



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Χρήση της γλώσσας προγραμματισμού DPL του λογισμικού
DIgSILENT PowerFactory για τη συστηματοποίηση μελετών
προστασίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Β. Ψυχογιός

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Χρήση της γλώσσας προγραμματισμού DPL του λογισμικού
DIgSILENT PowerFactory για τη συστηματοποίηση
μελετών προστασίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Β. Ψυχογιός

Επιβλέπων : Γεώργιος Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η 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

.....

Κωνσταντίνος Β. Ψυχογιός

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

© 2016 – Κωνσταντίνος Β. Ψυχογιός, 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.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια απόκτησης του διπλώματος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Η/Υ. Η εκπόνησή της ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 2015 και ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2016. Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή του λογισμικού PowerFactory της εταιρείας DIgSILENT GmbH, η χρήση του λογισμικού για τη μοντελοποίηση και τη μελέτη Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και η υλοποίηση scripts με την χρήση της προγραμματιστικής γλώσσας DPL (DIgSILENT Programming Language).

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συμμετρικά και ασύμμετρα βραχυκυκλώματα, παρουσιάζονται οι αρχές της προστασίας υπερέντασης και γίνεται εκτενής ανάλυση των μεθόδων προστασίας για σφάλματα προς γη σε δίκτυα διανομής με διαφορετικό είδος γείωσης.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή της βάσης δεδομένων του λογισμικού PowerFactory και περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζεται και μοντελοποιείται ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Επιπλέον, γίνεται περιγραφή της εκτέλεσης ροής φορτιού και βραχυκυκλωμάτων σε ένα δίκτυο, παρουσιάζεται η τοποθέτηση και η ρύθμιση ηλεκτρονόμων υπερέντασης ενώ στην τελευταία ενότητα γίνεται συνοπτική αναφορά στη δομή της DPL.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής ανάλυση της μεθοδολογίας κατασκευής μιας εφαρμογής σε DPL και παρουσιάζονται τα script που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας που μοντελοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού, παρατίθενται οι πίνακες της μελέτης βραχυκυκλωμάτων που πραγματοποιήθηκε ενώ γίνεται και προσομοίωση των script που υλοποιήθηκαν.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται ο επίλογος της διπλωματικής εργασίας.

Λέξεις κλειδιά

Συμμετρικά και ασύμμετρα βραχυκυκλώματα, προστασία Υπερέντασης, λογισμικό PowerFactory, DIgSILENT, scripting, DPL, μελέτη βραχυκυκλωμάτων, μοντελοποίηση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Abstract

This academic thesis was realized within the framework of the acquisition of the Degree in Electrical Engineering and Computer Science. The elaboration of the thesis began in February, 2015 and was completed in January, 2016. The object of the academic thesis is the description of the PowerFactory software, introduced by DIgSILENT GmbH Company, the use of the software for modeling and studying Power Systems and the materialization of scripts using DIgSILENT Programming Language.

Initially, in the first chapter, the theory of symmetrical and asymmetrical short-circuits is mentioned, the principles of overcurrent protection are presented and there is also an extensive analysis of the ground fault protection methods for distribution networks with different grounding.

Next, in the second chapter, the structure of the PowerFactory software Database is presented and there is also a description of the way a Power System is structured and modeled. Moreover, the execution of power flow and short-circuits on a network is described, the placement and the adjustment of overcurrent relays presented, while, in the final section, there is a brief reference to the DPL structure.

In the third chapter, there is a thorough analysis of the construction methodology of an application using DPL. Also, the scripts, which were implemented within the context of the academic thesis are provided.

In the fourth chapter, the reader is presented with the Power Systems which were modeled with the use of software. What is more, the reader may find the tables of the conducted short-circuits study and the simulation of the implemented scripts.

Finally, in the fifth chapter, there is the conclusion of the academic thesis.

Keywords

symmetrical and asymmetrical short-circuits, overcurrent protection, PowerFactory software, DIgSILENT, scripting, DPL, short-circuits study, modeling and studying of Power Systems.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κορρέ για την δυνατότητα που μου προσέφερε να ενασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και συνάμα χρήσιμο θέμα όπως αυτό της προστασίας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η συμβολή του ήταν ουσιαστική, ενώ ήταν πάντα διαθέσιμος να προσφέρει απλόχερα τις γνώσεις του.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον υποψήφιο διδάκτορα, Βασίλειο Παπασπηλιωτόπουλο, για την ιδανική συνεργασία που είχαμε, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον συνάδελφο, Φίλιππο Θέμελη, για την εξαιρετική επικοινωνία που αναπτύξαμε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την επικοινωνιακή ανταλλαγή απόψεων σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Η βοήθεια και οι γνώσεις που μου πρόσφεραν θα αποτελέσουν πολύτιμα εφόδια για την μετέπειτα επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Πίνακας περιεχομένων

<i>Περίληψη</i>	<i>iv</i>
<i>Abstract</i>	<i>v</i>
<i>Ευχαριστίες</i>	<i>vi</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων</i>	<i>vii</i>
<i>Λίστα εικόνων</i>	<i>xi</i>
<i>Λίστα πινάκων</i>	<i>xvi</i>
1 Θεωρητικό υπόβαθρο	1
1.1 Ανάλυση συμμετρικών και ασύμμετρων σφαλμάτων.....	1
1.1.1 Εισαγωγή.....	1
1.1.2 Τριφασικό συμμετρικό σφάλμα	3
1.1.3 Μονοφασικό σφάλμα προς γη.....	5
1.1.4 Διφασικό σφάλμα χωρίς γη	8
1.1.5 Διφασικό σφάλμα προς γη.....	10
1.2 Αρχές προστασίας υπερέντασης.....	14
1.2.1 Εισαγωγή.....	14
1.2.2 Είδη ηλεκτρονόμων υπερέντασης	14
1.2.3 Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμων υπερέντασης.....	18
1.3 Ανασκόπηση μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής για διάφορα είδη γείωσης.....	26
1.3.1 Εισαγωγή.....	26
1.3.2 Μέθοδοι γείωσης δικτύων διανομής μέσης τάσης	27
1.3.2.1 Αγείωτα συστήματα	27
1.3.2.2 Άμεσα γειωμένα συστήματα	28
1.3.2.3 Γειωμένα συστήματα μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης.....	30
1.3.2.4 Γειωμένα συστήματα μέσω υψηλής ωμικής αντίστασης	31
1.3.2.5 Συντονισμένη γείωση	31

1.3.3	Στοιχεία κατεύθυνσης για σφάλματα γης σε άμεσα και μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης γειωμένα συστήματα	34
1.3.3.1	Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος (32I)	34
1.3.3.2	Στοιχείο κατεύθυνσης αρνητικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32Q)	35
1.3.3.3	Στοιχείο κατεύθυνσης μηδενικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32V)	36
1.3.3.4	Η λειτουργία των στοιχείων 32Q και 32V για σφάλματα προς γη.....	36
1.3.3.5	Βέλτιστη επιλογή στοιχείου κατεύθυνσης.....	38
1.3.4	Ανάλυση αγείωτων συστημάτων διανομής.....	39
1.3.4.1	Τριφασική ανάλυση.....	39
1.3.4.2	Ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών	41
1.3.4.3	Η επίδραση των ασυμμετριών στην ευαισθησία	42
1.3.5	Επίδοση ενός νέου στοιχείου κατεύθυνσης για αγείωτα συστήματα	44
1.3.6	Ανάλυση συντονισμένου συστήματος διανομής.....	45
1.3.6.1	3-φασική ανάλυση.....	46
1.3.6.2	Ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών	48
1.3.7	Μέθοδοι εντοπισμού σφαλμάτων προς γη σε συντονισμένα δίκτυα διανομής.....	51
1.3.7.1	Ανίχνευση τάσης	52
1.3.7.2	Βαττομετρική μέθοδος	52
1.3.8	Νέες μέθοδοι για την ανίχνευση σφαλμάτων γης σε συντονισμένα δίκτυα διανομής.....	55
1.3.8.1	Μέθοδος αγωγιμοτήτων	55
1.3.8.2	Μέθοδος μεταβολής αγωγιμότητας.....	56
1.3.10	Σύνοψη μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης	58
2	<i>Χρήση του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory.....</i>	59
2.1	Εισαγωγή.....	59
2.2	Βάση Δεδομένων PowerFactory	59
2.2.1	Προσθήκη καινούργιων αντικειμένων	60
2.2.2	Διαγραφή Αντικειμένων.....	61
2.2.3	Αντιγραφή , Αποκοπή και Επικόλληση Αντικειμένων	61

2.2.4	Επεξεργασία Αντικειμένων	61
2.2.5	Εύρεση Αντικειμένων.....	62
2.2.6	Εξαγωγή Αντικειμένων	63
2.3	Σχεδιασμός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας	63
2.4	Παραμετροποίηση στοιχείων δικτύου.....	67
2.5	Ροή Φορτίου	70
2.6	Βραχυκυκλώματα.....	75
2.7	Μελέτη Προστασίας Υπερέντασης	81
2.8	DPL Script Language	89
2.8.1	Εισαγωγή.....	89
2.8.2	Δομή μιας εντολής σε DPL	89
2.8.3	Δημιουργία ενός script	90
2.8.4	Ορισμός ενός συνόλου	90
2.8.5	Επεξεργασία ενός script	91
2.8.6	Εκτέλεση ενός script.....	91
2.8.7	Σύνταξη ενός script σε DPL	92
3	<i>Ανάλυση και περιγραφή εφαρμογών σε DPL.....</i>	97
3.1	Εισαγωγή.....	97
3.2	Κατασκευή ενός script.....	97
3.2.1	Δημιουργία	97
3.2.2	Ορισμός παραμέτρων εισόδου	98
3.2.3	Ορισμός εξωτερικών αντικειμένων	98
3.2.4	Περιεχόμενα	99
3.2.5	Πρόσβαση σε αντικείμενα του δικτύου.....	102
3.2.6	Αναγνώριση, πρόσβαση και τροποποίηση παραμέτρων	106
3.2.7	Εμφάνιση στο παράθυρο εξόδου.....	108
3.2.8	Διανύσματα, Ταξινομημένες Συλλογές(Maps) και Μήτρες.....	109
3.3	Εφαρμογές σε DPL.....	112
3.3.1	Fault report	112

3.3.2	Multiple Line Fault.....	119
3.3.3	Tripping time of relays	124
4	<i>Προσομοιώσεις και αποτελέσματα</i>	<i>128</i>
4.1	Εισαγωγή.....	128
4.2	Δίκτυο 8 ζυγών IEEE	128
4.2.1	Δεδομένα δικτύου.....	128
4.2.2	Μελέτη βραχυκυκλωμάτων.....	131
4.2.3	Προστασία Υπερέντασης	141
4.2.4	Προσομοιώσεις.....	143
4.3	Δίκτυο 14 ζυγών IEEE	151
4.3.1	Δεδομένα δικτύου.....	151
4.3.2	Μελέτη βραχυκυκλωμάτων.....	155
4.3.3	Προσομοιώσεις.....	180
4.4	Δίκτυο 39 ζυγών New England	183
4.4.1	Δεδομένα δικτύου.....	183
4.4.2	Μελέτη ροής φορτίου	187
4.4.3	Μελέτη βραχυκυκλωμάτων.....	191
4.4.4	Προσομοιώσεις.....	213
5	<i>Επίλογος.....</i>	<i>218</i>
	<i>Βιβλιογραφία–Ιστογραφία.....</i>	<i>219</i>

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1.1: Μονοφασικά ακολουθιακά δίκτυα.....	2
Εικόνα 1.2: 3-φασικό σφάλμα γραμμής.....	3
Εικόνα 1.3: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 3-φασικό σφάλμα.....	4
Εικόνα 1.4: 1-φασικό σφάλμα προς γη.....	5
Εικόνα 1.5: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 1-φασικό σφάλμα προς γη.....	7
Εικόνα 1.6: 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη.....	8
Εικόνα 1.7: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη.....	10
Εικόνα 1.8: 2-φασικό σφάλμα προς γη.....	11
Εικόνα 1.9: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 2-φασικό σφάλμα προς γη.....	12
Εικόνα 1.10: Συνδεσμολογία ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenin για 2-φασικό σφάλμα προς γη.....	13
Εικόνα 1.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης.....	15
Εικόνα 1.12: Απεικόνιση των διαφορετικών επιπέδων ρεύματος σφάλματος.....	16
Εικόνα 1.13: Καμπύλες ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου.....	18
Εικόνα 1.14: Διατήρηση της επιλεκτικότητας χρησιμοποιώντας στιγμιαίο στοιχείο.....	18
Εικόνα 1.15: Κάλυψη του στιγμιαίου στοιχείου.....	19
Εικόνα 1.16: Καμπύλες αντιστρόφου χρόνου.....	21
Εικόνα 1.17: Καμπύλες ηλεκτρονόμων υπερέντασης με βάση το πρότυπο της IEC.....	24
Εικόνα 1.18: Καμπύλες ηλεκτρονόμων υπερέντασης με βάση το πρότυπο της ANSI/IEEE.....	25
Εικόνα 1.19: Αγείωτο σύστημα.....	28
Εικόνα 1.20: Σύστημα 3 αγωγών με γείωση σε μοναδικό σημείο.....	29
Εικόνα 1.21: Σύστημα 4 αγωγών με γείωση σε μοναδικό σημείο.....	29
Εικόνα 1.22: Σύστημα 4 αγωγών με γείωση σε πολλά σημεία.....	29
Εικόνα 1.23: Διανύσματα τάσεων για κανονική κατάσταση και για σφάλμα προς γη.....	30
Εικόνα 1.24: Συντονισμένο σύστημα.....	32
Εικόνα 1.25: Ρεύμα και τάση αρνητικής ακολουθίας για σφάλμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο.....	37
Εικόνα 1.26: Ρεύμα και τάση αρνητικής ακολουθίας για σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο.....	37
Εικόνα 1.27: Χαρακτηριστικές λειτουργία των στοιχείων 32Q και 32V.....	38
Εικόνα 1.28: Απλοποιημένη αναπαράσταση αγείωτου συστήματος διανομής.....	40
Εικόνα 1.29: Φασικά διαγράμματα του συστήματος.....	40
Εικόνα 1.30: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα γης εμπρός του ηλεκτρονόμου.....	41
Εικόνα 1.31: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα γης πίσω από τον ηλεκτρονόμο.....	42
Εικόνα 1.32: Χαρακτηριστική στοιχείου κατεύθυνσης (32U).....	42
Εικόνα 1.33: Παράδειγμα ευαισθησίας στοιχείου υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας.....	43
Εικόνα 1.34: Μονογραμμικό διάγραμμα συστήματος χωρίς γείωση.....	44
Εικόνα 1.35: Διαγράμματα τάσης και ρεύματος μηδενικής ακολουθίας για τον κλάδο L400.....	45
Εικόνα 1.36: Υπολογισμός της κατεύθυνσης του σφάλματος από το καινούργιο στοιχείο κατεύθυνσης (32U).....	45
Εικόνα 1.37: Τριφασική αναπαράσταση συντονισμένου συστήματος.....	46
Εικόνα 1.38: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα σε συντονισμένο δίκτυο.....	49
Εικόνα 1.39: Μονογραμμικό διάγραμμα και κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συντονισμένου συστήματος.....	50

Εικόνα 1.40: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας με πλήρεις ποσότητες και ποσότητες μεταβολής.....	51
Εικόνα 1.41: Φασικό διάγραμμα για σφάλματα προς γη και χαρακτηριστική ηλεκτρονόμου 32W.....	54
Εικόνα 1.42: Λογικό διάγραμμα ενός βαττομετρικού ηλεκτρονόμου 32W.....	54
Εικόνα 1.43: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου μεταβολής αγωγιμότητας (32C).....	57
Εικόνα 1.44: Απλοποιημένο λογικό διάγραμμα στοιχείου μεταβολής αγωγιμότητας (32C)..	57
Εικόνα 2.1: Παράθυρο Data Manager.....	60
Εικόνα 2.2: Παράθυρο προσθήκης νέων αντικειμένων.....	61
Εικόνα 2.3: Παράθυρο Επεξεργασίας για μια γραμμή.....	62
Εικόνα 2.4: Παράθυρο Εύρεσης αντικειμένων.....	62
Εικόνα 2.5: Παράθυρο εξαγωγής μιας γραμμής σε μορφή αρχείου .pfd.....	63
Εικόνα 2.6: Παράθυρο δημιουργίας νέου project.....	64
Εικόνα 2.7: Παράθυρο δημιουργίας νέου δικτύου.....	64
Εικόνα 2.8: Επιφάνεια σχεδίασης.....	65
Εικόνα 2.9: Αναχωρήσεις ή αφήξεις ζυγών.....	65
Εικόνα 2.10: Δύο γραμμές συνδεδεμένες με μια γραμμή.....	66
Εικόνα 2.11: Δίκτυο 39-ζυγών New England.....	66
Εικόνα 2.12: Παράθυρο επεξεργασίας γραμμής.....	67
Εικόνα 2.13: Παράθυρο επεξεργασίας σύγχρονης μηχανής.....	68
Εικόνα 2.14: Τύποι γραμμών χαλκού στα 110 kV.....	68
Εικόνα 2.15: Τύποι σύγχρονων μηχανών.....	69
Εικόνα 2.16: Παράθυρο επεξεργασίας τύπου γραμμής.....	69
Εικόνα 2.17: Παράθυρο επεξεργασίας τύπου σύγχρονης μηχανής.....	69
Εικόνα 2.18: Καρτέλα βασικών ρυθμίσεων ροής φορτίου.....	70
Εικόνα 2.19: Καρτέλα ελέγχου ενεργού ισχύος στην ροή φορτίου.....	71
Εικόνα 2.20: Καρτέλα προηγμένων ρυθμίσεων ροής φορτίου.....	71
Εικόνα 2.21: Καρτέλα ελέγχου επαναλήψεων για την σύγκλιση της ροής φορτίου.....	72
Εικόνα 2.22: Καρτέλα ρυθμίσεων αποτελεσμάτων ροής φορτίου.....	73
Εικόνα 2.23: Αποτελέσματα ροής φορτίου σε δίκτυο 8 ζυγών.....	73
Εικόνα 2.24: Αποτελέσματα ροής φορτίου στο παράθυρο εξόδου.....	74
Εικόνα 2.25: Παράθυρο αλλαγής της μορφής αποτελεσμάτων.....	74
Εικόνα 2.26: Παράθυρο επιλογής μεγεθών στα πλαίσια αποτελεσμάτων.....	75
Εικόνα 2.27: Πραγματοποίηση Βραχυκυκλώματος.....	75
Εικόνα 2.28: Παράθυρο εκτέλεσης βραχυκυκλώματος.....	76
Εικόνα 2.29: Παράθυρο επιλογής αποτελεσμάτων με την εκτέλεση βραχυκυκλώματος.....	77
Εικόνα 2.30: Βραχυκύκλωμα στην γραμμή 1-3 του δικτύου.....	77
Εικόνα 2.31: Παράθυρο εξόδου για Fault Location.....	78
Εικόνα 2.32: Παράθυρο εξόδου για Fault Location With Feeders.....	78
Εικόνα 2.33: Παράθυρο εξόδου για Currents/Voltages.....	79
Εικόνα 2.34: Παράθυρο εξόδου για Protection (1/2).....	79
Εικόνα 2.35: Παράθυρο εξόδου για Protection (2/2).....	80
Εικόνα 2.36: Παράθυρο εξόδου για Edge Elements.....	80
Εικόνα 2.37: Τοποθέτηση ηλεκτρονόμου.....	81
Εικόνα 2.38: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (βασικά δεδομένα).....	81

Εικόνα 2.39: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (Μετασχηματιστής Τάσης/Ρεύματος).	82
Εικόνα 2.40: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (Μέγιστο / Ελάχιστο ρεύμα σφάλματος).	82
Εικόνα 2.41: Επεξεργασία ηλεκτρονόμου SEL 351-5A-150V.	83
Εικόνα 2.42: Παράθυρο επεξεργασίας CT.	84
Εικόνα 2.43: Ορισμός ρεύματος πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.	84
Εικόνα 2.44: Παράθυρο επεξεργασίας VT.	85
Εικόνα 2.45: Ορισμός τάσης πρωτεύοντος.	85
Εικόνα 2.46: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου κατευθυντικότητας.	86
Εικόνα 2.47: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπέρτασης και υπότασης.	86
Εικόνα 2.48: Παράθυρο επεξεργασίας μετρητικού στοιχείου.	86
Εικόνα 2.49: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου συχνότητας.	86
Εικόνα 2.50: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου λογικής.	87
Εικόνα 2.51: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου.	87
Εικόνα 2.52: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου.	87
Εικόνα 2.53: Καμπύλες ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών.	88
Εικόνα 2.54: Δομή εντολής σε DPL.	89
Εικόνα 2.55: Παράθυρο επεξεργασίας script.	91
Εικόνα 2.56: Εκτέλεση script.	92
Εικόνα 2.57: Ορισμός μεταβλητών σε DPL.	93
Εικόνα 2.58: Παράδειγμα κώδικα με χρήση επαναληπτικού βρόχου.	95
Εικόνα 2.59: Παραμετροποίηση βραχυκυκλώματος με την χρήση script.	96
Εικόνα 3.1: Παράθυρο δημιουργίας νέων αντικειμένων.	97
Εικόνα 3.2: Παράθυρο επεξεργασίας ενός script.	98
Εικόνα 3.3: Λίστα περιεχομένων ενός script.	99
Εικόνα 3.4: Παράθυρο δημιουργίας νέων αντικειμένων.	100
Εικόνα 3.5: Ορισμός φίλτρου αντικειμένων.	100
Εικόνα 3.6: Ορισμός φίλτρου γραμμών.	101
Εικόνα 3.7: Φίλτρο γραμμών.	101
Εικόνα 3.8: Περιεχόμενα script.	101
Εικόνα 3.9: General Selection.	102
Εικόνα 3.10: Δημιουργία συνόλου.	103
Εικόνα 3.11: Αναγνώριση παραμέτρου.	107
Εικόνα 3.12: Παράθυρο επεξεργασίας Fault Report script.	113
Εικόνα 3.13: Λίστα περιεχομένων του Fault Report script.	114
Εικόνα 3.14: Κώδικας Fault Report script(1/9).	115
Εικόνα 3.15: Κώδικας Fault Report script(2/9).	115
Εικόνα 3.16: Κώδικας Fault Report script(3/9).	115
Εικόνα 3.17: Κώδικας Fault Report script(4/9).	116
Εικόνα 3.18: Κώδικας Fault Report script(5/9).	116
Εικόνα 3.19: Κώδικας Fault Report script(6/9).	116
Εικόνα 3.20: Κώδικας Fault Report script(7/9).	117
Εικόνα 3.21: Κώδικας Fault Report script(8/9).	117
Εικόνα 3.22: Κώδικας Fault Report script(9/9).	117
Εικόνα 3.23: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Fault Report script.	118

Εικόνα 3.24: Παράθυρο επεξεργασίας Multiple Line Fault script.....	119
Εικόνα 3.25: Λίστα περιεχομένων του Multiple Line Fault script.....	120
Εικόνα 3.26: Λίστα περιεχομένων του Multiple Line Fault script.....	121
Εικόνα 3.27: Κώδικας του Multiple Line Fault script(2/7).....	121
Εικόνα 3.28: Κώδικας του Multiple Line Fault script(3/7).....	121
Εικόνα 3.29: Κώδικας του Multiple Line Fault script(4/7).....	121
Εικόνα 3.30: Κώδικας του Multiple Line Fault script(5/7).....	121
Εικόνα 3.31: Κώδικας του Multiple Line Fault script(6/7).....	122
Εικόνα 3.32: Κώδικας του Multiple Line Fault script(7/7).....	122
Εικόνα 3.33: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Multiple Line Fault script.....	123
Εικόνα 3.34: Παράθυρο επεξεργασίας Tripping time of relays script.	124
Εικόνα 3.35: Λίστα περιεχομένων Tripping time of relays script.....	125
Εικόνα 3.36: Κώδικας του Tripping time of relays script(1/4).	125
Εικόνα 3.37: Κώδικας του Tripping time of relays script(2/4).	126
Εικόνα 3.38: Κώδικας του Tripping time of relays script(3/4).	126
Εικόνα 3.39: Κώδικας του Tripping time of relays script(4/4).	126
Εικόνα 3.40: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Tripping time of relays script.	127
Εικόνα 4.1: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 8 ζυγών IEEE.....	129
Εικόνα 4.2: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 8 ζυγών IEEE στο PowerFactory.....	129
Εικόνα 4.3: Επίπεδα τάσης δικτύου 8 ζυγών IEEE.....	130
Εικόνα 4.4: Close-in σφάλμα στην γραμμή L_{ij}	131
Εικόνα 4.5: Αρίθμηση ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών IEEE.....	142
Εικόνα 4.6: Καμπύλες ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών IEEE.....	143
Εικόνα 4.7: Ρυθμίσεις “Tripping time of relays” script.	144
Εικόνα 4.8: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 1-2.....	144
Εικόνα 4.9: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 1-2.	145
Εικόνα 4.10: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 5-6.....	145
Εικόνα 4.11: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 5-6.	146
Εικόνα 4.12: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 1-6.....	146
Εικόνα 4.13: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 1-6.	147
Εικόνα 4.14: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (IEEE 8-bus).....	148
Εικόνα 4.15: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (IEEE 8-bus).	148
Εικόνα 4.16: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (IEEE 8-bus).	149
Εικόνα 4.17: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (IEEE 8-bus).....	149
Εικόνα 4.18: Προσομοίωση “Multiple Line Fault” script – Output Window (IEEE 8-bus).	150
Εικόνα 4.19: Προσομοίωση “Multiple Line Fault” script – MS Excel File (IEEE 8-bus)....	150
Εικόνα 4.20: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 14 ζυγών IEEE.....	151
Εικόνα 4.21: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 14 ζυγών IEEE στο PowerFactory.....	152
Εικόνα 4.22: Επίπεδα τάσης δικτύου 14 ζυγών IEEE.....	153
Εικόνα 4.23: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (IEEE 14-bus).....	180
Εικόνα 4.24: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (IEEE 14-bus).	180
Εικόνα 4.25: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (IEEE 14-bus).	181
Εικόνα 4.26: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (IEEE 14-bus).....	181

Εικόνα 4.27: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – Output Window (IEEE 14-bus).	182
Εικόνα 4.28: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script– MS Excel File (IEEE 14-bus).	182
Εικόνα 4.29: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 39 ζυγών New England.....	183
Εικόνα 4.30: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 39 ζυγών New England στο PowerFactory.	184
Εικόνα 4.31: Επίπεδα τάσης δικτύου 39 ζυγών New England.....	184
Εικόνα 4.32: Κώδικας χρωμάτων ροής φορτίου.	187
Εικόνα 4.33: Γραφική απεικόνιση ροής φορτίου του δικτύου 39 ζυγών New England.	188
Εικόνα 4.34: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (New England 39-bus).	213
Εικόνα 4.35: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (New England 39-bus).	213
Εικόνα 4.36: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (New England 39-bus).	214
Εικόνα 4.37: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (New England 39-bus).	215
Εικόνα 4.38: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – Output Window (New England 39-bus).....	216
Εικόνα 4.39: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – MS Excel File (New England 39-bus).....	217

Λίστα πινάκων

Πίνακας 1.1: Σταθερές για ηλεκτρονόμους υπερέντασης	23
Πίνακας 1.2 χαρακτηριστικά μεθόδων γείωσης	33
Πίνακας 1.3: Σύνοψη των μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης.....	58
Πίνακας 2.1: Βασικές αριθμητικές συναρτήσεις σε DPL.	93
Πίνακας 2.2: Αριθμητικές σταθερές.....	94
Πίνακας 3.1: Βασικές εντολές DPL	105
Πίνακας 3.2: Εντολές συνόλων	105
Πίνακας 3.3: Εντολές αντικειμένων	106
Πίνακας 3.4: Συναρτήσεις διανυσμάτων.....	110
Πίνακας 3.5: Συναρτήσεις ταξινομημένων συλλογών(maps)	111
Πίνακας 3.6: Συναρτήσεις μητρών.....	111
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς δικτύου 8 ζυγών IEEE.....	130
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 8 ζυγών IEEE	130
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστών Ανύψωσης του δικτύου 8 ζυγών IEEE..	131
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά ισοδύναμου ΣΗΕ του δικτύου 8 ζυγών IEEE	131
Πίνακας 4.5: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 8-bus) ...	131
Πίνακας 4.6: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)	133
Πίνακας 4.7: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus).....	134
Πίνακας 4.8: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)	135
Πίνακας 4.9: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 8-bus) ..	136
Πίνακας 4.10: Far-end(99%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus).....	138
Πίνακας 4.11: Far-end(99%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus).....	139
Πίνακας 4.12: Far-end(99%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)	140
Πίνακας 4.13: Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμων	142
Πίνακας 4.14: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς και Διανομής του δικτύου 14 ζυγών IEEE	153
Πίνακας 4.15: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 14 ζυγών IEEE	154
Πίνακας 4.16: Χαρακτηριστικά Γεννητριών DG του δικτύου 14 ζυγών IEEE.....	154
Πίνακας 4.17: Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστών του δικτύου 14 ζυγών IEEE	154
Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά Ζυγών και Φορτίων του δικτύου 14 ζυγών IEEE	154
Πίνακας 4.19: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 14-bus)	155
Πίνακας 4.20: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)	158

Πίνακας 4.21: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus).....	160
Πίνακας 4.22: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus).....	163
Πίνακας 4.23: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 14-bus)	166
Πίνακας 4.24: Far-end(99%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus).....	168
Πίνακας 4.25: Far-end(99%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus).....	171
Πίνακας 4.26: Far-end(99%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus).....	174
Πίνακας 4.27: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος χωρίς DG (IEEE 14-bus).....	176
Πίνακας 4.28: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς του δικτύου 39 ζυγών New England	185
Πίνακας 4.29: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 39 ζυγών New England	185
Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστών του δικτύου 39 ζυγών New England ...	186
Πίνακας 4.31: Χαρακτηριστικά Ισοδύναμου ΣΗΕ του δικτύου 39 ζυγών New England	186
Πίνακας 4.32: Χαρακτηριστικά Ζυγών και Φορτίων του δικτύου 39 ζυγών New England .	186
Πίνακας 4.33: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τις γεννήτριες.....	188
Πίνακας 4.34: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τους ζυγούς.....	189
Πίνακας 4.35: Αποτελέσματα ροής φορτίου για το ισοδύναμο ΣΗΕ.....	189
Πίνακας 4.36: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τις γραμμές	190
Πίνακας 4.37: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τους Μ/Σ.....	190
Πίνακας 4.38: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τα φορτία.	191
Πίνακας 4.39: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (New England 39-bus).....	191
Πίνακας 4.40: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (New England 39-bus).....	197
Πίνακας 4.41: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (New England 39-bus).....	202
Πίνακας 4.42: Far-end σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (New England 39-bus).....	207

1 Θεωρητικό υπόβαθρο

1.1 Ανάλυση συμμετρικών και ασύμμετρων σφαλμάτων

1.1.1 Εισαγωγή

Ως βραχυκυκλώματα ορίζονται οι ανώμαλες μεταβατικές καταστάσεις, στις οποίες περιέρχεται το σύστημα, λόγω αστοχίας της μόνωσης μεταξύ φάσεων ή μεταξύ φάσης και γης. Τα βραχυκυκλώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- 3-φασικό συμμετρικό σφάλμα.
- 1-φασικό σφάλμα προς γη.
- 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη.
- 2-φασικό σφάλμα προς γη.

Τα περισσότερα βραχυκυκλώματα που εμφανίζονται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ασύμμετρα και κατατάσσονται στις κατηγορίες των 1-φασικών προς γη, 2-φασικών χωρίς γη και 2-φασικών προς γη. Τα συμμετρικά 3-φασικά σφάλματα εμφανίζονται σπάνια σε ένα σύστημα, ωστόσο είναι ιδιαίτερα καταστρεπτικά για τον εξοπλισμό.

Η ανάλυση των σφαλμάτων γίνεται με την χρήση της μεθόδου συμμετρικών συνιστωσών η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό των τάσεων και των ρευμάτων σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Στις εξισώσεις (1.1) έως (1.4) φαίνεται σε μητρική μορφή η σχέση μεταξύ φασικών μεγεθών και συμμετρικών συνιστωσών τάσης και ρεύματος.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

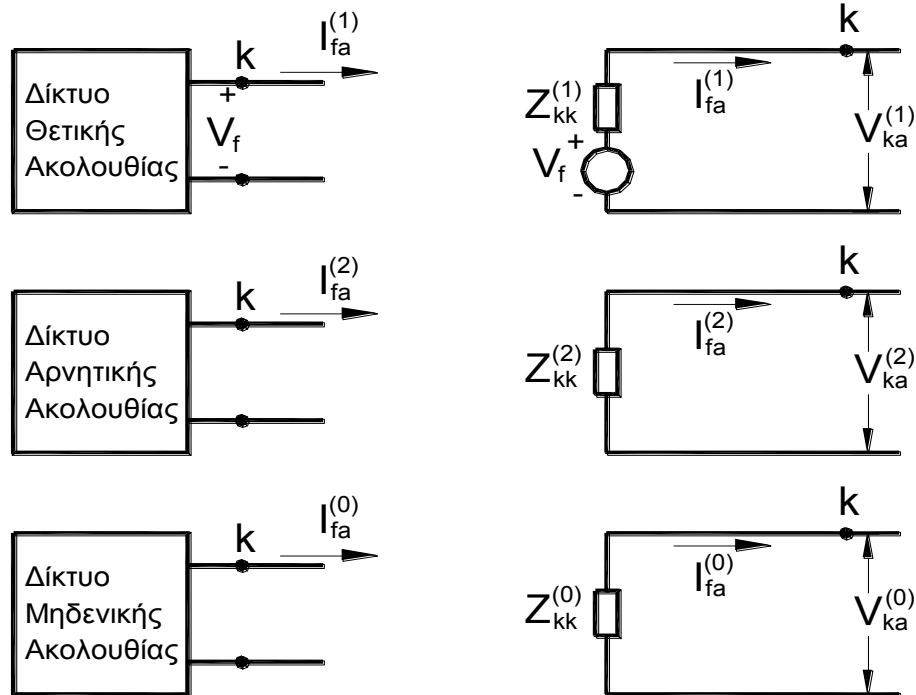
$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A} \begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Τα μονοφασικά ακολουθιακά δίκτυα παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.1, στη σχέση (1.5) παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τις τάσεις των ακολουθιακών κυκλωμάτων στο ζυγό (**j**) για ένα σφάλμα στο ζυγό (**k**) του δικτύου, ενώ στη σχέση (1.6) παρουσιάζονται οι ακολουθιακές τάσεις για τον ζυγό (**k**).

$$\begin{aligned} V_{j\alpha}^{(0)} &= -Z_{jk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{j\alpha}^{(1)} &= V_{jf} - Z_{jk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(1)} \\ V_{j\alpha}^{(2)} &= -Z_{jk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(2)} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(1)} \\ V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(2)} \end{aligned} \quad (1.6)$$



Εικόνα 1.1: Μονοφασικά ακολουθιακά δίκτυα.

