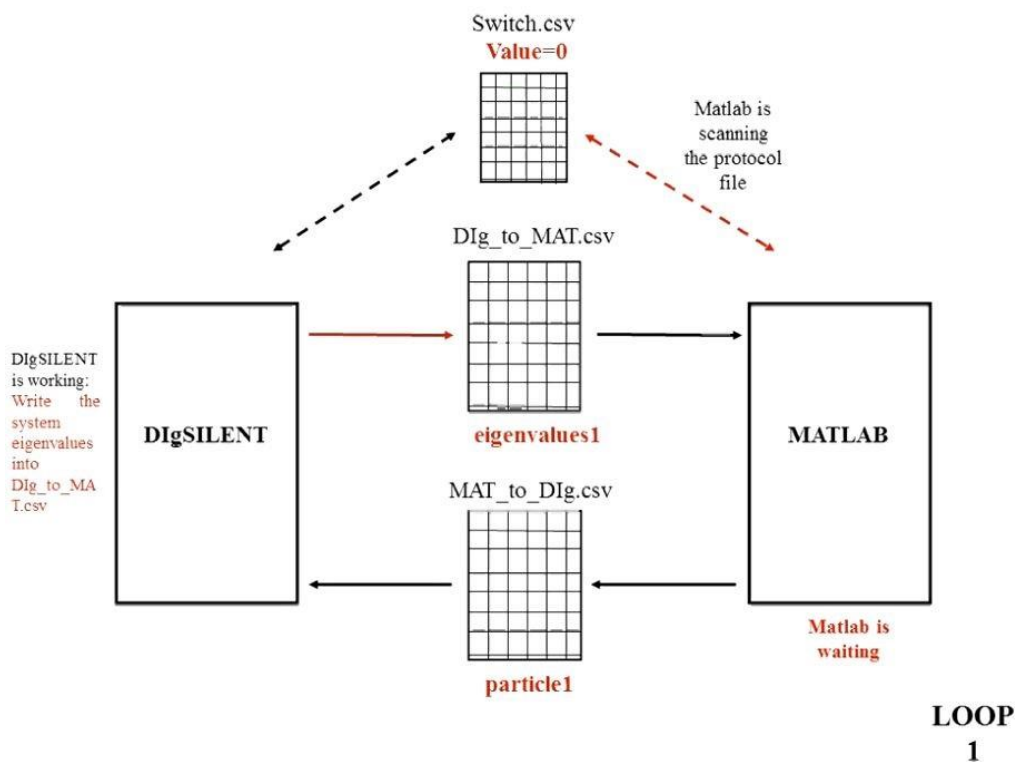
Ε3.5: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 3

Το PowerFactory υπολογίζει τις ιδιοτιμές του συστήματος.



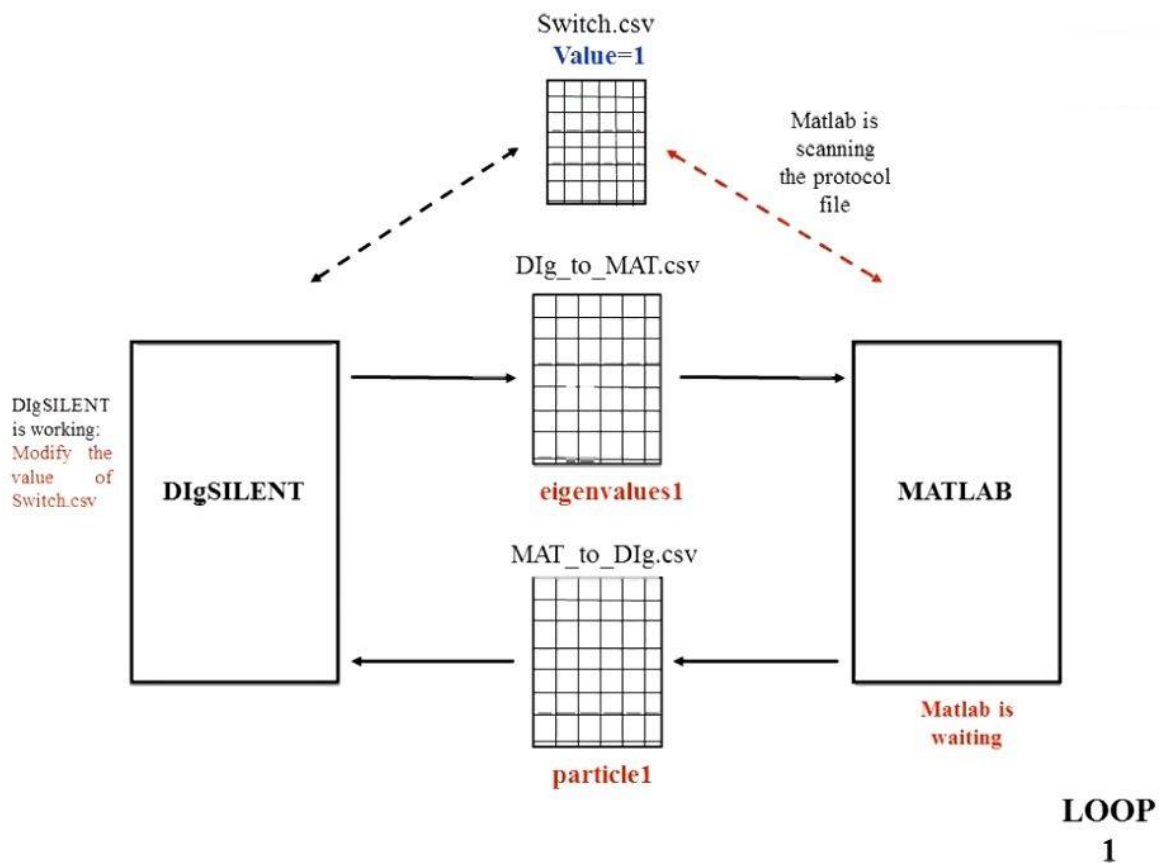
Ε3.6: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 4

Το PowerFactory γράφει τις ιδιοτιμές του συστήματος στο αρχείο DIg\_to\_MAT.csv.



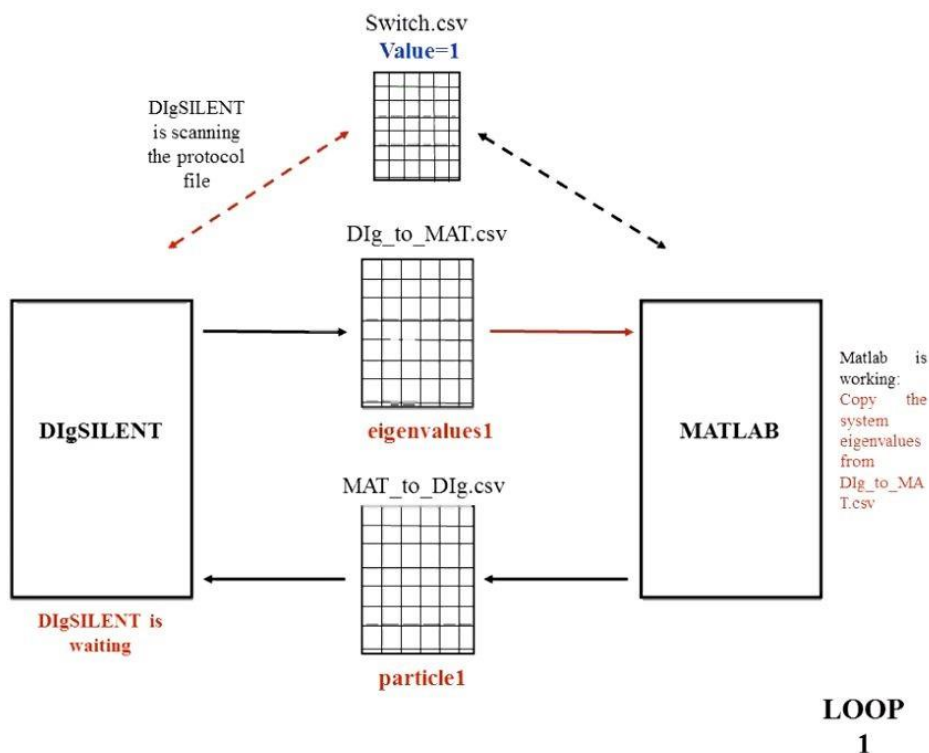
Ε3.7: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 5

Το PowerFactory αλλάζει την τιμή του αρχείου Switch.csv από 0 σε 1.



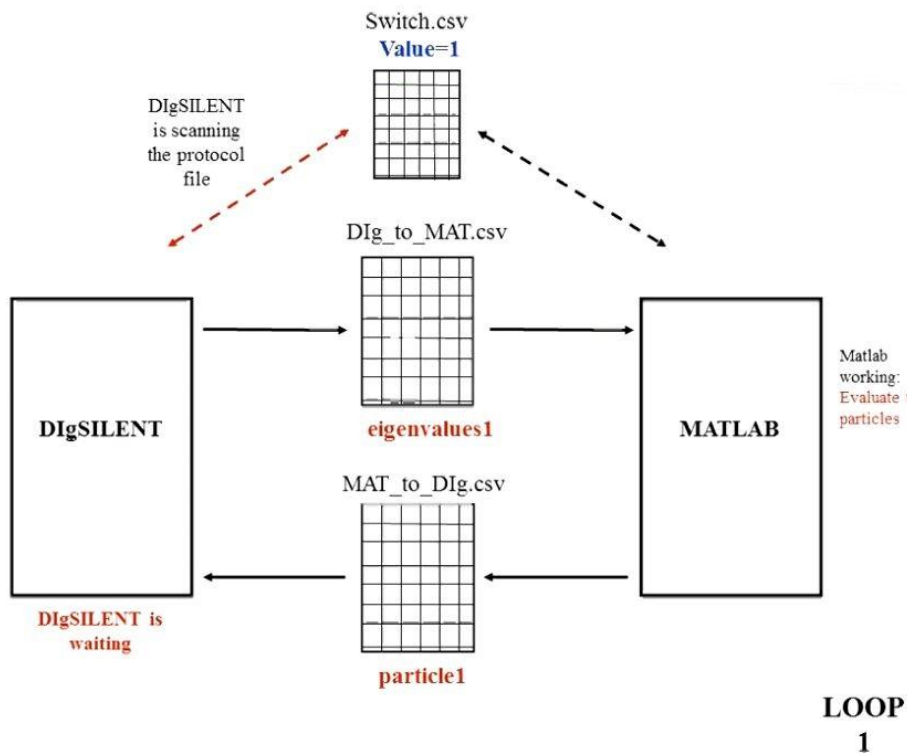
Ε3.8: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 6

Η τιμή του αρχείου Switch.csv υπαγορεύει στο PowerFactory να περιμένει και στο Matlab να λειτουργήσει. Το Matlab διαβάζει τις ιδιοτιμές από το αρχείο DIg\_to\_MAT.csv ενώ το PowerFactory διαβάζει το αρχείο Switch.csv περιμένοντας να αλλάξει τιμή.



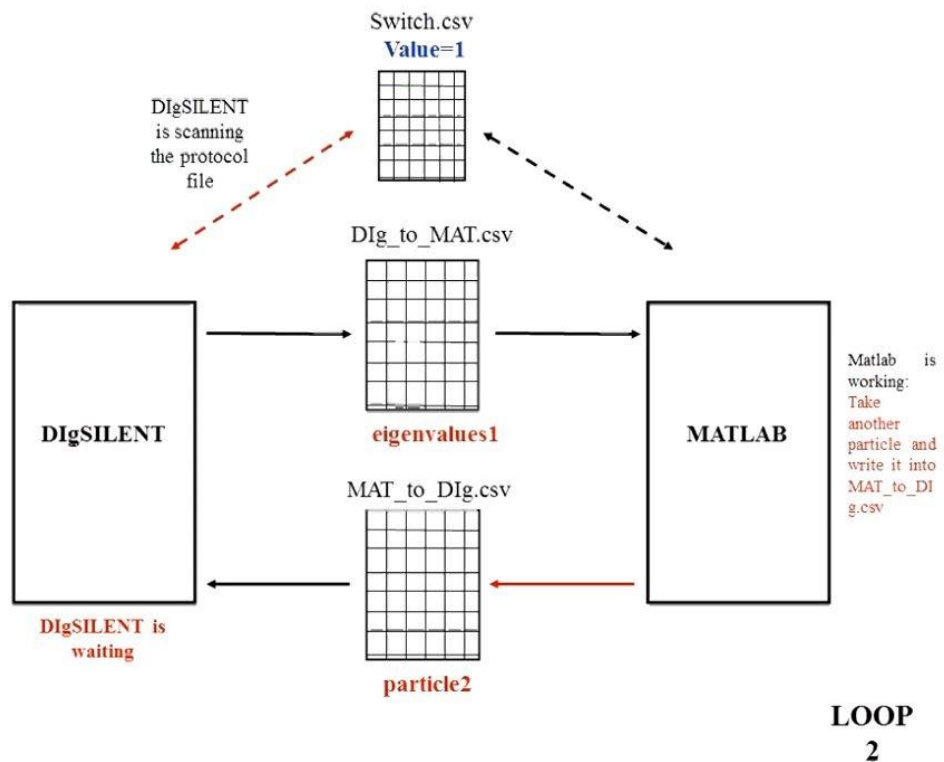
E3.9: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 7

Το Matlab αξιολογεί το particle1 βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης και πρώτος βρόχος ολοκληρώνεται.



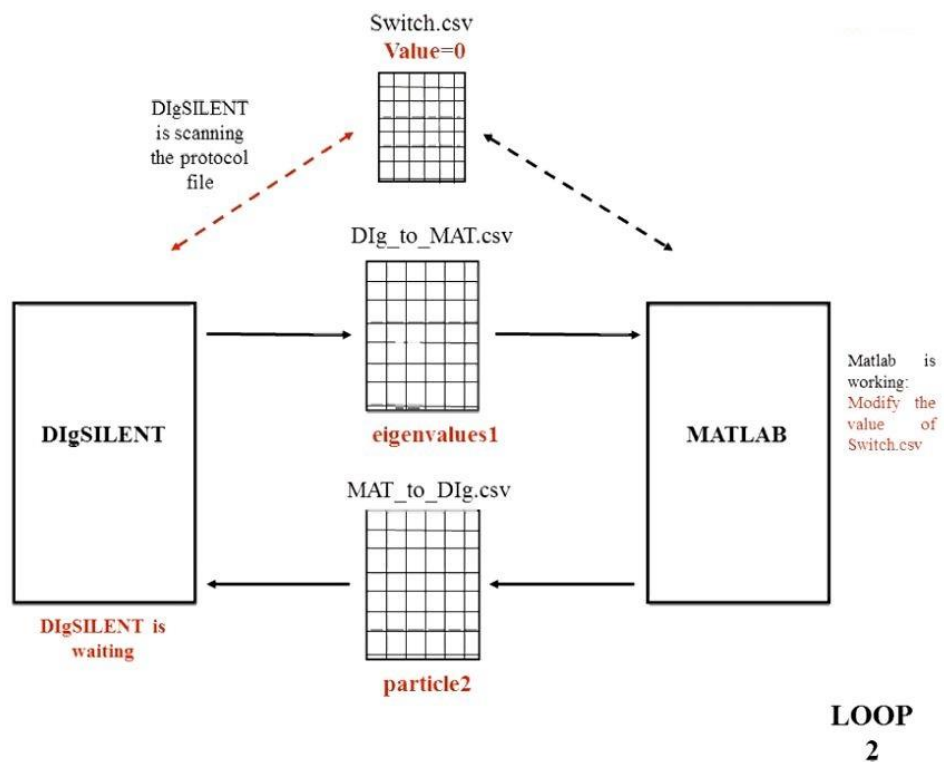
E3.10: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 1 – Βήμα 8

Μπαίνοντας στον δεύτερο βρόχο, το Matlab υπολογίζει το particle2 βάσει του αλγορίθμου PSO και το γράφει στο αρχείο MAT\_to\_DIg.csv.



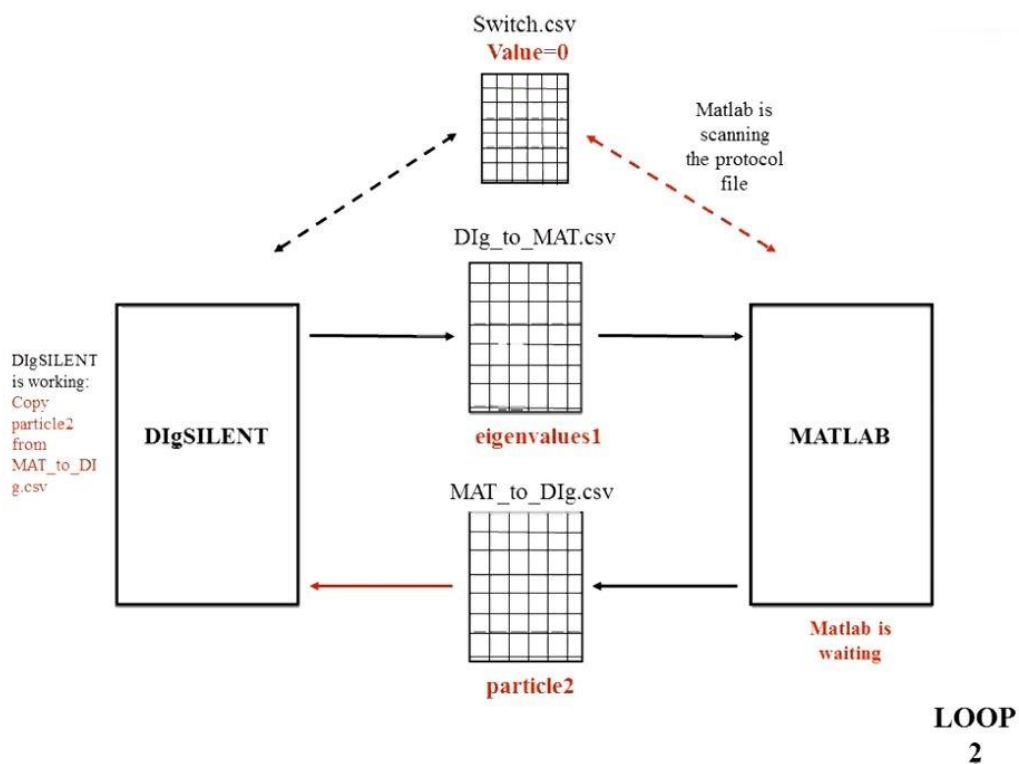
E3.11: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 1

Το Matlab αλλάζει την τιμή του αρχείου Switch.csv από 1 σε 0.



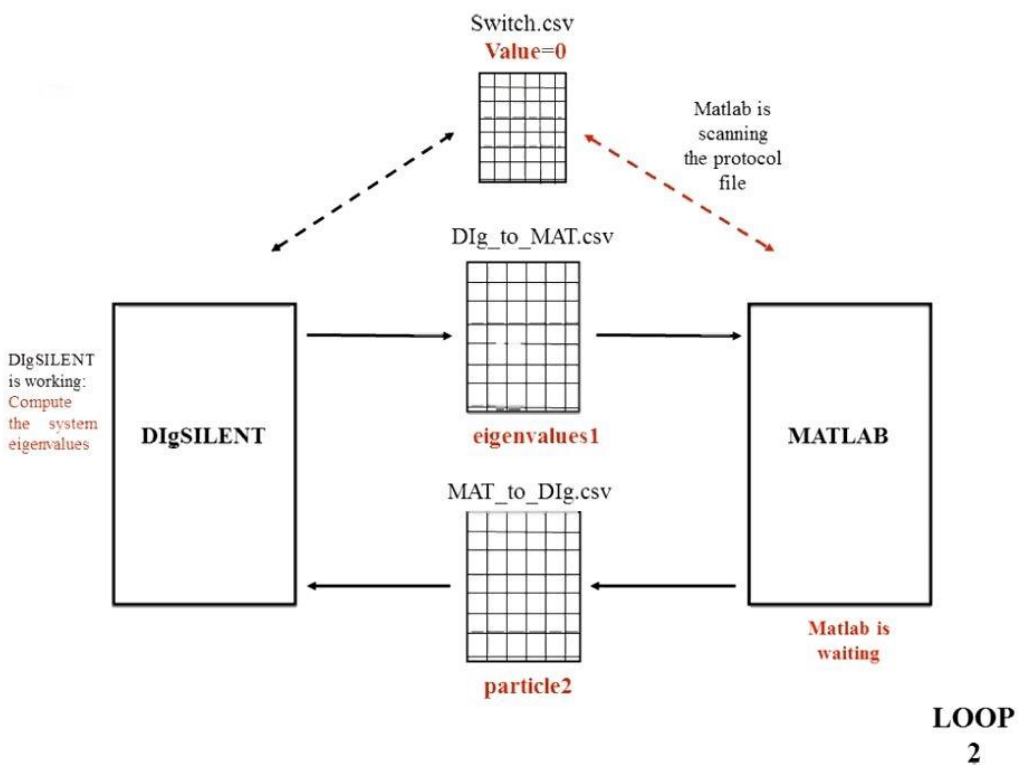
E3.12: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 2

Η τιμή του αρχείου Switch.csv υπαγορεύει στο Matlab να περιμένει και στο PowerFactory να λειτουργήσει. Το PowerFactory διαβάζει το particle2 από το αρχείο MAT\_to\_DIg.csv ενώ το Matlab διαβάζει το αρχείο Switch.csv περιμένοντας να αλλάξει τιμή.



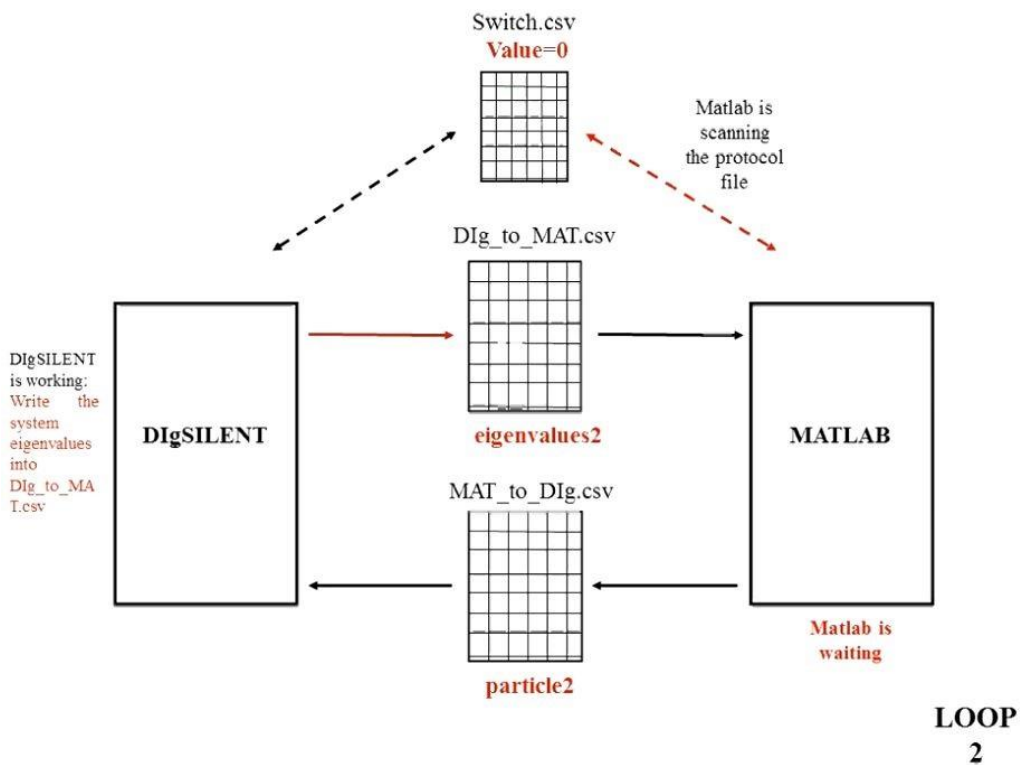
E3.13: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 3

Το PowerFactory υπολογίζει τις ιδιοτιμές του συστήματος.



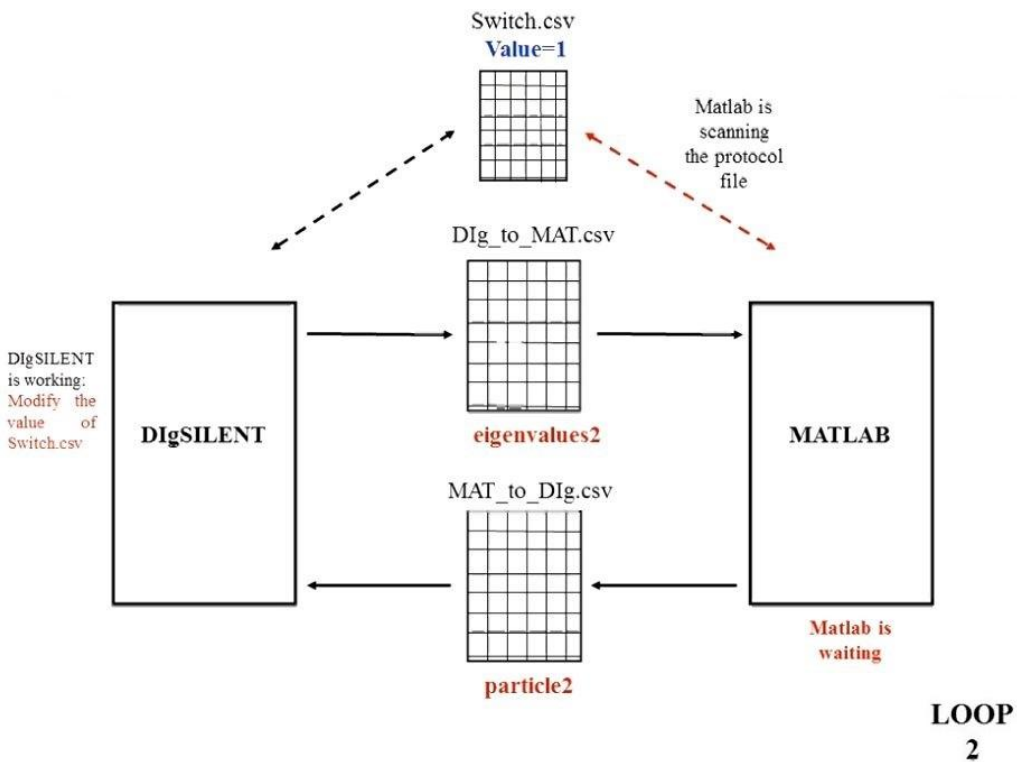
E3.14: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 4

Το PowerFactory γράφει τις ιδιοτιμές στο αρχείο DIg\_to\_MAT.csv.



E3.15: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 5

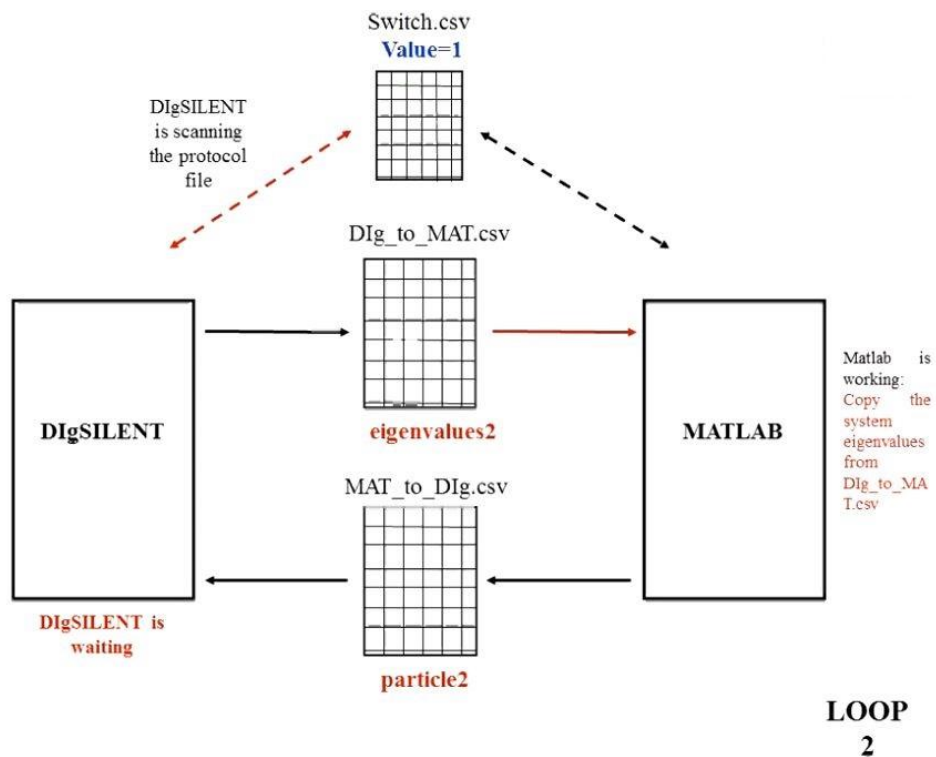
Το PowerFactory αλλάζει την τιμή του αρχείου Switch.csv από 0 σε 1



E3.16: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 6

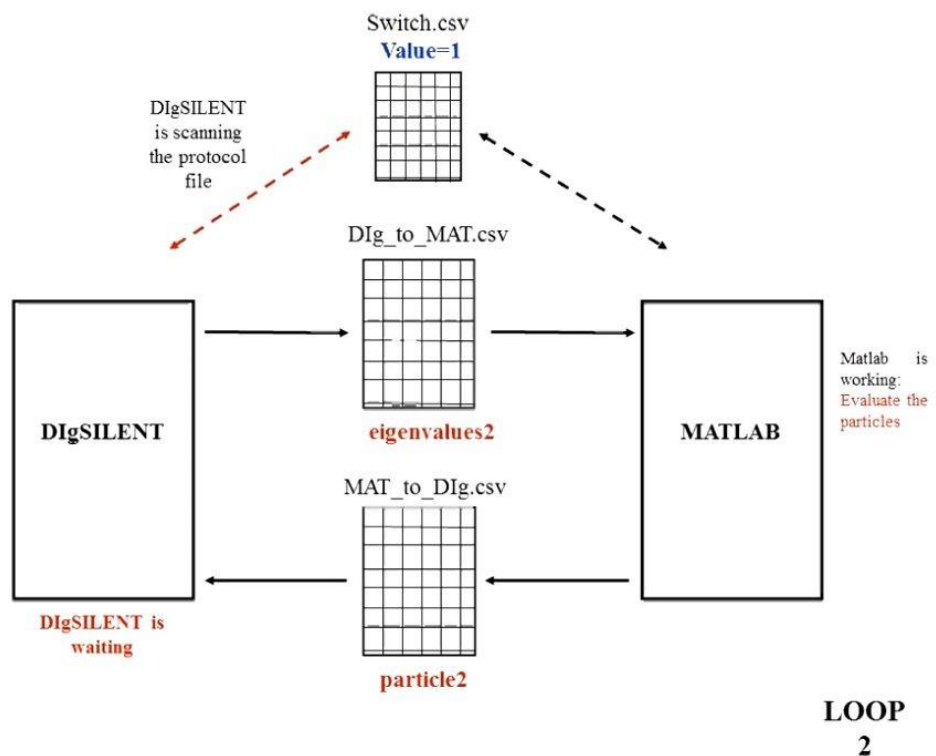


Η τιμή του αρχείου Switch.csv υπαγορεύει στο PowerFactory να περιμένει και στο Matlab να λειτουργήσει. Το Matlab διαβάζει τις ιδιοτιμές από το αρχείο DIg\_to\_MAT.csv ενώ το PowerFactory διαβάζει το αρχείο Switch.csv περιμένοντας να αλλάξει τιμή.



E3.17: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 7

Το Matlab αξιολογεί το particle2 βάσει της αντικειμενικής συνάρτησης και δεύτερος βρόχος ολοκληρώνεται.



E3.18: Διάγραμμα συνεργασίας PowerFactory-Matlab: Βρόχος 2 – Βήμα 8

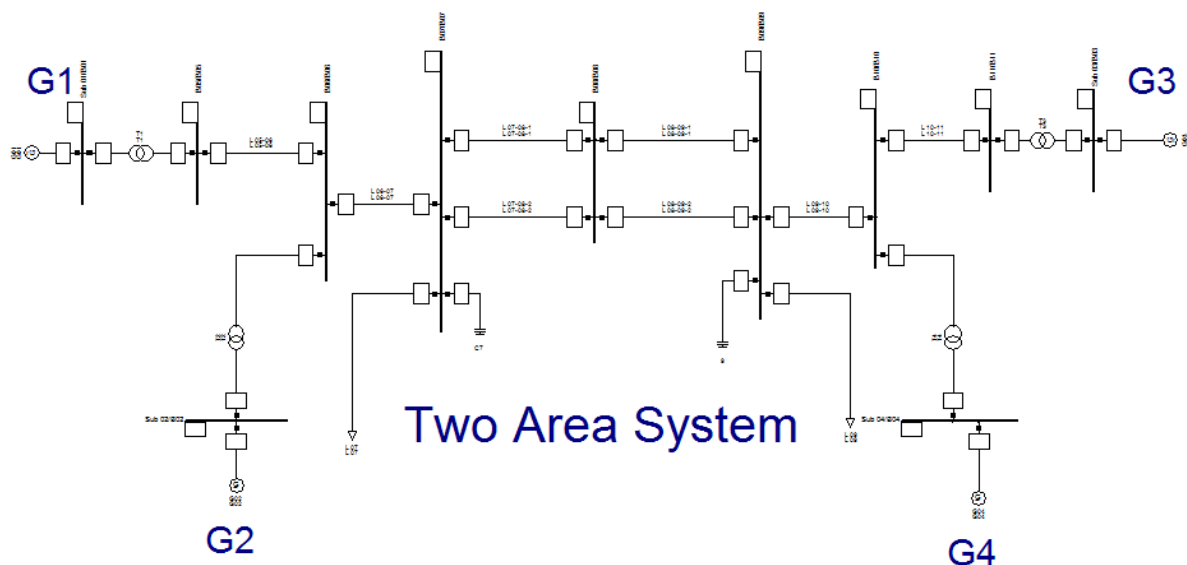
Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν εξεταστεί ο χώρος έρευνας που έχει προκαθοριστεί. Τότε τα δύο προγράμματα βγαίνουν από τον βρόχο και το Matlab έχει αποθηκεύσει το particle που ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση.

### 3.3 Συνοπτική παρουσίαση του επιδεικτικού παραδείγματος

#### 3.3.1 Ηλεκτρομηχανικές ταλαντώσεις και παρουσίαση του Two Area Test System

Οι ηλεκτρομηχανικές ταλαντώσεις είναι ένα συνηθισμένο δυναμικό φαινόμενο στα ΣΗΕ. Η ύπαρξή τους οφείλεται στις ταλαντώσεις των δρομέων των σύγχρονων γεννητριών λόγω των διαταραχών στο σύστημα. Επιπλέον, στα ΣΗΕ με πολλές σύγχρονες γεννήτριες δημιουργούνται όταν δύο ή περισσότερες μηχανές ανταλλάσσουν μεταξύ τους ενέργεια μέσω του ηλεκτρικού μονοπατιού που τις συνδέει.

Η τοπολογία του ΣΗΕ του επιδεικτικού παραδείγματος που εξετάζεται ως προς την ευστάθεια παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Πρόκειται για ένα σύστημα μεταφοράς 230kV, 60Hz στο οποίο διακρίνονται δύο περιοχές με δύο γεννήτριες η κάθε μία. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στις δύο περιοχές οι γραμμές που ενώνουν τις γεννήτριες με τον αντίστοιχο ζυγό του φορτίου είναι 10 km και 15 km ενώ τα δύο ζεύγη παράλληλων γραμμών που ενώνουν τις δύο περιοχές έχουν μήκος 110 km το καθένα.



E3.19: Η τοπολογία του επιδεικτικού παραδείγματος που χρησιμοποιείται στο Κεφάλαιο 3

Η μοντελοποίηση του ΣΗΕ γίνεται στο PowerFactory θεωρώντας μοντέλο 6<sup>ης</sup> τάξης για κάθε σύγχρονη γεννήτρια, με διάνυσμα κατάστασης:

$$X = [\omega_r, \varphi, \psi_e, \psi_D, \psi_Q, \psi_x]$$

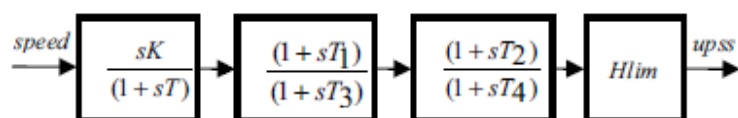
όπου

- $\omega_r$  ταχύτητα δρομέα (rad/s)
- $\varphi$  γωνία δρομέα (rad)
- $\psi_e$  πεπλεγμένη ροή στο τύλιγμα διέγερσης (α.μ.)
- $\psi_D$  πεπλεγμένη ροή στο τύλιγμα d (α.μ.)
- $\psi_Q$  πεπλεγμένη ροή στον πρώτο εγκάρσιο άξονα (τύλιγμα q) (α.μ.)
- $\psi_x$  πεπλεγμένη ροή στον δεύτερο εγκάρσιο άξονα (τύλιγμα q) (α.μ.)

### 3.3.2 Δομή του Power System Stabilizer (PSS)

Μία λύση για την αντιμετώπιση των ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων είναι η εγκατάσταση συσκευών όπως οι PSS ή άλλες. Ο καλύτερος τρόπος για την απόσβεση των ταλαντώσεων αυτών είναι με χρήση των PSS ως συσκευές συμπληρωματικού ελέγχου στο σύστημα διέγερσης των σύγχρονων γεννητριών. Έτσι ο PSS μπορεί να παράγει μία συνιστώσα ηλεκτρικής ροπής μέσω του συστήματος διέγερσης ανάλογη της απόκλισης της ταχύτητας του δρομέα η οποία βελτιώνει την μεταφορική ικανότητα του ΣΗΕ. Τα ζητήματα σχεδίασης ενός τέτοιου ελεγκτή αφορούν την επιλογή των κατάλληλων σημάτων ανάδρασης, την βέλτιστη παραμετροποίηση και την επιλογή της κατάλληλης θέσης στο ΣΗΕ για την εγκατάστασή του.

Στο επιδεικτικό παράδειγμα που εξετάζεται οι ελεγκτές μοντελοποιούνται επίσης στο PowerFactory και ένας ελεγκτής PSS τοποθετείται σε κάθε γεννήτρια του δικτύου. Όλες οι γεννήτριες είναι εφοδιασμένες με ένα σύστημα διέγερσης IEEE τύπου 1S το οποίο παρέχεται από την βιβλιοθήκη του PowerFactory. Το είδος του ελεγκτή που επιλέγεται είναι ένας PSS με ανάδραση ταχύτητας το μπλοκ διάγραμμα του οποίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



E3.20: Μπλοκ διάγραμμα του Power System Stabilizer

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή PSS όπως φαίνεται και από το διάγραμμα είναι:

$$upss = K \cdot \frac{s}{1 + sT} \cdot \frac{1 + sT_1}{1 + sT_3} \cdot \frac{1 + sT_2}{1 + sT_4} \cdot speed$$

όπου

- K κέρδος του σταθεροποιητή (α.μ.),
- T χρονική σταθερά υψυπερατού φίλτρου απαλοιφής (washout) (s),
- T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> χρονικές σταθερές για την προήγηση/υστέρηση φάσης (s).

Για την αποτελεσματική απόσβεση των ανεπιθύμητων ταλαντώσεων απαιτείται ο βέλτιστος προσδιορισμός των παραμέτρων K, T, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> και T<sub>4</sub>. Πολλές φορές στην βιβλιογραφία οι παράμετροι T, T<sub>3</sub> και T<sub>4</sub> παίρνουν τις προκαθορισμένες τιμές 5, 0,05 και 0,05 sec αντίστοιχα οπότε οι μεταβλητές που μένουν προς βελτιστοποίηση είναι το κέρδος K και οι χρονικές σταθερές T<sub>1</sub> και T<sub>2</sub> τα όρια των οποίων είναι:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \leq K \leq 90 \\ 0,05 \leq T_i \leq 2 \end{array} \right\} (1)$$

Όμως, στο επιδεικτικό παράδειγμα που εξετάζεται μόνο η χρονική σταθερά T λαμβάνεται ίση με 10 sec και όλες οι άλλες παράμετροι αφήνονται ελεύθερες υπό τους ίδιους περιορισμούς.

### 3.3.3 Αντικειμενική συνάρτηση

Υπάρχουν πολλές μελέτες που διερευνούν τον τρόπο με τον οποίο οι PSS καταστέλλουν τις ταλαντώσεις κάθε κατηγορίας. Η επικέντρωση όμως στην καταστολή των ταλαντώσεων μίας κατηγορίας πολλές φορές μπορεί να αποφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα στις ταλαντώσεις άλλων κατηγοριών. Για τον λόγο αυτό, σε αυτό το παράδειγμα για την αξιολόγηση των λύσεων που παράγει σε κάθε επανάληψη ο αλγόριθμος PSO χρησιμοποιείται μία αντικειμενική συνάρτηση που βασίζεται στις τιμές των πόλων του συστήματος και λαμβάνει υπ' όψιν όλα τα είδη ταλαντώσεων, «αθώντας» τους πόλους του συστήματος προς τις επιθυμητές τιμές σ<sub>0</sub> και ε<sub>0</sub> στα αριστερά του μιγαδικού επιπέδου:

$$J = \sum_{\sigma_i \geq \sigma_0} (\sigma_0 - \sigma_i)^2 + \alpha \cdot \sum_{\varepsilon_i \leq \varepsilon_0} (\varepsilon_0 - \varepsilon_i)^2$$

όπου

- $\sigma_i$  το πραγματικό μέρος του i-οστού πόλου
- $\varepsilon_i$  ο λόγος απόσβεσης του i-οστού πόλου
- $\alpha$  πολλαπλασιαστικός συντελεστής

Συνοψίζοντας, το πρόβλημα βελτιστοποίησης στο επιδεικτικό παράδειγμα που εξετάζεται έγκειται στην εύρεση τιμών για τις παραμέτρους  $K$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  και  $T_4$  για το σταθεροποιητή κάθε γεννήτριας, οι οποίες ικανοποιούν τους περιορισμούς (1) και οδηγούν τους πόλους του ΣΗΕ σε τιμές που ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση  $J$ .

### 3.3.4 Παρουσίαση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization (PSO)

Το πρόβλημα της βέλτιστης παραμετροποίησης των ελεγκτών PSS έχει αναλυθεί εκτενώς στην διεθνή βιβλιογραφία. Αν και διάφορες τεχνικές όπως οι Pole-Placement, Linear Matrix Inequalities και Linear Quadratic Regulator Formulation [9,10] έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς για την σχεδίαση των PSS, τελευταία τεχνικές βελτιστοποίησης όπως οι Tabu Search, Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing και PSO κερδίζουν έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συμβατικές τεχνικές έχουν μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα και αντιμετωπίζουν την πιθανότητα να εγκλωβιστούν σε ένα τοπικό μέγιστο [11], ενώ οι τεχνικές βελτιστοποίησης χαρακτηρίζονται από την απλή τους εφαρμογή και δεν απαιτούν πρότερη γνώση του προβλήματος [12]. Σε αυτή την παράγραφο γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του αυθεντικού αλγορίθμου PSO.

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης PSO είναι εμπνευσμένος από την αυθόρμητη κίνηση των ξεχωριστών μονάδων που συναποτελούν ένα σμήνος, όπως ένα σμήνος πτηνών, και σκοπός του είναι να προσομοιάσει την απρόβλεπτη κίνηση του σμήνους. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι η κίνηση ενός προκαθορισμένου αριθμού μονάδων στην περιοχή έρευνας μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση η οποία καθορίζεται από την κοινωνική διάδραση των μονάδων του σμήνους. Ο όρος που χρησιμοποιείται στην βιβλιογραφία αντί του όρου «μονάδα» είναι ο όρος «particle».

Για τον μαθηματικό ορισμό του σμήνους, κάθε particle μοντελοποιείται σαν ένα διάνυσμα που περιέχει πληροφορίες για την θέση και την ταχύτητα της συγκεκριμένης μονάδας του σμήνους. Για να τεθεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των διαδοχικών καταστάσεων χρησιμοποιείται μία αντικειμενική συνάρτηση βάσει της οποίας αξιολογείται κάθε particle και υπολογίζεται η ατομική του βέλτιστη επίδοση καθώς η συνολική βέλτιστη επίδοση. Βάσει αυτών των πληροφοριών και της προηγούμενης ταχύτητας και θέσης του particle υπολογίζονται η νέα του ταχύτητα και η νέα του θέση σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

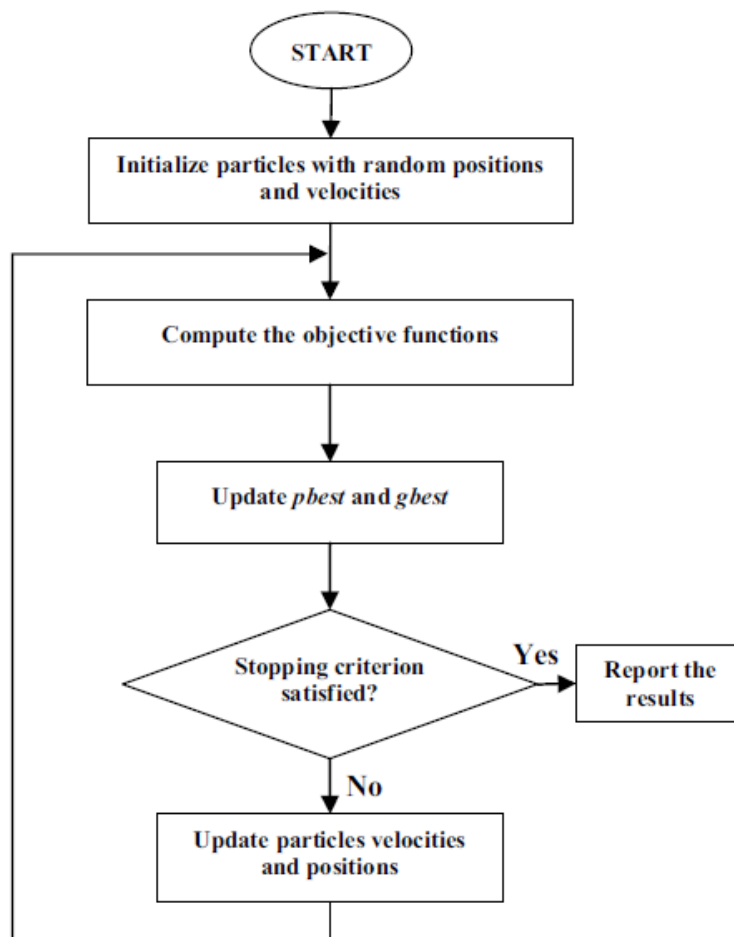
$$v_i^{k+1} = w \cdot v_i^k + c_1 \cdot rand \cdot (pbest_i - s_i^k) + c_2 \cdot rand \cdot (gbest - s_i^k)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1}$$

όπου

- $v_i^{k+1}$  ταχύτητα του i-οστού particle στην επανάληψη k+1
- $v_i^k$  ταχύτητα του i-οστού particle στην επανάληψη k
- $w$  σταθερά αδράνειας του particle (μάζα)
- $c_1, c_2$  σταθερές στάθμισης βάρους
- $pbest_i$  ατομική βέλτιστη επίδοση του i-οστού particle
- $gbest$  συνολική βέλτιστη επίδοση
- $s_i^k$  θέση του i-οστού particle στην επανάληψη k
- $s_i^{k+1}$  θέση του i-οστού particle στην επανάληψη k+1

Η επαναληπτική διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να φτάσει σε μία κατάσταση που μένει σχεδόν αμετάβλητη ή μέχρι να ξεπεραστούν τα υπολογιστικά όρια. Ο αλγόριθμος γίνεται πιο κατανοητός από το διάγραμμα ροής του που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Κατά την εκκίνηση αρχικοποιείται κάθε particle με τυχαίες τιμές θέσης και ταχύτητας. Στην συνέχεια ακολουθεί μία επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία πρώτα υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση και ενημερώνονται οι βέλτιστες επιδόσεις του κάθε particle και του συνόλου και μετά εάν δεν τηρούνται τα κριτήρια τερματισμού υπολογίζονται οι νέες τιμές θέσης και ταχύτητας του κάθε particle και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



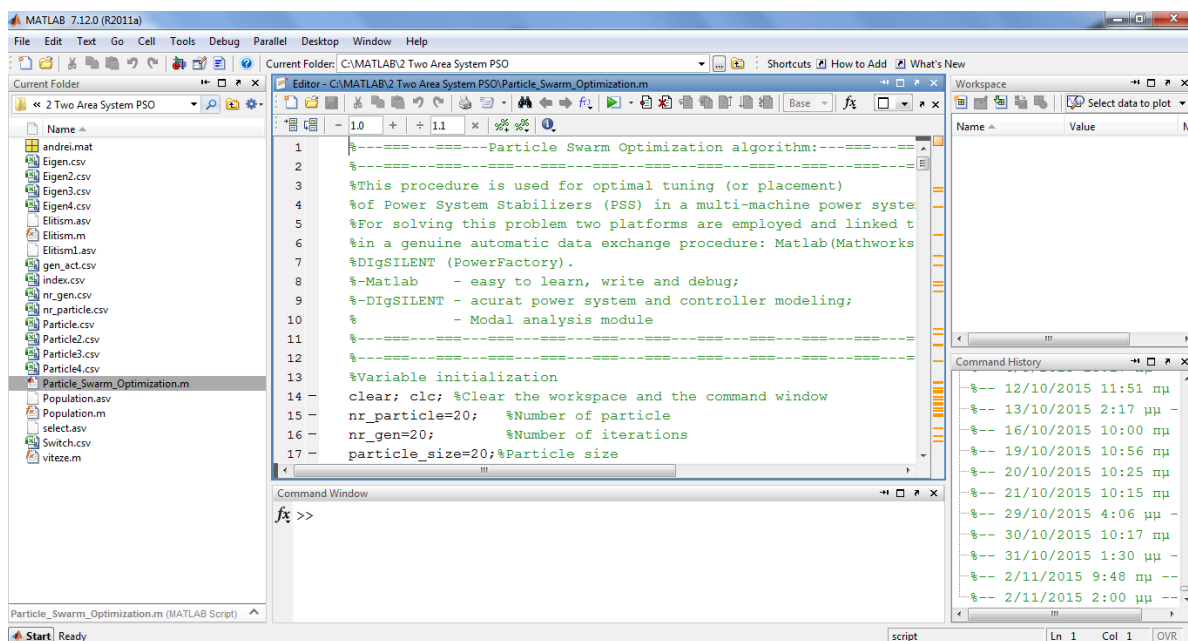
E3.21: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου PSO [8]

### 3.4 Σύνδεση και παράλληλη λειτουργία PowerFactory και Matlab

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία το PowerFactory και το Matlab συνδέονται σε έναν βρόχο αυτόματης ανταλλαγής δεδομένων. Αντικείμενο της παράλληλης λειτουργίας των δύο προγραμμάτων είναι το επιδεικτικό παράδειγμα που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, δηλαδή η εύρεση τιμών για τις παραμέτρους των ελεγκτών PSS που βελτιώνουν την ευστάθεια του δικτύου Two Area Test System με χρήση του αλγορίθμου PSO.

Για την προσομοίωση θα χρειαστούν δύο είδη αρχείων. Το πρώτο είναι ένας φάκελος με το όνομα «2 Two Area System PSO» και το δεύτερο είναι ένα αρχείο τύπου .pfd με το όνομα «2 Two Area System». Ο φάκελος «2 Two Area System PSO» περιέχει τον αλγόριθμο PSO προσαρμοσμένο στο συγκεκριμένο παράδειγμα γραμμένο στην γλώσσα του Matlab και τα αρχεία τύπου .csv για την

επικοινωνία των δύο προγραμμάτων. Τα αρχεία αυτά τα κατασκευάζει ο ίδιος ο αλγόριθμος που τρέχει στο Matlab. Παρατηρούμε ότι τα Windows αναγνωρίζουν τα αρχεία αυτά σαν αρχεία του Excel. Αντιγράφουμε τον φάκελο «2 Two Area System PSO» στον φάκελο που βλέπει το Matlab στον σκληρό μας δίσκο. Ο φάκελος αυτός βρίσκεται συνήθως στην διεύθυνση C:\Users\USER\_NAME\My Documents\MATLAB. Αν το μονοπάτι αυτό περιέχει ελληνικούς χαρακτήρες τότε υπάρχει το πρόβλημα που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.9.3 οπότε φτιάχνουμε έναν καινούριο φάκελο με το όνομα MATLAB στον σκληρό δίσκο και αντιγράφουμε τον φάκελο εκεί. Στην συνέχεια ανοίγουμε το **Matlab** και στο παράθυρο **Current Folder** στο πεδίο αναζήτησης φακέλου επιλέγουμε τον φάκελο «**2 Two Area System PSO**» από το σημείο στο οποίο τον αντιγράψαμε προηγουμένως. Κάνοντας διπλό κλικ στο αρχείο **Particle\_Swarm\_Optimization.m** ο κώδικας του αλγορίθμου PSO ανοίγει στο παράθυρο του **Editor**.



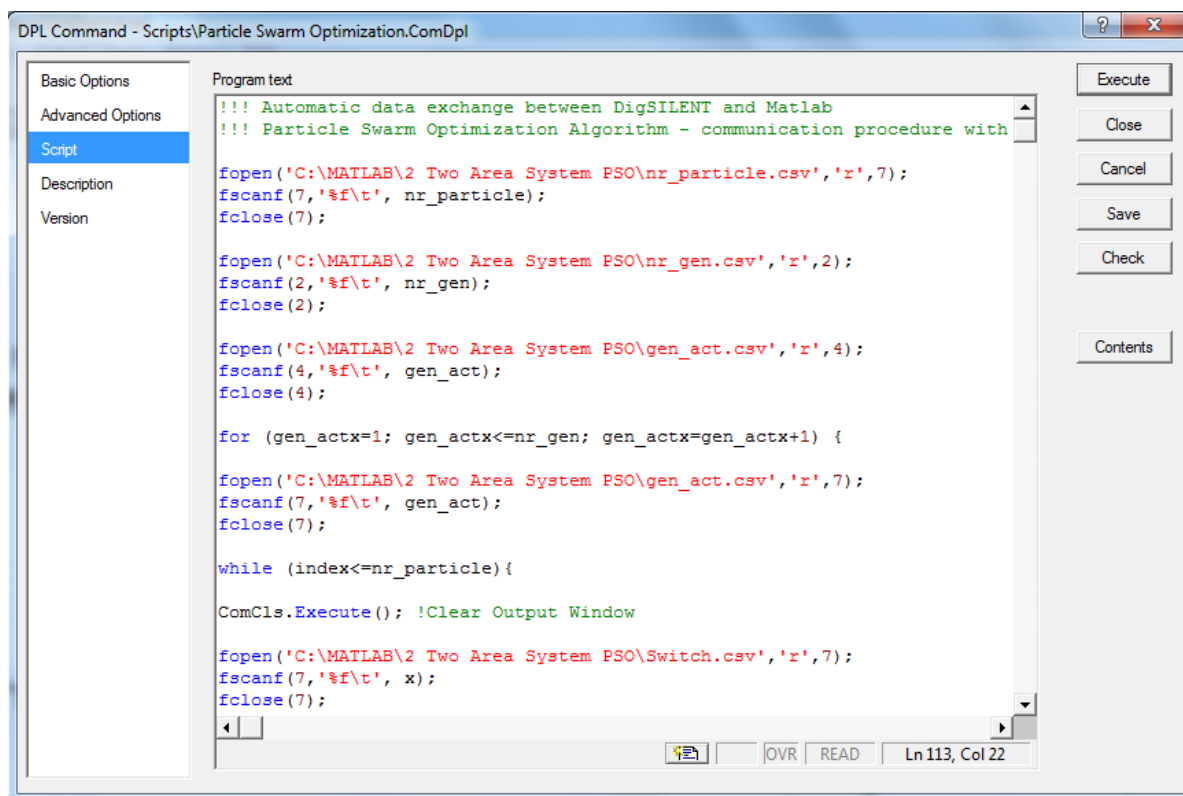
E3.22: Ο αλγόριθμος του PSO στο Matlab

Οι μεταβλητές  $nr\_particle$  και  $nr\_gen$  στις σειρές 15 και 16 του κώδικα αντίστοιχα καθορίζουν το πλήθος των particles που θα υπολογίσει ο αλγόριθμος σε κάθε επανάληψη και το πλήθος των επαναλήψεων που θα εκτελέσει. Οι προεπιλεγμένες τιμές είναι 20 και στις δύο. Οι τιμές που θα πάρουν οι σταθερές στάθμισης βάρους  $c_1$  και  $c_2$  καθώς και η σταθερά αδράνειας  $w$  είναι πολύ σημαντικές για την ομαλή σάρωση της περιοχής έρευνας από τον αλγόριθμο. Οι καταλληλότερες τιμές για τις σταθερές  $c_1$  και  $c_2$  όπως προτείνεται στο [8] είναι 0,6 και 0,3 αντίστοιχα. Η σταθερά αδράνειας  $w$  ξεκινάει από την τιμή 0,8 και βαίνει γραμμικά μειούμενη μέχρι την τιμή 0,2 ανάλογα με τον αύξοντα αριθμό της επανάληψης που εκτελείται. Για τον ορισμό του περιθωρίου ευστάθειας ελήφθησαν οι τιμές  $\sigma_0 = -2,5$  και  $\varepsilon_0 = 0,6$  ενώ για τον προσδιορισμό του μέτρου επίδρασης του λόγου απόσβεσης στην αντικειμενική συνάρτηση ορίστηκε  $\alpha = 10$ .

Το αρχείο 2 Two Area System.pfd είναι ένα project του PowerFactory που περιέχει μοντελοποιημένο το ΣΗΕ που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3.1 και τους ελεγκτές PSS στο σύστημα διέγερσης κάθε γεννήτριας που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.3.2. Εισάγουμε (**Import**) και ενεργοποιούμε (**Activate**) το project στο PowerFactory. Το project αυτό έχει πέντε παράθυρα. Στο παράθυρο Grid φαίνεται η τοπολογία του ΣΗΕ που παρουσιάστηκε στην εικόνα E3.19. Στο παράθυρο PSS\_speed φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του ελεγκτή με ανάδραση ταχύτητας που χρησιμοποιείται που παρουσιάστηκε στην εικόνα E3.20. Στο παράθυρο Eigenvalues φαίνεται το άνω αριστερό τεταρτημόριο του μιγαδικού επιπέδου στο οποίο παρουσιάζονται οι ιδιοτιμές του ΣΗΕ. Για

την καλύτερη ανάδειξη του προβλήματος αστάθειας που προκαλείται λόγω της ταλάντωσης σε μεταβλητές ενδιαφέροντος και της λύσης που προσφέρει η τοποθέτηση των ελεγκτών, το project έχει άλλα δύο παράθυρα. Στο παράθυρο Tie-line active power φαίνεται ένα διάγραμμα χρόνου της ροής ενεργού ισχύος που διαρρέει την γραμμή L 07-08-1 (την πάνω από το αριστερό ζεύγος παράλληλων γραμμών του ΣΗΕ) και στο παράθυρο rotor speeds φαίνονται τα διαγράμματα χρόνου των ανά μονάδα ταχυτήτων των δρομέων των τεσσάρων γεννητριών.