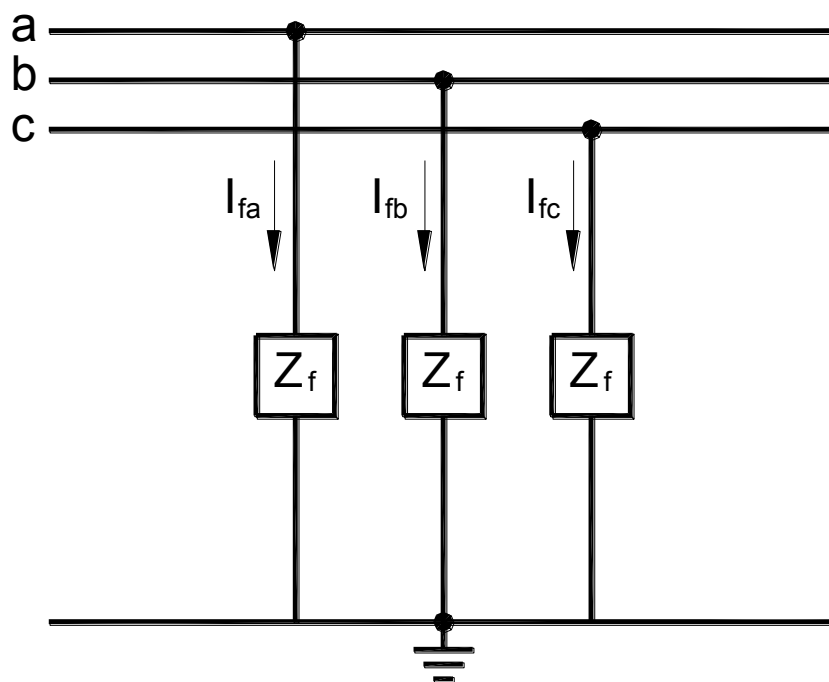
Στα πλαίσια της ακόλουθης ανάλυσης βραχυκυκλωμάτων σημειώνεται ότι:

- Τα ρεύματα τα οποία ρέουν στο δίκτυο προς το σημείο του σφάλματος από τις φάσεις a, b και c συμβολίζονται ως I_{fa} , I_{fb} και I_{fc} .
- Οι τάσεις ως προς γη σε οποιοδήποτε ζυγό (j) του συστήματος συμβολίζονται ως V_{ja} , V_{jb} και V_{jc} .
- Οι δείκτες 1,2 και 0 καθορίζουν τα μεγέθη θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.
- Η φασική τάση ως προς τον ουδέτερο στο σημείο του σφάλματος συμβολίζεται ως V_f .
- Η $Z_{ij}^{(x)}$ είναι η σύνθετη αντίσταση που βρίσκεται στην θέση (i,j) του πίνακα σύνθετων αντιστάσεων κάθε ακολουθιακού κυκλώματος.

1.1.2 Τριφασικό συμμετρικό σφάλμα

Ένα 3-φασικό σφάλμα με αντίσταση σφάλματος Z_f παρουσιάζεται στο σχήμα της Εικόνας 1.2, ενώ οι συνθήκες που ισχύουν περιγράφονται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$\begin{aligned} V_a &= I_{fa} \cdot Z_f \\ V_b &= I_{fb} \cdot Z_f \\ V_c &= I_{fc} \cdot Z_f \end{aligned} \tag{1.7}$$



Εικόνα 1.2: 3-φασικό σφάλμα γραμμής.

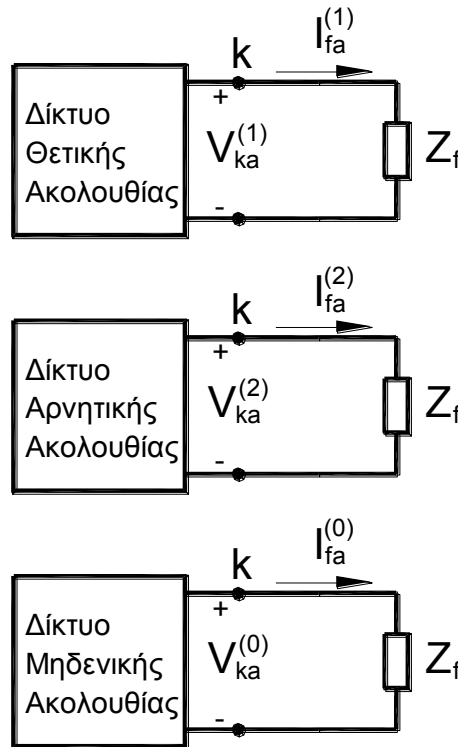
Οι αντίστοιχη μητρική σχέση παρουσιάζεται στην εξίσωση (1.8):

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Από την σχέση (1.8) με την χρήση των μητρών μετασχηματισμού μπορούν να γραφεί η μητρική εξίσωση που περιγράφει τα μεγέθη με συμμετρικές συνιστώσες:

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \tilde{A} \begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Από την εξίσωση (1.9) γίνεται αντιληπτό ότι τα 3 δίκτυα ακολουθίας είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού το σύστημα διατηρεί τη συμμετρία του μετά την επιβολή ενός συμμετρικού 3-φασικού σφάλματος. Η συνδεσμολογία των τριών δικτύων ακολουθίας φαίνεται στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 3-φασικό σφάλμα.

Αντικαθιστώντας τη σχέση (1.9) στη (1.6) προκύπτουν οι σχέσεις (1.10) και (1.11) που περιγράφουν τις ακολουθιακές τάσεις και ρεύματα κατά την διάρκεια του σφάλματος.

$$I_{f\alpha}^{(0)} = 0$$

$$I_{f\alpha}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (1.10)$$

$$I_{f\alpha}^{(2)} = 0$$

$$V_{k\alpha}^{(0)} = 0$$

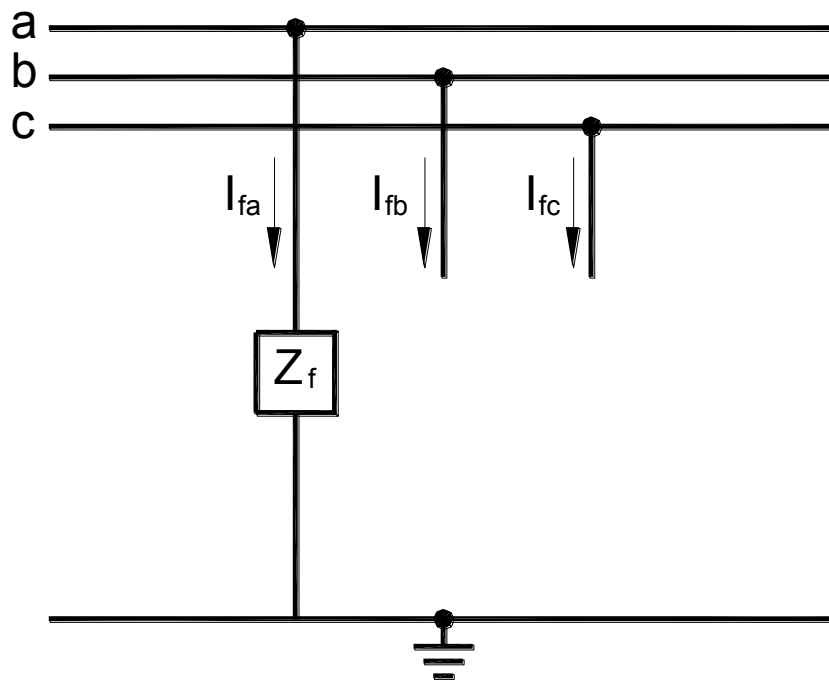
$$V_{k\alpha}^{(1)} = V_f \frac{Z_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (1.11)$$

$$V_{k\alpha}^{(2)} = 0$$

Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f = 0$), η τάση θετικής ακολουθίας στο σημείο του σφάλματος είναι μηδενική.

1.1.3 Μονοφασικό σφάλμα προς γη

Το 1-φασικό σφάλμα του αγωγού a προς γη με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα της Εικόνας 1.4, ενώ στη σχέση (1.12) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Εικόνα 1.4: 1-φασικό σφάλμα προς γη.

$$\begin{aligned}
 I_{fb} &= \mathbf{0} \\
 I_{fc} &= \mathbf{0} \\
 V_{ka} &= \mathbf{Z}_f I_{fa}
 \end{aligned} \tag{1.12}$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (1.4) και (1.12) προκύπτουν οι συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων.

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & \alpha & \alpha^2 \\ \mathbf{1} & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \tag{1.13}$$

Από την μητρική μορφή της σχέσης (1.13) έχουμε:

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{1}{3} I_{fa} \tag{1.14}$$

Αντικαθιστώντας την (1.14) στη (1.6) προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 V_{ka}^{(0)} &= -\mathbf{Z}_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} \\
 V_{ka}^{(1)} &= V_f - \mathbf{Z}_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(0)} \\
 V_{ka}^{(2)} &= -\mathbf{Z}_{kk}^{(2)} I_{fa}^{(0)}
 \end{aligned} \tag{1.15}$$

Στη συνέχεια, προσθέτοντας κατά μέλη τις εξισώσεις της σχέσης (1.15):

$$V_{ka} = V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)} = V_f - (\mathbf{Z}_{kk}^{(0)} + \mathbf{Z}_{kk}^{(1)} + \mathbf{Z}_{kk}^{(2)}) I_{fa}^{(0)} = 3\mathbf{Z}_f I_{fa}^{(0)} \tag{1.16}$$

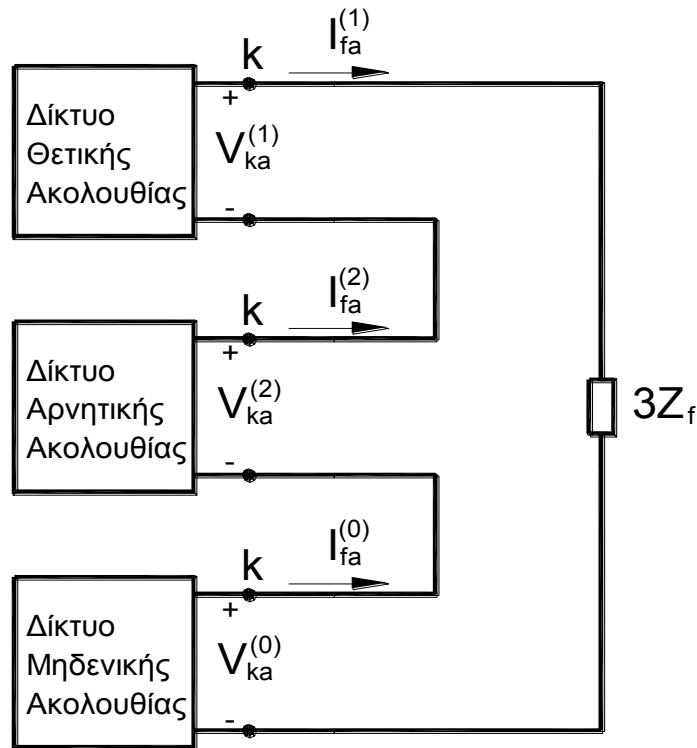
Τελικά προκύπτει:

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{\mathbf{Z}_{kk}^{(0)} + \mathbf{Z}_{kk}^{(1)} + \mathbf{Z}_{kk}^{(2)} + 3\mathbf{Z}_f} \tag{1.17}$$

Οι τάσεις των ακολουθιακών δικτύων στο σημείο του σφάλματος προκύπτουν από τον συνδυασμό των σχέσεων (1.15) και (1.17)

$$\begin{aligned}
 V_{ka}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} = -V_f \frac{Z_{kk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \\
 V_{ka}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \\
 V_{ka}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{fa}^{(0)} = -V_f \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f}
 \end{aligned} \tag{1.18}$$

Από την σχέση (1.16) γίνεται αντιληπτό ότι τα ακολουθιακά δίκτυα είναι συνδεδεμένα εν σειρά μεταξύ τους μέσω της σύνθετης αντίστασης $3Z_f$. Η σύνδεση των ακολουθιακών δικτύων παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.5.



Εικόνα 1.5: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 1-φασικό σφάλμα προς γη.

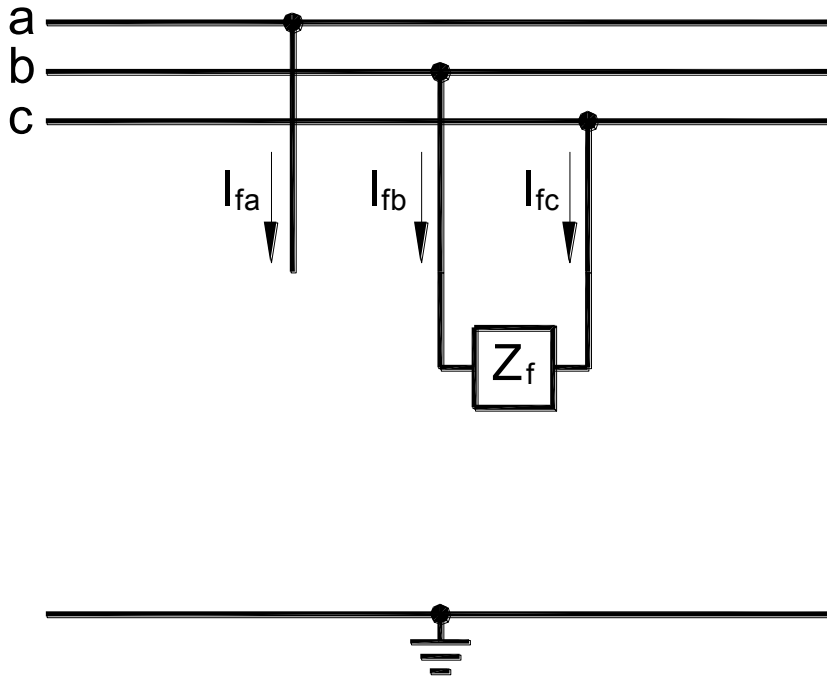
Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f = 0$), τότε οι αρχικές συνθήκες διαμορφώνονται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 I_{fb} &= 0 \\
 I_{fc} &= 0 \\
 V_{ka} &= Z_f I_{fa}
 \end{aligned} \tag{1.19}$$

Τα ρεύματα και τις τάσεις στο σημείο του σφάλματος εκφράζονται από τις σχέσεις (1.17) και (1.18) θέτοντας $Z_f = 0$.

1.1.4 Διφασικό σφάλμα χωρίς γη

Το 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη μεταξύ των αγωγών b, c με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα της Εικόνας 1.6, ενώ στη σχέση (1.20) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Εικόνα 1.6: 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη.

$$\begin{aligned}
 I_{fa} &= 0 \\
 I_{fb} &= -I_{fc} \\
 V_{kb} - V_{kc} &= Z_f I_{fb}
 \end{aligned}
 \tag{1.20}$$

Σύμφωνα με τις συνθήκες του σφάλματος, τα ρεύματα ακολουθίας δίνονται σε μητρική μορφή ως εξής:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fb} \\ -I_{fb} \end{bmatrix}
 \tag{1.21}$$

Συνεπώς έχουμε:

$$I_{f\alpha}^{(0)} = 0 \quad (1.22)$$

$$I_{f\alpha}^{(1)} = -I_{f\alpha}^{(2)}$$

Από την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό ότι το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας δεν εμπλέκεται στους υπολογισμούς για το 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη. Αναλύοντας τα φασικά μεγέθη της 3^{ης} εξίσωσης της σχέσης (1.20) σε συμμετρικές συνιστώσες προκύπτουν τα εξής:

$$\begin{aligned} V_{kb} - V_{kc} &= Z_f I_{fb} \rightarrow (V_{kb}^{(1)} + V_{kb}^{(2)}) - (V_{kc}^{(1)} + V_{kc}^{(2)}) = (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)}) Z_f \\ &\rightarrow (V_{kb}^{(1)} - V_{kc}^{(1)}) + (V_{kb}^{(2)} - V_{kc}^{(2)}) = (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)}) Z_f \\ &\rightarrow (\alpha^2 - \alpha) (V_{k\alpha}^{(1)} - V_{k\alpha}^{(2)}) = (\alpha^2 I_{f\alpha}^{(1)} + \alpha I_{f\alpha}^{(2)}) Z_f \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (1.22) προκύπτει:

$$V_{k\alpha}^{(1)} - V_{k\alpha}^{(2)} = I_{f\alpha}^{(1)} Z_f \quad (1.23)$$

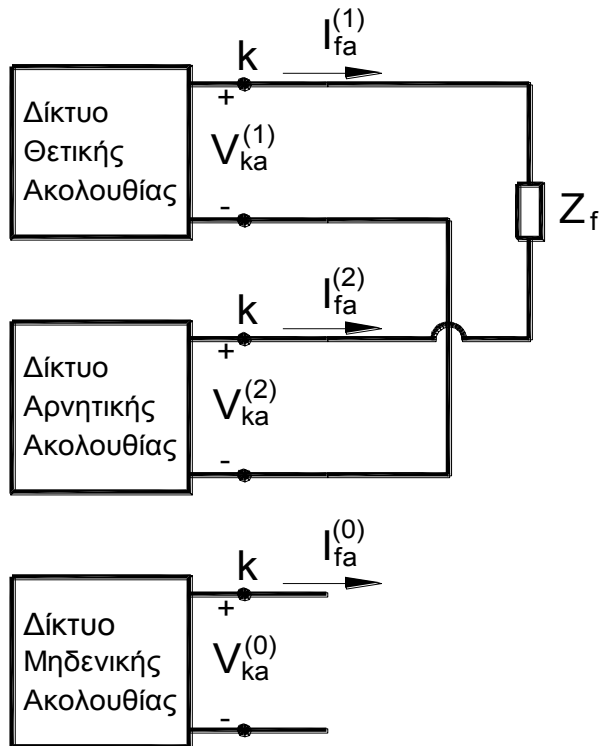
Τέλος αντικαθιστώντας την σχέση (1.23) στην (1.6) έχουμε:

$$V_f - I_{f\alpha}^{(1)} Z_{kk}^{(1)} - I_{f\alpha}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} = I_{f\alpha}^{(1)} Z_f \leftrightarrow I_{f\alpha}^{(1)} = -I_{f\alpha}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (1.24)$$

Οι ακολουθιακές τάσεις στο σημείο του σφάλματος δίνονται από τις εξισώσεις της σχέσης (1.25).

$$\begin{aligned} V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} = 0 \\ V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(2)} + Z_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \\ V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \end{aligned} \quad (1.25)$$

Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των ακολουθιακών δικτύων για την περίπτωση του 2-φασικού σφάλματος χωρίς γη. Από τις σχέσεις γίνεται αντιληπτό ότι τα δίκτυα θετικής και αρνητικής ακολουθίας συνδέονται παράλληλα μέσω της αντίστασης Z_f , ενώ το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο.



Εικόνα 1.7: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη.

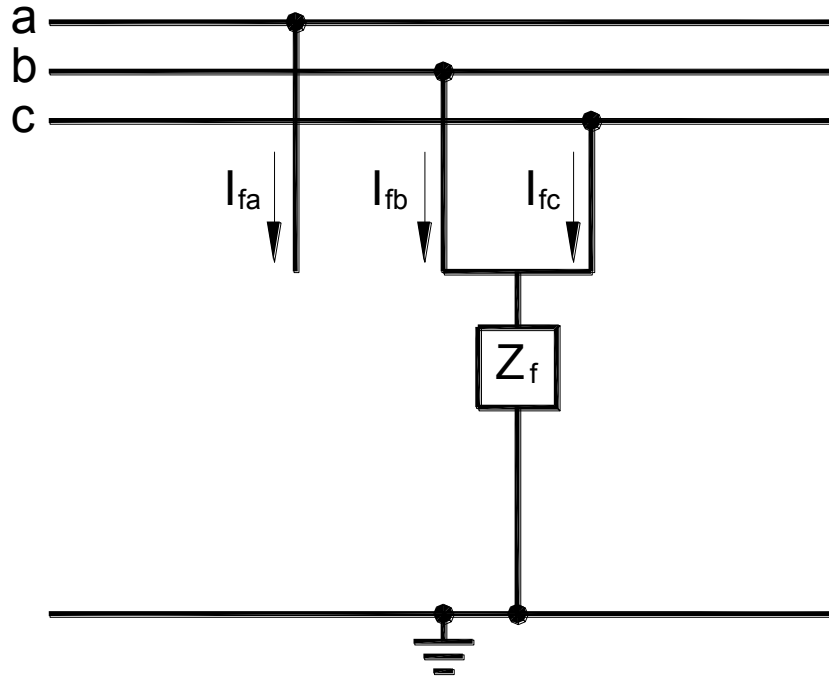
Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f = 0$), τότε οι αρχικές συνθήκες διαμορφώνονται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 I_{fa} &= 0 \\
 I_{fb} &= -I_{fc} \\
 V_{kb} - V_{kc} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1.26}$$

Τα ρεύματα και τις τάσεις στο σημείο του σφάλματος εκφράζονται από τις σχέσεις (1.24) και (1.25) θέτοντας $Z_f = 0$.

1.1.5 Διφασικό σφάλμα προς γη

Το 2-φασικό σφάλμα προς γη μεταξύ των αγωγών b, c με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα της Εικόνας 1.8, ενώ στη σχέση (1.27) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Εικόνα 1.8: 2-φασικό σφάλμα προς γη.

$$\begin{aligned}
 I_{fa} &= 0 \\
 V_{kb} &= V_{kc} = Z_f(I_{fb} + I_{fc})
 \end{aligned} \tag{1.27}$$

Το ρεύμα την φάσης a είναι μηδενικό, συνεπώς το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι:

$$I_{f\alpha}^{(0)} = \frac{I_{fb} + I_{fc}}{3} \tag{1.28}$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1.27) και (1.28) έχουμε για τις τάσεις:

$$V_{kb} = V_{kc} = 3Z_f I_{f\alpha}^{(0)} \tag{1.29}$$

Η μητρική σχέση των συμμετρικών συνιστωσών είναι η εξής:

$$\begin{bmatrix} V_{ka}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{kb} \\ V_{kb} \\ V_{kb} \end{bmatrix} \tag{1.30}$$

Προκύπτει ότι η τάση θετικής και αρνητικής ακολουθίας είναι ίσες:

$$V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)} \quad (1.31)$$

Από την 1^η γραμμή της μητρικής σχέσης (1.30) ισχύει:

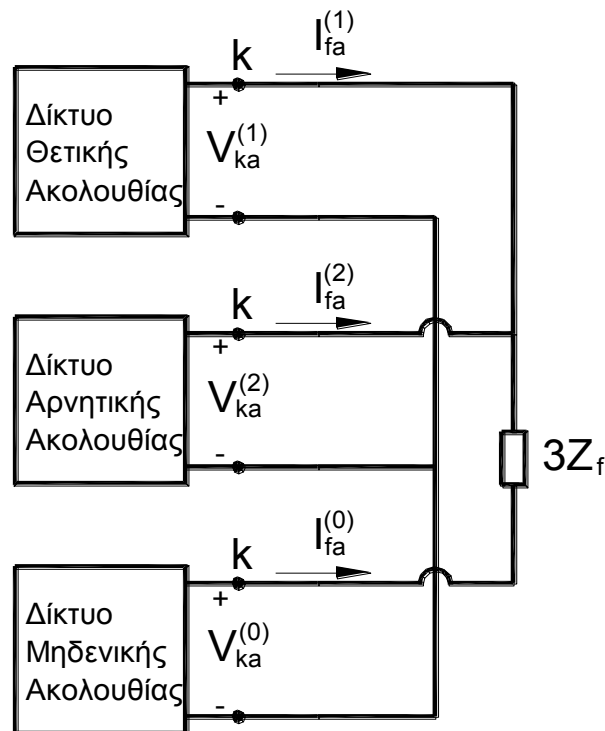
$$\begin{aligned} 3V_{ka}^{(0)} = V_{ka} + 2V_{kb} &= (V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)}) + 2(3Z_f I_{fa}^{(0)}) \leftrightarrow 2V_{ka}^{(0)} - 2(3Z_f I_{fa}^{(0)}) \\ &= V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)} \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (1.31) στην παραπάνω εξίσωση και παρατηρώντας ότι $I_{fa} = 0$ έχουμε τις εξής σχέσεις:

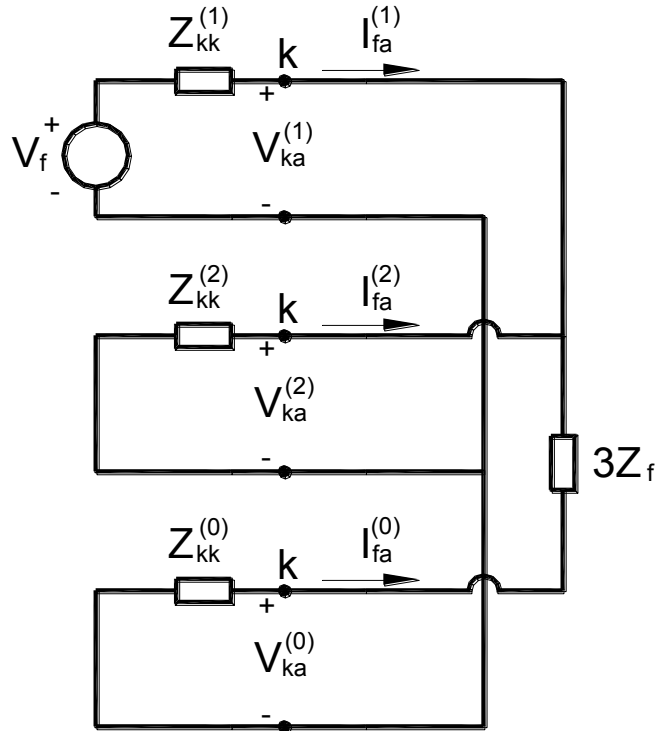
$$V_{ka}^{(0)} - 3Z_f I_{fa}^{(0)} = V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)} \quad (1.32)$$

$$I_{fa}^{(0)} + I_{fa}^{(1)} + I_{fa}^{(2)} = 0 \quad (1.33)$$

Από τις σχέσεις (1.32) και (1.33) γίνεται αντιληπτό ότι τα τρία δίκτυα ακολουθίας συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Τα δίκτυα θετικής και αρνητικής ακολουθίας συνδέονται απευθείας, ενώ το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας συνδέεται με τα δύο πρώτα μέσω της σύνθετης αντίστασης βραχυκύκλωσης $3Z_f$. Η συνδεσμολογία των ακολουθιακών κυκλωμάτων παρουσιάζεται στις Εικόνες 1.9 και 1.10.



Εικόνα 1.9: Συνδεσμολογία των δικτύων ακολουθίας για 2-φασικό σφάλμα προς γη.



Εικόνα 1.10: Συνδεσμολογία ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenin για 2-φασικό σφάλμα προς γη.

Από την συνδεσμολογία των ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenin προκύπτει:

$$I_{fa}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + \frac{Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}} = \frac{V_f(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (1.34)$$

Εφαρμόζοντας διαίρετες τάσης στα ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin μπορούν να υπολογισθούν τα ρεύματα μηδενικής και αρνητικής ακολουθίας ως εξής:

$$I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)} \frac{Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} = -\frac{V_f(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (1.35)$$

$$I_{fa}^{(0)} = -I_{fa}^{(1)} \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} = -\frac{V_f Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (1.36)$$

Τέλος, αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (1.35) και (1.36) στην σχέση (1.6) προκύπτουν οι ακολουθιακές τάσεις:

$$V_{ka}^{(0)} = -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (1.37)$$

$$V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)} = -Z_{kk}^{(2)} I_{fa}^{(2)} = V_f \frac{(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} (Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)} (Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (1.38)$$

Αν η σύνθετη αντίσταση σφάλματος είναι μηδενική τότε για τον υπολογισμό των ακολουθιακών τάσεων και ρευμάτων αντικαθιστούμε στις σχέσεις (1.35) έως (1.38) $Z_f = 0$, ενώ αν η αντίσταση σφάλματος είναι πολύ μεγάλη ($Z_f \rightarrow \infty$) τότε το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας ανοικτοκυκλώνεται και το σφάλμα περιγράφεται σαν τα 2-φασικά σφάλματος χωρίς γη.

1.2 Αρχές προστασίας υπερέντασης

1.2.1 Εισαγωγή

Ο βασικός εξοπλισμός προστασίας υπερέντασης που χρησιμοποιείται στα ΣΗΕ, αλλά και σε βιομηχανικά δίκτυα, είναι:

- διακόπτες ισχύος,
- ασφάλειες,
- διακόπτες αυτόματης επαναφοράς,
- ηλεκτρονόμοι υπερέντασης.

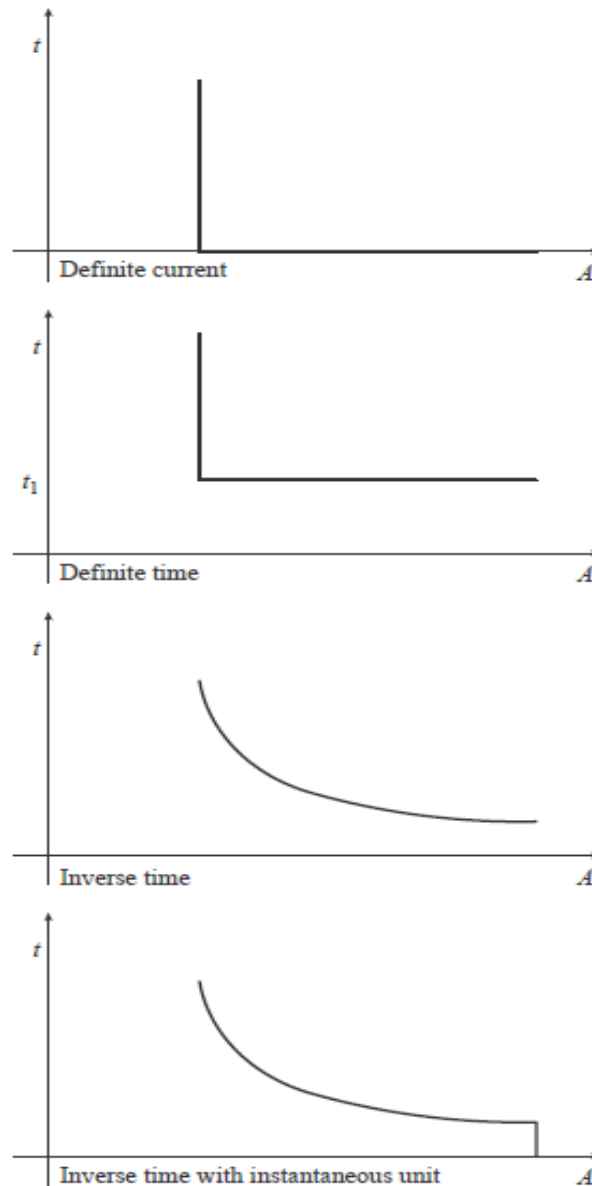
Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης είναι η πιο κοινή μορφή προστασίας η οποία χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων στα συστήματα ισχύος. Δεν πρέπει να τοποθετούνται σαν αποκλειστικό μέσω προστασίας συστημάτων ενάντια στις υπερφορτίσεις, καθώς η προστασία υπερέντασης πρέπει να δουλεύει μόνο υπό καταστάσεις σφαλμάτων. Ωστόσο, οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται τόσο οι υπερφορτίσεις σε κάποιο βαθμό όσο και οι καταστάσεις υπερέντασης.

1.2.2 Είδη ηλεκτρονόμων υπερέντασης

Με βάση τη χαρακτηριστική λειτουργίας τους, οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- σταθερού ρεύματος ή στιγμιαίοι (definite current or instantaneous),
- σταθερού χρόνου (definite time),
- αντιστρόφου χρόνου (inverse time).

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των τριών ειδών ηλεκτρονόμων υπερέντασης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.11, ενώ στο τελευταίο διάγραμμα απεικονίζεται ο συνδυασμός ενός στιγμιαίου στοιχείου με ένα αντιστρόφου χρόνου.



Εικόνα 1.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης.

1.2.2.1 Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης

Το συγκεκριμένο είδος ηλεκτρονόμου λειτουργεί ακαριαία όταν το ρεύμα υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή. Η ρύθμιση επιλέγεται έτσι ώστε, στον πιο απομακρυσμένο υποσταθμό από την πηγή, ο ηλεκτρονόμος να λειτουργήσει για χαμηλή τιμή ρεύματος, ενώ τα ρεύματα λειτουργίας του ηλεκτρονόμου αυξάνονται σταδιακά σε κάθε υποσταθμό καθώς κινούμαστε προς την πηγή. Έτσι, ο ηλεκτρονόμος με την χαμηλότερη ρύθμιση λειτουργεί 1^{ος} και αποσυνδέει τη γραμμή στο σημείο που είναι πιο κοντά στο σφάλμα. Αυτό το είδος

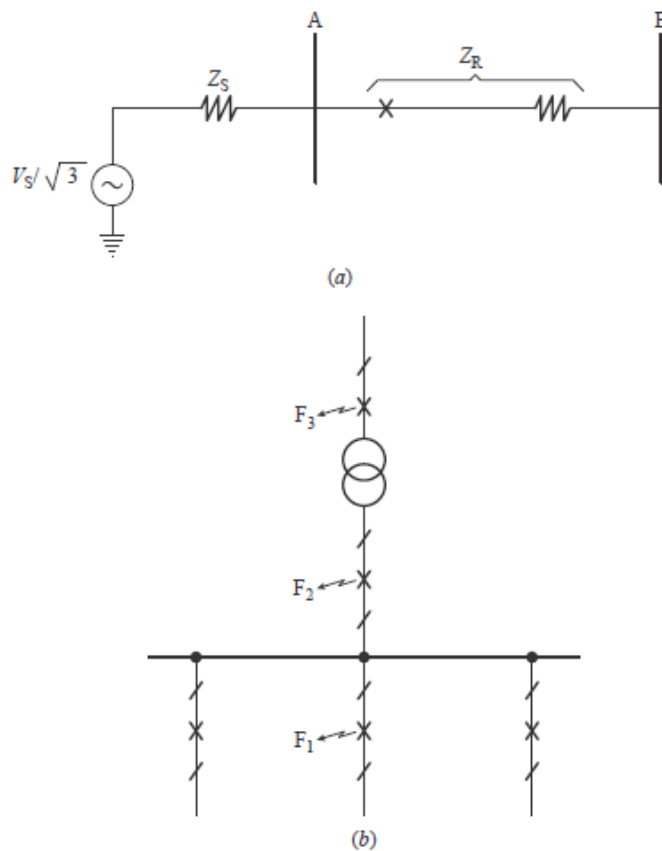
προστασίας έχει το μειονέκτημα ότι έχει μικρή επιλεκτικότητα σε μεγάλες τιμές ρεύματος βραχυκύκλωσης, και ότι δυσκολεύεται να διακρίνει το ρεύμα σφάλματος μεταξύ 2 σημείων όταν η σύνθετη αντίσταση μεταξύ τους είναι μικρή σε σχέση με την σύνθετη αντίσταση της πηγής.

Στο πρώτο σκέλος της Εικόνας 1.12 απεικονίζεται η επίδραση της σύνθετης αντίστασης της πηγής στο επίπεδο βραχυκύκλωσης του υποσταθμού και στο σφάλμα στο σημείο B. Η επίδραση αυτή γίνεται καλύτερα αντιληπτή με την χρήση των εξισώσεων (1.39) και (1.40).

$$I_{SC(A)} = \frac{V_S}{\sqrt{3}} \frac{1}{Z_S} \quad (1.39)$$

$$I_{SC(B)} = \frac{V_S}{\sqrt{3}} \frac{1}{Z_S + Z_R} \quad (1.40)$$

Από το δεύτερο σκέλος της Εικόνας 1.12 μπορεί να εκτιμηθεί ότι τα ρεύματα σφάλματος στα σημεία F₁ και F₂ είναι σχεδόν τα ίδια, και έτσι είναι δύσκολο να δοθούν σωστές ρυθμίσεις στους ηλεκτρονόμους. Όταν υπάρχει μια υπολογίσιμη σύνθετη αντίσταση μεταξύ των σημείων F₁ και F₂ τότε το ρεύμα σφάλματος στο F₁ θα είναι μικρότερο από εκείνο στο F₂. Παρόμοια, εξαιτίας της σύνθετης αντίστασης του μετασχηματιστή, θα υπάρχει μια υπολογίσιμη διαφορά στα ρεύματα σφάλματος μεταξύ των σημείων F₂ και F₃.



Εικόνα 1.12: Απεικόνιση των διαφορετικών επιπέδων ρεύματος σφάλματος.

Αν οι ρυθμίσεις της προστασίας βασίζονται στα μέγιστα επίπεδα σφάλματος, τότε αυτές οι ρυθμίσεις μπορεί να μην είναι κατάλληλες στην περίπτωση που το επίπεδο σφάλματος είναι χαμηλό. Ωστόσο, αν χρησιμοποιηθούν χαμηλές τιμές σφάλματος για τον υπολογισμό των ρυθμίσεων, τότε μπορεί να υπάρξει ανεπιθύμητη λειτουργία αν τα επίπεδα του ρεύματος σφάλματος αυξηθούν. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι δεν χρησιμοποιούνται μόνοι τους ως προστασία υπερέντασης, αλλά σε συνδυασμό με άλλους τύπους ηλεκτρονόμων.

1.2.2.2 Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης σταθερού χρόνου

Σε αυτό το είδος του ηλεκτρονόμου οι ρυθμίσεις κυμαίνονται προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα διαφορετικά επίπεδα ρεύματος με την χρήση διαφορετικών χρόνων λειτουργίας. Οι ρυθμίσεις μπορούν να τροποποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε ο διακόπτης ισχύος που είναι πιο κοντά στο σφάλμα να λειτουργήσει στο γρηγορότερο χρόνο, και έπειτα οι υπολειπόμενοι διακόπτες ισχύος να επενεργήσουν διαδοχικά με μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση, καθώς κινούμαστε προς την πηγή.

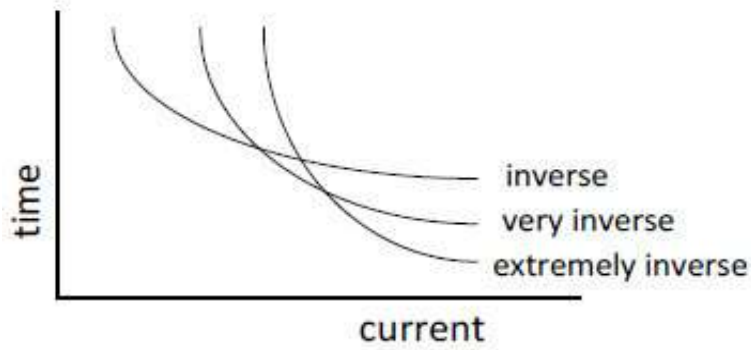
Εφόσον ο χρόνος λειτουργίας των ηλεκτρονόμων σταθερού χρόνου μπορεί να ρυθμιστεί σε σταθερά βήματα, η προστασία είναι περισσότερο επιλεκτική. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα σφάλματα τα οποία βρίσκονται κοντά στην πηγή, και τα οποία προκαλούν τεράστια ρεύματα, εκκαθαρίζονται σε σχετικά μεγάλο χρόνο. Αυτό το είδος ηλεκτρονόμου απαιτεί δύο ρυθμίσεις: το ρεύμα διέγερσης ή “pick-up current” που χρησιμεύει στην επιλογή της τιμής που ο ηλεκτρονόμος θα διεγείρεται, και το χρονική καθυστέρηση ή “time delay” που αποτελεί τον επιθυμητό χρόνο λειτουργίας του ηλεκτρονόμου.

1.2.2.3 Ηλεκτρονόμοι αντιστρόφου χρόνου

Η θεμελιώδης ιδιότητα των εν λόγω ηλεκτρονόμων είναι ότι λειτουργούν σε χρόνο αντιστρόφως ανάλογο με το ρεύμα σφάλματος όπως φαίνεται και στις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας. Το πλεονέκτημα σε σχέση με τους ηλεκτρονόμους σταθερού χρόνου είναι ότι σε πολύ μεγάλα ρεύματα οι ηλεκτρονόμοι αντιστρόφου χρόνου λειτουργούν σε πολύ μικρότερους χρόνους χωρίς να επηρεάζεται η επιλεκτικότητα της προστασίας.

Οι ηλεκτρονόμοι αντιστρόφου χρόνου συνήθως κατηγοριοποιούνται με βάση την χαρακτηριστική τους καμπύλη, η οποία υποδεικνύει την ταχύτητα λειτουργίας, όπως για παράδειγμα:

- αντιστρόφου χρόνου (Inverse),
- πολύ αντιστρόφου χρόνου (Very Inverse),
- εξαιρετικά αντιστρόφου χρόνου (Extremely Inverse).



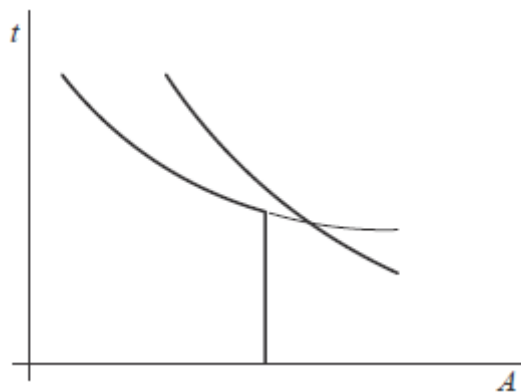
Εικόνα 1.13: Καμπύλες ηλεκτρονόμου αντιστρόφου χρόνου.

1.2.3 Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμων υπερέντασης

1.2.3.1 Ρύθμιση στιγμιαίων μονάδων

Οι στιγμιαίες μονάδες είναι πιο αποτελεσματικές όταν η σύνθετη αντίσταση του στοιχείου που προστατεύεται είναι μεγαλύτερη από την σύνθετη αντίσταση της πηγής, ενώ προσφέρουν δύο θεμελιώδη πλεονεκτήματα:

- Μειώνουν τον χρόνο λειτουργίας των ηλεκτρονόμων για πολύ μεγάλα σφάλματα.
- Δεν μειώνουν την επιλεκτικότητα των προστατευμένων συστημάτων που αποτελούνται από ηλεκτρονόμους με διαφορετικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 1.14: Διατήρηση της επιλεκτικότητας χρησιμοποιώντας στιγμιαίο στοιχείο.

Τα κριτήρια για την ρύθμιση στιγμιαίων μονάδων ποικίλουν και εξαρτώνται από την τοποθεσία και το είδος του προστατευόμενου εξοπλισμού. Ακολουθούν τρεις βασικές περιπτώσεις.

1. Γραμμές μεταξύ υποσταθμών

Η ρύθμιση των στιγμιαίων στοιχείων πραγματοποιείται στο 125% της rms τιμής του ρεύματος για το μέγιστο επίπεδο σφάλματος στον επόμενο υποσταθμό. Η διαδικασία πρέπει να ξεκινήσει από τον πιο απομακρυσμένο υποσταθμό, και να συνεχιστεί κινούμενοι προς την πηγή. Όταν οι χαρακτηριστικές δύο ηλεκτρονόμων τέμνονται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο σφάλματος είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί το στιγμιαίο στοιχείο του ηλεκτρονόμου για την αποφυγή απώλειας συνεργίας των ηλεκτρονόμων του συστήματος.

2. Γραμμές διανομής

Η ρύθμιση των στιγμιαίων στοιχείων των ηλεκτρονόμων στις γραμμές διανομής που τροφοδοτούν μετασχηματιστές Μ.Τ/Χ.Τ πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο από ότι στις γραμμές μεταξύ υποσταθμών. Τυπικά, η τιμή που συνήθως χρησιμοποιείται για την ρύθμιση είναι είτε το 50% του μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης στο σημείο σύνδεσης του μετασχηματιστή έντασης (ΜΕ) με τον ηλεκτρονόμο, είτε 6 – 10 φορές το ονομαστικό ρεύμα.

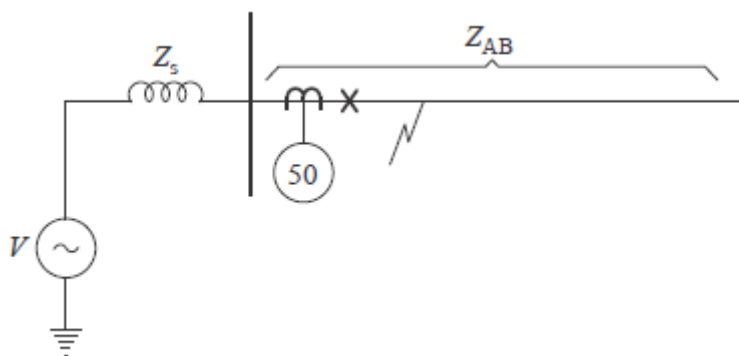
3. Μετασχηματιστές

Τα στιγμιαία στοιχεία των ηλεκτρονόμων υπέρ έντασης που τοποθετούνται στο πρωτεύον των μετασχηματιστών πρέπει να ρυθμιστούν σε μία τιμή μεταξύ 125% – 150% του ρεύματος βραχυκύκλωσης που εμφανίζεται στην πλευρά του δευτερεύοντος.

1.2.3.2 Κάλυψη στιγμιαίου στοιχείου

Το ποσοστό κάλυψης, X , ενός στιγμιαίου στοιχείου που προστατεύει μια γραμμή μπορεί να αναπαρασταθεί με τη χρήση της σχέσης (1.41) και του συστήματος της Εικόνας 1.15.

$$K_i = \frac{I_{pick-up}}{I_{end}} \qquad K_S = \frac{Z_{source}}{Z_{element}} \qquad (1.41)$$



Εικόνα 1.15: Κάλυψη του στιγμιαίου στοιχείου.

Έτσι προκύπτει:

$$I_{pick-up} = \frac{V}{Z_S + XZ_{ab}} \quad (1.42)$$

όπου:

V = η τάση στο σημείο που βρίσκεται ο μετασχηματιστής έντασης,

Z_S = η σύνθετη αντίστασης της πηγής,

Z_{ab} = η σύνθετη αντίσταση του στοιχείου που προστατεύεται,

X = ποσοστό κάλυψης της προστατευμένης γραμμής,

I_{end} = το ρεύμα στο τέλος της γραμμής,

$I_{pick-up}$ = η ελάχιστη τιμή ρεύματος που λειτουργεί ο ηλεκτρονόμος.

$$I_{end} = \frac{V}{Z_S + Z_{ab}} \quad (1.43)$$

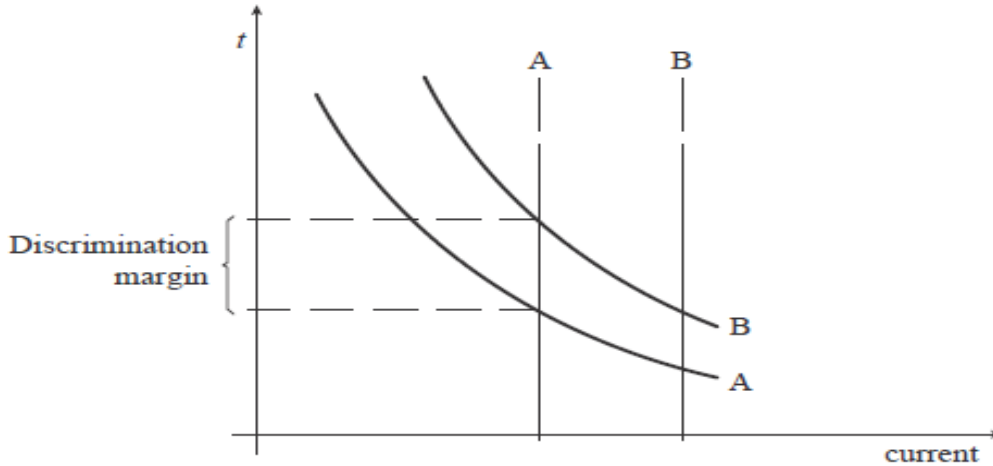
$$K_i = \frac{Z_S + Z_{ab}}{Z_S + XZ_{ab}} \rightarrow X = \frac{Z_S + Z_{ab} - Z_S K_i}{Z_{ab} K_i} \quad (1.44)$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1.44) την δεύτερη εξίσωση της σχέσης (1.41) έχουμε:

$$X = \frac{K_S(1 - K_i) + 1}{K_i} \quad (1.45)$$

1.2.3.3 Ρύθμιση των παραμέτρων των ηλεκτρονόμων υπερέντασης με χρονική καθυστέρηση

Ο χρόνος λειτουργίας ενός ηλεκτρονόμου υπερέντασης πρέπει να έχει ορισμένη χρονική καθυστέρηση προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι, κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος, ο ηλεκτρονόμος δεν θα λειτουργήσει πριν την πρωτεύουσα προστασία. Οι καμπύλες αντιστρόφου χρόνου δυο διαδοχικών ηλεκτρονόμων υπερέντασης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.16. Η εικόνα απεικονίζει τους διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας των 2 ηλεκτρονόμων για το ίδιο ρεύμα σφάλματος, ενώ ικανοποιείται και το όριο διακριτικότητας (discrimination margin). Κατ' επέκταση οι ηλεκτρονόμοι σταθερού και αντιστρόφου χρόνου μπορούν να τροποποιηθούν επιλέγοντας δύο παραμέτρους, την χρονική ρύθμιση (time dial) και την ρύθμιση ρεύματος διέγερσης (pick-up current).



Εικόνα 1.16: Καμπύλες αντιστρόφου χρόνου.

1. Pick-up current (PU)

Η ρύθμιση του PU χρησιμοποιείται για τον ορισμό του pick-up ρεύματος, δηλαδή των ρευμάτων σφάλματος που εντοπίζονται από τον ηλεκτρονόμο. Για τους φασικούς ηλεκτρονόμους, η ρύθμιση PU καθορίζεται αφήνοντας ένα περιθώριο για υπερφόρτιση πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, όπως παρουσιάζεται και στην ακόλουθη σχέση:

$$PU_{51P} = \frac{OLF \times I_{nom}}{CTR} \tag{1.46}$$

Όπου:

OLF = ένας δείκτης υπερφόρτισης που βασίζεται στο στοιχείο που προστατεύεται,

I_{nom} = ονομαστικό ρεύμα,

CTR = ο λόγος του ΜΕ.

Ο δείκτης υπερφόρτισης για κινητήρες συνήθως είναι 1.05. Για γραμμές, μετασχηματιστές και γεννήτριες είναι 1.25 – 1.5. Στα συστήματα διανομής όπου είναι πιθανόν να αυξηθεί η φόρτιση στους κλάδους υπό έκτακτες συνθήκες, ο δείκτης υπερφόρτισης είναι κοντά στο 2.

Για τους ηλεκτρονόμους υπερέντασης γης, η ρύθμιση PU καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη την μέγιστη ασυμμετρία που θα μπορούσε να εμφανιστεί στο σύστημα στην κανονική κατάσταση λειτουργίας. Έτσι, τυπική τιμή ρύθμισης είναι της τάξης του 20% του ονομαστικού ρεύματος:

$$PU_{51P} = \frac{0.2 \times I_{nom}}{CTR} \tag{1.47}$$

2. Time dial

Η ρύθμιση του time dial καθορίζει την χρονική καθυστέρηση μετά την οποία θα λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος, όταν το ρεύμα σφάλματος υπερβεί την τιμή της ρύθμισης PU. Τα κριτήρια και οι διαδικασίες για τον υπολογισμό του time dial, προκειμένου να επιτευχθεί η κατάλληλη προστασία και επιλογική συνεργασία των ηλεκτρονόμων, παρουσιάζονται παρακάτω. Αυτά τα κριτήρια εφαρμόζονται κυρίως στους ηλεκτρονόμους αντιστρόφου χρόνου, ωστόσο η ίδια μεθοδολογία είναι έγκυρη και για τους ηλεκτρονόμους σταθερού χρόνου. Έτσι έχουμε τα εξής:

- Καθορίζεται ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας t_1 του πιο απομακρυσμένου ηλεκτρονόμου από την πηγή χρησιμοποιώντας τη χαμηλότερη ρύθμιση time dial και λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο του ρεύματος σφάλματος για το οποίο ενεργοποιείται το ακαριαίο στοιχείο.
- Καθορίζεται ο χρόνος λειτουργίας του εφεδρικού ηλεκτρονόμου, $t_{2a} = t_1 + t_{margin}$, όπου t_{2a} είναι ο χρόνος λειτουργίας του και t_{margin} είναι το χρονικό περιθώριο ασφαλείας. Το επίπεδο του ρεύματος σφάλματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό είναι το ίδιο με εκείνο για τον καθορισμό του t_1 .
- Γνωρίζοντας τον χρόνο t_{2a} και την ρύθμιση PU του ηλεκτρονόμου 2 υπολογίζεται η ρύθμιση time dial για τον ηλεκτρονόμο 2. Χρησιμοποιείται η πλησιέστερη διαθέσιμη τιμή της ρύθμισης time dial.
- Καθορίζεται ο χρόνος λειτουργίας t_{2b} για τον ηλεκτρονόμο 2 για ρεύμα ίσο με τη ρύθμιση του ακαριαίου στοιχείου του.
- Συνεχίζεται η ίδια διαδικασία, κινούμενοι προς την πηγή.

3. Χρονικό περιθώριο ασφαλείας

Το χρονικό περιθώριο ασφαλείας μεταξύ δύο χαρακτηριστικών καμπυλών είναι της τάξης των 0.25 – 0.4 s. Αυτή η τιμή εξασφαλίζει την επιλογική συνεργασία των συσκευών προστασίας και προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους ακόλουθους παράγοντες:

- χρόνος διακοπής,
- διακυμάνσεις των επιπέδων του ρεύματος σφάλματος.
- σφάλματα των μετασχηματιστών έντασης.
- σφάλματα των ηλεκτρονόμων κ.α.

4. Μαθηματική έκφραση χαρακτηριστικών λειτουργίας

Τα πρότυπα IEC και ANSI/IEEE ορίζουν τον χαρακτηριστική λειτουργίας των στοιχείων υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου με την ακόλουθη μαθηματική έκφραση:

$$t = \frac{k\beta}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^a - 1} + L \quad (1.48)$$

όπου:

t = ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου,

k = η ρύθμιση time dial,

I = το ρεύμα σφάλματος σε ampere δευτερεύοντος,

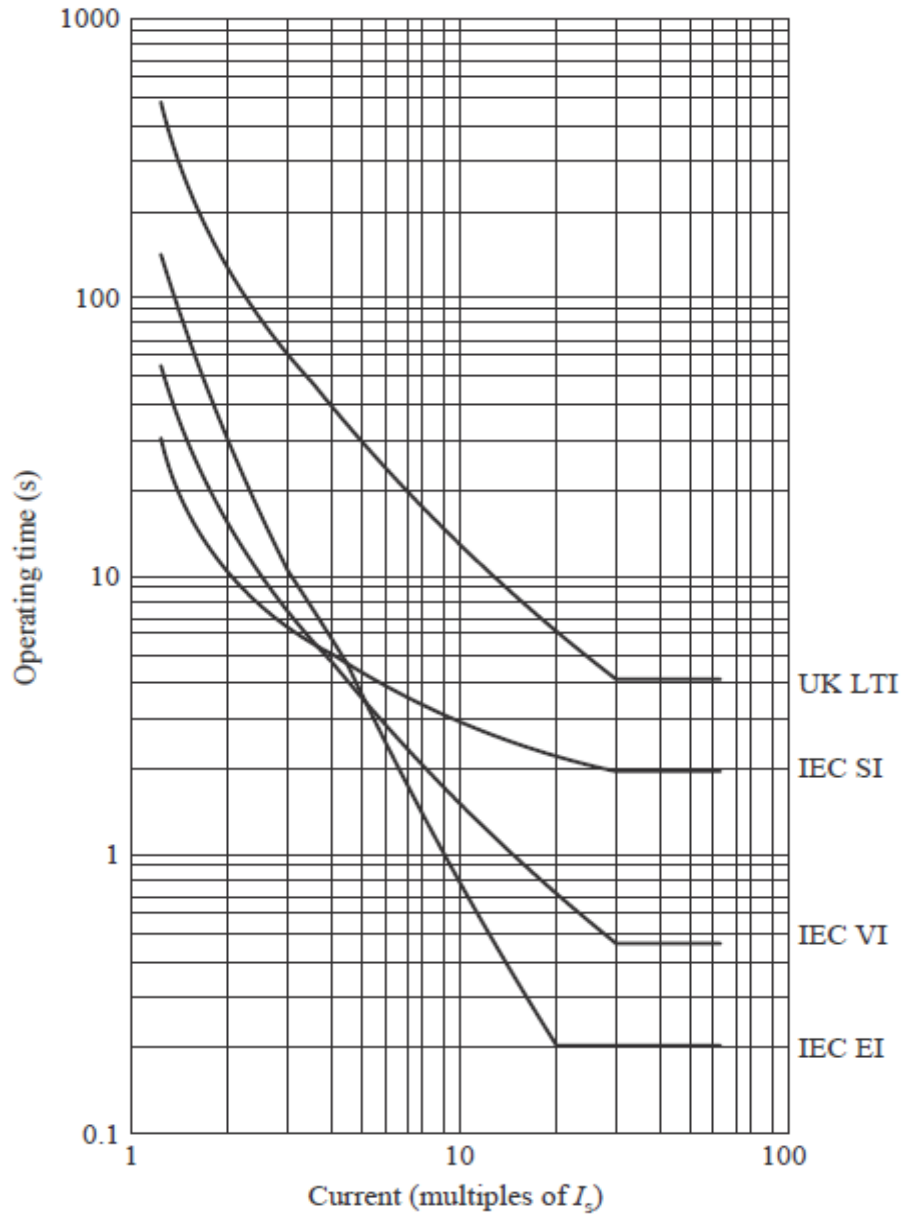
I_S = η ρύθμιση PU,

α, β, L = σταθερές.

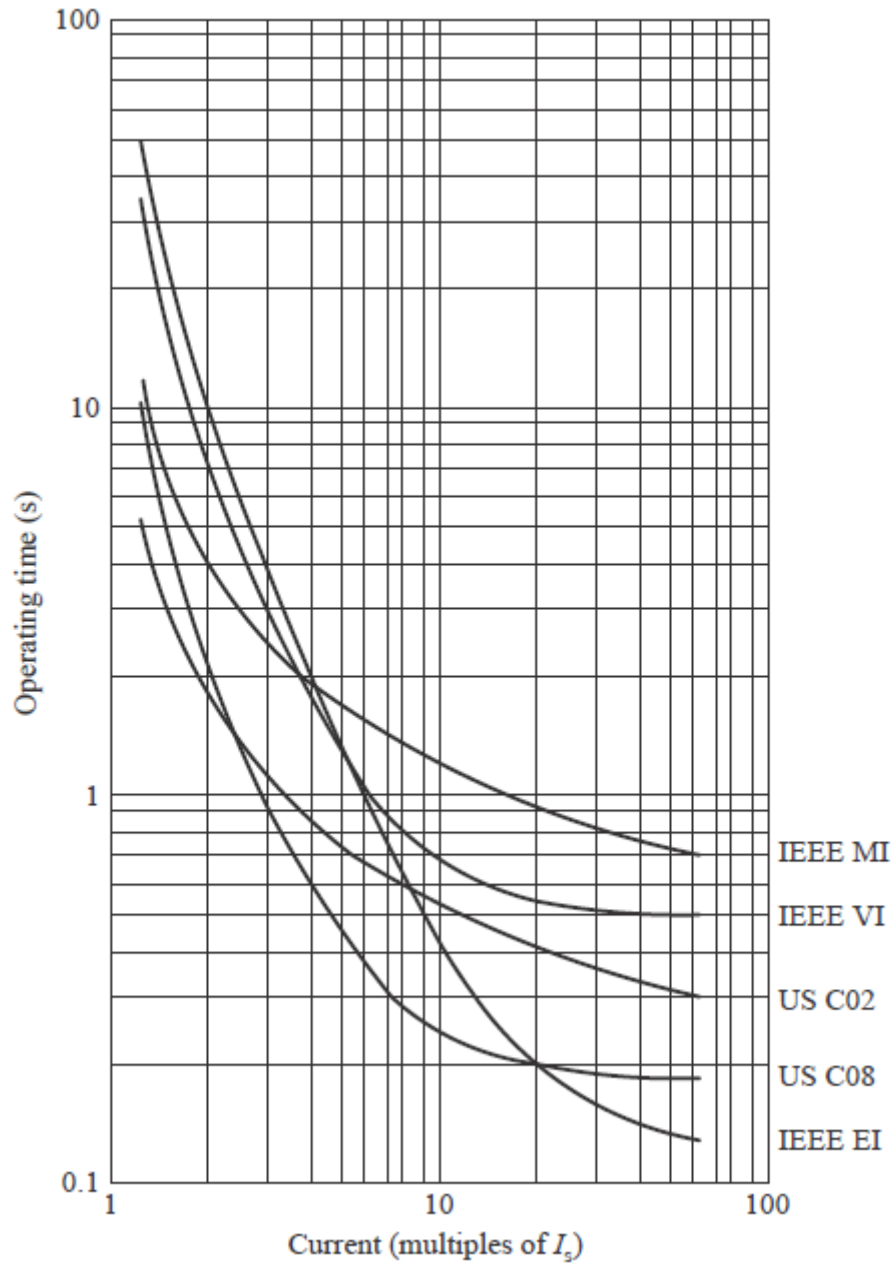
Οι σταθερές α, β και L καθορίζουν την κλίση της χαρακτηριστικής του ηλεκτρονόμου και δίνονται στον Πίνακα 1.1 ανάλογα με το είδος της καμπύλης αντιστρόφου χρόνου, ενώ τυπικές χαρακτηριστικές σύμφωνα με τα πρότυπα IEC και ANSI/IEEE παρουσιάζονται στις Εικόνες 1.17 και 1.18.

Πίνακας 1.1: Σταθερές για ηλεκτρονόμους υπερέντασης.

Είδος καμπύλης	Πρότυπο	α	β	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



Εικόνα 1.17: Καμπύλες ηλεκτρονόμων υπερέντασης με βάση το πρότυπο της IEC.



Εικόνα 1.18: Καμπύλες ηλεκτρονόμων υπερέντασης με βάση το πρότυπο της ANSI/IEEE.

1.3 Ανασκόπηση μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης σε δίκτυα διανομής για διάφορα είδη γείωσης

1.3.1 Εισαγωγή

Η τιμή του ρεύματος ενός σφάλματος προς γη εξαρτάται από την μέθοδο γείωσης του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δίκτυα με απευθείας γείωση (solid grounding) και γείωση μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης (low impedance grounding) μπορεί να παρουσιάσουν υψηλά επίπεδα ρευμάτων σφάλματος, τα οποία απαιτούν το άνοιγμα της γραμμής προκειμένου να εκκαθαριστεί το σφάλμα. Η πιο διαδεδομένη λύση για την προστασία από σφάλματα γης είναι οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης γης με στοιχείο κατεύθυνσης. Παρόλα αυτά, η ανίχνευση υψηλής αντίστασης σφαλμάτων προς γη είναι δύσκολη σε δίκτυα τεσσάρων αγωγών με γείωση σε πολλά σημεία (multigrounded four-wire systems) στα οποία ο ηλεκτρονόμος μετράει το ρεύμα σφάλματος σε συνδυασμό με το ασύμμετρο ρεύμα κανονικής κατάστασης.

Τα αγείωτα συστήματα (ungrounded systems) δεν συνδέονται άμεσα με το έδαφος της γης. Έτσι, το ρεύμα ενός 1-φασικού σφάλματος προς γη ρέει διαμέσου της κατανεμημένης χωρητικότητας μεταξύ γραμμής και εδάφους, καθώς και μέσω των 2 υγιών φάσεων του εσφαλμένου κυκλώματος.

Στα συντονισμένα (resonant-grounded or compensated) δίκτυα διανομής το σύστημα είναι γειωμένο μέσω μιας μεταβλητής αντίδρασης η οποία συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή ισχύος ΥΤ/ΜΤ. Αυτή η αντίδραση αντισταθμίζει την χωρητικότητα μεταξύ γραμμής και εδάφους του συστήματος, έτσι ώστε το μονοπάτι μηδενικής ακολουθίας να αποκτήσει πολύ υψηλή αντίσταση. Η αντίδραση, γνωστή και ως πηνίο Petersen, επιτρέπει την ρύθμιση της επαγωγής προκειμένου να διατηρηθεί η αντιστάθμιση αυτή για διάφορες τοπολογίες δικτύου.

Η συντονισμένη γείωση προσφέρει εξάλειψη του τόξου σφάλματος σε εναέριες γραμμές για το 80% των προσωρινών σφαλμάτων προς γη. Δεδομένου ότι περίπου 80% των σφαλμάτων προς γη είναι προσωρινά, καταλήγουμε ότι πάνω από το 60% των σφαλμάτων προς γη σε εναέριες γραμμές απαλείφονται χωρίς το άνοιγμα του διακόπτη. Τα υψηλής αντίστασης γειωμένα συστήματα (high-impedance grounded systems) γειώνονται μέσω μιας αντίστασης ή αντίδρασης, η τιμή της οποίας είναι ίση ή ελάχιστα μικρότερη από τη συνολική χωρητικότητα του συστήματος ως προς το έδαφος.

Επειδή τα σφάλματα προς γη σε αγείωτα, σε γειωμένα μέσω υψηλής αντίστασης και σε συντονισμένα συστήματα δεν επηρεάζουν το τρίγωνο πολικών τάσεων, είναι δυνατή η αδιάλειπτη λειτουργία τους ακόμα και σε κατάσταση σφάλματος. Βέβαια, το σύστημα πρέπει να έχει υψηλή στάθμη μόνωσης και όλα τα φορτία να είναι συνδεδεμένα μεταξύ φάσεων.