Το project περιλαμβάνει επίσης και ένα κομμάτι κώδικα (script) γραμμένο σε DPL που τρέχει το PowerFactory. Ανοίγουμε τον **Data Manager** και επιλέγουμε τον φάκελο **Scripts** στην βιβλιοθήκη του project ο οποίος περιέχει ένα script με το όνομα **Particle Swarm Optimization**. Ανοίγουμε το παράθυρο επεξεργασίας του και πηγαίνουμε στην καρτέλα **Script**. Εδώ είναι γραμμένος ο κώδικας που υπαγορεύει στο PowerFactory να διαβάσει τα αποτελέσματα του Matlab από τα αρχεία τύπου .csv, να υπολογίζει τους πόλους του συστήματος, να τους τα τυπώνει σε άλλα αρχεία τύπου .csv και να περιμένει όσο δουλεύει το Matlab. Για να βρει όμως το PowerFactory τα αρχεία από τα οποία πρέπει να διαβάσει και στα οποία πρέπει να γράψει πρέπει να βάλουμε στον κώδικα την σωστή διεύθυνση για να τα ψάξει. Η διεύθυνση αυτή είναι η διεύθυνση του φακέλου «2 Two Area System PSO» που αντιγράψαμε προηγουμένως. Σε κάθε εντολή **fopen** του κώδικα που ανοίγει ένα αρχείο αλλάζουμε την διεύθυνση που αναγράφεται με την σωστή. Για επαλήθευση ελέγχουμε ότι η διεύθυνση αυτή είναι η ίδια με την διεύθυνση του φακέλου «2 Two Area System PSO» που αναγράφεται στην κορυφή του παραθύρου Editor του Matlab στην εικόνα E3.22.



```

DPL Command - Scripts\Particle Swarm Optimization.ComDpl
Basic Options
Advanced Options
Script
Description
Version

Program text
!!! Automatic data exchange between DigSILENT and Matlab
!!! Particle Swarm Optimization Algorithm - communication procedure with

fopen('C:\MATLAB\2 Two Area System PSO\nr_particle.csv','r',7);
fscanf(7,'%f\t', nr_particle);
fclose(7);

fopen('C:\MATLAB\2 Two Area System PSO\nr_gen.csv','r',2);
fscanf(2,'%f\t', nr_gen);
fclose(2);

fopen('C:\MATLAB\2 Two Area System PSO\gen_act.csv','r',4);
fscanf(4,'%f\t', gen_act);
fclose(4);

for (gen_actx=1; gen_actx<=nr_gen; gen_actx=gen_actx+1) {

fopen('C:\MATLAB\2 Two Area System PSO\gen_act.csv','r',7);
fscanf(7,'%f\t', gen_act);
fclose(7);

while (index<=nr_particle) {

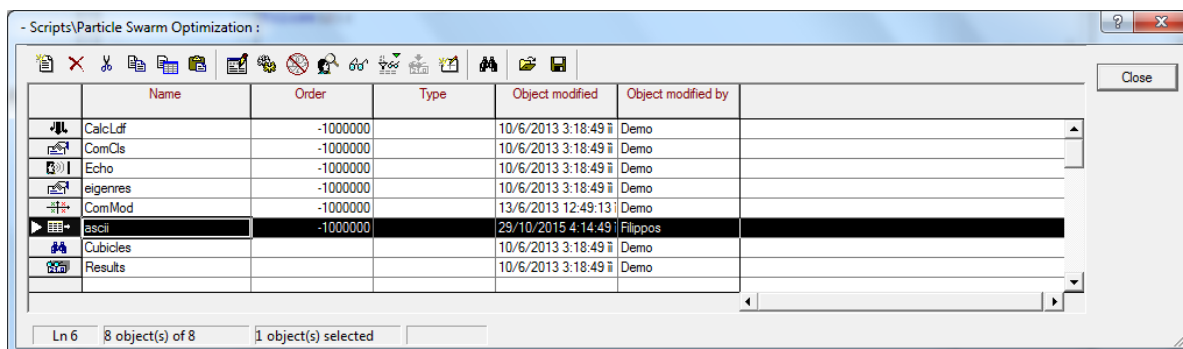
ComCls.Execute(); !Clear Output Window

fopen('C:\MATLAB\2 Two Area System PSO\Switch.csv','r',7);
fscanf(7,'%f\t', x);
fclose(7);

```

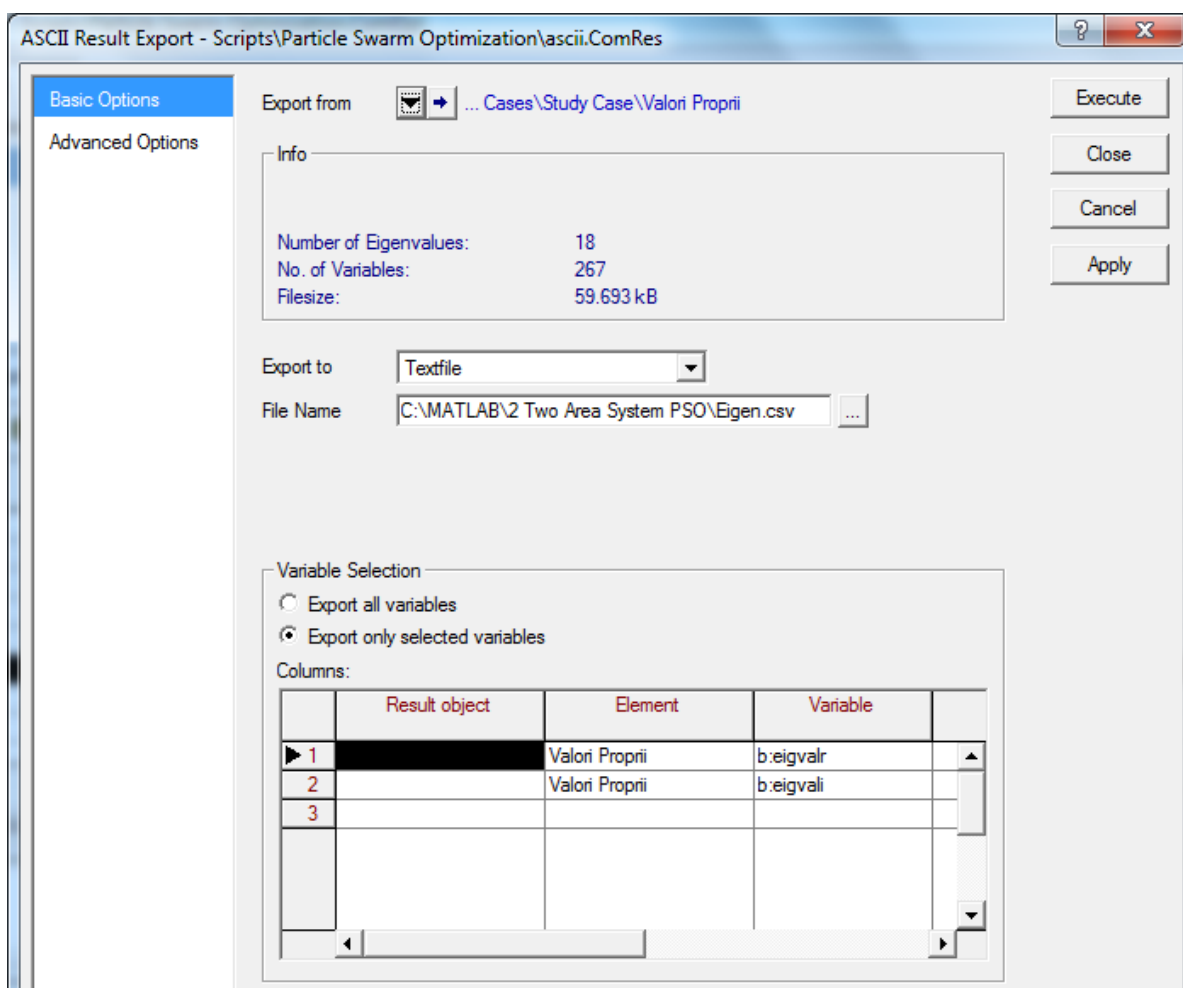
E3.23: Παράθυρο επεξεργασίας κώδικα DPL – καρτέλα Script: Η διεύθυνση προορισμού των εντολών fopen είναι ίδια με αυτήν στην κορυφή του παραθύρου Editor του Matlab

Κάνουμε κλικ στο κομβίο **Contents** και στον πίνακα περιεχομένων που ανοίγει κάνουμε διπλό κλικ στο εικονίδιο του **ascii**.



E3.24: Πίνακας περιεχομένων του κώδικα Particle Swarm Optimization

Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει στο πεδίο **File Name** διορθώνουμε επίσης την διεύθυνση του φακέλου «2 Two Area System PSO».

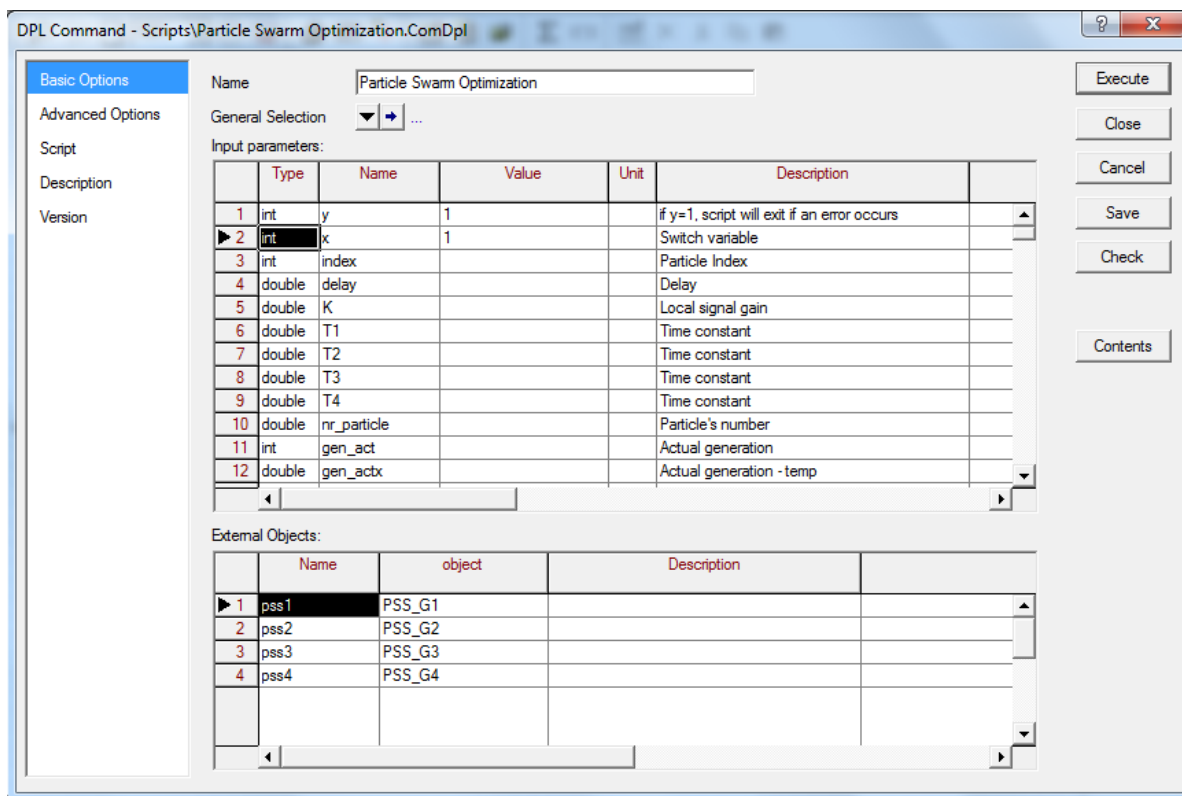


E3.25: Παράθυρο διαλόγου ascii

Πατώντας **Apply** και μετά **Execute** επιστρέφουμε στον πίνακα περιεχομένων όπου πατάμε **Close** και επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του script. Πριν θέσουμε το PowerFactory και το Matlab σε παράλληλη λειτουργία πρέπει να κάνουμε μία ακόμα αλλαγή στο script. Ένα πιθανό σφάλμα που προκαλεί την διακοπή της διαδικασίας είναι όταν το ένα πρόγραμμα αλλάζει την τιμή του αρχείου Switch.csv χρησιμοποιώντας πραγματικό αριθμό και το σύμβολο «.» ως υποδιαστολή το οποίο δεν αναγνωρίζει το άλλο πρόγραμμα. Το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται χρησιμοποιώντας ακέραιο αριθμό κατά την γραφή του αρχείου Switch.csv. Στο παράθυρο επεξεργασίας του script



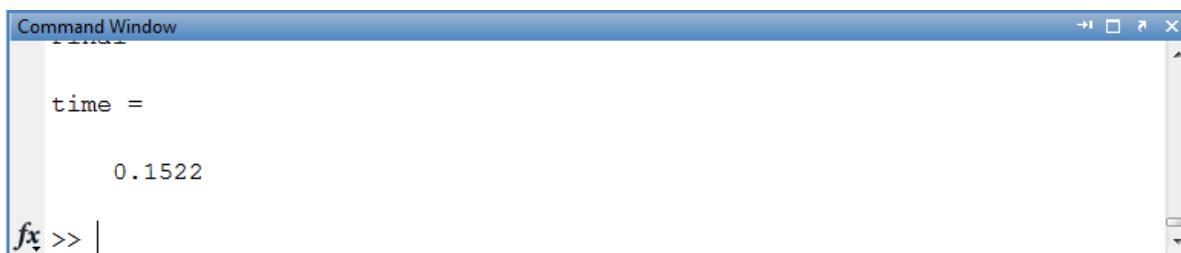
πηγαίνουμε στην καρτέλα **Basic Options** στην περιοχή δήλωσης μεταβλητών **Input parameters** στην δεύτερη γραμμή όπου δηλώνεται η μεταβλητή  $x$  του αρχείου Switch.csv και αλλάζουμε τον τύπο της από **double** σε **int**.



Ε3.26: Παράθυρο επεξεργασίας κώδικα DPL – καρτέλα Basic Options

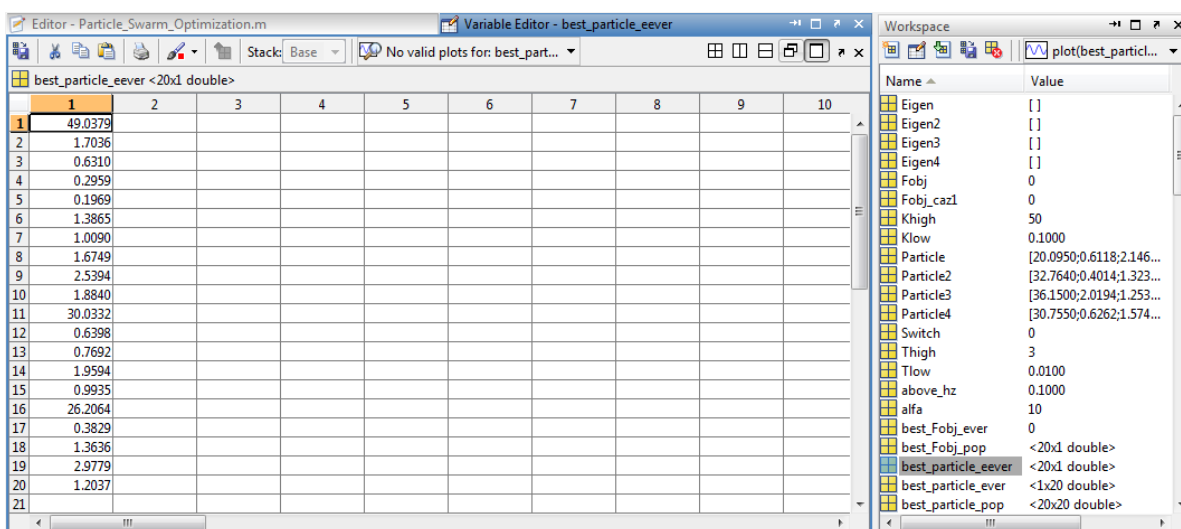
Στην συνέχεια επιστρέφουμε στην καρτέλα **Script**, πηγαίνουμε στην σειρά 113 του κώδικα και αλλάζουμε την εντολή που τυπώνει στο αρχείο Switch.csv από «`fprintf(8,'%f\t', x);`» σε «`fprintf(8,'%d\t', x);`». Τέλος, πατάμε **Save** για αποθήκευση των αλλαγών.

Το PowerFactory και το Matlab είναι έτοιμα να τεθούν σε παράλληλη λειτουργία. Πρώτα θα εκκινήσουμε το Matlab γιατί εκτελεί το κομμάτι του αλγορίθμου του PSO που είναι πριν τον βρόχο καθώς και την προπαρασκευή της διαδικασίας όπως την δημιουργία των αρχείων τύπου .csv και την αρχικοποίηση των μεταβλητών. Στην γραμμή εικονιδίων στο παράθυρο του Editor στο Matlab πατάμε **Run**. Στην συνέχεια επιστρέφουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του script στο PowerFactory και πατάμε **Execute**. Το παράθυρο επεξεργασίας του script κλείνει. Κλείνουμε και τον Data Manager και πηγαίνουμε το παράθυρο **Eigenvalues**. Οι πόλοι του ΣΗΕ που παρουσιάζονται σε αυτό το διάγραμμα αλλάζουν σε κάθε βρόχο ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών που δίνει το Matlab στο PowerFactory. Την πορεία της διαδικασίας την βλέπουμε από το Output Window όπου παρουσιάζεται ο αύξων αριθμός της επανάληψης και του particle που τρέχουν. Ανάλογα με τις τιμές των μεταβλητών nr\_particle και nr\_gen που έχουν οριστεί στον κώδικα του Matlab η διαδικασία αυτή κρατάει από κάποια λεπτά μέχρι και ώρες. Για τις προκαθορισμένες τιμές η χρονική διάρκεια εκτέλεσης που αναγράφεται στο τέλος της διαδικασίας στο Command Window είναι 0,1522 ώρες που αντιστοιχεί σε 9'8". Βέβαια, ο χρόνος αυτός δεν είναι σταθερός σε κάθε εκτέλεση.



E3.27: Command Window: Στο τέλος της διαδικασίας αναγράφεται ο χρόνος σε ώρες

Για να πάρουμε τα αποτελέσματα της διαδικασίας πηγαίνουμε στο παράθυρο **Workspace** του Matlab και κάνουμε διπλό κλικ στο αρχείο **best\_particle\_ever**. Στο παράθυρο που ανοίγει υπάρχει μία στήλη με είκοσι αριθμούς. Οι αριθμοί αυτοί είναι οι τιμές των πέντε παραμέτρων καθεμιάς από τις τέσσερις γεννήτριες.

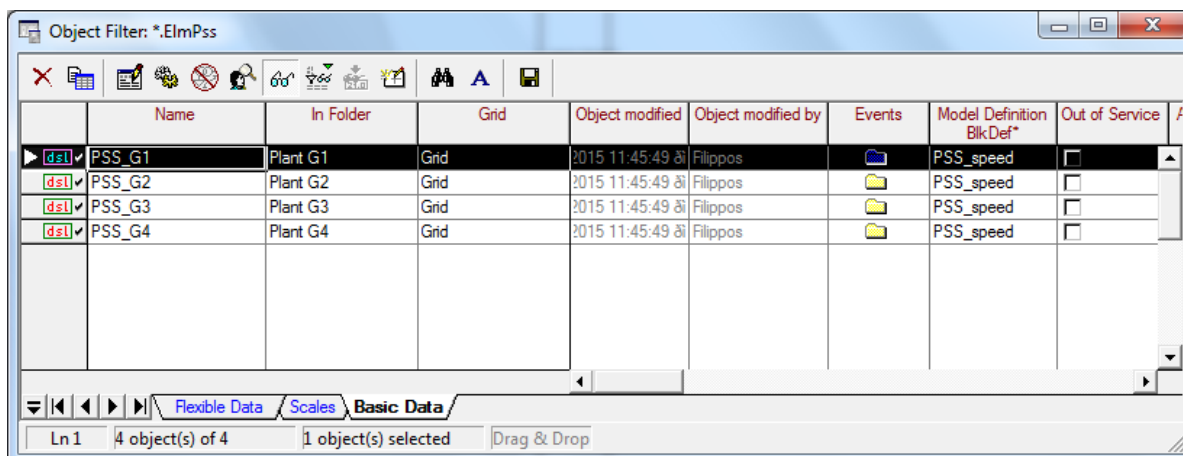


E3.28: Matlab: Τα αποτελέσματα για nr\_particle=20 και nr\_gen=20

Για να δούμε την βέλτιστη λύση που προκύπτει από αυτές τις τιμές πρέπει να τις περάσουμε στις παραμέτρους των ελεγκτών στο PowerFactory και να δούμε τους πόλους του συστήματος. Επιλέγουμε και αντιγράφουμε τα κελιά 1 έως 5 από το αρχείο **best\_particle\_ever**. Στο PowerFactory κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Edit Relevant Objects** και ανοίγουμε την λίστα με τους ελεγκτές **PSS**.

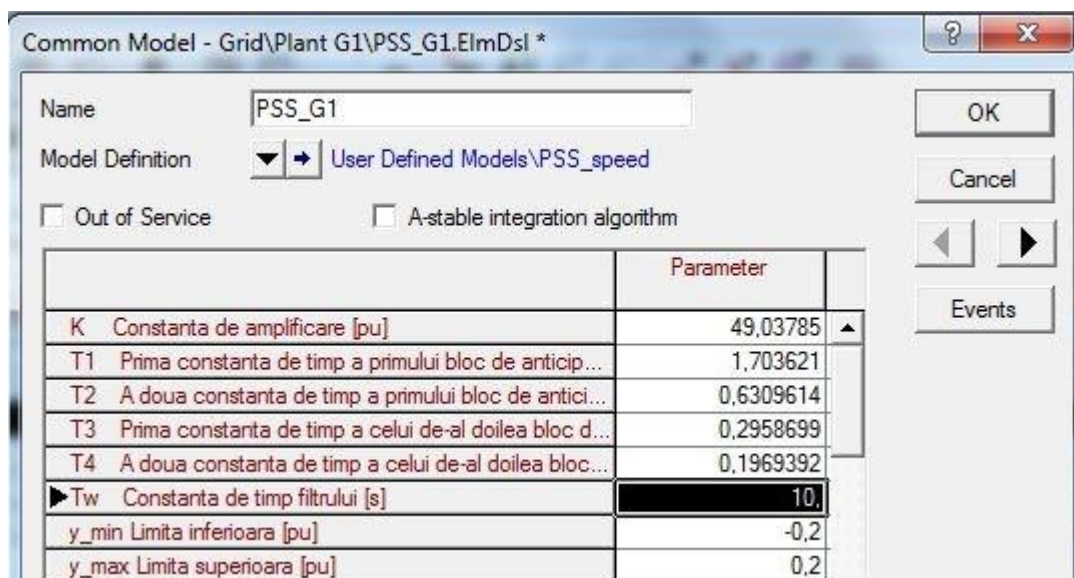


E3.29: Εικονίδιο Edit Relevant Objects – Εικονίδιο ελεγκτών PSS



E3.30: Λίστα ελεγκτών PSS

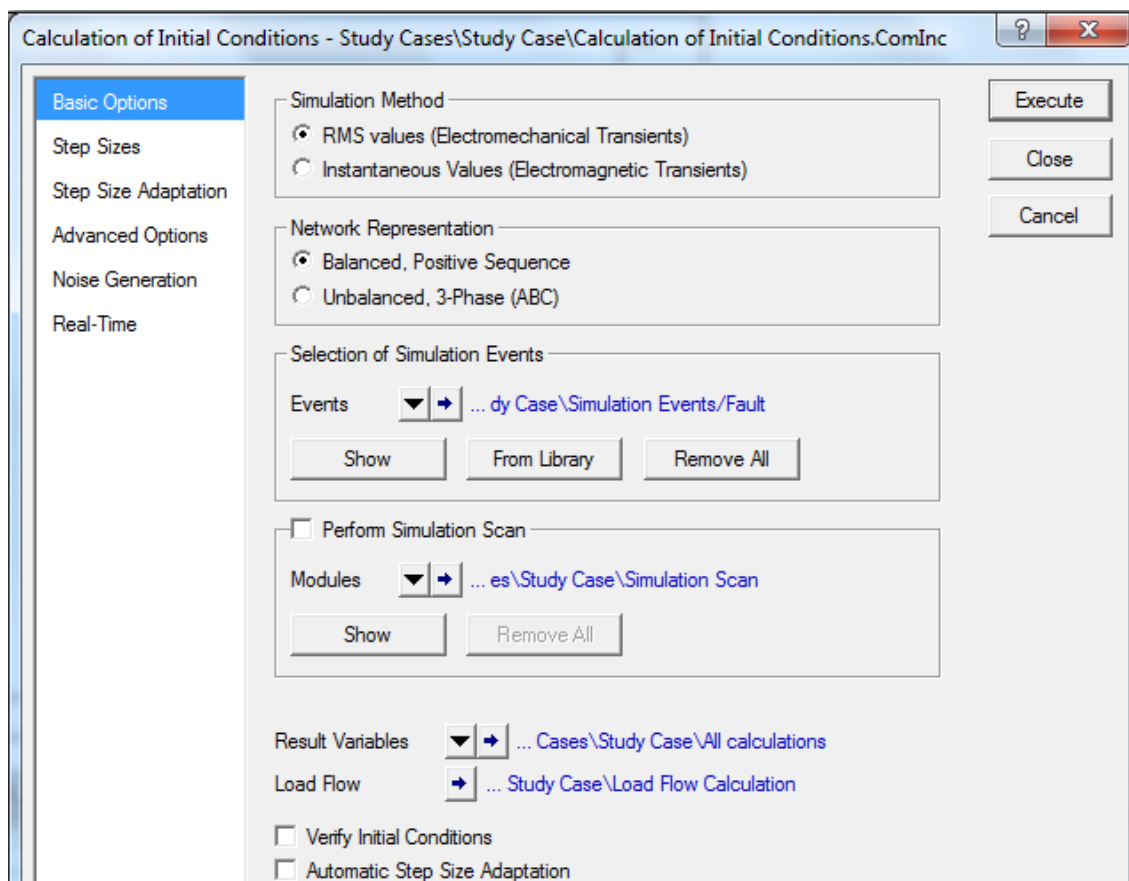
Ανοίγουμε το παράθυρο επεξεργασίας του ελεγκτή της πρώτης γεννήτριας, επιλέγουμε τα πέντε πρώτα κελιά στην στήλη των παραμέτρων και πατάμε επικόλληση. Παρατηρούμε ότι η σταθερά T (που αναφέρεται ως  $T_w$ ) έχει τιμή 10 sec.



E3.31: Παράθυρο επεξεργασίας ελεγκτή PSS της γεννήτριας 1

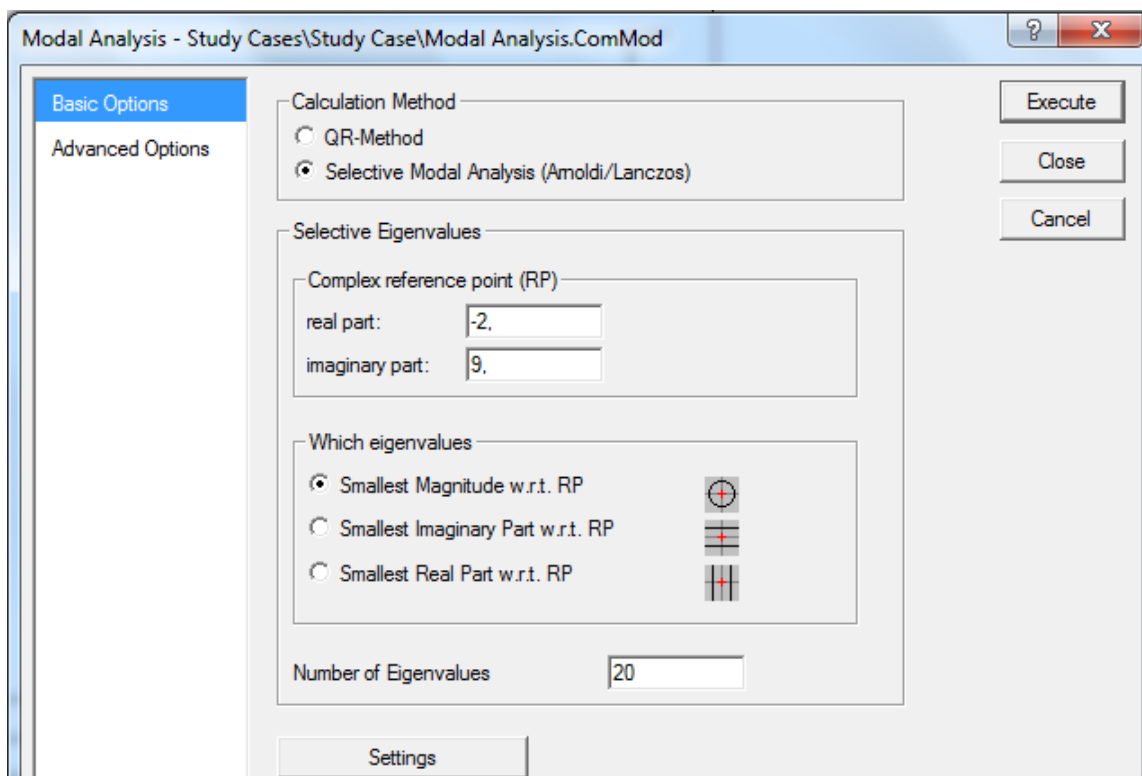
Πατώντας **OK** κλείνει το παράθυρο επεξεργασίας του ελεγκτή. Με τον ίδιο τρόπο αντιγράφουμε τα κελιά 6 έως 10 από το αρχείο best\_particle\_ever στον ελεγκτή της δεύτερης γεννήτριας, τα κελιά 11 έως 15 στον ελεγκτή της τρίτης γεννήτριας και τα κελιά 16 έως 20 στον ελεγκτή της τέταρτης γεννήτριας.

Για να δούμε τους πόλους του συστήματος πηγαίνουμε στο παράθυρο **Eigenvalues**, κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Change Toolbox** από την κύρια γραμμή εικονιδίων και επιλέγουμε **Modal Analysis**. Στην εργαλειοθήκη που ανοίγει κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Calculate Initial Conditions**. Στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει αφήνουμε τις προεπιλεγμένες από τον κατασκευαστή του project ρυθμίσεις και πατάμε **Execute**.



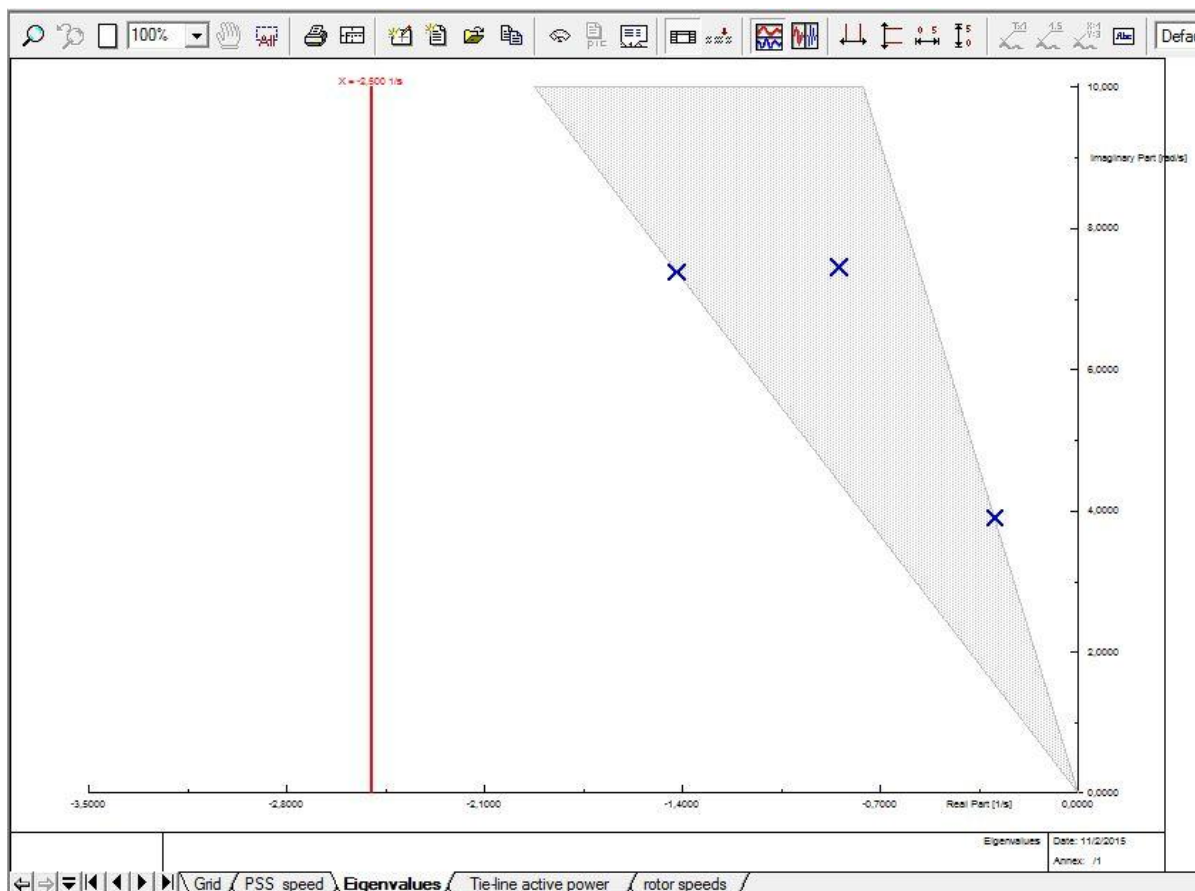
Ε3.32: Παράθυρο επεξεργασίας για τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών

Στην συνέχεια κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Modal Analysis** της ίδιας εργαλειοθήκης και στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει πατάμε ξανά **Execute** αφήνοντας τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις.



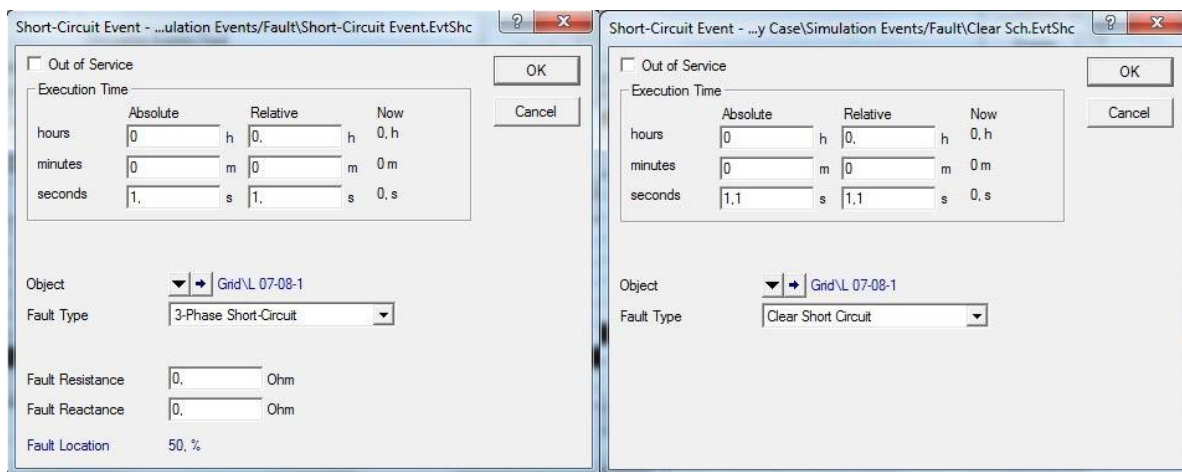
Ε3.33: Παράθυρο επεξεργασίας για τον υπολογισμό των πόλων του συστήματος

Στο διάγραμμα του παραθύρου Eigenvalues παρουσιάζονται οι πόλοι του συστήματος στο άνω αριστερό τεταρτημόριο του μιγαδικού επιπέδου με τις ρυθμίσεις των ελεγκτών που υπολογίστηκαν από την συνεργασία του PowerFactory με το Matlab για nr\_particle=20 και nr\_gen=20.



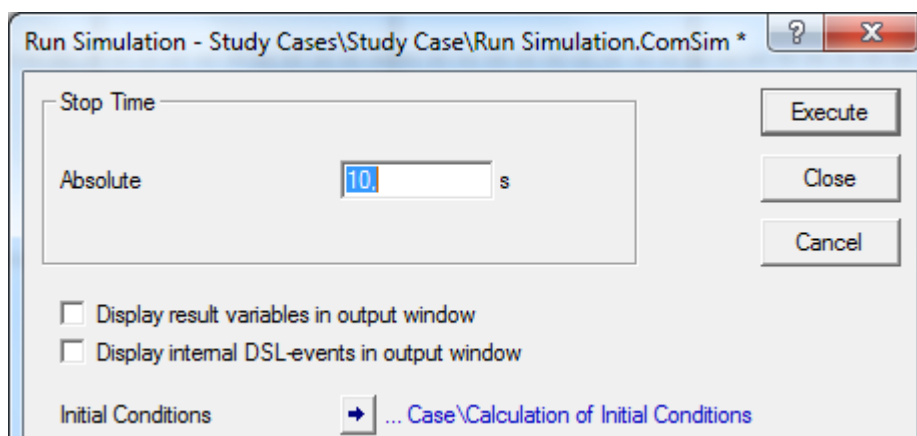
Ε3.34: Οι πόλοι του ΣΗΕ για nr\_particle=20 και nr\_gen=20

Εκτός από την θέση των πόλων του συστήματος στο μιγαδικό επίπεδο, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, μας ενδιαφέρει η απόσβεση των ταλαντώσεων που δημιουργούνται σε διάφορες μεταβλητές του συστήματος. Στα παράθυρα Tie-line active power και rotor speeds υπάρχουν διαγράμματα που παρουσιάζουν πώς αποσβάνουν με την πάροδο του χρόνου οι ταλαντώσεις στην ροή ενεργού ισχύος της γραμμής L 07-08-1 και στις ανά μονάδα ταχύτητες των δρομέων των γεννητριών που προκαλούνται από μία διαταραχή. Η διαταραχή που προκαλεί αυτές τις ταλαντώσεις είναι ένα 3Φ βραχυκύκλωμα που συμβαίνει στην μέση της γραμμής L 07-08-1 την χρονική στιγμή  $t=1s$  και εκκαθαρίζεται την χρονική στιγμή  $t=1,1s$ . Τα δύο αυτά συμβάντα, δηλαδή το βραχυκύκλωμα και η εκκαθάρισή του, είναι ήδη μοντελοποιημένα στο project. Για να τα δούμε ανοίγουμε το παράθυρο επεξεργασίας για τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών (εικόνα E3.32) και κάνουμε κλικ στο μπλε βέλος στο πεδίο **Selection of Simulation Events**. Στο νέο παράθυρο διαλόγου που ανοίγει κάνουμε κλικ στο κομβίο **Events** και ανοίγει μία λίστα με τα μοντελοποιημένα συμβάντα του project. Τα δύο μη απενεργοποιημένα συμβάντα **Short-Circuit Event** και **Clear Sch** είναι αυτά που προαναφέραμε. Τα παράθυρα επεξεργασίας των δύο αυτών συμβάντων παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



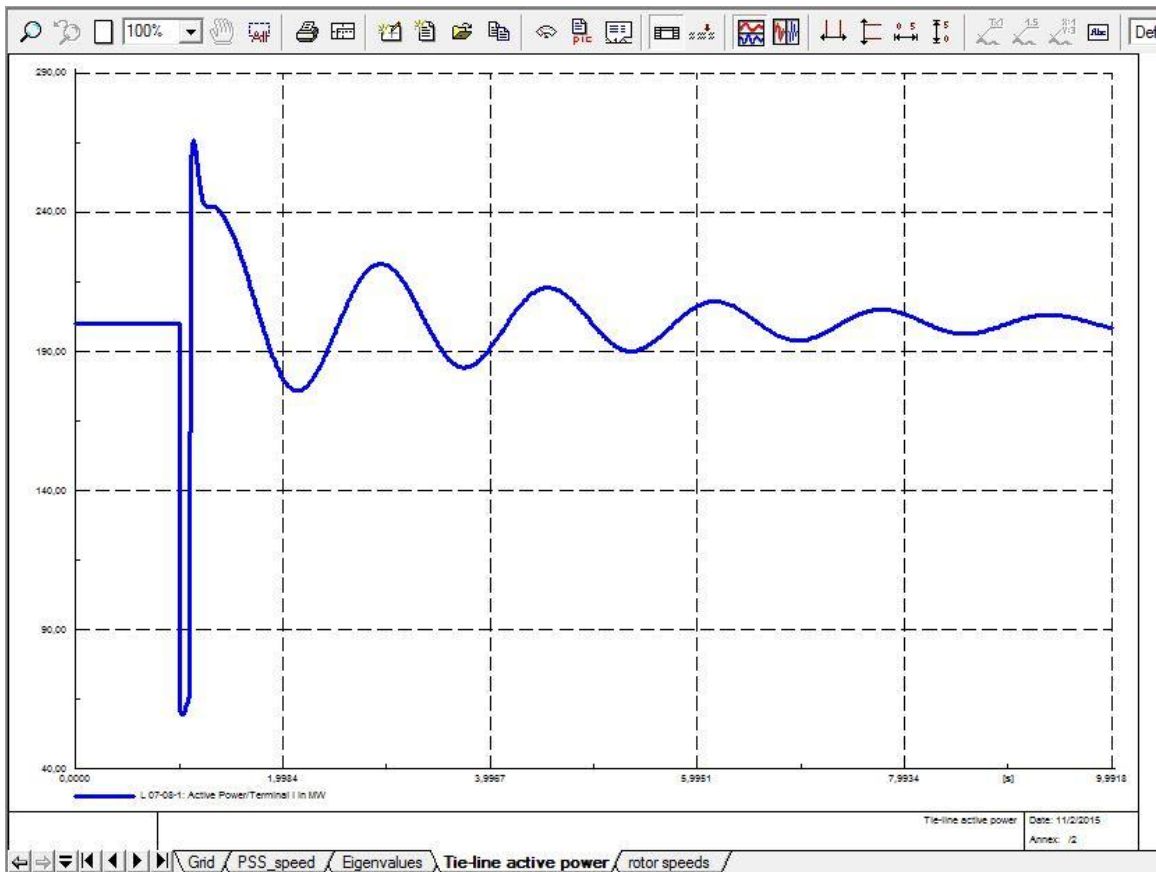
E3.35: Παράθυρα επεξεργασίας συμβάντων για την πρόκληση διαταραχής

Επιστρέφοντας στο παράθυρο **Tie-line active power** κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Change Toolbox** στην κύρια γραμμή εικονιδίων και επιλέγουμε **RMS/EMT Simulation**. Εκτελούμε εκ νέου τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών και στην συνέχεια κάνουμε κλικ στο εικονίδιο **Start Simulation** και πατάμε **Execute**.

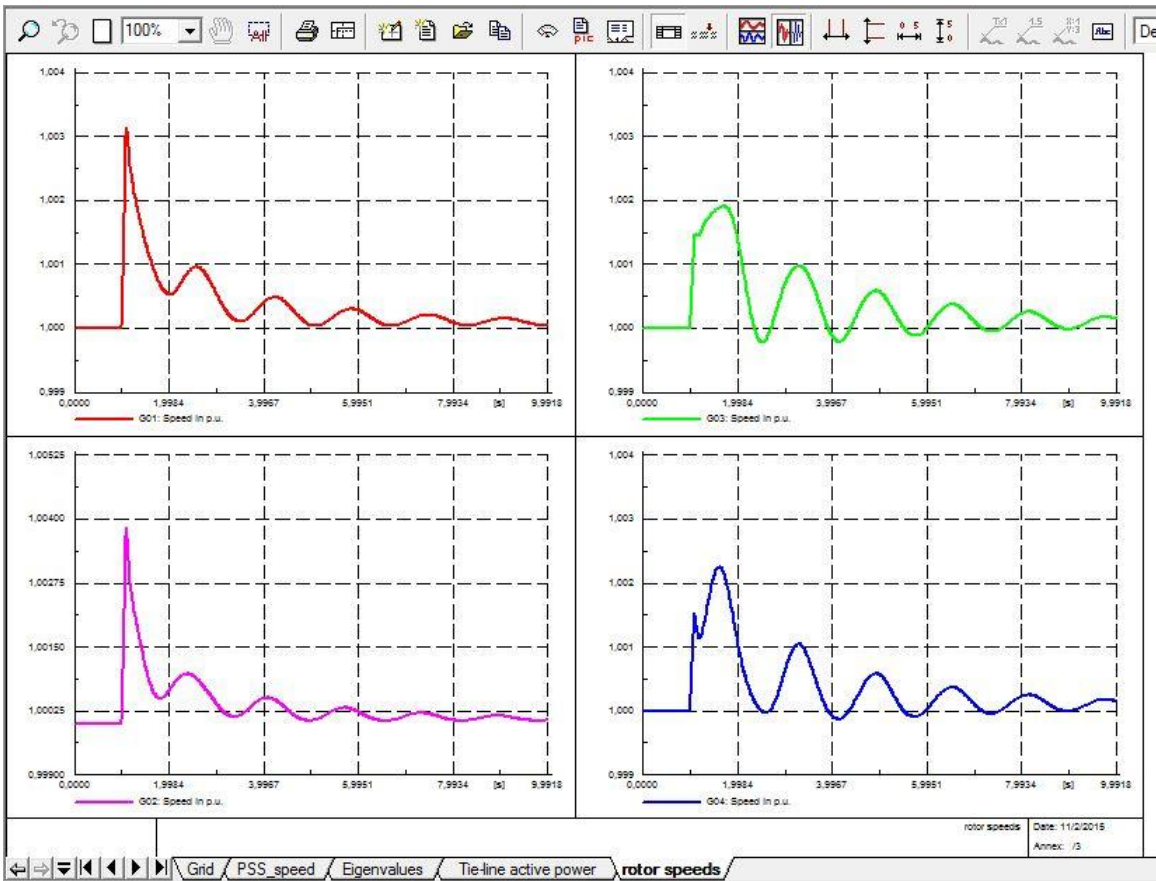


E3.36: Παράθυρο επεξεργασίας χρονικής προσομοίωσης

Στο διάγραμμα του παραθύρου Tie-line active power φαίνεται η ενεργός ισχύς της γραμμής L 07-08-1 στην οποία συμβαίνει το βραχυκύκλωμα σε ένα χρονικό παράθυρο 10sec. Η τιμή της ενεργού ισχύος είναι σταθερή μέχρι την χρονική στιγμή  $t=1s$  οπότε και υπάρχει ένα βύθισμα λόγω του βραχυκυκλώματος. Μετά την εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος η τιμή της ενεργού ισχύος ανεβαίνει πάλι απότομα και στην συνέχεια ταλαντώνεται αποσβενύμενη γύρω από την τιμή ισορροπίας της. Ομοίως, στο παράθυρο rotor speeds παρουσιάζεται η απόσβεση των ταλαντώσεων που προκαλεί η διαταραχή στις ταχύτητες των δρομέων των τεσσάρων γεννητριών στο ίδιο χρονικό διάστημα. Η ταχεία απόσβεση των ταλαντώσεων είναι αποτέλεσμα της δράσης των ελεγκτών PSS στα συστήματα διέγερσης των σύγχρονων γεννητριών.



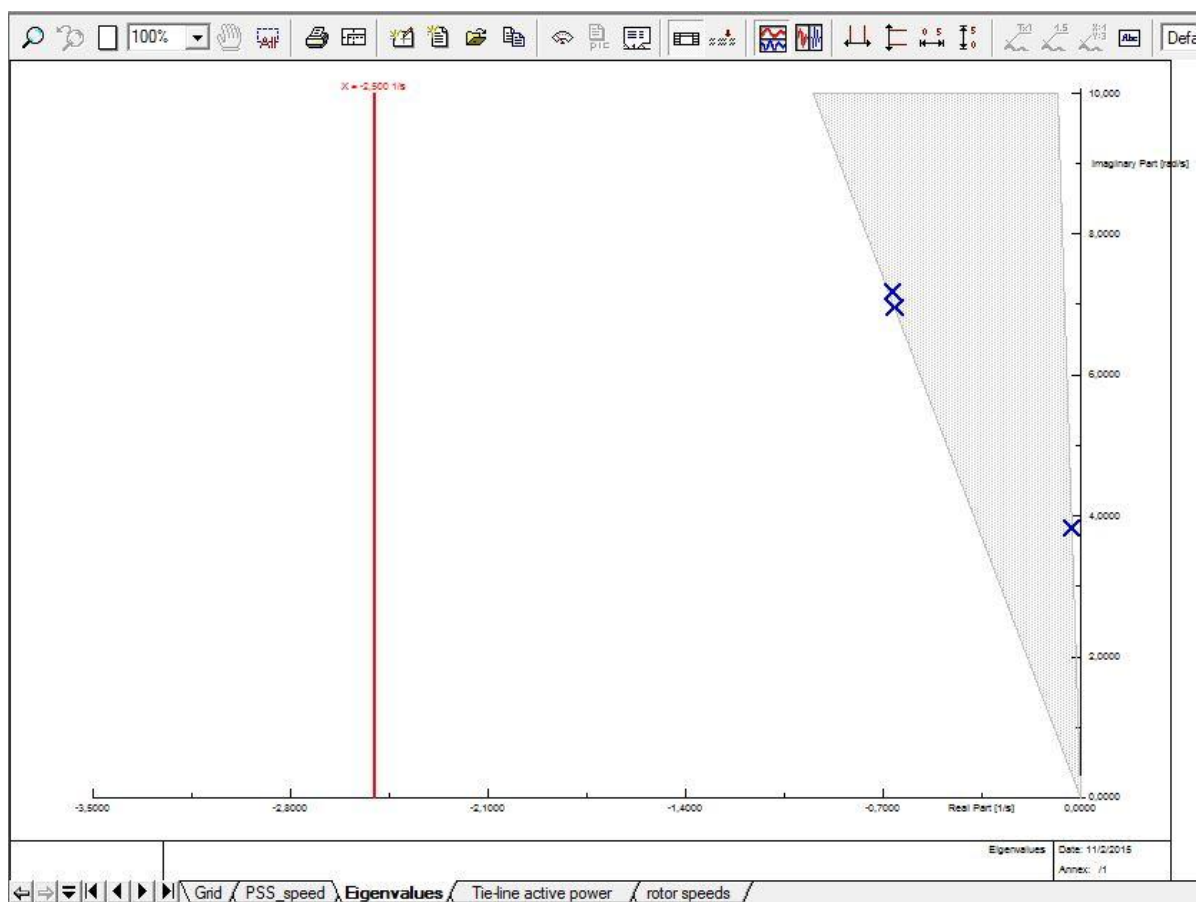
Ε3.37: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr\_particle=20 και nr\_gen=20



Ε3.38: Απόσβεση ταλαντώσεων ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr\_particle=20 και nr\_gen=20

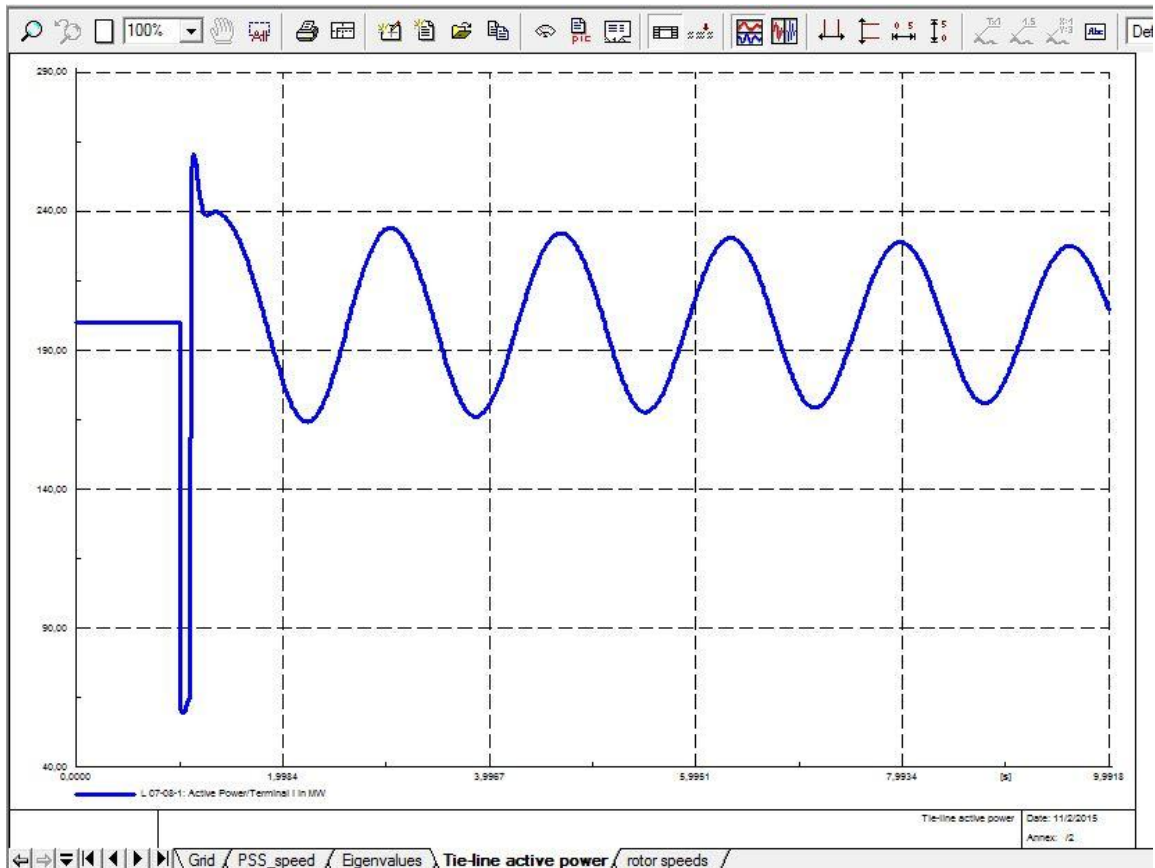
Για να αποκτηθεί ένα μέτρο σύγκρισης για την αξιολόγηση της λύσης που προέκυψε από τον αλγόριθμο PSO θα εκτελέσουμε τις ίδιες προσομοιώσεις για να δούμε πώς θα ήταν τα αποτελέσματα πριν την τοποθέτηση και την κατάλληλη ρύθμιση των ελεγκτών PSS. Ανοίγουμε την λίστα των ελεγκτών PSS από το εικονίδιο **Edit Relevant Objects** στην κύρια γραμμή εικονιδίων και ενεργοποιούμε για όλους του ελεγκτές την επιλογή **Out of Service**. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως φτιάχνουμε τα διαγράμματα των πόλων του συστήματος και της χρονικής μεταβολής της ενεργού ισχύος της γραμμής και των ταχυτήτων των δρομέων των γεννητριών.

Από το διάγραμμα στο παράθυρο Eigenvalues παρατηρούμε ότι το ΣΗΕ έχει έναν πόλο πολύ κοντά στον κατακόρυφο άξονα του μιγαδικού επιπέδου, δηλαδή με πολύ μικρή τιμή πραγματικού μέρους, πράγμα που οδηγεί σε πολύ αργή απόσβεση των ταλαντώσεων που δημιουργούνται όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα των παραθύρων Tie-line active power και rotor speeds.

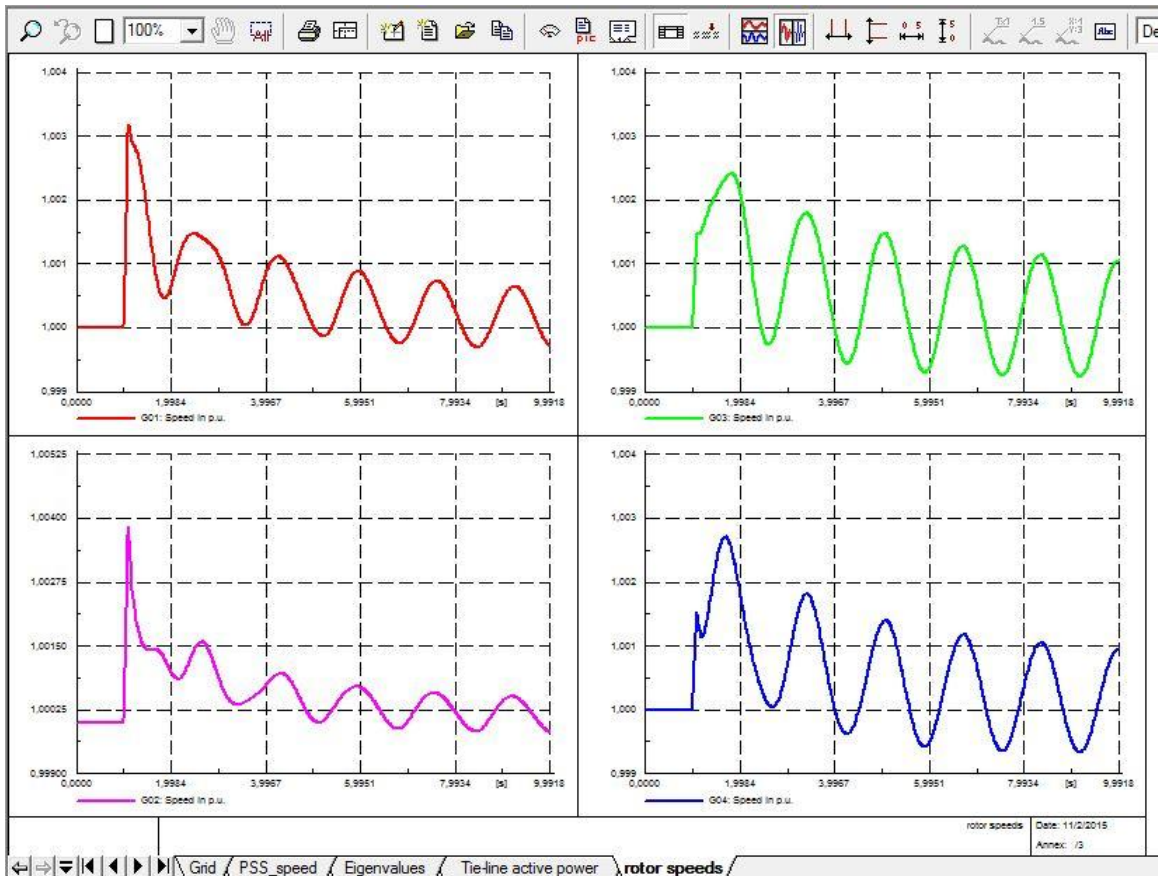


E3.39: Οι πόλοι του ΣΗΕ πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS





Ε3.40: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS



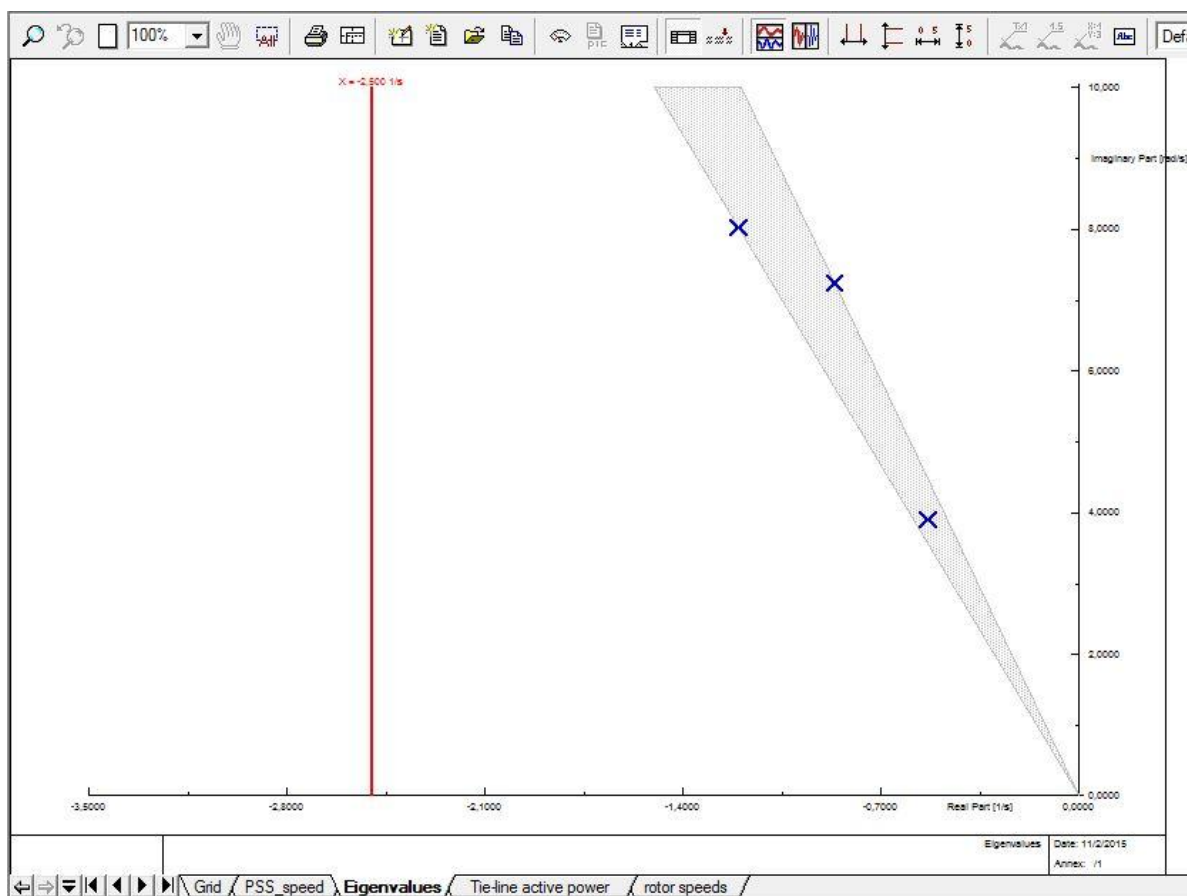
Ε3.41: Απόσβεση ταλαντώσεων ταχυτήτων δρομέων πριν την τοποθέτηση των ελεγκτών PSS

Συγκρίνοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα με και χωρίς ελεγκτές γίνεται εμφανές ότι η προσθήκη των ελεγκτών PSS και η παραμετροποίησή τους με τις τιμές που προέκυψαν από την συνεργασία του PowerFactory με το Matlab για την υλοποίηση του αλγορίθμου PSO, είχε ως αποτέλεσμα την μετατόπιση των πόλων του ΣΗΕ πιο αριστερά στο μιγαδικό επίπεδο και την ταχύτερη απόσβεση των ταλαντώσεων λόγω διαταραχής στο ΣΗΕ. Η εύρεση μίας ακόμα καλύτερης λύσης, δηλαδή μίας λύσης που θα μετατόπιζε τους πόλους του ΣΗΕ ακόμα πιο αριστερά και θα έκανε ακόμα ταχύτερη την απόσβεση των ταλαντώσεων στις μεταβλητές ενδιαφέροντος του συστήματος, είναι δυνατή εκτελώντας εκ νέου τον αλγόριθμο PSO και την συνεργασία του PowerFactory με το Matlab δίνοντας μεγαλύτερες τιμές στις παραμέτρους nr\_particle και nr\_gen στον κώδικα του Matlab. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών και τα αντίστοιχα διαγράμματα που προέκυψαν από δύο ακόμα εκτελέσεις. Στην πρώτη εκτέλεση ορίστηκε nr\_particle=25 και nr\_gen=25 και η διάρκειά της ήταν περίπου 15 λεπτά ενώ στην δεύτερη εκτέλεση ορίστηκε nr\_particle=150 και nr\_gen=80 και η διάρκειά της ξεπέρασε τις 4 ώρες. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της δεύτερης εκτέλεσης είναι καλύτερα από τα αποτελέσματα της πρώτης εκτέλεσης τα οποία είναι καλύτερα από αυτά της προηγούμενης.

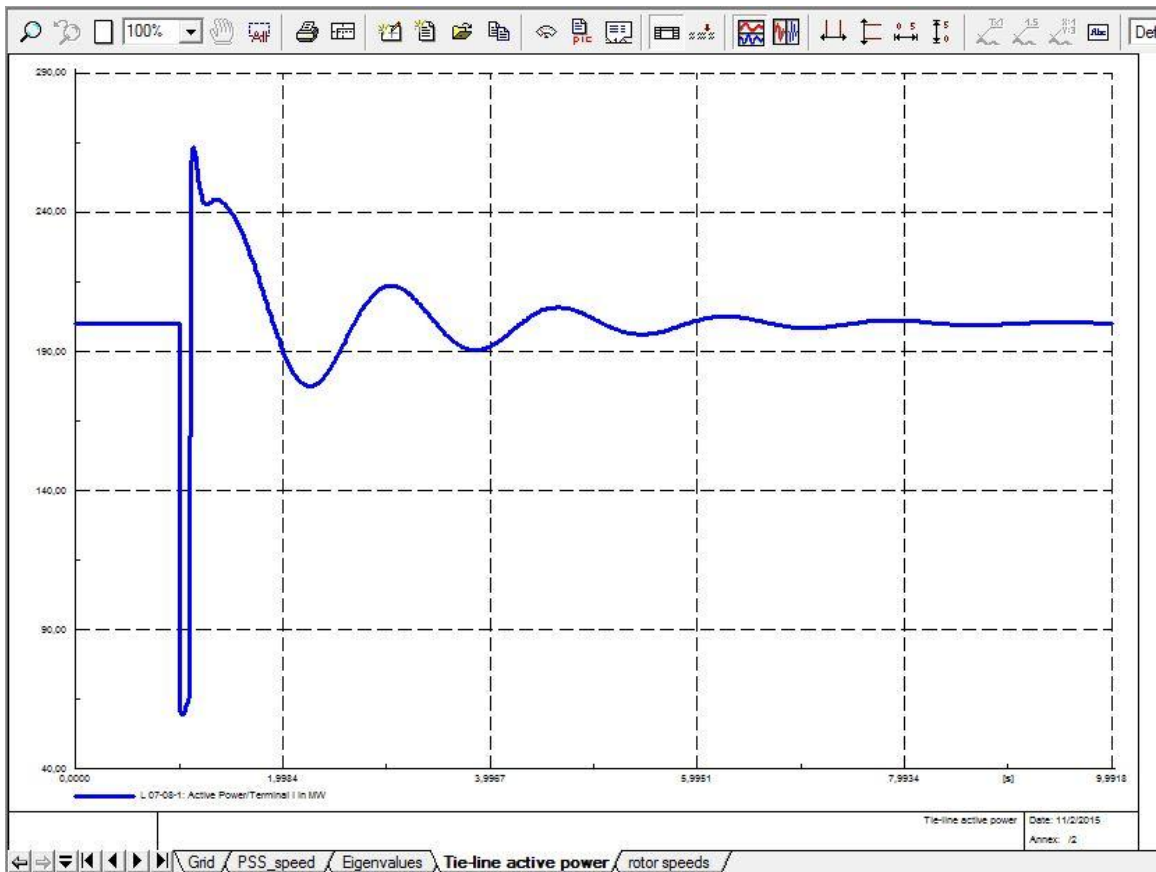
Οι τιμές των παραμέτρων και τα διαγράμματα για nr\_particle=25 και nr\_gen=25:

Πίνακας 1: Τα αποτελέσματα για nr\_particle=25 και nr\_gen=25

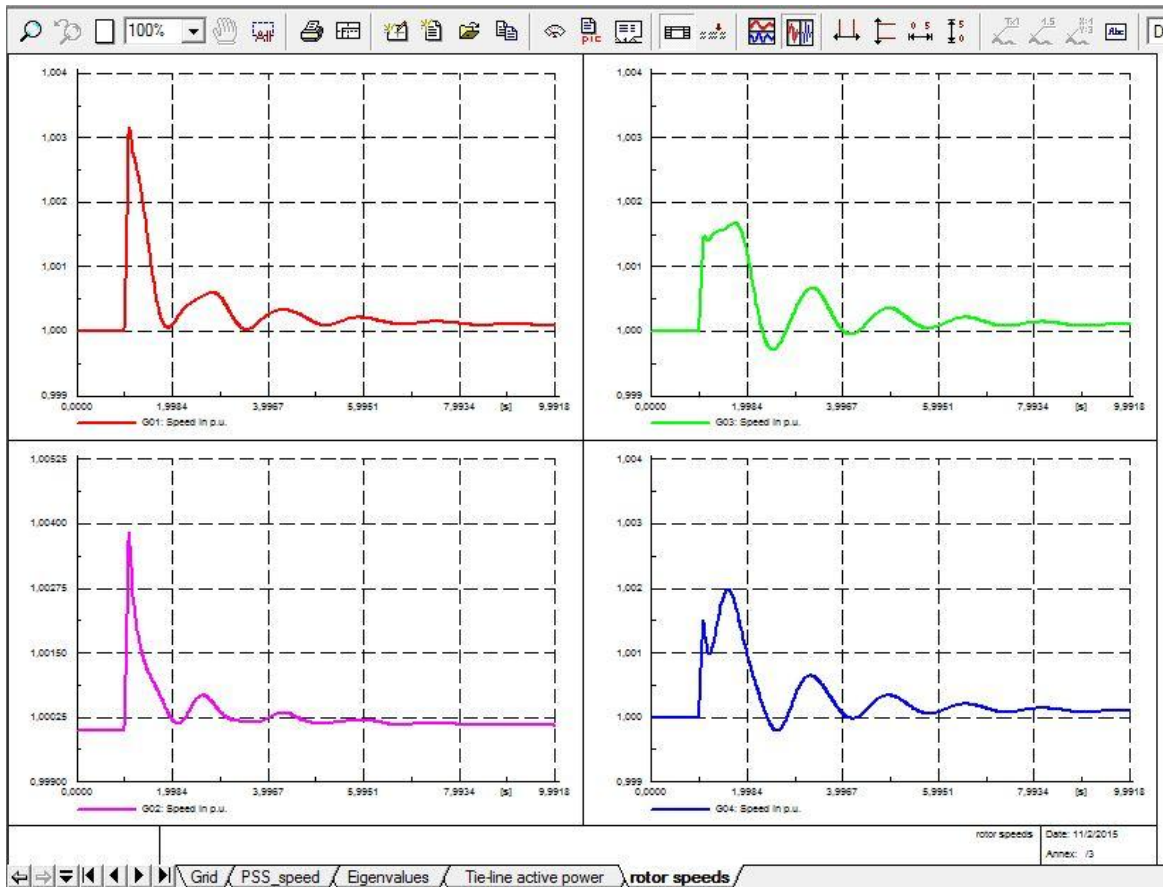
	PSS_G1	PSS_G2	PSS_G3	PSS_G4
<b>K</b>	41,98434	26,82418	40,55791	42,49715
<b>T<sub>1</sub></b>	1,566625	2,193034	2,694135	2,819281
<b>T<sub>2</sub></b>	1,150413	1,135177	1,046676	2,29049
<b>T<sub>3</sub></b>	1,861543	0,374008	0,05755	2,89775
<b>T<sub>4</sub></b>	1,818233	1,107098	0,096062	1,483226



E3.42: Οι πόλοι του ΣΗΕ για nr\_particle=25 και nr\_gen=25



Ε3.43: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr\_particle=25 και nr\_gen=25

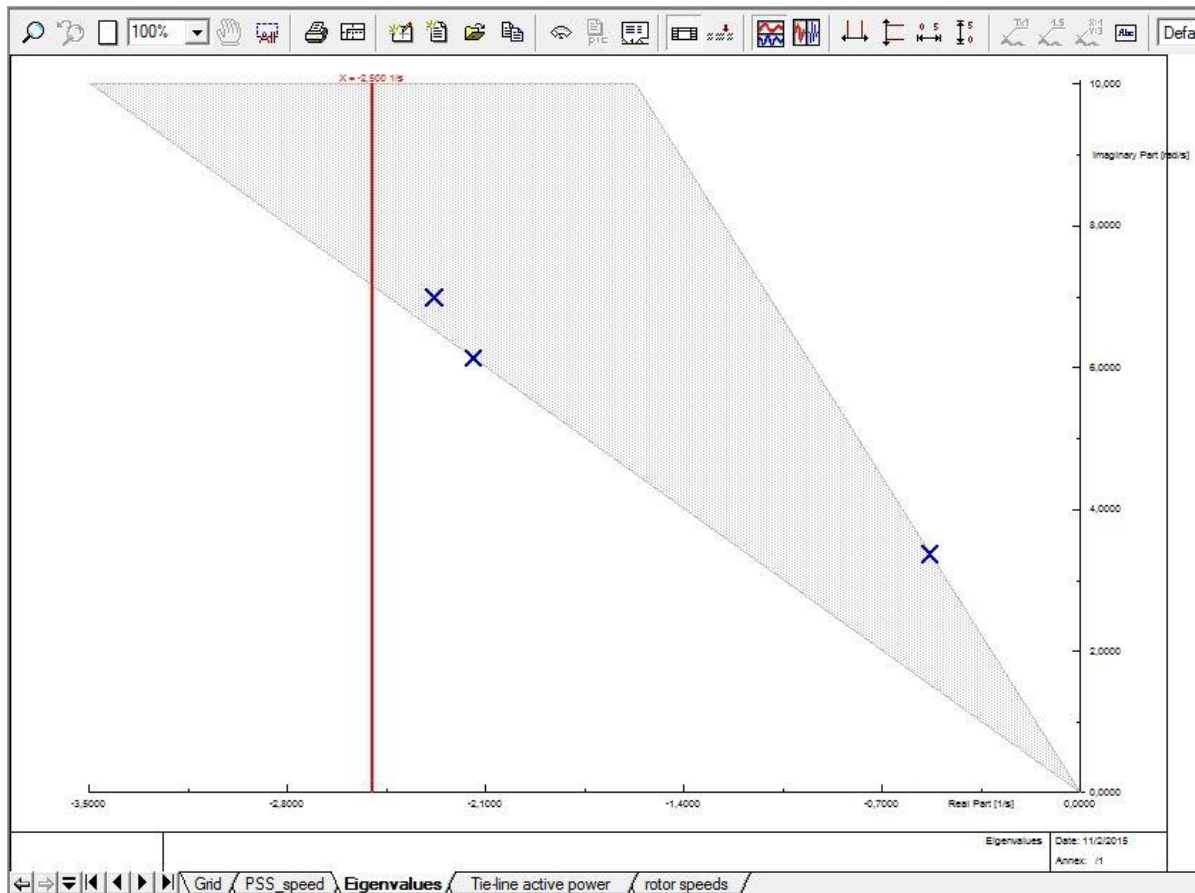


Ε3.44 : Απόσβεση ταλαντώσεων ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr\_particle=25 και nr\_gen=25

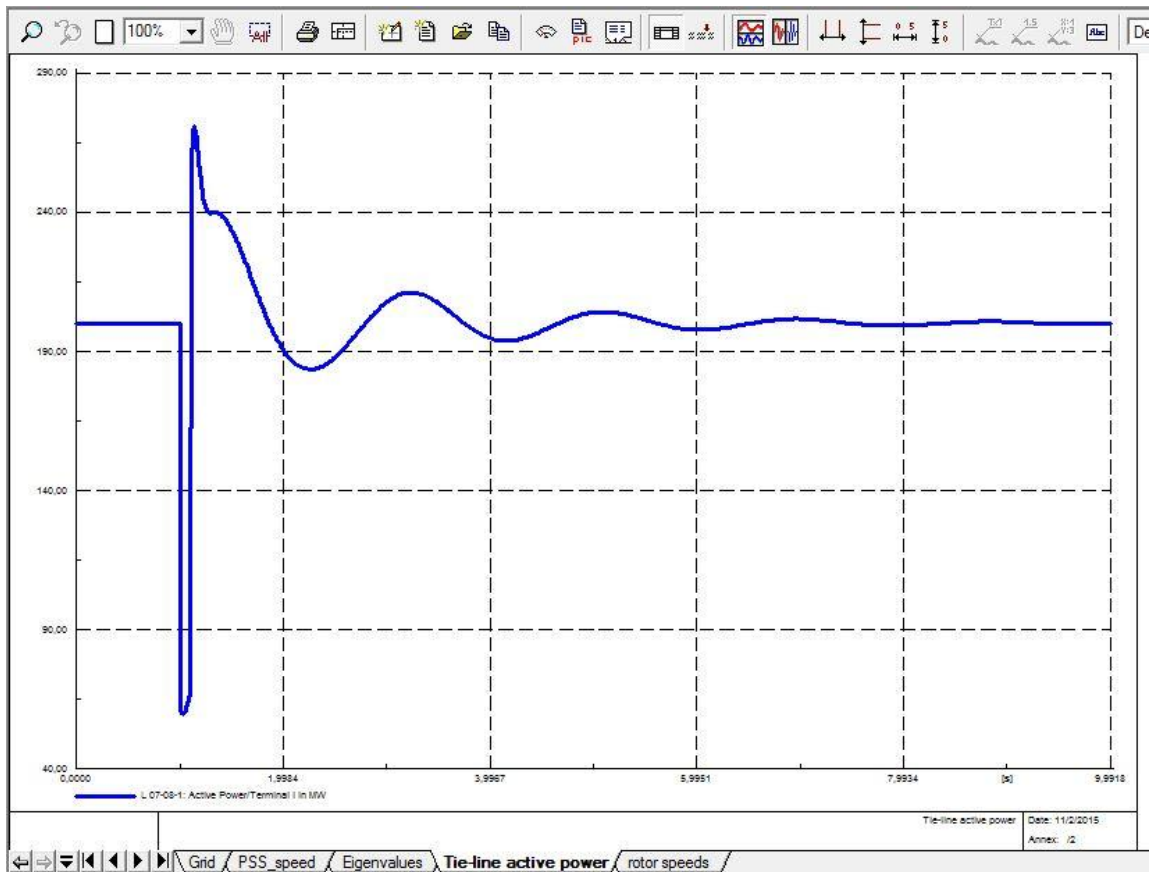
Οι τιμές των παραμέτρων και τα διαγράμματα για  $nr\_particle=150$  και  $nr\_gen=80$ :

Πίνακας 2: Τα αποτελέσματα για  $nr\_particle=150$  και  $nr\_gen=80$

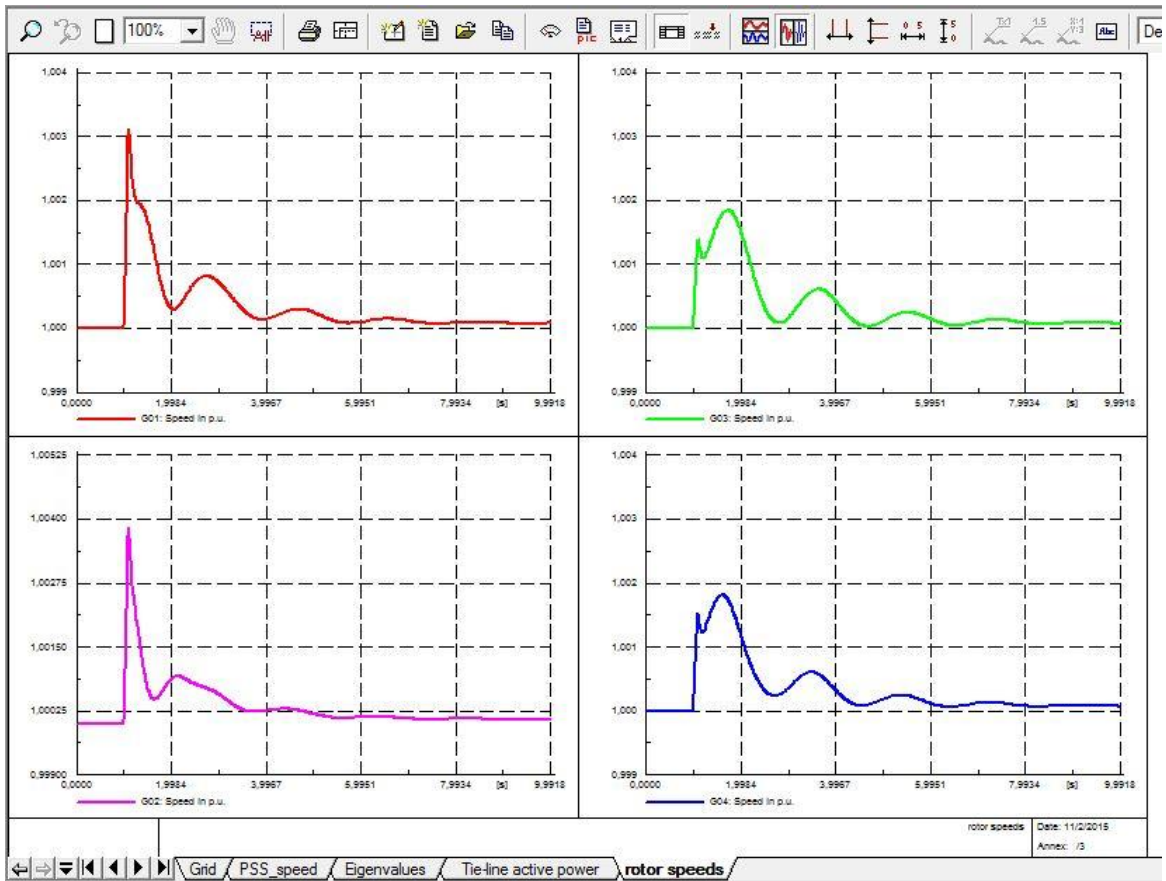
	PSS_G1	PSS_G2	PSS_G3	PSS_G4
<b>K</b>	33,98817	30,43045	30,88345	33,20191
<b>T<sub>1</sub></b>	1,461653	0,708063	2,072777	1,526691
<b>T<sub>2</sub></b>	0,113808	0,434614	0,710933	1,462543
<b>T<sub>3</sub></b>	0,352174	1,595218	0,628463	2,586468
<b>T<sub>4</sub></b>	0,239109	2,791601	0,121725	2,89689



Ε3.45: Οι πόλοι του ΣΗΕ για  $nr\_particle=150$  και  $nr\_gen=80$



Ε3.46: Απόσβεση ταλάντωσης ενεργού ισχύος για nr\_particle=150 και nr\_gen=80



Ε3.47: Απόσβεση ταλαντώσεων ταχυτήτων δρομέων γεννητριών για nr\_particle=150 και nr\_gen=80



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ DIgSILENT PowerFactory

### 4.1 Εισαγωγή

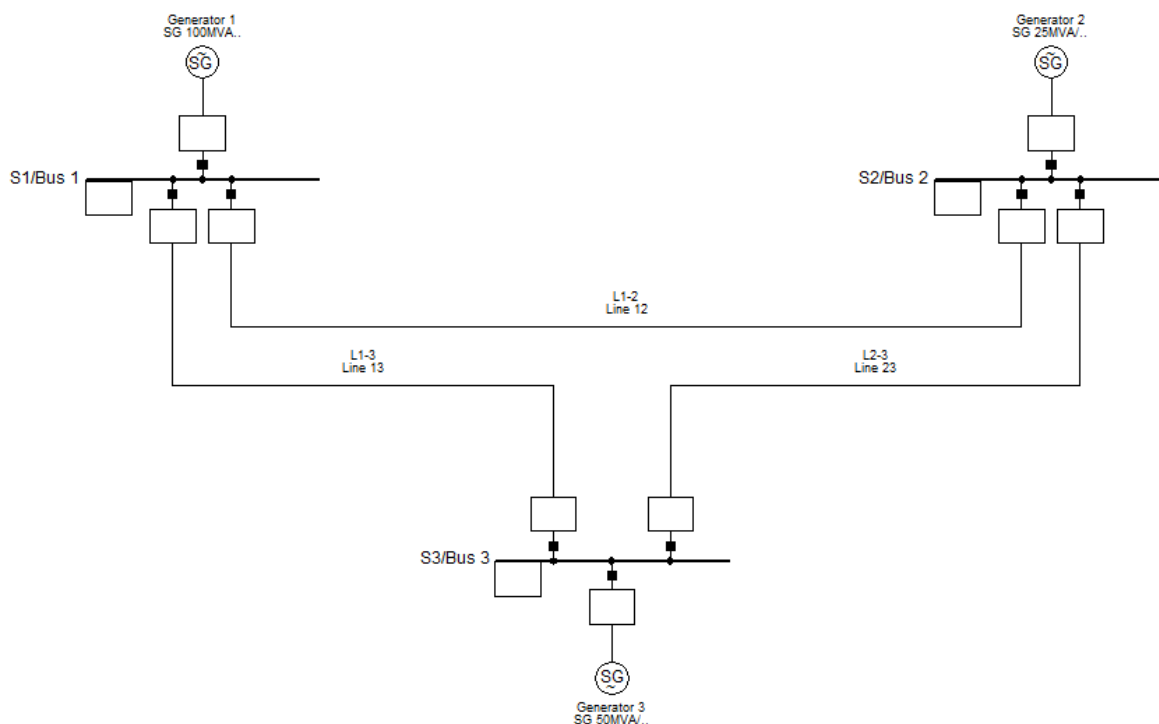
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση στο PowerFactory τριών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και οι αντίστοιχες μελέτες βραχυκυκλωμάτων, που προηγούνται των μελετών προστασίας υπερέντασης και της ρύθμισης των ηλεκτρονόμων. Τα δεδομένα των προσομοιωμένων δικτύων έχουν ληφθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία. Στις περιπτώσεις που τα δημοσιευμένα δεδομένα των δικτύων είναι ελλιπή χρησιμοποιούνται τυπικές τιμές.

Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων που παρουσιάζεται σε κάθε δίκτυο αποσκοπεί στην καταγραφή του μέγιστου και του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης που «βλέπει» ένας ηλεκτρονόμος για διάφορα είδη σφαλμάτων και για διάφορες τιμές της αντίστασης σφάλματος που γίνεται στην γραμμή την οποία προστατεύει. Ως μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης θεωρείται αυτό που «αισθάνεται» ο ηλεκτρονόμος όταν το σφάλμα γίνεται μπροστά του, δηλαδή στο 1% του μήκους της γραμμής στην οποία είναι τοποθετημένος (close-in), ενώ ως ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης θεωρείται αυτό που «αισθάνεται» για το πιο μακρινό σφάλμα που μπορεί να γίνει στην γραμμή που είναι τοποθετημένος, δηλαδή στο 99% του μήκους της (far-end). Η καταγραφή αυτή γίνεται για τριφασικό, διφασικό, μονοφασικό και διφασικό με γη βραχυκύκλωμα και για διάφορες τιμές της αντίστασης σφάλματος σε καθένα από αυτά τα είδη. Σε κάθε περίπτωση, εκτός από το ρεύμα σφάλματος και το ρεύμα που συνεισφέρει ο κλάδος που «βλέπει» ο ηλεκτρονόμος, καταγράφονται και οι συνεισφορές των κλάδων πίσω από τον ζυγό στον οποίον είναι τοποθετημένος ο ηλεκτρονόμος σε βάθος ενός ζυγού. Τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων κάθε δικτύου παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα.

Στο δεύτερο δίκτυο, η παρουσίαση προχωράει και στην μελέτη προστασίας υπερέντασης, δηλαδή στην τοποθέτηση και κατάλληλη ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής παρουσιάζονται μέσα από διαγράμματα χρόνου-ρεύματος που καταδεικνύουν την σωστή λειτουργία των ηλεκτρονόμων, όταν λειτουργούν ως πρωτεύουσα προστασία (primary protection) καθώς επίσης και όταν παρέχουν εφεδρική προστασία (backup protection).

## 4.2 Δίκτυο 3 ζυγών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η περίπτωση ενός απλού παραδείγματος 3 ζυγών [13] η τοπολογία του οποίου φαίνεται στην εικόνα Ε4.1. Αρχικά, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των στοιχείων του δικτύου, και στην συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων.



Ε4.1: Τοπολογία του δικτύου 3 ζυγών

### 4.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου

Το δίκτυο αποτελείται από 3 ζυγούς ΥΤ, 3 γραμμές μεταφοράς και 3 σύγχρονες γεννήτριες, μία σε κάθε ζυγό. Η ονομαστική τάση του δικτύου είναι 69kV και η ονομαστική του συχνότητα είναι 50Hz.

Οι ζυγοί υλοποιούνται με το εργαλείο σχεδίασης Single Busbar System και δεν τους αποδίδεται κάποιο μοντέλο από την βιβλιοθήκη του project. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	In Folder	Grid	System Type	Usage	Phase Technology	Nom.L-L Volt. kV	Nom.L-G Volt. kV	Earthed	Station/Name	Nk
Bus 1	Station 1	Grid	AC	Busbar	ABC	69.	39,83717	<input type="checkbox"/>	S1/Bus 1 ...	
Bus 2	Station 2	Grid	AC	Busbar	ABC	69.	39,83717	<input type="checkbox"/>	S2/Bus 2 ...	
Bus 3	Station 3	Grid	AC	Busbar	ABC	69.	39,83717	<input type="checkbox"/>	S3/Bus 3 ...	

Ε4.2: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου 3 ζυγών



Για την προσομοίωση των γραμμών χρειάζεται η δημιουργία ενός μοντέλου για την κάθε μία γιατί έχουν διαφορετικές τιμές σύνθετων αντιστάσεων ανά μονάδα μήκους. Κάθε μοντέλο ονομάζεται ανάλογα με την γραμμή στην οποία αποδίδεται. Οι τιμές των αντιστάσεων και αντιδράσεων μηδενικής ακολουθίας θεωρούνται τριπλάσιες των αντίστοιχων θετικής ακολουθίας.

Name	Rtd. Voltage kV	Nominal Frequency Hz	Cable / OHL	Sys.Tp.	Phases	Number of Neutrals	R'(AC,20°C) Ohm/km	X' Ohm/km	R0'(AC) Ohm/km	X0' Ohm/km
Line 12	69.	50.	0	AC	3	0	0.11	0.457	0.33	1.371
Line 13	69.	50.	0	AC	3	0	0.1266	0.45	0.3798	1.35
Line 23	69.	50.	0	AC	3	0	0.11	0.45	0.33	1.35

E4.3: Χαρακτηριστικά των μοντέλων των γραμμών του δικτύου 3 ζυγών

Μετά τη δημιουργία των μοντέλων, τα χαρακτηριστικά των γραμμών είναι όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Type TypLine...	Par.no.	Length km	Z1 Ohm	phiz1 deg	R1 Ohm	X1 Ohm	R0 Ohm	X0 Ohm
L1-2	Line 12	1	50.	23.50261	76.46634	5.5	22.85	16.5	68.55
L1-3	Line 13	1	60.	28.04816	74.28693	7.596	27.	22.788	81.
L2-3	Line 23	1	40.	18.52998	76.26373	4.4	18.	13.2	54.

E4.4: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου 3 ζυγών

Οι τρεις γεννήτριες του δικτύου είναι ανόμοιες μεταξύ τους οπότε χρειάζεται η δημιουργία τριών διαφορετικών μοντέλων σύγχρονης μηχανής. Κάθε μοντέλο περιέχει τα ονομαστικά μεγέθη της γεννήτριας και τα χαρακτηριστικά του ισοδύναμου κυκλώματός της.

Name	App.Pow. MVA	Nom.Volt. kV	Pow.Fact.	Connection
SG 100MVA/69kV	100.	69.	0.8	YN
SG 25MVA/69kV	25.	69.	0.8	YN
SG 50MVA/69kV	50.	69.	0.8	YN

E4.5: Ονομαστικά μεγέθη των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών (μοντέλο σύγχρονης μηχανής)

Για τα χαρακτηριστικά του ισοδύναμου κυκλώματος των γεννητριών που μας ενδιαφέρουν στα βραχυκυκλώματα, οι ωμικές αντιστάσεις θεωρούνται αμελητέες, η υπομεταβατική αντίδραση και η αντίδραση αρνητικής ακολουθίας θεωρούνται ίσες, ενώ η αντίδραση μηδενικής ακολουθίας λαμβάνεται ίση με 10%.

Object Filter: \*.TypSym

Name	xd <sup>sat</sup> p.u.	rstr p.u.	x0 p.u.	r0 p.u.	x2 p.u.	r2 p.u.	Re
SG 100MVA/69kV	0.2	0.	0.1	0.	0.2	0.	0.
SG 25MVA/69kV	0.12	0.	0.1	0.	0.12	0.	0.
SG 50MVA/69kV	0.18	0.	0.1	0.	0.18	0.	0.

Ln 1 3 object(s) of 3 1 object(s) selected Drag & Drop

Ε4.6: Χαρακτηριστικά του ισοδύναμου κυκλώματος των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών (μοντέλο σύγχρονης μηχανής)

Για την μελέτη βραχυκυκλωμάτων, σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος κάθε γεννήτριας περιέχονται στο μοντέλο της. Τα υπόλοιπα στοιχεία των γεννητριών φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Object Filter: \*.ElmSym

Name	Type TypSym	Terminal Substation	Terminal	Par.no.	Generator/Motor	Wind Generator	Star Point	Re Ohm	Xe Ohm
Generator 1	SG 100MVA/69kV	Station 1	Bus 1	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
Generator 2	SG 25MVA/69kV	Station 2	Bus 2	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
Generator 3	SG 50MVA/69kV	Station 3	Bus 3	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.

Ln 1 3 object(s) of 3 1 object(s) selected Drag & Drop

Ε4.7: Χαρακτηριστικά των γεννητριών του δικτύου 3 ζυγών

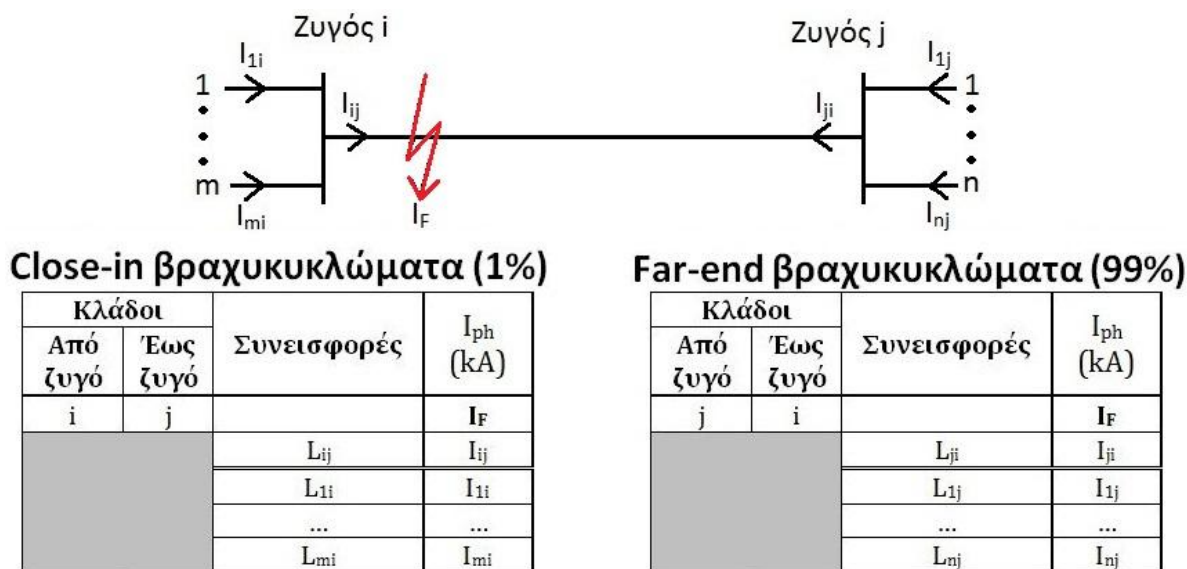
#### 4.2.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων για το δίκτυο 3 ζυγών. Για κάθε ηλεκτρονόμο εξετάζονται δύο θέσεις βραχυκυκλωμάτων, το close-in και το far-end βραχυκύκλωμα, οπότε σχηματίστηκαν παράλληλα δύο πίνακες.

Κάθε πίνακας είναι χωρισμένος σε στήλες που αντιστοιχούν σε καθένα από τα τέσσερα είδη βραχυκυκλωμάτων που εξετάζονται σε κάθε θέση. Βέβαια, οι μεταβλητές ενδιαφέροντος είναι διαφορετικές σε κάθε είδος βραχυκυκλώματος. Έτσι ενώ στο τριφασικό βραχυκύκλωμα αρκεί μία στήλη για το ρεύμα φάσης, στο διφασικό προς γη βραχυκύκλωμα απαιτούνται τρεις στήλες για την καταγραφή του ρεύματος φάσης και των ρευμάτων αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας. Για το διφασικό και μονοφασικό βραχυκύκλωμα εκτός από τα ρεύματα φάσης καταγράφονται επίσης το ρεύμα αρνητικής και το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας αντίστοιχα, άρα το σύνολο των στηλών κάθε πίνακα είναι οκτώ.

Η οριζόντια δομή κάθε πίνακα ορίζεται από τους κλάδους του δικτύου. Σε κάθε κλάδο, στην πρώτη γραμμή αναγράφεται με έντονα γράμματα η τιμή του ρεύματος σφάλματος και στην δεύτερη γραμμή η συνεισφορά στο ρεύμα σφάλματος από τον ζυγό στον οποίον είναι τοποθετημένος ο υπό εξέταση ηλεκτρονόμος. Το ρεύμα αυτό είναι το ρεύμα που «αισθάνεται» ο ηλεκτρονόμος. Στην συνέχεια ακολουθεί μία οριζόντια διπλή διαχωριστική γραμμή και από κάτω καταγράφονται οι συνεισφορές όλων των κλάδων που είναι πίσω από τον ζυγό του ηλεκτρονόμου.

Κάθε κλάδος έχει δύο ηλεκτρονόμους άρα αναγράφεται δύο φορές σε κάθε πίνακα με αναστροφή εμφάνισης των ζυγών στα άκρα του. Ο υπό εξέταση ηλεκτρονόμος σε κάθε περίπτωση είναι αυτός του ζυγού που αναγράφεται πρώτος. Το close-in βραχυκύκλωμα για έναν ηλεκτρονόμο ταυτίζεται με το far-end βραχυκύκλωμα του ηλεκτρονόμου στο άλλο άκρο του κλάδου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίον οι δύο πίνακες συμπληρώνονται παράλληλα. Ο τρόπος συμπλήρωσης των δύο πινάκων για ένα βραχυκύκλωμα γίνεται εύκολα κατανοητός από την εικόνα E4.8.



E4.8: Τρόπος συμπλήρωσης των δύο πινάκων για ένα βραχυκύκλωμα

Η διαδικασία που περιγράφηκε αφορά μία τιμή της αντίστασης σφάλματος. Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων γίνεται για τέσσερις τιμές της αντίστασης σφάλματος άρα η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται τέσσερις φορές. Έτσι συνολικά, η μελέτη βραχυκυκλωμάτων για το δίκτυο 3 ζυγών περιλαμβάνει τέσσερα ζεύγη πινάκων. Οι τιμές των αντιστάσεων σφάλματος για τις οποίες υπολογίζονται τα βραχυκυκλώματα φάσης είναι 0Ω, 0,5Ω, 1Ω και 2Ω ενώ για τα βραχυκυκλώματα γης είναι 0Ω, 10Ω, 20Ω και 40Ω. Όλα τα βραχυκυκλώματα υπολογίστηκαν σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60909 [17].

ΠΒ 1: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=0\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 0\Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>6,226</b>	<b>5,399</b>	<b>9,351</b>	<b>6,948</b>	<b>6,948</b>	<b>6,687</b>	<b>7,839</b>	<b>5,427</b>
		L12	5,364	4,652	8,052	6,176	6,558	5,895	7,399	4,674
		L31	0,823	0,717	1,239	0,716	0,309	0,781	0,348	0,720
		G1	4,547	3,946	6,825	5,468	6,258	5,183	7,060	3,960
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,707</b>	<b>3,214</b>	<b>5,565</b>	<b>3,623</b>	<b>3,623</b>	<b>3,689</b>	<b>3,535</b>	<b>3,798</b>
		L21	2,420	2,104	3,633	2,581	3,014	2,519	2,941	2,478
		L32	1,269	1,014	1,908	1,054	0,682	1,192	0,666	1,302
		G2	1,154	1,010	1,734	1,533	2,344	1,377	2,287	1,182
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>6,199</b>	<b>5,376</b>	<b>9,312</b>	<b>6,883</b>	<b>6,883</b>	<b>6,648</b>	<b>7,715</b>	<b>5,448</b>
		L13	5,334	4,628	8,010	6,121	1,974	5,868	7,309	4,686
		L21	0,814	0,709	1,227	0,714	0,333	0,778	0,373	0,717
		G1	4,523	3,926	6,789	5,412	6,194	5,144	6,943	3,975
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>4,408</b>	<b>3,821</b>	<b>6,618</b>	<b>4,674</b>	<b>4,674</b>	<b>4,536</b>	<b>4,965</b>	<b>4,134</b>
		L31	3,331	2,896	5,004	3,770	4,247	3,587	4,511	3,126
		L23	1,045	0,912	1,572	0,904	0,494	0,989	0,525	0,981
		G3	2,288	1,998	3,441	2,872	3,761	2,666	3,995	2,148
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,712</b>	<b>3,218</b>	<b>5,574</b>	<b>3,639</b>	<b>3,639</b>	<b>3,701</b>	<b>3,562</b>	<b>3,792</b>
		L23	2,415	2,096	3,624	2,554	2,929	2,512	2,867	2,466
		L12	1,262	1,101	1,896	1,019	0,585	1,170	0,572	1,29
		G2	1,157	1,012	1,737	1,541	2,356	1,385	2,306	1,182
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,429</b>	<b>3,839</b>	<b>6,648</b>	<b>4,732</b>	<b>4,732</b>	<b>4,630</b>	<b>5,070</b>	<b>4,113</b>
		L32	3,349	2,908	5,028	3,785	4,199	3,632	4,499	3,111
		L13	1,051	0,920	1,581	0,881	0,398	0,979	0,426	0,978
		G3	2,304	2,012	3,465	2,913	3,813	2,697	4,085	2,142

## ΠΒ 2: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - RF=0Ω

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 0\Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,707</b>	<b>3,214</b>	<b>5,565</b>	<b>3,623</b>	<b>3,623</b>	<b>3,689</b>	<b>3,535</b>	<b>3,798</b>
		L12	1,228	1,124	1,938	1,044	0,616	0,196	0,601	1,323
		L31	0,210	0,186	0,318	0,149	0,036	0,188	0,035	0,216
		G1	1,498	1,309	2,253	1,193	0,651	1,380	0,635	1,536
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>6,226</b>	<b>5,399</b>	<b>9,351</b>	<b>6,948</b>	<b>6,948</b>	<b>6,687</b>	<b>7,839</b>	<b>5,427</b>
		L21	0,864	0,753	1,302	0,775	0,394	0,830	0,445	0,756
		L32	0,228	0,200	0,345	0,188	0,054	0,212	0,061	0,201
		G2	0,636	0,553	0,957	0,585	0,341	0,619	0,384	0,555
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>4,408</b>	<b>3,821</b>	<b>6,618</b>	<b>4,674</b>	<b>4,674</b>	<b>4,536</b>	<b>4,965</b>	<b>4,134</b>
		L13	1,082	0,946	1,626	0,910	0,436	1,009	0,463	1,017
		L21	0,415	0,365	0,624	0,319	0,077	0,375	0,082	0,39
		G1	1,497	1,312	2,253	1,229	0,513	1,384	0,545	1,407
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>6,199</b>	<b>5,376</b>	<b>9,312</b>	<b>6,883</b>	<b>6,883</b>	<b>6,648</b>	<b>7,715</b>	<b>5,448</b>
		L31	0,870	0,758	1,311	0,767	0,368	0,830	0,413	0,768
		L23	0,191	0,167	0,288	0,152	0,033	0,176	0,038	0,168
		G3	1,061	0,925	1,599	0,920	0,401	1,006	0,450	0,936
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,429</b>	<b>3,839</b>	<b>6,648</b>	<b>4,732</b>	<b>4,732</b>	<b>4,630</b>	<b>5,070</b>	<b>4,113</b>
		L23	1,081	0,943	1,626	0,949	0,538	1,026	0,577	1,005
		L12	0,438	0,385	0,66	0,341	0,088	0,397	0,094	0,408
		G2	0,643	0,558	0,969	0,609	0,452	0,636	0,484	0,6
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,712</b>	<b>3,218</b>	<b>5,574</b>	<b>3,639</b>	<b>3,639</b>	<b>3,701</b>	<b>3,562</b>	<b>3,792</b>
		L32	1,268	1,129	1,953	1,087	0,717	1,221	0,702	1,329
		L13	0,224	0,198	0,339	0,160	0,041	0,201	0,040	0,231
		G3	1,074	0,933	1,617	0,928	0,677	1,026	0,663	1,101

ΠΒ 3: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=0,5\Omega/10\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 0,5\Omega$			$R_F = 10\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>6,173</b>	<b>5,383</b>	<b>9,324</b>	<b>3,611</b>	<b>3,611</b>	<b>3,687</b>	<b>3,700</b>	<b>3,369</b>
		L12	5,318	4,639	8,031	3,209	3,408	3,237	3,493	2,901
		L31	0,816	0,715	1,236	0,108	0,160	0,437	0,164	0,447
		G1	4,509	3,935	6,807	2,841	3,252	2,830	3,333	2,460
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,682</b>	<b>3,205</b>	<b>5,550</b>	<b>2,654</b>	<b>2,654</b>	<b>2,687</b>	<b>2,610</b>	<b>2,697</b>
		L21	2,403	2,098	3,624	1,891	2,208	1,840	2,172	1,761
		L32	1,261	1,101	1,905	0,772	0,500	0,856	0,491	0,924
		G2	1,146	1,007	1,728	1,123	1,717	1,011	1,689	0,840
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>6,146</b>	<b>5,360</b>	<b>9,285</b>	<b>3,593</b>	<b>3,593</b>	<b>3,665</b>	<b>3,674</b>	<b>3,369</b>
		L13	5,289	4,614	7,986	3,196	3,404	3,223	3,481	2,898
		L21	0,807	0,707	1,224	0,373	0,174	0,435	0,178	0,444
		G1	4,485	3,915	6,771	2,825	3,234	2,812	3,307	2,457
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>4,375</b>	<b>3,810</b>	<b>6,600</b>	<b>3,060</b>	<b>3,060</b>	<b>3,061</b>	<b>3,131</b>	<b>2,862</b>
		L31	3,305	2,887	4,989	2,468	2,780	2,415	2,844	2,163
		L23	1,037	0,909	1,569	0,591	0,324	0,668	0,331	0,681
		G3	2,271	1,992	3,429	1,880	2,462	1,789	2,519	1,488
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,687</b>	<b>3,209</b>	<b>5,559</b>	<b>2,662</b>	<b>2,662</b>	<b>2,690</b>	<b>2,623</b>	<b>2,694</b>
		L23	2,399	2,090	3,615	1,869	2,143	1,829	2,111	1,752
		L12	1,253	1,098	1,893	0,746	0,428	0,840	0,421	0,918
		G2	1,149	1,010	1,734	1,128	1,723	1,013	1,698	0,840
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,396</b>	<b>3,828</b>	<b>6,630</b>	<b>3,083</b>	<b>3,083</b>	<b>3,086</b>	<b>3,169</b>	<b>2,856</b>
		L32	3,324	2,900	5,013	2,466	2,736	2,413	2,812	2,160
		L13	1,044	0,917	1,578	0,574	0,259	0,662	0,266	0,678
		G3	2,287	2,006	3,453	1,898	2,484	1,809	2,553	1,488

ΠΒ 4: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  $R_F=0,5\Omega/10\Omega$ 

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 0,5\Omega$			$R_F = 10\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,682</b>	<b>3,205</b>	<b>5,550</b>	<b>2,654</b>	<b>2,654</b>	<b>2,687</b>	<b>2,610</b>	<b>2,697</b>
		L12	1,280	1,121	1,932	0,756	0,451	0,858	0,444	0,939
		L31	0,209	0,185	0,315	0,109	0,026	0,136	0,026	0,153
		G1	1,488	1,305	2,247	0,874	0,477	0,992	0,469	1,092
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>6,173</b>	<b>5,383</b>	<b>9,324</b>	<b>3,611</b>	<b>3,611</b>	<b>3,687</b>	<b>3,700</b>	<b>3,369</b>
		L21	0,857	0,750	1,299	0,403	0,205	0,464	0,210	0,468
		L32	0,226	0,199	0,342	0,098	0,028	0,119	0,029	0,123
		G2	0,631	0,551	0,954	0,305	0,177	0,346	0,181	0,345
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>4,375</b>	<b>3,810</b>	<b>6,600</b>	<b>3,060</b>	<b>3,060</b>	<b>3,061</b>	<b>3,131</b>	<b>2,862</b>
		L13	1,074	0,944	1,623	0,596	0,286	0,682	0,292	0,702
		L21	0,412	0,364	0,624	0,209	0,051	0,253	0,052	0,270
		G1	1,485	1,308	2,247	0,804	0,336	0,935	0,343	0,972
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>6,146</b>	<b>5,360</b>	<b>9,285</b>	<b>3,593</b>	<b>3,593</b>	<b>3,665</b>	<b>3,674</b>	<b>3,369</b>
		L31	0,862	0,756	1,308	0,400	0,192	0,465	0,197	0,474
		L23	0,189	0,167	0,288	0,080	0,017	0,099	0,018	0,105
		G3	1,052	0,922	1,593	0,480	0,210	0,563	0,214	0,579
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,396</b>	<b>3,828</b>	<b>6,630</b>	<b>3,083</b>	<b>3,083</b>	<b>3,086</b>	<b>3,169</b>	<b>2,856</b>
		L23	1,073	0,940	1,620	0,618	0,351	0,694	0,361	0,699
		L12	0,435	0,384	0,657	0,222	0,057	0,268	0,059	0,282
		G2	0,638	0,557	0,966	0,397	0,294	0,394	0,303	0,417
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,687</b>	<b>3,209</b>	<b>5,559</b>	<b>2,662</b>	<b>2,662</b>	<b>2,690</b>	<b>2,623</b>	<b>2,694</b>
		L32	1,289	1,126	1,947	0,795	0,525	0,877	0,517	0,945
		L13	0,223	0,197	0,336	0,117	0,030	0,145	0,029	0,162
		G3	1,067	0,930	1,614	0,679	0,496	0,737	0,488	0,783

ΠΒ 5: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=1\Omega/20\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 1\Omega$			$R_F = 20\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>6,092</b>	<b>5,361</b>	<b>9,285</b>	<b>2,055</b>	<b>2,055</b>	<b>2,090</b>	<b>2,066</b>	<b>2,004</b>
		L12	5,249	4,620	7,998	1,826	1,939	1,834	1,950	1,725
		L31	0,805	0,712	1,230	0,212	0,091	0,251	0,092	0,267
		G1	4,449	3,919	6,777	1,617	1,851	1,601	1,861	1,464
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,651</b>	<b>3,194</b>	<b>5,532</b>	<b>1,791</b>	<b>1,791</b>	<b>1,803</b>	<b>1,775</b>	<b>1,677</b>
		L21	2,383	2,091	3,612	1,276	1,490	1,235	1,476	1,173
		L32	1,250	1,098	1,899	0,521	0,337	0,576	0,205	1,221
		G2	1,136	1,004	1,722	0,758	1,158	0,680	1,148	0,558
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>6,065</b>	<b>5,338</b>	<b>9,246</b>	<b>2,050</b>	<b>2,050</b>	<b>2,085</b>	<b>2,060</b>	<b>2,004</b>
		L13	5,219	4,595	7,953	1,823	1,942	1,831	1,951	1,725
		L21	0,796	0,704	1,218	0,213	0,099	0,250	0,100	0,264
		G1	4,426	3,898	6,741	1,612	1,845	1,595	1,854	1,461
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>4,332</b>	<b>3,797</b>	<b>6,576</b>	<b>1,917</b>	<b>1,917</b>	<b>1,927</b>	<b>1,932</b>	<b>1,857</b>
		L31	3,373	2,877	4,971	1,547	1,742	1,518	1,755	1,404
		L23	1,027	0,906	1,563	0,371	0,203	0,423	0,204	0,441
		G3	2,249	1,958	3,417	1,178	1,543	1,121	1,554	0,966
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,656</b>	<b>3,199</b>	<b>5,541</b>	<b>1,794</b>	<b>1,794</b>	<b>1,804</b>	<b>1,779</b>	<b>1,794</b>
		L23	2,379	2,084	3,603	1,259	1,444	1,227	1,432	1,167
		L12	1,243	1,094	1,887	0,502	0,288	0,565	0,286	0,612
		G2	1,139	1,006	1,728	0,760	1,160	0,681	1,152	0,561
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,353</b>	<b>3,815</b>	<b>6,606</b>	<b>1,925</b>	<b>1,925</b>	<b>1,937</b>	<b>1,943</b>	<b>1,857</b>
		L32	3,292	2,890	4,995	1,540	1,708	1,511	1,725	1,404
		L13	1,033	0,914	1,572	0,359	0,162	0,418	0,163	0,441
		G3	2,265	1,999	3,441	1,185	1,551	1,130	1,566	0,966



ΠΒ 6: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - RF=1Ω/20Ω

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	R <sub>F</sub> = 1Ω			R <sub>F</sub> = 20Ω				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		I <sub>ph</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,651</b>	<b>3,194</b>	<b>5,532</b>	<b>1,791</b>	<b>1,791</b>	<b>1,803</b>	<b>1,775</b>	<b>1,677</b>
		L12	1,269	1,117	1,926	0,516	0,304	0,578	0,302	0,624
		L31	0,207	0,184	0,315	0,074	0,018	0,091	0,018	0,102
		G1	1,475	1,301	2,238	0,589	0,322	0,667	0,319	0,726
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>6,092</b>	<b>5,361</b>	<b>9,285</b>	<b>2,055</b>	<b>2,055</b>	<b>2,090</b>	<b>2,066</b>	<b>2,004</b>
		L21	0,846	0,747	1,293	0,229	0,117	0,266	0,117	0,279
		L32	0,223	0,198	0,342	0,056	0,016	0,068	0,016	0,075
		G2	0,623	0,549	0,951	0,174	0,101	0,198	0,101	0,204
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>4,332</b>	<b>3,797</b>	<b>6,576</b>	<b>1,917</b>	<b>1,917</b>	<b>1,927</b>	<b>1,932</b>	<b>1,857</b>
		L13	1,063	0,940	1,617	0,373	0,179	0,432	0,180	0,456
		L21	0,408	0,363	0,621	0,131	0,032	0,161	0,032	0,174
		G1	1,471	1,303	2,238	0,504	0,210	0,592	0,212	0,633
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>6,065</b>	<b>5,338</b>	<b>9,246</b>	<b>2,050</b>	<b>2,050</b>	<b>2,085</b>	<b>2,060</b>	<b>2,004</b>
		L31	0,851	0,753	1,302	0,228	0,110	0,267	0,110	0,282
		L23	0,187	0,166	0,285	0,045	0,010	0,057	0,010	0,063
		G3	1,038	0,919	1,587	0,274	0,120	0,324	0,120	0,345
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,353</b>	<b>3,815</b>	<b>6,606</b>	<b>1,925</b>	<b>1,925</b>	<b>1,937</b>	<b>1,943</b>	<b>1,857</b>
		L23	1,062	0,937	1,614	0,386	0,219	0,438	0,221	0,453
		L12	0,430	0,383	0,654	0,139	0,036	0,170	0,036	0,183
		G2	0,632	0,555	0,963	0,248	0,184	0,271	0,186	0,270
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,656</b>	<b>3,199</b>	<b>5,541</b>	<b>1,794</b>	<b>1,794</b>	<b>1,804</b>	<b>1,779</b>	<b>1,794</b>
		L32	1,278	1,122	1,941	0,536	0,353	0,590	0,351	0,630
		L13	0,221	0,197	0,336	0,079	0,020	0,097	0,020	0,108
		G3	1,058	0,927	1,608	0,457	0,334	0,496	0,331	0,522

ΠΒ 7: Δίκτυο 3 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=2\Omega/40$

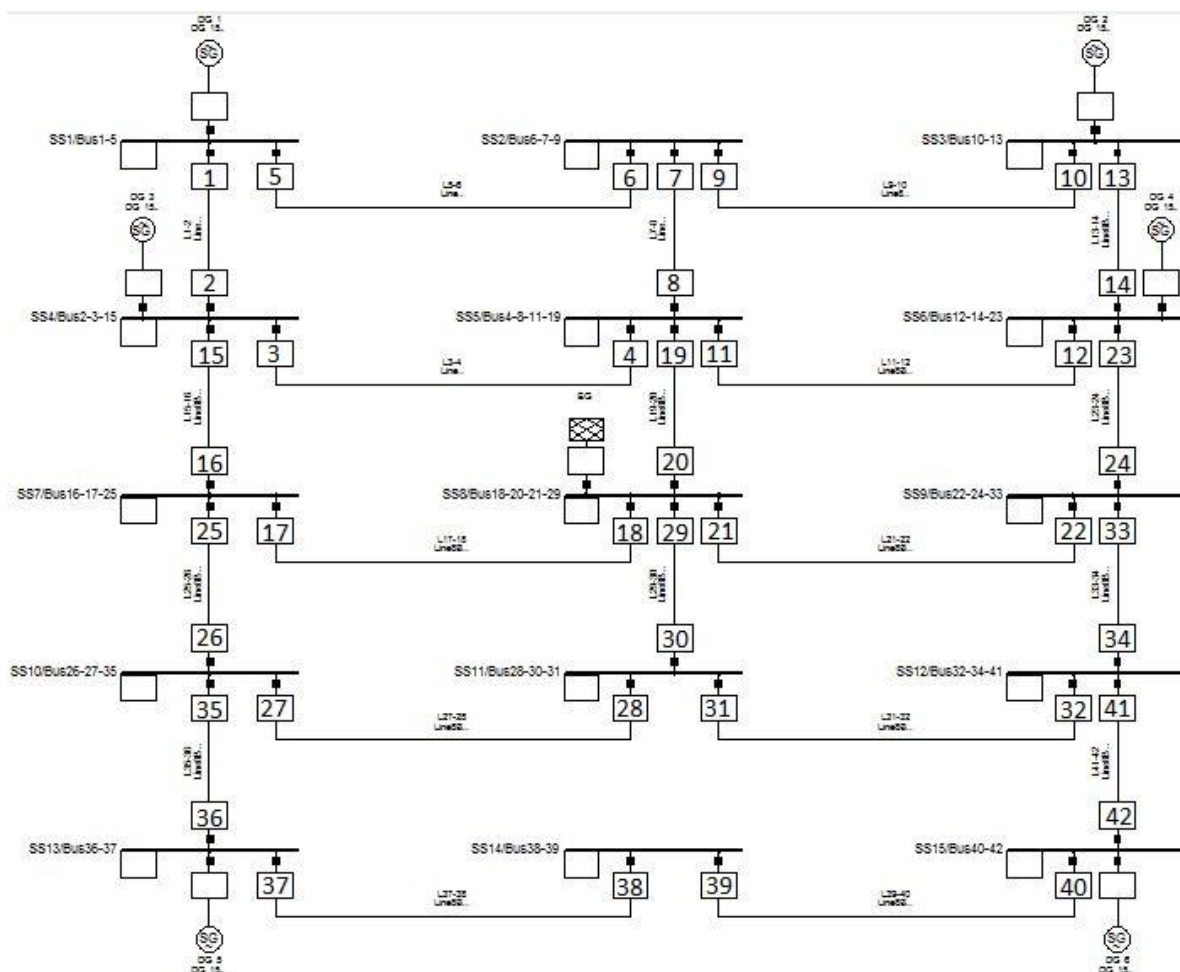
Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 2\Omega$			$R_F = 40\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>5,859</b>	<b>5,299</b>	<b>9,177</b>	<b>1,072</b>	<b>1,072</b>	<b>1,084</b>	<b>1,073</b>	<b>1,062</b>
		L12	5,048	4,562	7,905	0,953	1,012	0,950	1,013	0,915
		L31	0,774	0,704	1,218	0,110	0,048	0,131	0,048	0,141
		G1	4,279	3,873	6,699	0,844	0,966	0,829	0,966	0,777
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,574</b>	<b>3,170</b>	<b>5,490</b>	<b>1,018</b>	<b>1,018</b>	<b>1,022</b>	<b>1,015</b>	<b>1,017</b>
		L21	2,333	2,075	3,585	0,726	0,847	0,700	0,844	0,663
		L32	1,223	1,089	1,884	0,296	0,192	0,329	0,191	0,348
		G2	1,112	0,996	1,710	0,431	0,659	0,386	0,656	0,318
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>5,833</b>	<b>5,275</b>	<b>9,138</b>	<b>1,071</b>	<b>1,071</b>	<b>1,082</b>	<b>1,071</b>	<b>1,062</b>
		L13	5,019	4,541	7,860	0,953	1,015	0,950	1,015	0,915
		L21	0,766	0,696	1,203	0,111	0,052	0,131	0,052	0,141
		G1	4,256	3,853	6,663	0,842	0,964	0,827	0,964	0,774
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>4,220</b>	<b>3,763</b>	<b>6,519</b>	<b>1,045</b>	<b>1,045</b>	<b>1,050</b>	<b>1,047</b>	<b>1,032</b>
		L31	3,188	2,852	4,929	0,843	0,950	0,826	0,951	0,780
		L23	1,001	0,898	1,548	0,202	0,111	0,231	0,111	0,246
		G3	2,190	1,967	3,387	0,642	0,841	0,609	0,842	0,537
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,578</b>	<b>3,174</b>	<b>5,499</b>	<b>1,019</b>	<b>1,019</b>	<b>1,022</b>	<b>1,016</b>	<b>1,017</b>
		L23	2,328	2,068	3,576	0,715	0,820	0,695	0,818	0,660
		L12	1,216	1,086	1,872	0,285	0,164	0,322	0,163	0,345
		G2	1,115	0,999	1,713	0,432	0,660	0,386	0,657	0,318
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,240</b>	<b>3,782</b>	<b>6,549</b>	<b>1,047</b>	<b>1,047</b>	<b>1,053</b>	<b>1,050</b>	<b>1,002</b>
		L32	3,206	2,864	4,953	0,838	0,929	0,821	0,932	0,780
		L13	1,007	0,906	1,557	0,195	0,088	0,229	0,088	0,246
		G3	2,206	1,981	3,411	0,645	0,844	0,612	0,846	0,537

ΠΒ 8: Δίκτυο 3 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  $R_F=2\Omega/40\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφο- ρές	$R_F = 2\Omega$			$R_F = 40\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,574</b>	<b>3,170</b>	<b>5,490</b>	<b>1,018</b>	<b>1,018</b>	<b>1,022</b>	<b>1,015</b>	<b>1,017</b>
		L12	1,242	1,109	1,911	0,294	0,173	0,329	0,172	0,354
		L31	0,203	0,183	0,312	0,042	0,010	0,052	0,010	0,057
		G1	1,444	1,291	2,220	0,335	0,183	0,380	0,182	0,411
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>5,859</b>	<b>5,299</b>	<b>9,177</b>	<b>1,072</b>	<b>1,072</b>	<b>1,084</b>	<b>1,073</b>	<b>1,062</b>
		L21	0,813	0,739	1,278	0,120	0,061	0,139	0,061	0,147
		L32	0,215	0,196	0,339	0,029	0,008	0,036	0,008	0,039
		G2	0,599	0,543	0,939	0,091	0,053	0,103	0,053	0,108
<b>1</b>	<b>3</b>		<b>4,220</b>	<b>3,763</b>	<b>6,519</b>	<b>1,045</b>	<b>1,045</b>	<b>1,050</b>	<b>1,047</b>	<b>1,032</b>
		L13	1,036	0,932	1,602	0,204	0,098	0,236	0,089	0,255
		L21	0,397	0,360	0,615	0,071	0,017	0,088	0,017	0,096
		G1	1,433	1,292	2,217	0,275	0,115	0,324	0,115	0,351
<b>3</b>	<b>1</b>		<b>5,833</b>	<b>5,275</b>	<b>9,138</b>	<b>1,071</b>	<b>1,071</b>	<b>1,082</b>	<b>1,071</b>	<b>1,062</b>
		L31	0,818	0,744	1,287	0,119	0,057	0,139	0,057	0,150
		L23	0,180	0,164	0,282	0,024	0,005	0,030	0,005	0,033
		G3	0,998	0,908	1,569	0,143	0,062	0,169	0,062	0,183
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,240</b>	<b>3,782</b>	<b>6,549</b>	<b>1,047</b>	<b>1,047</b>	<b>1,053</b>	<b>1,050</b>	<b>1,002</b>
		L23	1,035	0,929	1,602	0,210	0,119	0,239	0,119	0,252
		L12	0,419	0,379	0,651	0,075	0,019	0,093	0,020	0,102
		G2	0,616	0,550	0,954	0,135	0,100	0,147	0,100	0,150
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,578</b>	<b>3,174</b>	<b>5,499</b>	<b>1,019</b>	<b>1,019</b>	<b>1,022</b>	<b>0,016</b>	<b>1,017</b>
		L32	1,251	1,114	1,926	0,304	0,201	0,336	0,200	0,357
		L13	0,216	0,195	0,333	0,045	0,011	0,055	0,011	0,063
		G3	1,036	0,920	1,596	0,260	0,190	0,283	0,189	0,294

### 4.3 Δίκτυο 15 ζυγών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η προσομοίωση στο PowerFactory ενός δικτύου 15 ζυγών [14]. Πρόκειται για ένα δίκτυο υψηλής διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής η τοπολογία του οποίου φαίνεται στο σχήμα E4.9. Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, αρχικά διατυπώνονται τα χαρακτηριστικά όλων των στοιχείων του και στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων. Μετά παρουσιάζεται η προσθήκη και η παραμετροποίηση των ηλεκτρονόμων υπερέντασης και των μετασχηματιστών οργάνων στο δίκτυο με την αρίθμηση που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης προστασίας υπερέντασης.