Οι ηλεκτρονόμοι γης για τέτοια συστήματα πρέπει να είναι υψηλής ευαισθησίας επειδή τα ρεύματα σφάλματος είναι ιδιαίτερα μικρά σε σύγκριση με εκείνα στα συστήματα με άμεση γείωση. Οι κοινές μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων προς γη χρησιμοποιούν συνιστώσες τάσης και ρεύματος θεμελιώδους συχνότητας. Η βαρομετρική μέθοδος (varmetric method) είναι η

παραδοσιακή λύση για την ανίχνευση σφαλμάτων προς γη σε αγείωτα συστήματα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συστήματα γειωμένα μέσω υψηλής αντίστασης. Αντίθετα, η βαττομετρική μέθοδος (wattmetric method) είναι ένα κοινό στοιχείο κατεύθυνσης το οποίο προσφέρει λύση για τα συντονισμένα συστήματα, αλλά η ευαισθησία της περιορίζεται σε σφάλματα με αντίσταση μερικών kΩ. Η βαττομετρική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα γειωμένα μέσω υψηλής αντίστασης και σε αγείωτα συστήματα.

1.3.2 Μέθοδοι γείωσης δικτύων διανομής μέσης τάσης

Ο βασικός στόχος της γείωσης ενός συστήματος είναι η ελαχιστοποίηση της καταπόνησης του εξοπλισμού, η παροχή ασφάλειας στο προσωπικό, η μείωση των παρεμβολών από επικοινωνιακά συστήματα και η διευκόλυνση στη γρήγορη ανίχνευση και εκκαθάριση των σφαλμάτων προς γη.

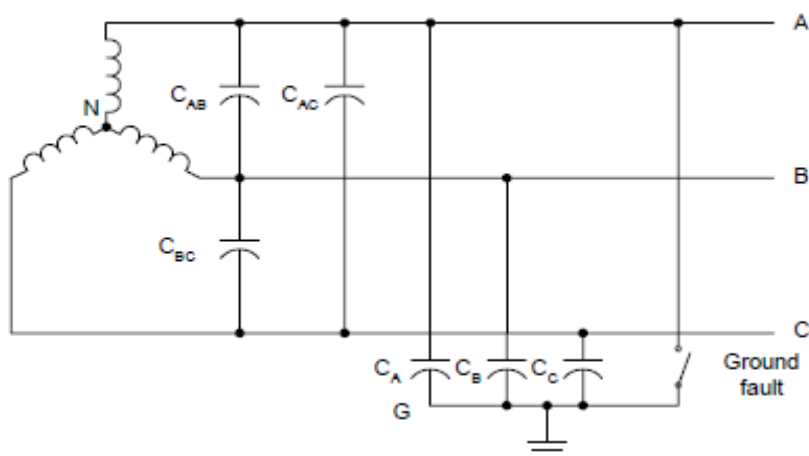
Με εξαίρεση της καταπόνηση από υπερτάσεις, η λειτουργία ενός συστήματος ως αγείωτο, γειωμένο μέσω υψηλής ωμικής αντίστασης, ή με συντονισμένη γείωση περιορίζει την τιμή του ρεύματος σφάλματος και επιτυγχάνει τους περισσότερους από τους στόχους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το μειονέκτημα αυτών των μεθόδων γείωσης είναι ότι δυσκολεύουν τον εντοπισμό των σφαλμάτων.

Μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα γείωσης το οποίο να μειώνει την καταπόνηση από υπερτάσεις, με τίμημα το μεγάλο ρεύμα σφάλματος. Ωστόσο, σε ένα τέτοια σύστημα το κύκλωμα το οποίο έχει υποστεί το σφάλμα πρέπει να τεθεί άμεσα εκτός λειτουργίας για να αποφευχθεί η καταστροφή του εξοπλισμού λόγω θερμικής καταπόνησης, η παρεμβολές επικοινωνιακών δικτύων και να διατηρηθεί η ανθρώπινη ασφάλεια. Το μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι πρέπει να διακοπεί η λειτουργία ακόμα και για προσωρινά σφάλματα.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων γείωσης που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης, ενώ στον Πίνακα 1.2 συνοψίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των μεθόδων.

1.3.2.1 Αγείωτα συστήματα

Σε ένα αγείωτο σύστημα, ο ουδέτερος κόμβος δεν συνδέεται άμεσα με την γη: το σύστημα συνδέεται με την γη μέσω της χωρητικότητας μεταξύ γραμμής και εδάφους. Ένα 1-φασικό σφάλμα προς γη μετατοπίζει το διάγραμμα φασικών τάσεων του συστήματος, αλλά αφήνει αναλλοίωτο το τρίγωνο πολικών τάσεων. Παράδειγμα αγείωτου συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.19.



Εικόνα 1.19: Αγείωτο σύστημα.

Σε τέτοιου είδους συστήματα, οι 2 βασικοί παράγοντες που περιορίζουν το μέτρο του ρεύματος σφάλματος είναι η χωρητικότητα μεταξύ γραμμής και εδάφους του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας και η αντίσταση σφάλματος. Επειδή το τρίγωνο τάσεων παραμένει σχεδόν ανέπαφο, τέτοιου είδους συστήματα μπορούν να παραμείνουν σε λειτουργία κατά την διάρκεια μόνιμων σφαλμάτων με χαμηλή τιμή ρεύματος.

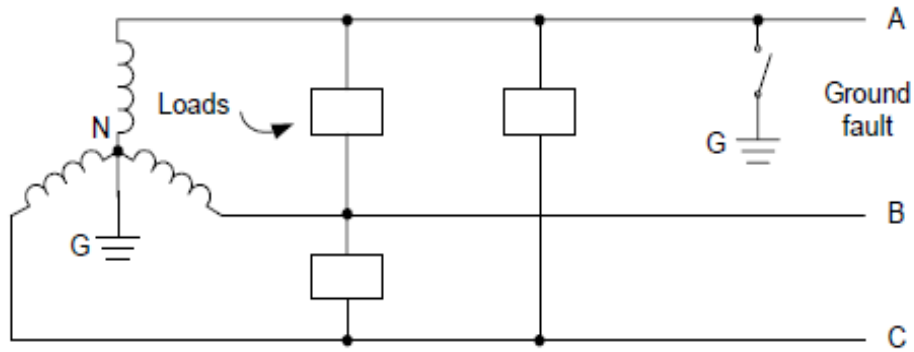
Ηλεκτρονόμοι τάσης μηδενικής ακολουθίας μπορούν να ανιχνεύσουν τα σφάλματα προς γη σε αγείωτα συστήματα. Αυτή η μέθοδος όμως δεν είναι επιλεκτική και απαιτεί συνεχόμενες αποσυνδέσεις ή απομόνωση όλων των κλάδων προκειμένου να προσδιορισθεί ο κλάδος που έχει υποστεί το σφάλμα. Ένα ευαίσθητο βαρομετρικό στοιχείο γης με κατεύθυνση είναι συνήθως μια εναλλακτική λύση αντί των συνεχόμενων αποσυνδέσεων.

1.3.2.2 Άμεσα γειωμένα συστήματα

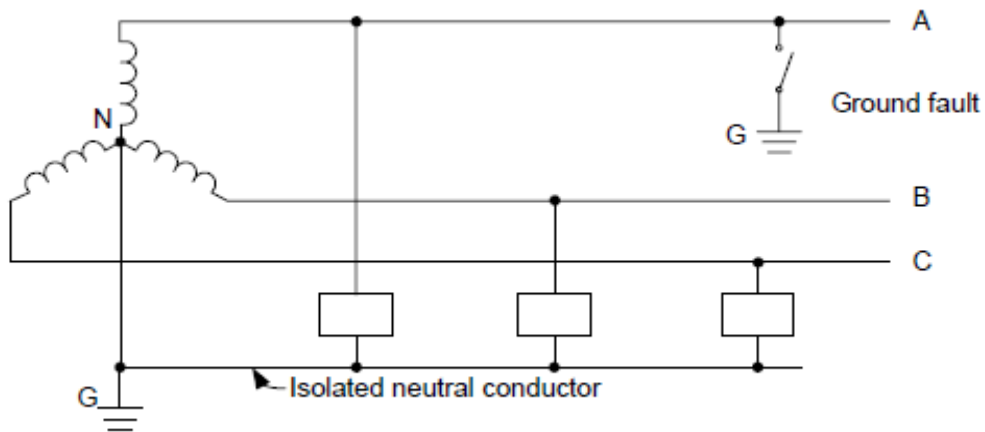
Η άμεση γείωση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις Η.Π.Α. Για να θεωρηθεί ένα σύστημα ως άμεσα γειωμένο πρέπει να ισχύει: $X_0/X_1 \leq 3$ και $R_0/X_1 \leq 1$, όπου X_0 και R_0 είναι η αντίδραση και η αντίσταση του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας, αντίστοιχα, ενώ X_1 είναι η αντίδραση του κυκλώματος θετικής ακολουθίας. Πρακτικά, τα συστήματα με άμεση γείωση έχουν όλους τους ουδέτερους κόμβους συνδεδεμένους στη γη χωρίς να παρεμβάλλεται αντίσταση μεταξύ του ουδέτερου και της γης.

Υπάρχουν 2 διαφορετικές πρακτικές εφαρμογές της άμεσης γείωσης στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης: με μοναδικό ή με πολλά σημεία γείωσης. Στα συστήματα με μοναδικό σημείο γείωσης μπορεί να υπάρχουν 3 αγωγοί με όλα τα φορτία συνδεδεμένα μεταξύ των φάσεων όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.20, ή 4 αγωγοί με το ένα να αποτελεί τον ουδέτερο και όλα τα φορτία συνδεδεμένα μεταξύ μιας φάσης και του ουδέτερου όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.21. Στην τελευταία εφαρμογή, το ασύμμετρο ρεύμα των φορτίων επιστρέφει μέσω του ουδέτερου, ενώ το ρεύμα σφάλματος επιστρέφει μέσω της γης στον ουδέτερο κόμβο του υποσταθμού. Στα συστήματα 4 αγωγών και γείωση σε πολλά σημεία τα φορτία είναι

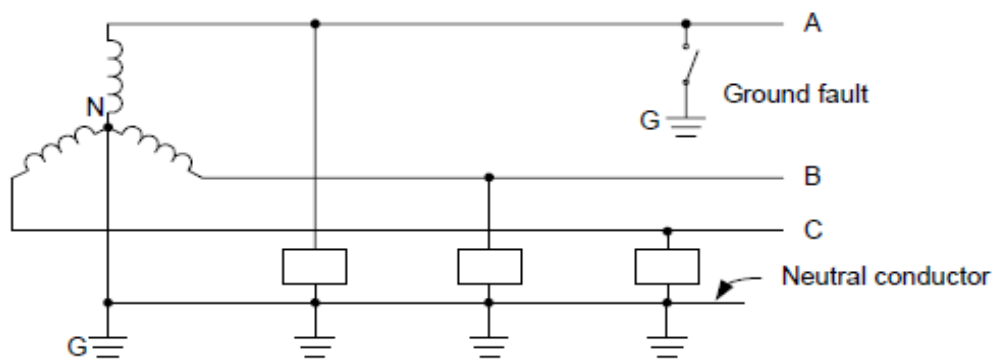
συνδεδεμένα μεταξύ φάσης και ουδέτερου (Εικόνα 1.22), ενώ το σύστημα είναι γειωμένο στον υποσταθμό και σε κάθε σημείο που υπάρχει μετασχηματιστής κατά μήκος του δικτύου.



Εικόνα 1.20: Σύστημα 3 αγωγών με γείωση σε μοναδικό σημείο.



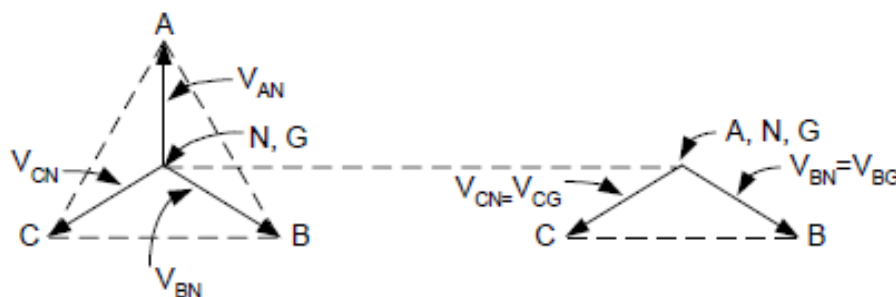
Εικόνα 1.21: Σύστημα 4 αγωγών με γείωση σε μοναδικό σημείο.



Εικόνα 1.22: Σύστημα 4 αγωγών με γείωση σε πολλά σημεία.

Τα σφάλματα προς γη σε τέτοια συστήματα μπορεί να προκαλέσουν ρεύματα μεγάλης τιμής, τα οποία απαιτούν άνοιγμα ολόκληρου του κυκλώματος και διακοπή του φορτίου προς πολλούς καταναλωτές. Περίπου το 80% των σφαλμάτων προς γη που παρουσιάζονται σε εναέριες γραμμές διανομής είναι μεταβατικά. Για αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται ευρέως πτώση και αυτόματη επαναφορά του διακόπτη, το οποίο όμως μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στους καταναλωτές με μεγάλα περιστρεφόμενα φορτία ή με φορτία τα οποία δεν αντέχουν τις βυθίσεις τάσης.

Η άμεση γείωση μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο των υπερτάσεων κατά την διάρκεια ενός σφάλματος προς γη. Αυτά τα σφάλματα δεν μετατοπίζουν τον ουδέτερο του συστήματος όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.23, με αποτέλεσμα το σύστημα να μην απαιτεί τόσο μεγάλο επίπεδο μόνωσης όπως απαιτεί ένα αγείωτο σύστημα. Τα συστήματα μεταφοράς είναι σε όλο τον κόσμο άμεσης γείωσης, ενώ σε πολλές χώρες χρησιμοποιείται η άμεση γείωση και σε συστήματα διανομής.



Εικόνα 1.23: Διανύσματα τάσεων για κανονική κατάσταση και για σφάλμα προς γη.

Η πιο συνηθισμένη προστασία για σφάλματα γης στα συστήματα με άμεση γείωση αποτελείται από ηλεκτρονόμους υπερέντασης με και χωρίς στοιχείο κατεύθυνσης. Η ανίχνευση σφαλμάτων με υψηλή αντίσταση σε δίκτυα 4 αγωγών είναι δύσκολη για τους ηλεκτρονόμους χωρίς στοιχείο κατεύθυνσης καθώς πρέπει να τεθεί η διέγερσή τους πάνω από το αναμενόμενο ρεύμα ασυμμετρίας. Η επιλογική συνεργασία με ασφάλειες είναι ένας ακόμα περιοριστικός παράγοντας όσον αφορά την ευαισθησία της προστασίας, με αποτέλεσμα πολύ πεσμένοι αγωγοί στο έδαφος να μην ανιχνεύονται και να τροφοδοτούνται για σημαντικό χρονικό διάστημα.

1.3.2.3 Γειωμένα συστήματα μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης

Σε αυτό το είδος γείωσης το σύστημα είναι γειωμένο μέσω μιας χαμηλής ωμικής αντίστασης ή αντίδρασης με σκοπό τον περιορισμό των ρευμάτων από τα σφάλματα προς γη. Ο περιορισμός του μέτρου του ρεύματος σφάλματος σε μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες amperes έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμικής καταπόνησης του εξοπλισμού, το οποίο με την σειρά του επιτρέπει την αγορά λιγότερο ακριβών διακοπών. Αυτή η μέθοδος γείωσης είναι ισοδύναμη με την άμεση γείωση σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένου και των μεθόδων προστασίας για σφάλματα προς γη.

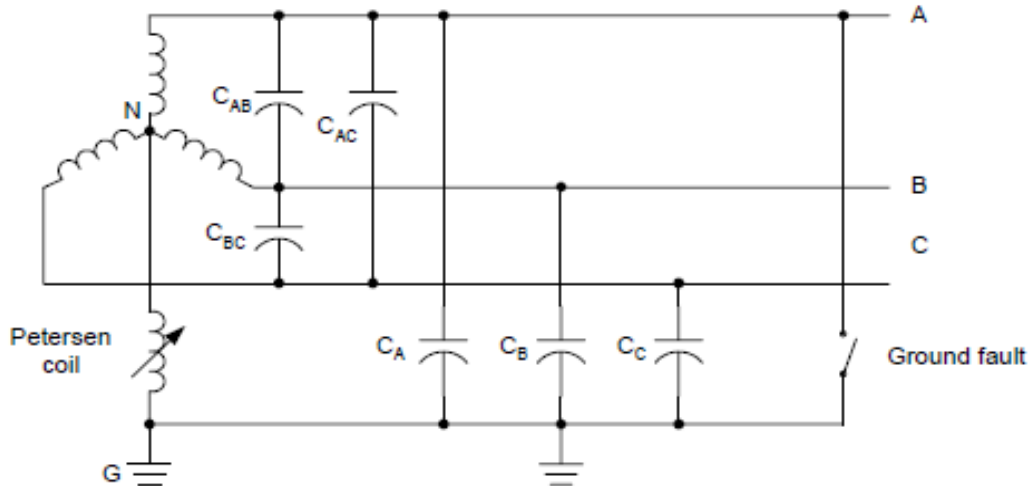
1.3.2.4 Γειωμένα συστήματα μέσω υψηλής ωμικής αντίστασης

Σε αυτή την μέθοδο το σύστημα είναι γειωμένο μέσω μιας υψηλής ωμικής αντίστασης ή αντίδρασης της οποίας η τιμή είναι ίση ή ελάχιστα μικρότερη από τη συνολική χωρητικότητα του συστήματος ως προς το έδαφος. Αυτή η μέθοδος περιορίζει το ρεύμα σφάλματος γης σε λιγότερο από 25 A, ενώ επιπλέον περιορίζει τις μεταβατικές υπερτάσεις κατά την διάρκεια του σφάλματος προς γη σε ασφαλείς τιμές. Η αντίσταση γείωσης μπορεί να συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο ενός μετασχηματιστή (ισχύος ή γείωσης), μιας γεννήτριας, ή κατά μήκος της σύνδεσης ανοιχτού τριγώνου σε ειδικές περιπτώσεις.

Μη επιλεκτική ανίχνευση σφαλμάτων είναι εφικτή χρησιμοποιώντας την ομοπολική τάση και συγκρίνοντας τη με ένα κατώφλι υπέρτασης, ή μετρώντας της φασική τάση όλων των φάσεων και συγκρίνοντας το μέτρο της κάθε μιας με ένα κατώφλι υπότασης. Για να βρεθεί ο κλάδος που έχει υποστεί το σφάλμα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ευαίσθητα στοιχεία κατεύθυνσης μηδενικής ακολουθίας ή να αποσυνδεθούν όλοι οι κλάδοι προκειμένου να διευκρινιστεί τότε η τάσης μηδενικής ακολουθίας πέφτει σε φυσιολογικά επίπεδα. Το παραδοσιακό στοιχείο κατεύθυνσης είναι βαττομετρικού τύπου, το οποίο αποκρίνεται στο ενεργό ρεύμα μηδενικής ακολουθίας σε σχέση με την τάση μηδενικής ακολουθίας. Για συστήματα γειωμένα μέσω αντίδρασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν βαρομετρικά στοιχεία κατεύθυνσης τα οποία αποκρίνονται στο άεργο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας.

1.3.2.5 Συντονισμένη γείωση

Σε αυτή την μέθοδο γείωσης, το σύστημα είναι γειωμένο μέσω αντίδρασης υψηλής τιμής, η οποία είναι ιδανικά συντονισμένη σε σχέση με την συνολική χωρητικότητα του συστήματος (Εικόνα 1.24). Η μεταβλητή αντίδραση ονομάζεται πηνίο Petersen. Το πηνίο αυτό είναι τυπικά συνδεδεμένο στο ουδέτερο κόμβο του μετασχηματιστή διανομής ή σε έναν μετασχηματιστή γείωσης συνδεσμολογίας zigzag. Συστήματα με τέτοιου είδους γείωση αναφέρονται συνήθως ως “συντονισμένα συστήματα”. Όταν η χωρητικότητα του συστήματος ισοδυναμεί με την επαγωγή του πηνίου τότε το σύστημα είναι πλήρως συντονισμένο. Αν η επαγωγή δεν ισοδυναμεί με την χωρητικότητα του συστήματος τότε το σύστημα μπορεί να είναι υπερ-ή υποαντισταθισμένο ανάλογα με την σχέση επαγωγής και χωρητικότητας.



Εικόνα 1.24: Συντονισμένο σύστημα.

Παλαιότερα δίκτυα χρησιμοποιούν μια χαμηλού κόστους σταθερή αντίδραση. Σε αυτά τα συστήματα η κατάσταση συντονισμού αλλάζει με την διαμόρφωση του δικτύου διανομής. Αντιδράσεις που μεταβάλλονται με την χρήση taps επιτρέπουν τον χειροκίνητο ή τον αυτόματο έλεγχο της κατάστασης συντονισμού, ενώ τα σύγχρονα δίκτυα περιλαμβάνουν αντιδράσεις με κινούμενο πυρήνα οι οποίες είναι εξοπλισμένες με σύστημα ελέγχου που παρέχει 100% συντονισμό για όλες τις λειτουργικές καταστάσεις του δικτύου.

Η συντονισμένη γείωση σε ένα σύστημα μπορεί να μειώσει το ρεύμα σφάλματος προς γη στο 3% με 10% του αντίστοιχου ρεύματος σε ένα αγείωτο σύστημα. Για 100% συντονισμό, οι ενεργές απώλειες του πηνίου, οι αρμονικές του συστήματος και το ρεύμα διαρροής του συστήματος καθορίζουν το μέτρο του ρεύματος σφάλματος. Στις μεθόδους αντιστάθμισης εγχέεται ένα ρεύμα μέσω της αντίδρασης στο σύστημα κατά την διάρκεια του σφάλματος, με αποτέλεσμα την μείωση του ρεύματος σφάλματος σχεδόν σε μηδέν.

Δίκτυα διανομής που απομονώνουν τις γραμμές σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος συνήθως ανιχνεύουν το σφάλμα μετρώντας την τάση μηδενικής ακολουθίας και εν συνεχεία αυτόματα αλλάζουν την κατάσταση γείωσης του συστήματος. Αυτή η λειτουργία εναλλαγής της κατάστασης έχει σκοπό την ενίσχυση της ευαισθησίας της προστασίας σε σφάλματα προς γη, ενώ έχει μια σκόπιμη καθυστέρηση μερικών δευτερολέπτων προκειμένου να επιτρέψει στο συντονισμένο σύστημα να εξαλείψει το τόξο του προσωρινού σφάλματος. Η καθυστέρηση αυτή ορίζεται από την θερμική απόδοση του πηνίου Petersen. Σε μερικά συστήματα, η τακτική είναι να παρακαμφθεί η αντίδραση με ένα μονοπολικό διακόπτη. Μια ακόμη εναλλακτική τακτική είναι η σύνδεση μιας αντίστασης παράλληλα με το πηνίο Petersen ή σε ένα βοηθητικό τύλιγμα του πηνίου Petersen. Το πρόβλημα με αυτές τις μεθόδους είναι ότι η σύνδεση της αντίστασης μειώνει την τάση μηδενικής ακολουθίας χωρίς απαραίτητα να αυξάνει σημαντικά την τιμή του ρεύματος μηδενικής ακολουθίας, με αποτέλεσμα η αύξηση της ευαισθησίας για την ανίχνευση του σφάλματος τελικά να μειώσει την ευαισθησία του βαττομετρικού στοιχείου κατεύθυνσης.

Πίνακας 1.2 χαρακτηριστικά μεθόδων γείωσης.

Issues	Grounding Method					
	Isolated Neutral	Solid Grounding (Uni-grounding)	Solid Grounding (Multi-grounding)	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-phase	Phase-phase (3 wires) and phase-neutral (4 wires)	Phase-phase and phase-ground	Phase-phase	Phase-phase	Phase-phase
Required Insulation Level	Phase-phase	Phase-neutral	Phase-neutral	Phase-neutral	Phase-phase	Phase-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 Communication Lines	Average	High	High	High	Low	Lowest
Ground Fault Protection Sensitivity	Average	Good	Bad	Good	Average	Average

1.3.3 Στοιχεία κατεύθυνσης για σφάλματα γης σε άμεσα και μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης γειωμένα συστήματα

Τα σύγχρονα συστήματα διανομής μετατρέπονται όλο και περισσότερο σε βροχοειδή με πολλές πηγές ισχύος, καθώς η διεσπαρμένη παραγωγή έχει αυξηθεί και οι βρόχοι είναι απαραίτητοι στο επίπεδο της διανομής για να βελτιωθεί η αξιοπιστία τροφοδότησης των κρίσιμων φορτίων.

Τα σφάλματα προς γη στα άμεσα και μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης γειωμένα συστήματα μπορεί να δημιουργήσουν ρεύματα υψηλής τιμής, τα οποία απαιτούν άνοιγμα του κυκλώματος. Η προστασία σε αυτά τα συστήματα από σφάλματα προς γη πραγματοποιείται από στοιχεία κατεύθυνσης.

Οι κλασικοί ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης εδάφους ή (Ground Directional Relays, GDRs) αποκρίνονται είτε σε ποσότητες αρνητικής είτε θετικής ακολουθίας. Για τα κλασικά GDRs πρέπει να επιλεγθεί ποία ακολουθιακή ποσότητα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για κάθε εφαρμογή και για κάθε λειτουργική κατάσταση συστήματος. Όταν επιλεγθεί το είδος του GDR με τις κατάλληλες ποσότητες πόλωσης και λειτουργίας, τότε τα κλασικά GDRs χρησιμοποιούν αυτές τις ποσότητες συνεχώς. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του ηλεκτρονόμου αν μεταβληθεί η λειτουργική κατάσταση του συστήματος.

Ένα καινούργιο GDR, ωστόσο, μπορεί να επιλέξει τις κατάλληλες ακολουθιακές ποσότητες για χρήση ανάλογα με την κατάσταση του συστήματος. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιήσει κατευθυντικό στοιχείο αρνητικής ακολουθίας για ένα σφάλμα και μηδενικής ακολουθίας για ένα άλλο.

Τα σύγχρονα GDRs αποτελούνται από ένα συνδυασμό 3 στοιχείων κατεύθυνσης:

- Μηδενικής ακολουθίας με πόλωση ρεύματος (32I),
- Αρνητικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32Q),
- Μηδενικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32V).

1.3.3.1 Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος (32I)

Το στοιχείο 32I είναι ένα κλασικό στοιχείο κατεύθυνσης που πολώνεται με το διάνυσμα ρεύματος. Οι αναλογικές εισοδοι αυτού του στοιχείου είναι η ποσότητα λειτουργίας, $3I_0$, και η ποσότητα πόλωσης, I_{POL} . Το στοιχείο 32I υπολογίζει μια ροπή βασιζόμενο στο μέτρο και στην σχετική γωνία των αναλογικών εισόδων (εξίσωση 1.49), και εν συνεχεία συγκρίνει το αποτέλεσμα με ένα κατώφλι. Αν η ροπή T είναι θετική και μεγαλύτερη από το θετικό κατώφλι, τότε το στοιχείο αντιλαμβάνεται σφάλμα προς γη εμπρός του. Αντίθετα, αν η ροπή

Τ είναι αρνητική και χαμηλότερη από ένα αρνητικό κατώφλι, τότε το στοιχείο αντιλαμβάνεται σφάλμα προς γη πίσω του.

$$T = |I_{POL}| \cdot |3I_0| \cdot \cos(\angle I_{POL} - \angle 3I_0) \quad (1.49)$$

Όπου:

I_{POL} : Ποσότητα πόλωσης,

$3I_0$: Ποσότητα λειτουργίας: $3I_0 = I_A + I_B + I_C$.

Όλα τα αξιόπιστα στοιχεία κατεύθυνσης χρειάζονται επίβλεψη. Συνεπώς, το στοιχείο 32I ενεργοποιείται όταν όλα τα ακόλουθα είναι αληθή:

- Το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας, I_0 , είναι μεγαλύτερο a_0 φορές από το ρεύμα θετικής ακολουθίας, I_1 ($I_0 > a_0 \cdot I_1$). Ο συντελεστής a_0 αυξάνει την ασφάλεια του 32I στοιχείου.
- Η ποσότητα λειτουργίας, $3I_0$, είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι του 50G.
- Η ποσότητα πόλωσης, I_{POL} , είναι μεγαλύτερη από το προκαθορισμένο κατώφλι.
- Η λογική μεταβλητή E32IV παίρνει την τιμή '1'.

1.3.3.2 Στοιχείο κατεύθυνσης αρνητικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32Q)

Οι αναλογικές είσοδοι αυτού του στοιχείου είναι η τάση αρνητικής ακολουθίας, V_2 , και το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας, I_2 . Το στοιχείο 32Q υπολογίζει την σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας, $Z2$, σύμφωνα με την εξίσωση (1.50). Αν η $Z2$ είναι μικρότερη από το κατώφλι $Z2F$ τότε το στοιχείο αντιλαμβάνεται σφάλμα εμπρός του, ενώ αν η $Z2$ είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι $Z2R$ τότε αντιλαμβάνεται σφάλμα πίσω του.

$$Z2 = \frac{\text{Re}[V_2 \cdot (1 \angle \theta_{L2} \cdot I_2)^*]}{|I_2|^2} \quad (1.50)$$

Όπου:

V_2 : Η τάση αρνητικής ακολουθίας $V_2 = (V_A + a^2 \cdot V_B + a \cdot V_C)/3$,

I_2 : Το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας $I_2 = (I_A + a^2 \cdot I_B + a \cdot I_C)/3$,

θ_{L2} : Η γωνία της σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας της γραμμής.

Το στοιχείο 32Q ενεργοποιείται όταν όλα τα ακόλουθα είναι αληθή:

- Το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας, I_2 , είναι μεγαλύτερο k φορές από το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας, I_0 ($I_2 > k \cdot I_0$).

- Το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας, I_2 , είναι μεγαλύτερο a_2 φορές από το ρεύμα θετικής ακολουθίας, I_1 ($I_2 > a_2 \cdot I_1$). Ο συντελεστής a_2 αυξάνει την ασφάλεια του 32Q στοιχείου.
- Το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας, $3I_2$, είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι ευαισθησίας 50F ή 50R.

1.3.3.3 Στοιχείο κατεύθυνσης μηδενικής ακολουθίας με πόλωση τάσης (32V)

Το στοιχείο 32V είναι ανάλογο στοιχείο με το 32Q μόνο που αφορά το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας. Ο υπολογισμός της σύνθετης αντίστασης Z_0 παρουσιάζεται στην εξίσωση (1.51), ενώ ο τρόπος που αντιλαμβάνεται την κατεύθυνση ενός σφάλματος είναι ο ίδιος με το 32Q.

$$Z_0 = \frac{Re[3V_0 \cdot (1 \angle \theta_{L0} \cdot 3I_0)^*]}{|I_0|^2} \quad (1.51)$$

Όπου:

V_0 : Η τάση μηδενικής ακολουθίας $V_0 = (V_A + V_B + V_C)/3$,

I_0 : Το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας $I_0 = (I_A + I_B + I_C)/3$,

θ_{L0} : Η γωνία της σύνθετης αντίστασης μηδενικής ακολουθίας της γραμμής.

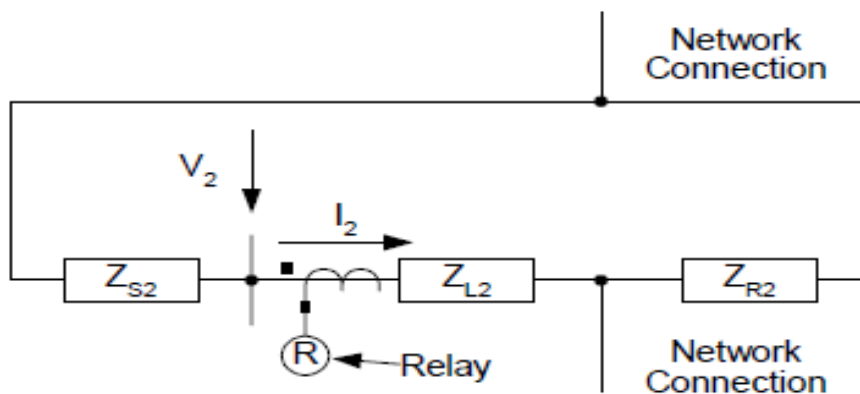
Το στοιχείο 32V ενεργοποιείται όταν όλα τα ακόλουθα είναι αληθή:

- Το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας, I_0 , είναι μεγαλύτερο a_0 φορές από το ρεύμα θετικής ακολουθίας, I_1 ($I_2 > k \cdot I_0$).
- Το ρεύμα $3I_0$ είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι ευαισθησίας 50F ή 50R.
- Η λογική μεταβλητή E32IV παίρνει την τιμή '1'.

Το GDR χρησιμοποιεί την κατάσταση των 32IE, 32QE και 32VE στη λογική προτεραιότητας για να επιλέξει το βέλτιστο στοιχείο σε κάθε περίπτωση.