E4.9: Τοπολογία του δικτύου 15 ζυγών

#### 4.3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου

Το δίκτυο αποτελείται από 15 ζυγούς, 21 γραμμές και 6 γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής. Επίσης τροφοδοτείται από ένα εξωτερικό σύστημα. Η ονομαστική τάση του δικτύου είναι 20kV και η ονομαστική του συχνότητα είναι 50Hz.

Οι ζυγοί υλοποιούνται με το εργαλείο σχεδίασης Single Busbar System και δεν τους αποδίδεται κάποιο μοντέλο από την βιβλιοθήκη του project. Κάθε ζυγός παίρνει το όνομά του από την αρίθμηση των ηλεκτρονόμων που είναι εγκατεστημένοι σε αυτόν όπως φαίνεται και στο σχήμα E4.9. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των ζυγών φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	In Folder	System Type	Usage	Phase Technology	Nom.L-L Volt. kV	Nom.L-G Volt. kV	Earthed	Station/Name
Bus1-5	Station 1	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS1/Bus1-5 ...
Bus10-13	Station 3	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS3/Bus10-13 ...
Bus12-14-23	Station 6	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS6/Bus12-14-23 ...
Bus16-17-25	Station 7	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS7/Bus16-17-25 ...
Bus18-20-21-29	Station 8	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS8/Bus18-20-21-29 ...
Bus2-3-15	Station 4	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS4/Bus2-3-15 ...
Bus22-24-33	Station 9	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS9/Bus22-24-33 ...
Bus26-27-35	Station 10	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS10/Bus26-27-35 ...
Bus28-30-31	Station 11	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS11/Bus28-30-31 ...
Bus32-34-41	Station 12	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS12/Bus32-34-41 ...
Bus36-37	Station 13	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS13/Bus36-37 ...
Bus38-39	Station 14	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS14/Bus38-39 ...
Bus4-8-11-19	Station 5	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS5/Bus4-8-11-19 ...
Bus40-42	Station 15	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS15/Bus40-42 ...
Bus6-7-9	Station 2	AC Busbar	ABC		20	11,54701	<input type="checkbox"/>	SS2/Bus6-7-9 ...

E4.10: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου 15 ζυγών

Όλες οι γραμμές του δικτύου έχουν την ίδια ανά μονάδα μήκους σύνθετη αντίσταση οπότε αρκεί η δημιουργία ενός μοντέλου που ονομάζεται «Line8BusSysEx» και έχει τα εξής δεδομένα:

- ονομαστικά χαρακτηριστικά 20kV, 50Hz
- τεχνικά χαρακτηριστικά OverHead Line, AC, 3 φάσεις, κανένας ουδέτερος
- παράμετροι θετικής/αρνητικής ακολουθίας  $0,19+j0.46 \Omega/\text{Km}$
- παράμετροι μηδενικής ακολουθίας  $0,57+j1.38 \Omega/\text{Km}$

Τα χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Type	Par.no.	Length km	Z1 Ohm	phiz1 deg	R1 Ohm	X1 Ohm	R0 Ohm	X0 Ohm
L1-2	Line8BusSysEx	1	20	9,953894	67,55725	3,8	9,2	11,4	27,6
L11-12	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L13-14	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7
L15-16	Line8BusSysEx	1	20	9,953894	67,55725	3,8	9,2	11,4	27,6
L17-18	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7
L19-20	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7
L21-22	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L23-24	Line8BusSysEx	1	20	9,953894	67,55725	3,8	9,2	11,4	27,6
L25-26	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7
L27-28	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L29-30	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L3-4	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L31-32	Line8BusSysEx	1	20	9,953894	67,55725	3,8	9,2	11,4	27,6
L33-34	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L35-36	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7
L37-38	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L39-40	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L41-42	Line8BusSysEx	1	20	9,953894	67,55725	3,8	9,2	11,4	27,6
L5-6	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L7-8	Line8BusSysEx	1	10	4,976947	67,55725	1,9	4,6	5,7	13,8
L9-10	Line8BusSysEx	1	15	7,46542	67,55725	2,85	6,9	8,55	20,7

E4.11: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου 15 ζυγών

Οι 6 γεννήτριες διεσπαρμένης παρμένης παραγωγής είναι επίσης όμοιες μεταξύ τους οπότε αρκεί η δημιουργία ενός μοντέλου σύγχρονης μηχανής. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται «DG 15MVA/20KV/15%» και έχει τα εξής δεδομένα:

- ονομαστικά χαρακτηριστικά 15MVA, 20kV, ΣΙ 0,8 και σύνδεση Y
- αμελητέες ωμικές αντιστάσεις
- υπομεταβατική αντίδραση και αντίδραση αρνητικής ακολουθίας ίσες με 0,15 α.μ.
- αντίδραση μηδενικής ακολουθίας ίση με 0,1 α.μ.

Τα χαρακτηριστικά των γεννητριών του δικτύου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Type TypSym	Terminal Substation	Terminal	Par.no.	Generator/Motor	Wind Generator	Star Point	Re Ohm	Xe Ohm
DG 1	DG 15MVA/20KV/15%	Station 1	Bus1-5	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
DG 2	DG 15MVA/20KV/15%	Station 3	Bus10-13	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
DG 3	DG 15MVA/20KV/15%	Station 4	Bus2-3-15	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
DG 4	DG 15MVA/20KV/15%	Station 6	Bus12-14-23	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
DG 5	DG 15MVA/20KV/15%	Station 13	Bus36-37	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.
DG 6	DG 15MVA/20KV/15%	Station 15	Bus40-42	1	0	<input type="checkbox"/>	Connected	0.	0.

Ε4.12: Χαρακτηριστικά των γεννητριών του δικτύου 15 ζυγών

Το εξωτερικό σύστημα που τροφοδοτεί το δίκτυο έχει μέγιστη ισχύ βραχυκύκλωσης 200 MVA. Για τους λόγους των αντιστάσεων του λαμβάνονται οι τυπικές τιμές  $Z2/Z1=1$ ,  $X0/X1=3$ ,  $R0/X0=0,2$  και  $R/X=0,1$ .

### 4.3.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων του δικτύου 15 ζυγών. Η δομή των πινάκων και οι πληροφορίες που καταγράφονται είναι οι ίδιες όπως και στην προηγούμενη ενότητα. Για κάθε έναν από τους 42 ηλεκτρονόμους του δικτύου υπολογίζονται όλα τα είδη βραχυκυκλωμάτων, για τις close-in και far-end θέσεις και για τέσσερις διαφορετικές τιμές της αντίστασης σφάλματος. Σε κάθε περίπτωση καταγράφονται οι μεταβλητές ενδιαφέροντος στην κατάλληλη μορφή όπως και προηγουμένως, τόσο για τον ηλεκτρονόμο όσο για τις συνεισφορές των κλάδων πίσω του σε βάθος ενός ζυγού.

ΠΒ 9: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=0\Omega$

Κλάδοι		Συνεισφορές	$R_F = 0\Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>5,251</b>	<b>4,545</b>	<b>7,872</b>	<b>5,259</b>	<b>5,259</b>	<b>5,353</b>	<b>5,270</b>	<b>5,244</b>
		L5-6	4,010	3,484	6,018	4,281	4,807	4,192	4,818	4,011
		L1-2	0,943	0,826	1,419	0,752	0,367	0,865	0,368	0,945
		DG1	3,091	2,700	4,656	3,554	4,462	3,368	4,472	3,102
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>4,238</b>	<b>3,677</b>	<b>6,369</b>	<b>2,944</b>	<b>2,944</b>	<b>3,900</b>	<b>2,249</b>	<b>5,244</b>
		L6-5	2,694	2,340	4,047	1,831	1,751	2,463	1,338	3,333
		L7-8	1,525	1,326	2,289	1,018	0,935	1,387	0,714	1,884
		L9-10	1,169	1,015	1,758	0,814	0,817	1,078	0,624	1,449
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,211</b>	<b>3,654</b>	<b>6,327</b>	<b>2,920</b>	<b>2,920</b>	<b>3,874</b>	<b>2,228</b>	<b>5,214</b>
		L9-10	3,020	2,620	4,536	2,091	2,084	2,776	1,590	3,738
		L5-6	1,507	1,311	2,268	1,083	1,158	1,404	0,883	1,869
		L7-8	1,514	1,316	2,271	1,008	0,927	1,376	0,707	1,872
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>5,258</b>	<b>4,551</b>	<b>7,881</b>	<b>5,227</b>	<b>5,227</b>	<b>5,327</b>	<b>5,201</b>	<b>5,289</b>
		L10-9	4,233	3,675	6,354	4,423	4,847	4,372	4,822	4,263
		L13-14	1,199	1,049	1,803	0,953	0,474	1,098	0,472	1,209
		DG2	3,063	2,676	4,611	3,499	4,399	3,329	4,377	3,096
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>5,175</b>	<b>4,479</b>	<b>7,758</b>	<b>5,120</b>	<b>5,120</b>	<b>5,224</b>	<b>5,070</b>	<b>5,229</b>
		L1-2	4,217	3,659	6,327	4,360	4,733	4,333	4,687	4,263
		L5-6	1,212	1,062	1,824	0,944	0,432	1,106	0,428	1,230
		DG1	3,038	2,654	4,575	3,449	1,328	3,295	4,286	3,084
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>6,014</b>	<b>5,205</b>	<b>9,015</b>	<b>5,742</b>	<b>5,742</b>	<b>5,989</b>	<b>5,498</b>	<b>6,273</b>
		L2-1	5,101	4,418	7,644	5,022	5,329	5,150	5,102	5,319
		L3-4	1,399	1,225	2,106	1,068	0,530	1,272	0,508	1,467
		L15-16	0,732	0,641	1,101	0,551	0,255	0,666	0,244	0,765
		DG3	3,016	2,639	4,542	3,452	4,589	3,278	4,394	3,162
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>4,238</b>	<b>3,677</b>	<b>6,369</b>	<b>2,939</b>	<b>2,939</b>	<b>3,899</b>	<b>2,242</b>	<b>5,247</b>
		L7-8	2,686	2,334	4,038	1,903	1,984	2,490	1,514	3,327
		L5-6	1,517	1,320	2,283	1,091	1,168	1,413	0,891	1,881
		L9-10	1,169	1,015	1,758	0,813	0,816	1,077	0,623	1,449
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>5,628</b>	<b>4,883</b>	<b>8,457</b>	<b>3,879</b>	<b>3,879</b>	<b>5,173</b>	<b>2,951</b>	<b>6,981</b>
		L8-7	4,418	3,833	6,636	3,050	3,061	4,059	2,328	5,478
		L3-4	1,541	1,340	2,319	1,096	1,162	1,430	0,884	1,914
		L11-12	1,576	1,370	2,370	1,113	1,166	1,459	0,887	1,956
		L19-20	1,301	1,132	1,950	0,841	0,733	1,173	0,557	1,611
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>5,270</b>	<b>4,561</b>	<b>7,899</b>	<b>5,242</b>	<b>5,242</b>	<b>5,341</b>	<b>5,219</b>	<b>5,298</b>
		L13-14	4,044	3,511	6,069	4,264	4,742	4,199	4,721	4,068
		L9-10	1,006	0,882	1,515	0,789	0,363	0,920	0,361	1,017
		DG2	3,067	2,679	4,617	3,504	4,402	3,333	4,383	3,096
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>6,341</b>	<b>5,489</b>	<b>9,507</b>	<b>6,048</b>	<b>6,048</b>	<b>6,317</b>	<b>5,784</b>	<b>6,624</b>
		L14-13	5,200	4,505	7,791	5,141	5,507	5,270	5,266	5,427
		L11-12	1,407	1,231	2,118	1,077	0,545	1,281	0,522	1,476
		L23-24	0,795	0,696	1,194	0,600	0,282	0,724	0,270	0,834
		DG4	3,045	2,668	4,584	3,514	4,727	3,319	4,520	3,192

4	5		<b>6,138</b>	<b>5,312</b>	<b>9,201</b>	<b>5,936</b>	<b>5,936</b>	<b>6,169</b>	<b>5,750</b>	<b>6,336</b>
		L3-4	4,683	4,065	7,023	4,811	5,372	4,821	5,204	4,836
		L1-2	0,889	0,777	1,341	0,703	0,389	0,818	0,377	0,924
		L15-16	0,747	0,654	1,122	0,569	0,263	0,682	0,255	0,774
		DG3	3,083	2,697	4,641	3,575	4,757	3,367	4,608	3,198
5	4		<b>5,644</b>	<b>4,897</b>	<b>8,451</b>	<b>3,896</b>	<b>3,896</b>	<b>5,189</b>	<b>2,965</b>	<b>6,999</b>
		L4-3	4,062	3,526	6,102	2,768	2,698	3,721	2,053	5,034
		L7-8	1,180	1,025	1,776	0,809	0,797	1,087	0,607	1,467
		L11-12	1,580	1,373	2,376	1,116	1,168	1,462	0,889	1,959
		L19-20	1,302	1,133	1,953	0,843	0,733	1,175	0,558	1,611
5	6		<b>5,646</b>	<b>4,898</b>	<b>8,484</b>	<b>3,896</b>	<b>3,896</b>	<b>5,190</b>	<b>2,965</b>	<b>6,999</b>
		L11-12	4,027	3,496	6,051	2,751	2,695	3,693	2,051	4,992
		L3-4	1,545	1,349	2,325	1,099	1,164	1,434	0,886	1,917
		L7-8	1,180	1,026	1,776	0,809	0,797	1,087	0,607	1,467
		L19-20	1,302	1,133	1,953	0,843	0,733	1,175	0,558	1,611
6	5		<b>6,406</b>	<b>5,545</b>	<b>9,606</b>	<b>6,148</b>	<b>6,148</b>	<b>6,411</b>	<b>5,911</b>	<b>6,660</b>
		L12-11	4,956	4,302	7,434	5,030	5,576	5,070	5,361	5,154
		L13-14	1,111	0,970	1,677	0,883	0,516	1,027	0,496	1,161
		L23-24	0,803	0,703	1,206	0,609	0,287	0,733	0,276	0,837
		DG4	3,079	2,694	4,635	3,577	4,817	3,364	4,631	3,213
4	7		<b>6,000</b>	<b>5,193</b>	<b>8,994</b>	<b>5,723</b>	<b>5,723</b>	<b>5,974</b>	<b>5,473</b>	<b>6,267</b>
		L15-16	5,240	4,543	7,860	5,147	5,442	5,270	5,205	5,475
		L1-2	0,871	0,761	1,314	0,679	0,376	0,801	0,359	0,915
		L3-4	1,400	1,225	2,106	1,067	0,529	1,272	0,506	1,467
		DG3	3,013	2,636	4,536	3,446	4,587	3,273	4,387	3,159
7	4		<b>3,232</b>	<b>2,801</b>	<b>4,851</b>	<b>2,034</b>	<b>2,034</b>	<b>2,916</b>	<b>1,483</b>	<b>4,110</b>
		L16-15	2,211	1,918	3,318	1,375	1,341	1,990	0,977	2,811
		L17-18	1,304	1,131	1,956	0,805	0,774	1,171	0,564	1,656
		L25-26	0,908	0,787	1,362	0,570	0,567	0,819	0,413	1,155
5	8		<b>5,601</b>	<b>4,860</b>	<b>8,418</b>	<b>3,851</b>	<b>3,851</b>	<b>5,146</b>	<b>2,925</b>	<b>6,954</b>
		L19-20	4,264	3,706	6,414	2,987	3,094	3,942	2,350	5,298
		L3-4	1,530	1,330	2,301	1,085	1,151	1,419	0,874	1,899
		L7-8	1,171	1,017	1,761	0,800	0,788	1,078	0,599	1,455
		L11-12	1,564	1,359	2,352	1,102	1,154	1,447	0,877	1,944
8	5		<b>8,666</b>	<b>7,513</b>	<b>13,014</b>	<b>5,376</b>	<b>5,376</b>	<b>7,892</b>	<b>3,888</b>	<b>11,073</b>
		L20-19	7,572	6,565	11,364	4,671	4,621	6,892	3,342	9,669
		L17-18	0,615	0,535	0,924	0,397	0,426	0,561	0,310	0,786
		L21-22	0,811	0,705	1,218	0,523	0,561	0,739	0,346	1,398
		L29-30	0,665	0,578	0,999	0,427	0,455	0,606	0,329	0,852
		EG	5,523	4,789	8,277	3,345	3,190	5,012	2,307	7,041
6	9		<b>6,262</b>	<b>5,421</b>	<b>9,390</b>	<b>5,924</b>	<b>5,924</b>	<b>6,208</b>	<b>5,626</b>	<b>6,585</b>
		L23-24	5,443	4,720	8,166	5,306	5,618	5,451	5,332	5,727
		L11-12	1,390	1,216	2,094	1,055	0,534	1,262	0,507	1,467
		L13-14	1,087	0,949	1,641	0,852	0,497	1,004	0,472	1,149
		DG4	3,008	2,632	4,527	3,446	4,641	3,268	4,405	3,177
9	6		<b>3,773</b>	<b>3,271</b>	<b>5,664</b>	<b>2,370</b>	<b>2,370</b>	<b>3,407</b>	<b>1,725</b>	<b>4,803</b>
		L24-23	2,751	2,386	4,131	1,710	1,675	2,479	1,219	3,501
		L21-22	1,803	1,564	2,706	1,112	1,072	1,622	0,780	2,292
		L33-34	0,948	0,823	1,425	0,598	0,604	0,857	0,439	1,206
7	8		<b>3,252</b>	<b>2,818</b>	<b>4,881</b>	<b>2,045</b>	<b>2,045</b>	<b>2,934</b>	<b>1,489</b>	<b>4,137</b>



		L17-18	1,912	1,659	2,871	1,218	1,249	1,730	0,910	2,433
		L15-16	1,000	0,868	1,503	0,646	0,679	0,907	0,494	1,272
		L25-26	0,912	0,791	1,371	0,572	0,570	0,823	0,415	1,161
8	7		<b>8,662</b>	<b>7,475</b>	<b>12,945</b>	<b>5,347</b>	<b>5,347</b>	<b>7,851</b>	<b>3,866</b>	<b>11,016</b>
		L18-17	7,966	6,906	11,958	4,923	4,890	7,251	3,536	10,176
		L19-20	1,039	0,904	1,563	0,668	0,716	0,947	0,518	1,329
		L21-22	0,810	0,705	1,218	0,522	0,560	0,739	0,405	1,038
		L29-30	0,654	0,569	0,984	0,420	0,449	0,597	0,325	0,837
		EG	5,509	4,777	8,256	3,336	3,182	4,999	2,301	7,026
8	9		<b>8,758</b>	<b>7,593</b>	<b>13,152</b>	<b>5,434</b>	<b>5,434</b>	<b>7,978</b>	<b>3,930</b>	<b>11,190</b>
		L21-22	7,903	6,852	11,862	4,882	4,841	7,195	3,502	10,095
		L17-18	0,625	0,543	0,939	0,403	0,435	0,570	0,315	0,798
		L19-20	1,057	0,919	1,590	0,680	0,728	0,963	0,527	1,353
		L29-30	0,668	0,581	1,005	0,429	0,458	0,609	0,331	0,855
		EG	5,599	4,855	8,391	3,392	3,236	5,082	2,341	7,140
9	8		<b>3,824</b>	<b>3,315</b>	<b>5,742</b>	<b>2,400</b>	<b>2,400</b>	<b>3,452</b>	<b>1,746</b>	<b>4,866</b>
		L22-21	1,965	1,705	2,952	1,254	1,294	1,780	0,942	2,502
		L23-24	1,005	0,872	1,509	0,648	0,682	0,912	0,496	1,278
		L33-34	0,960	0,833	1,443	0,606	0,612	0,868	0,445	1,224
7	10		<b>3,236</b>	<b>2,805</b>	<b>4,857</b>	<b>2,036</b>	<b>2,036</b>	<b>2,920</b>	<b>1,483</b>	<b>4,116</b>
		L25-26	2,306	1,998	3,462	1,451	1,453	2,080	1,059	2,931
		L15-16	0,998	0,866	1,500	0,644	0,209	0,905	0,493	1,269
		L17-18	1,308	1,134	1,962	0,807	0,776	1,175	0,565	1,662
10	7		<b>3,277</b>	<b>2,841</b>	<b>4,920</b>	<b>2,110</b>	<b>2,110</b>	<b>2,970</b>	<b>1,553</b>	<b>4,143</b>
		L26-25	2,358	2,045	3,543	1,532	1,560	2,142	1,148	2,982
		L27-28	1,182	1,026	1,773	0,739	0,695	1,063	0,512	1,494
		L35-36	1,176	1,023	1,770	0,793	0,865	1,081	0,637	1,491
8	11		<b>8,748</b>	<b>7,854</b>	<b>13,137</b>	<b>5,427</b>	<b>5,427</b>	<b>7,968</b>	<b>3,925</b>	<b>11,178</b>
		L29-30	8,043	6,973	12,072	4,974	4,943	7,323	3,575	10,272
		L17-18	0,619	0,538	0,930	0,400	0,432	0,565	0,312	0,792
		L19-20	1,057	0,920	1,590	0,680	0,728	0,964	0,526	1,353
		L21-22	0,818	0,711	1,230	0,527	0,566	0,746	0,409	1,047
		EG	5,596	4,852	8,385	3,390	3,234	5,079	2,339	7,134
11	8		<b>3,614</b>	<b>3,133</b>	<b>5,427</b>	<b>2,246</b>	<b>2,246</b>	<b>3,260</b>	<b>1,627</b>	<b>4,614</b>
		L30-29	1,778	1,543	2,670	1,120	1,148	1,609	0,832	2,271
		L27-28	1,066	0,925	1,602	0,675	0,699	0,966	0,506	1,362
		L31-32	0,712	0,617	1,068	0,445	0,449	0,643	0,326	0,909
9	12		<b>3,798</b>	<b>3,292</b>	<b>5,703</b>	<b>2,384</b>	<b>2,384</b>	<b>3,429</b>	<b>1,735</b>	<b>4,833</b>
		L33-34	2,823	2,447	4,239	1,769	1,763	2,548	1,283	3,594
		L21-22	1,822	1,580	2,733	1,123	1,083	1,639	0,788	2,316
		L23-24	1,002	0,870	1,506	0,646	0,680	0,909	0,495	1,275
12	9		<b>3,050</b>	<b>2,644</b>	<b>4,578</b>	<b>1,935</b>	<b>1,935</b>	<b>2,756</b>	<b>1,414</b>	<b>3,870</b>
		L34-33	1,754	1,522	2,634	1,127	1,156	1,591	0,845	2,229
		L31-32	0,798	0,692	1,197	0,497	0,479	0,718	0,350	1,014
		L41-42	0,956	0,831	1,437	0,630	,677	0,874	0,495	1,215
10	11		<b>3,294</b>	<b>2,856</b>	<b>4,947</b>	<b>2,121</b>	<b>2,121</b>	<b>2,985</b>	<b>1,562</b>	<b>4,164</b>
		L27-28	2,086	1,811	3,135	1,366	1,410	1,899	1,038	2,640
		L25-26	0,905	0,785	1,356	0,568	0,540	0,814	0,397	1,143
		L35-36	1,182	1,029	1,779	0,798	0,870	1,087	0,641	1,497
11	10		<b>3,593</b>	<b>3,115</b>	<b>5,394</b>	<b>2,234</b>	<b>2,234</b>	<b>3,241</b>	<b>1,618</b>	<b>4,584</b>

		L28-27	2,513	2,178	3,771	1,549	0,520	2,262	1,105	3,204
		L29-30	1,802	1,563	2,703	1,105	1,076	1,620	0,780	2,298
		L31-32	0,711	0,616	1,068	0,444	0,449	0,642	0,325	0,906
11	12		<b>3,554</b>	<b>3,080</b>	<b>5,334</b>	<b>2,208</b>	<b>2,208</b>	<b>3,205</b>	<b>1,599</b>	<b>4,536</b>
		L31-32	2,829	2,452	4,245	1,755	1,750	2,550	1,268	3,609
		L27-28	1,050	0,912	1,578	0,665	0,688	0,951	0,499	1,341
		L29-30	1,779	1,542	2,667	1,090	1,062	1,599	0,769	2,268
12	11		<b>3,021</b>	<b>2,619</b>	<b>4,536</b>	<b>1,915</b>	<b>1,915</b>	<b>2,730</b>	<b>1,400</b>	<b>3,837</b>
		L32-31	2,210	1,916	3,318	1,410	1,428	2,000	1,044	2,805
		L33-34	1,264	1,097	1,896	0,787	0,758	1,136	0,554	1,605
		L41-42	0,946	0,822	1,422	0,623	0,670	0,865	0,490	1,203
10	13		<b>3,288</b>	<b>2,850</b>	<b>4,938</b>	<b>2,121</b>	<b>2,121</b>	<b>2,980</b>	<b>1,563</b>	<b>4,155</b>
		L35-36	2,088	1,812	3,132	1,309	1,235	1,878	0,910	2,637
		L25-26	0,902	0,783	1,353	0,567	0,538	0,811	0,396	1,140
		L27-28	1,186	1,029	1,779	0,742	0,697	1,066	0,514	1,497
13	10		<b>4,868</b>	<b>4,213</b>	<b>7,299</b>	<b>4,911</b>	<b>4,911</b>	<b>4,965</b>	<b>4,959</b>	<b>4,824</b>
		L36-35	3,964	3,445	5,955	4,206	4,613	4,116	4,658	3,936
		L37-38	0,918	0,804	1,383	0,736	0,354	0,844	0,358	0,915
		DG5	3,068	2,679	4,620	3,493	4,279	3,331	4,321	3,054
12	15		<b>3,029</b>	<b>2,626</b>	<b>4,548</b>	<b>1,923</b>	<b>1,923</b>	<b>2,738</b>	<b>1,407</b>	<b>3,843</b>
		L41-42	2,059	1,789	3,090	1,283	1,235	1,851	0,903	2,610
		L31-32	0,791	0,686	1,188	0,493	0,474	0,712	0,347	1,005
		L33-34	1,268	1,100	1,902	0,790	0,761	1,139	0,556	1,608
15	12		<b>4,698</b>	<b>4,067</b>	<b>7,044</b>	<b>4,741</b>	<b>4,741</b>	<b>4,780</b>	<b>4,789</b>	<b>4,653</b>
		L42-41	3,942	3,424	5,922	4,151	4,491	4,070	4,536	3,912
		L39-40	0,919	0,805	1,386	0,734	0,345	0,844	0,349	0,915
		DG6	3,045	2,658	4,587	3,440	4,166	3,296	4,209	3,030
13	14		<b>4,897</b>	<b>4,238</b>	<b>7,341</b>	<b>4,793</b>	<b>4,793</b>	<b>5,021</b>	<b>5,056</b>	<b>4,821</b>
		L37-38	3,965	3,439	5,946	4,221	4,609	4,154	4,686	3,903
		L35-36	0,903	0,793	1,359	0,709	0,291	0,829	0,296	0,891
		DG5	3,092	2,699	4,656	3,542	4,338	3,365	4,410	3,057
14	13		<b>3,101</b>	<b>2,690</b>	<b>4,659</b>	<b>2,263</b>	<b>2,263</b>	<b>2,882</b>	<b>1,776</b>	<b>3,771</b>
		L38-37	1,530	1,328	2,301	1,118	1,121	1,424	0,880	1,860
		L39-40	1,530	1,328	2,301	1,118	1,121	1,424	0,880	1,860
14	15		<b>3,100</b>	<b>2,690</b>	<b>4,659</b>	<b>2,263</b>	<b>2,263</b>	<b>2,882</b>	<b>1,776</b>	<b>3,771</b>
		L39-40	1,551	1,346	2,331	1,129	1,122	1,440	0,881	1,887
		L37-38	1,551	1,346	2,331	1,129	1,122	1,440	0,881	1,887
15	14		<b>4,761</b>	<b>4,121</b>	<b>7,137</b>	<b>4,866</b>	<b>4,866</b>	<b>4,895</b>	<b>4,980</b>	<b>4,656</b>
		L40-39	3,823	3,318	5,733	4,107	4,507	4,019	4,613	3,738
		L41-42	0,756	0,663	1,137	0,595	0,241	0,694	0,246	0,741
		DG6	3,093	2,700	4,659	3,538	4,283	3,365	4,383	3,039

ΠΒ 10: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  $R_F=0\Omega$

Κλάδοι		Συνεισφορές	$R_F = 0\Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>4,238</b>	<b>3,677</b>	<b>6,369</b>	<b>2,944</b>	<b>2,944</b>	<b>3,900</b>	<b>2,249</b>	<b>5,244</b>
		L5-6	1,545	1,344	2,325	1,114	1,193	1,440	0,911	1,914
		L1-2	0,262	0,230	0,396	0,143	0,065	0,233	0,050	0,327
		DG1	1,288	1,125	1,941	0,975	1,132	1,224	0,864	1,599
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>5,251</b>	<b>4,545</b>	<b>7,872</b>	<b>5,259</b>	<b>5,259</b>	<b>5,353</b>	<b>5,270</b>	<b>5,244</b>
		L6-5	1,263	1,107	1,902	1,002	0,475	1,161	0,476	1,266
		L7-8	0,666	0,584	1,002	0,527	0,246	0,613	0,247	0,669
		L9-10	0,597	0,523	0,900	0,475	0,229	0,548	0,229	0,600
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>5,258</b>	<b>4,551</b>	<b>7,881</b>	<b>5,227</b>	<b>5,227</b>	<b>5,327</b>	<b>5,201</b>	<b>5,289</b>
		L9-10	1,041	0,911	1,566	0,823	0,398	0,955	0,396	1,050
		L5-6	0,597	0,523	0,900	0,474	0,233	0,548	0,231	0,603
		L7-8	0,443	0,388	0,666	0,349	0,166	0,408	0,165	0,447
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,211</b>	<b>3,654</b>	<b>6,327</b>	<b>2,920</b>	<b>2,920</b>	<b>3,874</b>	<b>2,228</b>	<b>5,214</b>
		L10-9	1,191	1,034	1,791	0,830	0,836	1,098	0,638	1,476
		L13-14	0,206	0,181	0,309	0,111	0,048	0,182	0,036	0,255
		DG2	0,990	0,863	1,491	0,722	0,791	0,928	0,604	1,230
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>6,014</b>	<b>5,205</b>	<b>9,015</b>	<b>5,742</b>	<b>5,742</b>	<b>5,989</b>	<b>5,498</b>	<b>6,273</b>
		L1-2	0,918	0,802	1,383	0,728	0,427	0,845	0,409	0,963
		L5-6	0,037	0,036	0,069	0,037	0,064	0,055	0,016	0,072
		DG1	0,928	0,809	1,404	0,755	0,491	0,869	0,470	0,975
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>5,175</b>	<b>4,479</b>	<b>7,758</b>	<b>5,120</b>	<b>5,120</b>	<b>5,224</b>	<b>5,070</b>	<b>5,229</b>
		L2-1	0,970	0,848	1,458	0,774	0,402	0,891	0,398	0,984
		L3-4	0,034	0,034	0,063	0,027	0,052	0,047	0,051	0,042
		L15-16	0,172	0,152	0,258	0,120	0,019	0,155	0,019	0,174
		DG3	0,794	0,692	1,200	0,669	0,435	0,753	0,431	0,810
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>5,628</b>	<b>4,883</b>	<b>8,457</b>	<b>3,879</b>	<b>3,879</b>	<b>5,173</b>	<b>2,951</b>	<b>6,981</b>
		L7-8	1,210	1,051	1,821	0,829	0,819	1,114	0,623	1,503
		L5-6	0,694	0,603	1,044	0,480	0,483	0,641	0,367	0,864
		L9-10	0,516	0,448	0,777	0,349	0,336	0,473	0,255	0,642
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>4,238</b>	<b>3,677</b>	<b>6,369</b>	<b>2,939</b>	<b>2,939</b>	<b>3,899</b>	<b>2,242</b>	<b>5,247</b>
		L8-7	1,553	1,350	2,331	1,036	0,955	1,412	0,729	1,920
		L3-4	0,506	0,440	0,762	0,354	0,360	0,469	0,275	0,627
		L11-12	0,531	0,461	0,798	0,366	0,363	0,489	0,277	0,657
		L19-20	0,518	0,452	0,777	0,316	0,232	0,463	0,177	0,639
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>6,341</b>	<b>5,489</b>	<b>9,507</b>	<b>6,048</b>	<b>6,048</b>	<b>6,317</b>	<b>5,784</b>	<b>6,624</b>
		L13-14	1,146	1,000	1,728	0,916	0,559	1,060	0,535	1,203
		L9-10	0,082	0,075	0,129	0,045	0,033	0,076	0,032	0,090
		DG2	1,075	0,936	1,623	0,881	0,591	1,011	0,566	1,131
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>5,270</b>	<b>4,561</b>	<b>7,899</b>	<b>5,242</b>	<b>5,242</b>	<b>5,341</b>	<b>5,219</b>	<b>5,298</b>
		L14-13	1,242	1,086	1,869	0,998	0,521	1,143	0,519	1,254
		L11-12	0,152	0,137	0,234	0,098	0,018	0,135	0,018	0,156
		L23-24	0,215	0,191	0,324	0,152	0,027	0,194	0,027	0,216
		DG4	0,888	0,773	1,341	0,759	0,509	0,847	0,507	0,900

4	5		<b>5,644</b>	<b>4,897</b>	<b>8,451</b>	<b>3,896</b>	<b>3,896</b>	<b>5,189</b>	<b>2,965</b>	<b>6,999</b>
		L3-4	1,583	1,376	2,379	1,128	1,198	1,469	0,912	1,965
		L1-2	0,166	0,145	0,252	0,095	0,056	0,151	0,043	0,207
		L15-16	0,183	0,162	0,276	0,085	0,011	0,160	0,009	0,228
		DG3	1,241	1,084	1,869	0,953	1,146	1,183	0,872	1,542
5	4		<b>6,183</b>	<b>5,312</b>	<b>9,201</b>	<b>5,936</b>	<b>5,936</b>	<b>6,169</b>	<b>5,750</b>	<b>6,336</b>
		L4-3	1,473	1,288	2,217	1,146	0,589	1,349	0,570	1,527
		L7-8	0,336	0,294	0,510	0,274	0,170	0,314	0,164	0,351
		L11-12	0,665	0,582	1,002	0,522	0,279	0,610	0,270	0,690
		L19-20	0,472	0,414	0,708	0,351	0,140	0,432	0,136	0,486
5	6		<b>6,403</b>	<b>5,545</b>	<b>9,606</b>	<b>6,148</b>	<b>6,148</b>	<b>6,411</b>	<b>5,911</b>	<b>6,660</b>
		L11-12	1,466	1,282	2,205	1,137	0,596	1,341	0,573	1,530
		L3-4	0,653	0,571	0,984	0,512	0,283	0,598	0,272	0,681
		L7-8	0,349	0,304	0,528	0,282	0,175	0,325	0,168	0,366
		L19-20	0,464	0,408	0,696	0,343	0,139	0,425	0,133	0,483
6	5		<b>5,646</b>	<b>4,898</b>	<b>8,484</b>	<b>3,896</b>	<b>3,896</b>	<b>5,190</b>	<b>2,965</b>	<b>6,999</b>
		L12-11	1,618	1,406	2,433	1,145	1,202	1,498	0,915	2,007
		L13-14	0,248	0,217	0,375	0,143	0,086	0,225	0,066	0,309
		L23-24	0,182	0,161	0,273	0,083	0,012	0,159	0,009	0,225
		DG4	1,195	1,044	1,800	0,925	1,124	1,140	0,855	1,485
4	7		<b>3,232</b>	<b>2,801</b>	<b>4,851</b>	<b>2,034</b>	<b>2,034</b>	<b>2,916</b>	<b>1,483</b>	<b>4,110</b>
		L15-16	1,021	0,886	1,533	0,660	0,694	0,926	0,505	1,299
		L1-2	0,181	0,158	0,273	0,093	0,053	0,161	0,037	0,231
		L3-4	0,176	0,155	0,267	0,077	0,015	0,155	0,011	0,225
		DG3	0,669	0,585	1,008	0,494	0,640	0,631	0,466	0,855
7	4		<b>6,000</b>	<b>5,193</b>	<b>8,994</b>	<b>5,723</b>	<b>5,723</b>	<b>5,974</b>	<b>5,473</b>	<b>6,267</b>
		L16-15	0,769	0,673	1,155	0,586	0,291	0,704	0,278	0,807
		L17-18	0,431	0,370	0,648	0,327	0,160	0,394	0,153	0,450
		L25-26	0,338	0,296	0,510	0,259	0,131	0,310	0,125	0,354
5	8		<b>8,666</b>	<b>7,513</b>	<b>13,014</b>	<b>5,376</b>	<b>5,376</b>	<b>7,892</b>	<b>3,888</b>	<b>11,073</b>
		L19-20	1,106	0,962	1,665	0,711	0,760	1,009	0,549	1,416
		L3-4	0,356	0,310	0,537	0,238	0,273	0,328	0,198	0,456
		L7-8	0,396	0,344	0,597	0,236	0,217	0,357	0,157	0,507
		L11-12	0,355	0,309	0,534	0,237	0,270	0,326	0,195	0,453
8	5		<b>5,601</b>	<b>4,860</b>	<b>8,418</b>	<b>3,851</b>	<b>3,851</b>	<b>5,146</b>	<b>2,925</b>	<b>6,954</b>
		L20-19	1,338	1,163	2,004	0,865	0,758	1,207	0,575	1,656
		L17-18	0,038	0,035	0,057	0,024	0,042	0,034	0,032	0,048
		L21-22	0,025	0,023	0,039	0,027	0,059	0,025	0,045	0,030
		L29-30	0,081	0,071	0,123	0,060	0,069	0,075	0,053	0,102
		EG	1,321	1,152	1,974	0,800	0,588	1,174	0,447	1,632
6	9		<b>3,773</b>	<b>3,271</b>	<b>5,664</b>	<b>2,370</b>	<b>2,370</b>	<b>3,407</b>	<b>1,725</b>	<b>4,803</b>
		L23-24	1,022	0,887	1,536	0,660	0,695	0,927	0,506	1,302
		L11-12	0,135	0,119	0,204	0,053	0,016	0,118	0,012	0,171
		L13-14	0,226	0,197	0,342	0,117	0,067	0,201	0,049	0,288
		DG4	0,667	0,583	1,002	0,494	0,643	0,628	0,468	0,852
9	6		<b>6,262</b>	<b>5,421</b>	<b>9,390</b>	<b>5,924</b>	<b>5,924</b>	<b>6,208</b>	<b>5,626</b>	<b>6,585</b>
		L24-23	0,828	0,725	1,245	0,628	0,317	0,757	0,301	0,873
		L21-22	0,512	0,448	0,768	0,387	0,192	0,467	0,182	0,540
		L33-34	0,317	0,277	0,477	0,241	0,125	0,290	0,118	0,333
7	8		<b>8,662</b>	<b>7,475</b>	<b>12,945</b>	<b>5,347</b>	<b>5,347</b>	<b>7,851</b>	<b>3,866</b>	<b>11,016</b>

		L17-18	0,663	0,576	0,996	0,427	0,459	0,605	0,332	0,849
		L15-16	0,509	0,443	0,765	0,331	0,361	0,462	0,261	0,651
		L25-26	0,154	0,134	0,231	0,096	0,098	0,140	0,071	0,198
8	7		<b>3,252</b>	<b>2,818</b>	<b>4,881</b>	<b>2,045</b>	<b>2,045</b>	<b>2,934</b>	<b>1,489</b>	<b>4,137</b>
		L18-17	1,340	1,162	2,010	0,827	0,796	1,204	0,580	1,704
		L19-20	0,139	0,122	0,210	0,103	0,133	0,129	0,097	0,177
		L21-22	0,118	0,103	0,177	0,080	0,092	0,107	0,067	0,150
		L29-30	0,217	0,189	0,324	0,126	0,105	0,193	0,077	0,276
		EG	1,305	1,133	1,953	0,772	0,678	1,161	0,494	1,653
8	9		<b>3,824</b>	<b>3,315</b>	<b>5,742</b>	<b>2,400</b>	<b>2,400</b>	<b>3,452</b>	<b>1,746</b>	<b>4,866</b>
		L21-22	1,859	1,613	2,790	1,146	1,106	1,672	0,805	2,364
		L17-18	0,126	0,110	0,189	0,085	0,097	0,114	0,070	0,162
		L19-20	0,212	0,185	0,318	0,148	0,179	0,194	0,130	0,270
		L29-30	0,118	0,102	0,174	0,064	0,045	0,105	0,033	0,147
		EG	1,645	1,428	2,463	0,980	0,877	1,468	0,638	2,088
9	8		<b>8,758</b>	<b>7,593</b>	<b>13,152</b>	<b>5,434</b>	<b>5,434</b>	<b>7,978</b>	<b>3,930</b>	<b>11,190</b>
		L22-21	0,865	0,752	1,302	0,557	0,596	0,789	0,431	1,107
		L23-24	0,569	0,495	0,855	0,370	0,403	0,520	0,292	0,729
		L33-34	0,296	0,257	0,444	0,187	0,193	0,269	0,139	0,378
7	10		<b>3,277</b>	<b>2,841</b>	<b>4,920</b>	<b>2,110</b>	<b>2,110</b>	<b>2,970</b>	<b>1,553</b>	<b>4,143</b>
		L25-26	0,920	0,798	1,380	0,578	0,550	0,828	0,405	1,161
		L15-16	0,475	0,397	0,687	0,295	0,296	0,413	0,218	0,579
		L17-18	0,463	0,402	0,693	0,283	0,254	0,414	0,187	0,585
10	7		<b>3,236</b>	<b>2,805</b>	<b>4,857</b>	<b>2,036</b>	<b>2,036</b>	<b>2,920</b>	<b>1,483</b>	<b>4,116</b>
		L26-25	0,931	0,807	1,398	0,584	0,582	0,840	0,424	1,185
		L27-28	0,387	0,336	0,579	0,232	0,210	0,346	0,153	0,492
		L35-36	0,543	0,472	0,816	0,352	0,373	0,494	0,271	0,693
8	11		<b>3,614</b>	<b>3,133</b>	<b>5,427</b>	<b>2,246</b>	<b>2,246</b>	<b>3,260</b>	<b>1,627</b>	<b>4,614</b>
		L29-30	1,863	1,593	2,754	1,126	1,098	1,651	0,795	2,343
		L17-18	0,091	0,079	0,135	0,046	0,026	0,081	0,019	0,114
		L19-20	0,287	0,250	0,432	0,186	0,201	0,259	0,146	0,366
		L21-22	0,056	0,048	0,078	0,024	0,015	0,051	0,011	0,066
		EG	1,694	1,469	2,535	1,007	0,920	1,513	0,666	2,154
11	8		<b>8,748</b>	<b>7,854</b>	<b>13,137</b>	<b>5,427</b>	<b>5,427</b>	<b>7,968</b>	<b>3,925</b>	<b>11,178</b>
		L30-29	0,713	0,620	1,071	0,457	0,487	0,650	0,352	0,912
		L27-28	0,484	0,421	0,729	0,311	0,333	0,442	0,241	0,621
		L31-32	0,228	0,199	0,342	0,146	0,154	0,208	0,111	0,291
9	12		<b>3,050</b>	<b>2,644</b>	<b>4,578</b>	<b>1,935</b>	<b>1,935</b>	<b>2,756</b>	<b>1,414</b>	<b>3,870</b>
		L33-34	1,296	1,124	1,944	0,807	0,779	1,165	0,569	1,644
		L21-22	0,799	0,694	1,197	0,489	0,454	0,716	0,332	1,014
		L23-24	0,497	0,431	0,747	0,319	0,325	0,449	0,238	0,630
12	9		<b>3,798</b>	<b>3,292</b>	<b>5,703</b>	<b>2,384</b>	<b>2,384</b>	<b>3,429</b>	<b>1,735</b>	<b>4,833</b>
		L34-33	0,975	0,845	1,464	0,615	0,621	0,881	0,452	1,242
		L31-32	0,381	0,330	0,570	0,232	0,218	0,341	0,159	0,483
		L41-42	0,594	0,516	0,894	0,383	0,403	0,540	0,293	0,756
10	11		<b>3,593</b>	<b>3,115</b>	<b>5,394</b>	<b>2,234</b>	<b>2,234</b>	<b>3,241</b>	<b>1,618</b>	<b>4,584</b>
		L27-28	1,081	0,938	1,623	0,684	0,709	0,979	0,514	1,380
		L25-26	0,409	0,355	0,615	0,247	0,231	0,366	0,168	0,522
		L35-36	0,672	0,585	1,011	0,438	0,478	0,614	0,346	0,858
11	10		<b>3,294</b>	<b>2,856</b>	<b>4,947</b>	<b>2,121</b>	<b>2,121</b>	<b>2,985</b>	<b>1,562</b>	<b>4,164</b>

		L28-27	1,208	1,048	1,812	0,755	0,711	1,086	0,524	1,527
		L29-30	0,861	0,748	1,290	0,533	0,491	0,772	0,362	1,086
		L31-32	0,347	0,301	0,522	0,222	0,220	0,314	0,162	0,438
11	12		<b>3,021</b>	<b>2,619</b>	<b>4,536</b>	<b>1,915</b>	<b>1,915</b>	<b>2,730</b>	<b>1,400</b>	<b>3,837</b>
		L31-32	0,812	0,704	1,218	0,506	0,478	0,730	0,356	1,029
		L27-28	0,334	0,290	0,501	0,216	0,225	0,304	0,164	0,426
		L29-30	0,478	0,415	0,717	0,289	0,263	0,427	0,192	0,606
12	11		<b>3,554</b>	<b>3,080</b>	<b>5,334</b>	<b>2,208</b>	<b>2,208</b>	<b>3,205</b>	<b>1,599</b>	<b>4,536</b>
		L32-31	0,725	0,629	1,089	0,453	0,458	0,655	0,332	0,927
		L33-34	0,339	0,294	0,507	0,202	0,186	0,302	0,135	0,432
		L41-42	0,386	0,336	0,582	0,251	0,271	0,353	0,197	0,495
10	13		<b>4,868</b>	<b>4,213</b>	<b>7,299</b>	<b>4,911</b>	<b>4,911</b>	<b>4,965</b>	<b>4,959</b>	<b>4,824</b>
		L35-36	0,923	0,810	1,389	0,726	0,313	0,849	0,316	0,918
		L25-26	0,415	0,365	0,624	0,323	0,138	0,382	0,140	0,414
		L27-28	0,508	0,446	0,765	0,400	0,175	0,467	0,177	0,504
13	10		<b>3,288</b>	<b>2,850</b>	<b>4,938</b>	<b>2,121</b>	<b>2,121</b>	<b>2,980</b>	<b>1,563</b>	<b>4,155</b>
		L36-35	1,201	1,045	1,806	0,812	0,886	1,105	0,653	1,521
		L37-38	0,233	0,205	0,351	0,120	0,058	0,207	0,042	0,297
		DG5	0,972	0,849	1,464	0,696	0,831	0,911	0,613	1,233
12	15		<b>4,698</b>	<b>4,067</b>	<b>7,044</b>	<b>4,741</b>	<b>4,741</b>	<b>4,780</b>	<b>4,789</b>	<b>4,653</b>
		L41-42	0,773	0,678	1,161	0,608	0,263	0,710	0,265	0,768
		L31-32	0,272	0,238	0,408	0,216	0,098	0,250	0,099	0,270
		L33-34	0,501	0,440	0,753	0,392	0,164	0,452	0,166	0,498
15	12		<b>3,029</b>	<b>2,626</b>	<b>4,548</b>	<b>1,923</b>	<b>1,923</b>	<b>2,738</b>	<b>1,407</b>	<b>3,843</b>
		L42-41	0,970	0,844	1,458	0,641	0,688	0,887	0,504	1,233
		L39-40	0,173	0,152	0,261	0,087	0,040	0,153	0,030	0,222
		DG6	0,800	0,699	1,206	0,556	0,650	0,744	0,476	1,020
13	14		<b>3,101</b>	<b>2,690</b>	<b>4,659</b>	<b>2,263</b>	<b>2,263</b>	<b>2,882</b>	<b>1,776</b>	<b>3,771</b>
		L37-38	1,571	1,363	2,361	1,145	1,142	1,459	0,896	1,911
		L35-36	0,330	0,291	0,495	0,182	0,065	0,290	0,051	0,402
		DG5	1,252	1,363	2,361	0,971	1,082	1,196	0,849	1,530
14	13		<b>4,897</b>	<b>4,238</b>	<b>7,341</b>	<b>4,793</b>	<b>4,793</b>	<b>5,021</b>	<b>5,056</b>	<b>4,821</b>
		L38-37	0,944	0,826	1,422	0,767	0,381	0,868	0,387	0,933
		L39-40	0,944	0,826	1,422	0,767	0,381	0,868	0,387	0,933
14	15		<b>4,761</b>	<b>4,121</b>	<b>7,137</b>	<b>4,866</b>	<b>4,866</b>	<b>4,895</b>	<b>4,980</b>	<b>4,656</b>
		L39-40	0,953	0,834	1,434	0,775	0,376	0,877	0,385	0,936
		L37-38	0,953	0,834	1,434	0,775	0,376	0,877	0,385	0,936
15	14		<b>3,100</b>	<b>2,690</b>	<b>4,659</b>	<b>2,263</b>	<b>2,263</b>	<b>2,882</b>	<b>1,776</b>	<b>3,771</b>
		L40-39	1,549	1,344	2,328	1,134	1,140	1,442	0,895	1,884
		L41-42	0,278	0,245	0,417	0,153	0,053	0,244	0,042	0,339
		DG6	1,281	1,117	1,932	0,988	1,091	1,222	0,856	1,563

ΠΒ 11: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=0,5\Omega/10\Omega$ 

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 0,5\Omega$			$R_F = 10\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>4,964</b>	<b>4,448</b>	<b>7,704</b>	<b>1,199</b>	<b>1,199</b>	<b>1,193</b>	<b>1,201</b>	<b>1,185</b>
		L5-6	3,791	3,409	5,889	0,976	1,096	0,951	1,098	0,906
		L1-2	0,892	0,808	1,389	0,171	0,084	0,198	0,084	0,213
		DG1	2,922	2,642	4,554	0,810	1,017	0,779	1,019	0,699
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,989</b>	<b>3,578</b>	<b>6,198</b>	<b>1,050</b>	<b>1,050</b>	<b>1,160</b>	<b>0,973</b>	<b>1,215</b>
		L6-5	2,536	2,277	3,939	0,653	0,624	0,732	0,579	0,771
		L7-8	1,436	1,290	2,229	0,363	0,333	0,412	0,309	0,438
		L9-10	1,101	0,988	1,710	0,290	0,291	0,320	0,270	0,336
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,965</b>	<b>3,556</b>	<b>6,159</b>	<b>1,048</b>	<b>1,048</b>	<b>1,159</b>	<b>0,970</b>	<b>1,215</b>
		L9-10	2,843	2,550	4,416	0,750	0,748	0,831	0,692	0,270
		L5-6	1,419	1,276	2,208	0,389	0,415	0,420	0,384	0,435
		L7-8	1,425	1,280	2,211	0,362	0,332	0,411	0,308	0,870
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,968</b>	<b>4,453</b>	<b>7,713</b>	<b>1,197</b>	<b>1,197</b>	<b>1,194</b>	<b>1,198</b>	<b>1,185</b>
		L10-9	4,001	3,596	6,228	1,013	1,110	0,990	1,110	0,954
		L13-14	1,133	1,026	1,764	0,218	0,109	0,251	0,109	0,270
		DG2	2,895	2,618	4,512	0,801	1,007	0,734	1,008	0,693
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>4,894</b>	<b>4,383</b>	<b>7,593</b>	<b>1,194</b>	<b>1,194</b>	<b>1,192</b>	<b>1,194</b>	<b>1,182</b>
		L1-2	3,988	3,580	6,189	1,017	1,104	0,993	1,104	0,966
		L5-6	1,146	1,039	1,785	0,220	0,101	0,256	0,101	0,279
		DG1	2,873	2,597	4,476	0,804	1,009	0,772	1,009	0,699
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>5,597</b>	<b>5,059</b>	<b>8,763</b>	<b>1,200</b>	<b>1,200</b>	<b>1,208</b>	<b>1,198</b>	<b>1,197</b>
		L2-1	4,747	4,294	7,428	1,050	1,114	1,040	1,112	1,014
		L3-4	1,302	1,190	2,049	0,223	0,111	0,257	0,111	0,279
		L15-16	0,681	0,623	1,071	0,115	0,053	0,133	0,053	0,147
		DG3	2,807	2,564	4,413	0,721	0,959	0,681	0,958	0,603
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>3,989</b>	<b>3,578</b>	<b>6,198</b>	<b>1,049</b>	<b>1,049</b>	<b>1,160</b>	<b>0,972</b>	<b>1,215</b>
		L7-8	2,528	2,271	3,930	0,680	0,708	0,740	0,656	0,771
		L5-6	1,428	1,284	2,220	0,389	0,417	0,420	0,386	0,435
		L9-10	1,100	0,987	1,710	0,290	0,291	0,320	0,270	0,336
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>5,180</b>	<b>4,706</b>	<b>8,151</b>	<b>1,107</b>	<b>1,107</b>	<b>1,202</b>	<b>1,046</b>	<b>1,236</b>
		L8-7	4,066	3,694	6,396	0,871	0,874	0,945	0,825	0,972
		L3-4	1,419	1,292	2,235	0,313	0,332	0,333	0,313	0,339
		L11-12	1,451	1,320	2,283	0,318	0,333	0,340	0,314	0,348
		L19-20	1,198	1,091	2,010	0,240	0,209	0,272	0,197	0,285
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>4,979</b>	<b>4,463</b>	<b>7,731</b>	<b>1,197</b>	<b>1,197</b>	<b>1,194</b>	<b>1,198</b>	<b>1,185</b>
		L13-14	3,821	3,435	5,937	0,974	1,083	0,948	1,048	0,909
		L9-10	0,950	0,863	1,482	0,180	0,083	0,206	0,083	0,228
		DG2	2,898	2,621	4,518	0,800	1,005	0,768	1,006	0,693
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>5,872</b>	<b>5,324</b>	<b>9,222</b>	<b>1,205</b>	<b>1,205</b>	<b>1,212</b>	<b>1,203</b>	<b>1,200</b>
		L14-13	4,816	4,370	7,557	1,024	1,097	1,014	1,096	0,984
		L11-12	1,303	1,194	2,055	0,215	0,109	0,246	0,109	0,267
		L23-24	0,736	0,676	1,161	0,119	0,056	0,138	0,056	0,150
		DG4	2,820	2,584	4,446	0,700	0,942	0,659	0,941	0,579

4	5		<b>5,707</b>	<b>5,162</b>	<b>8,940</b>	<b>1,205</b>	<b>1,205</b>	<b>1,209</b>	<b>1,205</b>	<b>1,197</b>
		L3-4	4,354	3,950	6,825	0,977	1,091	0,947	1,091	0,912
		L1-2	0,827	0,755	1,302	0,143	0,079	0,163	0,079	0,174
		L15-16	0,694	0,636	1,092	0,116	0,053	0,134	0,053	0,147
		DG3	2,866	2,620	4,509	0,726	0,966	0,687	0,966	0,603
5	4		<b>5,193</b>	<b>4,719</b>	<b>8,175</b>	<b>1,108</b>	<b>1,108</b>	<b>1,203</b>	<b>1,047</b>	<b>1,236</b>
		L4-3	3,737	3,398	2,880	0,788	0,768	0,861	0,725	0,891
		L7-8	1,086	0,988	1,713	0,230	0,227	0,250	0,214	0,258
		L11-12	1,454	1,323	2,289	0,318	0,332	0,340	0,314	0,345
		L19-20	1,198	1,092	1,881	0,240	0,209	0,271	0,197	0,285
5	6		<b>5,195</b>	<b>4,721</b>	<b>8,175</b>	<b>1,108</b>	<b>1,108</b>	<b>1,203</b>	<b>1,047</b>	<b>1,236</b>
		L11-12	3,706	3,369	5,832	0,783	0,767	0,854	0,724	0,882
		L3-4	1,422	1,295	2,238	0,313	0,331	0,333	0,313	0,339
		L7-8	1,086	0,988	1,713	0,230	0,227	0,250	0,214	0,258
		L19-20	1,198	1,092	1,881	0,240	0,209	0,271	0,197	0,285
6	5		<b>5,929</b>	<b>5,378</b>	<b>9,315</b>	<b>1,207</b>	<b>1,207</b>	<b>1,213</b>	<b>1,207</b>	<b>1,200</b>
		L12-11	4,587	4,173	7,212	0,988	1,095	0,962	1,094	0,930
		L13-14	1,029	0,941	1,626	0,173	0,101	0,197	0,101	0,210
		L23-24	0,743	0,682	1,170	0,120	0,056	0,138	0,056	0,150
		DG4	2,850	2,613	4,497	0,703	0,946	0,661	0,946	0,579
4	7		<b>5,585</b>	<b>5,047</b>	<b>8,742</b>	<b>1,200</b>	<b>1,200</b>	<b>1,207</b>	<b>1,198</b>	<b>1,194</b>
		L15-16	4,877	4,416	7,638	1,079	1,141	1,067	1,139	1,044
		L1-2	0,811	0,739	1,275	0,142	0,079	0,162	0,079	0,174
		L3-4	1,303	1,169	2,049	0,224	0,111	0,257	0,111	0,279
		DG3	2,804	2,562	4,410	0,723	0,962	0,682	0,960	0,603
7	4		<b>3,080</b>	<b>2,739</b>	<b>4,743</b>	<b>0,941</b>	<b>0,941</b>	<b>1,098</b>	<b>0,830</b>	<b>1,203</b>
		L16-15	2,107	1,875	3,246	0,636	0,620	0,748	0,547	0,822
		L17-18	1,242	1,105	1,911	0,372	0,358	0,440	0,316	0,486
		L25-26	0,865	0,769	1,332	0,264	0,262	0,308	0,231	0,339
5	8		<b>5,175</b>	<b>4,684</b>	<b>8,112</b>	<b>1,106</b>	<b>1,106</b>	<b>1,202</b>	<b>1,043</b>	<b>1,236</b>
		L19-20	3,926	3,572	6,183	0,858	0,888	0,921	0,838	0,942
		L3-4	1,408	1,282	2,217	0,312	0,331	0,332	0,312	0,339
		L7-8	1,078	0,980	1,698	0,230	0,226	0,250	0,214	0,258
		L11-12	1,440	1,310	2,268	0,316	0,332	0,339	0,313	0,345
8	5		<b>7,758</b>	<b>7,182</b>	<b>12,441</b>	<b>1,175</b>	<b>1,175</b>	<b>1,269</b>	<b>1,124</b>	<b>1,281</b>
		L20-19	6,779	6,276	10,866	1,021	1,010	1,105	0,966	1,119
		L17-18	0,550	0,511	0,885	0,087	0,094	0,093	0,090	0,090
		L21-22	0,726	0,674	1,167	0,114	0,123	0,122	0,117	0,120
		L29-30	0,595	0,553	0,957	0,093	0,100	0,100	0,095	0,099
		EG	4,944	4,578	7,911	0,731	0,697	0,797	0,667	0,816
6	9		<b>5,803</b>	<b>5,259</b>	<b>9,108</b>	<b>1,202</b>	<b>1,202</b>	<b>1,211</b>	<b>1,199</b>	<b>1,200</b>
		L23-24	5,044	4,579	7,923	1,077	1,140	1,066	1,137	1,044
		L11-12	1,288	1,180	2,031	0,214	0,108	0,246	0,108	0,267
		L13-14	1,008	0,921	1,590	0,173	0,101	0,196	0,101	0,210
		DG4	2,787	2,553	4,392	0,699	0,942	0,657	0,940	0,579
9	6		<b>3,567</b>	<b>3,186</b>	<b>5,520</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,136</b>	<b>0,885</b>	<b>1,224</b>
		L24-23	2,601	2,324	4,023	0,713	0,698	0,825	0,626	0,891
		L21-22	1,705	1,524	2,637	0,464	0,447	0,539	0,400	0,585
		L33-34	0,896	0,801	1,389	0,249	0,252	0,286	0,226	0,309
7	8		<b>3,098</b>	<b>2,755</b>	<b>4,773</b>	<b>0,942</b>	<b>0,942</b>	<b>1,099</b>	<b>0,832</b>	<b>1,203</b>



		L17-18	1,822	1,622	2,808	0,561	0,576	0,650	0,508	0,708
		L15-16	0,953	0,849	1,467	0,298	0,313	0,342	0,276	0,369
		L25-26	0,869	0,773	1,338	0,264	0,263	0,308	0,232	0,339
8	7		<b>7,724</b>	<b>7,147</b>	<b>12,381</b>	<b>1,175</b>	<b>1,175</b>	<b>1,269</b>	<b>1,123</b>	<b>1,281</b>
		L18-17	7,136	6,604	11,436	1,082	1,074	1,170	1,028	1,185
		L19-20	0,931	0,864	1,494	0,147	0,157	0,157	0,150	0,156
		L21-22	0,726	0,674	1,164	0,115	0,123	0,123	0,118	0,120
		L29-30	0,586	0,544	0,942	0,092	0,099	0,099	0,094	0,096
		EG	4,936	4,568	7,893	0,733	0,699	0,799	0,669	0,816
8	9		<b>7,835</b>	<b>7,258</b>	<b>12,570</b>	<b>1,177</b>	<b>1,177</b>	<b>1,270</b>	<b>1,127</b>	<b>1,281</b>
		L21-22	7,070	6,550	11,340	1,058	1,049	1,143	1,004	1,155
		L17-18	0,559	0,519	0,897	0,087	0,094	0,093	0,090	0,093
		L19-20	0,945	0,878	1,518	0,147	0,158	0,158	0,151	0,156
		L29-30	0,598	0,555	0,960	0,093	0,099	0,100	0,095	0,099
		EG	5,009	4,641	8,019	0,735	0,701	0,801	0,671	0,819
9	8		<b>3,613</b>	<b>3,228</b>	<b>5,592</b>	<b>0,992</b>	<b>0,992</b>	<b>1,139</b>	<b>0,890</b>	<b>1,224</b>
		L22-21	1,856	1,661	2,874	0,518	0,535	0,590	0,480	0,630
		L23-24	0,949	0,849	1,470	0,268	0,282	0,303	0,253	0,321
		L33-34	0,907	0,811	1,404	0,250	0,253	0,287	0,227	0,309
7	10		<b>3,084</b>	<b>2,742</b>	<b>4,749</b>	<b>0,941</b>	<b>0,941</b>	<b>1,098</b>	<b>0,830</b>	<b>1,203</b>
		L25-26	2,197	1,954	3,384	0,671	0,672	0,783	0,592	0,855
		L15-16	0,951	0,847	1,464	0,298	0,313	0,342	0,276	0,372
		L17-18	1,246	1,109	1,917	0,373	0,359	0,441	0,316	0,486
10	7		<b>3,123</b>	<b>2,778</b>	<b>4,812</b>	<b>0,954</b>	<b>0,954</b>	<b>1,103</b>	<b>0,847</b>	<b>1,200</b>
		L26-25	2,247	2,000	3,462	0,692	0,705	0,795	0,627	0,864
		L27-28	1,127	1,004	1,734	0,334	0,314	0,394	0,279	0,432
		L35-36	1,120	1,000	1,731	0,359	0,391	0,402	0,347	0,432
8	11		<b>7,827</b>	<b>7,250</b>	<b>12,558</b>	<b>1,177</b>	<b>1,177</b>	<b>1,270</b>	<b>1,127</b>	<b>1,281</b>
		L29-30	7,196	6,666	11,541	1,079	1,072	1,165	1,026	1,179
		L17-18	0,554	0,515	0,891	0,087	0,094	0,093	0,090	0,090
		L19-20	0,946	0,879	1,521	0,148	0,158	0,158	0,151	0,156
		L21-22	0,732	0,680	1,176	0,114	0,123	0,122	0,117	0,120
		EG	5,007	4,638	8,016	0,735	0,701	0,801	0,671	0,819
11	8		<b>3,427</b>	<b>3,056</b>	<b>5,292</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,127</b>	<b>0,865</b>	<b>1,224</b>
		L30-29	1,685	1,505	2,604	0,485	0,497	0,557	0,442	0,603
		L27-28	1,011	0,903	1,563	0,292	0,303	0,335	0,269	0,360
		L31-32	0,675	0,602	1,044	0,193	0,195	0,223	0,173	0,240
9	12		<b>3,589</b>	<b>3,207</b>	<b>5,553</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,138</b>	<b>0,887</b>	<b>1,224</b>
		L33-34	2,668	2,384	4,128	0,734	0,732	0,845	0,656	0,909
		L21-22	1,722	1,539	2,664	0,466	0,450	0,542	0,403	0,588
		L23-24	0,947	0,847	1,467	0,268	0,282	0,304	0,253	0,324
12	9		<b>2,915</b>	<b>2,588</b>	<b>4,482</b>	<b>0,924</b>	<b>0,924</b>	<b>1,082</b>	<b>0,812</b>	<b>1,191</b>
		L34-33	1,676	1,490	2,580	0,539	0,552	0,625	0,485	0,687
		L31-32	0,763	0,678	1,173	0,237	0,229	0,281	0,201	0,312
		L41-42	0,914	0,814	1,407	0,301	0,324	0,343	0,284	0,375
10	11		<b>3,138</b>	<b>2,792</b>	<b>4,836</b>	<b>0,955</b>	<b>0,955</b>	<b>1,104</b>	<b>0,850</b>	<b>1,200</b>
		L27-28	1,988	1,771	3,066	0,615	0,635	0,703	0,565	0,762
		L25-26	0,862	0,768	1,326	0,256	0,243	0,301	0,216	0,330
		L35-36	1,126	1,006	1,740	0,359	0,392	0,402	0,349	0,432
11	10		<b>3,408</b>	<b>3,039</b>	<b>5,262</b>	<b>0,971</b>	<b>0,971</b>	<b>1,126</b>	<b>0,863</b>	<b>1,221</b>

		L28-27	2,383	2,125	3,678	0,674	0,663	0,785	0,589	0,855
		L29-30	1,709	1,525	2,637	0,480	0,468	0,562	0,416	0,612
		L31-32	0,674	0,601	1,041	0,193	0,195	0,223	0,173	0,243
11	12		<b>3,372</b>	<b>3,006</b>	<b>5,205</b>	<b>0,967</b>	<b>0,967</b>	<b>1,123</b>	<b>0,859</b>	<b>1,221</b>
		L31-32	2,684	3,393	4,143	0,769	0,767	0,894	0,681	0,972
		L27-28	0,996	0,890	1,539	0,291	0,302	0,334	0,268	0,360
		L29-30	1,688	1,505	2,604	0,478	0,465	0,559	0,413	0,609
12	11		<b>2,889</b>	<b>2,565</b>	<b>4,443</b>	<b>0,921</b>	<b>0,921</b>	<b>1,080</b>	<b>0,808</b>	<b>1,191</b>
		L32-31	2,113	1,876	3,249	0,678	0,687	0,791	0,602	0,870
		L33-34	1,209	1,074	1,857	0,378	0,365	0,449	0,320	0,498
		L41-42	0,904	0,805	1,392	0,300	0,322	0,342	0,282	0,372
10	13		<b>3,133</b>	<b>2,787</b>	<b>4,827</b>	<b>0,955</b>	<b>0,955</b>	<b>1,104</b>	<b>0,850</b>	<b>1,200</b>
		L35-36	1,989	1,772	3,063	0,590	0,557	0,695	0,495	0,762
		L25-26	0,860	0,765	1,323	0,255	0,242	0,301	0,216	0,330
		L27-28	1,130	1,006	1,740	0,334	0,314	0,394	0,279	0,432
13	10		<b>4,633</b>	<b>4,135</b>	<b>7,161</b>	<b>1,193</b>	<b>1,193</b>	<b>1,187</b>	<b>1,195</b>	<b>1,179</b>
		L36-35	3,773	3,380	5,844	1,022	1,121	1,003	1,122	0,960
		L37-38	0,873	0,789	1,356	0,179	0,086	0,207	0,086	0,222
		DG5	2,920	2,629	4,533	0,849	1,040	0,821	1,041	0,747
12	15		<b>2,896</b>	<b>2,571</b>	<b>4,452</b>	<b>0,923</b>	<b>0,923</b>	<b>1,081</b>	<b>0,810</b>	<b>1,191</b>
		L41-42	1,969	1,749	3,024	0,615	0,592	0,730	0,520	0,810
		L31-32	0,757	0,672	1,164	0,237	0,288	0,281	0,200	0,312
		L33-34	1,212	1,077	1,863	0,379	0,365	0,450	0,320	0,498
15	12		<b>4,483</b>	<b>3,995</b>	<b>6,921</b>	<b>1,190</b>	<b>1,190</b>	<b>1,184</b>	<b>1,190</b>	<b>1,176</b>
		L42-41	3,762	3,364	5,817	1,042	1,127	1,025	1,128	0,987
		L39-40	0,877	0,791	1,359	0,184	0,087	0,214	0,087	0,231
		DG6	2,906	2,611	4,506	0,863	1,045	0,837	1,046	0,765
13	14		<b>4,661</b>	<b>4,159</b>	<b>7,203</b>	<b>1,196</b>	<b>1,196</b>	<b>1,190</b>	<b>1,199</b>	<b>1,179</b>
		L37-38	3,774	3,376	5,835	1,015	1,108	0,994	1,111	0,954
		L35-36	0,860	0,778	1,332	0,170	0,070	0,200	0,070	0,219
		DG5	2,943	2,649	4,569	0,852	1,043	0,825	1,046	0,747
14	13		<b>2,979</b>	<b>2,642</b>	<b>4,575</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,099</b>	<b>0,902</b>	<b>1,173</b>
		L38-37	1,470	1,304	2,259	0,488	0,489	0,542	0,447	0,579
		L39-40	1,470	1,304	2,259	0,488	0,489	0,542	0,447	0,579
14	15		<b>2,978</b>	<b>2,642</b>	<b>4,575</b>	<b>0,987</b>	<b>0,987</b>	<b>1,099</b>	<b>0,902</b>	<b>1,173</b>
		L39-40	1,490	1,322	2,289	0,493	0,490	0,550	0,448	0,585
		L37-38	1,490	1,322	2,289	0,493	0,490	0,550	0,448	0,585
15	14		<b>4,544</b>	<b>4,049</b>	<b>7,014</b>	<b>1,195</b>	<b>1,195</b>	<b>1,190</b>	<b>1,198</b>	<b>1,176</b>
		L40-39	3,648	3,260	5,634	1,008	1,107	0,988	1,110	0,945
		L41-42	0,721	0,652	1,116	0,146	0,059	0,171	0,059	0,186
		DG6	2,952	2,652	4,578	0,869	1,056	0,844	1,054	0,768

ΠΒ 12: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  $R_F=0,5\Omega/10\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 0,5\Omega$			$R_F = 10\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,989</b>	<b>3,578</b>	<b>6,198</b>	<b>1,050</b>	<b>1,050</b>	<b>1,160</b>	<b>0,973</b>	<b>1,215</b>
		L5-6	1,454	1,307	2,262	0,051	0,023	0,428	0,394	0,444
		L1-2	0,247	0,224	0,384	0,397	0,425	0,065	0,021	0,075
		DG1	1,213	1,095	1,890	0,348	0,404	0,363	0,374	0,372
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>4,964</b>	<b>4,448</b>	<b>7,704</b>	<b>1,199</b>	<b>1,199</b>	<b>1,193</b>	<b>1,201</b>	<b>1,185</b>
		L6-5	1,194	1,083	1,860	0,228	0,108	0,264	0,108	0,285
		L7-8	0,630	0,571	0,981	0,120	0,056	0,139	0,056	0,150
		L9-10	0,564	0,512	0,879	0,108	0,052	0,125	0,052	0,135
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,968</b>	<b>4,453</b>	<b>7,713</b>	<b>1,197</b>	<b>1,197</b>	<b>1,194</b>	<b>1,198</b>	<b>1,185</b>
		L9-10	0,983	0,892	1,533	0,188	0,091	0,217	0,091	0,234
		L5-6	0,564	0,512	0,882	0,109	0,053	0,125	0,053	0,135
		L7-8	0,419	0,380	0,651	0,080	0,038	0,092	0,038	0,099
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,965</b>	<b>3,556</b>	<b>6,159</b>	<b>1,048</b>	<b>1,048</b>	<b>1,159</b>	<b>0,970</b>	<b>1,215</b>
		L10-9	1,122	1,007	1,743	0,298	0,300	0,328	0,278	0,345
		L13-14	0,194	0,176	0,303	0,040	0,017	0,051	0,016	0,060
		DG2	0,932	0,840	1,452	0,259	0,284	0,246	0,263	0,285
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>5,597</b>	<b>5,059</b>	<b>8,763</b>	<b>1,200</b>	<b>1,200</b>	<b>1,208</b>	<b>1,198</b>	<b>1,197</b>
		L1-2	0,855	0,779	1,347	0,152	0,089	0,171	0,089	0,183
		L5-6	0,035	0,035	0,069	0,008	0,013	0,011	0,013	0,009
		DG1	0,864	0,786	1,362	0,158	0,103	0,176	0,102	0,186
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>4,894</b>	<b>4,383</b>	<b>7,593</b>	<b>1,194</b>	<b>1,194</b>	<b>1,192</b>	<b>1,194</b>	<b>1,182</b>
		L2-1	0,917	0,830	1,428	0,181	0,094	0,206	0,094	0,222
		L3-4	0,032	0,033	0,060	0,006	0,012	0,011	0,012	0,009
		L15-16	0,162	0,149	0,252	0,028	0,005	0,035	0,005	0,039
		DG3	0,751	0,678	1,173	0,156	0,101	0,175	0,101	0,183
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>5,180</b>	<b>4,706</b>	<b>8,151</b>	<b>1,107</b>	<b>1,107</b>	<b>1,202</b>	<b>1,046</b>	<b>1,236</b>
		L7-8	1,113	1,013	1,755	0,237	0,234	0,257	0,221	0,267
		L5-6	0,639	0,581	1,008	0,137	0,138	0,148	0,130	0,153
		L9-10	0,475	0,432	0,747	0,100	0,096	0,109	0,091	0,114
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>3,989</b>	<b>3,578</b>	<b>6,198</b>	<b>1,049</b>	<b>1,049</b>	<b>1,160</b>	<b>0,972</b>	<b>1,215</b>
		L8-7	1,462	1,314	2,268	0,370	0,341	0,420	0,316	0,444
		L3-4	0,476	0,428	0,741	0,126	0,129	0,138	0,119	0,144
		L11-12	0,500	0,449	0,777	0,131	0,129	0,145	0,120	0,153
		L19-20	0,488	0,440	0,756	0,113	0,083	0,136	0,077	0,147
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>5,872</b>	<b>5,324</b>	<b>9,222</b>	<b>1,205</b>	<b>1,205</b>	<b>1,212</b>	<b>1,203</b>	<b>1,200</b>
		L13-14	1,061	0,970	1,677	0,182	0,111	0,205	0,111	0,219
		L9-10	0,076	0,073	0,126	0,009	0,007	0,014	0,007	0,015
		DG2	0,995	0,908	1,575	0,176	0,118	0,196	0,118	0,204
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>4,979</b>	<b>4,463</b>	<b>7,731</b>	<b>1,197</b>	<b>1,197</b>	<b>1,194</b>	<b>1,198</b>	<b>1,185</b>
		L14-13	1,173	1,063	1,827	0,228	0,119	0,260	0,119	0,279
		L11-12	0,144	0,134	0,228	0,022	0,004	0,031	0,004	0,036
		L23-24	0,203	0,186	0,318	0,035	0,006	0,044	0,006	0,048
		DG4	0,839	0,757	1,311	0,173	0,116	0,194	0,116	0,201

4	5		<b>5,193</b>	<b>4,719</b>	<b>8,175</b>	<b>1,108</b>	<b>1,108</b>	<b>1,203</b>	<b>1,047</b>	<b>1,236</b>
		L3-4	1,456	1,322	2,292	0,321	0,341	0,341	0,322	0,348
		L1-2	0,153	0,140	0,243	0,027	0,016	0,032	0,015	0,036
		L15-16	0,168	0,156	0,267	0,024	0,003	0,034	0,003	0,039
		DG3	1,142	1,044	1,803	0,271	0,326	0,276	0,308	0,273
5	4		<b>5,707</b>	<b>5,162</b>	<b>8,940</b>	<b>1,205</b>	<b>1,205</b>	<b>1,209</b>	<b>1,205</b>	<b>1,197</b>
		L4-3	1,369	1,252	2,154	0,233	0,119	0,266	0,119	0,288
		L7-8	0,313	0,285	0,495	0,056	0,034	0,063	0,034	0,066
		L11-12	0,618	0,565	0,975	0,106	0,057	0,121	0,057	0,129
		L19-20	0,438	0,402	0,687	0,071	0,028	0,084	0,028	0,093
5	6		<b>5,929</b>	<b>5,378</b>	<b>9,315</b>	<b>1,207</b>	<b>1,207</b>	<b>1,213</b>	<b>1,207</b>	<b>1,200</b>
		L11-12	1,356	1,243	2,139	0,223	0,117	0,255	0,117	0,276
		L3-4	0,605	0,554	0,954	0,101	0,055	0,114	0,055	0,123
		L7-8	0,323	0,295	0,513	0,055	0,034	0,062	0,034	0,066
		L19-20	0,430	0,395	0,675	0,067	0,027	0,080	0,027	0,087
6	5		<b>5,195</b>	<b>4,721</b>	<b>8,175</b>	<b>1,108</b>	<b>1,108</b>	<b>1,203</b>	<b>1,047</b>	<b>1,236</b>
		L12-11	1,489	1,355	2,346	0,326	0,342	0,348	0,323	0,354
		L13-14	0,228	0,209	0,363	0,041	0,025	0,048	0,023	0,054
		L23-24	0,167	0,155	0,264	0,024	0,003	0,033	0,003	0,039
		DG4	1,100	1,006	1,734	0,263	0,320	0,267	0,302	0,264
4	7		<b>3,080</b>	<b>2,739</b>	<b>4,743</b>	<b>0,941</b>	<b>0,941</b>	<b>1,098</b>	<b>0,830</b>	<b>1,203</b>
		L15-16	0,973	0,866	1,500	0,305	0,321	0,350	0,283	0,381
		L1-2	0,172	0,155	0,267	0,043	0,023	0,056	0,021	0,069
		L3-4	0,168	0,152	0,261	0,036	0,007	0,052	0,006	0,066
		DG3	0,638	0,572	0,984	0,229	0,296	0,242	0,261	0,249
7	4		<b>5,585</b>	<b>5,047</b>	<b>8,742</b>	<b>1,200</b>	<b>1,200</b>	<b>1,207</b>	<b>1,198</b>	<b>1,194</b>
		L16-15	0,716	0,654	1,125	0,123	0,061	0,141	0,061	0,153
		L17-18	0,401	0,367	0,630	0,069	0,034	0,079	0,033	0,087
		L25-26	0,315	0,288	0,495	0,054	0,027	0,062	0,027	0,069
5	8		<b>7,758</b>	<b>7,182</b>	<b>12,441</b>	<b>1,175</b>	<b>1,175</b>	<b>1,269</b>	<b>1,124</b>	<b>1,281</b>
		L19-20	0,991	0,920	1,590	0,155	0,166	0,166	0,159	0,165
		L3-4	0,319	0,296	0,513	0,052	0,060	0,055	0,057	0,054
		L7-8	0,355	0,329	0,570	0,052	0,047	0,057	0,045	0,060
		L11-12	0,318	0,295	0,510	0,052	0,059	0,054	0,056	0,054
8	5		<b>5,175</b>	<b>4,684</b>	<b>8,112</b>	<b>1,106</b>	<b>1,106</b>	<b>1,202</b>	<b>1,043</b>	<b>1,236</b>
		L20-19	1,231	1,121	1,932	0,248	0,218	0,281	0,205	0,294
		L17-18	0,035	0,034	0,057	0,001	0,012	0,008	0,011	0,009
		L21-22	0,023	0,023	0,036	0,003	0,017	0,007	0,016	0,006
		L29-30	0,075	0,069	0,117	0,017	0,020	0,019	0,019	0,018
		EG	1,216	1,110	1,905	0,230	0,169	0,240	0,159	0,291
6	9		<b>3,567</b>	<b>3,186</b>	<b>5,520</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,136</b>	<b>0,885</b>	<b>1,224</b>
		L23-24	0,966	0,864	1,497	0,275	0,290	0,311	0,259	0,333
		L11-12	0,127	0,116	0,198	0,022	0,007	0,034	0,006	0,045
		L13-14	0,213	0,192	0,333	0,049	0,028	0,062	0,025	0,075
		DG4	0,630	0,568	0,978	0,206	0,268	0,215	0,240	0,216
9	6		<b>5,803</b>	<b>5,259</b>	<b>9,108</b>	<b>1,202</b>	<b>1,202</b>	<b>1,211</b>	<b>1,199</b>	<b>1,200</b>
		L24-23	0,767	0,703	1,209	0,127	0,064	0,146	0,064	0,159
		L21-22	0,474	0,435	0,747	0,079	0,039	0,090	0,039	0,099
		L33-34	0,293	0,269	0,462	0,049	0,025	0,056	0,025	0,060
7	8		<b>7,724</b>	<b>7,147</b>	<b>12,381</b>	<b>1,175</b>	<b>1,175</b>	<b>1,269</b>	<b>1,123</b>	<b>1,281</b>

		L17-18	0,594	0,551	0,954	0,094	0,101	0,100	0,096	0,099
		L15-16	0,456	0,424	0,732	0,073	0,079	0,077	0,076	0,075
		L25-26	0,138	0,128	0,222	0,021	0,022	0,023	0,021	0,024
8	7		<b>3,098</b>	<b>2,755</b>	<b>4,773</b>	<b>0,942</b>	<b>0,942</b>	<b>1,099</b>	<b>0,832</b>	<b>1,203</b>
		L18-17	1,276	1,136	1,965	0,381	0,367	0,450	0,324	0,495
		L19-20	0,133	0,119	0,204	0,047	0,061	0,051	0,054	0,051
		L21-22	0,112	0,099	0,174	0,037	0,042	0,042	0,037	0,045
		L29-30	0,207	0,184	0,318	0,058	0,049	0,071	0,043	0,081
		EG	1,243	1,107	1,908	0,356	0,313	0,432	0,276	0,480
8	9		<b>3,613</b>	<b>3,228</b>	<b>5,592</b>	<b>0,992</b>	<b>0,992</b>	<b>1,139</b>	<b>0,890</b>	<b>1,224</b>
		L21-22	1,756	1,571	2,718	0,474	0,457	0,550	0,410	0,594
		L17-18	0,119	0,107	0,183	0,035	0,040	0,039	0,036	0,039
		L19-20	0,200	0,180	0,309	0,061	0,074	0,067	0,066	0,069
		L29-30	0,111	0,100	0,171	0,026	0,019	0,034	0,017	0,036
		EG	1,554	1,391	2,397	0,405	0,363	0,480	0,325	0,525
9	8		<b>7,835</b>	<b>7,258</b>	<b>12,570</b>	<b>1,177</b>	<b>1,177</b>	<b>1,270</b>	<b>1,127</b>	<b>1,281</b>
		L22-21	0,774	0,719	1,242	0,121	0,129	0,129	0,124	0,126
		L23-24	0,509	0,473	0,819	0,080	0,087	0,085	0,084	0,084
		L33-34	0,264	0,246	0,426	0,040	0,042	0,044	0,040	0,042
7	10		<b>3,123</b>	<b>2,778</b>	<b>4,812</b>	<b>0,954</b>	<b>0,954</b>	<b>1,103</b>	<b>0,847</b>	<b>1,200</b>
		L25-26	0,877	0,781	1,350	0,261	0,249	0,307	0,221	0,336
		L15-16	0,436	0,388	0,672	0,133	0,134	0,130	0,119	0,168
		L17-18	0,441	0,393	0,678	0,128	0,115	0,153	0,102	0,168
10	7		<b>3,084</b>	<b>2,742</b>	<b>4,749</b>	<b>0,941</b>	<b>0,941</b>	<b>1,098</b>	<b>0,830</b>	<b>1,203</b>
		L26-25	0,887	0,789	1,365	0,270	0,269	0,316	0,237	0,345
		L27-28	0,369	0,329	0,567	0,107	0,097	0,129	0,086	0,144
		L35-36	0,518	0,462	0,798	0,163	0,172	0,187	0,152	0,201
8	11		<b>3,427</b>	<b>3,056</b>	<b>5,292</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,127</b>	<b>0,865</b>	<b>1,224</b>
		L29-30	1,741	1,554	2,688	0,488	0,475	0,570	0,423	0,621
		L17-18	0,086	0,077	0,129	0,020	0,011	0,027	0,010	0,030
		L19-20	0,272	0,243	0,420	0,081	0,087	0,092	0,078	0,096
		L21-22	0,053	0,046	0,078	0,010	0,007	0,017	0,006	0,018
		EG	1,606	1,433	2,472	0,436	0,398	0,519	0,354	0,570
11	8		<b>7,827</b>	<b>7,250</b>	<b>12,558</b>	<b>1,177</b>	<b>1,177</b>	<b>1,270</b>	<b>1,127</b>	<b>1,281</b>
		L30-29	0,638	0,593	1,026	0,099	0,106	0,106	0,101	0,105
		L27-28	0,433	0,403	0,696	0,068	0,072	0,072	0,069	0,072
		L31-32	0,204	0,190	0,327	0,032	0,033	0,034	0,032	0,033
9	12		<b>2,915</b>	<b>2,588</b>	<b>4,482</b>	<b>0,924</b>	<b>0,924</b>	<b>1,082</b>	<b>0,812</b>	<b>1,191</b>
		L33-34	1,239	1,101	1,905	0,386	0,372	0,458	0,327	0,507
		L21-22	0,764	0,679	1,173	0,234	0,217	0,280	0,190	0,312
		L23-24	0,475	0,422	0,732	0,152	0,155	0,178	0,136	0,195
12	9		<b>3,589</b>	<b>3,207</b>	<b>5,553</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,138</b>	<b>0,887</b>	<b>1,224</b>
		L34-33	0,921	0,823	1,425	0,255	0,258	0,292	0,231	0,315
		L31-32	0,360	0,322	0,555	0,096	0,091	0,113	0,081	0,123
		L41-42	0,561	0,503	0,870	0,159	0,167	0,180	0,150	0,192
10	11		<b>3,408</b>	<b>3,039</b>	<b>5,262</b>	<b>0,971</b>	<b>0,971</b>	<b>1,126</b>	<b>0,863</b>	<b>1,221</b>
		L27-28	1,025	0,915	1,584	0,297	0,308	0,341	0,274	0,369
		L25-26	0,388	0,347	0,600	0,107	0,101	0,127	0,089	0,138
		L35-36	0,637	0,570	0,987	0,190	0,208	0,214	0,185	0,228
11	10		<b>3,138</b>	<b>2,792</b>	<b>4,836</b>	<b>0,955</b>	<b>0,955</b>	<b>1,104</b>	<b>0,850</b>	<b>1,200</b>

		L28-27	1,151	1,025	1,773	0,340	0,320	0,401	0,285	0,441
		L29-30	0,820	0,731	1,263	0,240	0,221	0,285	0,197	0,312
		L31-32	0,330	0,294	0,510	0,100	0,099	0,116	0,088	0,126
11	12		<b>2,889</b>	<b>2,565</b>	<b>4,443</b>	<b>0,921</b>	<b>0,921</b>	<b>1,080</b>	<b>0,808</b>	<b>1,191</b>
		L31-32	0,776	0,690	1,194	0,243	0,234	0,288	0,206	0,321
		L27-28	0,319	0,284	0,492	0,104	0,108	0,120	0,095	0,132
		L29-30	0,457	0,407	0,702	0,139	0,126	0,169	0,111	0,189
12	11		<b>3,372</b>	<b>3,006</b>	<b>5,205</b>	<b>0,967</b>	<b>0,967</b>	<b>1,123</b>	<b>0,859</b>	<b>1,221</b>
		L32-31	0,668	0,614	1,062	0,198	0,201	0,230	0,178	0,249
		L33-34	0,322	0,287	0,495	0,089	0,082	0,106	0,073	0,117
		L41-42	0,366	0,326	0,567	0,110	0,119	0,124	0,106	0,132
10	13		<b>4,633</b>	<b>4,135</b>	<b>7,161</b>	<b>1,193</b>	<b>1,193</b>	<b>1,187</b>	<b>1,195</b>	<b>1,179</b>
		L35-36	0,879	0,795	1,362	0,176	0,076	0,205	0,076	0,225
		L25-26	0,395	0,358	0,612	0,079	0,034	0,092	0,034	0,102
		L27-28	0,484	0,437	0,750	0,097	0,043	0,113	0,043	0,123
13	10		<b>3,133</b>	<b>2,787</b>	<b>4,827</b>	<b>0,955</b>	<b>0,955</b>	<b>1,104</b>	<b>0,850</b>	<b>1,200</b>
		L36-35	1,144	1,022	1,767	0,366	0,399	0,409	0,355	0,438
		L37-38	0,222	0,200	0,345	0,054	0,026	0,072	0,023	0,087
		DG5	0,926	0,830	1,431	0,313	0,374	0,338	0,333	0,357
12	15		<b>4,483</b>	<b>3,995</b>	<b>6,921</b>	<b>1,190</b>	<b>1,190</b>	<b>1,184</b>	<b>1,190</b>	<b>1,176</b>
		L41-42	0,738	0,666	1,140	0,152	0,066	0,177	0,066	0,195
		L31-32	0,259	0,234	0,402	0,054	0,025	0,063	0,025	0,069
		L33-34	0,479	0,433	0,741	0,098	0,041	0,115	0,041	0,126
15	12		<b>2,896</b>	<b>2,571</b>	<b>4,452</b>	<b>0,923</b>	<b>0,923</b>	<b>1,081</b>	<b>0,810</b>	<b>1,191</b>
		L42-41	0,928	0,826	1,428	0,307	0,330	0,350	0,290	0,381
		L39-40	0,165	0,149	0,255	0,042	0,019	0,056	0,017	0,069
		DG6	0,765	0,684	1,182	0,267	0,312	0,294	0,274	0,315
13	14		<b>2,979</b>	<b>2,642</b>	<b>4,575</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,099</b>	<b>0,902</b>	<b>1,173</b>
		L37-38	1,509	1,339	2,319	0,500	0,498	0,557	0,455	0,594
		L35-36	0,317	0,285	0,486	0,079	0,028	0,106	0,026	0,138
		DG5	1,203	1,073	1,854	0,424	0,472	0,451	0,431	0,474
14	13		<b>4,661</b>	<b>4,159</b>	<b>7,203</b>	<b>1,196</b>	<b>1,196</b>	<b>1,190</b>	<b>1,199</b>	<b>1,179</b>
		L38-37	0,898	0,811	1,395	0,184	0,092	0,212	0,092	0,228
		L39-40	0,898	0,811	1,395	0,184	0,92	0,212	0,092	0,228
14	15		<b>4,544</b>	<b>4,049</b>	<b>7,014</b>	<b>1,195</b>	<b>1,195</b>	<b>1,190</b>	<b>1,198</b>	<b>1,176</b>
		L39-40	0,909	0,820	1,410	0,190	0,092	0,220	0,093	0,237
		L37-38	0,909	0,820	1,410	0,190	0,092	0,220	0,093	0,237
15	14		<b>2,978</b>	<b>2,642</b>	<b>4,575</b>	<b>0,987</b>	<b>0,987</b>	<b>1,099</b>	<b>0,902</b>	<b>1,173</b>
		L40-39	1,488	1,320	2,286	0,495	0,498	0,550	0,455	0,585
		L41-42	0,267	0,240	0,411	0,067	0,023	0,090	0,021	0,105
		DG6	1,230	1,097	1,896	0,431	0,476	0,460	0,435	0,486

ΠΒ 13: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=1\Omega/20\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 1\Omega$			$R_F = 20\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>4,565</b>	<b>4,314</b>	<b>7,473</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L5-6	3,486	3,307	5,715	0,033	0,567	0,494	0,568	0,471
		L1-2	0,820	0,784	1,347	0,024	0,043	0,103	0,043	0,111
		DG1	2,687	2,563	4,419	0,419	0,527	0,405	0,527	0,366
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,699</b>	<b>3,465</b>	<b>6,000</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,563</b>	<b>0,624</b>
		L6-5	2,351	2,205	3,813	0,363	0,347	0,389	0,335	0,396
		L7-8	1,331	1,249	2,157	0,202	0,185	0,219	0,179	0,225
		L9-10	1,021	0,957	1,656	0,161	0,162	0,170	0,156	0,171
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,678</b>	<b>3,444</b>	<b>5,964</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,562</b>	<b>0,624</b>
		L9-10	2,638	2,470	4,278	0,417	0,416	0,443	0,401	0,447
		L5-6	1,317	1,236	2,136	0,216	0,231	0,224	0,223	0,225
		L7-8	1,322	1,235	2,142	0,201	0,185	0,219	0,178	0,225
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>4,567</b>	<b>4,318</b>	<b>7,479</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L10-9	3,677	3,487	6,027	0,525	0,575	0,515	0,575	0,498
		L13-14	1,041	0,995	1,713	0,113	0,056	0,131	0,056	0,141
		DG2	2,661	2,539	4,377	0,415	0,522	0,400	0,522	0,360
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>4,505</b>	<b>4,253</b>	<b>7,365</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,620</b>	<b>0,615</b>
		L1-2	3,671	3,474	6,006	0,528	0,573	0,517	0,573	0,504
		L5-6	1,055	1,008	1,731	0,114	0,052	0,133	0,052	0,144
		DG1	2,645	2,520	4,344	0,417	0,524	0,402	0,524	0,363
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>5,045</b>	<b>4,863</b>	<b>8,424</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,622</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L2-1	4,279	4,128	7,140	0,543	0,576	0,536	0,576	0,525
		L3-4	1,174	1,144	1,968	0,115	0,057	0,133	0,057	0,144
		L15-16	0,614	0,599	1,029	0,060	0,028	0,069	0,028	0,075
		DG3	2,530	2,465	4,242	0,373	0,496	0,354	0,496	0,312
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>3,698</b>	<b>3,465</b>	<b>6,000</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,563</b>	<b>0,624</b>
		L7-8	2,344	2,199	3,807	0,378	0,394	0,394	0,380	0,396
		L5-6	1,324	1,244	2,151	0,216	0,232	0,224	0,224	0,225
		L9-10	1,020	0,956	1,656	0,161	0,162	0,170	0,156	0,171
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>4,659</b>	<b>4,500</b>	<b>7,794</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L8-7	3,657	3,532	6,114	0,470	0,471	0,492	0,459	0,492
		L3-4	1,276	1,235	2,136	0,169	0,179	0,173	0,174	0,171
		L11-12	1,305	1,262	2,184	0,171	0,179	0,177	0,175	0,177
		L19-20	1,077	1,043	1,797	0,130	0,113	0,141	0,110	0,144
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>4,576</b>	<b>4,328</b>	<b>7,497</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L13-14	3,512	3,332	5,757	0,505	0,561	0,493	0,561	0,474
		L9-10	0,874	0,836	1,437	0,093	0,043	0,109	0,043	0,117
		DG2	2,663	2,541	4,380	0,415	0,521	0,399	0,521	0,360
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>5,254</b>	<b>5,104</b>	<b>8,841</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,623</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L14-13	4,309	4,189	7,245	0,528	0,566	0,521	0,566	0,507
		L11-12	1,166	1,145	1,971	0,111	0,056	0,128	0,056	0,138
		L23-24	0,659	0,648	1,113	0,062	0,029	0,071	0,029	0,078
		DG4	2,523	2,477	4,263	0,361	0,486	0,342	0,486	0,300

4	5		<b>5,132</b>	<b>4,959</b>	<b>8,589</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,618</b>
		L3-4	3,915	3,795	6,555	0,504	0,563	0,490	0,563	0,471
		L1-2	0,743	0,725	1,251	0,074	0,041	0,084	0,041	0,090
		L15-16	0,625	0,611	1,050	0,060	0,028	0,069	0,028	0,075
		DG3	2,577	2,517	4,332	0,374	0,498	0,356	0,498	0,312
5	4		<b>4,670</b>	<b>4,512</b>	<b>7,815</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L4-3	3,361	3,249	5,622	0,425	0,414	0,447	0,403	0,453
		L7-8	0,976	0,945	1,638	0,124	0,122	0,130	0,119	0,132
		L11-12	1,307	1,265	2,187	0,171	0,179	0,177	0,174	0,177
		L19-20	1,078	1,044	1,800	0,129	0,112	0,141	0,110	0,144
5	6		<b>4,671</b>	<b>4,513</b>	<b>7,815</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L11-12	3,332	3,221	5,574	0,422	0,413	0,444	0,403	0,447
		L3-4	1,278	1,238	2,142	0,169	0,179	0,173	0,174	0,171
		L7-8	0,977	0,945	1,638	0,124	0,122	0,130	0,119	0,132
		L19-20	1,078	1,044	1,800	0,129	0,112	0,141	0,110	0,144
6	5		<b>5,298</b>	<b>5,153</b>	<b>8,925</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,623</b>	<b>0,622</b>	<b>0,618</b>
		L12-11	4,099	3,998	6,909	0,509	0,564	0,495	0,564	0,480
		L13-14	0,919	0,902	1,557	0,089	0,052	0,102	0,036	0,216
		L23-24	0,664	0,653	1,122	0,062	0,029	0,071	0,029	0,078
		DG4	2,547	2,504	4,308	0,362	0,487	0,343	0,487	0,300
4	7		<b>5,035</b>	<b>4,853</b>	<b>8,406</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,622</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L15-16	4,397	4,245	7,344	0,558	0,590	0,550	0,590	0,540
		L1-2	0,731	0,711	1,227	0,074	0,041	0,084	0,041	0,090
		L3-4	1,174	1,145	1,968	0,116	0,057	0,134	0,057	0,144
		DG3	2,528	2,463	4,239	0,374	0,497	0,355	0,497	0,312
7	4		<b>2,909</b>	<b>2,670</b>	<b>4,626</b>	<b>0,554</b>	<b>0,554</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>
		L16-15	1,990	1,828	3,165	0,374	0,365	0,414	0,343	0,429
		L17-18	1,173	1,078	1,863	0,219	0,211	0,243	0,198	0,252
		L25-26	0,817	0,750	1,299	0,155	0,155	0,171	0,145	0,177
5	8		<b>4,640</b>	<b>4,479</b>	<b>7,758</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,581</b>	<b>0,627</b>
		L19-20	3,533	3,416	5,913	0,463	0,479	0,479	0,467	0,477
		L3-4	1,267	1,222	2,121	0,168	0,178	0,173	0,174	0,171
		L7-8	0,970	0,937	1,623	0,124	0,122	0,130	0,119	0,132
		L11-12	1,296	1,253	2,169	0,171	0,179	0,176	0,174	0,174
8	5		<b>6,592</b>	<b>6,729</b>	<b>11,655</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,602</b>	<b>0,636</b>
		L20-19	5,760	5,880	10,179	0,533	0,528	0,557	0,518	0,558
		L17-18	0,468	0,479	0,828	0,045	0,049	0,047	0,048	0,045
		L21-22	0,617	0,631	1,092	0,060	0,064	0,062	0,063	0,060
		L29-30	0,506	0,518	0,897	0,049	0,052	0,050	0,051	0,048
		EG	4,201	4,289	7,413	0,382	0,364	0,402	0,357	0,405
6	9		<b>5,199</b>	<b>5,043</b>	<b>8,736</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,623</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L23-24	4,519	4,391	7,596	0,556	0,589	0,548	0,588	0,540
		L11-12	1,154	1,132	1,947	0,111	0,056	0,127	0,056	0,138
		L13-14	0,903	0,883	1,527	0,089	0,052	0,102	0,052	0,108
		DG4	2,497	2,448	4,212	0,361	0,486	0,341	0,486	0,300
9	6		<b>3,333</b>	<b>3,093</b>	<b>5,358</b>	<b>0,567</b>	<b>0,567</b>	<b>0,616</b>	<b>0,538</b>	<b>0,627</b>
		L24-23	2,430	2,256	3,906	0,409	0,401	0,447	0,380	0,459
		L21-22	1,593	1,479	2,559	0,266	0,256	0,292	0,243	0,300
		L33-34	0,837	0,778	1,347	0,143	0,144	0,155	0,137	0,159
7	8		<b>2,924</b>	<b>2,686</b>	<b>4,653</b>	<b>0,555</b>	<b>0,555</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>



		L17-18	1,720	1,578	2,736	0,330	0,339	0,360	0,318	0,369
		L15-16	0,899	0,827	1,431	0,175	0,184	0,189	0,173	0,192
		L25-26	0,820	0,753	1,305	0,155	0,155	0,170	0,145	0,177
8	7		<b>6,570</b>	<b>6,699</b>	<b>11,604</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,602</b>	<b>0,636</b>
		L18-17	6,070	6,189	10,716	0,565	0,561	0,590	0,551	0,588
		L19-20	0,792	0,810	1,401	0,077	0,082	0,079	0,081	0,078
		L21-22	0,617	0,631	1,092	0,060	0,064	0,062	0,063	0,060
		L29-30	0,499	0,510	0,882	0,048	0,052	0,050	0,051	0,048
		EG	4,198	4,281	7,398	0,383	0,365	0,403	0,358	0,405
8	9		<b>6,646</b>	<b>6,795</b>	<b>11,769</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,603</b>	<b>0,636</b>
		L21-22	5,997	6,132	10,617	0,552	0,547	0,576	0,537	0,576
		L17-18	0,474	0,486	0,840	0,046	0,049	0,047	0,048	0,045
		L19-20	0,802	0,822	1,422	0,077	0,082	0,080	0,081	0,078
		L29-30	0,507	0,520	0,900	0,049	0,052	0,576	0,537	0,576
		EG	4,249	4,345	7,509	0,384	,366	0,403	0,359	0,408
9	8		<b>3,372</b>	<b>3,132</b>	<b>5,424</b>	<b>0,568</b>	<b>0,568</b>	<b>0,616</b>	<b>0,539</b>	<b>0,630</b>
		L22-21	1,733	1,611	2,790	0,297	0,306	0,319	0,291	0,324
		L23-24	0,886	0,824	1,425	0,153	0,161	0,164	0,153	0,165
		L33-34	0,847	0,787	1,362	0,143	0,145	0,155	0,137	0,159
7	10		<b>2,912</b>	<b>2,674</b>	<b>4,632</b>	<b>0,554</b>	<b>0,554</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>
		L25-26	2,075	1,905	3,300	0,395	0,396	0,433	0,372	0,447
		L15-16	0,898	0,826	1,428	0,175	0,184	0,190	0,173	0,192
		L17-18	1,177	1,081	1,869	0,220	0,211	0,244	0,198	0,252
10	7		<b>2,949</b>	<b>2,709</b>	<b>4,692</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,608</b>	<b>0,526</b>	<b>0,624</b>
		L26-25	2,121	1,950	3,378	0,405	0,412	0,439	0,389	0,450
		L27-28	1,064	0,979	1,692	0,195	0,184	0,217	0,173	0,225
		L35-36	1,058	0,975	1,686	0,210	0,229	0,222	0,216	0,225
8	11		<b>6,641</b>	<b>6,788</b>	<b>11,757</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,603</b>	<b>0,636</b>
		L29-30	6,105	6,241	10,806	0,563	0,560	0,587	0,549	0,585
		L17-18	0,470	0,482	0,834	0,045	0,049	0,047	0,048	0,045
		L19-20	0,803	0,823	1,425	0,077	0,082	0,080	0,081	0,078
		L21-22	0,621	0,637	1,101	0,060	0,064	0,062	0,063	0,060
		EG	4,248	4,343	7,506	0,384	0,366	0,404	0,359	0,408
11	8		<b>3,213</b>	<b>2,971</b>	<b>5,145</b>	<b>0,563</b>	<b>0,563</b>	<b>0,614</b>	<b>0,532</b>	<b>0,630</b>
		L30-29	1,580	1,463	2,532	0,281	0,288	0,304	0,272	0,309
		L27-28	0,948	0,878	1,518	0,169	0,175	0,183	0,166	0,186
		L31-32	0,633	0,585	1,014	0,111	0,113	0,121	0,106	0,123
9	12		<b>3,352</b>	<b>3,112</b>	<b>5,391</b>	<b>0,567</b>	<b>0,567</b>	<b>0,616</b>	<b>0,539</b>	<b>0,630</b>
		L33-34	2,492	2,314	4,005	0,421	0,420	0,458	0,398	0,468
		L21-22	1,608	1,494	2,583	0,267	0,258	0,293	0,245	0,300
		L23-24	0,884	0,822	1,422	0,154	0,162	0,165	0,154	0,165
12	9		<b>2,763</b>	<b>2,528</b>	<b>4,377</b>	<b>0,549</b>	<b>0,549</b>	<b>0,604</b>	<b>0,515</b>	<b>0,624</b>
		L34-33	1,589	1,455	2,520	0,320	0,328	0,349	0,308	0,360
		L31-32	0,723	0,662	1,146	0,141	0,136	0,157	0,127	0,162
		L41-42	0,866	0,795	1,374	0,179	0,192	0,192	0,180	0,195
10	11		<b>2,962</b>	<b>2,722</b>	<b>4,716</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,609</b>	<b>0,527</b>	<b>0,624</b>
		L27-28	1,876	1,726	2,988	0,359	0,371	0,388	0,350	0,396
		L25-26	0,814	0,748	1,293	0,150	0,142	0,166	0,134	1,725
		L35-36	1,063	0,981	1,968	0,210	0,229	0,222	0,216	0,225
11	10		<b>3,196</b>	<b>2,954</b>	<b>5,118</b>	<b>0,562</b>	<b>0,562</b>	<b>0,614</b>	<b>0,531</b>	<b>0,630</b>

		L28-27	2,235	2,066	3,576	0,390	0,381	0,428	0,363	0,441
		L29-30	1,603	1,482	2,565	0,278	0,271	0,306	0,256	0,315
		L31-32	0,632	0,584	1,011	0,112	0,113	0,122	0,107	0,123
11	12		<b>3,165</b>	<b>2,924</b>	<b>5,064</b>	<b>0,562</b>	<b>0,562</b>	<b>0,613</b>	<b>0,530</b>	<b>0,630</b>
		L31-32	2,520	2,327	4,029	0,446	0,445	0,488	0,420	0,501
		L27-28	0,935	0,865	1,497	0,169	0,175	0,183	0,165	0,186
		L29-30	1,584	1,464	2,532	0,277	0,270	0,305	0,255	0,315
12	11		<b>2,740</b>	<b>2,505</b>	<b>4,338</b>	<b>0,548</b>	<b>0,548</b>	<b>0,604</b>	<b>0,513</b>	<b>0,624</b>
		L32-31	2,004	1,833	3,174	0,404	0,409	0,443	0,383	0,456
		L33-34	1,147	1,049	1,815	0,225	0,217	0,251	0,203	0,261
		L41-42	0,858	0,787	1,359	0,178	0,192	0,191	0,180	0,195
10	13		<b>2,957</b>	<b>2,717</b>	<b>4,707</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,608</b>	<b>0,527</b>	<b>0,624</b>
		L35-36	1,878	1,727	2,985	0,345	0,325	0,383	0,307	0,396
		L25-26	0,811	0,746	1,290	0,149	0,142	0,166	0,134	0,171
		L27-28	1,067	0,981	1,695	0,195	0,184	0,217	0,173	0,225
13	10		<b>4,301</b>	<b>4,026</b>	<b>6,975</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>	<b>0,620</b>	<b>0,615</b>
		L36-35	3,502	3,292	5,691	0,531	0,582	0,522	0,583	0,501
		L37-38	0,811	0,768	1,323	0,093	0,045	0,108	0,045	0,117
		DG5	2,711	2,560	4,416	0,441	0,540	0,427	0,540	0,390
12	15		<b>2,747</b>	<b>2,511</b>	<b>4,350</b>	<b>0,549</b>	<b>0,549</b>	<b>0,604</b>	<b>0,514</b>	<b>0,624</b>
		L41-42	1,867	1,708	2,955	0,366	0,352	0,408	0,330	0,423
		L31-32	0,718	0,657	1,137	0,141	0,135	0,157	0,127	0,162
		L33-34	1,149	1,052	1,818	0,225	0,217	0,251	0,203	0,423
15	12		<b>4,178</b>	<b>3,896</b>	<b>6,750</b>	<b>0,619</b>	<b>0,619</b>	<b>0,618</b>	<b>0,619</b>	<b>0,615</b>
		L42-41	3,506	3,280	5,673	0,542	0,586	0,535	0,587	0,516
		L39-40	0,817	0,772	1,326	0,096	0,045	0,112	0,045	0,120
		DG6	2,708	2,546	4,395	0,449	0,544	0,437	0,544	0,402
13	14		<b>4,325</b>	<b>4,050</b>	<b>7,014</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,615</b>
		L37-38	3,502	3,287	5,682	0,527	0,575	0,517	0,576	0,498
		L35-36	0,798	0,758	1,299	0,088	0,036	0,104	0,036	0,114
		DG5	2,731	2,579	4,449	0,442	0,541	0,429	0,542	0,390
14	13		<b>2,834</b>	<b>2,587</b>	<b>4,482</b>	<b>0,568</b>	<b>0,568</b>	<b>0,606</b>	<b>0,544</b>	<b>0,618</b>
		L38-37	1,398	1,277	2,211	0,281	0,282	0,299	0,270	0,306
		L39-40	1,398	1,277	2,211	0,281	0,282	0,299	0,270	0,306
14	15		<b>2,834</b>	<b>2,587</b>	<b>4,482</b>	<b>0,568</b>	<b>0,568</b>	<b>0,606</b>	<b>0,544</b>	<b>0,618</b>
		L39-40	1,418	1,295	2,241	0,284	0,282	0,303	0,270	0,309
		L37-38	1,418	1,295	2,241	0,284	0,282	0,303	0,270	0,309
15	14		<b>4,231</b>	<b>3,949</b>	<b>6,840</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,615</b>
		L40-39	3,396	3,179	5,493	0,524	0,575	0,514	0,575	0,495
		L41-42	0,671	0,636	1,089	0,076	0,031	0,089	0,031	0,099
		DG6	2,749	2,587	4,464	0,451	0,546	0,439	0,547	0,402

ΠΒ 14: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  $R_F=1\Omega/20\Omega$

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 1\Omega$			$R_F = 20\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,699</b>	<b>3,465</b>	<b>6,000</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,563</b>	<b>0,624</b>
		L5-6	1,348	1,266	2,190	0,221	0,236	0,228	0,228	0,228
		L1-2	0,229	0,217	0,372	0,028	0,013	0,035	0,012	0,039
		DG1	1,125	1,060	1,830	0,193	0,224	0,194	0,216	0,189
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>4,565</b>	<b>4,314</b>	<b>7,473</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L6-5	1,098	1,050	1,806	0,118	0,056	0,137	0,056	0,150
		L7-8	0,579	0,554	0,951	0,062	0,029	0,072	0,029	0,078
		L9-10	0,519	0,496	0,855	0,056	0,027	0,065	0,027	0,069
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>4,567</b>	<b>4,318</b>	<b>7,479</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L9-10	0,904	0,865	1,485	0,098	0,047	0,113	0,047	0,123
		L5-6	0,519	0,496	0,855	0,056	0,028	0,065	0,028	0,069
		L7-8	0,385	0,369	0,633	0,041	0,020	0,048	0,020	0,051
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,678</b>	<b>3,444</b>	<b>5,964</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,562</b>	<b>0,624</b>
		L10-9	1,041	0,975	1,689	0,166	0,167	0,175	0,161	0,177
		L13-14	0,180	0,171	0,291	0,022	0,009	0,027	0,009	0,030
		DG2	0,865	0,813	1,407	0,144	0,158	0,148	0,152	0,147
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>5,045</b>	<b>4,863</b>	<b>8,424</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,622</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L1-2	0,771	0,749	1,293	0,079	0,046	0,089	0,046	0,096
		L5-6	0,031	0,034	0,066	0,004	0,007	0,006	0,007	0,006
		DG1	0,779	0,756	1,311	0,082	0,053	0,092	0,053	0,096
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>4,505</b>	<b>4,253</b>	<b>7,365</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,620</b>	<b>0,615</b>
		L2-1	0,844	0,806	1,386	0,094	0,049	0,107	0,049	0,117
		L3-4	0,029	0,032	0,060	0,003	0,006	0,006	0,006	0,006
		L15-16	0,149	0,145	0,246	0,014	0,002	0,018	0,002	0,021
		DG3	0,692	0,657	1,140	0,081	0,053	0,091	0,053	0,096
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>4,659</b>	<b>4,500</b>	<b>7,794</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L7-8	1,001	0,969	1,677	0,128	0,126	0,133	0,123	0,135
		L5-6	0,574	0,556	0,963	0,074	0,074	0,077	0,072	0,078
		L9-10	0,427	0,413	0,714	0,054	0,052	0,057	0,050	0,057
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>3,698</b>	<b>3,465</b>	<b>6,000</b>	<b>0,583</b>	<b>0,583</b>	<b>0,617</b>	<b>0,563</b>	<b>0,624</b>
		L8-7	1,356	1,272	2,199	0,206	0,190	0,223	0,183	0,228
		L3-4	0,442	0,415	0,717	0,070	0,072	0,074	0,069	0,075
		L11-12	0,463	0,434	0,753	0,073	0,072	0,077	0,069	0,078
		L19-20	0,452	0,426	0,732	0,063	0,046	0,073	0,044	0,075
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>5,254</b>	<b>5,104</b>	<b>8,841</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,623</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L13-14	0,950	0,930	1,608	0,094	0,057	0,106	0,057	0,114
		L9-10	0,068	0,070	0,120	0,005	0,003	0,007	0,003	0,009
		DG2	0,891	0,871	1,509	0,091	0,061	0,101	0,061	0,105
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>4,576</b>	<b>4,328</b>	<b>7,497</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,618</b>
		L14-13	1,078	1,031	1,773	0,118	0,062	0,135	0,062	0,147
		L11-12	0,132	0,130	0,222	0,012	0,002	0,016	0,002	0,018
		L23-24	0,187	0,181	0,309	0,018	0,003	0,023	0,003	0,024
		DG4	0,771	0,734	1,272	0,090	0,060	0,101	0,060	0,105

4	5		<b>4,670</b>	<b>4,512</b>	<b>7,815</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L3-4	1,309	1,268	2,193	0,173	0,184	0,178	0,179	0,177
		L1-2	0,137	0,134	0,231	0,015	0,009	0,017	0,008	0,018
		L15-16	0,151	0,149	0,255	0,013	0,002	0,017	0,002	0,021
		DG3	1,026	0,998	1,722	0,146	0,176	0,144	0,171	0,138
5	4		<b>5,132</b>	<b>4,959</b>	<b>8,589</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,618</b>
		L4-3	1,231	1,202	2,070	0,120	0,062	0,138	0,062	0,150
		L7-8	0,281	0,274	0,474	0,029	0,018	0,032	0,018	0,033
		L11-12	0,556	0,543	0,936	0,055	0,029	0,063	0,029	0,066
		L19-20	0,394	0,386	0,660	0,037	0,015	0,043	0,015	0,048
5	6		<b>5,298</b>	<b>5,153</b>	<b>8,925</b>	<b>0,622</b>	<b>0,622</b>	<b>0,623</b>	<b>0,622</b>	<b>0,618</b>
		L11-12	1,212	1,191	2,049	0,115	0,060	0,132	0,060	0,141
		L3-4	0,540	0,531	0,915	0,052	0,029	0,059	0,029	0,063
		L7-8	0,288	0,283	0,489	0,028	0,018	0,032	0,018	0,033
		L19-20	0,384	0,379	0,648	0,035	0,014	0,041	0,014	0,045
6	5		<b>4,671</b>	<b>4,513</b>	<b>7,815</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>
		L12-11	1,339	1,296	2,241	0,176	0,184	0,181	0,180	0,180
		L13-14	0,205	0,200	0,345	0,022	0,013	0,025	0,013	0,027
		L23-24	0,150	0,148	0,252	0,013	0,002	0,017	0,002	0,021
		DG4	0,989	0,962	1,659	0,142	0,172	0,139	0,168	0,132
4	7		<b>2,909</b>	<b>2,670</b>	<b>4,626</b>	<b>0,554</b>	<b>0,554</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>
		L15-16	0,919	0,845	1,461	0,180	0,189	0,194	0,178	0,198
		L1-2	0,163	0,151	0,261	0,025	0,014	0,031	0,013	0,036
		L3-4	0,159	0,148	0,255	0,021	0,004	0,029	0,004	0,033
		DG3	0,602	0,558	0,960	0,135	0,174	0,135	0,164	0,129
7	4		<b>5,035</b>	<b>4,853</b>	<b>8,406</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,622</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L16-15	0,646	0,629	1,080	0,064	0,031	0,073	0,031	0,081
		L17-18	0,362	0,353	0,606	0,035	0,017	0,041	0,017	0,045
		L25-26	0,284	0,277	0,474	0,028	0,014	0,032	0,014	0,036
5	8		<b>6,592</b>	<b>6,729</b>	<b>11,655</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,602</b>	<b>0,636</b>
		L19-20	0,842	0,862	1,491	0,081	0,087	0,084	0,085	0,081
		L3-4	0,271	0,278	0,480	0,027	0,031	0,028	0,031	0,027
		L7-8	0,301	0,308	0,534	0,027	0,025	0,029	0,024	0,030
		L11-12	0,270	0,277	0,477	0,027	0,031	0,027	0,030	0,027
8	5		<b>4,640</b>	<b>4,479</b>	<b>7,758</b>	<b>0,597</b>	<b>0,597</b>	<b>0,625</b>	<b>0,581</b>	<b>0,627</b>
		L20-19	1,108	1,072	1,848	0,134	0,117	0,146	0,114	0,150
		L17-18	0,031	0,032	0,054	0,004	0,006	0,004	0,006	0,003
		L21-22	0,021	0,022	0,036	0,004	0,009	0,004	0,009	0,003
		L29-30	0,067	0,066	0,114	0,009	0,011	0,010	0,010	0,009
		EG	1,094	1,062	1,821	0,124	0,091	0,141	0,089	0,147
6	9		<b>3,333</b>	<b>3,093</b>	<b>5,358</b>	<b>0,567</b>	<b>0,567</b>	<b>0,616</b>	<b>0,538</b>	<b>0,627</b>
		L23-24	0,903	0,839	1,452	0,158	0,166	0,169	0,158	0,171
		L11-12	0,119	0,113	0,192	0,013	0,004	0,019	0,004	0,024
		L13-14	0,199	0,186	0,321	0,028	0,016	0,033	0,015	0,039
		DG4	0,589	0,551	0,948	0,118	0,154	0,118	0,146	0,111
9	6		<b>5,199</b>	<b>5,043</b>	<b>8,736</b>	<b>0,621</b>	<b>0,621</b>	<b>0,623</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>
		L24-23	0,688	0,674	1,158	0,066	0,033	0,075	0,033	0,081
		L21-22	0,425	0,417	0,714	0,041	0,020	0,047	0,020	0,051
		L33-34	0,263	0,258	0,444	0,025	0,013	0,029	0,013	0,030
7	8		<b>6,570</b>	<b>6,699</b>	<b>11,604</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,602</b>	<b>0,636</b>