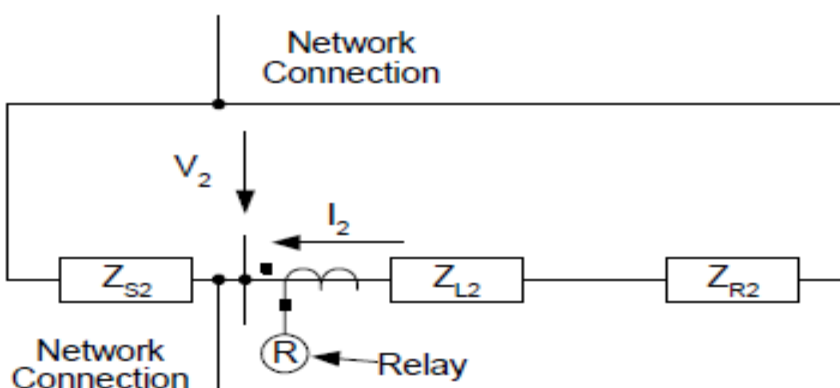
1.3.3.4 Η λειτουργία των στοιχείων 32Q και 32V για σφάλματα προς γη

Ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία 32Q και 32V ορίζουν την κατεύθυνση ενός βραχυκυκλώματος είναι παρόμοιος. Στην παρούσα ενότητα θα εξεταστεί η λειτουργία του στοιχείου 32Q σε ένα σύστημα 2 πηγών. Στη Εικόνα 1.25 φαίνεται η τάση αρνητικής ακολουθίας, V_2 , και το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας, I_2 , για σφάλμα προς γη σε ένα απομακρυσμένο ζυγό. Παρατηρείται ότι το ρεύμα ρέει προς το σημείο πόλωσης του ΜΕ, άρα στην τοποθεσία του ηλεκτρονόμου ισχύει $V_2 = -I_2 \cdot Z_{S2}$. Εάν οι γωνίες των σύνθετων αντιστάσεων Z_{S2} και Z_{L2} είναι ίδιες τότε $Z_2 = -|Z_{S2}|$.



Εικόνα 1.25: Ρεύμα και τάση αρνητικής ακολουθίας για σφάλμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο.

Στην Εικόνα 1.26 παρουσιάζονται το ρεύμα και η τάση αρνητικής ακολουθίας για σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο. Η πολικότητα της τάσης V_2 είναι ίδια όπως και για το μπροστινό σφάλμα. Για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο, το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας I_2 ρέει από το σημείο πόλωσης του ΜΕ, έτσι στην τοποθεσία του ηλεκτρονόμου ισχύει $V_2 = I_2 \cdot (Z_{L2} + Z_{R2})$. Εάν οι γωνίες των σύνθετων αντιστάσεων $Z_{L2} + Z_{R2}$ και Z_{L2} είναι ίσες, τότε $Z2 = |Z_{L2} + Z_{R2}|$.

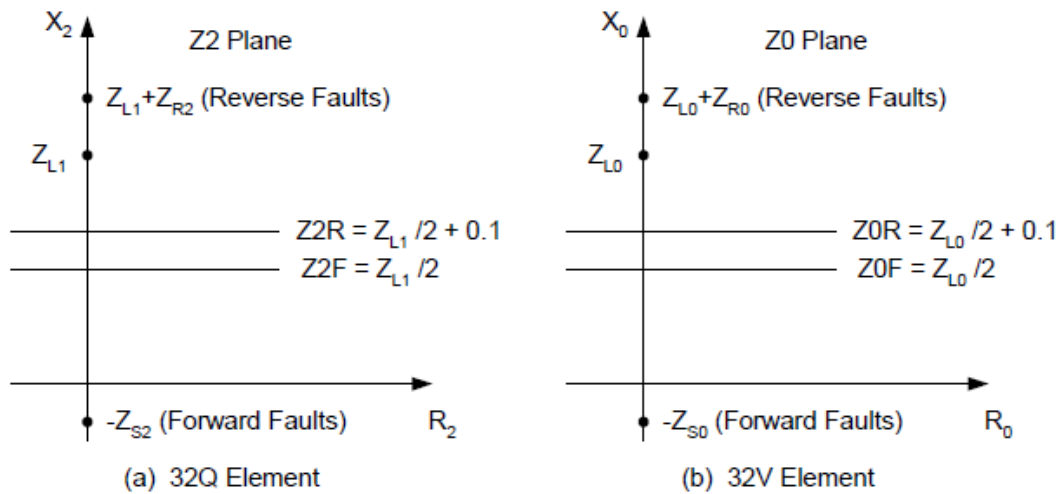


Εικόνα 1.26: Ρεύμα και τάση αρνητικής ακολουθίας για σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο.

Ύστερα από τους υπολογισμούς της σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας, $Z2$, και για τις δύο περιπτώσεις κατεύθυνσης, ο ηλεκτρονόμος καθορίζει την κατεύθυνση του σφάλματος. Το κατώφλι $Z2F$ πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο αποτέλεσμα της $Z2$ για σφάλματα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο ($Z2F > Z2$). Αντίστοιχα, το κατώφλι $Z2R$ πρέπει να είναι μικρότερο από το ελάχιστο αποτέλεσμα της $Z2$ για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο ($Z2R < Z2$).

Το στοιχείο 32V κάνει αντίστοιχη σύγκριση της $Z0$ με τα αντίστοιχα όρια $Z0F$ και $Z0R$. Στην Εικόνα 1.27 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των δύο στοιχείων. Ένα από τα πλεονεκτήματα των στοιχείων 32Q και 32V είναι ότι η ευαισθησία τους δεν εξαρτάται από το μέτρο της τάσης στο σημείο εγκατάστασης του ηλεκτρονόμου, συνεπώς τα εν λόγω στοιχεία

μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ ισχυρά συστήματα όπου τα μέτρα των V_2 , V_0 είναι ιδιαίτερα μικρά.



Εικόνα 1.27: Χαρακτηριστικές λειτουργία των στοιχείων 32Q και 32V.

1.3.3.5 Βέλτιστη επιλογή στοιχείου κατεύθυνσης

Καθένα από τα τρία στοιχεία κατεύθυνσης 32I, 32Q και 32V έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με την κατάσταση του εκάστοτε συστήματος. Ο ηλεκτρονόμος επιλέγει το βέλτιστο στοιχείο για την ισχύουσα λειτουργική κατάσταση του συστήματος, σύμφωνα με μια προτεραιότητα λειτουργίας και με την βοήθεια των μεταβλητών 32IE, 32QE και 32VE.

Μια ρύθμιση η οποία ονομάζεται ORDER χρησιμοποιεί τις προαναφερθέντες μεταβλητές για τον καθορισμό της προτεραιότητας. Αναθέτει τα στοιχεία 32I, 32Q και 32V σε αυτές τις μεταβλητές σύμφωνα με την επιθυμητή σειρά. Για παράδειγμα, η ρύθμιση ORDER = 32IE, 32QE, 32VE θέτει πρώτο το 32I, δεύτερο το 32Q και τελευταίο το 32V.

Με αυτή την προτεραιότητα λειτουργίας ο ηλεκτρονόμος χρησιμοποιεί το 32I όταν τα I_{POL} και I_0 υπερβαίνουν τις ρυθμίσεις κατώφλιου. Εάν τα ρεύματα αυτά είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα κατώφλια, τότε η λογική μεταβλητή 32IE δεν παίρνει την τιμή '1'. Ο ηλεκτρονόμος στην συνέχεια πηγαίνει στο στοιχείο 32Q και ελέγχει την κατάσταση της μεταβλητής 32QE. Εάν η 32QE δε λάβει την τιμή '1', ο ηλεκτρονόμος ελέγχει την κατάσταση της μεταβλητής 32VE.

Με την διαδικασία της αυτόματης ρύθμισης, ο GDR παρέχει ρυθμίσεις για τα στοιχεία 32Q και 32V, χαρακτηριστικό το οποίο απλοποιεί την διαδικασία ρύθμισης του ηλεκτρονόμου.

1.3.4 Ανάλυση αγείωτων συστημάτων διανομής

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει ανάλυση της συμπεριφοράς της μόνιμης κατάστασης των αγείωτων συστημάτων τόσο στο πεδίο φάσης, όσο και στο πεδίο των συμμετρικών συνιστωσών.

1.3.4.1 Τριφασική ανάλυση

Στην Εικόνα 1.28 αναπαριστάται ένα απλοποιημένο αγείωτο σύστημα διανομής. Η τοποθεσία εγκατάστασης του ηλεκτρονόμου καθορίζει την προστατευμένη γραμμή, ενώ όλες οι υπόλοιπες γραμμές έχουν συγκεντρωθεί σε μία ισοδύναμη η οποία παρουσιάζεται σαν το “υπολειπόμενο σύστημα διανομής”. Για απλοποίηση στην ανάλυση μόνιμης κατάστασης θεωρείται ότι οι πηγές λειτουργούν στην ονομαστική συχνότητα, δεν υπάρχουν φορτία και αγνοούνται οι αντιστάσεις και οι επαγωγές των γραμμών. Η παράβλεψη των φορτίων προϋποθέτει ότι όλα τα φορτία του συστήματος είναι συνδεδεμένα μεταξύ των φάσεων και κατά επέκταση δεν δημιουργούν ασυμμετρίες μηδενικής ακολουθίας. Αυτές οι υποθέσεις δεν εισάγουν σημαντικό σφάλμα στα αποτελέσματα ενώ απλοποιούν σημαντικά τους υπολογισμούς.

Στην εικόνα 1.28 οι C_{AL} , C_{BL} και C_{CL} αναπαριστούν τις χωρητικότητες μεταξύ γραμμής και γης της προστατευμένης γραμμής, ενώ οι C_{AS} , C_{BS} και C_{CS} είναι οι χωρητικότητες του υπόλοιπου δικτύου. Χρησιμοποιώντας το δίκτυο της Εικόνας 1.28 έχουμε:

$$\vec{I}_{AL} + \vec{I}_{BL} + \vec{I}_{CL} + \vec{I}_{AS} + \vec{I}_{BS} + \vec{I}_{CS} = \mathbf{0} \quad (1.52)$$

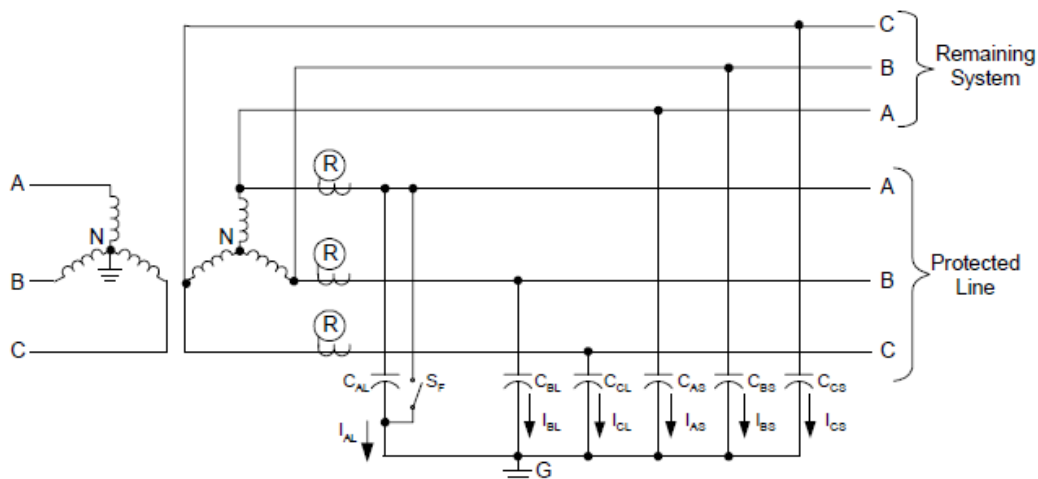
Ο ηλεκτρονόμος μετράει το ρεύμα $3I_{OL}$ της προστατευόμενης γραμμής. Έτσι από την εξίσωση (1.52) ισχύει:

$$3\vec{I}_{OL} = \vec{I}_{AL} + \vec{I}_{BL} + \vec{I}_{CL} = -(\vec{I}_{AS} + \vec{I}_{BS} + \vec{I}_{CS}) \quad (1.53)$$

Με το κλείσιμο του διακόπτη S_F αναπαριστάται η εμφάνιση ενός μονοφασικού σφάλματος εμπρός του ηλεκτρονόμου. Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα σφάλματος I_F ισούται με I_{AL} :

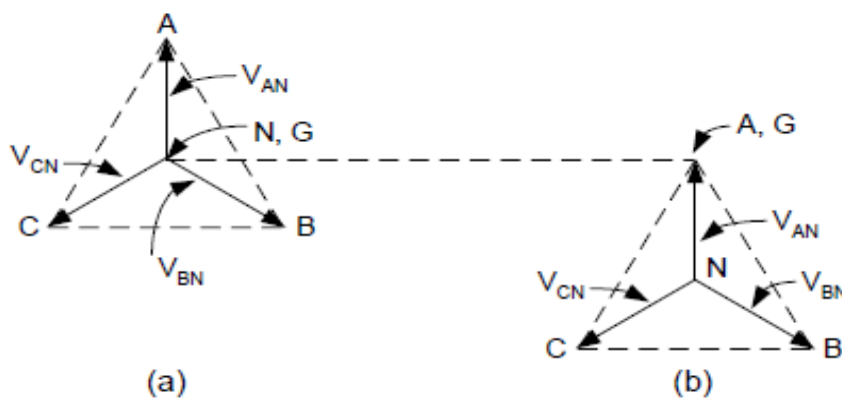
$$I_F = \vec{I}_{AL} = -(\vec{I}_{BL} + \vec{I}_{CL} + \vec{I}_{AS} + \vec{I}_{BS} + \vec{I}_{CS}) \quad (1.54)$$

Από την εξίσωση (1.54) παρατηρείται ότι το ρεύμα το οποίο μετράται από τον ηλεκτρονόμο είναι στην πραγματικότητα το ρεύμα το οποίο τροφοδοτείται από υπόλοιπο σύστημα. Επιπλέον, η εξίσωση παρουσιάζει ότι αν η προστατευόμενη γραμμή ήταν ο μοναδικός κλάδος συνδεδεμένος στο ζυγό, τότε το ρεύμα που θα μετριόταν από τον ηλεκτρονόμο θα ήταν ίσο με 0. Η ανίχνευση του σφάλματος προς γη επιτυγχάνεται με ένα απλό στοιχείο υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας.



Εικόνα 1.28: Απλοποιημένη αναπαράσταση αγείωτου συστήματος διανομής.

Σε ένα συμμετρικό σύστημα χωρίς σφάλμα το ομοπολικό ρεύμα της προστατευμένης γραμμής είναι 0, ενώ ο ουδέτερο κόμβος N του συστήματος βρίσκεται σε μηδενικό δυναμικό, $V_{NG} = 0$. Οι φυσικές ασυμμετρίες του συστήματος παράγουν ρεύματα και μετατοπίζουν τον ουδέτερο κόμβο του συστήματος από την ιδανική θέση του μηδενικού δυναμικού. Τα φασικά διαγράμματα του συστήματος, για την περίπτωση υγιούς λειτουργίας και μονοφασικού σφάλματος, αντίστοιχα, παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.29.



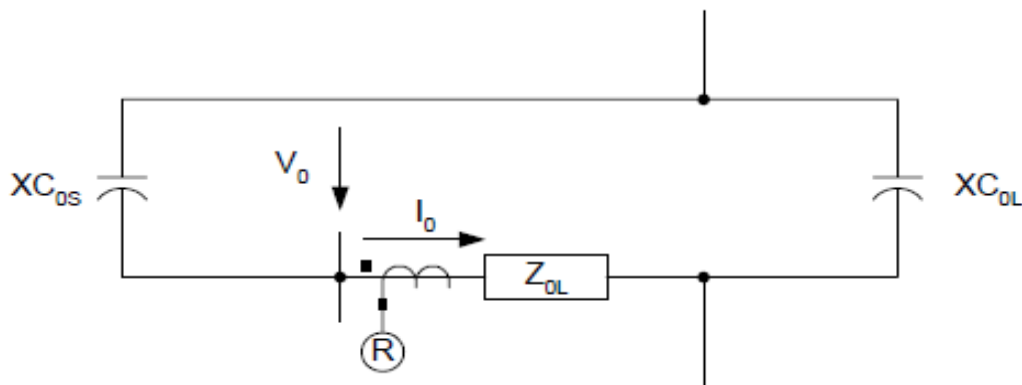
Εικόνα 1.29: Φασικά διαγράμματα του συστήματος.

Για ένα σφάλμα προς γη στην φάση A του συστήματος, με $R_F = 0$, και χωρίς απώλειες, το δυναμικό της φάσης A και της γης έχουν ίδια τιμή. Η φασική τάση των δύο εναπομεινάντων φάσεων ισοδυναμεί με την πολική τάση ($V_{BG} = V_{BA}$, $V_{CG} = V_{CA}$) και η τάση του ουδέτερου προς τη γη έχει τιμή ίση με $V_{NG} = -V_{AN}$.

1.3.4.2 Ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών

Η τριφασική ανάλυση παρέχει μια ακριβή αναπαράσταση του αγείωτου συστήματος, η οποία είναι έγκυρη ακόμα και για ασύμμετρα συστήματα. Ωστόσο, οι μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων προς γη βασίζονται στις ποσότητες μηδενικής ακολουθίας. Έτσι είναι σημαντικό να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών για το αγείωτο σύστημα σε λειτουργία μόνιμης κατάστασης.

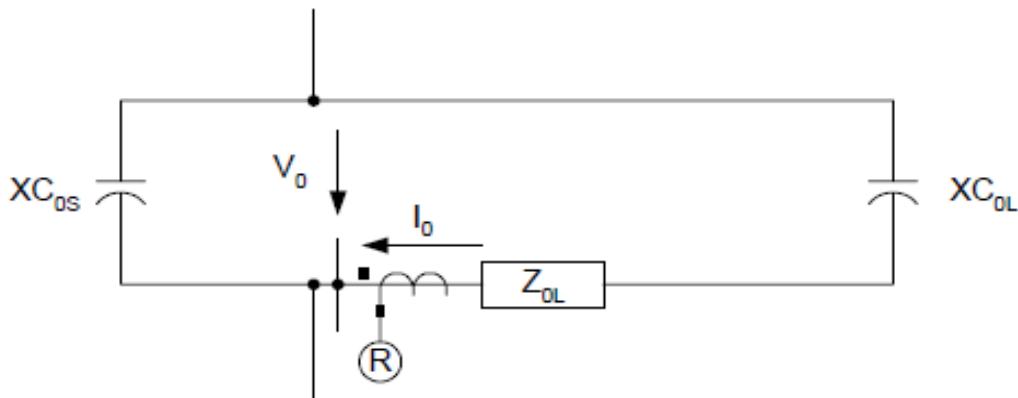
Η σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας ενός αγείωτου συστήματος έχει πολύ μεγάλο μέτρο. Αυτή η υψηλή τιμή δίνει την δυνατότητα να αγνοηθούν οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής και αρνητικής ακολουθίας χωρίς σημαντική απώλεια ακρίβειας στον υπολογισμό μονοφασικών σφαλμάτων προς γη. Στη Εικόνα 1.30 παρουσιάζεται το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας (του συστήματος που μελετήθηκε παραπάνω) για ένα σφάλμα προς γη εμπρός του ηλεκτρονόμου. Γίνεται η υπόθεση ότι το σύστημα είναι συμμετρικό ($C_{AL} = C_{BL} = C_{CL} = C_L$, $C_{AS} = C_{BS} = C_{CS} = C_S$) και ότι η τάση Thevenin (η προ σφάλματος τάση στο σημείο του σφάλματος) είναι ίση με την ονομαστική φασική τάση του συστήματος, V_{nom} .



Εικόνα 1.30: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα γης εμπρός του ηλεκτρονόμου.

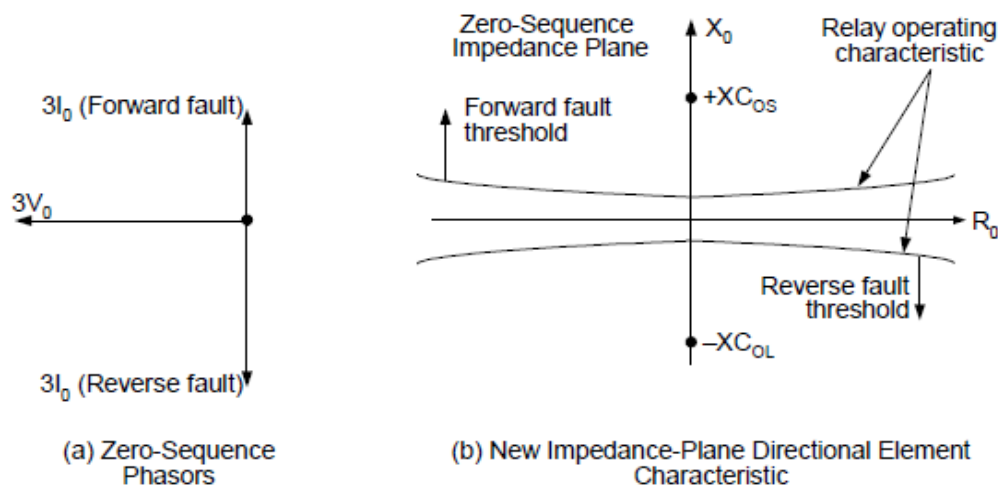
Παρατηρείται στην Εικόνα 1.30 ότι ο ηλεκτρονόμος μετράει την τάση V_0 κατά μήκος της XC_{0S} και το ρεύμα I_0 διαμέσου της XC_{0S} , όπου XC_{0S} είναι η χωρητικότητα μηδενικής ακολουθίας του υπόλοιπου συστήματος. Το ρεύμα I_0 ρέει προς το σημείο πολικότητας του ΜΕ, και συνεπώς ισχύει: $V_0 = -I_0 \cdot (-jXC_{0S}) = jXC_{0S}I_0$. Εάν ο ηλεκτρονόμος υπολογίσει την Z_0 σύμφωνα με την εξίσωση (1.51), με $\theta_{L0} = 90^\circ$, τότε η τιμή της Z_0 είναι $+XC_{0S}$.

Στην Εικόνα 1.31 παρουσιάζεται το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για ένα σφάλμα προς γη πίσω από τον ηλεκτρονόμο. Ο ηλεκτρονόμος μετράει την τάση V_0 κατά μήκος του εν σειρά συνδυασμού $Z_{0L} - jXC_{0L}$ και το ρεύμα I_0 διαμέσου του ίδιου εν σειρά συνδυασμού, όπου Z_{0L} είναι η σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας και XC_{0L} είναι η χωρητικότητα μηδενικής ακολουθίας της προστατευόμενης γραμμής. Το ρεύμα I_0 ρέει από το σημείο πολικότητας του ΜΕ, και συνεπώς ισχύει: $V_0 = I_0 \cdot (Z_{0L} - jXC_{0L})$. Πρακτικά $XC_{0L} \gg Z_{0L}$, έτσι μια πολύ καλή προσέγγιση είναι $V_0 = -jXC_{0L}I_0$. Το αποτέλεσμα της Z_0 για σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο είναι $-XC_{0L}$.



Εικόνα 1.31: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα γης πίσω από τον ηλεκτρονόμο.

Στην Εικόνα 1.32 παρουσιάζεται το φασικό διάγραμμα για σφάλμα μπροστά και πίσω από τον ηλεκτρονόμο, καθώς επίσης και η χαρακτηριστική του στοιχείου κατεύθυνσης (32U) για αγείοτο σύστημα. Η λειτουργία του στοιχείου κατεύθυνσης είναι να καθορίζει αν ένα σφάλμα είναι μπροστά ή πίσω από τον ηλεκτρονόμο, δηλαδή να ξεχωρίζει το $+X_{C_{0S}}$ από το $-X_{C_{0L}}$. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση 2 κατωφλίων μεταξύ αυτών των τιμών αντιστάσεων. Εάν η μετρούμενη αντίσταση είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι για τα σφάλματα εμπρός του ηλεκτρονόμου, τότε ο ηλεκτρονόμος αντιλαμβάνεται ορθά το σφάλμα εμπρός του.



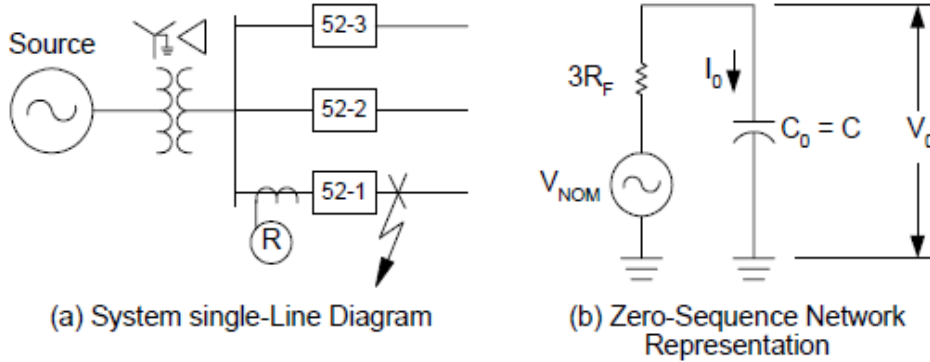
Εικόνα 1.32: Χαρακτηριστική στοιχείου κατεύθυνσης (32U).

1.3.4.3 Η επίδραση των ασυμμετριών στην ευαισθησία

Τα σφάλματα των μετασχηματιστών έντασης μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ευαισθησία του στοιχείου κατεύθυνσης. Παρόμοια, αν οι χωρητικότητες μεταξύ γραμμής και γης δεν είναι ίσες, τότε το σύστημα δημιουργεί μόνιμες ποσότητες μηδενικής ακολουθίας. Τυπικά αυτές οι ποσότητες είναι μικρές, αλλά σε ένα μεγάλο σύστημα η συνισταμένη

συμβολή των άνισων χωρητικότητων μπορεί να παράγει σημαντική τάση μηδενικής ακολουθίας. Προκειμένου να διατηρηθεί η ευαισθησία δεν πρέπει να χρησιμοποιείται στοιχείο υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας για να επιβλέπει το στοιχείο κατεύθυνσης.

Σε αυτό το σημείο θα παρατεθεί ένα παράδειγμα της επίδρασης του στοιχείου υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας στην ευαισθησία του ηλεκτρονόμου. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, γίνεται η υπόθεση ότι το σφάλμα που πραγματοποιείται στην γραμμή της εικόνας 1.33 μεταφέρει 5mA δευτερεύοντος στον ηλεκτρονόμο, σε ένα σύστημα όπου η ονομαστική φασική τάση δευτερεύοντος είναι 66.4 V.



Εικόνα 1.33: Παράδειγμα ευαισθησίας στοιχείου υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας.

Από την Εικόνα 1.33 παίρνουμε:

$$V_0 = I_0 \cdot \frac{1}{j\omega \cdot C} \quad (1.55)$$

$$C = \frac{I_0}{j\omega \cdot V_0} \quad (1.56)$$

Στην συνέχεια, θέτοντας ως ελάχιστη αρχική τιμή $V_0 = 2 \text{ V}$ στην εξίσωση (1.56) και έχοντας ως δεδομένο το ελάχιστο ρεύμα $I_0 = 5 \text{ mA}$, υπολογίζεται η χωρητικότητα C . Για σύστημα συχνότητας 60 Hz ισχύει $C = 6.63 \text{ }\mu\text{F}$. Έπειτα, θα γίνουν υπολογισμοί για ένα παρόμοιο σύστημα, αλλά με το διακόπτη 3 (52-3) κλειστό έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα C . Αν το καινούργιο σύστημα παράγει μόνο 5 mA δευτερεύοντος και χωρητικότητα ίση με 13.26 μF , τότε ο ηλεκτρονόμος που χρησιμοποιεί στοιχείο υπέρτασης μηδενικής ακολουθίας δεν θα λειτουργήσει λόγω λανθασμένης ρύθμισης.

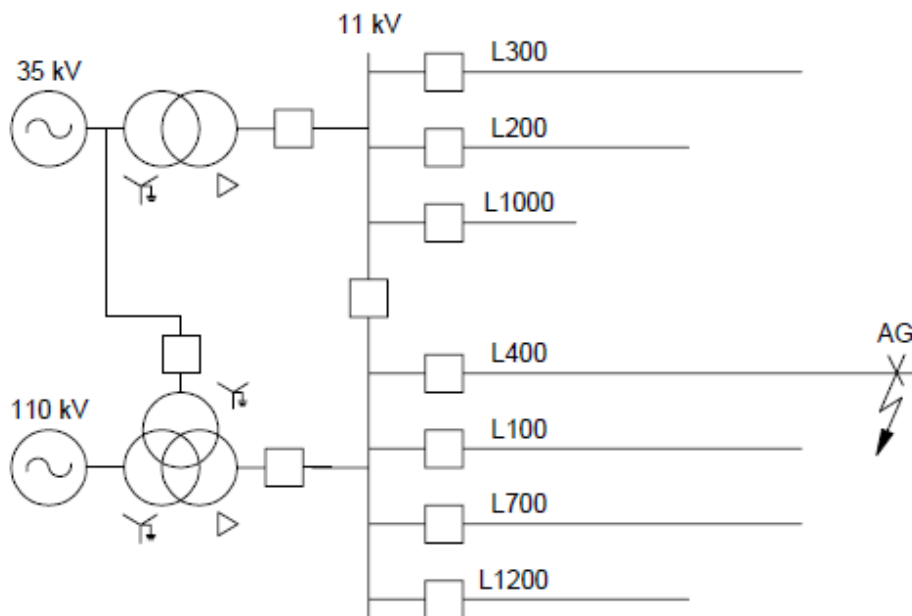
Από την Εικόνα 1.33 μπορεί να υπολογισθεί η R_F :

$$R_F = \frac{V_{NOM} - V_0}{3 \cdot I_0} \quad (1.57)$$

Όπως φαίνεται στην εξίσωση (1.57), αυξάνοντας το κατώφλι V_0 μειώνεται ο αριθμητής και κατά επέκταση μειώνεται η διαθέσιμη κάλυψη αντίστασης σφάλματος, ή ευαισθησίας, για μια συγκεκριμένη ελάχιστη τιμή ρεύματος I_0 .

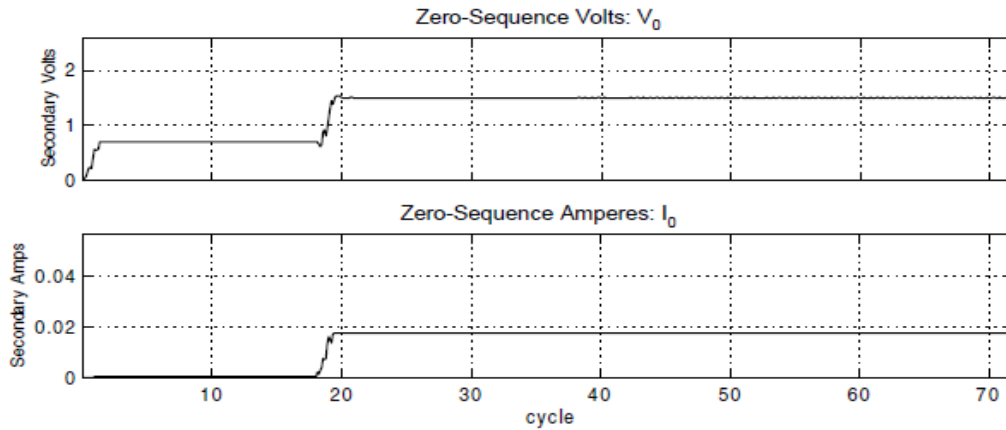
1.3.5 Επίδοση ενός νέου στοιχείου κατεύθυνσης για αγείωτα συστήματα

Για την παρουσίαση της επίδοσης του νέου στοιχείου κατεύθυνσης για αγείωτα συστήματα μοντελοποιήθηκε ένα σύστημα διανομής με την χρήση του προγράμματος EMTP (Electromagnetic Transients Program). Στην Εικόνα 1.34 φαίνεται το σύστημα και στην φάση A γίνεται ένα μονοφασικό σφάλμα προς γη με αντίσταση σφάλματος $R_F = 10k\Omega$. Όλοι οι κλάδοι είναι εναέριες γραμμές με διαφορετικά μήκη.



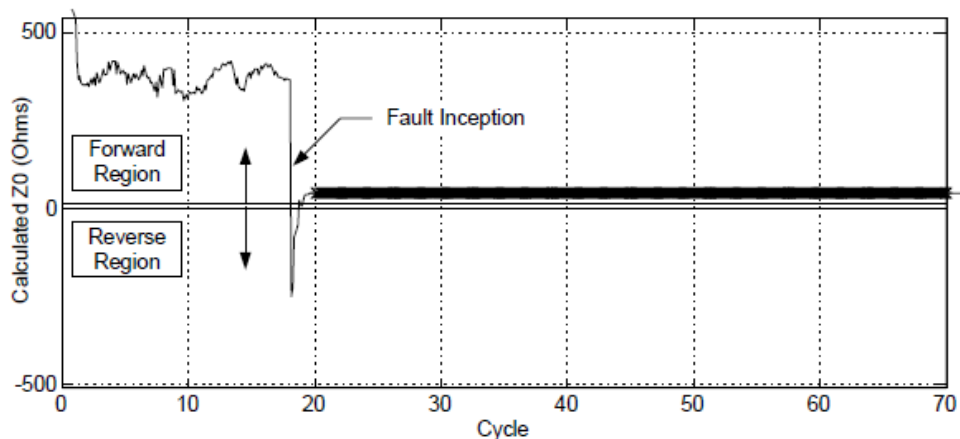
Εικόνα 1.34: Μονογραμμικό διάγραμμα συστήματος χωρίς γείωση.

Στην Εικόνα 1.35 παρουσιάζονται η τάση και το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας για τον ηλεκτρονόμο στον κλάδο L400. Το σφάλμα ξεκινάει στον 18^ο κύκλο, και στο διάγραμμα της τάσης ($V_0 = 1.5$ V) παρατηρείται ότι η υψηλή R_F περιορίσει το διαθέσιμο $3V_0$ σε μόλις 4.5 V δευτερεύοντος.



Εικόνα 1.35: Διαγράμματα τάσης και ρεύματος μηδενικής ακολουθίας για τον κλάδο L400.

Στην Εικόνα 1.36 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί του καινούργιου στοιχείου κατεύθυνσης για αυτό το σφάλμα (τα αποτελέσματα πριν την έναρξη του σφάλματος είναι εσφαλμένα καθώς δεν υπάρχει κάποιο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας). Παρατηρείται ότι η απόφαση του ηλεκτρονόμου για την κατεύθυνση του σφάλματος είναι αρκετά σταθερή αφοτου το μέτρο του ρεύματος ξεπεράσει το ελάχιστο κατώφλι των 5mA (έντονη γραμμή).