		L17-18	0,505	0,517	0,894	0,049	0,053	0,051	0,052	0,048
		L15-16	0,388	0,397	0,687	0,038	0,041	0,039	0,041	0,039
		L25-26	0,117	0,120	0,207	0,011	0,011	0,012	0,011	0,012
8	7		<b>2,294</b>	<b>2,686</b>	<b>4,653</b>	<b>0,555</b>	<b>0,555</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>
		L18-17	1,205	1,107	1,914	0,224	0,216	0,249	0,203	0,258
		L19-20	0,125	0,116	0,201	0,028	0,036	0,029	0,034	0,027
		L21-22	0,106	0,098	0,168	0,022	0,025	0,023	0,023	0,024
		L29-30	0,195	0,180	0,309	0,034	0,029	0,039	0,027	0,042
		EG	1,173	1,079	1,860	0,209	0,184	0,238	0,173	0,249
8	9		<b>3,372</b>	<b>3,132</b>	<b>5,424</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,616</b>	<b>0,539</b>	<b>0,630</b>
		L21-22	1,639	1,524	2,637	0,271	0,262	0,297	0,249	0,306
		L17-18	0,111	0,104	0,180	0,020	0,023	0,021	0,022	0,021
		L19-20	0,187	0,175	0,300	0,035	0,042	0,037	0,040	0,036
		L29-30	0,104	0,097	0,165	0,015	0,011	0,018	0,010	0,018
		EG	1,451	1,349	2,325	0,232	0,208	0,259	0,197	0,270
9	8		<b>6,646</b>	<b>6,795</b>	<b>11,769</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,603</b>	<b>0,636</b>
		L22-21	0,656	0,673	1,164	0,063	0,067	0,065	0,066	0,063
		L23-24	0,432	0,443	0,765	0,042	0,046	0,043	0,045	0,042
		L33-34	0,224	0,230	0,399	0,021	0,022	0,022	0,021	0,021
7	10		<b>2,949</b>	<b>2,709</b>	<b>4,692</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,608</b>	<b>0,526</b>	<b>0,624</b>
		L25-26	0,828	0,761	1,317	0,153	0,145	0,169	0,137	0,174
		L15-16	0,412	0,378	0,654	0,078	0,078	0,085	0,074	0,087
		L17-18	0,416	0,383	0,660	0,075	0,067	0,084	0,063	0,087
10	7		<b>2,912</b>	<b>2,674</b>	<b>4,632</b>	<b>0,554</b>	<b>0,554</b>	<b>0,608</b>	<b>0,521</b>	<b>0,627</b>
		L26-25	0,837	0,769	1,332	0,159	0,159	0,175	0,149	0,180
		L27-28	0,349	0,321	0,552	0,063	0,057	0,071	0,054	0,075
		L35-36	0,489	0,450	0,780	0,096	0,101	0,103	0,095	0,105
8	11		<b>3,213</b>	<b>2,971</b>	<b>5,145</b>	<b>0,563</b>	<b>0,563</b>	<b>0,614</b>	<b>0,532</b>	<b>0,630</b>
		L29-30	1,633	1,510	2,613	0,282	0,275	0,311	0,260	0,318
		L17-18	0,081	0,075	0,126	0,011	0,007	0,015	0,006	0,015
		L19-20	0,255	0,237	0,408	0,047	0,050	0,050	0,048	0,051
		L21-22	0,049	0,045	0,075	0,006	0,004	0,009	0,004	0,009
		EG	1,505	1,394	2,403	0,252	0,231	0,282	0,218	0,294
11	8		<b>6,641</b>	<b>6,788</b>	<b>11,757</b>	<b>0,614</b>	<b>0,614</b>	<b>0,640</b>	<b>0,603</b>	<b>0,636</b>
		L30-29	0,541	0,555	0,960	0,052	0,057	0,054	0,054	0,051
		L27-28	0,368	0,377	0,651	0,035	0,038	0,036	0,037	0,036
		L31-32	0,173	0,178	0,306	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018
9	12		<b>2,763</b>	<b>2,528</b>	<b>4,377</b>	<b>0,549</b>	<b>0,549</b>	<b>0,604</b>	<b>0,515</b>	<b>0,624</b>
		L33-34	1,174	1,075	1,860	0,229	0,221	0,255	0,207	0,264
		L21-22	0,724	0,663	1,146	0,139	0,129	0,156	0,121	0,162
		L23-24	0,451	0,412	0,714	0,090	0,092	0,099	0,086	0,102
12	9		<b>3,352</b>	<b>3,112</b>	<b>5,391</b>	<b>0,567</b>	<b>0,567</b>	<b>0,616</b>	<b>0,539</b>	<b>0,630</b>
		L34-33	0,860	0,799	1,383	0,146	0,148	0,158	0,140	0,162
		L31-32	0,336	0,312	0,540	0,055	0,052	0,061	0,049	0,063
		L41-42	0,524	0,488	0,843	0,091	0,096	0,097	0,091	0,099
10	11		<b>3,196</b>	<b>2,954</b>	<b>5,118</b>	<b>0,562</b>	<b>0,562</b>	<b>0,614</b>	<b>0,531</b>	<b>0,630</b>
		L27-28	0,961	0,890	1,542	0,172	0,178	0,186	0,169	0,189
		L25-26	0,364	0,337	0,582	0,062	0,058	0,069	0,055	0,072
		L35-36	0,597	0,554	0,960	0,110	0,120	0,117	0,114	0,117
11	10		<b>2,962</b>	<b>2,722</b>	<b>4,716</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,609</b>	<b>0,527</b>	<b>0,624</b>

		L28-27	1,086	0,999	1,728	0,199	0,187	0,221	0,177	0,228
		L29-30	0,774	0,713	1,230	0,140	0,129	0,157	0,122	0,162
		L31-32	0,312	0,287	0,498	0,058	0,058	0,064	0,055	0,066
11	12		<b>2,740</b>	<b>2,505</b>	<b>4,338</b>	<b>0,548</b>	<b>0,548</b>	<b>0,604</b>	<b>0,513</b>	<b>0,624</b>
		L31-32	0,736	0,674	1,164	0,145	0,140	0,161	0,131	0,168
		L27-28	0,303	0,278	0,480	0,062	0,064	0,067	0,060	0,069
		L29-30	0,434	0,397	0,684	0,083	0,075	0,094	0,070	0,099
12	11		<b>3,165</b>	<b>2,924</b>	<b>5,064</b>	<b>0,562</b>	<b>0,562</b>	<b>0,613</b>	<b>0,530</b>	<b>0,630</b>
		L32-31	0,646	0,597	1,035	0,115	0,116	0,125	0,110	0,129
		L33-34	0,302	0,279	0,483	0,051	0,047	0,058	0,045	0,060
		L41-42	0,344	0,319	0,552	0,064	0,069	0,068	0,065	0,069
10	13		<b>4,301</b>	<b>4,026</b>	<b>6,975</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,618</b>	<b>0,620</b>	<b>0,615</b>
		L35-36	0,816	0,774	1,326	0,092	0,040	0,107	0,040	0,117
		L25-26	0,367	0,348	0,597	0,041	0,017	0,048	0,017	0,054
		L27-28	0,449	0,426	0,729	0,051	0,022	0,059	0,022	0,063
13	10		<b>2,957</b>	<b>2,717</b>	<b>4,707</b>	<b>0,558</b>	<b>0,558</b>	<b>0,608</b>	<b>0,527</b>	<b>0,624</b>
		L36-35	1,080	0,996	1,722	0,214	0,233	0,226	0,220	0,228
		L37-38	0,210	0,195	0,336	0,031	0,015	0,039	0,014	0,045
		DG5	0,874	9,345	1,398	0,183	0,219	0,187	0,207	0,186
12	15		<b>4,178</b>	<b>3,896</b>	<b>6,750</b>	<b>0,619</b>	<b>0,619</b>	<b>0,618</b>	<b>0,619</b>	<b>0,615</b>
		L41-42	0,687	0,650	1,113	0,079	0,034	0,092	0,034	0,102
		L31-32	0,242	0,228	0,390	0,028	0,013	0,033	0,013	0,036
		L33-34	0,446	0,422	0,723	0,051	0,021	0,060	0,021	0,066
15	12		<b>2,747</b>	<b>2,511</b>	<b>4,350</b>	<b>0,549</b>	<b>0,549</b>	<b>0,604</b>	<b>0,514</b>	<b>0,624</b>
		L42-41	0,880	0,807	1,395	0,183	0,196	0,196	0,184	0,201
		L39-40	0,157	0,145	0,249	0,025	0,012	0,031	0,011	0,036
		DG6	0,726	0,668	1,152	0,159	0,186	0,165	0,174	0,165
13	14		<b>2,834</b>	<b>2,587</b>	<b>4,482</b>	<b>0,568</b>	<b>0,568</b>	<b>0,606</b>	<b>0,544</b>	<b>0,618</b>
		L37-38	1,436	1,311	2,271	0,288	0,287	0,307	0,275	0,312
		L35-36	0,301	0,280	0,477	0,046	0,016	0,058	0,016	0,066
		DG5	1,144	1,051	3,153	0,244	0,272	0,249	0,260	0,249
14	13		<b>4,325</b>	<b>4,050</b>	<b>7,014</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,615</b>
		L38-37	0,833	0,789	1,359	0,096	0,048	0,111	0,048	0,120
		L39-40	0,833	0,789	1,359	0,096	0,048	0,111	0,048	0,120
14	15		<b>4,231</b>	<b>3,949</b>	<b>6,840</b>	<b>0,620</b>	<b>0,620</b>	<b>0,619</b>	<b>0,621</b>	<b>0,615</b>
		L39-40	0,846	0,799	1,374	0,099	0,048	0,114	0,048	0,123
		L37-38	0,846	0,799	1,374	0,099	0,048	0,114	0,048	0,123
15	14		<b>2,834</b>	<b>2,587</b>	<b>4,482</b>	<b>0,568</b>	<b>0,568</b>	<b>0,606</b>	<b>0,544</b>	<b>0,618</b>
		L40-39	1,416	1,293	2,238	0,285	0,286	0,303	0,274	0,309
		L41-42	0,254	0,236	0,402	0,038	0,031	0,049	0,013	0,054
		DG6	1,171	1,075	1,857	0,248	0,274	0,254	0,262	0,255

ΠΒ 15: Δίκτυο 15 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  $R_F=2\Omega/40\Omega$ 

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 2\Omega$			$R_F = 40\Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,724</b>	<b>3,979</b>	<b>6,891</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L5-6	2,843	3,050	5,268	0,256	0,287	0,251	0,288	0,240
		L1-2	0,669	0,723	1,242	0,045	0,022	0,052	0,022	0,057
		DG1	2,192	2,364	4,074	0,212	0,267	0,205	0,267	0,186
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,117</b>	<b>3,215</b>	<b>5,568</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>
		L6-5	1,982	2,046	3,540	0,190	0,182	0,199	0,179	0,201
		L7-8	1,122	1,159	2,001	0,106	0,097	0,112	0,095	0,114
		L9-10	0,860	0,888	1,536	0,084	0,085	0,087	0,083	0,087
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,104</b>	<b>3,197</b>	<b>5,538</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>
		L9-10	2,225	2,293	3,969	0,219	0,218	0,226	0,214	0,225
		L5-6	1,111	1,147	1,983	0,113	0,121	0,114	0,119	0,114
		L7-8	1,116	1,151	1,989	0,105	0,097	0,112	0,095	0,114
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,724</b>	<b>3,981</b>	<b>6,894</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L10-9	2,999	3,215	5,556	0,266	0,291	0,261	0,292	0,252
		L13-14	0,849	0,918	1,578	0,057	0,029	0,066	0,029	0,072
		DG2	2,170	2,340	4,035	0,210	0,265	0,203	0,265	0,183
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>3,687</b>	<b>3,926</b>	<b>6,801</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L1-2	3,004	3,207	5,544	0,268	0,290	0,263	0,290	0,255
		L5-6	0,863	0,931	1,599	0,058	0,027	0,068	0,027	0,075
		DG1	2,164	2,327	4,011	0,212	0,266	0,204	0,266	0,186
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>3,974</b>	<b>4,395</b>	<b>7,611</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L2-1	3,370	3,731	6,453	0,275	0,292	0,271	0,292	0,267
		L3-4	0,925	1,034	1,779	0,058	0,029	0,068	0,029	0,072
		L15-16	0,484	0,541	0,930	0,030	0,014	0,035	0,014	0,039
		DG3	1,993	2,228	3,834	0,189	0,251	0,180	0,251	0,159
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>3,117</b>	<b>3,215</b>	<b>5,568</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>
		L7-8	1,975	2,041	3,531	0,198	0,206	0,201	0,203	0,201
		L5-6	1,116	1,154	1,995	0,113	0,121	0,114	0,119	0,114
		L9-10	0,859	0,887	1,536	0,084	0,085	0,087	0,083	0,087
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>3,702</b>	<b>4,050</b>	<b>7,014</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L8-7	2,906	3,179	5,505	0,243	0,243	0,249	0,241	0,249
		L3-4	1,014	1,111	1,923	0,087	0,092	0,088	0,091	0,087
		L11-12	1,037	1,136	1,965	0,089	0,093	0,089	0,092	0,087
		L19-20	0,856	0,939	1,617	0,067	0,058	0,071	0,058	0,072
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>3,730</b>	<b>3,989</b>	<b>6,909</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L13-14	2,862	3,071	5,307	0,256	0,284	0,250	0,284	0,240
		L9-10	0,712	0,771	1,323	0,047	0,022	0,055	0,022	0,060
		DG2	2,170	2,341	4,038	0,210	0,264	0,203	0,264	0,183
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>4,083</b>	<b>4,578</b>	<b>7,929</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L14-13	3,349	3,757	6,498	0,267	0,286	0,263	0,286	0,258
		L11-12	0,906	1,027	1,767	0,056	0,028	0,065	0,028	0,069
		L23-24	0,512	0,581	0,996	0,031	0,015	0,036	0,015	0,039
		DG4	1,961	2,222	3,822	0,183	0,246	0,173	0,246	0,150

4	5		<b>4,022</b>	<b>4,471</b>	<b>7,743</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>
		L3-4	3,069	3,421	5,910	0,255	0,285	0,249	0,285	0,240
		L1-2	0,583	0,654	1,128	0,037	0,021	0,043	0,021	0,045
		L15-16	0,490	0,551	0,945	0,030	0,014	0,035	0,014	0,039
		DG3	2,020	2,270	3,906	0,189	0,252	0,181	0,252	0,159
5	4		<b>3,708</b>	<b>4,059</b>	<b>7,032</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L4-3	2,669	2,923	5,058	0,219	0,214	0,226	0,211	0,228
		L7-8	0,775	0,850	1,473	0,064	0,063	0,066	0,062	0,066
		L11-12	1,038	1,138	1,968	0,088	0,093	0,089	0,091	0,087
		L19-20	0,856	0,939	1,617	0,067	0,058	0,071	0,057	0,072
5	6		<b>3,709</b>	<b>4,060</b>	<b>7,032</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L11-12	2,646	2,898	5,016	0,218	0,213	0,224	0,211	0,225
		L3-4	1,015	1,113	1,926	0,087	0,092	0,088	0,091	0,087
		L7-8	0,775	0,850	1,473	0,064	0,063	0,066	0,062	0,066
		L19-20	0,856	0,939	1,617	0,067	0,058	0,071	0,057	0,072
6	5		<b>4,107</b>	<b>4,616</b>	<b>7,995</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>
		L12-11	3,177	3,563	6,189	0,257	0,285	0,251	0,285	0,243
		L13-14	0,713	0,808	1,395	0,045	0,026	0,052	0,026	0,054
		L23-24	0,515	0,585	1,005	0,015	0,031	0,036	0,015	0,039
		DG4	1,974	2,243	3,858	0,183	0,247	0,174	0,247	0,153
4	7		<b>3,968</b>	<b>4,386</b>	<b>7,596</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L15-16	3,456	3,837	6,639	0,283	0,299	0,279	0,299	0,273
		L1-2	0,576	0,643	1,110	0,037	0,021	0,043	0,021	0,045
		L3-4	0,926	1,034	1,779	0,059	0,029	0,068	0,029	0,072
		DG3	1,992	2,226	3,831	0,189	0,252	0,180	0,252	0,159
7	4		<b>2,556</b>	<b>2,522</b>	<b>4,368</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>
		L16-15	1,749	1,727	2,988	0,202	0,197	0,214	0,191	0,216
		L17-18	1,031	1,018	1,761	0,118	0,113	0,126	0,110	0,126
		L25-26	0,718	0,709	1,227	0,084	0,083	0,088	0,081	0,090
5	8		<b>3,691</b>	<b>4,034</b>	<b>6,987</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L19-20	2,810	3,076	5,325	0,239	0,248	0,242	0,245	0,240
		L3-4	1,008	1,104	1,908	0,087	0,092	0,087	0,091	0,087
		L7-8	0,771	0,844	1,464	0,064	0,063	0,066	0,062	0,066
		L11-12	1,031	1,128	1,953	0,088	0,092	0,089	0,091	0,087
8	5		<b>4,709</b>	<b>5,718</b>	<b>9,903</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L20-19	4,114	4,996	8,649	0,272	0,269	0,278	0,266	0,279
		L17-18	0,334	0,407	0,705	0,023	0,025	0,023	0,025	0,024
		L21-22	0,440	0,537	0,927	0,030	0,033	0,031	0,032	0,030
		L29-30	0,361	0,440	0,762	0,025	0,026	0,025	0,026	0,024
		EG	3,001	3,645	6,297	0,195	0,186	0,201	0,184	0,201
6	9		<b>4,053</b>	<b>4,529</b>	<b>7,845</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L23-24	3,523	3,944	6,822	0,282	0,298	0,278	0,298	0,273
		L11-12	0,900	1,016	1,749	0,056	0,028	0,065	0,028	0,069
		L13-14	0,704	0,793	1,371	0,045	0,026	0,052	0,026	0,054
		DG4	1,947	2,199	3,783	0,183	0,246	0,173	0,246	0,150
9	6		<b>2,860</b>	<b>2,890</b>	<b>5,007</b>	<b>0,301</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>	<b>0,294</b>	<b>0,315</b>
		L24-23	2,086	2,108	3,648	0,218	0,213	0,229	0,208	0,231
		L21-22	1,367	1,382	2,391	0,141	0,136	0,149	0,133	0,150
		L33-34	0,719	0,727	1,260	0,076	0,077	0,079	0,075	0,078
7	8		<b>2,568</b>	<b>2,536</b>	<b>4,392</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>



		L17-18	1,510	1,493	2,688	0,178	0,182	0,186	0,177	0,186
		L15-16	0,790	0,781	1,353	0,094	0,099	0,098	0,096	0,096
		L25-26	0,720	0,711	1,233	0,084	0,083	0,088	0,081	0,087
8	7		<b>4,699</b>	<b>5,698</b>	<b>9,870</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L18-17	4,342	5,265	9,117	0,288	0,286	0,294	0,284	0,294
		L19-20	0,566	0,689	1,191	0,039	0,042	0,040	0,042	0,039
		L21-22	0,442	0,537	0,930	0,031	0,033	0,031	0,032	0,030
		L29-30	0,357	0,434	0,750	0,025	0,026	0,025	0,026	0,024
		EG	3,003	3,642	6,294	0,195	0,186	0,201	0,185	0,204
8	9		<b>4,733</b>	<b>5,764</b>	<b>9,984</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L21-22	4,271	5,202	9,006	0,281	0,279	0,287	0,276	0,288
		L17-18	0,338	0,412	0,714	0,023	0,025	0,024	0,025	0,024
		L19-20	0,571	0,698	1,206	0,039	0,042	0,040	0,042	0,039
		L29-30	0,361	0,441	0,762	0,025	0,026	0,025	0,026	0,024
		EG	3,026	3,686	6,369	0,195	0,186	0,201	0,185	0,204
9	8		<b>2,887</b>	<b>2,924</b>	<b>5,064</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,315</b>	<b>0,295</b>	<b>0,315</b>
		L22-21	1,484	1,504	2,604	0,158	0,163	0,163	0,159	0,162
		L23-24	0,759	0,769	1,332	0,081	0,086	0,084	0,084	0,084
		L33-34	0,725	0,735	1,272	0,079	0,077	0,079	0,075	0,078
7	10		<b>2,559</b>	<b>2,525</b>	<b>4,374</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>
		L25-26	1,823	1,799	3,117	0,213	0,213	0,224	0,207	0,225
		L15-16	0,789	0,780	1,350	0,094	0,099	0,098	0,097	0,096
		L17-18	1,034	1,021	1,767	0,118	0,114	0,126	0,111	0,126
10	7		<b>2,588</b>	<b>2,558</b>	<b>4,431</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L26-25	1,862	1,842	3,189	0,217	0,221	0,227	0,216	0,228
		L27-28	0,934	0,924	1,596	0,105	0,099	0,112	0,096	0,114
		L35-36	0,928	0,921	1,593	0,113	0,123	0,115	0,120	0,114
8	11		<b>4,731</b>	<b>5,759</b>	<b>9,975</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L29-30	4,349	5,295	9,168	0,287	0,285	0,293	0,283	0,291
		L17-18	0,335	0,409	0,708	0,023	0,025	0,023	0,025	0,024
		L19-20	0,572	0,695	1,209	0,039	0,042	0,040	0,042	0,039
		L21-22	0,442	0,540	0,933	0,030	0,033	0,031	0,032	0,030
		EG	3,026	3,685	6,369	0,195	0,186	0,201	0,185	0,204
11	8		<b>2,778</b>	<b>2,786</b>	<b>4,824</b>	<b>0,301</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>	<b>0,293</b>	<b>0,315</b>
		L30-29	1,366	1,372	2,376	0,150	0,154	0,156	0,150	0,156
		L27-28	0,819	0,823	1,425	0,090	0,094	0,094	0,091	0,093
		L31-32	0,547	0,549	0,951	0,060	0,060	0,062	0,059	0,063
9	12		<b>2,874</b>	<b>2,907</b>	<b>5,034</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,315</b>	<b>0,295</b>	<b>0,315</b>
		L33-34	2,136	2,161	3,741	0,224	0,223	0,234	0,218	0,234
		L21-22	1,378	1,395	2,412	0,142	0,137	0,150	0,134	0,150
		L23-24	0,758	0,768	1,329	0,082	0,086	0,084	0,084	0,084
12	9		<b>2,449</b>	<b>2,397</b>	<b>4,152</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,289</b>	<b>0,315</b>
		L34-33	1,408	1,380	2,388	0,173	0,178	0,181	0,172	0,180
		L31-32	0,641	0,628	1,086	0,076	0,074	0,081	0,071	0,081
		L41-42	0,767	0,754	1,302	0,097	0,104	0,100	0,101	0,099
10	11		<b>2,598</b>	<b>2,570</b>	<b>4,452</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L27-28	1,645	1,630	2,820	0,193	0,199	0,200	0,194	0,201
		L25-26	0,714	0,707	1,221	0,080	0,076	0,086	0,074	0,087
		L35-36	0,932	0,926	1,602	0,113	0,123	0,115	0,120	0,114
11	10		<b>2,766</b>	<b>2,772</b>	<b>4,800</b>	<b>0,300</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>	<b>0,293</b>	<b>0,315</b>

		L28-27	1,934	1,939	3,354	0,208	0,205	0,220	0,200	0,222
		L29-30	1,387	1,391	2,406	0,149	0,145	0,157	0,141	0,159
		L31-32	0,547	0,548	0,951	0,060	0,060	0,062	0,059	0,063
11	12		<b>2,744</b>	<b>2,745</b>	<b>4,755</b>	<b>0,300</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L31-32	2,184	2,185	3,783	0,239	0,238	0,251	0,232	0,252
		L27-28	0,811	0,812	1,407	0,090	0,094	0,094	0,091	0,093
		L29-30	1,373	1,374	2,376	0,148	0,144	0,157	0,141	0,159
12	11		<b>2,431</b>	<b>2,377</b>	<b>4,116</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,288</b>	<b>0,315</b>
		L32-31	1,778	1,739	3,012	0,219	0,221	0,230	0,215	0,231
		L33-34	1,017	0,995	1,722	0,122	0,118	0,130	0,114	0,132
		L41-42	0,761	0,746	1,290	0,097	0,104	0,099	0,101	0,099
10	13		<b>2,595</b>	<b>2,566</b>	<b>4,443</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L35-36	1,647	1,631	2,820	0,185	0,174	0,197	0,170	0,201
		L25-26	0,712	0,705	1,218	0,080	0,076	0,085	0,074	0,087
		L27-28	0,936	0,926	1,602	0,105	0,098	0,112	0,096	0,114
13	10		<b>3,573</b>	<b>3,749</b>	<b>6,492</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L36-35	2,910	3,065	5,298	0,269	0,295	0,265	0,295	0,255
		L37-38	0,673	0,715	1,230	0,047	0,023	0,055	0,023	0,060
		DG5	2,252	2,383	4,110	0,224	0,274	0,217	0,274	0,198
12	15		<b>2,436</b>	<b>2,382</b>	<b>4,125</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,288</b>	<b>0,315</b>
		L41-42	1,656	1,621	2,802	0,198	0,191	0,212	0,185	0,213
		L31-32	0,636	0,623	1,077	0,076	0,073	0,081	0,071	0,081
		L33-34	1,020	0,998	1,725	0,122	0,117	0,130	0,114	0,132
15	12		<b>3,499</b>	<b>3,642</b>	<b>6,306</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L42-41	2,936	3,066	5,301	0,275	0,298	0,272	0,298	0,264
		L39-40	0,685	0,721	1,239	0,049	0,023	0,057	0,023	0,063
		DG6	2,268	2,380	4,107	0,228	0,276	0,222	0,276	0,204
13	14		<b>3,589</b>	<b>3,770</b>	<b>6,528</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L37-38	2,906	3,059	5,289	0,267	0,291	0,262	0,292	0,255
		L35-36	0,662	0,705	1,209	0,045	0,018	0,053	0,018	0,057
		DG5	2,266	2,401	4,140	0,224	0,274	0,217	0,274	0,198
14	13		<b>2,520</b>	<b>2,464</b>	<b>4,266</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,313</b>	<b>0,296</b>	<b>0,312</b>
		L38-37	1,244	1,216	2,106	0,149	0,150	0,154	0,147	0,156
		L39-40	1,244	1,216	2,106	0,149	0,150	0,154	0,147	0,156
14	15		<b>2,520</b>	<b>2,463</b>	<b>4,266</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,313</b>	<b>0,296</b>	<b>0,312</b>
		L39-40	1,261	1,233	2,136	0,151	0,150	0,156	0,147	0,156
		L37-38	1,261	1,233	2,136	0,151	0,150	0,156	0,147	0,156
15	14		<b>3,535</b>	<b>3,688</b>	<b>6,387</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L40-39	2,838	2,969	5,130	0,265	0,291	0,261	0,291	0,252
		L41-42	0,561	0,594	1,017	0,038	0,016	0,045	0,016	0,051
		DG6	2,296	2,416	4,167	0,229	0,277	0,223	0,277	0,204

ΠΒ 16: Δίκτυο 15 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - RF=2Ω/40Ω

Κλάδοι		Συνει- σφορές	R <sub>F</sub> = 2Ω			R <sub>F</sub> = 40Ω				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ΥΣ	Έως ΥΣ		I <sub>ph</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)
<b>1</b>	<b>2</b>		<b>3,117</b>	<b>3,215</b>	<b>5,568</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>
		L5-6	1,136	1,175	2,031	0,116	0,124	0,116	0,122	0,114
		L1-2	0,193	0,202	0,345	0,015	0,007	0,018	0,007	0,021
		DG1	0,948	0,984	1,698	0,101	0,117	0,099	0,116	0,096
<b>2</b>	<b>1</b>		<b>3,724</b>	<b>3,979</b>	<b>6,891</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L6-5	0,896	0,969	1,665	0,060	0,028	0,070	0,028	0,075
		L7-8	0,473	0,511	0,876	0,032	0,015	0,037	0,015	0,039
		L9-10	0,423	0,458	0,786	0,028	0,014	0,033	0,014	0,036
<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3,724</b>	<b>3,981</b>	<b>6,894</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L9-10	0,737	0,797	1,371	0,049	0,024	0,057	0,054	0,063
		L5-6	0,423	0,458	0,786	0,028	0,014	0,033	0,014	0,036
		L7-8	0,314	0,340	0,582	0,021	0,010	0,024	0,010	0,027
<b>3</b>	<b>2</b>		<b>3,104</b>	<b>3,197</b>	<b>5,538</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>
		L10-9	0,878	0,905	1,569	0,087	0,087	0,089	0,085	0,117
		L13-14	0,152	0,158	0,270	0,012	0,005	0,014	0,005	0,015
		DG2	0,730	0,755	1,305	0,075	0,083	0,075	0,081	0,075
<b>1</b>	<b>4</b>		<b>3,974</b>	<b>4,395</b>	<b>7,611</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L1-2	0,607	0,677	1,170	0,040	0,023	0,045	0,023	0,048
		L5-6	0,025	0,031	0,060	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
		DG1	0,614	0,683	1,185	0,041	0,027	0,047	0,027	0,048
<b>4</b>	<b>1</b>		<b>3,687</b>	<b>3,926</b>	<b>6,801</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L2-1	0,691	0,744	1,278	0,048	0,025	0,054	0,025	0,060
		L3-4	0,024	0,029	0,054	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
		L15-16	0,122	0,134	0,228	0,007	0,001	0,009	0,001	0,009
		DG3	0,566	0,607	1,053	0,041	0,027	0,046	0,027	0,048
<b>2</b>	<b>5</b>		<b>3,702</b>	<b>4,050</b>	<b>7,014</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L7-8	0,796	0,872	1,509	0,066	0,065	0,067	0,064	0,069
		L5-6	0,456	0,500	0,867	0,038	0,038	0,039	0,038	0,039
		L9-10	0,339	0,371	0,645	0,028	0,027	0,029	0,026	0,030
<b>5</b>	<b>2</b>		<b>3,117</b>	<b>3,215</b>	<b>5,568</b>	<b>0,305</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>
		L8-7	1,142	1,180	2,040	0,108	0,099	0,114	0,098	0,114
		L3-4	0,372	0,385	0,666	0,037	0,037	0,038	0,037	0,039
		L11-12	0,390	0,403	0,699	0,038	0,038	0,039	0,037	0,039
		L19-20	0,381	0,395	0,678	0,033	0,024	0,037	0,024	0,039
<b>3</b>	<b>6</b>		<b>4,083</b>	<b>4,578</b>	<b>7,929</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L13-14	0,738	0,834	1,440	0,048	0,029	0,054	0,029	0,057
		L9-10	0,053	0,063	0,108	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003
		DG2	0,692	0,781	1,353	0,046	0,031	0,051	0,031	0,054
<b>6</b>	<b>3</b>		<b>3,730</b>	<b>3,989</b>	<b>6,909</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L14-13	0,879	0,950	1,635	0,060	0,031	0,069	0,031	0,075
		L11-12	0,108	0,119	0,204	0,006	0,001	0,008	0,001	0,009
		L23-24	0,152	0,167	0,285	0,009	0,002	0,011	0,002	0,012
		DG4	0,628	0,676	1,173	0,046	0,031	0,051	0,031	0,054

4	5		<b>3,708</b>	<b>4,059</b>	<b>7,032</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L3-4	1,040	1,140	1,974	0,089	0,095	0,090	0,094	0,090
		L1-2	0,109	0,120	0,210	0,008	0,004	0,009	0,004	0,009
		L15-16	0,120	0,134	0,228	0,007	0,001	0,009	0,001	0,009
		DG3	0,815	0,898	1,551	0,076	0,091	0,073	0,090	0,069
5	4		<b>4,022</b>	<b>4,471</b>	<b>7,743</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>
		L4-3	0,965	1,084	1,866	0,061	0,031	0,070	0,031	0,075
		L7-8	0,220	0,247	0,429	0,015	0,009	0,016	0,009	0,018
		L11-12	0,436	0,489	0,843	0,028	0,015	0,032	0,015	0,033
		L19-20	0,309	0,348	0,594	0,019	0,007	0,022	0,007	0,024
5	6		<b>4,107</b>	<b>4,616</b>	<b>7,995</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>	<b>0,315</b>
		L11-12	0,940	1,067	1,836	0,058	0,030	0,067	0,030	0,072
		L3-4	0,419	0,475	0,819	0,026	0,014	0,030	0,014	0,033
		L7-8	0,223	0,253	0,438	0,014	0,009	0,016	0,009	0,018
		L19-20	0,298	0,339	0,579	0,018	0,007	0,021	0,007	0,024
6	5		<b>3,709</b>	<b>4,060</b>	<b>7,032</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L12-11	1,063	1,166	2,016	0,091	0,095	0,092	0,094	0,090
		L13-14	0,163	0,180	0,312	0,011	0,007	0,013	0,007	0,015
		L23-24	0,119	0,133	0,228	0,007	0,001	0,009	0,001	0,009
		DG4	0,785	0,865	1,494	0,073	0,089	0,070	0,088	0,066
4	7		<b>2,556</b>	<b>2,522</b>	<b>4,368</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>
		L15-16	0,807	0,798	1,380	0,097	0,103	0,100	0,099	0,099
		L1-2	0,143	0,142	0,246	0,014	0,007	0,016	0,007	0,018
		L3-4	0,139	0,140	0,240	0,011	0,002	0,015	0,002	0,018
		DG3	0,529	0,527	0,906	0,072	0,094	0,070	0,091	0,066
7	4		<b>3,968</b>	<b>4,386</b>	<b>7,596</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L16-15	0,509	0,569	0,978	0,032	0,016	0,037	0,016	0,039
		L17-18	0,285	0,319	0,546	0,018	0,009	0,021	0,009	0,024
		L25-26	0,224	0,250	0,429	0,014	0,007	0,016	0,007	0,018
5	8		<b>4,709</b>	<b>5,718</b>	<b>9,903</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L19-20	0,601	0,732	1,266	0,041	0,044	0,042	0,044	0,042
		L3-4	0,193	0,236	0,408	0,014	0,016	0,014	0,016	0,012
		L7-8	0,215	0,262	0,453	0,014	0,013	0,014	0,013	0,015
		L11-12	0,193	0,235	0,405	0,014	0,016	0,014	0,016	0,012
8	5		<b>3,691</b>	<b>4,034</b>	<b>6,987</b>	<b>0,309</b>	<b>0,309</b>	<b>0,316</b>	<b>0,305</b>	<b>0,315</b>
		L20-19	0,881	0,966	1,665	0,069	0,061	0,074	0,060	0,075
		L17-18	0,025	0,029	0,048	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003
		L21-22	0,016	0,019	0,030	0,002	0,005	0,002	0,005	0,000
		L29-30	0,054	0,059	0,102	0,005	0,006	0,005	0,005	0,006
		EG	0,870	0,956	1,641	0,064	0,047	0,071	0,047	0,075
6	9		<b>2,860</b>	<b>2,890</b>	<b>5,007</b>	<b>0,301</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>	<b>0,294</b>	<b>0,315</b>
		L23-24	0,775	0,784	1,356	0,084	0,088	0,087	0,086	0,087
		L11-12	0,102	0,105	0,180	0,007	0,002	0,010	0,002	0,012
		L13-14	0,171	0,174	0,300	0,015	0,008	0,017	0,008	0,018
		DG4	0,505	0,515	0,888	0,063	0,082	0,060	0,080	0,057
9	6		<b>4,053</b>	<b>4,529</b>	<b>7,845</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>
		L24-23	0,536	0,606	1,041	0,033	0,017	0,038	0,017	0,042
		L21-22	0,331	0,374	0,642	0,021	0,010	0,024	0,010	0,027
		L33-34	0,205	0,231	0,399	0,013	0,007	0,015	0,007	0,015
7	8		<b>4,699</b>	<b>5,698</b>	<b>9,870</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>

		L17-18	0,361	0,439	0,759	0,025	0,027	0,025	0,027	0,024
		L15-16	0,278	0,338	0,585	0,019	0,021	0,020	0,021	0,018
		L25-26	0,084	0,102	0,177	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
8	7		<b>2,568</b>	<b>2,536</b>	<b>4,392</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>
		L18-17	1,058	1,045	1,809	0,121	0,116	0,128	0,113	0,129
		L19-20	0,110	0,110	0,189	0,015	0,019	0,015	0,019	0,015
		L21-22	0,093	0,093	0,159	0,012	0,013	0,012	0,013	0,012
		L29-30	0,171	0,170	0,291	0,018	0,015	0,020	0,015	0,021
		EG	1,030	1,019	1,755	0,113	0,099	0,123	0,096	0,126
8	9		<b>2,887</b>	<b>2,924</b>	<b>5,064</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,315</b>	<b>0,295</b>	<b>0,315</b>
		L21-22	1,404	1,422	2,460	0,144	0,139	0,152	0,136	0,153
		L17-18	0,095	0,097	0,168	0,011	0,012	0,011	0,012	0,009
		L19-20	0,160	0,163	0,282	0,019	0,022	0,019	0,022	0,018
		L29-30	0,089	0,090	0,153	0,008	0,006	0,009	0,006	0,009
		EG	1,242	1,260	2,172	0,123	0,110	0,133	0,108	0,135
9	8		<b>4,733</b>	<b>5,764</b>	<b>9,984</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L22-21	0,467	0,571	0,987	0,032	0,034	0,032	0,034	0,030
		L23-24	0,308	0,376	0,651	0,021	0,023	0,022	0,023	0,021
		L33-34	0,160	0,195	0,339	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012
7	10		<b>2,588</b>	<b>2,558</b>	<b>4,431</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L25-26	0,726	0,719	1,242	0,082	0,078	0,087	0,076	0,087
		L15-16	0,361	0,357	0,618	0,042	0,042	0,044	0,041	0,045
		L17-18	0,365	0,362	0,624	0,040	0,036	0,043	0,035	0,045
10	7		<b>2,559</b>	<b>2,525</b>	<b>4,374</b>	<b>0,298</b>	<b>0,298</b>	<b>0,314</b>	<b>0,290</b>	<b>0,315</b>
		L26-25	0,736	0,726	1,257	0,086	0,085	0,090	0,083	0,090
		L27-28	0,306	0,303	0,522	0,034	0,031	0,037	0,030	0,039
		L35-36	0,430	0,425	0,735	0,052	0,055	0,053	0,053	0,054
8	11		<b>2,778</b>	<b>2,786</b>	<b>4,824</b>	<b>0,301</b>	<b>0,301</b>	<b>0,315</b>	<b>0,293</b>	<b>0,315</b>
		L29-30	1,412	1,416	2,451	0,151	0,147	0,159	0,143	0,159
		L17-18	0,070	0,070	0,120	0,006	0,004	0,008	0,003	0,009
		L19-20	0,221	0,222	0,384	0,025	0,027	0,026	0,026	0,024
		L21-22	0,043	0,042	0,069	0,003	0,002	0,005	0,002	0,006
		EG	1,302	1,307	2,253	0,135	0,123	0,145	0,120	0,147
11	8		<b>4,731</b>	<b>5,759</b>	<b>9,975</b>	<b>0,313</b>	<b>0,313</b>	<b>0,319</b>	<b>0,310</b>	<b>0,318</b>
		L30-29	0,385	0,471	0,813	0,026	0,028	0,027	0,028	0,027
		L27-28	0,262	0,320	0,555	0,018	0,019	0,018	0,019	0,018
		L31-32	0,123	0,151	0,261	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009
9	12		<b>2,449</b>	<b>2,397</b>	<b>4,152</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,289</b>	<b>0,315</b>
		L33-34	1,041	1,019	1,764	0,124	0,120	0,132	0,116	0,135
		L21-22	0,641	0,629	1,086	0,075	0,070	0,081	0,068	0,081
		L23-24	0,399	0,391	0,678	0,049	0,050	0,052	0,048	0,051
12	9		<b>2,874</b>	<b>2,907</b>	<b>5,034</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,315</b>	<b>0,295</b>	<b>0,315</b>
		L34-33	0,737	0,746	1,293	0,078	0,079	0,081	0,077	0,081
		L31-32	0,288	0,292	0,504	0,029	0,028	0,031	0,027	0,033
		L41-42	0,449	0,456	0,789	0,048	0,051	0,050	0,050	0,048
10	11		<b>2,766</b>	<b>2,772</b>	<b>4,800</b>	<b>0,300</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>	<b>0,293</b>	<b>0,315</b>
		L27-28	0,832	0,835	1,446	0,092	0,095	0,096	0,093	0,096
		L25-26	0,315	0,316	0,546	0,033	0,031	0,036	0,030	0,036
		L35-36	0,517	0,520	0,900	0,059	0,064	0,060	0,063	0,060
11	10		<b>2,598</b>	<b>2,570</b>	<b>4,452</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>

		L28-27	0,952	0,943	1,629	0,107	0,100	0,114	0,098	0,114
		L29-30	0,679	0,673	1,161	0,075	0,069	0,081	0,068	0,081
		L31-32	0,273	0,271	0,468	0,031	0,031	0,033	0,030	0,033
11	12		<b>2,431</b>	<b>2,377</b>	<b>4,116</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,288</b>	<b>0,315</b>
		L31-32	0,653	0,639	1,107	0,078	0,076	0,084	0,073	0,084
		L27-28	0,269	0,263	0,456	0,034	0,035	0,035	0,034	0,036
		L29-30	0,385	0,377	0,651	0,045	0,041	0,049	0,040	0,051
12	11		<b>2,744</b>	<b>2,745</b>	<b>4,755</b>	<b>0,300</b>	<b>0,300</b>	<b>0,315</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L32-31	0,560	0,560	0,972	0,062	0,062	0,064	0,061	0,066
		L33-34	0,262	0,262	0,453	0,028	0,025	0,030	0,025	0,030
		L41-42	0,298	0,300	0,519	0,034	0,037	0,035	0,036	0,033
10	13		<b>3,573</b>	<b>3,749</b>	<b>6,492</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L35-36	0,678	0,721	1,236	0,046	0,020	0,054	0,020	0,060
		L25-26	0,305	0,324	0,555	0,021	0,009	0,024	0,009	0,027
		L27-28	0,373	0,397	0,681	0,026	0,011	0,030	0,011	0,033
13	10		<b>2,595</b>	<b>2,566</b>	<b>4,443</b>	<b>0,299</b>	<b>0,299</b>	<b>0,314</b>	<b>0,292</b>	<b>0,315</b>
		L36-35	0,948	0,941	1,626	0,115	0,125	0,117	0,122	0,114
		L37-38	0,184	0,184	0,318	0,017	0,008	0,020	0,008	0,021
		DG5	0,767	0,765	1,320	0,098	0,117	0,097	0,114	0,093
12	15		<b>3,499</b>	<b>3,642</b>	<b>6,306</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,312</b>
		L41-42	0,576	0,607	1,041	0,040	0,017	0,047	0,017	0,051
		L31-32	0,202	0,213	0,366	0,014	0,007	0,017	0,007	0,018
		L33-34	0,374	0,394	0,675	0,026	0,011	0,030	0,011	0,033
15	12		<b>2,436</b>	<b>2,382</b>	<b>4,125</b>	<b>0,297</b>	<b>0,297</b>	<b>0,313</b>	<b>0,288</b>	<b>0,315</b>
		L42-41	0,780	0,766	1,323	0,099	0,106	0,102	0,103	0,102
		L39-40	0,139	0,138	0,237	0,013	0,006	0,016	0,006	0,018
		DG6	0,644	0,634	1,095	0,086	0,100	0,086	0,089	0,084
13	14		<b>2,520</b>	<b>2,464</b>	<b>4,266</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,313</b>	<b>0,296</b>	<b>0,312</b>
		L37-38	1,277	1,248	2,160	0,153	0,152	0,158	0,150	0,159
		L35-36	0,268	0,266	0,453	0,024	0,009	0,030	0,008	0,033
		DG5	1,018	1,000	1,731	0,130	0,144	0,128	0,142	0,126
14	13		<b>3,589</b>	<b>3,770</b>	<b>6,528</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L38-37	0,692	0,735	1,266	0,048	0,024	0,056	0,024	0,060
		L39-40	0,692	0,735	1,266	0,048	0,024	0,056	0,024	0,060
14	15		<b>3,535</b>	<b>3,688</b>	<b>6,387</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,314</b>	<b>0,315</b>	<b>0,312</b>
		L39-40	0,707	0,747	1,284	0,050	0,024	0,058	0,024	0,063
		L37-38	0,707	0,747	1,284	0,050	0,024	0,058	0,024	0,063
15	14		<b>2,520</b>	<b>2,463</b>	<b>4,266</b>	<b>0,302</b>	<b>0,302</b>	<b>0,313</b>	<b>0,296</b>	<b>0,312</b>
		L40-39	1,259	1,231	2,133	0,151	0,152	0,156	0,149	0,156
		L41-42	0,226	0,224	0,384	0,020	0,007	0,025	0,007	0,027
		DG6	1,041	1,023	1,770	0,132	0,146	0,131	0,143	0,129

### 4.3.3 Προσθήκη και ρύθμιση μέσων προστασίας υπερέντασης

Η προστασία υπερέντασης του δικτύου γίνεται με χρήση του ηλεκτρονόμου υπερέντασης 351-5A-150V της εταιρείας SEL ο οποίος διαθέτει και κατευθυντικό στοιχείο για να αναγνωρίζει αν ένα σφάλμα που «αισθάνεται» γίνεται μπροστά του ή πίσω του. Το δίκτυο έχει 21 γραμμές, άρα για την προστασία του τοποθετούνται 42 ηλεκτρονόμοι, όπως έχει περιγραφεί στην παράγραφο 2.8.2, με την αριθμηση που φαίνεται στην εικόνα E4.9. Για την λειτουργία των ηλεκτρονόμων είναι απαραίτητη η δημιουργία μοντέλων μετασχηματιστή έντασης και τάσης που θα τους τροφοδοτούν.

Το μοντέλο του μετασχηματιστή τάσης πρωτεύοντος τυλίγματος ονομάζεται «VT type 20kV», είναι τύπου Ideal Voltage Transformer και έχει μία μόνο λήψη (πολικής) τάσης στα 20kV.

Το μοντέλο του μετασχηματιστή τάσης δευτερεύοντος τυλίγματος ονομάζεται «VT sec type 150V» και έχει μία μόνο λήψη τάσης στα 150V.

Οι μετασχηματιστές τάσης στους ηλεκτρονόμους είναι απαραίτητοι για την κατευθυντική τους λειτουργία κι έχουν μία λήψη πρωτεύοντος στα 20 kV και μία λήψη δευτερεύοντος στα 150V. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	In Folder	Type TypVt	Busbar	Branch	Tap V	Connection	Type TypVtsec	Tap V	Connection	Ratio	Cor
VT 1	Cub_1	VT type 20kV	1	L1-2	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 10	Cub_1	VT type 20kV	2	L9-10	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 11	Cub_1	VT type 20kV	4	L11-12	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 12	Cub_1	VT type 20kV	1	L11-12	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 13	Cub_1	VT type 20kV	3	L13-14	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 14	Cub_1	VT type 20kV	2	L13-14	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 15	Cub_1	VT type 20kV	2	L15-16	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 16	Cub_1	VT type 20kV	1	L15-16	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 17	Cub_1	VT type 20kV	3	L17-18	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 18	Cub_1	VT type 20kV	1	L17-18	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 19	Cub_1	VT type 20kV	3	L19-20	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 2	Cub_1	VT type 20kV	1	L1-2	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 20	Cub_1	VT type 20kV	2	L19-20	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 21	Cub_1	VT type 20kV	3	L21-22	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 22	Cub_1	VT type 20kV	1	L21-22	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 23	Cub_1	VT type 20kV	3	L23-24	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 24	Cub_1	VT type 20kV	2	L23-24	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 25	Cub_1	VT type 20kV	2	L25-26	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 26	Cub_1	VT type 20kV	1	L25-26	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 27	Cub_1	VT type 20kV	3	L27-28	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 28	Cub_1	VT type 20kV	1	L27-28	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 29	Cub_1	VT type 20kV	4	L29-30	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 3	Cub_1	VT type 20kV	3	L3-4	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 30	Cub_1	VT type 20kV	2	L29-30	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 31	Cub_1	VT type 20kV	3	L31-32	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 32	Cub_1	VT type 20kV	1	L31-32	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 33	Cub_1	VT type 20kV	3	L33-34	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 34	Cub_1	VT type 20kV	2	L33-34	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 35	Cub_1	VT type 20kV	2	L35-36	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 36	Cub_1	VT type 20kV	1	L35-36	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 37	Cub_1	VT type 20kV	2	L37-38	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 38	Cub_1	VT type 20kV	1	L37-38	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 39	Cub_1	VT type 20kV	2	L39-40	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 4	Cub_1	VT type 20kV	1	L3-4	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 40	Cub_1	VT type 20kV	1	L39-40	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 41	Cub_1	VT type 20kV	3	L41-42	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 42	Cub_1	VT type 20kV	2	L41-42	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 5	Cub_1	VT type 20kV	2	L5-6	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 6	Cub_1	VT type 20kV	1	L5-6	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 7	Cub_1	VT type 20kV	2	L7-8	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 8	Cub_1	VT type 20kV	2	L7-8	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	
VT 9	Cub_1	VT type 20kV	3	L9-10	20000	YN	VT sec type 150V	150	YN	20000.V/150.V	

E4.13: Χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών τάσης των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών

Το μοντέλο του μετασχηματιστή έντασης ονομάζεται «CT type 5A» και έχει μόνο μία λήψη δευτερεύοντος στα 5A. Στο πρωτεύον έχει 5 λήψεις στα 400A, 600A, 800A, 1200A και 1600A. Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης κάθε ηλεκτρονόμου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Type	Busbar	Branch	Tap A	Tap A	Connection	Ratio	No. Phases	Phase Rotation
CT 1	CT type 5A	Bus1-5	L1-2	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 10	CT type 5A	Bus10-13	L9-10	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 11	CT type 5A	Bus4-8-11-19	L11-12	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 12	CT type 5A	Bus12-14-23	L11-12	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 13	CT type 5A	Bus10-13	L13-14	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 14	CT type 5A	Bus12-14-23	L13-14	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 15	CT type 5A	Bus2-3-15	L15-16	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 16	CT type 5A	Bus16-17-25	L15-16	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 17	CT type 5A	Bus16-17-25	L17-18	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 18	CT type 5A	Bus18-20-21-29	L17-18	1600	5	Y	1600A/5A	3	a-b-c
CT 19	CT type 5A	Bus4-8-11-19	L19-20	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 2	CT type 5A	Bus2-3-15	L1-2	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 20	CT type 5A	Bus18-20-21-29	L19-20	1600	5	Y	1600A/5A	3	a-b-c
CT 21	CT type 5A	Bus18-20-21-29	L21-22	1600	5	Y	1600A/5A	3	a-b-c
CT 22	CT type 5A	Bus22-24-33	L21-22	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 23	CT type 5A	Bus12-14-23	L23-24	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 24	CT type 5A	Bus22-24-33	L23-24	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 25	CT type 5A	Bus16-17-25	L25-26	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 26	CT type 5A	Bus26-27-35	L25-26	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 27	CT type 5A	Bus26-27-35	L27-28	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 28	CT type 5A	Bus28-30-31	L27-28	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 29	CT type 5A	Bus18-20-21-29	L29-30	1600	5	Y	1600A/5A	3	a-b-c
CT 3	CT type 5A	Bus2-3-15	L3-4	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 30	CT type 5A	Bus28-30-31	L29-30	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 31	CT type 5A	Bus28-30-31	L31-32	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 32	CT type 5A	Bus32-34-41	L31-32	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 33	CT type 5A	Bus22-24-33	L33-34	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 34	CT type 5A	Bus32-34-41	L33-34	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 35	CT type 5A	Bus26-27-35	L35-36	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 36	CT type 5A	Bus36-37	L35-36	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 37	CT type 5A	Bus36-37	L37-38	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 38	CT type 5A	Bus38-39	L37-38	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 39	CT type 5A	Bus38-39	L39-40	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 4	CT type 5A	Bus4-8-11-19	L3-4	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 40	CT type 5A	Bus40-42	L39-40	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 41	CT type 5A	Bus32-34-41	L41-42	400	5	Y	400A/5A	3	a-b-c
CT 42	CT type 5A	Bus40-42	L41-42	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 5	CT type 5A	Bus1-5	L5-6	800	5	Y	800A/5A	3	a-b-c
CT 6	CT type 5A	Bus6-7-9	L5-6	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 7	CT type 5A	Bus6-7-9	L7-8	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c
CT 8	CT type 5A	Bus4-8-11-19	L7-8	1200	5	Y	1200A/5A	3	a-b-c
CT 9	CT type 5A	Bus6-7-9	L9-10	600	5	Y	600A/5A	3	a-b-c

Ε4.14: Χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών



Μετά την απόδοση του μοντέλου και των μετασχηματιστών έντασης και τάσης, τα χαρακτηριστικά κάθε ηλεκτρονόμου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	Category	Relay Type TypRelay	Busbar	Branch	Net Elements Rel*, Elm*, Sta*, Int...	Substation
R1	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus1-5	L1-2	CT 1	Station 1
R10	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus10-13	L9-10	CT 10	Station 3
R11	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus4-8-11-19	L11-12	CT 11	Station 5
R12	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus12-14-23	L11-12	CT 12	Station 6
R13	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus10-13	L13-14	CT 13	Station 3
R14	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus12-14-23	L13-14	CT 14	Station 6
R15	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus2-3-15	L15-16	CT 15	Station 4
R16	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus16-17-25	L15-16	CT 16	Station 7
R17	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus16-17-25	L17-18	CT 17	Station 7
R18	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus18-20-21-29	L17-18	CT 18	Station 8
R19	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus4-8-11-19	L19-20	CT 19	Station 5
R2	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus2-3-15	L1-2	CT 2	Station 4
R20	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus18-20-21-29	L19-20	CT 20	Station 8
R21	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus18-20-21-29	L21-22	CT 21	Station 8
R22	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus22-24-33	L21-22	CT 22	Station 9
R23	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus12-14-23	L23-24	CT 23	Station 6
R24	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus22-24-33	L23-24	CT 24	Station 9
R25	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus16-17-25	L25-26	CT 25	Station 7
R26	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus26-27-35	L25-26	CT 26	Station 10
R27	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus26-27-35	L27-28	CT 27	Station 10
R28	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus28-30-31	L27-28	CT 28	Station 11
R29	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus18-20-21-29	L29-30	CT 29	Station 8
R3	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus2-3-15	L3-4	CT 3	Station 4
R30	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus28-30-31	L29-30	CT 30	Station 11
R31	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus28-30-31	L31-32	CT 31	Station 11
R32	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus32-34-41	L31-32	CT 32	Station 12
R33	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus22-24-33	L33-34	CT 33	Station 9
R34	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus32-34-41	L33-34	CT 34	Station 12
R35	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus26-27-35	L35-36	CT 35	Station 10
R36	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus36-37	L35-36	CT 36	Station 13
R37	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus36-37	L37-38	CT 37	Station 13
R38	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus38-39	L37-38	CT 38	Station 14
R39	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus38-39	L39-40	CT 39	Station 14
R4	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus4-8-11-19	L3-4	CT 4	Station 5
R40	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus40-42	L39-40	CT 40	Station 15
R41	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus32-34-41	L41-42	CT 41	Station 12
R42	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus40-42	L41-42	CT 42	Station 15
R5	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus1-5	L5-6	CT 5	Station 1
R6	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus6-7-9	L5-6	CT 6	Station 2
R7	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus6-7-9	L7-8	CT 7	Station 2
R8	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus4-8-11-19	L7-8	CT 8	Station 5
R9	Overcurrent	SEL 351-5A-150V	Bus6-7-9	L9-10	CT 9	Station 2

E4.15: Χαρακτηριστικά των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών

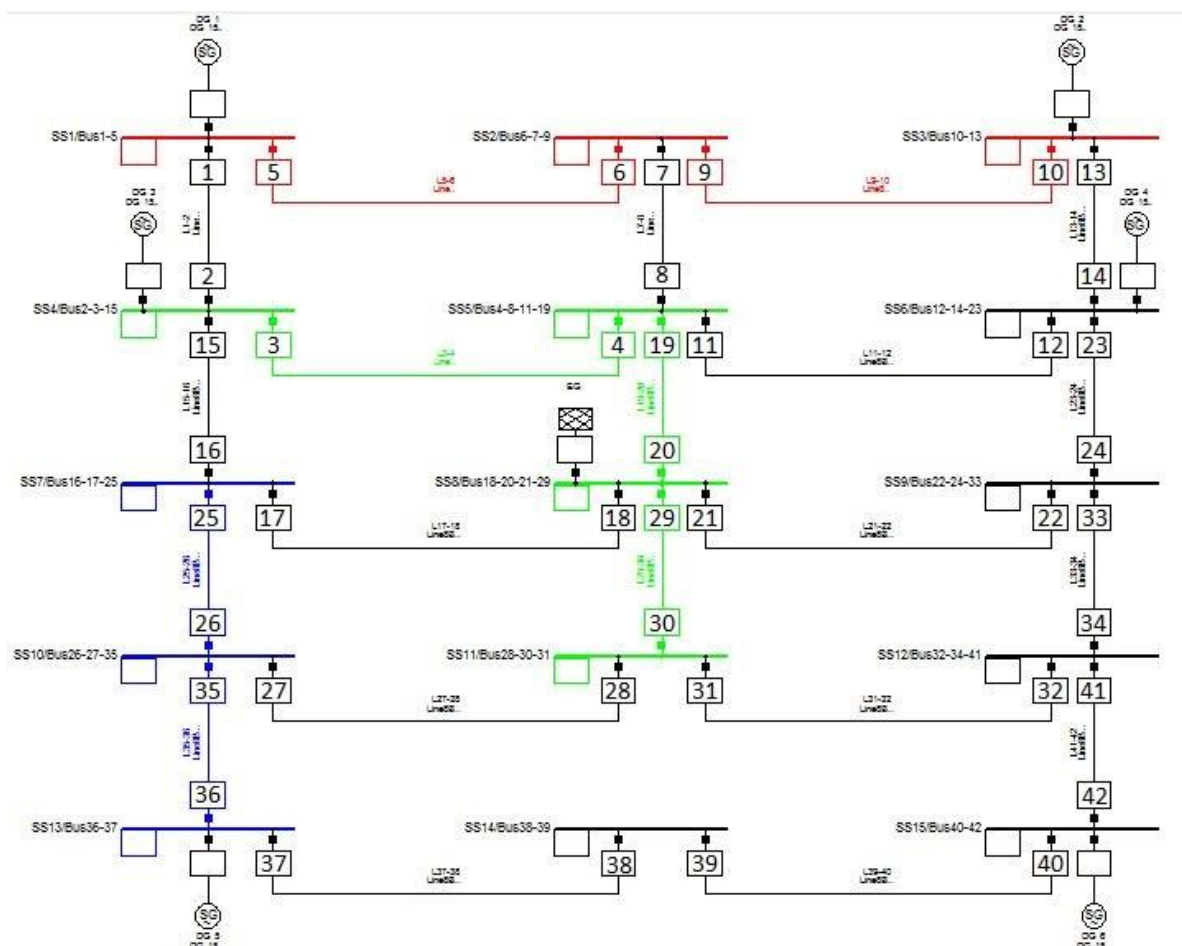
Για την ρύθμιση των ηλεκτρονόμων του δικτύου χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου PSO-LP όπως παρουσιάζονται στο [15] που αφορούν τα στοιχεία υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου για συμμετρικά βραχυκυκλώματα 51P. Η χαρακτηριστική καμπύλη που χρησιμοποιείται σε όλους τους ηλεκτρονόμους είναι η «C1 – IEC Class A (Standard Inverse)». Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ρυθμίσεις των Time Dial και Pickup Current Setting σε ανά μονάδα τιμές και τιμές αμπέρ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος για τα στοιχεία 51P όλων των ηλεκτρονόμων. Τα υπόλοιπα στοιχεία προστασίας (50, 67, 51Q/N, 27, 59) θέτονται εκτός λειτουργίας (Out of Service).

Name	In Folder	IEC Symbol	ANSI Symbol	Measure Type	Tripping Direction	Current Setting p.u.	Current Setting sec.A	Current Setting p.t.A	Time Dial
51P R1	R1	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,35	1,75	280,	0,1
51P R10	R10	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,522	2,61	417,6	0,1
51P R11	R11	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,392	1,96	470,4	0,1
51P R12	R12	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,378	1,89	453,6	0,1
51P R13	R13	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,424	2,12	339,2	0,1
51P R14	R14	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,414	2,07	496,8	0,1
51P R15	R15	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,302	1,51	362,4	0,1
51P R16	R16	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,41	2,05	246,	0,1
51P R17	R17	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,442	2,21	176,8	0,1
51P R18	R18	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,396	1,98	633,6	0,1
51P R19	R19	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,538	2,69	430,4	0,1
51P R2	R2	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,466	2,33	559,2	0,1
51P R20	R20	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,368	1,84	588,8	0,1
51P R21	R21	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,334	1,67	534,4	0,1
51P R22	R22	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,526	2,63	210,4	0,1
51P R23	R23	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,346	1,73	415,2	0,1
51P R24	R24	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,458	2,29	274,8	0,1
51P R25	R25	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,532	2,66	319,2	0,11
51P R26	R26	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,452	2,26	271,2	0,11
51P R27	R27	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,39	1,95	234,	0,13
51P R28	R28	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,536	2,68	321,6	0,13
51P R29	R29	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,468	2,34	748,8	0,1
51P R3	R3	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,606	3,03	484,8	0,1
51P R30	R30	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,49	2,45	196,	0,1
51P R31	R31	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,552	2,76	331,2	0,1
51P R32	R32	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,456	2,28	273,6	0,1
51P R33	R33	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,7	3,5	420,	0,1
51P R34	R34	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,53	2,65	212,	0,14
51P R35	R35	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,582	2,91	349,2	0,1
51P R36	R36	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,496	2,48	396,8	0,11
51P R37	R37	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,716	3,58	572,8	0,1
51P R38	R38	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,698	3,49	279,2	0,11
51P R39	R39	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,752	3,76	300,8	0,1
51P R4	R4	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,406	2,03	487,2	0,1
51P R40	R40	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,642	3,21	513,6	0,11
51P R41	R41	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,612	3,06	244,8	0,12
51P R42	R42	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,516	2,58	412,8	0,1
51P R5	R5	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,602	3,01	481,6	0,1
51P R6	R6	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,618	3,09	370,8	0,1
51P R7	R7	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,568	2,84	340,8	0,1
51P R8	R8	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,444	2,22	532,8	0,1
51P R9	R9	I<sub>t</sub>	51	Phase Current (3ph)	External	0,54	2,7	324,	0,1

Ε4.16: Χαρακτηριστικά των στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου 51P των ηλεκτρονόμων του δικτύου 15 ζυγών

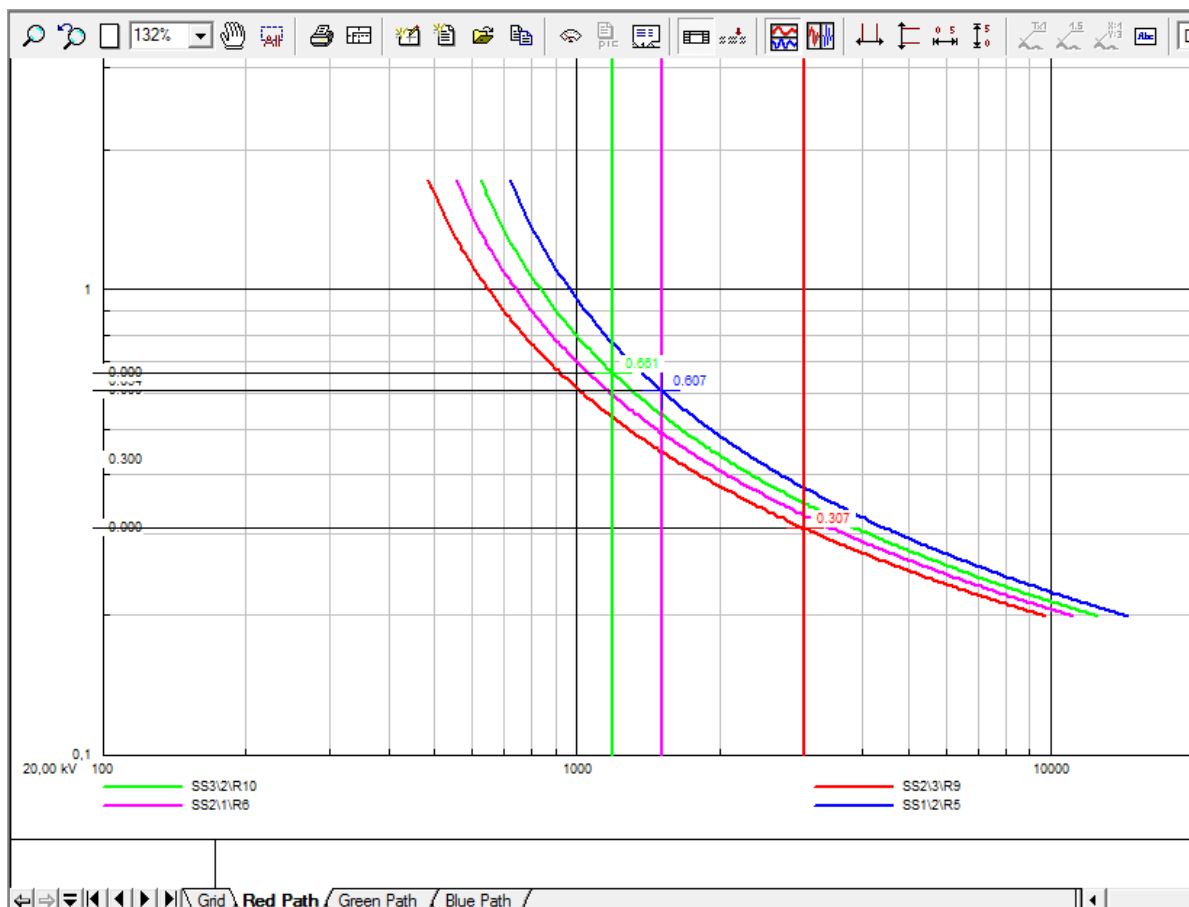
### 4.3.4 Αποτελέσματα μελέτης προστασίας υπερέντασης

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης προστασίας υπερέντασης. Για την ανάδειξη της επιλογικής συνεργασίας μεταξύ των ηλεκτρονόμων που εξασφαλίζεται από τις ρυθμίσεις που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα εξετάζονται τα ενδεικτικά παραδείγματα των τριών μονοπατιών που φαίνονται στην εικόνα Ε4.17. Ο ορισμός μονοπατιών διευκολύνει την δημιουργία διαγραμμάτων χρόνου-ρεύματος, καθώς και την εποπτεία των μέσων προστασίας που εξετάζονται.



Ε4.17: Μελέτη προστασίας υπερέντασης σε τρία μονοπάτια στο δίκτυο 15 ζυγών

Στο κόκκινο μονοπάτι εξετάζεται η περίπτωση του close-in βραχυκυκλώματος του ηλεκτρονόμου 9. Το διάγραμμα χρόνου-ρεύματος με τις καμπύλες των ηλεκτρονόμων του κόκκινου μονοπατιού φαίνεται στην εικόνα E4.18. Ο ηλεκτρονόμος 9 (κόκκινος) παρέχει πρωτεύουσα προστασία και διεγείρεται πρώτος σε 0,307 s, ενώ ο ηλεκτρονόμος 5 (μπλε) παρέχει εφεδρική προστασία και διεγείρεται σε 0,607 s. Δηλαδή, το χρονικό περιθώριο ασφαλείας (CTI) μεταξύ των δύο ηλεκτρονόμων όπως φαίνεται και από το διάγραμμα είναι 0,3 s. Εκτός από τον 9 το βραχυκύκλωμα αυτό «βλέπει» μπροστά του και ο ηλεκτρονόμος 10 (πράσινος) ο οποίος διεγείρεται σε 0,661 sec. Ο ηλεκτρονόμος 6 (μωβ) βλέπει το ίδιο ρεύμα με τον 9, ωστόσο βλέπει το σφάλμα πίσω του οπότε δεν διεγείρεται όπως φαίνεται και από τα διάγραμμα.



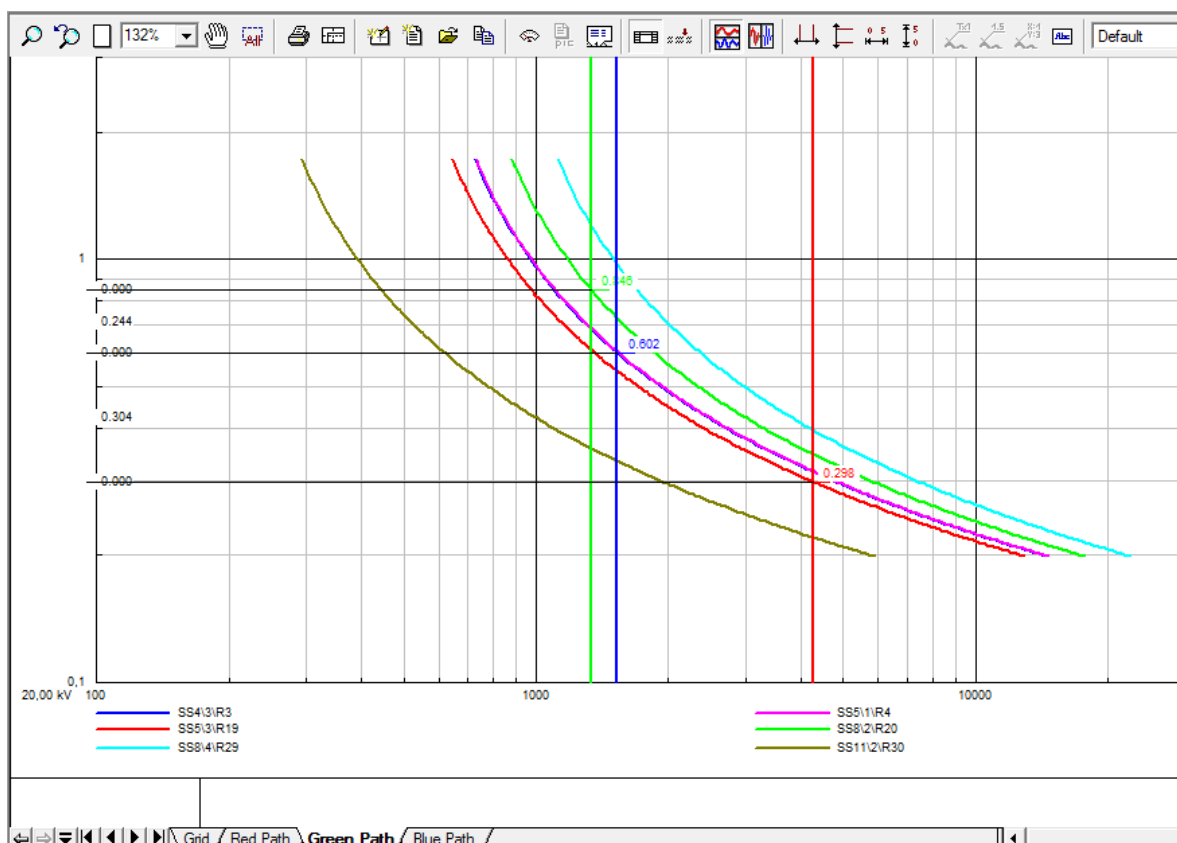
E4.18: Κόκκινο μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου-ρεύματος

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται όλοι οι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται και οι χρόνοι λειτουργίας τους. Ως backup του ηλεκτρονόμου 9, εκτός από τον ηλεκτρονόμο 5 είναι και ο ηλεκτρονόμος 8 ο οποίος διεγείρεται σε 0,663 s, δηλαδή το CTI αυτής της συνεργασίας είναι 0,356 s. Οι ηλεκτρονόμοι 7 και 13 δεν διεγείρονται γιατί «βλέπουν» το σφάλμα πίσω τους ενώ ο ηλεκτρονόμος 14 που είναι backup του ηλεκτρονόμου 10 δεν διεγείρεται γιατί είναι «μακριά» από το σφάλμα.

	Name	Tripping Time s
<input checked="" type="checkbox"/>	R9	0,3066575
<input checked="" type="checkbox"/>	R5	0,6065943
<input checked="" type="checkbox"/>	R10	0,6607251
<input checked="" type="checkbox"/>	R8	0,6634294

E4.19: Κόκκινο μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων

Στο πράσινο μονοπάτι εξετάζεται η περίπτωση του close-in βραχυκυκλώματος του ηλεκτρονόμου 19. Το διάγραμμα χρόνου ρεύματος με τις καμπύλες των ηλεκτρονόμων του πράσινου μονοπατιού φαίνεται στην εικόνα Ε4.20. Ο ηλεκτρονόμος 19 (κόκκινος) διεγείρεται σε 0,298 s και ο ηλεκτρονόμος 3 (μπλε) που είναι ο backup του διεγείρεται 0,304 s αργότερα, δηλαδή σε 0,602 sec. Η χαρακτηριστική καμπύλη του ηλεκτρονόμου 3 σχεδόν συμπίπτει με αυτή του ηλεκτρονόμου 4 (μωβ) ο οποίος όμως δεν διεγείρεται γιατί «βλέπει» το σφάλμα πίσω του. Ο ηλεκτρονόμος 20 (πράσινος) «βλέπει» το σφάλμα μπροστά του και διεγείρεται σε 0,846 s. Οι ηλεκτρονόμοι 29 (γαλάζιος) και 30 (καφέ) διαρρέονται από πολύ μικρό ρεύμα το οποίο δεν απεικονίζεται στο διάγραμμα.



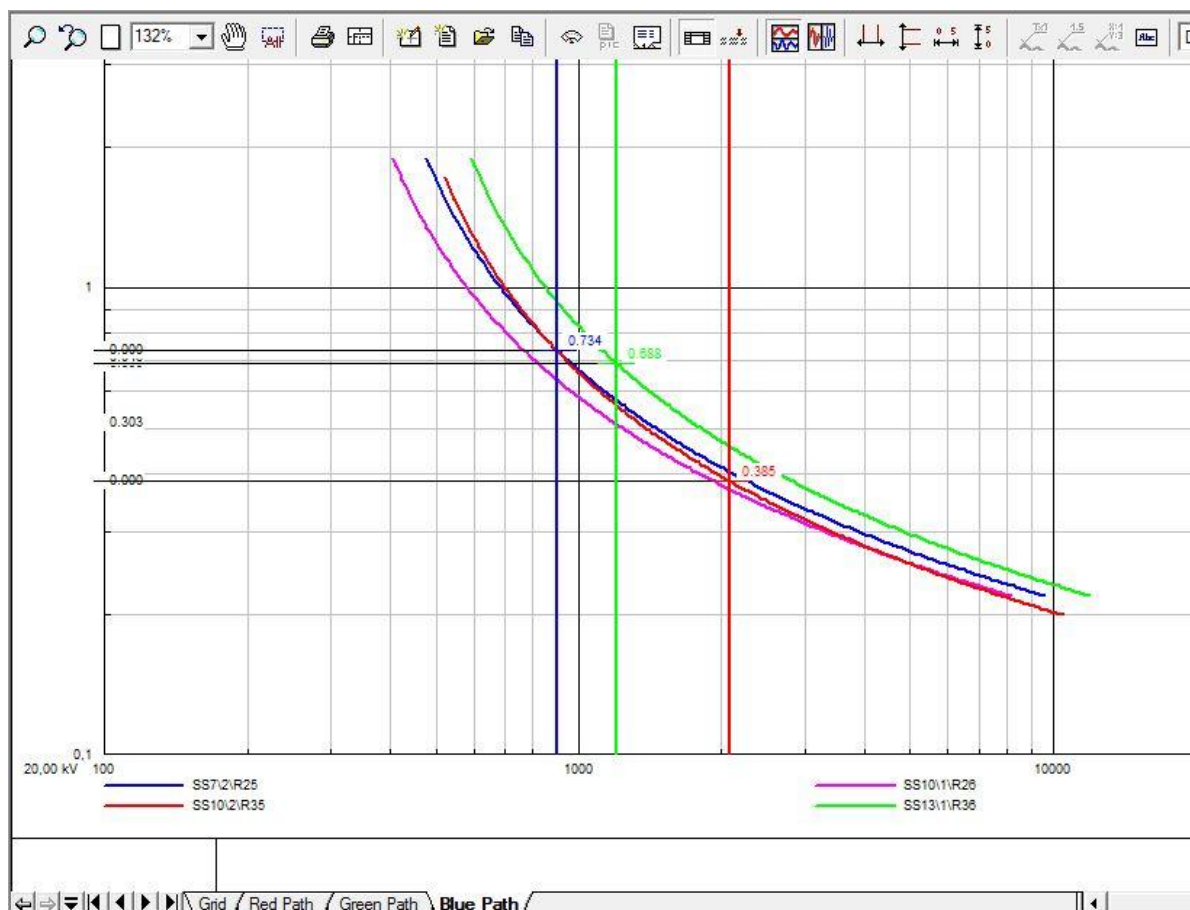
Ε4.20: Πράσινο μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου-ρεύματος

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται και οι χρόνοι τους. Οι ηλεκτρονόμοι 7 και 12 ως backup του 19 διεγείρονται σε 0,560 s και 0,559 s αντίστοιχα. Εκτός από τον ηλεκτρονόμο 30 (καφέ), ως backup του 20 λειτουργούν και οι 17 και 22 οι οποίοι επίσης δεν διεγείρονται λόγω του πολύ μικρού ρεύματος. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς σε αυτή την περίπτωση το σφάλμα τροφοδοτείται από το εξωτερικό σύστημα που είναι συνδεδεμένο στον ζυγό.

	Name	Tripping Time s
<input checked="" type="checkbox"/>	R19	0,2982894
<input checked="" type="checkbox"/>	R12	0,5585175
<input checked="" type="checkbox"/>	R7	0,5603082
<input checked="" type="checkbox"/>	R3	0,6022023
<input checked="" type="checkbox"/>	R20	0,8461439

Ε4.21: Πράσινο μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων

Στο μπλε μονοπάτι θα εξεταστεί η περίπτωση του close-in βραχυκυκλώματος στον ηλεκτρονόμο 35. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα χρόνου-ρεύματος με τις καμπύλες των ηλεκτρονόμων του μπλε μονοπατιού στην εικόνα E4.22, οι ηλεκτρονόμοι 35 (κόκκινος) και 36 (πράσινος) που «βλέπουν» το σφάλμα μπροστά τους διεγείρονται σε 0,385 sec και 0,688 sec αντίστοιχα. Ο ηλεκτρονόμος 25 (μπλε) που είναι backup του 35 διεγείρεται σε 0,734 sec, δηλαδή 0,349 sec μετά τον ηλεκτρονόμο κύριας προστασίας. Ο ηλεκτρονόμος 26 (μωβ) δεν διεγείρεται γιατί «βλέπει» το σφάλμα πίσω του όπως και οι ηλεκτρονόμοι 27 και 37.



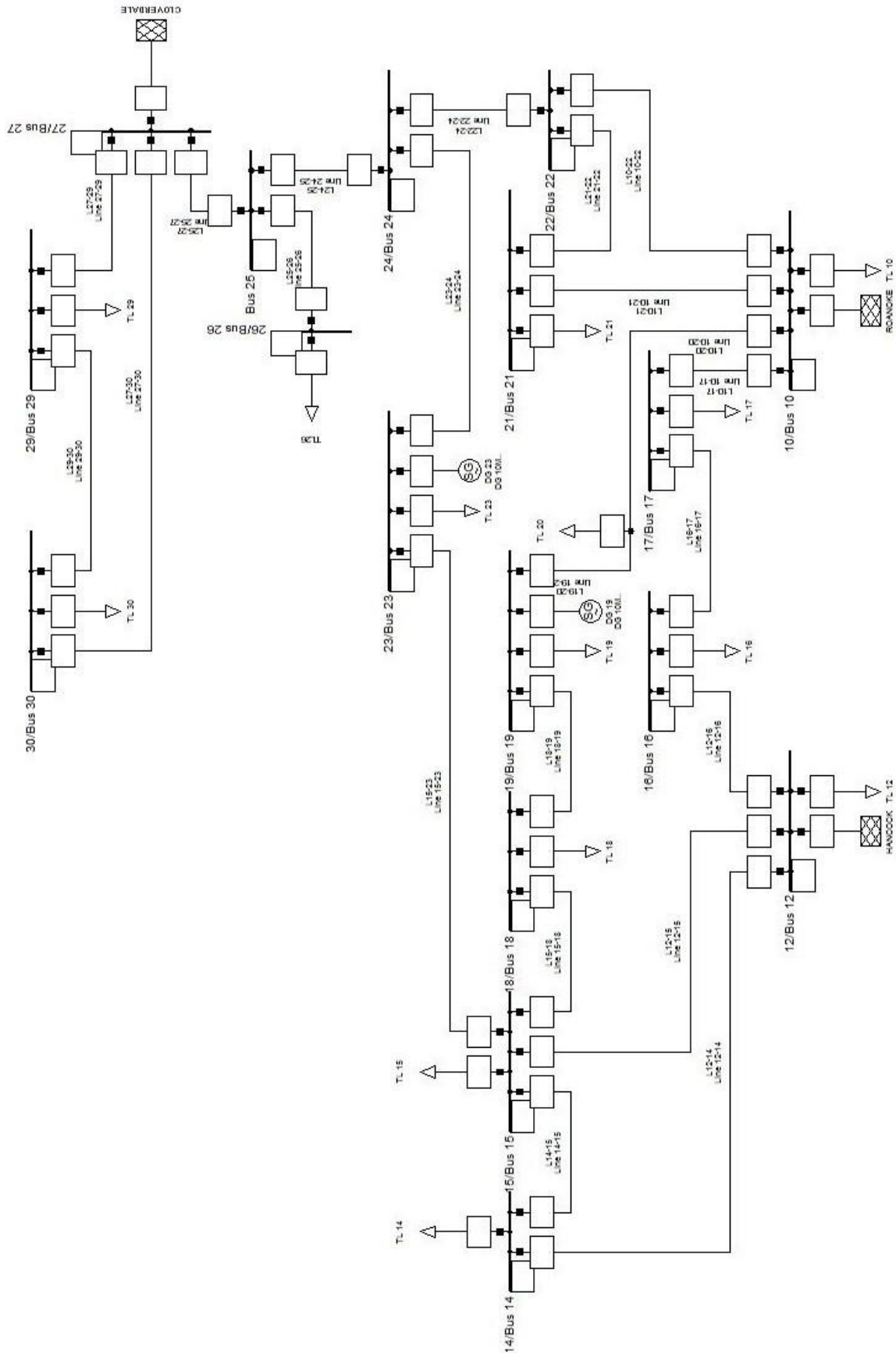
E4.22: Μπλε μονοπάτι – Διάγραμμα χρόνου ρεύματος

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται και οι χρόνοι τους. Ο ηλεκτρονόμος 28, ως backup του 35, διεγείρεται σε 0,688 sec. Ο ηλεκτρονόμος 38, ως backup του 36, δεν διεγείρεται γιατί το σφάλμα είναι σε μακρινή τοποθεσία και διαρρέεται από μικρό ρεύμα.

	Name	Tripping Time s
<input checked="" type="checkbox"/>	R35	0,3845032
<input checked="" type="checkbox"/>	R36	0,687695
<input checked="" type="checkbox"/>	R28	0,688398
<input checked="" type="checkbox"/>	R25	0,7335237

E4.23: Μπλε μονοπάτι – Χρόνοι λειτουργίας ηλεκτρονόμων

### 4.4 Δίκτυο IEEE 30 ζυγών



Ε4.24: Τοπολογία του δικτύου IEEE 30 ζυγών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η προσομοίωση στο PowerFactory του δικτύου 30 ζυγών της IEEE [16]. Από το δίκτυο αυτό έχει αφαιρεθεί το κομμάτι του συστήματος μεταφοράς και έχει διατηρηθεί το κομμάτι του δικτύου διανομής οπότε τελικά το δίκτυο που προσομοιώνεται στο PowerFactory είναι 18 ζυγών και η τοπολογία του φαίνεται στο σχήμα E4.24. Οι υποσταθμοί ΥΤ/ΜΤ στους οποίους συνδέονταν τα δύο δίκτυα έχουν μοντελοποιηθεί ως εξωτερικά ΣΗΕ. Επίσης, σε σχέση με το αυθεντικό δίκτυο έχουν προστεθεί δύο γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής στις θέσεις που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Όπως και στις προηγούμενες ενότητες, αρχικά διατυπώνονται τα χαρακτηριστικά όλων των στοιχείων του δικτύου και στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων.

#### 4.4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά στοιχείων δικτύου

Το δίκτυο αποτελείται από 18 ζυγούς, 22 γραμμές και 2 γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής. Επίσης τροφοδοτείται από εξωτερικά συστήματα σε 3 σημεία και σε αντίθεση με τα δίκτυα των προηγούμενων ενότητων έχει και 14 φορτία. Η ονομαστική τάση του δικτύου είναι 33kV και η ονομαστική του συχνότητα είναι 50Hz.

Οι ζυγοί υλοποιούνται με το εργαλείο σχεδίασης Single Busbar System εκτός από τον ζυγό 20 ο οποίος εισάγεται ως ενδιάμεσος κόμβος όπως έγινε στην παράγραφο 2.3.3. Σε κανέναν ζυγό δεν αποδίδεται κάποιο μοντέλο από την βιβλιοθήκη του project. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των ζυγών φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

Name	System Type	Usage	Phase Technology	Nom.L-L Volt. kV	Nom.L-G Volt. kV	Earthed	Station/Na...	Nc
Bus 10	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	10/Bus 10 ...	
Bus 12	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	12/Bus 12 ...	
Bus 14	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	14/Bus 14 ...	
Bus 15	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	15/Bus 15 ...	
Bus 16	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	16/Bus 16 ...	
Bus 17	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	17/Bus 17 ...	
Bus 18	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	18/Bus 18 ...	
Bus 19	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	19/Bus 19 ...	
Bus 20	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	Bus 20 ...	
Bus 21	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	21/Bus 21 ...	
Bus 22	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	22/Bus 22 ...	
Bus 23	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	23/Bus 23 ...	
Bus 24	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	24/Bus 24 ...	
Bus 25	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	25/Bus 25 ...	
Bus 26	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	26/Bus 26 ...	
Bus 27	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	27/Bus 27 ...	
Bus 29	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	29/Bus 29 ...	
Bus 30	AC Busbar	ABC		33,	19,05256	<input type="checkbox"/>	30/Bus 30 ...	

E4.25: Χαρακτηριστικά των ζυγών του δικτύου IEEE 30 ζυγών

Τα στοιχεία που υπάρχουν για τις γραμμές του δικτύου περιλαμβάνουν τις συνολικές τιμές σύνθετων αντιστάσεων της κάθε μίας αλλά δεν περιλαμβάνουν τα μήκη τους. Για την προσομοίωση των γραμμών σε αυτή την περίπτωση ορίζουμε το μήκος όλων των γραμμών ίσο με 1km και φτιάχνουμε ένα μοντέλο για κάθε γραμμή. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται ανάλογα με την γραμμή στην



ποία αποδίδεται και έχει ως ανά μονάδα μήκους σύνθετη αντίσταση την συνολική σύνθετη αντίσταση της γραμμής. Όπως και στις προηγούμενες ενότητες, οι τιμές των αντιστάσεων και αντιδράσεων μηδενικής ακολουθίας θεωρούνται τριπλάσιες των αντίστοιχων θετικής ακολουθίας. Τα χαρακτηριστικά των γραμμών και των μοντέλων τους φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

Name	Rtd. Voltage kV	Nominal Frequency Hz	Cable / OHL	Sys. Tp.	Phases	Number of Neutrals	R(AC,20°C) Ohm/km	X' Ohm/km	R0(AC) Ohm/km	X0' Ohm/km
Line 10-17	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,352836	0,920205	1,058	2,76
Line 10-20	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,019304	2,27601	3,057	6,828
Line 10-21	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,189486	0,407831	0,568	1,223
Line 10-22	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,791703	1,632411	2,375	4,897
Line 12-14	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,340559	2,786751	4,022	8,36
Line 12-15	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,720918	1,420056	2,163	4,26
Line 12-16	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,029105	2,163843	3,087	6,491
Line 14-15	33.	50, 1	1	AC	3	0	2,40669	2,174733	7,22	6,524
Line 15-18	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,168497	2,379465	3,505	7,138
Line 15-23	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,089	2,19978	3,267	6,599
Line 16-17	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,570636	2,094147	1,712	6,282
Line 18-19	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,695871	1,406988	2,087	4,221
Line 19-20	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,37026	0,74052	1,111	2,222
Line 21-22	33.	50, 1	1	AC	3	0	0,126324	0,257004	0,379	0,771
Line 22-24	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,25235	1,94931	3,757	5,848
Line 23-24	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,43748	2,9403	4,312	8,821
Line 24-25	33.	50, 1	1	AC	3	0	2,052765	3,584988	6,158	10,755
Line 25-26	33.	50, 1	1	AC	3	0	2,770416	4,1382	8,311	12,415
Line 25-27	33.	50, 1	1	AC	3	0	1,190277	2,272743	3,571	6,818
Line 27-29	33.	50, 1	1	AC	3	0	2,393622	4,522617	7,181	13,568
Line 27-30	33.	50, 1	1	AC	3	0	3,486978	6,563403	10,467	19,69
Line 29-30	33.	50, 1	1	AC	3	0	2,612511	4,936437	7,838	14,809

E4.26: Χαρακτηριστικά των μοντέλων των γραμμών του δικτύου IEEE 30 ζυγών

Name	Type	Par.no.	Length km	Z1 Ohm	phiz1 deg	R1 Ohm	X1 Ohm	R0 Ohm	X0 Ohm
L10-17	Line 10-17	1	1,	0,9855306	69,02158	352836	,920205	1,058	2,76
L10-20	Line 10-20	1	1,	2,493833	65,87492	019304	2,27601	3,057	6,828
L10-21	Line 10-21	1	1,	0,4497011	65,07953	189486	,407831	0,568	1,223
L10-22	Line 10-22	1	1,	1,814265	64,12708	791703	,632411	2,375	4,897
L12-14	Line 12-14	1	1,	3,092423	64,31025	340559	,786751	4,022	8,36
L12-15	Line 12-15	1	1,	1,592571	63,08452	720918	,420056	2,163	4,26
L12-16	Line 12-16	1	1,	2,396096	64,56464	029105	,163843	3,087	6,491
L14-15	Line 14-15	1	1,	3,243705	42,1016	2,40669	,174733	7,22	6,524
L15-18	Line 15-18	1	1,	2,650894	63,84548	168497	,379465	3,505	7,138
L15-23	Line 15-23	1	1,	2,454578	63,66231	1,089	2,19978	3,267	6,599
L16-17	Line 16-17	1	1,	2,170501	74,75748	570636	,094147	1,712	6,282
L18-19	Line 18-19	1	1,	1,569666	63,68383	695871	,406988	2,087	4,221
L19-20	Line 19-20	1	1,	0,8279265	63,43495	3,37026	0,74052	1,111	2,222
L21-22	Line 21-22	1	1,	0,2863718	63,82471	126324	,257004	0,379	0,771
L22-24	Line 22-24	1	1,	2,316935	57,28095	1,25235	1,94931	3,757	5,848
L23-24	Line 23-24	1	1,	3,272875	63,94651	1,43748	2,9403	4,312	8,821
L24-25	Line 24-25	1	1,	4,1311	60,20454	052765	,584988	6,158	10,755
L25-26	Line 25-26	1	1,	4,97995	56,19873	770416	4,1382	8,311	12,415
L25-27	Line 25-27	1	1,	2,565564	62,35813	190277	,272743	3,571	6,818
L27-29	Line 27-29	1	1,	5,116981	62,1097	393622	,522617	7,181	13,568
L27-30	Line 27-30	1	1,	7,432178	62,01937	486978	,563403	10,467	19,69
L29-30	Line 29-30	1	1,	5,585125	62,11086	612511	,936437	7,838	14,809

E4.27: Χαρακτηριστικά των γραμμών του δικτύου IEEE 30 ζυγών

Οι 2 γεννήτριες διεσπαρμένης παρμένης παραγωγής στους ζυγούς 19 και 23 είναι όμοιες μεταξύ τους οπότε αρκεί η δημιουργία ενός μοντέλου σύγχρονης μηχανής. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται «DG 10MVA/33kV/15%» και έχει τα εξής δεδομένα:

- ονομαστικά χαρακτηριστικά 10MVA, 33kV, ΣΙ 0,8 και σύνδεση Y
- αμελητέες ωμικές αντιστάσεις
- υπομεταβατική αντίδραση και αντίδραση αρνητικής ακολουθίας ίσες με 0,15 α.μ.
- αντίδραση μηδενικής ακολουθίας ίση με 0,1 α.μ.

Το μοντέλο αυτό περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά των γεννητριών που χρειάζονται για την μελέτη βραχυκυκλωμάτων.

Η προσπάθεια προσέγγισης της συμπεριφοράς των 3 όμοιων εξωτερικών συστημάτων του δικτύου γίνεται μέσω του ρεύματος που συνεισφέρουν στα βραχυκυκλώματα. Έτσι ορίζεται ως μέγιστο ρεύμα τα 4kA ενώ για τους λόγους των αντιστάσεων τους λαμβάνονται οι τυπικές τιμές  $Z2/Z1=1$ ,  $X0/X1=3$ ,  $R0/X0=0,2$  και  $R/X=0,1$ .

Για λόγους πληρότητας, στην παρακάτω εικόνα καταγράφονται τα δεδομένα των φορτίων που περιλαμβάνει το δίκτυο 30 ζυγών της IEEE.

Name	Terminal StaCubic	Terminal Busbar	Act.Pow. MW	React.Pow. Mvar	App.Pow. MVA	Pow.Fact.	Our
TL 10	10	Bus 10	5,8	2,	6,135145	0,945373	
TL 12	12	Bus 12	11,2	7,5	13,47924	0,8309072	
TL 14	14	Bus 14	6,2	1,6	6,403124	0,9682773	
TL 15	15	Bus 15	8,2	2,5	8,572631	0,9565325	
TL 16	16	Bus 16	3,5	1,8	3,935734	0,8892878	
TL 17	17	Bus 17	9,	5,8	10,70701	0,840571	
TL 18	18	Bus 18	3,2	0,9	3,324154	0,9626509	
TL 19	19	Bus 19	9,5	3,4	10,09009	0,9415175	
TL 20		Bus 20	2,2	0,7	2,308679	0,9529258	
TL 21	21	Bus 21	17,5	11,2	20,77715	0,8422714	
TL 23	23	Bus 23	3,2	1,6	3,577709	0,8944272	
TL 29	29	Bus 29	2,4	0,9	2,563201	0,9363292	
TL 30	30	Bus 30	10,6	1,9	10,76894	0,9843126	
TL26	26	Bus 26	3,5	2,3	4,188078	0,8357055	

Ε4.28: Χαρακτηριστικά των φορτίων του δικτύου IEEE 30 ζυγών

#### 4.4.2 Αποτελέσματα μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων του δικτύου IEEE 30 ζυγών. Η δομή των πινάκων και οι πληροφορίες που καταγράφονται σε κάθε πίνακα είναι οι ίδιες όπως και στις προηγούμενες ενότητες. Για κάθε έναν από τους 44 ηλεκτρονόμους του δικτύου υπολογίζονται όλα τα είδη βραχυκυκλωμάτων, για τις close-in και far-end θέσεις και σε κάθε περίπτωση καταγράφονται οι μεταβλητές ενδιαφέροντος στην κατάλληλη μορφή τόσο του ίδιου του ηλεκτρονόμου όσο και των κλάδων που συνεισφέρουν σε βάθος ενός ζυγού πίσω του. Στην περίπτωση του δικτύου IEEE 30 ζυγών όμως, οι τιμές των αντιστάσεων σφάλματος για τις οποίες υπολογίζονται τα βραχυκυκλώματα φάσης είναι 0Ω και 1Ω ενώ για τα βραχυκυκλώματα γης είναι 0Ω και 20Ω. Άρα σε αυτή την περίπτωση η μελέτη βραχυκυκλωμάτων περιλαμβάνει συνολικά δύο ζεύγη πινάκων.

ΠΒ 17: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) - RF=0Ω

Κλάδοι		Συνεισφο- ρές	$R_F = 0$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
12	14		<b>8,275</b>	<b>7,280</b>	<b>12,609</b>	<b>7,607</b>	<b>7,607</b>	<b>8,042</b>	<b>6,837</b>	<b>9,135</b>
		L12-14	7,726	6,786	11,733	7,128	7,203	7,518	6,475	8,502
		L15-12	2,055	1,857	3,273	1,788	1,502	2,001	1,350	2,373
		L16-12	1,735	1,527	2,643	1,428	1,097	1,648	0,986	1,917
		HANCOCK	3,956	3,431	5,838	3,932	4,638	3,950	4,169	4,230
14	12		<b>5,405</b>	<b>4,741</b>	<b>8,211</b>	<b>4,129</b>	<b>4,129</b>	<b>5,127</b>	<b>3,267</b>	<b>6,564</b>
		L14-12	2,562	2,256	3,918	1,954	1,935	2,435	1,531	3,132
		L15-14	2,562	2,256	3,918	1,954	1,935	2,435	1,531	3,132
12	15		<b>8,335</b>	<b>7,334</b>	<b>12,702</b>	<b>7,690</b>	<b>7,690</b>	<b>8,106</b>	<b>6,931</b>	<b>9,183</b>
		L12-15	6,219	5,435	9,327	5,840	6,134	6,064	5,529	6,744
		L14-12	0,523	0,473	0,834	0,457	0,383	0,510	0,345	0,603
		L16-12	1,743	1,535	2,658	1,441	1,106	1,657	0,997	1,920
		HANCOCK	3,982	3,454	5,877	3,971	4,682	3,980	4,220	4,248
15	12		<b>7,633</b>	<b>6,752</b>	<b>11,694</b>	<b>6,613</b>	<b>6,613</b>	<b>7,426</b>	<b>5,616</b>	<b>8,832</b>
		L15-12	4,438	3,982	6,960	3,892	3,896	4,344	3,309	5,256
		L14-15	0,801	0,699	1,185	0,681	0,680	0,773	0,577	0,894
		L18-15	1,614	1,451	2,544	1,402	1,368	1,583	1,162	1,923
		L23-15	2,026	1,839	3,234	1,812	1,854	1,993	1,575	2,442
12	16		<b>8,316</b>	<b>7,316</b>	<b>12,672</b>	<b>7,658</b>	<b>7,658</b>	<b>8,084</b>	<b>6,893</b>	<b>9,171</b>
		L12-16	6,548	5,760	9,975	6,197	6,533	6,415	5,880	7,218
		L14-12	0,533	0,482	0,879	0,465	0,391	0,519	0,352	0,615
		L15-12	2,081	1,881	3,315	1,815	1,527	2,027	4,216	4,125
		HANCOCK	3,971	3,444	5,862	3,953	4,661	3,967	4,196	4,242
16	12		<b>6,449</b>	<b>5,654</b>	<b>9,795</b>	<b>5,055</b>	<b>5,055</b>	<b>6,095</b>	<b>4,071</b>	<b>7,737</b>
		L16-12	3,042	2,668	4,623	2,355	2,294	2,861	1,848	3,651
		L17-16	3,042	2,668	4,623	2,355	2,294	2,861	1,848	3,651
14	15		<b>5,404</b>	<b>4,741</b>	<b>8,211</b>	<b>4,127</b>	<b>4,127</b>	<b>5,128</b>	<b>3,265</b>	<b>6,564</b>
		L14-15	2,872	2,512	4,335	2,196	2,216	2,724	1,753	3,465
		L12-14	2,872	2,512	4,335	2,196	2,216	2,724	1,753	3,465

15	14		<b>7,854</b>	<b>6,708</b>	<b>11,619</b>	<b>6,551</b>	<b>6,551</b>	<b>7,380</b>	<b>5,551</b>	<b>8,790</b>
		L15-14	6,749	5,983	10,383	5,843	5,847	6,574	4,955	7,854
		L12-15	3,133	2,732	4,635	2,656	2,648	3,021	2,244	3,507
		L18-15	1,606	1,444	2,532	1,391	1,358	1,576	1,151	1,917
		L23-15	2,016	1,829	3,219	1,799	1,841	1,983	1,560	2,436
15	18		<b>7,600</b>	<b>6,723</b>	<b>11,643</b>	<b>6,572</b>	<b>6,572</b>	<b>7,391</b>	<b>5,573</b>	<b>8,802</b>
		L15-18	5,967	5,260	9,069	5,154	5,183	5,790	4,395	6,855
		L12-15	3,155	2,752	4,671	2,677	2,666	3,041	2,261	3,531
		L14-15	0,808	0,705	1,197	0,686	0,683	0,779	0,579	0,903
		L23-15	2,015	1,829	3,219	1,801	1,843	1,981	1,563	2,433
18	15		<b>5,910</b>	<b>5,236</b>	<b>9,069</b>	<b>4,847</b>	<b>4,847</b>	<b>5,649</b>	<b>3,951</b>	<b>7,050</b>
		L18-15	2,822	2,536	4,434	2,449	2,665	2,743	2,173	3,447
		L19-18	2,822	2,536	4,434	2,449	2,665	2,743	2,173	3,447
18	19		<b>5,907</b>	<b>5,234</b>	<b>9,066</b>	<b>4,850</b>	<b>4,850</b>	<b>5,647</b>	<b>3,956</b>	<b>7,044</b>
		L18-19	3,063	2,692	4,599	2,379	2,163	2,887	1,764	3,573
		L15-18	3,063	2,692	4,599	2,379	2,163	2,887	1,764	3,573
19	18		<b>6,206</b>	<b>5,534</b>	<b>9,585</b>	<b>5,591</b>	<b>5,591</b>	<b>5,958</b>	<b>4,822</b>	<b>7,104</b>
		L19-18	3,954	3,576	6,249	3,811	4,228	3,971	3,647	4,629
		L20-19	2,996	2,625	4,404	2,372	1,858	2,794	1,603	3,264
		DG 19	0,975	0,996	1,896	1,472	2,433	1,227	2,099	1,404
19	20		<b>6,213</b>	<b>5,541</b>	<b>9,597</b>	<b>5,602</b>	<b>5,602</b>	<b>5,965</b>	<b>4,835</b>	<b>7,110</b>
		L19-20	3,201	2,937	5,175	3,220	3,755	3,286	3,241	3,834
		L18-19	2,245	1,974	3,333	1,781	1,380	2,102	1,191	2,469
		DG 19	0,976	0,998	1,899	1,476	2,440	1,231	2,106	1,407
20	19		<b>6,301</b>	<b>5,593</b>	<b>9,687</b>	<b>5,406</b>	<b>5,406</b>	<b>6,046</b>	<b>4,533</b>	<b>7,365</b>
		L20-19	3,597	3,149	5,325	2,840	2,464	3,372	2,066	4,050
		L10-20	3,597	3,149	5,325	2,840	2,464	3,372	2,066	4,050
16	17		<b>6,444</b>	<b>5,650</b>	<b>9,786</b>	<b>5,048</b>	<b>5,048</b>	<b>6,089</b>	<b>4,064</b>	<b>7,731</b>
		L16-17	3,376	2,960	5,124	2,673	2,732	3,203	2,199	4,050
		L12-16	3,376	2,960	5,124	2,673	2,732	3,203	2,199	4,050
17	16		<b>7,339</b>	<b>6,446</b>	<b>11,166</b>	<b>6,044</b>	<b>6,044</b>	<b>6,995</b>	<b>5,014</b>	<b>8,625</b>
		L17-16	5,216	4,583	7,938	4,351	4,461	4,980	3,700	6,132
		L10-17	5,216	4,583	7,938	4,351	4,461	4,980	3,700	6,132
10	17		<b>8,989</b>	<b>7,922</b>	<b>13,722</b>	<b>8,315</b>	<b>8,315</b>	<b>8,767</b>	<b>7,488</b>	<b>9,912</b>
		L10-17	7,381	6,506	11,271	6,960	7,225	7,228	6,506	8,142
		L20-10	1,461	1,333	2,415	1,388	1,349	1,477	1,215	1,746
		L21-10	1,405	1,244	2,160	1,164	0,884	1,340	0,796	1,560
		L22-10	0,570	0,505	0,876	0,472	0,359	0,543	0,323	0,633
		ROANOKE	3,986	3,459	5,874	3,978	4,688	3,984	4,222	4,242
17	10		<b>7,373</b>	<b>6,477</b>	<b>11,220</b>	<b>6,086</b>	<b>6,086</b>	<b>7,032</b>	<b>5,056</b>	<b>8,658</b>
		L17-10	2,107	1,851	3,204	1,682	1,569	2,002	1,304	2,472
		L16-17	2,107	1,851	3,204	1,682	1,569	2,002	1,304	2,472
10	20		<b>8,951</b>	<b>7,888</b>	<b>13,662</b>	<b>8,264</b>	<b>8,264</b>	<b>8,728</b>	<b>7,430</b>	<b>9,882</b>
		L10-20	7,469	6,537	11,214	6,857	6,893	7,234	6,197	8,112
		L17-10	1,583	1,395	2,412	1,329	1,069	1,518	0,961	1,746
		L21-10	1,395	1,236	2,145	1,153	0,876	1,331	0,787	1,551
		L22-10	0,566	0,501	0,870	0,468	0,355	0,540	0,319	0,630
		ROANOKE	3,965	3,441	5,844	3,947	4,647	3,961	4,178	4,227
20	10		<b>6,310</b>	<b>5,600</b>	<b>9,699</b>	<b>5,406</b>	<b>5,406</b>	<b>6,054</b>	<b>4,530</b>	<b>7,380</b>
		L20-10	2,685	2,456	4,335	2,546	2,923	2,666	2,449	3,297

		L19-20	2,685	2,456	4,335	2,546	2,923	2,666	2,449	3,297
10	21		<b>9,002</b>	<b>7,933</b>	<b>13,740</b>	<b>8,334</b>	<b>8,334</b>	<b>8,782</b>	<b>7,511</b>	<b>9,918</b>
		L10-21	7,596	6,690	11,577	7,169	7,453	7,469	6,717	8,358
		L17-10	1,600	1,409	2,439	1,347	1,084	1,535	0,977	1,761
		L20-10	1,466	1,355	2,424	1,393	1,354	1,481	1,220	1,749
		L22-10	0,557	0,493	0,855	0,460	0,347	0,531	0,313	0,618
		ROANOKE	3,994	3,466	5,886	3,990	4,703	3,993	4,239	4,248
21	10		<b>8,277</b>	<b>7,285</b>	<b>12,618</b>	<b>7,235</b>	<b>7,235</b>	<b>8,008</b>	<b>6,241</b>	<b>9,450</b>
		L21-10	2,948	2,602	4,512	2,474	2,256	2,823	1,946	3,378
		L22-21	2,948	2,602	4,512	2,474	2,256	2,823	1,946	3,378
10	22		<b>8,955</b>	<b>7,891</b>	<b>13,668</b>	<b>8,267</b>	<b>8,267</b>	<b>8,732</b>	<b>7,433</b>	<b>9,888</b>
		L10-22	8,330	7,339	12,705	7,744	7,859	8,145	7,066	9,192
		L17-10	1,591	1,401	2,424	1,336	1,075	1,526	0,966	1,752
		L20-10	1,458	1,347	2,409	1,381	1,342	1,472	1,207	1,743
		L21-10	1,343	1,190	2,064	1,105	0,828	1,280	0,744	1,494
		ROANOKE	3,972	3,447	5,853	3,957	4,664	3,968	4,193	4,223
22	10		<b>8,111</b>	<b>7,139</b>	<b>12,366</b>	<b>6,970</b>	<b>6,970</b>	<b>7,834</b>	<b>5,937</b>	<b>9,351</b>
		L22-10	6,362	5,602	9,705	5,430	5,352	6,132	4,559	7,341
		L21-22	4,118	3,620	6,258	3,628	3,819	4,013	3,253	4,734
		L24-22	2,265	2,004	3,477	1,820	1,553	2,159	1,323	2,631
21	22		<b>8,270</b>	<b>7,280</b>	<b>12,609</b>	<b>7,225</b>	<b>7,225</b>	<b>8,001</b>	<b>6,230</b>	<b>9,444</b>
		L21-22	5,310	4,670	8,079	4,742	4,958	5,179	4,275	6,051
		L10-21	5,310	4,670	8,079	4,742	4,958	5,179	4,275	6,051
22	21		<b>8,144</b>	<b>7,168</b>	<b>12,414</b>	<b>7,009</b>	<b>7,009</b>	<b>7,869</b>	<b>5,977</b>	<b>9,381</b>
		L22-21	3,955	3,488	6,048	3,313	3,122	3,794	2,662	4,569
		L10-22	1,691	1,487	2,571	1,492	1,569	1,648	1,338	1,941
		L24-22	2,277	2,014	3,498	1,833	1,565	2,171	1,334	2,643
15	23		<b>7,610</b>	<b>6,732</b>	<b>11,661</b>	<b>6,587</b>	<b>6,587</b>	<b>7,402</b>	<b>5,589</b>	<b>8,811</b>
		L15-23	5,566	4,894	8,394	4,755	4,706	5,391	3,993	6,345
		L12-15	3,160	2,756	4,677	2,682	2,669	3,046	2,265	3,534
		L14-15	0,809	0,706	1,197	0,687	0,684	0,780	0,580	0,906
		L18-15	1,608	1,446	2,535	1,395	1,362	1,577	1,155	1,917
23	15		<b>6,458</b>	<b>5,574</b>	<b>9,966</b>	<b>5,744</b>	<b>5,744</b>	<b>6,251</b>	<b>4,915</b>	<b>7,437</b>
		L23-15	3,373	3,074	5,394	3,298	3,789	3,431	3,242	4,026
		L24-23	2,424	2,123	3,567	1,869	1,401	2,252	1,199	2,661
		DG 23	0,974	0,996	1,896	1,475	2,466	1,227	2,110	1,416
23	24		<b>6,445</b>	<b>5,742</b>	<b>9,945</b>	<b>5,724</b>	<b>5,724</b>	<b>6,235</b>	<b>4,892</b>	<b>7,428</b>
		L23-24	3,999	3,626	6,351	3,845	4,328	4,001	3,699	4,746
		L15-23	3,045	2,676	4,515	2,413	1,947	2,862	1,664	3,372
		DG 23	0,971	0,993	1,890	1,469	2,458	1,223	2,100	1,413
24	23		<b>7,076</b>	<b>6,228</b>	<b>10,788</b>	<b>5,578</b>	<b>5,578</b>	<b>6,759</b>	<b>4,477</b>	<b>8,520</b>
		L24-23	4,993	4,365	7,485	3,833	3,693	4,727	2,964	5,913
		L22-24	3,215	2,822	4,863	2,512	2,489	3,068	1,998	3,840
		L25-24	1,778	1,543	2,625	1,321	1,203	1,660	0,966	2,073
22	24		<b>8,115</b>	<b>7,142</b>	<b>12,372</b>	<b>6,967</b>	<b>6,967</b>	<b>7,840</b>	<b>5,930</b>	<b>9,363</b>
		L22-24	5,846	5,139	8,883	5,143	5,407	5,697	4,602	6,723
		L10-22	1,687	1,483	2,565	1,484	1,560	1,644	1,328	1,941
		L21-22	4,159	3,656	6,321	3,659	3,847	3,901	3,274	4,782
24	22		<b>7,104</b>	<b>6,252</b>	<b>10,830</b>	<b>5,602</b>	<b>5,602</b>	<b>6,788</b>	<b>4,498</b>	<b>8,553</b>
		L24-22	3,840	3,395	5,892	3,049	3,070	3,672	2,465	4,653

		L23-24	2,058	1,854	3,267	1,725	1,864	2,012	1,497	2,580
		L25-24	1,785	1,549	2,634	1,326	1,209	1,666	0,971	2,079
24	25		<b>7,061</b>	<b>6,213</b>	<b>10,761</b>	<b>5,553</b>	<b>5,553</b>	<b>6,742</b>	<b>4,453</b>	<b>8,508</b>
		L24-25	5,264	4,659	8,109	4,217	4,327	5,065	3,470	6,411
		L22-24	3,215	2,822	4,860	2,506	2,482	3,066	1,990	3,843
		L23-24	2,051	1,847	3,252	1,714	1,850	2,003	1,484	2,571
25	24		<b>5,322</b>	<b>4,633</b>	<b>8,025</b>	<b>4,050</b>	<b>4,050</b>	<b>4,989</b>	<b>3,238</b>	<b>6,399</b>
		L25-24	2,715	2,352	4,050	2,180	2,431	2,595	1,944	3,231
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L27-25	2,715	2,352	4,050	2,180	2,431	2,595	1,944	3,231
25	26		<b>5,258</b>	<b>4,577</b>	<b>7,929</b>	<b>3,993</b>	<b>3,993</b>	<b>4,927</b>	<b>3,190</b>	<b>6,327</b>
		L25-26	5,258	4,577	7,929	3,993	3,993	4,927	3,190	6,327
		L24-25	2,583	2,262	3,936	1,845	1,591	2,391	1,271	3,141
		L27-25	2,696	2,335	4,023	2,162	2,412	2,577	1,927	3,210
26	25		<b>2,386</b>	<b>2,071</b>	<b>3,588</b>	<b>1,577</b>	<b>1,577</b>	<b>2,176</b>	<b>1,173</b>	<b>3,000</b>
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	27		<b>5,322</b>	<b>4,633</b>	<b>8,025</b>	<b>4,060</b>	<b>4,060</b>	<b>4,991</b>	<b>3,252</b>	<b>6,393</b>
		L25-27	2,606	2,282	3,972	1,868	1,607	2,414	1,288	3,165
		L24-25	2,606	2,282	3,972	1,868	1,607	2,414	1,288	3,165
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	25		<b>5,900</b>	<b>5,123</b>	<b>8,874</b>	<b>5,439</b>	<b>5,439</b>	<b>5,772</b>	<b>5,019</b>	<b>6,360</b>
		L27-25	3,982	3,449	5,958	3,968	4,585	3,980	4,230	4,269
		L29-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L30-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		CLOVERDALE	2,982	3,449	5,958	3,968	4,585	3,980	4,230	4,269
27	29		<b>5,831</b>	<b>5,063</b>	<b>8,769</b>	<b>5,355</b>	<b>5,355</b>	<b>5,692</b>	<b>4,926</b>	<b>6,303</b>
		L27-29	5,815	5,049	8,745	5,340	5,340	5,676	4,912	6,285
		L25-27	1,954	1,707	2,970	1,495	0,879	1,796	0,809	2,136
		L30-27	0,016	0,014	0,024	0,015	0,015	0,016	0,014	0,018
		CLOVERDALE	3,945	3,418	5,901	3,917	4,527	3,940	4,164	4,242
29	27		<b>2,941</b>	<b>2,551</b>	<b>4,419</b>	<b>2,136</b>	<b>2,136</b>	<b>2,712</b>	<b>1,673</b>	<b>3,582</b>
		L29-27	0,822	0,713	1,233	0,597	0,597	0,757	0,467	0,999
		L30-29	0,822	0,713	1,233	0,597	0,597	0,757	0,467	0,999
27	30		<b>5,796</b>	<b>5,032</b>	<b>8,715</b>	<b>5,305</b>	<b>5,305</b>	<b>5,647</b>	<b>4,867</b>	<b>6,279</b>
		L27-30	5,772	5,012	8,682	5,284	5,284	5,624	4,847	6,252
		L25-27	1,943	1,695	2,952	1,481	0,871	1,785	0,799	2,127
		L29-27	0,024	0,021	0,036	0,022	0,022	0,023	0,020	0,027
		CLOVERDALE	3,921	3,397	5,865	3,880	4,485	3,914	4,114	4,224
30	27		<b>2,673</b>	<b>2,318</b>	<b>4,014</b>	<b>1,904</b>	<b>1,904</b>	<b>2,456</b>	<b>1,475</b>	<b>3,276</b>
		L30-27	1,085	0,940	1,629	0,772	0,773	0,997	0,599	1,329
		L29-30	1,085	0,940	1,629	0,772	0,773	0,997	0,599	1,329
29	30		<b>2,922</b>	<b>2,534</b>	<b>4,389</b>	<b>2,119</b>	<b>2,119</b>	<b>2,694</b>	<b>1,659</b>	<b>3,561</b>
		L29-30	2,089	1,811	3,138	1,515	1,515	1,925	1,185	2,544
		L27-29	2,089	1,811	3,138	1,515	1,515	1,925	1,185	2,544
30	29		<b>2,665</b>	<b>2,311</b>	<b>4,002</b>	<b>1,897</b>	<b>1,897</b>	<b>2,449</b>	<b>1,470</b>	<b>3,267</b>
		L30-29	1,100	1,357	2,349	1,114	1,114	1,438	0,863	1,917
		L27-30	1,100	1,357	2,349	1,114	1,114	1,438	0,863	1,917

ΠΒ 18: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) - RF=0Ω

Κλάδοι		Συνει- σφορές	$R_F = 0$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		$I_{ph}$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_2$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$I_{ph}$ (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
12	14		<b>5,405</b>	<b>4,741</b>	<b>8,211</b>	<b>4,129</b>	<b>4,129</b>	<b>5,127</b>	<b>3,267</b>	<b>6,564</b>
		L12-14	2,917	2,551	4,404	2,232	2,251	2,766	1,782	3,519
		L15-12	0,450	0,389	0,615	0,354	0,415	0,432	0,328	0,492
		L16-12	0,895	0,785	1,359	0,612	0,468	0,836	0,370	1,086
		HANCOCK	2,382	2,055	3,483	1,907	2,150	2,261	1,701	2,784
14	12		<b>8,275</b>	<b>7,280</b>	<b>12,609</b>	<b>7,607</b>	<b>7,607</b>	<b>8,042</b>	<b>6,837</b>	<b>9,135</b>
		L14-12	0,567	0,512	0,900	0,496	0,422	0,552	0,380	0,654
		L15-14	0,567	0,512	0,900	0,496	0,422	0,552	0,380	0,654
12	15		<b>7,633</b>	<b>6,752</b>	<b>11,694</b>	<b>6,613</b>	<b>6,613</b>	<b>7,426</b>	<b>5,616</b>	<b>8,832</b>
		L12-15	3,205	2,796	4,746	2,727	2,720	3,091	2,310	3,582
		L14-12	0,801	0,699	1,185	0,681	0,680	0,773	0,577	0,894
		L16-12	0,911	0,806	1,395	0,704	0,534	0,867	0,453	1,053
		HANCOCK	3,089	2,682	4,524	2,699	2,862	3,001	2,431	3,417
15	12		<b>8,335</b>	<b>7,334</b>	<b>12,702</b>	<b>7,690</b>	<b>7,690</b>	<b>8,106</b>	<b>6,931</b>	<b>9,183</b>
		L15-12	2,125	1,920	3,384	1,859	1,571	2,070	1,416	2,445
		L14-15	0,523	0,473	0,834	0,457	0,383	0,510	0,345	0,603
		L18-15	1,117	1,005	1,770	0,969	0,808	1,088	0,728	1,278
		L23-15	1,525	1,382	2,436	1,341	1,141	1,485	1,029	1,761
12	16		<b>6,449</b>	<b>5,654</b>	<b>9,795</b>	<b>5,055</b>	<b>5,055</b>	<b>6,095</b>	<b>4,071</b>	<b>7,737</b>
		L12-16	3,411	2,991	5,178	2,704	2,766	3,237	2,227	4,092
		L14-12	0,191	0,177	0,318	0,150	0,135	0,187	0,109	0,252
		L15-12	0,746	0,693	1,239	0,584	0,529	0,729	0,426	0,981
		HANCOCK	2,494	2,150	3,642	1,983	2,115	2,351	1,703	2,877
16	12		<b>8,316</b>	<b>7,316</b>	<b>12,672</b>	<b>7,658</b>	<b>7,658</b>	<b>8,084</b>	<b>6,893</b>	<b>9,171</b>
		L16-12	1,769	1,557	2,697	1,462	1,130	1,681	1,017	1,950
		L17-16	1,769	1,557	2,697	1,462	1,130	1,681	1,017	1,950
14	15		<b>7,584</b>	<b>6,708</b>	<b>11,619</b>	<b>6,551</b>	<b>6,551</b>	<b>7,380</b>	<b>5,551</b>	<b>8,790</b>
		L14-15	0,840	0,733	1,245	0,713	0,711	0,811	0,602	0,942
		L12-14	0,840	0,733	1,245	0,713	0,711	0,811	0,602	0,942
15	14		<b>5,404</b>	<b>4,741</b>	<b>8,211</b>	<b>4,127</b>	<b>4,127</b>	<b>5,128</b>	<b>3,265</b>	<b>6,564</b>
		L15-14	2,605	2,295	3,987	1,987	1,968	2,477	1,557	3,186
		L12-15	0,481	0,414	0,657	0,377	0,438	0,458	0,346	0,525
		L18-15	0,938	0,839	1,473	0,702	0,649	0,901	0,513	1,176
		L23-15	1,217	1,098	1,932	0,931	0,893	1,173	0,706	1,545
15	18		<b>5,910</b>	<b>5,236</b>	<b>9,069</b>	<b>4,847</b>	<b>4,847</b>	<b>5,649</b>	<b>3,951</b>	<b>7,050</b>
		L15-18	3,090	2,715	4,641	2,400	2,188	2,913	1,783	3,606
		L12-15	1,680	1,457	2,439	1,270	1,130	1,564	0,921	1,896
		L14-15	0,430	0,373	0,624	0,325	0,290	0,401	0,236	0,486
		L23-15	0,985	0,897	1,584	0,809	0,772	0,953	0,629	1,230
18	15		<b>7,600</b>	<b>6,723</b>	<b>11,643</b>	<b>6,572</b>	<b>6,572</b>	<b>7,391</b>	<b>5,573</b>	<b>8,802</b>
		L18-15	1,633	1,469	2,574	1,418	1,389	1,601	1,178	1,947
		L19-18	1,633	1,469	2,574	1,418	1,389	1,601	1,178	1,947
18	19		<b>6,206</b>	<b>5,534</b>	<b>9,585</b>	<b>5,591</b>	<b>5,591</b>	<b>5,958</b>	<b>4,822</b>	<b>7,104</b>