Εικόνα 1.36: Υπολογισμός της κατεύθυνσης του σφάλματος από το καινούργιο στοιχείο κατεύθυνσης (32U).

1.3.6 Ανάλυση συντονισμένου συστήματος διανομής

Η ανάλυση της λειτουργίας των συντονισμένων συστημάτων διανομής είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αναγνώριση των εναλλακτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σφαλμάτων προς γη. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει ανάλυση της συμπεριφοράς της μόνιμης κατάστασης των συντονισμένων συστημάτων τόσο στο πεδίο φάσης, όσο και στο πεδίο των συμμετρικών συνιστωσών.

1.3.6.1 3-φασική ανάλυση

Στην Εικόνα 1.36 παρουσιάζεται η απλοποιημένη αναπαράσταση του τριφασικού συντονισμένου συστήματος διανομής στο οποίο οι κλάδοι φαίνονται στο μονογραμμικό διάγραμμα. Για την απλοποίηση της ανάλυσης θεωρείται ότι υπάρχουν ιδανικές πηγές που λειτουργούν στην ονομαστική συχνότητα, ότι δεν υπάρχουν φορτία και ότι αμελούνται οι σύνθετες αντιστάσεις των γραμμών.

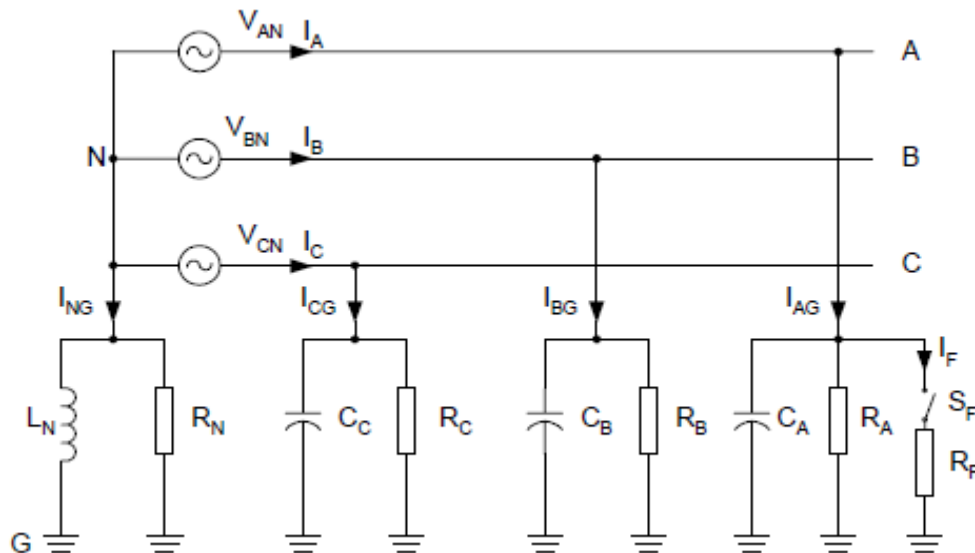
Το πηνίο Petersen αναπαριστάται στην Εικόνα 1.37 ως ένας παράλληλος συνδυασμός επαγωγής (L_N) και αντίστασης (R_N), το οποίο αποτελεί ισοδύναμο κύκλωμα του πηνιού. Τα C_A , C_B και C_C αποτελούν τις χωρητικότητες μεταξύ φάσης και γης του δικτύου. Οι αντιστάσεις R_A , R_B και R_C αναπαριστούν τις αντιστάσεις διαρροής μεταξύ φάσης και γης. Αυτά τα μεγέθη μπορεί να είναι διαφορετικά για κάθε φάση, ειδικά στις εναέριες γραμμές, κάτι που σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να είναι ασύμμετρο. Στην Εικόνα 1.37 δεν αναπαριστούνται οι χωρητικότητες μεταξύ των φάσεων καθώς δεν συνεισφέρουν στο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας.

Η αναπαράσταση ενός σφάλματος στη φάση A γίνεται κλείνοντας τον διακόπτη S_F , ενώ η R_F είναι η αντίσταση σφάλματος.

Χρησιμοποιώντας το δίκτυο της Εικόνας 1.37 και αγνοώντας τις απώλειες ενεργού ισχύος ($R_N=R_A=R_B=R_C \rightarrow \infty$) έχουμε:

$$\vec{I}_{NG} + \vec{I}_{AG} + \vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG} = 0 \quad (1.58)$$

$$\vec{I}_{NG} = -(\vec{I}_{AG} + \vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG}) \quad (1.59)$$



Εικόνα 1.37: Τριφασική αναπαράσταση συντονισμένου συστήματος.

Σε ένα συμμετρικό σύστημα χωρίς σφάλμα, το ρεύμα ουδέτερου είναι $I_{NG} = 0$ και ο ουδέτερος κόμβος του συστήματος βρίσκεται σε μηδενικό δυναμικό $V_{NG} = 0$, παρόμοια με το φασικό διάγραμμα τάσης του αγείωτου συστήματος. Οι ασυμμετρίες του συστήματος προκαλούν

ρεύματα στον ουδέτερο ($I_{NG} \neq 0$) και μετατοπίζουν τον ουδέτερο του συστήματος από το ιδανικό μηδενικό δυναμικό ($V_{NG} \neq 0$). Για ένα μονοφασικό σφάλμα προς γη της φάσης Α με μηδενική αντίσταση σφάλματος στο ιδανικό σύστημα χωρίς απώλειες, η φάση που έχει υποστεί το σφάλμα και η γη έχουν ίδιο δυναμικό. Η φασική τάση των δύο εναπομεινάντων φάσεων ισοδυναμεί με την πολική τάση ($V_{BG} = V_{BA}$, $V_{CG} = V_{CA}$) και η τάση του ουδέτερου προς τη γη είναι ίση με $V_{NG} = -V_{AN}$.

Για μονοφασικό σφάλμα με μηδενική αντίσταση υπολογίζεται το ρεύμα σφάλματος, I_F :

$$\vec{I}_F = \vec{I}_{AG} = -\vec{I}_{NG} - (\vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG}) \quad (1.60)$$

Παρατηρείται ότι το I_{NG} είναι 180° εκτός φάσης σε σχέση με το $(I_{BG} + I_{CG})$ στο ιδανικό σύστημα χωρίς απώλειες. Επιλέγοντας το κατάλληλο πηνίο Petersen, μπορούμε θεωρητικά να μειώσουμε το ρεύμα σφάλματος στο 0. Αυτή είναι η κατάσταση συντονισμού:

$$|\vec{I}_{NG}| = |\vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG}| \quad (1.61)$$

Σε ένα σύστημα το οποίο δεν είναι 100% αντισταθμισμένο, οι δύο πιθανές καταστάσεις λειτουργίας είναι:

$$|\vec{I}_{NG}| > |\vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG}| \text{ (υπεραντισταθμισμένο σύστημα)} \quad (1.62)$$

$$|\vec{I}_{NG}| < |\vec{I}_{BG} + \vec{I}_{CG}| \text{ (υποαντισταθμισμένο σύστημα)} \quad (1.63)$$

Σε ένα σύστημα με απώλειες, η πλήρης αντιστάθμιση δεν έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό του ρεύματος σφάλματος. Για αυτά τα συστήματα οι απώλειες του πηνίου και του συστήματος, καθώς και το μέγεθος της R_F καθορίζουν το μέτρο του ρεύματος σφάλματος.

Αν η αντίσταση σφάλματος είναι $R_F \neq 0$ τότε το ρεύμα σφάλματος είναι ποσοστό του ρεύματος της φάσης που έχει υποστεί το σφάλμα ($I_F \neq I_{AG}$). Η έναρξη του σφάλματος μπορεί να αναπαρασταθεί με μια αλλαγή στην αγωγιμότητα της γραμμής που έχει υποστεί το σφάλμα. Έτσι από το δίκτυο ισχύει:

$$\frac{\vec{V}_{NG}}{V_{nom}} = -\frac{\vec{Y}_A + a^2\vec{Y}_B + a\vec{Y}_C}{\vec{Y}_N + \vec{Y}_A + \vec{Y}_B + \vec{Y}_C} \quad (1.64)$$

Όπου η V_{nom} είναι η ονομαστική τάση του συστήματος, και

$$\vec{Y}_A = G_A + jB_A = \frac{1}{R_A} + j\omega C_A \quad (1.65)$$

$$\vec{Y}_N = G_N + jB_N = \frac{1}{R_N} + \frac{1}{j\omega L_N} \quad (1.66)$$

$$R_N = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R^2} \quad (1.67)$$

$$L_N = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{\omega^2 L} \quad (1.68)$$

όπου, R και L είναι η αντίσταση και η επαγωγή του πηνίου Petersen, αντίστοιχα.

Για το σύστημα που έχει υποστεί σφάλμα, όλοι οι παράμετροι παραμένουν αναλλοίωτοι εκτός από την αγωγιμότητα Y_A η οποία γίνεται:

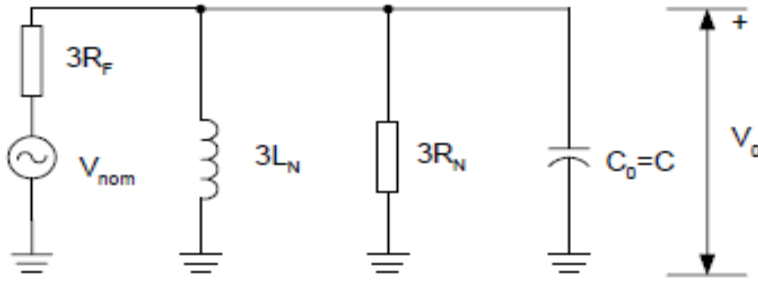
$$\vec{Y}_A = \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_A} + j\omega C_A \quad (1.69)$$

Ως αποτέλεσμα, το σφάλμα αλλάζει τόσο το μέτρο όσο και την φάση τάσης του ουδετέρου ως προς γη V_{NG} . Ωστόσο, η αλλαγή της φάσης δεν είναι μια ξεκάθαρη ένδειξη της ύπαρξης σφάλματος, και οι αλλαγές του μέτρου μπορεί να είναι πολύ μικρές ή ακόμα και αρνητικής για υψηλές τιμές αντίστασης σφάλματος. Έτσι παρατηρείται ένας περιορισμός της ευαισθησίας για την ανίχνευση σφαλμάτων με βάση το μέτρο της φασικής τάσης του ουδετέρου.

1.3.6.2 Ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών

Οι μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων προς γη βασίζονται στις ποσότητες μηδενικής ακολουθίας. Έτσι είναι σημαντικό να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση συμμετρικών συνιστωσών για το συντονισμένο σύστημα σε λειτουργία μόνιμης κατάστασης.

Η σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας έχει πολύ υψηλό μέτρο για ένα συντονισμένο σύστημα. Αυτή η υψηλή τιμή δίνει την δυνατότητα να αγνοηθούν οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής και αρνητικής ακολουθίας χωρίς σημαντική απώλεια ακρίβειας στον υπολογισμό μονοφασικών σφαλμάτων προς γη. Έτσι, αναπαριστάται το σφάλμα προς γη με την σύνδεση μιας ισοδύναμης πηγής Thevenin εν σειρά με μια αντίσταση στο σημείο του σφάλματος στο κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας. Η Εικόνα 1.38 παρουσιάζει μια κατά προσέγγιση αναπαράσταση του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας για ένα σφάλμα προς γη στο σύστημα που παρουσιάστηκε στην Εικόνα 1.36. Γίνεται η υπόθεση ότι το σύστημα είναι συμμετρικό ($C_A = C_B = C_C = C$), αγνοούνται οι απώλειες διαροής ($R_A = R_B = R_C \rightarrow \infty$) και ότι η τάση Thevenin (η προ σφάλματος τάση στο σημείο του σφάλματος) είναι ίση με την ονομαστική φασική τάση του συστήματος, V_{nom} .



Εικόνα 1.38: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για σφάλμα σε συντονισμένο δίκτυο.

Από την Εικόνα 1.38 ισχύει:

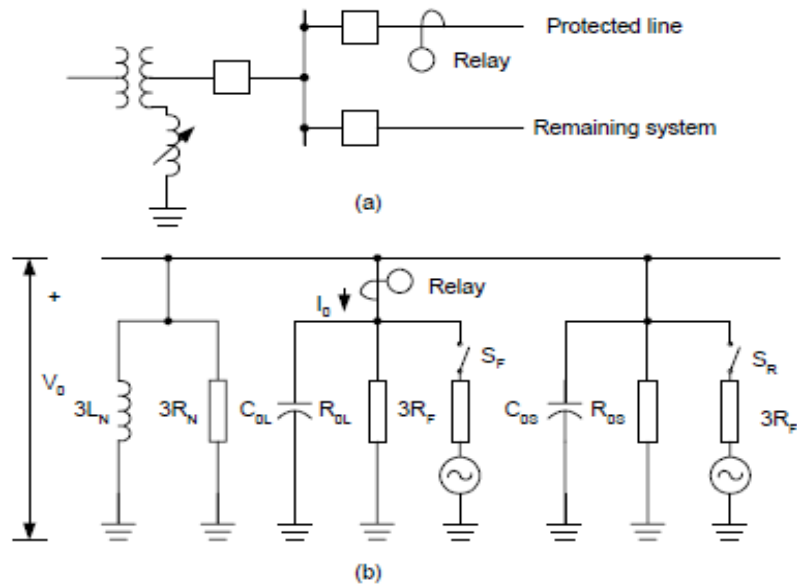
$$\frac{\vec{V}_0}{V_{nom}} = \frac{1}{1 + \frac{R_F}{R_N} + j3R_F(\omega C - \frac{1}{3\omega L_N})} \quad (1.70)$$

Στην Εικόνα 1.39 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα ενός συντονισμένου ακτινικού συστήματος διανομής στο οποίο η τοποθεσία του ηλεκτρονόμου ορίζει την προστατευόμενη γραμμή. Οι υπόλοιπες γραμμές διανομής έχουν συσσωρευτεί σε μια ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση αναπαριστώντας το υπόλοιπο σύστημα διανομής.

Επίσης, παρουσιάζεται μια κατά προσέγγιση αναπαράσταση του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας. Η C_{0L} και η R_{0L} είναι η χωρητικότητα και η ωμική αντίσταση της προστατευμένης γραμμής, ενώ η C_{0S} και η R_{0S} είναι η χωρητικότητα και η ωμική αντίσταση του υπόλοιπου συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση $C_0 = C_{0L} + C_{0S}$ και $1/R_0 = 1/R_{0L} + 1/R_{0S}$, όπου η C_0 και η R_0 είναι η χωρητικότητα και η ωμική αντίσταση του κυκλώματος μηδενικής ακολουθίας.

Πάλι, αναπαριστάται το σφάλμα προς γη με την σύνδεση μιας ισοδύναμης πηγής Thevenin εν σειρά με μια αντίσταση, το σφάλμα στην προστατευόμενη γραμμή με το κλείσιμο του διακόπτη S_F και το σφάλμα σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του δικτύου με το κλείσιμο του διακόπτη S_R .

Για την αναπαράσταση ασυμμετριών του συστήματος μπορεί να συνδεθεί μια ισοδύναμη πηγή Thevenin εν σειρά με μια σύνθετη αντίσταση στο κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας. Στην Εικόνα 1.40, η Z_{LU} αναπαριστά την ασυμμετρία στην προστατευόμενη γραμμή και η Z_{SU} αναπαριστά την ασύμμετρη σύνθετη αντίσταση που αντιστοιχεί στο υπόλοιπο δίκτυο.



Εικόνα 1.39: Μονογραμμικό διάγραμμα και κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας συντονισμένου συστήματος.

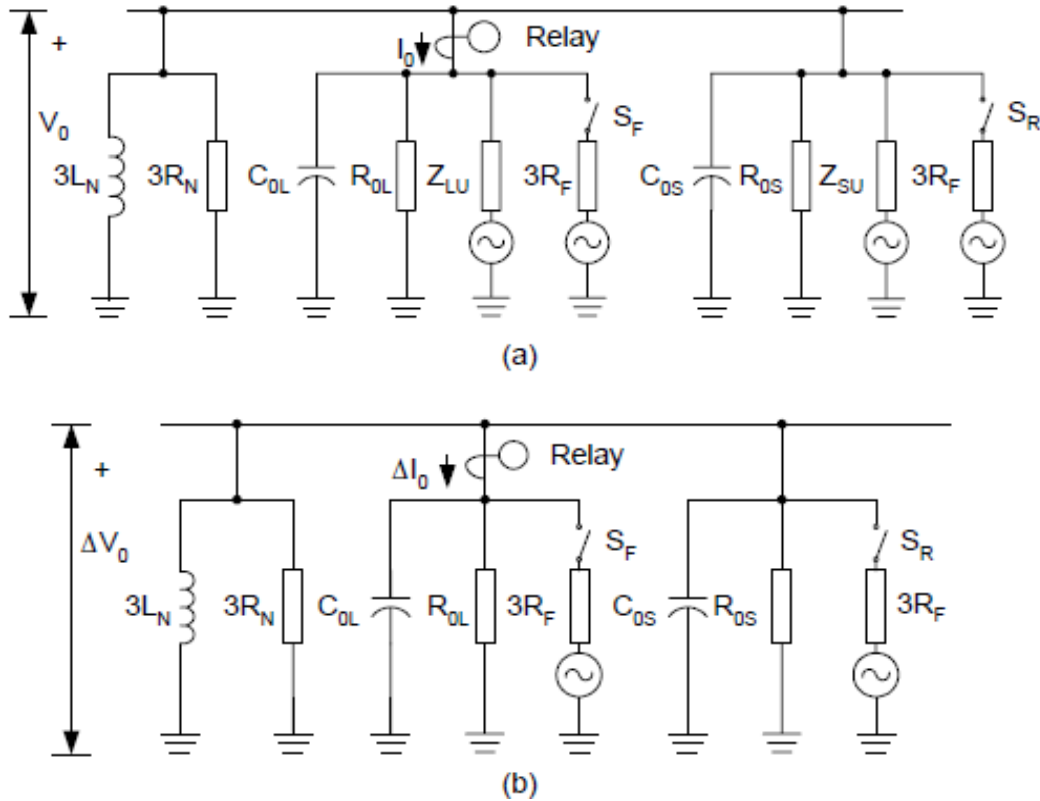
Στην τυπική σύνδεση του ηλεκτρονόμου με τον τριφασικό ΜΕ το μετρούμενο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι αλλοιωμένο από σφάλματα του ΜΕ. Η σύνδεση Holmgreen των βοηθάει στην μείωση τέτοιων μετρητικών σφαλμάτων. Βέβαια, η καλύτερη λύση είναι η χρήση αθροιστικού ΜΕ, επειδή μεταφέρει το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας απευθείας και συνεπώς δεν εισάγει το σφάλμα μέτρησης. Επιπλέον, η αναλογία των μετασχηματιστών έντασης μπορεί να είναι τόσο χαμηλή (ως 10:1), προσφέροντας σημαντική αύξηση στο ρεύμα δευτερεύοντος που μεταφέρεται στον ηλεκτρονόμο προστασίας και αυξάνοντας την ευαισθησία στα σφάλματα προς γη.

Είναι δυνατόν να καθοριστούν οι σύνθετες αντιστάσεις Z_{LU} και Z_{SU} ή οι αντίστοιχες αγωγιμότητες Y_{LU} και Y_{SU} . Η μέθοδος αγωγιμοτήτων για την ανίχνευση σφαλμάτων γης σε συντονισμένα συστήματα απαιτεί τα όργανα προστασίας να υπολογίζουν αυτές τις τιμές αγωγιμοτήτων τους συστήματος πριν από το σφάλμα για την χρήση σαν αναφορά. Για τον υπολογισμό των αγωγιμοτήτων πρέπει να υπάρχουν πληροφορίες για δύο διαφορετικές καταστάσεις αντιστάθμισης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι τα όργανα προστασίας πρέπει να ελέγχουν το πηνίο Petersen. Ένας τεχνικός περιορισμός σε αυτή την απαίτηση είναι το γεγονός ότι τα όργανα προστασίας πρέπει να βρίσκονται μέσα στον υποσταθμό, εκτός αν υπάρχουν γρήγορες και ασφαλείς εξωτερικές επικοινωνίες στο σχήμα προστασίας.

Μια νέα προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα είναι η απαλοιφή της ασυμμετρίας από το κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας με τον υπολογισμό της μεταβολής. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν απαιτεί τον έλεγχο του πηνίου Petersen και ότι χρησιμοποιεί πληροφορίες από την προστατευόμενη γραμμή. Έτσι, ο ηλεκτρονόμος προστασίας μπορεί να είναι τοποθετημένος σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος χωρίς την ανάγκη χρήσης επικοινωνιών. Η μεταβολή στην τάση (ΔV_0) και στο ρεύμα (ΔI_0) μηδενικής ακολουθίας είναι:

$$\Delta \vec{V}_0 = \vec{V}_{0,FAULT} - \vec{V}_{0,PRE-FAULT} \quad (1.71)$$

$$\Delta \vec{I}_0 = \vec{I}_{0,FAULT} - \vec{I}_{0,PRE-FAULT} \quad (1.72)$$



Εικόνα 1.40: Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας με πλήρεις ποσότητες και ποσότητες μεταβολής.

1.3.7 Μέθοδοι εντοπισμού σφαλμάτων προς γη σε συντονισμένα δίκτυα διανομής

Οι μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων γης σε συντονισμένα δίκτυα διανομής μπορούν να κατανεμηθούν ανάλογα με τις συνιστώσες που ο ηλεκτρονόμος χρησιμοποιεί για να διακρίνει το σφάλμα. Στην ανάλυση που ακολουθεί θα χρησιμοποιηθεί η παρακάτω κατηγοριοποίηση βάσει:

1. Θεμελιώδους συχνότητας.
2. Αρμονικών.
3. Μεταβατικών συνιστωσών.
4. Άλλων.

Οι μέθοδοι που εμπεριέχονται στις δύο πρώτες κατηγορίες χρησιμοποιούν πληροφορίες από την μόνιμη κατάσταση του δικτύου που έχει υποστεί το σφάλμα, ενώ μερικές από αυτές τις μεθόδους απαιτούν χρειάζονται πληροφορίες από την μόνιμη κατάσταση πριν την εμφάνιση

του σφάλματος. Οι μέθοδοι της 3^{ης} ομάδας χρησιμοποιούν πληροφορίες από την μεταβατική κατάσταση του σφάλματος, ενώ οι μέθοδοι της 4^{ης} χρησιμοποιούν πληροφορίες από την μόνιμη κατάσταση αλλά χρειάζονται και ενέργειες ελέγχου στο πηνίο Petersen.

1.3.7.1 Ανίχνευση τάσης

Τα σφάλματα προς γη στα συντονισμένα συστήματα μειώνουν την φασική τάση της εσφαλμένης φάσης και μετατοπίζουν τον ουδέτερο του συστήματος, αυξάνοντας την τάση μηδενικής ακολουθίας του συστήματος. Τόσο η τάση μηδενικής ακολουθίας όσο και οι φασικές τάσεις χρησιμοποιούνται ως ενδείξεις ύπαρξης σφάλματος προς γη. Ωστόσο, για σφάλμα υψηλής αντίστασης η αλλαγή της τάσης μπορεί να είναι πολύ μικρή.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι η τάση μηδενικής ακολουθίας έχει σχεδόν την ίδια τιμή σε ολόκληρο το δίκτυο διανομής. Οι πτώσεις τάσης, που δημιουργούνται από τα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας και ρέουν μέσω της σύνθετης αντίστασης μηδενικής ακολουθίας, είναι πολύ μικρότερες σε σύγκριση με τις πτώσεις τάσης του δικτύου. Με άλλα λόγια, ο εντοπισμός σφάλματος με βάση την τάση δεν είναι επιλεκτικός, δηλαδή ανιχνεύουν το σφάλμα προς γη αλλά δεν καθορίζουν το στοιχείο που έχει υποστεί το σφάλμα. Είναι απαραίτητο το άνοιγμα και κλείσιμο κάθε κλάδου του υποσταθμού προκειμένου να βρεθεί η τοποθεσία του σφάλματος, με αποτέλεσμα την πρόκληση προβλημάτων τροφοδοσίας των καταναλωτών. Για αυτό το λόγο, η ανίχνευση σφάλματος με χρήση της τάσης χρησιμοποιείται ως αρχική λύση σε συντονισμένα συστήματα.

1.3.7.2 Βαττομετρική μέθοδος

Οι επιλεκτικές μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων γης χρειάζονται πληροφορίες σχετικά με το ρεύμα. Οι ηλεκτρονόμοι κατεύθυνσης μηδενικής ακολουθίας είναι μια κλασική λύση. Για αγείωτα δίκτυα ο βαρτομετρικός ηλεκτρονόμος αποκρίνεται στη φανταστική συνιστώσα του ρεύματος μηδενικής ακολουθίας σε σχέση με την τάση μηδενικής ακολουθίας. Για τα συντονισμένα δίκτυα ο βαττομετρικός ηλεκτρονόμος χρησιμοποιεί την πραγματική συνιστώσα του ρεύματος μηδενικής ακολουθίας.

Θα γίνει ανάλυση αυτών των μεθόδων εντοπισμού με χρήση του δικτύου της Εικόνας 1.39. Για σφάλματα εμπρός του ηλεκτρονόμου, το μετρούμενο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι:

$$\vec{I}_0 = -\vec{V}_0 \left[\left(\frac{1}{R_{0S}} + \frac{1}{3R_N} \right) + j \left(\omega C_{0S} - \frac{1}{3\omega L_N} \right) \right] \quad (\text{Forward Fault}) \quad (1.73)$$

Για σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο, το ρεύμα που μετράει ο ηλεκτρονόμος είναι:

$$\vec{I}_0 = \vec{V}_0 \left(\frac{1}{R_{0L}} + j\omega C_{0L} \right) \text{ (Reverse Fault)} \quad (1.74)$$

Για αγείωτα συστήματα ($R_N = L_N \rightarrow \infty$), η εξίσωση (1.74) δεν αλλάζει, ενώ η (1.73) παίρνει την εξής μορφή:

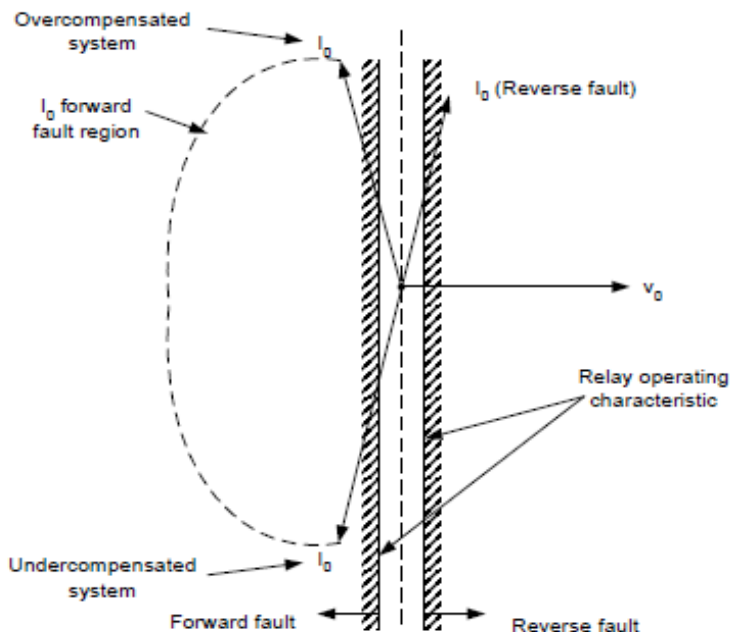
$$\vec{I}_0 = -\vec{V}_0 \left(\frac{1}{R_{0S}} + j\omega C_{0S} \right) \text{ (Forward Fault)} \quad (1.75)$$

Στα συντονισμένα δίκτυα η κατεύθυνση της εγκάρσιας συνιστώσας του I_0 μπορεί να αλλάξει για σφάλματα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο ανάλογα με την κατάσταση συντονισμού του συστήματος. Αυτή η κατεύθυνση εξαρτάται από τις τιμές της χωρητικότητας μηδενικής ακολουθίας της γραμμής που δεν έχει υποστεί σφάλμα, C_{0S} , και την παράλληλη στο πηνίο Petersen επαγωγή μηδενικής ακολουθίας, $3L_N$. Στην Εικόνα 1.41 φαίνεται το φασικό διάγραμμα το σφαλμάτων γης στα συντονισμένα δίκτυα. Για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο, η I_0 παρουσιάζει ίδια συμπεριφορά με τα αγείωτα συστήματα.

Για σφάλματα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο η γωνιακή θέση του I_0 σε σχέση με το V_0 ποικίλει. Η φανταστική συνιστώσα του I_0 είναι αρνητική στα υπό-αντισταθμισμένα δίκτυα (όπως και στα αγείωτα), ενώ στα υπέρ-αντισταθμισμένα είναι θετική. Όσον αφορά την πραγματική συνιστώσα του I_0 είναι πάντα θετική για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο και αρνητική για σφάλματα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο βαττομετρικός ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης δίνοντας την εξής έξοδο (* = συζυγής μιγαδικού):

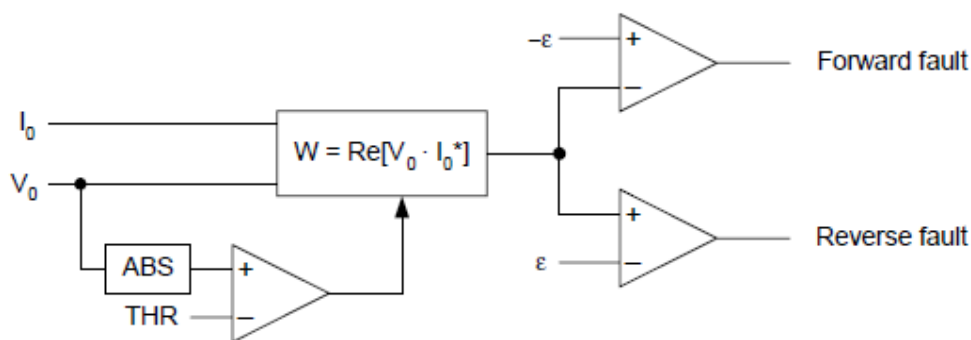
$$W = \text{Re} \left[\vec{V}_0 \cdot \vec{I}_0^* \right] = V_0 I_0 \cos \varphi_0 \quad (1.76)$$

Το W μπορεί να συγκριθεί με θετικό και αρνητικό κατώφλι (+ε και -ε). Έτσι, όταν $W < -\varepsilon$ υποδεικνύει ότι υπάρχει σφάλμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο και όταν $W > \varepsilon$ υποδεικνύει ότι υπάρχει σφάλμα πίσω από τον ηλεκτρονόμο. Στην Εικόνα 1.41 φαίνεται η χαρακτηριστική λειτουργίας του βαττομετρικού ηλεκτρονόμου.



Εικόνα 1.41: Φασικό διάγραμμα για σφάλματα προς γη και χαρακτηριστική ηλεκτρονόμου 32W.

Στην Εικόνα 1.42 απεικονίζεται ένα λογικό διάγραμμα για τον βαττομετρικό ηλεκτρονόμο. Η πραγματική συνιστώσα του I_0 είναι πολύ μικρή κατά την διάρκεια σφαλμάτων γης, και συνεπώς ο ηλεκτρονόμος πρέπει να είναι πολύ ευαίσθητος (το ϵ πρέπει να είναι πολύ μικρό). Για να αποφευχθούν δυσλειτουργίες κατά την διάρκεια φυσιολογικών καταστάσεων, η εκκίνηση του στοιχείου θα πρέπει να βασίζεται στην τιμή του V_0 . Έτσι η ευαισθησία του βαττομετρικού ηλεκτρονόμου καθορίζεται από την ευαισθησία του στοιχείου τάσης. Το κατώφλι V_0 πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή της V_0 για φυσιολογικές ασυμμετρίες του συστήματος. Μια τυπική τιμή είναι 20% της ονομαστικής τάσης του συστήματος.



Εικόνα 1.42: Λογικό διάγραμμα ενός βαττομετρικού ηλεκτρονόμου 32W.

Η χρήση της βαττομετρικής μεθόδου είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στα συντονισμένα συστήματα. Είναι απλή, ασφαλής και αξιόπιστη για σφάλματα γης με χαμηλή αντίσταση. Ωστόσο, η χρήση της V_0 περιορίζει την ευαισθησία της μεθόδου στα σφάλματα με υψηλή αντίσταση.

Ορισμένοι διαχειριστές δικτύων διανομής χρησιμοποιούν ηλεκτρονόμους τάσης μηδενικής ακολουθίας για την ανίχνευση σφαλμάτων προς γη σε συντονισμένα συστήματα και συνδέουν μια αντίσταση εν παραλλήλω με το πηνίο Petersen ή σε ένα βοηθητικό τύλιγμα του πηνίου. Για σφάλματα με υψηλή αντίσταση, η σύνδεση της αντίστασης μειώνει την τάση μηδενικής ακολουθίας χωρίς απαραίτητα να αυξάνει το ρεύμα σφάλματος μηδενικής ακολουθίας, ενώ ταυτόχρονα η έξοδος του βαττομετρικού στοιχείου μειώνεται.