		L18-19	2,256	1,985	3,351	1,790	1,391	2,113	1,200	2,484
		L15-18	2,256	1,985	3,351	1,790	1,391	2,113	1,200	2,484
19	18		<b>5,907</b>	<b>5,234</b>	<b>9,066</b>	<b>4,850</b>	<b>4,850</b>	<b>5,647</b>	<b>3,956</b>	<b>7,044</b>
		L19-18	2,845	2,558	4,470	2,474	2,694	2,767	2,197	3,474
		L20-19	2,079	1,803	3,009	1,482	1,134	1,918	0,925	2,337
		DG 19	0,776	0,787	1,494	1,011	1,596	0,918	1,302	1,161
19	20		<b>6,301</b>	<b>5,593</b>	<b>9,687</b>	<b>5,406</b>	<b>5,406</b>	<b>6,046</b>	<b>4,533</b>	<b>7,365</b>
		L19-20	2,703	2,473	4,365	2,568	2,950	2,684	2,474	3,318
		L18-19	1,842	1,611	2,715	1,380	1,051	1,719	0,881	2,064
		DG 19	0,877	0,892	1,695	1,215	1,948	1,064	1,633	1,290
20	19		<b>6,213</b>	<b>5,541</b>	<b>9,597</b>	<b>5,602</b>	<b>5,602</b>	<b>5,965</b>	<b>4,835</b>	<b>7,110</b>
		L20-19	3,013	2,640	4,431	2,390	1,874	2,810	1,618	3,282
		L10-20	3,013	2,640	4,431	2,390	1,874	2,810	1,618	3,282
16	17		<b>7,339</b>	<b>6,446</b>	<b>11,166</b>	<b>6,044</b>	<b>6,044</b>	<b>6,995</b>	<b>5,014</b>	<b>8,625</b>
		L16-17	2,123	1,864	3,225	1,693	1,584	2,016	1,314	2,493
		L12-16	2,123	1,864	3,225	1,693	1,584	2,016	1,314	2,493
17	16		<b>6,444</b>	<b>5,650</b>	<b>9,786</b>	<b>5,048</b>	<b>5,048</b>	<b>6,089</b>	<b>4,064</b>	<b>7,731</b>
		L17-16	3,072	2,695	4,668	2,379	2,321	2,889	1,869	3,687
		L10-17	3,072	2,695	4,668	2,379	2,321	2,889	1,869	3,687
10	17		<b>7,373</b>	<b>6,477</b>	<b>11,220</b>	<b>6,086</b>	<b>6,086</b>	<b>7,032</b>	<b>5,056</b>	<b>8,658</b>
		L10-17	5,266	4,628	8,016	4,404	4,517	5,031	3,752	6,186
		L20-10	0,912	0,852	1,539	0,796	0,802	0,917	0,666	1,188
		L21-10	0,959	0,848	1,473	0,708	0,532	0,900	0,442	1,137
		L22-10	0,389	0,344	0,597	0,287	0,216	0,349	0,179	0,462
		ROANOKE	3,033	2,621	4,443	2,637	2,996	2,909	2,489	3,429
17	10		<b>8,989</b>	<b>7,922</b>	<b>13,722</b>	<b>8,315</b>	<b>8,315</b>	<b>8,767</b>	<b>7,488</b>	<b>9,912</b>
		L17-10	1,609	1,417	2,451	1,354	1,093	1,543	0,984	1,770
		L16-17	1,609	1,417	2,451	1,354	1,093	1,543	0,984	1,770
10	20		<b>6,310</b>	<b>5,600</b>	<b>9,699</b>	<b>5,406</b>	<b>5,406</b>	<b>6,054</b>	<b>4,530</b>	<b>7,380</b>
		L10-20	3,625	3,172	5,367	2,862	2,491	3,398	2,087	4,083
		L17-10	0,496	0,439	0,753	0,375	0,282	0,469	0,237	0,573
		L21-10	0,584	0,519	0,900	0,425	0,275	0,546	0,230	0,684
		L22-10	0,237	0,211	0,366	0,172	0,111	0,221	0,093	0,276
		ROANOKE	2,328	2,019	3,375	1,903	1,835	2,196	1,537	2,568
20	10		<b>8,951</b>	<b>7,888</b>	<b>13,662</b>	<b>8,264</b>	<b>8,264</b>	<b>8,728</b>	<b>7,430</b>	<b>9,882</b>
		L20-10	1,482	1,370	2,448	1,408	1,375	1,497	1,236	1,770
		L19-20	1,482	1,370	2,448	1,408	1,375	1,497	1,236	1,770
10	21		<b>8,277</b>	<b>7,285</b>	<b>12,618</b>	<b>7,235</b>	<b>7,235</b>	<b>8,008</b>	<b>6,241</b>	<b>9,450</b>
		L10-21	5,341	0,739	1,275	4,773	4,990	5,210	4,304	6,084
		L17-10	1,372	1,208	2,088	1,091	0,879	1,309	0,758	1,563
		L20-10	1,253	1,160	2,079	1,130	1,104	1,261	0,952	1,557
		L22-10	0,841	4,698	8,127	0,777	0,865	0,833	0,746	0,954
		ROANOKE	3,563	3,084	5,238	3,336	3,888	3,502	3,354	3,924
21	10		<b>9,002</b>	<b>7,933</b>	<b>13,740</b>	<b>8,334</b>	<b>8,334</b>	<b>8,782</b>	<b>7,511</b>	<b>9,918</b>
		L21-10	1,427	1,264	2,193	1,185	0,905	1,361	0,815	1,584
		L22-21	1,427	1,264	2,193	1,185	0,905	1,361	0,815	1,584
10	22		<b>8,111</b>	<b>7,139</b>	<b>12,366</b>	<b>6,970</b>	<b>6,970</b>	<b>7,834</b>	<b>5,937</b>	<b>9,351</b>
		L10-22	1,752	1,540	2,664	1,542	1,619	1,706	1,379	2,013
		L17-10	1,283	1,129	1,953	1,003	0,808	1,222	0,688	1,476
		L20-10	1,169	1,084	1,944	1,039	1,018	1,176	0,867	1,470



		L21-10	4,118	3,620	6,258	3,628	3,819	4,013	3,253	4,734
		ROANOKE	3,424	2,965	5,028	3,134	3,625	3,348	3,088	3,804
22	10		<b>8,955</b>	<b>7,891</b>	<b>13,668</b>	<b>8,267</b>	<b>8,267</b>	<b>8,732</b>	<b>7,433</b>	<b>9,888</b>
		L22-10	0,633	0,561	0,972	0,530	0,416	0,604	0,374	0,705
		L21-22	1,343	1,190	2,064	1,105	0,828	1,280	0,744	1,494
		L24-22	1,976	1,750	3,039	1,634	1,244	1,884	1,118	2,196
21	22		<b>8,144</b>	<b>7,168</b>	<b>12,414</b>	<b>7,009</b>	<b>7,009</b>	<b>7,869</b>	<b>5,977</b>	<b>9,381</b>
		L21-22	4,199	3,692	6,384	3,705	3,896	4,094	3,322	4,824
		L10-21	4,199	3,692	6,384	3,705	3,896	4,094	3,322	4,824
22	21		<b>8,270</b>	<b>7,280</b>	<b>12,609</b>	<b>7,225</b>	<b>7,225</b>	<b>8,001</b>	<b>6,230</b>	<b>9,444</b>
		L22-21	2,973	2,624	4,551	2,494	2,278	2,847	1,964	3,408
		L10-22	0,863	0,758	1,308	0,796	0,883	0,854	0,761	0,981
		L24-22	2,124	1,879	3,261	1,711	1,409	2,023	1,215	2,442
15	23		<b>6,458</b>	<b>5,574</b>	<b>9,966</b>	<b>5,744</b>	<b>5,744</b>	<b>6,251</b>	<b>4,915</b>	<b>7,437</b>
		L15-23	3,086	2,712	4,578	2,453	1,987	2,902	1,700	3,417
		L12-15	1,844	1,606	2,673	1,441	1,149	1,718	0,983	1,995
		L14-15	0,472	0,411	0,684	0,369	0,294	0,440	0,252	0,510
		L18-15	0,775	0,701	1,227	0,647	0,547	0,749	0,468	0,915
23	15		<b>7,610</b>	<b>6,732</b>	<b>11,661</b>	<b>6,587</b>	<b>6,587</b>	<b>7,402</b>	<b>5,589</b>	<b>8,811</b>
		L23-15	2,046	1,857	3,267	1,832	1,881	2,012	1,596	2,469
		L24-23	1,306	1,126	1,863	0,924	0,592	1,198	0,502	1,407
		DG 23	0,751	0,758	1,437	0,927	1,318	0,871	1,118	1,086
23	24		<b>7,076</b>	<b>6,228</b>	<b>10,788</b>	<b>5,578</b>	<b>5,578</b>	<b>6,759</b>	<b>4,477</b>	<b>8,520</b>
		L23-24	2,086	1,879	3,309	1,749	1,892	2,039	1,518	2,613
		L15-23	1,418	1,222	2,040	0,973	0,750	1,309	0,602	1,611
		DG 23	0,672	0,676	1,284	0,786	1,164	0,760	0,935	1,014
24	23		<b>6,445</b>	<b>5,742</b>	<b>9,945</b>	<b>5,724</b>	<b>5,724</b>	<b>6,235</b>	<b>4,892</b>	<b>7,428</b>
		L24-23	2,454	2,150	3,612	1,894	1,429	2,280	1,221	2,700
		L22-24	1,338	1,180	1,998	1,083	0,917	1,271	0,783	1,491
		L25-24	1,120	0,974	1,623	0,813	0,513	1,017	0,439	1,212
22	24		<b>7,104</b>	<b>6,252</b>	<b>10,830</b>	<b>5,602</b>	<b>5,602</b>	<b>6,788</b>	<b>4,498</b>	<b>8,553</b>
		L22-24	3,264	2,866	4,938	2,554	2,535	3,116	2,035	3,900
		L10-22	0,942	0,827	1,425	0,737	0,731	0,899	0,587	1,125
		L21-22	2,322	2,039	3,513	1,817	1,803	2,217	1,448	2,775
24	22		<b>8,115</b>	<b>7,142</b>	<b>12,372</b>	<b>6,967</b>	<b>6,967</b>	<b>7,840</b>	<b>5,930</b>	<b>9,363</b>
		L24-22	2,292	2,027	3,519	1,843	1,580	2,185	1,345	2,664
		L23-24	0,939	0,866	1,551	0,864	0,912	0,951	0,776	1,173
		L25-24	1,357	1,173	1,980	0,984	0,673	1,248	0,573	1,497
24	25		<b>5,322</b>	<b>4,633</b>	<b>8,025</b>	<b>4,050</b>	<b>4,050</b>	<b>4,989</b>	<b>3,238</b>	<b>6,399</b>
		L24-25	2,628	2,301	4,005	1,883	1,628	2,434	1,302	3,195
		L22-24	1,605	1,394	2,400	1,122	0,934	1,475	0,747	1,914
		L23-24	1,024	0,912	1,608	0,762	0,696	0,961	0,557	1,281
25	24		<b>7,061</b>	<b>6,213</b>	<b>10,761</b>	<b>5,553</b>	<b>5,553</b>	<b>6,742</b>	<b>4,453</b>	<b>8,508</b>
		L25-24	1,798	1,560	2,655	1,337	1,227	1,680	0,984	2,100
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L27-25	1,798	1,560	2,655	1,337	1,227	1,680	0,984	2,100
25	26		<b>2,386</b>	<b>2,071</b>	<b>3,588</b>	<b>1,577</b>	<b>1,577</b>	<b>2,176</b>	<b>1,173</b>	<b>3,000</b>
		L25-26	2,386	2,071	3,588	1,577	1,577	2,176	1,173	3,000
		L24-25	1,172	1,023	1,782	0,729	0,628	1,062	0,467	1,491
		L27-25	1,223	1,057	1,821	0,854	0,952	1,131	0,709	1,521

26	25		<b>5,258</b>	<b>4,577</b>	<b>7,929</b>	<b>3,993</b>	<b>3,993</b>	<b>4,927</b>	<b>3,190</b>	<b>6,327</b>
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	27		<b>5,900</b>	<b>5,123</b>	<b>8,874</b>	<b>5,439</b>	<b>5,439</b>	<b>5,772</b>	<b>5,019</b>	<b>6,360</b>
		L25-27	1,986	1,735	3,021	1,528	0,905	1,826	0,835	2,163
		L24-25	1,986	1,735	3,021	1,528	0,905	1,826	0,835	2,163
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	25		<b>5,322</b>	<b>4,633</b>	<b>8,025</b>	<b>4,060</b>	<b>4,060</b>	<b>4,991</b>	<b>3,252</b>	<b>6,393</b>
		L27-25	2,738	2,371	4,086	2,206	2,462	2,619	1,972	3,255
		L29-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L30-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		CLOVERDALE	2,738	2,371	4,086	2,206	2,462	2,619	1,972	3,255
27	29		<b>2,941</b>	<b>2,551</b>	<b>4,419</b>	<b>2,136</b>	<b>2,136</b>	<b>2,712</b>	<b>1,673</b>	<b>3,582</b>
		L27-29	2,120	1,838	3,183	1,539	1,539	1,954	1,206	2,580
		L25-27	0,986	0,860	1,497	0,596	0,351	0,893	0,275	1,212
		L30-27	0,822	0,713	1,233	0,597	0,597	0,757	0,467	0,999
		CLOVERDALE	1,990	1,722	2,973	1,562	1,805	1,887	1,414	2,409
29	27		<b>5,831</b>	<b>5,063</b>	<b>8,769</b>	<b>5,355</b>	<b>5,355</b>	<b>5,692</b>	<b>4,926</b>	<b>6,303</b>
		L29-27	0,016	0,014	0,024	0,015	0,015	0,016	0,014	0,018
		L30-29	0,016	0,014	0,024	0,015	0,015	0,016	0,014	0,018
27	30		<b>2,673</b>	<b>2,318</b>	<b>4,014</b>	<b>1,904</b>	<b>1,904</b>	<b>2,456</b>	<b>1,475</b>	<b>3,276</b>
		L27-30	1,589	1,377	2,385	1,131	1,131	1,460	0,877	1,947
		L25-27	0,896	0,781	1,359	0,532	0,313	0,810	0,242	1,110
		L29-27	1,085	0,940	1,629	0,772	0,773	0,997	0,599	1,329
		CLOVERDALE	1,809	1,564	2,700	1,393	1,609	1,707	1,247	2,205
30	27		<b>5,796</b>	<b>5,032</b>	<b>8,715</b>	<b>5,305</b>	<b>5,305</b>	<b>5,647</b>	<b>4,867</b>	<b>6,279</b>
		L30-27	0,024	0,021	0,036	0,022	0,022	0,023	0,020	0,027
		L29-30	0,024	0,021	0,036	0,022	0,022	0,023	0,020	0,027
29	30		<b>2,665</b>	<b>2,311</b>	<b>4,002</b>	<b>1,897</b>	<b>1,897</b>	<b>2,449</b>	<b>1,470</b>	<b>3,267</b>
		L29-30	1,565	0,954	1,653	0,783	0,783	1,011	0,607	1,350
		L27-29	1,565	0,954	1,653	0,783	0,783	1,011	0,607	1,350
30	29		<b>2,922</b>	<b>2,534</b>	<b>4,389</b>	<b>2,119</b>	<b>2,119</b>	<b>2,694</b>	<b>1,659</b>	<b>3,561</b>
		L30-29	2,089	0,723	1,251	0,604	0,604	0,768	0,473	1,014
		L27-30	2,089	0,723	1,251	0,604	0,604	0,768	0,473	1,014

ΠΒ 19: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών - Close-in βραχυκυκλώματα (1%) -  
RF=1Ω/20Ω

Κλάδοι		Συνεισφορές	R <sub>F</sub> = 1Ω			R <sub>F</sub> = 20Ω				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		I <sub>ph</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)
12	14		<b>7,249</b>	<b>6,897</b>	<b>11,946</b>	<b>1,013</b>	<b>1,013</b>	<b>1,024</b>	<b>1,007</b>	<b>1,023</b>
		L12-14	6,768	6,430	11,118	0,949	0,959	0,959	0,954	0,951
		L15-12	1,800	1,760	3,102	0,238	0,200	0,248	0,199	0,264
		L16-12	1,519	1,446	2,505	0,190	0,146	0,204	0,145	0,213
		HANCOCK	3,466	3,251	5,532	0,524	0,617	0,513	0,614	0,474
14	12		<b>4,839</b>	<b>4,503</b>	<b>7,800</b>	<b>0,931</b>	<b>0,931</b>	<b>0,982</b>	<b>0,895</b>	<b>1,008</b>
		L14-12	2,294	2,143	3,723	0,441	0,436	0,465	0,419	0,480
		L15-14	2,294	2,143	3,723	0,441	0,436	0,465	0,419	0,480
12	15		<b>7,297</b>	<b>6,947</b>	<b>12,033</b>	<b>1,014</b>	<b>1,014</b>	<b>1,026</b>	<b>1,008</b>	<b>1,023</b>
		L12-15	5,444	5,148	8,838	0,770	0,808	0,774	0,804	0,750
		L14-12	0,458	0,448	0,789	0,060	0,050	0,063	0,050	0,066
		L16-12	1,526	1,454	2,517	0,190	0,146	0,204	0,145	0,213
		HANCOCK	3,486	3,272	5,568	0,523	0,617	0,513	0,614	0,474
15	12		<b>6,687</b>	<b>6,382</b>	<b>11,052</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,982</b>	<b>1,023</b>
		L15-12	3,888	3,764	6,576	0,586	0,587	0,597	0,578	0,609
		L14-15	0,702	0,660	1,119	0,103	0,102	0,106	0,101	0,105
		L18-15	1,414	1,372	2,406	0,211	0,206	0,215	0,203	0,222
		L23-15	1,775	1,738	3,057	0,273	0,279	0,277	0,275	0,282
12	16		<b>7,282</b>	<b>6,931</b>	<b>12,006</b>	<b>1,013</b>	<b>1,013</b>	<b>1,026</b>	<b>1,008</b>	<b>1,023</b>
		L12-16	5,734	5,457	9,450	0,820	0,864	0,821	0,860	0,804
		L14-12	0,467	0,456	0,804	0,062	0,052	0,064	0,051	0,069
		L15-12	1,822	1,782	3,141	0,240	0,202	0,250	0,201	0,267
		HANCOCK	3,477	3,263	5,553	0,523	0,617	0,513	0,614	0,474
16	12		<b>5,797</b>	<b>5,401</b>	<b>9,354</b>	<b>0,977</b>	<b>0,977</b>	<b>1,019</b>	<b>0,953</b>	<b>1,023</b>
		L16-12	2,735	2,549	4,416	0,455	0,443	0,479	0,433	0,483
		L17-16	2,735	2,549	4,416	0,455	0,443	0,479	0,433	0,483
14	15		<b>4,836</b>	<b>4,501</b>	<b>7,797</b>	<b>0,931</b>	<b>0,931</b>	<b>0,982</b>	<b>0,894</b>	<b>1,008</b>
		L14-15	2,571	2,385	4,116	0,495	0,500	0,522	0,480	0,531
		L12-14	2,571	2,385	4,116	0,495	0,500	0,522	0,480	0,531
15	14		<b>6,642</b>	<b>6,337</b>	<b>10,977</b>	<b>0,995</b>	<b>0,995</b>	<b>1,018</b>	<b>0,980</b>	<b>1,020</b>
		L15-14	5,910	5,652	9,810	0,887	0,888	0,907	0,874	0,912
		L12-15	2,744	2,581	4,380	0,403	0,402	0,415	0,396	0,408
		L18-15	1,407	1,365	2,394	0,211	0,206	0,215	0,203	0,222
		L23-15	1,765	1,728	3,042	0,273	0,280	0,277	0,275	0,282
15	18		<b>6,661</b>	<b>6,354</b>	<b>11,007</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,981</b>	<b>1,023</b>
		L15-18	5,230	4,972	8,571	0,781	0,785	0,800	0,774	0,795
		L12-15	2,766	2,601	4,413	0,405	0,404	0,417	0,398	0,411
		L14-15	0,708	0,666	1,131	0,104	0,103	0,107	0,102	0,096
		L23-15	1,766	1,729	3,042	0,273	0,279	0,277	0,275	0,282
18	15		<b>5,317</b>	<b>4,995</b>	<b>8,652</b>	<b>0,968</b>	<b>0,968</b>	<b>1,005</b>	<b>0,944</b>	<b>1,011</b>
		L18-15	2,538	2,419	4,230	0,489	0,532	0,497	0,519	0,495
		L19-18	2,538	2,419	4,230	0,489	0,532	0,497	0,519	0,495

18	19		<b>5,314</b>	<b>4,994</b>	<b>8,649</b>	<b>0,968</b>	<b>0,968</b>	<b>1,005</b>	<b>0,944</b>	<b>1,011</b>
		L18-19	2,756	2,568	4,386	0,475	0,432	0,504	0,421	0,513
		L15-18	2,756	2,568	4,386	0,475	0,432	0,504	0,421	0,513
19	18		<b>5,575</b>	<b>5,282</b>	<b>9,150</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,010</b>	<b>0,980</b>	<b>1,002</b>
		L19-18	3,553	3,395	5,964	0,675	0,748	0,671	0,741	0,654
		L20-19	2,692	2,505	4,203	0,420	0,329	0,452	0,326	0,462
		DG 19	0,876	0,951	1,809	0,261	0,431	0,222	0,426	0,198
19	20		<b>5,581</b>	<b>5,288</b>	<b>9,159</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,010</b>	<b>0,980</b>	<b>1,002</b>
		L19-20	2,876	2,803	4,941	0,569	0,663	0,558	0,657	0,540
		L18-19	2,016	1,884	3,180	0,315	0,244	0,340	0,241	0,348
		DG 19	0,877	0,958	1,812	0,261	0,431	0,222	0,427	0,198
20	19		<b>5,648</b>	<b>5,332</b>	<b>9,237</b>	<b>0,983</b>	<b>0,983</b>	<b>1,011</b>	<b>0,967</b>	<b>1,011</b>
		L20-19	3,225	3,002	5,079	0,516	0,448	0,550	0,441	0,555
		L10-20	3,225	3,002	5,079	0,516	0,448	0,550	0,441	0,555
16	17		<b>5,794</b>	<b>5,397</b>	<b>9,348</b>	<b>0,977</b>	<b>0,977</b>	<b>1,019</b>	<b>0,953</b>	<b>1,023</b>
		L16-17	3,035	2,827	4,896	0,517	0,528	0,536	0,516	0,537
		L12-16	3,035	2,827	4,896	0,517	0,528	0,536	0,516	0,537
17	16		<b>6,501</b>	<b>6,125</b>	<b>10,608</b>	<b>0,993</b>	<b>0,993</b>	<b>1,024</b>	<b>0,978</b>	<b>1,023</b>
		L17-16	4,621	4,355	7,542	0,715	0,733	0,735	0,721	0,729
		L10-17	4,621	4,355	7,542	0,715	0,733	0,735	0,721	0,729
10	17		<b>7,755</b>	<b>7,461</b>	<b>12,921</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L10-17	6,368	6,128	10,614	0,851	0,883	0,855	0,879	0,840
		L20-10	1,261	1,272	2,277	0,170	0,165	0,169	0,164	0,180
		L21-10	1,212	1,172	2,034	0,142	0,108	0,153	0,108	0,159
		L22-10	0,492	0,475	0,825	0,058	0,044	0,062	0,044	0,066
		ROANOKE	3,439	3,258	5,532	0,486	0,573	0,477	0,570	0,438
17	10		<b>6,528</b>	<b>6,153</b>	<b>10,656</b>	<b>0,994</b>	<b>0,994</b>	<b>1,024</b>	<b>0,978</b>	<b>1,023</b>
		L17-10	1,866	1,758	3,042	0,275	0,256	0,286	0,252	0,291
		L16-17	1,866	1,758	3,042	0,275	0,256	0,286	0,252	0,291
10	20		<b>7,725</b>	<b>7,430</b>	<b>12,870</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L10-20	6,447	6,157	10,563	0,843	0,847	0,858	0,843	0,840
		L17-10	1,366	1,314	2,271	0,163	0,131	0,174	0,131	0,180
		L21-10	1,204	1,164	2,022	0,142	0,108	0,152	0,107	0,162
		L22-10	0,489	0,472	0,819	0,058	0,044	0,062	0,043	0,066
		ROANOKE	3,423	3,241	5,502	0,485	0,571	0,477	0,568	0,438
20	10		<b>5,656</b>	<b>5,339</b>	<b>9,246</b>	<b>0,983</b>	<b>0,983</b>	<b>1,011</b>	<b>0,967</b>	<b>1,011</b>
		L20-10	2,407	2,341	4,131	0,463	0,531	0,458	0,523	0,453
		L19-20	2,407	2,341	4,131	0,463	0,531	0,458	0,523	0,453
10	21		<b>7,764</b>	<b>7,471</b>	<b>12,939</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L10-21	6,551	6,300	10,902	0,874	0,909	0,875	0,905	0,864
		L17-10	1,380	1,327	2,295	0,164	0,132	0,175	0,132	0,183
		L20-10	1,264	1,276	2,283	0,170	0,165	0,170	0,164	0,180
		L22-10	0,480	0,465	0,807	0,056	0,042	0,060	0,042	0,060
		ROANOKE	3,445	3,264	5,541	0,487	0,574	0,478	0,571	0,438
21	10		<b>7,188</b>	<b>6,867</b>	<b>11,895</b>	<b>1,004</b>	<b>1,004</b>	<b>1,024</b>	<b>0,994</b>	<b>1,023</b>
		L21-10	2,560	2,452	4,254	0,343	0,313	0,357	0,310	0,366
		L22-21	2,560	2,452	4,254	0,343	0,313	0,357	0,310	0,366
10	22		<b>7,728</b>	<b>7,432</b>	<b>12,873</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L10-22	7,188	6,912	11,967	0,952	0,966	0,959	0,961	0,951
		L17-10	1,373	1,318	2,283	0,164	0,132	0,175	0,131	0,183

		L20-10	1,258	1,269	2,268	0,170	0,165	0,169	0,164	0,180
		L21-10	1,159	1,120	1,944	0,136	0,102	0,146	0,101	0,156
		ROANOKE	3,428	3,246	5,511	0,486	0,573	0,478	0,570	0,438
22	10		<b>7,048</b>	<b>6,727</b>	<b>11,652</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,023</b>	<b>0,988</b>	<b>1,023</b>
		L22-10	5,528	5,278	9,144	0,779	0,768	0,799	0,759	0,804
		L21-22	3,528	3,411	5,898	0,521	0,548	0,525	0,541	0,519
		L24-22	1,968	1,888	3,276	0,261	0,223	0,275	0,220	0,288
21	22		<b>7,183</b>	<b>6,862</b>	<b>11,886</b>	<b>1,004</b>	<b>1,004</b>	<b>1,024</b>	<b>0,994</b>	<b>1,023</b>
		L21-22	4,612	4,402	7,614	0,659	0,689	0,664	0,682	0,657
		L10-21	4,612	4,402	7,614	0,659	0,689	0,664	0,682	0,657
22	21		<b>7,073</b>	<b>6,753</b>	<b>11,697</b>	<b>1,001</b>	<b>1,001</b>	<b>1,023</b>	<b>0,989</b>	<b>1,023</b>
		L22-21	3,435	3,286	5,697	0,473	0,446	0,490	0,440	0,498
		L10-22	1,469	1,400	2,421	0,213	0,224	0,215	0,221	0,213
		L24-22	1,978	1,898	3,294	0,262	0,223	0,276	0,221	0,288
15	23		<b>6,669</b>	<b>6,363</b>	<b>11,022</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,981</b>	<b>1,023</b>
		L15-23	4,877	4,625	7,935	0,719	0,711	0,738	0,701	0,735
		L12-15	2,769	2,605	4,419	0,405	0,404	0,417	0,398	0,831
		L14-15	0,709	0,667	1,131	0,104	0,103	0,107	0,102	0,105
		L18-15	1,409	1,367	2,397	0,211	0,206	0,215	0,203	0,222
23	15		<b>5,751</b>	<b>5,468</b>	<b>9,471</b>	<b>0,989</b>	<b>0,989</b>	<b>1,010</b>	<b>0,978</b>	<b>1,005</b>
		L23-15	3,003	2,922	5,127	0,568	0,652	0,564	0,645	0,543
		L24-23	2,158	2,018	3,390	0,322	0,241	0,350	0,239	0,360
		DG 23	0,867	0,946	1,800	0,254	0,424	0,217	0,420	0,192
23	24		<b>5,740</b>	<b>5,457</b>	<b>9,453</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,010</b>	<b>0,977</b>	<b>1,005</b>
		L23-24	3,562	3,446	6,036	0,664	0,747	0,657	0,739	0,642
		L15-23	2,712	2,543	4,290	0,417	0,336	0,447	0,332	0,456
		DG 23	0,865	0,944	1,797	0,254	0,424	0,217	0,420	0,192
24	23		<b>6,180</b>	<b>5,863</b>	<b>10,155</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,011</b>	<b>0,948</b>	<b>1,023</b>
		L24-23	4,360	4,109	7,047	0,669	0,644	0,702	0,628	0,708
		L22-24	2,808	2,657	4,578	0,438	0,434	0,455	0,423	0,462
		L25-24	1,553	1,453	2,469	0,230	0,210	0,247	0,205	0,249
22	24		<b>7,049</b>	<b>6,728</b>	<b>11,655</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,022</b>	<b>0,988</b>	<b>1,023</b>
		L22-24	5,077	4,837	8,370	0,738	0,776	0,745	0,766	0,735
		L10-22	1,465	1,397	2,415	0,213	0,224	0,215	0,221	0,213
		L21-22	3,612	4,841	8,370	0,525	0,552	0,530	0,545	0,522
24	22		<b>6,201</b>	<b>5,884</b>	<b>10,191</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,011</b>	<b>0,948</b>	<b>1,023</b>
		L24-22	3,352	3,195	5,547	0,530	0,533	0,550	0,520	0,555
		L23-24	1,796	1,745	3,072	0,300	0,324	0,303	0,316	0,309
		L25-24	1,558	1,457	2,478	0,230	0,210	0,247	0,205	0,249
24	25		<b>6,167</b>	<b>5,848</b>	<b>10,131</b>	<b>0,972</b>	<b>0,972</b>	<b>1,010</b>	<b>0,947</b>	<b>1,023</b>
		L24-25	4,597	4,386	7,632	0,738	0,758	0,760	0,738	0,771
		L22-24	2,808	2,658	4,575	0,439	0,435	0,456	0,423	0,462
		L23-24	1,791	1,739	3,063	0,300	0,324	0,304	0,316	0,309
25	24		<b>4,815</b>	<b>4,427</b>	<b>7,668</b>	<b>0,939</b>	<b>0,939</b>	<b>0,992</b>	<b>0,906</b>	<b>1,008</b>
		L25-24	2,457	2,247	3,870	0,506	0,564	0,515	0,544	0,510
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L27-25	2,457	2,247	3,870	0,506	0,564	0,515	0,544	0,510
25	26		<b>4,762</b>	<b>4,375</b>	<b>7,578</b>	<b>0,937</b>	<b>0,937</b>	<b>0,990</b>	<b>0,903</b>	<b>1,008</b>
		L25-26	4,762	4,375	7,578	0,937	0,937	0,990	0,903	1,008
		L24-25	2,339	2,162	3,762	0,433	0,373	0,474	0,360	0,501

		L27-25	2,442	2,232	3,846	0,507	0,566	0,517	0,546	0,513
26	25		<b>2,259</b>	<b>2,017</b>	<b>3,492</b>	<b>0,727</b>	<b>0,727</b>	<b>0,840</b>	<b>0,641</b>	<b>0,933</b>
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	27		<b>4,817</b>	<b>4,428</b>	<b>7,668</b>	<b>0,940</b>	<b>0,940</b>	<b>0,992</b>	<b>0,907</b>	<b>1,008</b>
		L25-27	2,359	2,181	3,795	0,433	0,372	0,473	0,359	0,498
		L24-25	2,359	2,181	3,795	0,433	0,372	0,473	0,359	0,498
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	25		<b>5,395</b>	<b>4,933</b>	<b>8,544</b>	<b>0,994</b>	<b>0,994</b>	<b>1,008</b>	<b>0,991</b>	<b>0,999</b>
		L27-25	3,641	3,320	5,736	0,725	0,838	0,702	0,836	0,672
		L29-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L30-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		CLOVERDALE	3,641	3,320	5,736	0,725	0,838	0,702	0,836	0,672
27	29		<b>5,337</b>	<b>4,877</b>	<b>8,448</b>	<b>0,993</b>	<b>0,993</b>	<b>1,008</b>	<b>0,989</b>	<b>0,999</b>
		L27-29	5,332	4,863	8,424	0,990	0,990	1,005	0,987	0,996
		L25-27	1,789	1,644	2,862	0,277	0,163	0,312	0,162	0,339
		L30-27	0,015	0,014	0,024	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
		CLOVERDALE	3,611	3,292	5,685	0,726	0,839	0,702	0,836	0,672
29	27		<b>2,785</b>	<b>2,486</b>	<b>4,305</b>	<b>0,829</b>	<b>0,829</b>	<b>0,915</b>	<b>0,768</b>	<b>0,966</b>
		L29-27	0,778	0,694	1,203	0,232	0,232	0,256	0,215	0,270
		L30-29	0,778	0,694	1,203	0,232	0,232	0,256	0,215	0,270
27	30		<b>5,306</b>	<b>4,847</b>	<b>8,397</b>	<b>0,992</b>	<b>0,992</b>	<b>1,007</b>	<b>0,988</b>	<b>0,999</b>
		L27-30	5,284	4,828	8,361	0,988	0,988	1,003	0,984	0,996
		L25-27	1,778	1,634	2,844	0,277	0,163	0,311	0,162	0,339
		L29-27	0,022	0,020	0,033	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
		CLOVERDALE	3,590	3,272	5,649	0,725	0,838	0,701	0,835	0,672
30	27		<b>2,541</b>	<b>2,263</b>	<b>3,918</b>	<b>0,800</b>	<b>0,800</b>	<b>0,894</b>	<b>0,731</b>	<b>0,954</b>
		L30-27	1,031	0,918	1,590	0,325	0,325	0,363	0,297	0,387
		L29-30	1,031	0,918	1,590	0,325	0,325	0,363	0,297	0,387
29	30		<b>2,768</b>	<b>2,470</b>	<b>4,278</b>	<b>0,827</b>	<b>0,827</b>	<b>0,914</b>	<b>0,766</b>	<b>0,963</b>
		L29-30	1,978	1,765	3,057	0,591	0,591	0,653	0,547	0,690
		L27-29	1,978	1,765	3,057	0,591	0,591	0,653	0,547	0,690
30	29		<b>2,534</b>	<b>2,256</b>	<b>3,906</b>	<b>0,799</b>	<b>0,799</b>	<b>0,893</b>	<b>0,730</b>	<b>0,954</b>
		L30-29	1,488	1,324	2,295	0,469	0,469	0,524	0,429	0,561
		L27-30	1,488	1,324	2,295	0,469	0,469	0,524	0,429	0,561

ΠΒ 20: Δίκτυο IEEE 30 ζυγών – Far-end βραχυκυκλώματα (99%) -  
RF=1Ω/20Ω

Κλάδοι		Συνεισφορές	R <sub>F</sub> = 1Ω			R <sub>F</sub> = 20Ω				
			3LG	LL		LG		LLG		
Από ζυγό	Έως ζυγό		I <sub>ph</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	I <sub>ph</sub> (kA)	3I <sub>0</sub> (kA)	3I <sub>2</sub> (kA)
12	14		<b>4,839</b>	<b>4,503</b>	<b>7,800</b>	<b>0,931</b>	<b>0,931</b>	<b>0,982</b>	<b>0,895</b>	<b>1,008</b>
		L12-14	2,612	2,423	4,182	0,503	0,508	0,530	0,488	0,540
		L15-12	0,403	0,369	0,585	0,080	0,094	0,089	0,090	0,075
		L16-12	0,801	0,746	1,293	0,138	0,106	0,153	0,101	0,168
		HANCOCK	2,133	1,952	3,309	0,430	0,485	0,445	0,466	0,426
14	12		<b>7,249</b>	<b>6,897</b>	<b>11,946</b>	<b>1,013</b>	<b>1,013</b>	<b>1,024</b>	<b>1,007</b>	<b>1,023</b>
		L14-12	0,497	0,485	0,855	0,066	0,056	0,068	0,056	0,072
		L15-14	0,497	0,485	0,855	0,066	0,056	0,068	0,056	0,072
12	15		<b>6,687</b>	<b>6,382</b>	<b>11,052</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,982</b>	<b>1,023</b>
		L12-15	2,808	2,642	4,485	0,411	0,410	0,422	0,404	0,414
		L14-12	0,702	0,660	1,119	0,103	0,103	0,106	0,101	0,105
		L16-12	0,798	0,762	1,320	0,106	0,080	0,114	0,079	0,123
		HANCOCK	2,706	2,535	4,275	0,407	0,431	0,413	0,425	0,396
15	12		<b>7,297</b>	<b>6,947</b>	<b>12,033</b>	<b>1,014</b>	<b>1,014</b>	<b>1,026</b>	<b>1,008</b>	<b>1,023</b>
		L15-12	1860	1,819	3,204	0,245	0,207	0,255	0,206	0,273
		L14-15	0,458	0,448	0,789	0,060	0,050	0,063	0,050	0,066
		L18-15	0,978	0,952	1,677	0,128	0,106	0,134	0,106	0,141
		L23-15	1,335	1,309	2,307	0,177	0,150	0,182	0,150	0,195
12	16		<b>5,797</b>	<b>5,401</b>	<b>9,354</b>	<b>0,977</b>	<b>0,977</b>	<b>1,019</b>	<b>0,953</b>	<b>1,023</b>
		L12-16	3,066	2,856	4,947	0,522	0,534	0,541	0,521	0,540
		L14-12	0,172	0,170	0,303	0,029	0,026	0,030	0,026	0,033
		L15-12	0,670	0,662	1,185	0,113	0,102	0,117	0,100	0,129
		HANCOCK	2,242	2,054	3,477	0,383	0,409	0,396	0,399	0,381
16	12		<b>7,282</b>	<b>6,931</b>	<b>12,006</b>	<b>1,013</b>	<b>1,013</b>	<b>1,026</b>	<b>1,008</b>	<b>1,023</b>
		L16-12	1,549	1,475	2,556	0,193	0,150	0,207	0,149	0,216
		L17-16	1,549	1,475	2,556	0,193	0,150	0,207	0,149	0,216
14	15		<b>6,642</b>	<b>6,337</b>	<b>10,977</b>	<b>0,995</b>	<b>0,995</b>	<b>1,018</b>	<b>0,980</b>	<b>1,020</b>
		L14-15	0,736	0,692	1,176	0,108	0,108	0,111	0,106	0,108
		L12-14	0,736	0,692	1,176	0,108	0,108	0,111	0,106	0,108
15	14		<b>4,836</b>	<b>4,501</b>	<b>7,797</b>	<b>0,931</b>	<b>0,931</b>	<b>0,982</b>	<b>0,894</b>	<b>1,008</b>
		L15-14	2,332	2,179	3,786	0,448	0,444	0,473	0,426	0,489
		L12-15	0,431	0,393	0,624	0,085	0,099	0,094	0,095	0,081
		L18-15	0,840	0,796	1,398	0,158	0,146	0,167	0,141	0,180
		L23-15	1,089	1,042	1,836	0,210	0,201	0,221	0,193	0,237
15	18		<b>5,317</b>	<b>4,995</b>	<b>8,652</b>	<b>0,968</b>	<b>0,968</b>	<b>1,005</b>	<b>0,944</b>	<b>1,011</b>
		L15-18	2,780	2,590	4,425	0,479	0,437	0,508	0,426	0,516
		L12-15	1,512	1,390	2,328	0,254	0,226	0,272	0,220	0,273
		L14-15	0,387	0,356	0,597	0,065	0,058	0,070	0,056	0,069
		L23-15	0,886	0,856	1,512	0,161	0,154	0,167	0,150	0,177
18	15		<b>6,661</b>	<b>6,354</b>	<b>11,007</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,981</b>	<b>1,023</b>
		L18-15	1,431	1,388	2,433	0,215	0,210	0,219	0,207	0,225
		L19-18	1,431	1,388	2,433	0,215	0,210	0,219	0,207	0,225

18	19		<b>5,575</b>	<b>5,282</b>	<b>9,150</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,010</b>	<b>0,980</b>	<b>1,002</b>
		L18-19	2,027	1,892	3,198	0,317	0,246	0,342	0,244	0,351
		L15-18	2,027	1,892	3,198	0,317	0,246	0,342	0,244	0,351
19	18		<b>5,314</b>	<b>4,994</b>	<b>8,649</b>	<b>0,968</b>	<b>0,968</b>	<b>1,005</b>	<b>0,944</b>	<b>1,011</b>
		L19-18	2,560	2,440	4,266	0,494	0,538	0,501	0,525	0,498
		L20-19	1,870	1,720	2,871	0,296	0,226	0,326	0,221	0,336
		DG 19	0,698	0,751	1,425	0,202	0,318	0,176	0,311	0,168
19	20		<b>5,648</b>	<b>5,332</b>	<b>9,237</b>	<b>0,983</b>	<b>0,983</b>	<b>1,011</b>	<b>0,967</b>	<b>1,011</b>
		L19-20	2,424	2,358	4,161	0,467	0,536	0,462	0,528	0,456
		L18-19	1,651	1,536	2,586	0,251	0,191	0,273	0,188	0,282
		DG 19	0,786	0,850	1,617	0,221	0,354	0,190	0,348	0,177
20	19		<b>5,581</b>	<b>5,288</b>	<b>9,159</b>	<b>0,990</b>	<b>0,990</b>	<b>1,010</b>	<b>0,980</b>	<b>1,002</b>
		L20-19	2,707	2,486	4,227	0,422	0,331	0,455	0,328	0,462
		L10-20	2,707	2,486	4,227	0,422	0,331	0,455	0,328	0,462
16	17		<b>6,501</b>	<b>6,125</b>	<b>10,608</b>	<b>0,993</b>	<b>0,993</b>	<b>1,024</b>	<b>0,978</b>	<b>1,023</b>
		L16-17	1,881	1,771	3,066	0,278	0,260	0,290	0,256	0,297
		L12-16	1,881	1,771	3,066	0,278	0,260	0,290	0,256	0,297
17	16		<b>5,794</b>	<b>5,397</b>	<b>9,348</b>	<b>0,977</b>	<b>0,977</b>	<b>1,019</b>	<b>0,953</b>	<b>1,023</b>
		L17-16	2,762	2,574	4,458	0,460	0,449	0,484	0,438	0,489
		L10-17	2,762	2,574	4,458	0,460	0,449	0,484	0,438	0,489
10	17		<b>6,528</b>	<b>6,153</b>	<b>10,656</b>	<b>0,994</b>	<b>0,994</b>	<b>1,024</b>	<b>0,978</b>	<b>1,023</b>
		L10-17	4,662	4,396	7,614	0,719	0,738	0,738	0,726	0,732
		L20-10	0,808	0,809	1,461	0,130	0,131	0,128	0,129	0,141
		L21-10	0,849	0,806	1,401	0,116	0,087	0,125	0,086	0,135
		L22-10	0,345	0,327	0,567	0,047	0,035	0,051	0,035	0,054
		ROANOKE	2,685	2,490	4,221	0,431	0,489	0,435	0,482	0,405
17	10		<b>7,755</b>	<b>7,461</b>	<b>12,921</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L17-10	1,388	1,335	2,307	0,166	0,134	0,176	0,133	0,183
		L16-17	1,388	1,335	2,307	0,166	0,134	0,176	0,133	0,183
10	20		<b>5,656</b>	<b>5,339</b>	<b>9,246</b>	<b>0,983</b>	<b>0,983</b>	<b>1,011</b>	<b>0,967</b>	<b>1,011</b>
		L10-20	3,249	3,025	5,118	0,520	0,453	0,554	0,445	0,558
		L17-10	0,444	0,418	0,717	0,068	0,051	0,074	0,050	0,078
		L21-10	0,523	0,495	0,858	0,077	0,050	0,086	0,049	0,093
		L22-10	0,212	0,201	0,348	0,031	0,020	0,035	0,020	0,039
		ROANOKE	2,086	1,925	3,219	0,346	0,334	0,361	0,328	0,351
20	10		<b>7,725</b>	<b>7,430</b>	<b>12,870</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L20-10	1,279	1,290	2,307	0,173	0,169	0,172	0,168	0,183
		L19-20	1,279	1,290	2,307	0,173	0,169	0,172	0,168	0,183
10	21		<b>7,188</b>	<b>6,867</b>	<b>11,895</b>	<b>1,004</b>	<b>1,004</b>	<b>1,024</b>	<b>0,994</b>	<b>1,023</b>
		L10-21	4,639	4,428	7,659	0,663	0,693	0,668	0,686	0,660
		L17-10	1,192	1,138	1,968	0,152	0,122	0,161	0,121	0,168
		L20-10	1,088	1,094	1,959	0,157	0,153	0,156	0,152	0,168
		L22-10	0,731	0,697	1,203	0,108	0,120	0,107	0,119	0,102
		ROANOKE	3,095	2,910	4,938	0,463	0,540	0,460	0,534	0,426
21	10		<b>7,764</b>	<b>7,471</b>	<b>12,939</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L21-10	1,231	1,190	2,067	0,145	0,110	0,155	0,110	0,165
		L22-21	1,231	1,190	2,067	0,145	0,110	0,155	0,110	0,165
10	22		<b>7,048</b>	<b>6,727</b>	<b>11,652</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,023</b>	<b>0,988</b>	<b>1,023</b>
		L10-22	1,522	1,451	2,508	0,221	0,232	0,223	0,229	0,219
		L17-10	1,115	1,063	1,839	0,144	0,116	0,153	0,115	0,162



		L20-10	1,015	1,021	1,833	0,149	0,146	0,148	0,144	0,162
		L21-10	3,578	3,411	5,898	0,521	0,548	0,525	0,541	0,519
		ROANOKE	2,975	2,794	4,737	0,450	0,520	0,449	0,514	0,417
22	10		<b>7,728</b>	<b>7,432</b>	<b>12,873</b>	<b>1,016</b>	<b>1,016</b>	<b>1,027</b>	<b>1,011</b>	<b>1,023</b>
		L22-10	0,546	0,528	0,915	0,065	0,051	0,069	0,051	0,072
		L21-22	1,159	1,120	1,944	0,136	0,102	0,146	0,101	0,156
		L24-22	1,705	1,648	2,862	0,201	0,153	0,215	0,152	0,228
21	22		<b>7,073</b>	<b>6,753</b>	<b>11,697</b>	<b>1,001</b>	<b>1,001</b>	<b>1,023</b>	<b>0,989</b>	<b>1,023</b>
		L21-22	3,647	3,478	6,012	0,529	0,556	0,533	0,549	0,525
		L10-21	3,647	3,478	6,012	0,529	0,556	0,533	0,549	0,525
22	21		<b>7,183</b>	<b>6,862</b>	<b>11,886</b>	<b>1,004</b>	<b>1,004</b>	<b>1,024</b>	<b>0,994</b>	<b>1,023</b>
		L22-21	2,582	2,473	4,290	0,347	0,317	0,360	0,313	0,369
		L10-22	0,750	0,715	1,233	0,111	0,123	0,109	0,121	0,105
		L24-22	1,845	1,771	3,075	0,238	0,196	0,251	0,194	0,264
15	23		<b>5,751</b>	<b>5,468</b>	<b>9,471</b>	<b>0,989</b>	<b>0,989</b>	<b>1,010</b>	<b>0,978</b>	<b>1,005</b>
		L15-23	2,748	2,578	4,350	0,422	0,342	0,453	0,338	0,462
		L12-15	1,642	1,526	2,541	0,248	0,198	0,268	0,196	0,270
		L14-15	0,421	0,391	0,651	0,064	0,051	0,069	0,050	0,069
		L18-15	0,690	0,666	1,167	0,111	0,094	0,117	0,093	0,123
23	15		<b>6,669</b>	<b>6,363</b>	<b>11,022</b>	<b>0,996</b>	<b>0,996</b>	<b>1,019</b>	<b>0,981</b>	<b>1,023</b>
		L23-15	1,792	1,755	3,087	0,277	0,284	0,281	0,280	0,285
		L24-23	1,145	1,064	1,761	0,140	0,089	0,158	0,088	0,162
		DG 23	0,658	0,716	1,359	0,140	0,199	0,123	0,196	0,126
23	24		<b>6,180</b>	<b>5,863</b>	<b>10,155</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,011</b>	<b>0,948</b>	<b>1,023</b>
		L23-24	1,822	1,769	3,114	0,305	0,330	0,309	0,321	0,312
		L15-23	1,239	1,150	1,920	0,170	0,131	0,186	0,127	0,192
		DG 23	0,587	0,636	1,209	0,137	0,203	0,123	0,198	0,123
24	23		<b>5,740</b>	<b>5,457</b>	<b>9,453</b>	<b>0,988</b>	<b>0,988</b>	<b>1,010</b>	<b>0,977</b>	<b>1,005</b>
		L24-23	2,185	2,043	3,435	0,327	0,247	0,353	0,244	0,366
		L22-24	1,191	1,121	1,899	0,187	0,158	0,199	0,157	0,201
		L25-24	0,998	0,926	1,542	0,140	0,089	0,159	0,088	0,165
22	24		<b>6,201</b>	<b>5,884</b>	<b>10,191</b>	<b>0,973</b>	<b>0,973</b>	<b>1,011</b>	<b>0,948</b>	<b>1,023</b>
		L22-24	2,849	2,697	4,647	0,444	0,440	0,461	0,429	0,465
		L10-22	0,822	0,778	1,341	0,128	0,127	0,133	0,145	0,135
		L21-22	2,027	1,919	3,306	0,316	0,313	0,328	0,305	0,330
24	22		<b>7,049</b>	<b>6,728</b>	<b>11,655</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,022</b>	<b>0,988</b>	<b>1,023</b>
		L24-22	1,991	1,910	3,315	0,265	0,227	0,279	0,224	0,291
		L23-24	0,816	0,816	1,461	0,124	0,131	0,121	0,129	0,129
		L25-24	1,179	1,105	1,863	0,141	0,097	0,158	0,095	0,165
24	25		<b>4,815</b>	<b>4,427</b>	<b>7,668</b>	<b>0,939</b>	<b>0,939</b>	<b>0,992</b>	<b>0,906</b>	<b>1,008</b>
		L24-25	2,378	2,199	3,828	0,437	0,378	0,477	0,364	0,504
		L22-24	1,452	1,332	2,295	0,260	0,217	0,287	0,209	0,303
		L23-24	0,926	0,872	1,536	0,177	0,162	0,190	0,156	0,201
25	24		<b>6,167</b>	<b>5,848</b>	<b>10,131</b>	<b>0,972</b>	<b>0,972</b>	<b>1,010</b>	<b>0,947</b>	<b>1,023</b>
		L25-24	1,571	1,469	2,499	0,234	0,215	0,251	0,209	0,252
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L27-25	1,571	1,469	2,499	0,234	0,215	0,215	0,209	0,252
25	26		<b>2,259</b>	<b>2,017</b>	<b>3,492</b>	<b>0,727</b>	<b>0,727</b>	<b>0,840</b>	<b>0,641</b>	<b>0,933</b>
		L25-26	2,259	2,017	3,492	0,727	0,727	0,840	0,641	0,933
		L24-25	1,110	0,996	1,734	0,336	0,290	0,404	0,255	0,465

		L27-25	1,158	1,029	1,773	0,394	0,439	0,404	0,255	0,465
26	25		<b>4,762</b>	<b>4,375</b>	<b>7,578</b>	<b>0,937</b>	<b>0,937</b>	<b>0,990</b>	<b>0,903</b>	<b>1,008</b>
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	27		<b>5,395</b>	<b>4,933</b>	<b>8,544</b>	<b>0,994</b>	<b>0,994</b>	<b>1,008</b>	<b>0,991</b>	<b>0,999</b>
		L25-27	1,817	1,671	2,907	0,279	0,166	0,314	0,136	0,339
		L24-25	1,817	1,671	2,907	0,279	0,166	0,314	0,136	0,339
		L26-25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	25		<b>4,817</b>	<b>4,428</b>	<b>7,668</b>	<b>0,940</b>	<b>0,940</b>	<b>0,992</b>	<b>0,907</b>	<b>1,008</b>
		L27-25	2,478	2,266	3,903	0,511	0,570	0,520	0,550	0,513
		L29-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		L30-27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		CLOVERDALE	2,478	2,266	3,903	0,511	0,570	0,520	0,550	0,513
27	29		<b>2,785</b>	<b>2,486</b>	<b>4,305</b>	<b>0,829</b>	<b>0,829</b>	<b>0,915</b>	<b>0,768</b>	<b>0,966</b>
		L27-29	2,007	1,791	3,102	0,597	0,597	0,659	0,553	0,696
		L25-27	0,933	0,838	1,458	0,231	0,136	0,282	0,126	0,327
		L30-27	0,778	0,694	1,203	0,232	0,232	0,256	0,215	0,270
		CLOVERDALE	1,884	1,678	2,898	0,606	0,701	0,635	0,649	0,648
29	27		<b>5,337</b>	<b>4,877</b>	<b>8,448</b>	<b>0,993</b>	<b>0,993</b>	<b>1,008</b>	<b>0,989</b>	<b>0,999</b>
		L29-27	0,015	0,014	0,024	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
		L30-29	0,015	0,014	0,024	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
27	30		<b>2,541</b>	<b>2,263</b>	<b>3,918</b>	<b>0,800</b>	<b>0,800</b>	<b>0,894</b>	<b>0,731</b>	<b>0,954</b>
		L27-30	1,510	1,345	2,328	0,475	0,475	0,531	0,435	0,567
		L25-27	0,852	0,763	1,329	0,223	0,131	0,276	0,120	0,324
		L29-27	1,031	0,918	1,590	0,325	0,325	0,363	0,297	0,387
		CLOVERDALE	1,719	1,527	2,637	0,585	0,676	0,620	0,618	0,642
30	27		<b>5,306</b>	<b>4,847</b>	<b>8,397</b>	<b>0,992</b>	<b>0,992</b>	<b>1,007</b>	<b>0,988</b>	<b>0,999</b>
		L30-27	0,022	0,020	0,033	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
		L29-30	0,022	0,020	0,033	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003
29	30		<b>2,534</b>	<b>2,256</b>	<b>3,906</b>	<b>0,799</b>	<b>0,799</b>	<b>0,893</b>	<b>0,730</b>	<b>0,954</b>
		L29-30	1,046	0,932	1,614	0,330	0,330	0,369	0,302	0,963
		L27-29	1,046	0,932	1,614	0,330	0,330	0,369	0,302	0,393
30	29		<b>2,768</b>	<b>2,470</b>	<b>4,278</b>	<b>0,827</b>	<b>0,827</b>	<b>0,914</b>	<b>0,766</b>	<b>0,963</b>
		L30-29	0,789	0,705	1,221	0,236	0,236	0,261	0,218	0,276
		L27-30	0,789	0,705	1,221	0,236	0,236	0,261	0,218	0,276

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκπόνηση των μελετών βραχυκυκλωμάτων και προστασίας υπερέντασης με χρήση του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Η προσομοίωση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας περιελάμβανε όλα τα ρεαλιστικά τους χαρακτηριστικά. Ο υπολογισμός των βραχυκυκλωμάτων ήταν ευέλικτος με ένα μεγάλο πλήθος διαφορετικών παραμέτρων προς ρύθμιση που δεν περιορίζουν τον χρήστη. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων έγινε με τρόπο ώστε ο χρήστης να απομονώνει εύκολα την πληροφορία που χρειάζεται σε κάθε περίπτωση. Η ρύθμιση των ηλεκτρονόμων επέλυσε ικανοποιητικά το πρόβλημα της προστασίας υπερέντασης κάθε δικτύου. Η λειτουργία των ηλεκτρονόμων ήταν σωστή σε κάθε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Η δευτερεύουσα προστασία ήταν επίσης σωστή και τα περιθώρια ασφαλείας μεταξύ πρωτεύουσας και δευτερεύουσας προστασίας ήταν τα προβλεπόμενα. Επίσης, η αυτόματη συνεργασία του DIgSILENT PowerFactory με το MATLAB ήταν επιτυχής και έλυσε το πρόβλημα του επιδεικτικού παραδείγματος.

Το DIgSILENT PowerFactory αποδεικνύεται ένα ισχυρό εργαλείο στα χέρια του μελετητή ηλεκτρολόγου μηχανικού. Το περιβάλλον του είναι φιλικό προς τον χρήστη και οι δυνατότητές του δεν τον περιορίζουν. Το λογισμικό αυτό μπορεί να αποτελέσει την πλατφόρμα προσομοίωσης οποιουδήποτε δικτύου και οι μελέτες που μπορούν να γίνουν με αυτό εκτείνονται σε όλο το φάσμα των πεδίων ενδιαφέροντος των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται σε κατάλληλη μορφή για κάθε μελέτη και μπορεί να είναι όσο γενική ή εστιασμένη επιθυμεί ο χρήστης. Τέλος, η δυνατότητα του DIgSILENT PowerFactory να εκτελεί αλγορίθμους και να επικοινωνεί με άλλα προγράμματα πολλαπλασιάζει την ισχύ του και καθιστά δυνατή την χρήση του για την επίλυση προβλημάτων πιο σύνθετων από την απλή ανάλυση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

---

- [1] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Τόμος Ι, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985.
- [2] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1993.
- [3] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1994.
- [4] Μ. Π. Παπαδόπουλος, *Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [5] J. M. Gers and E. J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks*, Third Edition, The Institution of Engineering and Technology, 2011.
- [6] Nasser D. Tleis, *Power Systems Modelling and Fault Analysis Theory and Practice*, 2008.
- [7] N. Fischer, D. Hou, "Methods for detecting ground faults in medium voltage distribution power systems," Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Pullman, WA USA.
- [8] A. Stativa, M. Gavrilă, and V. Stăhăie, "Optimal Tuning and Placement of Power System Stabilizer using Particle Swarm Optimization Algorithm," in Proc. 2012 Intern. Conf. and Expos. on Electr. and Power Eng. (EPE 2012), 25-27 October, Iasi, Romania.
- [9] Y. Peng, H. Nouri, Q. M. Zhu, and L. Cheng, "Robust controller design survey for damping low frequency oscillations in power systems," in Proc. 2011 Asia-Pacific Power and Energy Eng. Conf. (APPEEC), pp. 1-4, 25-28 March 2011.
- [10] A. A. Ba-muqabel and M.A. Adibo, "Review of conventional power system stabilizer design methods," in Proc. 2006 IEEE GCC Conf. (GCC), pp. 1-7, 20-22 March 2006.
- [11] A. Farah, T. Guesmi, H. Abdallah, and A. Ouali, "Optimal design of multimachine power system stabilizers using evolutionary algorithms," in Proc. 2012 1st Intern. Conf. on Renewable Energ. and Vehicular Tech. (REVET), pp. 497-501, 26-28 March 2012.
- [12] M. A. Adibo and Y. L. Abdel, "Hybridizing rule-based power system stabilizers with genetic algorithms," *IEEE Trans. on Power Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 600-607, May 1999.
- [13] A. J. Urdaneta, R. Nadira, and L. G. Perez Jimenez, "Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power systems," *IEEE Trans. Power Del.*, Vol. 3, No. 3, July 1988.
- [14] T. Amraee, "Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Seeker Algorithm," *IEEE Trans. Power Del.*, Vol. 27, No. 3, July 2012.
- [15] V. Papaspiliotopoulos, G. Korres, and N. Hatziargyriou, "Protection coordination in modern distribution grids integrating optimization techniques with adaptive relay setting," in Proc. 2015 IEEE PowerTech, Eindhoven, pp. 1-6.

- [16] R. Mohammadi, “Overcurrent Relays Coordination Considering the Priority of Constraints,” IEEE Trans. Power Del., Vol. 26, No. 3, July 2011.
- [17] Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents, IEC 60909-0, 2001.
- [18] J. Kennedy, R.C. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” in Proc. IEEE Conf. on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.
- [19] G. Pereira, Particle Swarm Optimization, INESC-ID and Instituto Superior Tecnico, April 2011.
- [20] Πέτρος Ι. Κατσίκας, Ανάλυση βραχυκυκλωμάτων σε δίκτυα μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Αθήνα, Οκτώβριος 1998.
- [21] Φ. Παλαιογιάννης, Μεθοδολογία βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων για την εύρεση της βέλτιστης θέσης και των βέλτιστων ρυθμίσεων ευέλικτων συστημάτων μεταφοράς, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Οκτώβριος 2010.
- [22] User’s Manual DIgSILENT PowerFactory Version 14.1.
- [23] Tutorial DIgSILENT PowerFactory Version 14.1.
- [24] DIgSILENT PowerFactory Application Guide, Overcurrent Protection Tutorial, DIgSILENT Technical Documentation.