1.3.8 Νέες μέθοδοι για την ανίχνευση σφαλμάτων γης σε συντονισμένα δίκτυα διανομής

Αφ' ενός, οι συνιστώσες θεμελιώδους συχνότητας του ρεύματος και της τάσης προσφέρουν την μεγαλύτερη αξιοπιστία και παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την ανίχνευση σφαλμάτων υψηλής αντίστασης. Αφ' ετέρου, το περιεχόμενο σε αρμονικές συνιστώσες του ρεύματος σφάλματος είναι μικρό και μεταβαλλόμενο, ειδικά στα σφάλματα με υψηλή αντίσταση.

Οι μεταβατικές συνιστώσες του ρεύματος και της τάσης είναι σοβαρά εξασθενημένες για σφάλματα με υψηλή αντίσταση. Τέτοιες μέθοδοι χρειάζονται έλεγχο του πηνίου Petersen ή έγχυση ρεύματος για να προσφέρουν μεγάλη ευαισθησία αλλά απαιτούν και ακριβό εξοπλισμό.

Οι γνωστές μέθοδοι θεμελιώδους συχνότητας για να παρέχουν υψηλή ευαισθησία χρειάζονται πληροφορίες από όλους τους κλάδους, έλεγχο του πηνίου Petersen ή έγχυση ρεύματος, όπως για παράδειγμα η μέθοδος αγωγιμότητας. Η βαττομετρική μέθοδος είναι μια καλή λύση για σφάλματα χαμηλής αντίστασης, αλλά έχει περιορισμό ευαισθησίας για την ανίχνευση σφαλμάτων υψηλής αντίστασης.

Οι μέθοδοι που θα αναφερθούν σε αυτό το σημείο χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες από τους κλάδους και δεν απαιτούν έλεγχο του πηνίου Petersen ή έγχυση ρεύματος. Οι μέθοδοι αυτοί είναι κατάλληλες για υψηλής ευαισθησίας συσκευές που μπορεί να είναι τοποθετημένες σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου διανομής, ενώ μια τυπική εφαρμογή είναι μέσα στην μονάδα ελέγχου ενός διακόπτη αυτόματης επαναφοράς.

1.3.8.1 Μέθοδος αγωγιμότητων

Για την περιγραφή της μεθόδου χρησιμοποιείται το δίκτυο της Εικόνας 1.39. Αρχικά, αναφέρεται ότι αγνοούνται οι ασυμμετρίες του συστήματος. Οι εξισώσεις 1-73 και 1-74 περιγράφουν το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας που μετράει ο ηλεκτρονόμος, I_0 , για σφάλματα μπροστά και πίσω από τον ηλεκτρονόμο. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις 1-73 και 1-74 για να υπολογισθεί η αγωγιμότητα μηδενικής ακολουθίας, Y_0 , για σφάλματα μπροστά και πίσω από τον ηλεκτρονόμο.

$$\vec{Y}_0 = \frac{\vec{I}_0}{\vec{V}_0} = - \left[\left(\frac{1}{R_{0S}} + \frac{1}{3R_N} \right) + j \left(\omega C_{0S} - \frac{1}{3\omega L_N} \right) \right] (\text{Forward Fault}) \quad (1.77)$$

$$\vec{Y}_0 = \frac{\vec{I}_0}{\vec{V}_0} = \frac{1}{R_{0L}} + j\omega C_{0L} (\text{Reverse Fault}) \quad (1.78)$$

Χρησιμοποιώντας το πραγματικό μέρος των εξισώσεων (1.77), (1.78) μπορεί να καθοριστεί η αγωγιμότητα, G_0 , που μετράτε από τον ηλεκτρονόμο και για τα δύο σφάλματα:

$$G_0 = \text{Re} \left[\frac{\vec{I}_0}{\vec{V}_0} \right] = - \left(\frac{1}{R_{0S}} + \frac{1}{3R_N} \right) = -(G_{0S} + G_{0N}) (\text{Forward Fault}) \quad (1.79)$$

$$G_0 = \text{Re} \left[\frac{\vec{I}_0}{\vec{V}_0} \right] = \frac{1}{R_{0L}} = G_{0L} (\text{Reverse Fault}) \quad (1.80)$$

όπου G_{0L} είναι η αγωγιμότητα διαρροής μηδενικής ακολουθίας της προστατευόμενης γραμμής, G_{0S} είναι η ισοδύναμη αγωγιμότητα διαρροής μηδενικής ακολουθίας για τους υπόλοιπους κλάδους και G_{0N} είναι η αγωγιμότητα μηδενικής ακολουθίας που αντιστοιχεί στο παράλληλο ισοδύναμο του πηνίου Petersen.

Το στοιχείο συγκρίνει την μετρούμενη, G_0 , με το θετικό +ε και το αρνητικό-ε κατώφλι. Έτσι, όταν $G_0 < -\epsilon$ σημαίνει ότι το σφάλμα είναι μπροστά από τον ηλεκτρονόμο, ενώ όταν $G_0 > +\epsilon$ το σφάλμα συμβαίνει πίσω από τον ηλεκτρονόμο. Για σφάλμα μπροστά από τον ηλεκτρονόμο το στοιχείο αγωγιμότητας μετράει την ισοδύναμη αγωγιμότητα πίσω από τον ηλεκτρονόμο, η οποία περιλαμβάνει την αγωγιμότητα των υπόλοιπων κλάδων και το παράλληλο ισοδύναμο του πηνίου Petersen. Αντίθετα, για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο, το στοιχείο αγωγιμότητας μετράει την αγωγιμότητα της προστατευόμενης γραμμής.

1.3.8.2 Μέθοδος μεταβολής αγωγιμότητας

Η κλασική μέθοδος αγωγιμοτήτων που περιγράφηκε προηγουμένως λειτουργεί ορθά για συμμετρικά συστήματα και για μικρά σφάλματα των ΜΕ. Οι ασυμμετρίες στο σύστημα και στους ΜΕ εισάγουν σφάλματα στην μετρούμενη αγωγιμότητα και κατά συνέπεια περιορισμένη ευαισθησία. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η μέθοδος μεταβολής της αγωγιμότητας. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τη μεταβολή στο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας, ΔI_0 , και τη μεταβολή στην τάση μηδενικής ακολουθίας, ΔV_0 , για να υπολογίσει τη μεταβολή στην αγωγιμότητα μηδενικής ακολουθίας, ΔG_0 :

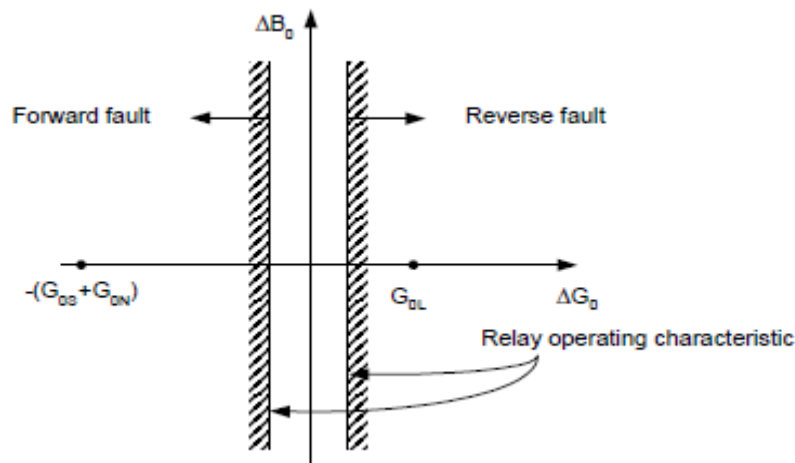
$$\Delta G_0 = \text{Re} \left[\frac{\Delta \vec{I}_0}{\Delta \vec{V}_0} \right] \quad (1.81)$$

Για την περιγραφή της μεθόδου χρησιμοποιείται το σύστημα της Εικόνας 1.40 με τις ποσότητες μεταβολής. Οι μετρούμενες τιμές της ΔG_0 ταιριάζουν με αυτές των εξισώσεων (1.79) και (1.80):

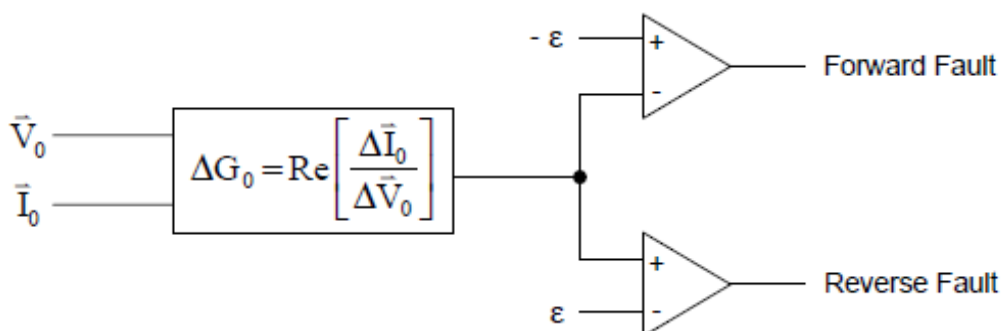
$$\Delta G_0 = -\left(\frac{1}{R_{0S}} + \frac{1}{3R_N}\right) = -(G_{0S} + G_{0N})(\text{Forward Fault}) \quad (1.82)$$

$$\Delta G_0 = \frac{1}{R_{0L}} = G_{0L}(\text{Reverse Fault}) \quad (1.83)$$

Το στοιχείο μεταβολής αγωγιμότητας (32C) συγκρίνει την μετρούμενη μεταβολή στην αγωγιμότητα με την πραγματική συνιστώσα του λόγου μεταβολής ρεύματος προς μεταβολή τάσης, χρησιμοποιώντας θετικά και αρνητικά κατώφλια για να διακρίνει την κατεύθυνση του σφάλματος. Η Εικόνα 1.43 απεικονίζει την μετρούμενη μεταβολή στην αγωγιμότητα για σφάλματα μπροστά και πίσω από τον ηλεκτρονόμο, καθώς και την χαρακτηριστική λειτουργίας του στοιχείου. Τέλος, η Εικόνα 1.44 απεικονίζει το απλοποιημένο λογικό διάγραμμα του εν λόγω στοιχείου.



Εικόνα 1.43: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου μεταβολής αγωγιμότητας (32C).



Εικόνα 1.44: Απλοποιημένο λογικό διάγραμμα στοιχείου μεταβολής αγωγιμότητας (32C).

1.3.10 Σύνοψη μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης

Ο Πίνακας 1.3 συνοψίζει τις διαθέσιμες μεθόδους θεμελιώδους συχνότητας για ηλεκτρονόμους σε συστήματα διανομής. Για άμεση γείωση και γείωση μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης συνιστάται η αυτόματη επιλογή του βέλτιστου στοιχείου κατεύθυνσης (32I, 32Q ή 32V) ανάλογα τη λειτουργική κατάσταση του συστήματος και τις συνθήκες σφάλματος. Για αγειώτα συστήματα συνιστάται το στοιχείο σύνθετης αντίστασης μηδενικής ακολουθίας 32U. Τέλος, για συστήματα που γειώνονται μέσω υψηλής αντίστασης ή αντίδραση και για συντονισμένα συστήματα προτείνεται η χρήση ενός συνδυασμού του βαττομετρικού στοιχείου, 32W, και του στοιχείου μεταβολής της αγωγιμότητας, 32C. Το στοιχείο 32W προσφέρει αξιόπιστη ανίχνευση των σφαλμάτων με χαμηλή αντίσταση μέχρι 10 kΩ, ενώ το 32C βελτιώνει την ευαισθησία που χρειάζεται για την ανίχνευση σφαλμάτων με πολύ υψηλή αντίσταση.

Πίνακας 1.3: Σύνοψη των μεθόδων προστασίας έναντι σφαλμάτων γης.

Μέθοδος Γείωσης	Διαθέσιμοι Μέθοδοι εντοπισμού σφαλμάτων	Προτεινόμενοι Μέθοδοι
Άμεση γείωση	32I,32Q,32V	Αυτόματη επιλογή βέλτιστης μεθόδου
Γείωση μέσω χαμηλής σύνθετης αντίστασης	32I,32Q,32V	Αυτόματη επιλογή βέλτιστης μεθόδου
Αγειώτο	32U,32VAR,32W,32C	Στοιχείο 32U
Γείωση μέσω υψηλής αντίστασης	32W,32C,32VAR	Συνδυασμός στοιχείων 32W, 32C
Γείωση μέσω υψηλής αντίδρασης	32W,32C,32VAR	Συνδυασμός στοιχείων 32W, 32C
Συντονισμένη γείωση	32W,32C	Συνδυασμός στοιχείων 32W, 32C

2 *Χρήση του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory*

2.1 *Εισαγωγή*


Το λογισμικό PowerFactory της εταιρείας DIgSILENT GmbH αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για τη μοντελοποίηση δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την εκπόνηση πληθώρας μελετών. Οι πιο βασικές λειτουργίες του προγράμματος επιγραμματικά είναι:

- Υπολογισμός ροής φορτίου,
- Υπολογισμός βραχυκυκλωμάτων,
- Ανάλυση ευστάθειας δικτύου,
- Μοντελοποίηση και υπολογισμός ιδιοτιμών,
- Ανάλυση μεταβατικών φαινομένων,
- Αξιολόγηση αξιοπιστίας δικτύου,
- Προστασία δικτύων.

Στο συγκεκριμένο εδάφιο θα περιγραφούν σε βάθος ο τρόπος σχεδίασης ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, η παραμετροποίηση των διάφορων στοιχείων του δικτύου, ο υπολογισμός της ροής φορτίου, η πραγματοποίηση βραχυκυκλωμάτων στα διάφορα σημεία του, η επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας και τέλος η εξαγωγή αποτελεσμάτων σε πίνακες και διαγράμματα .

2.2 *Βάση Δεδομένων PowerFactory*

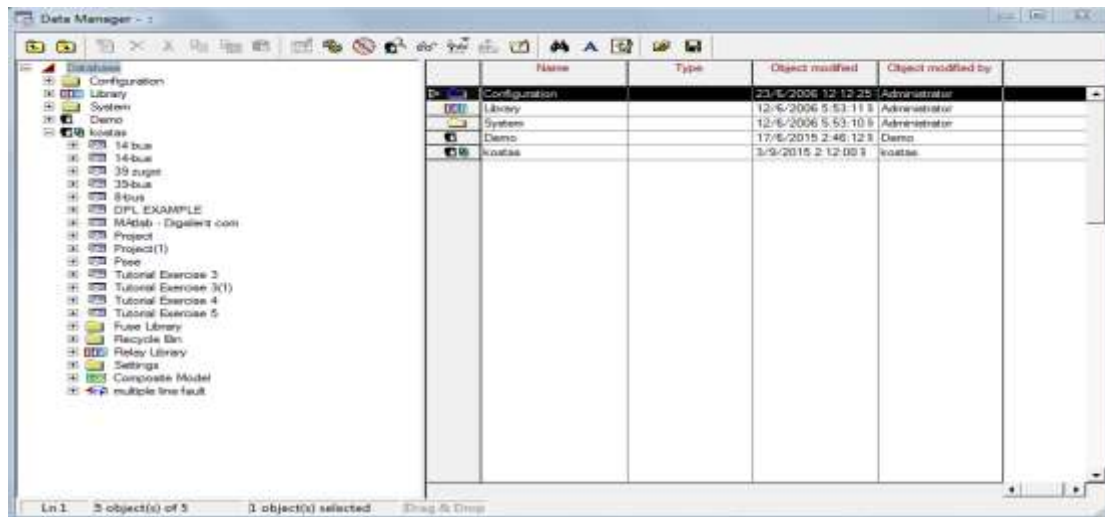
Για την αξιοποίηση και την αναζήτηση των δεδομένων στο PowerFactory χρησιμοποιείται η λειτουργία του «Data Manager». Το πεδίο «Data Manager» παρέχει στο χρήστη όλα τα απαραίτητα εργαλεία τα οποία χρειάζεται προκειμένου να διαχειριστεί και να διατηρήσει όλα τα δεδομένα από τα project που έχει δημιουργήσει καθώς επίσης και μια συνολική εικόνα της βάσης δεδομένων του προγράμματος. Το «Data Manager» απεικονίζει ολόκληρη την βάση δεδομένων με την χρήση ενός δένδρου σε συνδυασμό με μια ευέλικτη αναζήτηση δεδομένων.

Προκειμένου να ανοίξουμε το παράθυρο του «Data Manager» κλικάρουμε στο εικονίδιο «  » το οποίο βρίσκεται στην κεντρική γραμμή εργαλείων.

Το παράθυρο περιέχει :

- Τον τίτλο όπου δείχνει το όνομα και το μονοπάτι του φακέλου που έχει επιλεγθεί.
- Τη γραμμή εργαλείων του «Data Manager».
- Την απεικόνιση της συνολικής βάσης δεδομένων .
- Τα περιεχόμενα του φακέλου που έχει επιλεγθεί.
- Την γραμμή μηνυμάτων που δείχνει την κατάσταση και τις ρυθμίσεις του «Data Manager».


Η πλοήγηση στο παράθυρο μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα εικονίδια «+» και «-» που βρίσκονται αριστερά από το όνομα κάθε φακέλου. Πρέπει να επισημάνουμε ότι στο PowerFactory η χρήση του δεξιού κουμπιού του ποντικιού είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη συνεπώς πατώντας δεξιά κλικ πάνω σε οποιοδήποτε αντικείμενο ή φάκελο αναδύεται ένα μενού με όλες τις ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν.

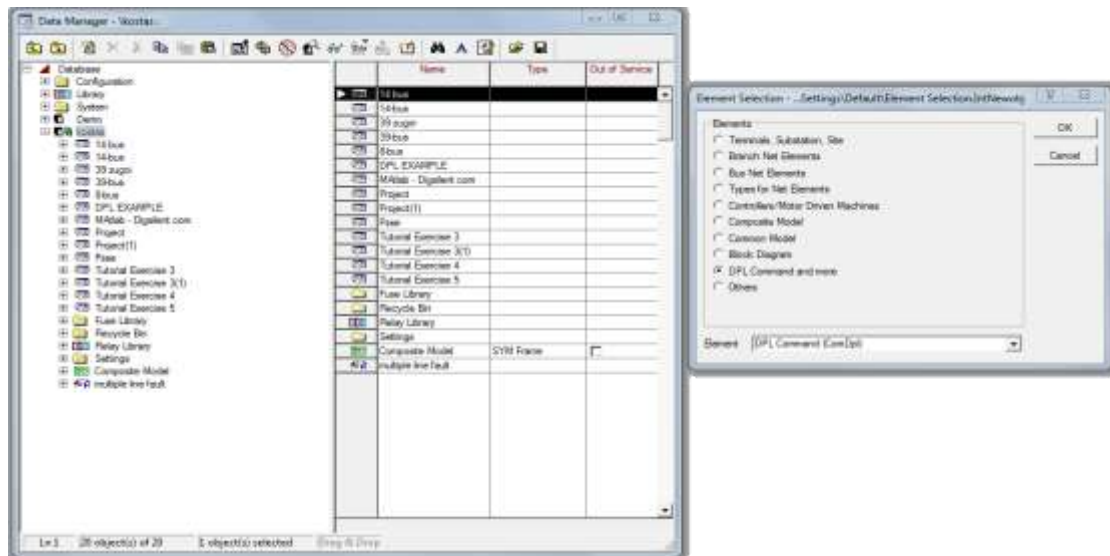


Εικόνα 2.1: Παράθυρο Data Manager

Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο παράθυρο του «Data Manager».

2.2.1 Προσθήκη καινούργιων αντικειμένων

Η προσθήκη αντικειμένων στο PowerFactory γίνεται άμεσα όταν δημιουργούμε ένα αντικείμενο στη γραφική επιφάνεια του προγράμματος όπου θα αναφερθούμε παρακάτω. Όμως, για να αποκτήσουμε πρόσβαση σε όλο το εύρος των αντικειμένων που μπορούν να δημιουργηθούν πρέπει να κλικάρουμε στο εικονίδιο «» που βρίσκεται στην γραμμή εργαλείων του παραθύρου. Όταν πατήσουμε το εικονίδιο αναδύεται ένα νέο παράθυρο το οποίο μας επιτρέπει να επιλέξουμε το αντικείμενο που θέλουμε να δημιουργήσουμε.






Εικόνα 2.2: Παράθυρο προσθήκης νέων αντικειμένων.

2.2.2 Διαγραφή Αντικειμένων


Η διαγραφή ενός αντικειμένου ή φακέλου μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε χρησιμοποιώντας το «Delete» στο πληκτρολόγιο είτε πατώντας το εικονίδιο «X».

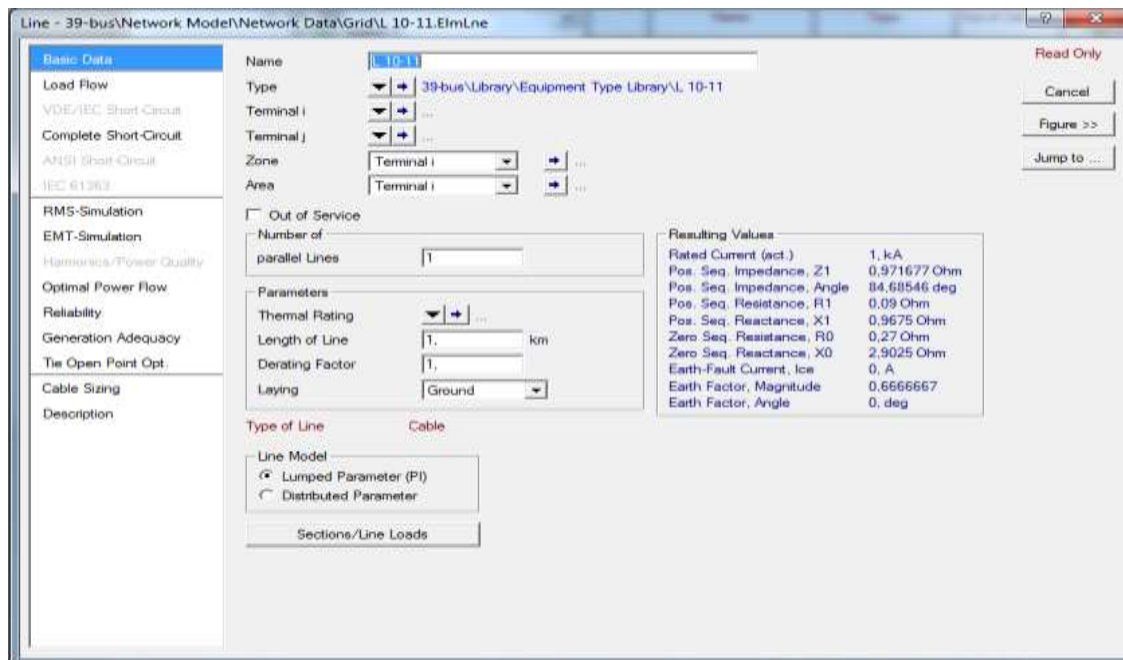
Επισημαίνεται ότι τα περισσότερα αντικείμενα τα οποία είναι αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων είναι διασυνδεδεμένα σύμφωνα με την τοπολογία του προσομοιωμένου δικτύου. Έτσι, διαγράφοντας κάποιο αντικείμενο μπορεί να δημιουργήσουμε κάποια δυσλειτουργία στην συνεκτικότητα της βάσης δεδομένων. Για αυτό το λόγο το PowerFactory λύνει αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας έναν φάκελο που ονομάζεται «Recycle Bin». Με αυτό τον τρόπο όλα τα αντικείμενα που διαγράφονται στην πραγματικότητα μετακινούνται σε αυτό το φάκελο και έτσι όλες οι αναφορές των διαγεγραμμένων αντικειμένων παραμένουν έγκυρες χωρίς να δημιουργείται έτσι κάποιο πρόβλημα στο πρόγραμμα.

2.2.3 Αντιγραφή, Αποκοπή και Επικόλληση Αντικειμένων

Για την αντιγραφή ενός αντικειμένου από ένα φάκελο σε έναν άλλο χρησιμοποιείται το εικονίδιο «», για την αποκοπή το εικονίδιο «» και για επικόλληση το «». Ωστόσο είναι περισσότερο συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται οι συνδυασμοί πλήκτρων «Ctrl-C», «Ctrl-X», «Ctrl-V» αντίστοιχα για κάθε ενέργεια.


2.2.4 Επεξεργασία Αντικειμένων

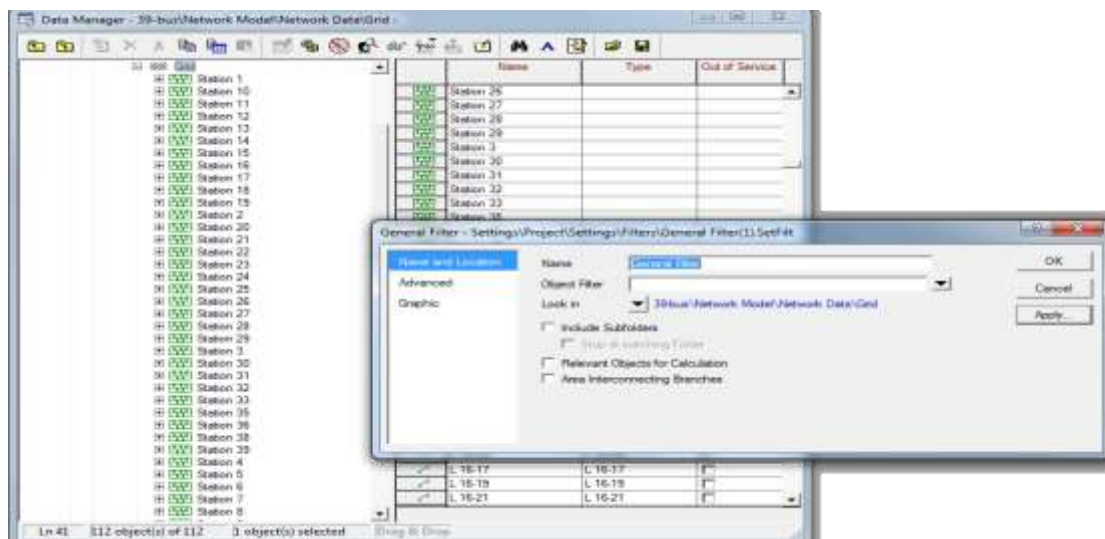
Η επεξεργασία ενός αντικειμένου γίνεται είτε χρησιμοποιώντας το εικονίδιο «» αφού έχει επιλεγεί το αντικείμενο προς επεξεργασία, είτε πατώντας δεξί κλικ πάνω στο αντικείμενο και από το αναδυόμενο παράθυρο επιλέξουμε την επιλογή «Edit». Το παράθυρο επεξεργασίας αντικειμένων διαφέρει ανάλογα με το αντικείμενο.



Εικόνα 2.3: Παράθυρο Επεξεργασίας για μια γραμμή.


2.2.5 Εύρεση Αντικειμένων

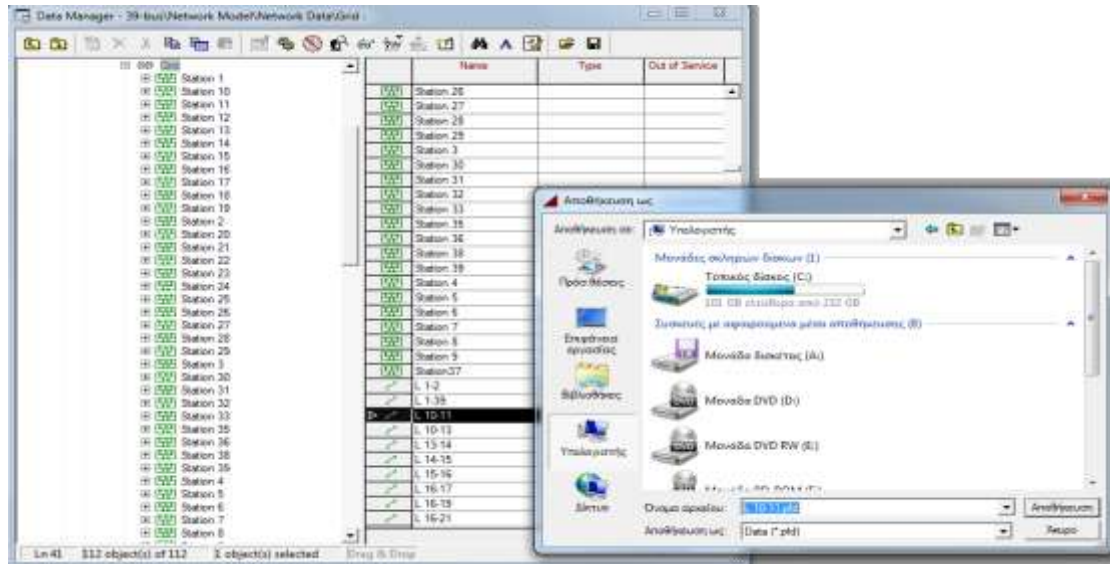
Προκειμένου να βρούμε ένα αντικείμενο ή μια ομάδα αντικειμένων από κάποιο φάκελο χρησιμοποιούμε το εικονίδιο «» επιλέγουμε την επιλογή «New Filters» από το παράθυρο και στη συνέχεια στην επιλογή «Object Filters» ορίζουμε το είδος του αντικειμένου και στην επιλογή «Look in» τον φάκελο στον οποίο το ψάχνουμε.



Εικόνα 2.4: Παράθυρο Εύρεσης αντικειμένων.

2.2.6 Εξαγωγή Αντικειμένων

Το PowerFactory δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να εξάγει αντικείμενα ή ακόμα και ολόκληρα project σε μορφή αρχείου .pfd και .dz για χρήση από άλλους χρήστες ή ακόμα και από άλλα προγράμματα. Η εξαγωγή γίνεται με την επιλογή του εικονιδίου «».



Εικόνα 2.5: Παράθυρο εξαγωγής μιας γραμμής σε μορφή αρχείου .pfd.

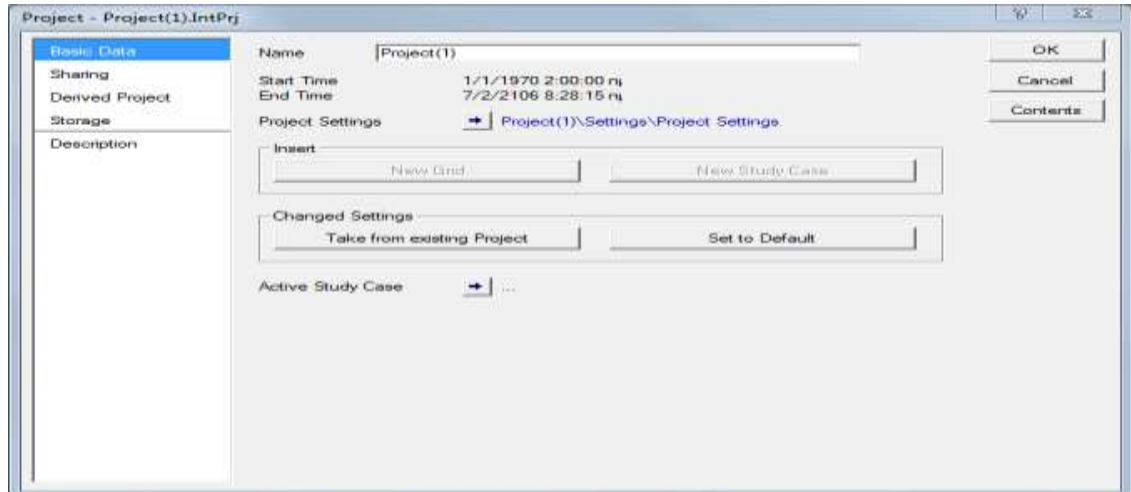
2.3 Σχεδιασμός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Το PowerFactory χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές κατηγορίες αναπαραστάσεων που αποτελούν τα κύρια εργαλεία για το σχεδιασμό δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, μπλοκ διαγραμμάτων για ελεγκτές και για την παρουσίαση αποτελεσμάτων. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

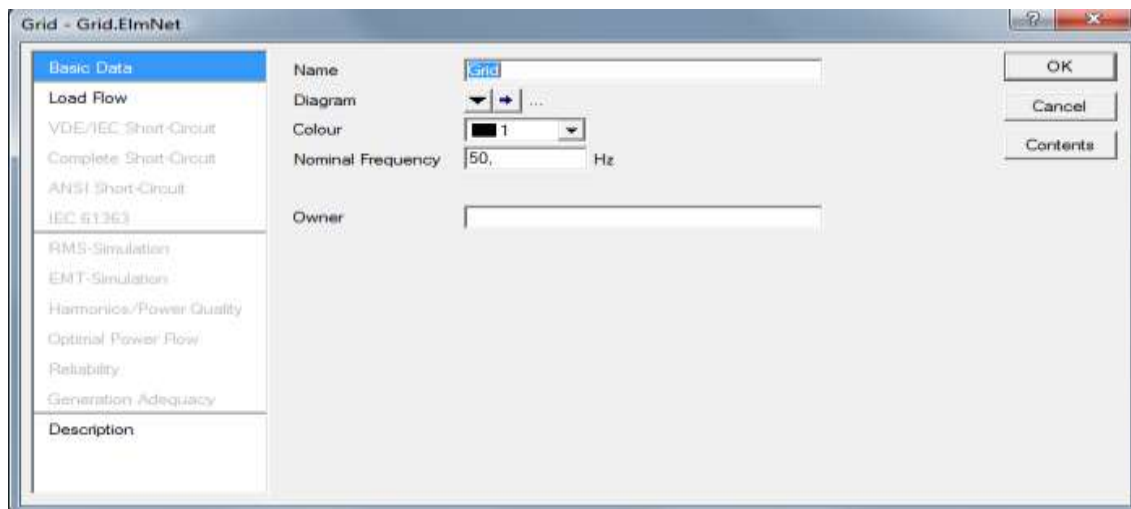
- Μονογραμμικά διαγράμματα
- Μπλοκ διαγράμματα
- Οπτικά όργανα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τον σχεδιασμό δικτύων και κατ' επέκταση με τα μονογραμμικά διαγράμματα.

Αρχικά, προτού ξεκινήσουμε να σχεδιάζουμε το μονογραμμικό διάγραμμα ενός δικτύου πρέπει να δημιουργήσουμε ένα project στο οποίο θα αποθηκευτεί μέσα το δίκτυο, καθώς και το σύνολο των ενεργειών που θα πραγματοποιηθούν. Αυτό επιτυγχάνεται, πατώντας το κουμπί «File» και επιλέγοντας στο μενού, «New» -> «Project...». Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε το όνομα του project και πατάμε «Ok» ενώ στην συνέχεια μας ζητείται να δώσουμε όνομα στο δίκτυο.

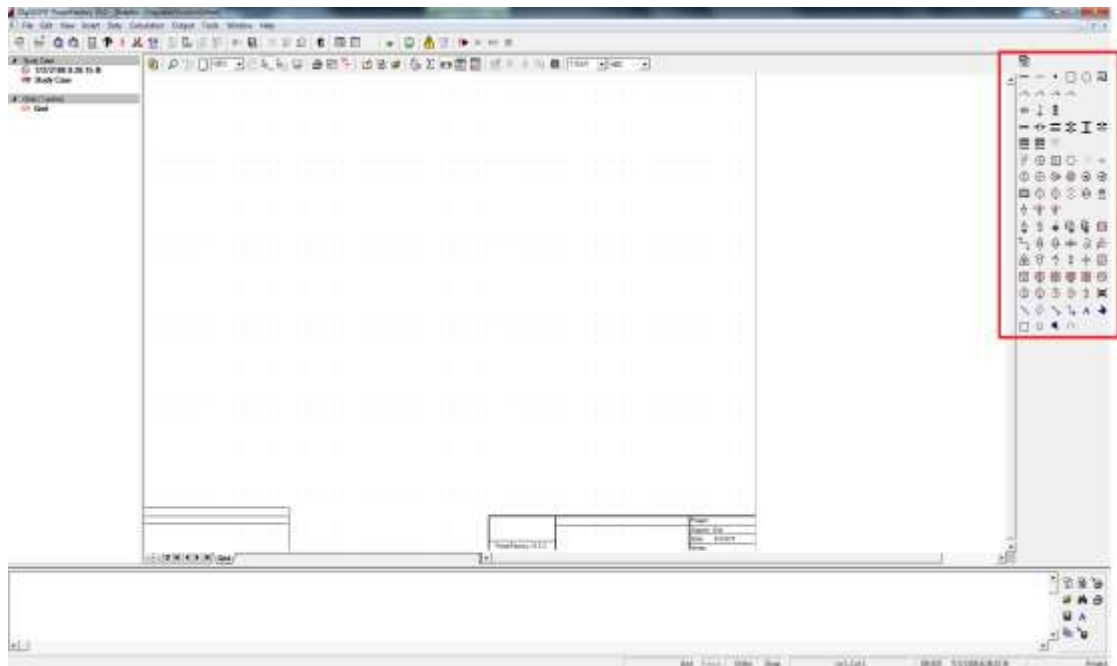


Εικόνα 2.6: Παράθυρο δημιουργίας νέου project.



Εικόνα 2.7: Παράθυρο δημιουργίας νέου δικτύου.

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου πραγματοποιείται με την παλέτα εργαλείων που βρίσκεται δεξιά της οθόνης όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.8. Η παλέτα αυτή περιέχει όλες τις ηλεκτρικές συνιστώσες ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας .




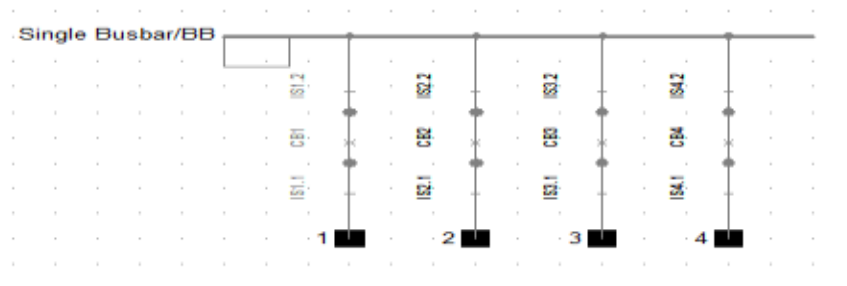
Εικόνα 2.8: Επιφάνεια σχεδίασης.

Αν αφήσουμε το ποντίκι πάνω σε οποιοδήποτε εικονίδιο της στήλης εργαλείων θα εμφανιστεί το είδος του στοιχείου.

Προκειμένου να σχεδιάσουμε ένα στοιχείο πάνω στην επιφάνεια πρέπει να πατήσουμε αριστερό κλικ πάνω στο επιθυμητό στοιχείο, να μετακινήσουμε το ποντίκι στο σημείο που θέλουμε να το τοποθετήσουμε, να πατήσουμε εκ νέου αριστερό κλικ και να πατήσουμε δεξί κλικ για να αποδεσμεύσουμε το συγκεκριμένο στοιχείο.

Για να τοποθετήσουμε ένα στοιχείο με προσανατολισμό πατάμε δεξί κλικ πάνω στο στοιχείο και επιλέγουμε το «Rotate» για να περιστρέψουμε το στοιχείο.

Στην συνέχεια, η σύνδεση μεταξύ ακραίων στοιχείων και ζυγών επιτυγχάνεται με την βοήθεια των cubicles. Έτσι, αν θέλουμε να ενώσουμε για παράδειγμα δύο ζυγούς με μια γραμμή πρέπει να πατήσουμε από τα εργαλεία το εικονίδιο «» και να πατήσουμε στον πρώτο ζυγό δεξί κλικ. Σε εκείνο το σημείο θα εμφανιστούν στην οθόνη οι αναχωρήσεις του ζυγού εκ των οποίων πρέπει να επιλέξουμε μια, στη συνέχεια μετακινούμε το ποντίκι στον άλλο ζυγό και πάλι πρέπει να επιλέξουμε μια από τις αφήξεις του άλλου ζυγού.



Εικόνα 2.9: Αναχωρήσεις ή αφήξεις ζυγών.

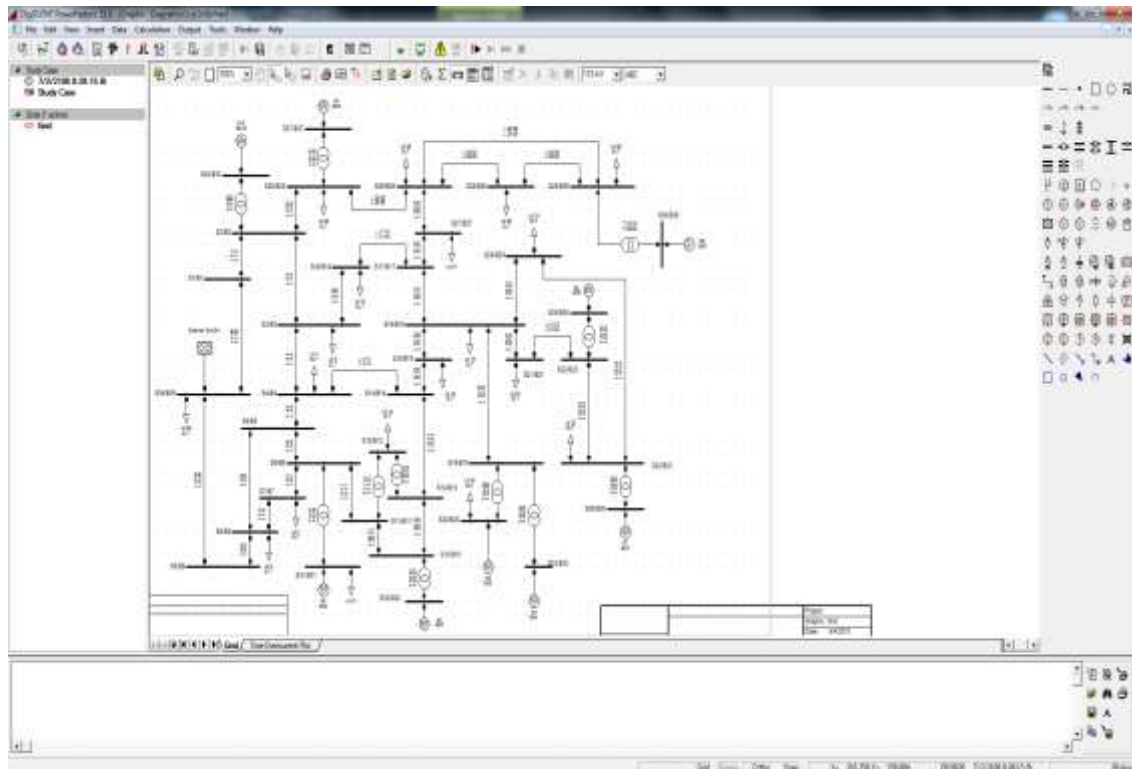


Εικόνα 2.10: Δύο γραμμές συνδεδεμένες με μια γραμμή.

Τα πιο βασικά στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με τα αντίστοιχα εικονίδια τους είναι :

- « — »: Ζυγός
- « —┘ »: Γραμμή
- « ⊙ »: Σύγχρονη Μηχανή
- « ⊕ »: Ασύγχρονη Μηχανή
- « ⊞ »: Εξωτερικό δίκτυο
- « ∇ »: Φορτίο
- « ⊗ »: Μετασχηματιστής 2-τυλιγμάτων
- « ⊗ »: Μετασχηματιστής 3-τυλιγμάτων

Τέλος, με αυτά τα απλά βήματα μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα εκτενές δίκτυο όπως αυτό που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.11.



Εικόνα 2.11: Δίκτυο 39-ζυγών New England.

2.4 Παραμετροποίηση στοιχείων δικτύου

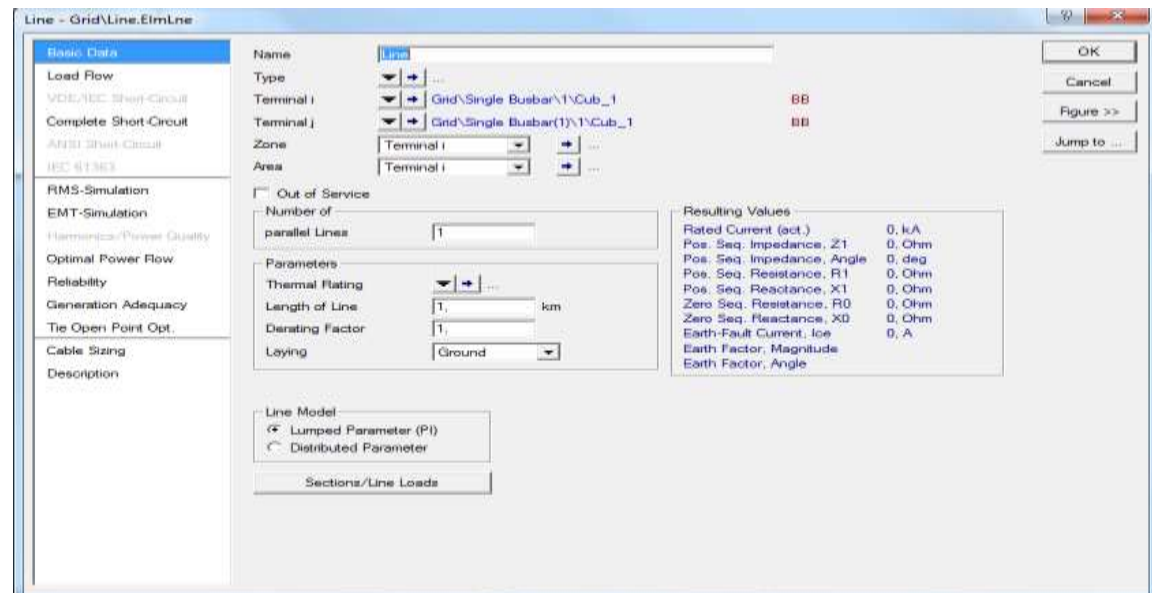
Η σχεδίαση ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό του PowerFactory. Ωστόσο, για να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα και αποτελέσματα για το δίκτυο πρέπει να παραμετροποιήσουμε τα στοιχεία του. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται αυτή η διαδικασία.

Η παραμετροποίηση των διάφορων στοιχείων του δικτύου γίνεται πατώντας διπλό αριστερό κλικ στο εκάστοτε στοιχείο του δικτύου.

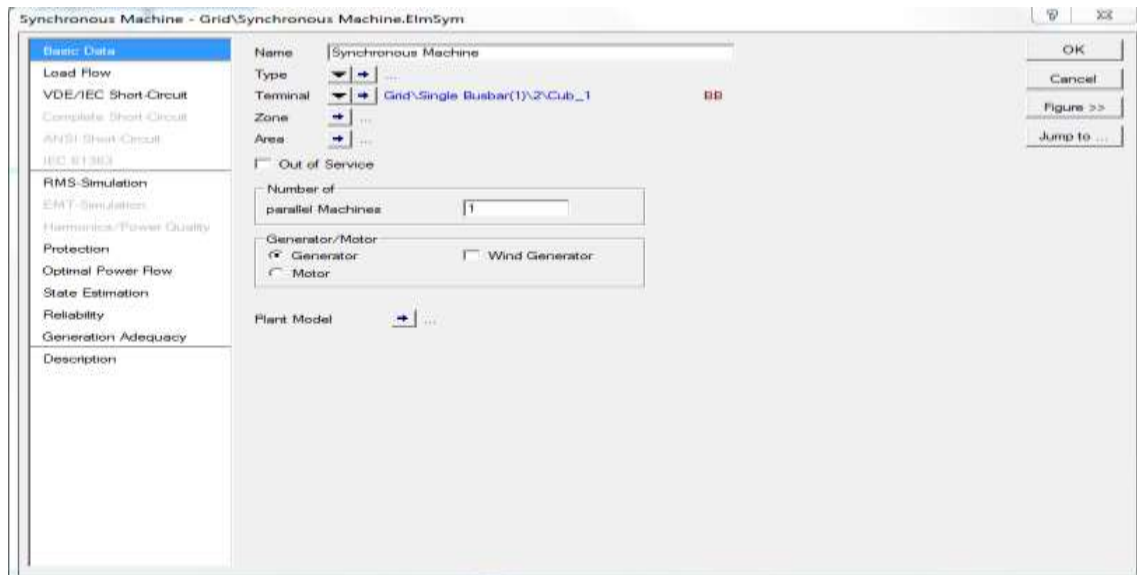
Κάθε στοιχείο έχει διαφορετικό παράθυρο επεξεργασίας, ωστόσο όλα τα στοιχεία έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά προς παραμετροποίηση τα οποία είναι:

- Το όνομα του στοιχείου.
- Ο τύπος του στοιχείου.
- Ο τερματικός ζυγός ή οι τερματικοί ζυγοί που συνδέονται.

Αναφορικά με τα παράθυρα επεξεργασίας μιας γραμμής (Εικόνα 2.12) και μιας σύγχρονης μηχανής (Εικόνα 2.13), παρατηρούμε ότι έχουν στο αριστερό τους μέρος καρτέλες με κατηγορίες ενεργειών που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα δίκτυο, όπως για παράδειγμα η ροή φορτίου. Οι παράμετροι των στοιχείων που συμπεριλαμβάνονται σε αυτές τις καρτέλες επηρεάζουν τα αποτελέσματα στις αντίστοιχες ενέργειες.





Εικόνα 2.12: Παράθυρο επεξεργασίας γραμμής.

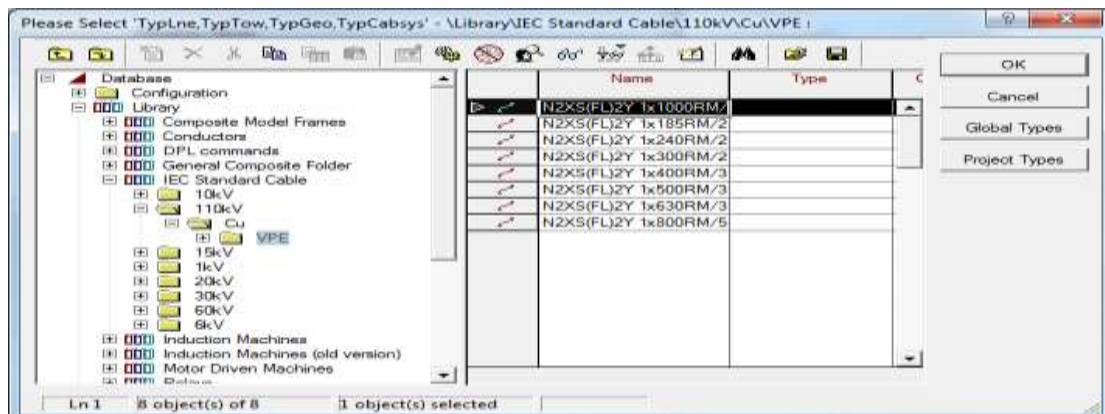


Εικόνα 2.13: Παράθυρο επεξεργασίας σύγχρονης μηχανής.

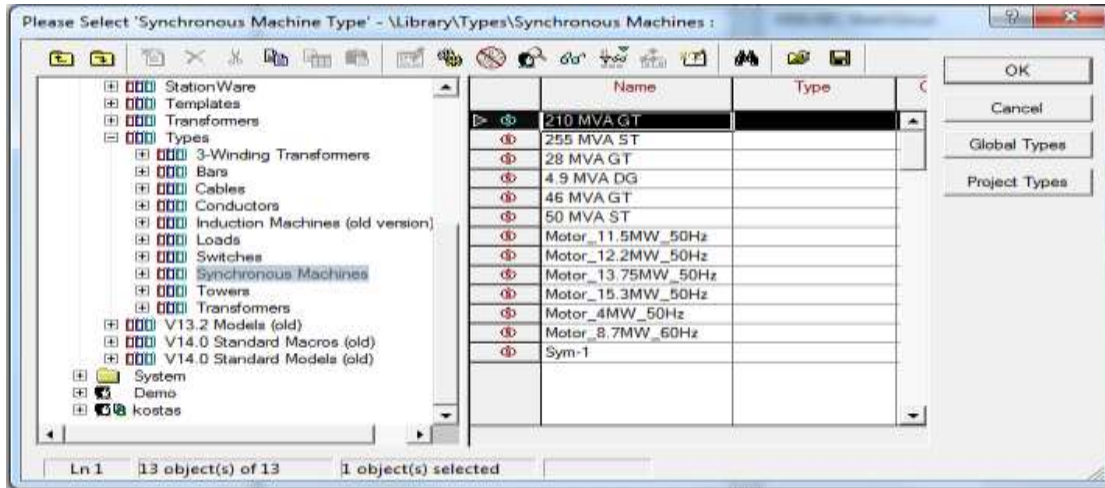
Ο τερματικός ζυγός ή οι τερματικοί ζυγοί συμπληρώνονται αυτόματα όταν συνδέσουμε το στοιχείο με τα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου μέσω της διαδικασίας της σχεδίασης. Ο τύπος των στοιχείων πρέπει να συμπληρωθεί καθώς αποτελεί το πιο βασικό χαρακτηριστικό της παραμετροποίησης και αυτό γίνεται αντιληπτό άμα αναλογιστούμε ότι δύο στοιχεία μπορεί να είναι ίδια αλλά να διαφέρουν στον τύπο.

Ο τύπος επιλέγεται πατώντας το εικονίδιο «». Στο μενού μπορούμε να διαλέξουμε το «Select Global Type...» αν θέλουμε ένα έτοιμο τύπο από αυτούς που υπάρχουν μέσα στην βάση δεδομένων του PowerFactory, το «Select Project Type...» αν θέλουμε έναν τύπο που έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει στο project μας ή το «New Project Type...» αν θέλουμε να δημιουργήσουμε έναν τύπο με χαρακτηριστικά που εμείς θα ορίσουμε. Προκειμένου να ελέγξουμε τι τύπο έχουμε επιλέξει πατάμε το εικονίδιο «».

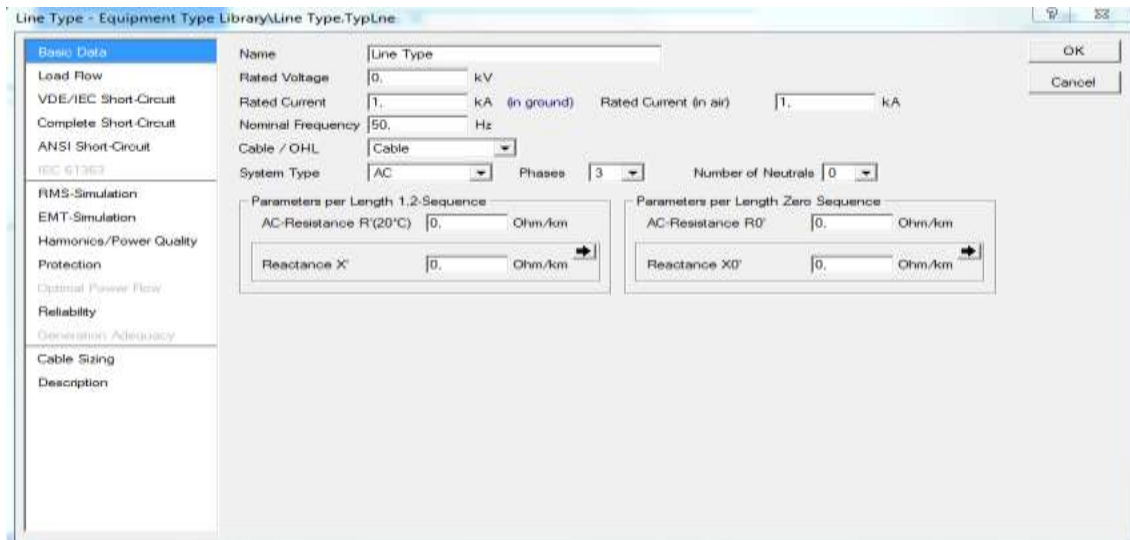
Στις Εικόνες 2.14 έως 2.17 παρουσιάζονται ορισμένοι από τους έτοιμους τύπους γραμμών και σύγχρονων μηχανών που υπάρχουν στην βάση δεδομένων ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται και τα παράθυρα επεξεργασίας για τον τύπο μιας γραμμής και μιας σύγχρονης μηχανής.



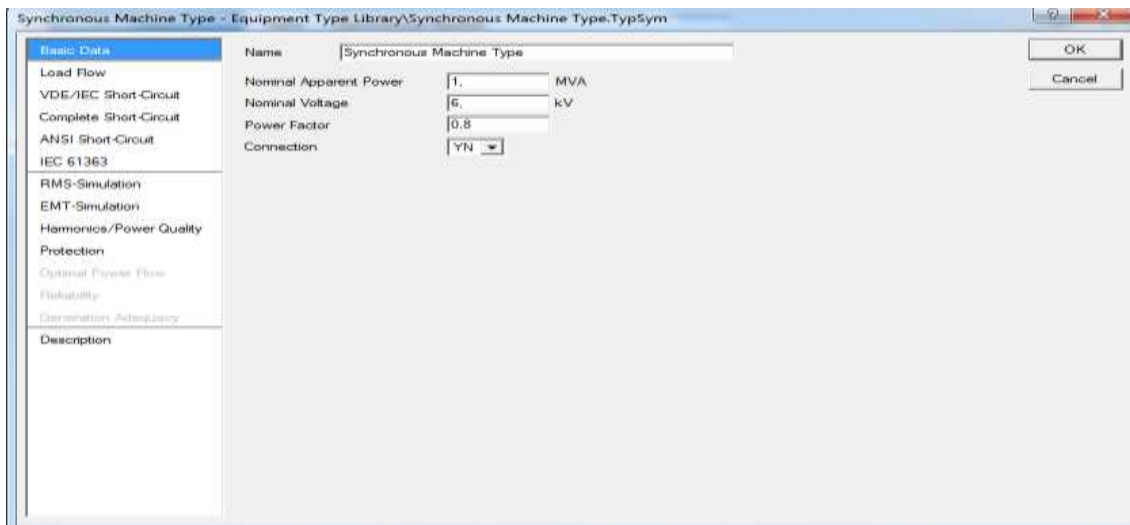
Εικόνα 2.14: Τύποι γραμμών χαλκού στα 110 kV.



Εικόνα 2.15: Τύποι σύγχρονων μηχανών.




Εικόνα 2.16: Παράθυρο επεξεργασίας τύπου γραμμής.



Εικόνα 2.17: Παράθυρο επεξεργασίας τύπου σύγχρονης μηχανής.

Επισημαίνεται ότι τα παράθυρα επεξεργασίας των τύπων των στοιχείων όπως και τα αντίστοιχα παράθυρα επεξεργασίας των στοιχείων έχουν στο αριστερό τους μέρος καρτέλες που εμπεριέχουν παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν την συμπεριφορά των αντίστοιχων ενεργειών ή συμβάντων που λαμβάνουν χώρο σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

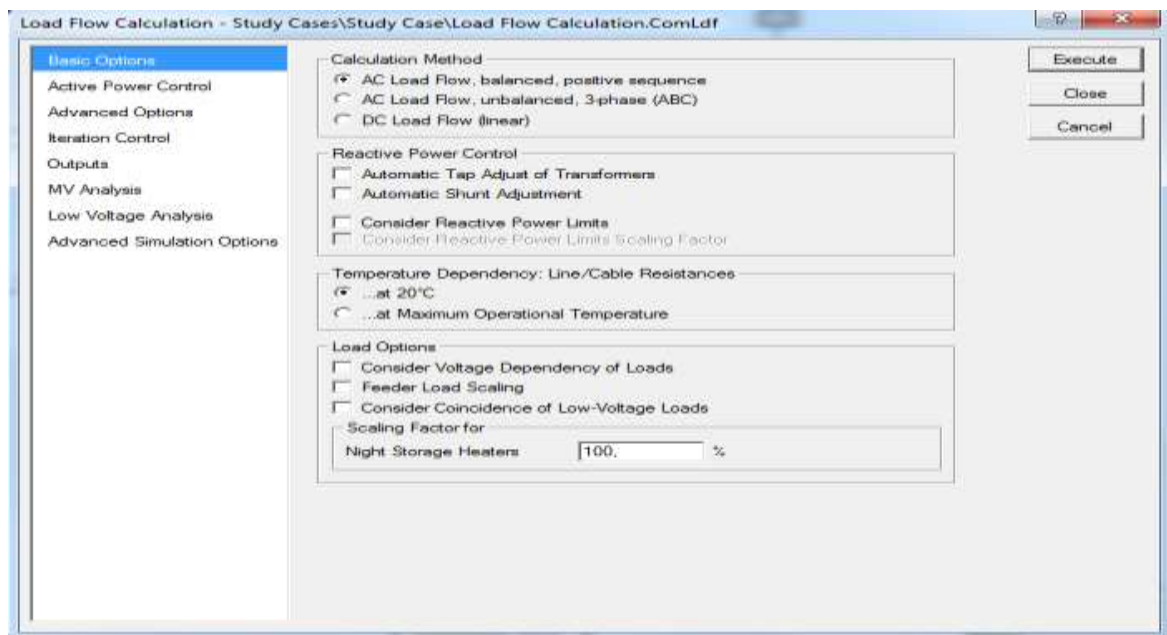
2.5 Ροή Φορτίου

Η ροή φορτίου πραγματοποιείται επιλέγοντας το εικονίδιο «» το οποίο βρίσκεται στην κύρια γραμμή εργαλείων στην κεντρική επιφάνεια εργασίας.

Στο αναδυόμενο παράθυρο μπορούμε να επιλέξουμε τα χαρακτηριστικά της ροής φορτίου που θα εκτελέσουμε. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές καρτέλες της ροής φορτίου.

Στην καρτέλα με τις βασικές ρυθμίσεις δίνεται η δυνατότητα επιλογής:

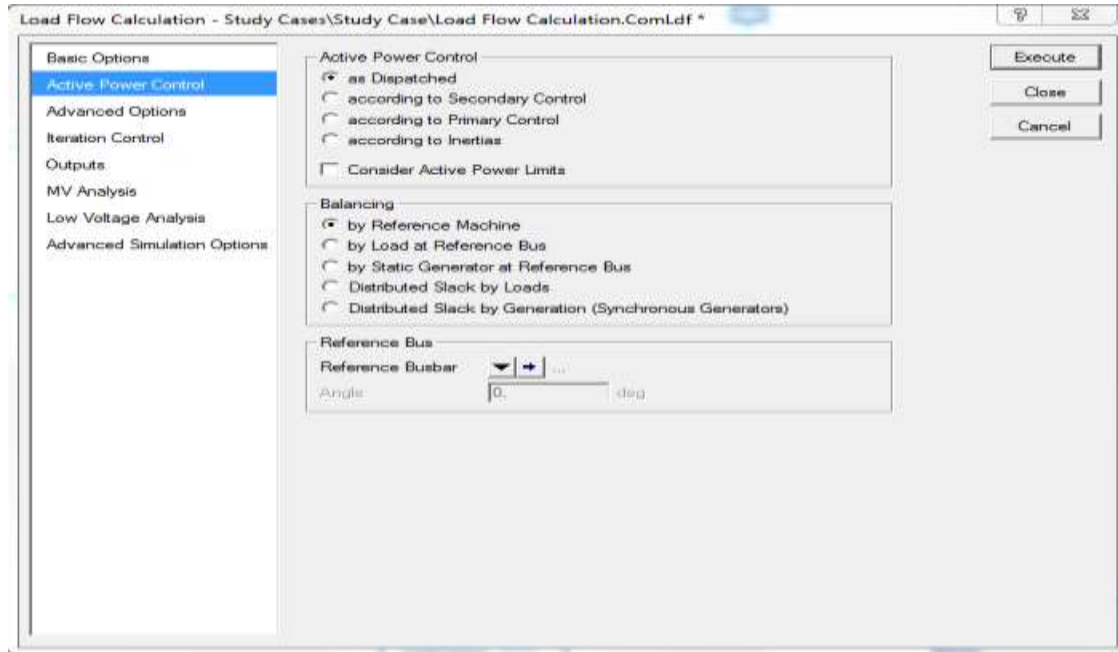
- Της μεθόδου που θα εκτελεστεί η ροή φορτίου (AC ή DC ροή φορτίου).
- Ελέγχου της άεργου ισχύος.
- Εξάρτησης της ροής φορτίου από την θερμοκρασία.
- Ρυθμίσεις που αφορούν το φορτίο στο δίκτυο.



Εικόνα 2.18: Καρτέλα βασικών ρυθμίσεων ροής φορτίου.

Στην καρτέλα της ροής φορτίου που αφορά τον έλεγχο ενεργού ισχύος έχουμε:

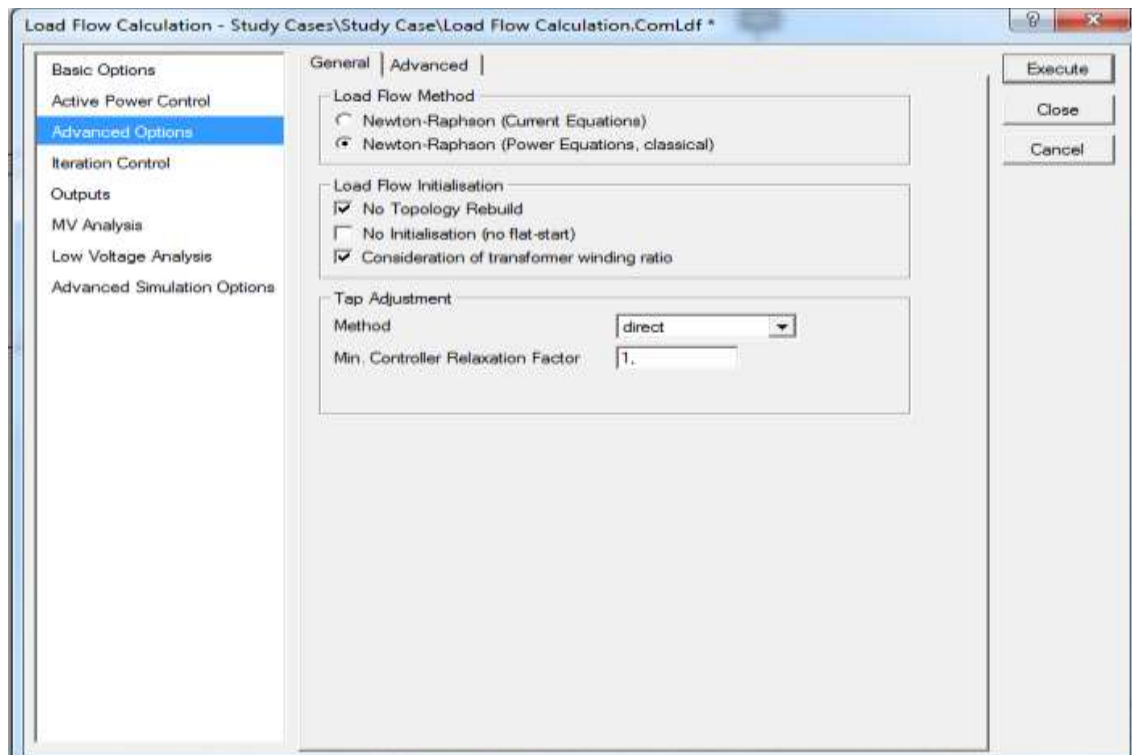
- Τον έλεγχο της ενεργού ισχύος σύμφωνα με μια από τις δοθείσες αρχές (πρωτεύων ή δευτερεύων έλεγχος).
- Επιλογή του σημείου στο δίκτυο που θα ισοσταθμίζει την ροή ενεργού ισχύος.
- Επιλογή ζυγού αναφοράς.



Εικόνα 2.19: Καρτέλα ελέγχου ενεργού ισχύος στην ροή φορτίου.

Στην καρτέλα προηγμένων ρυθμίσεων έχουμε:

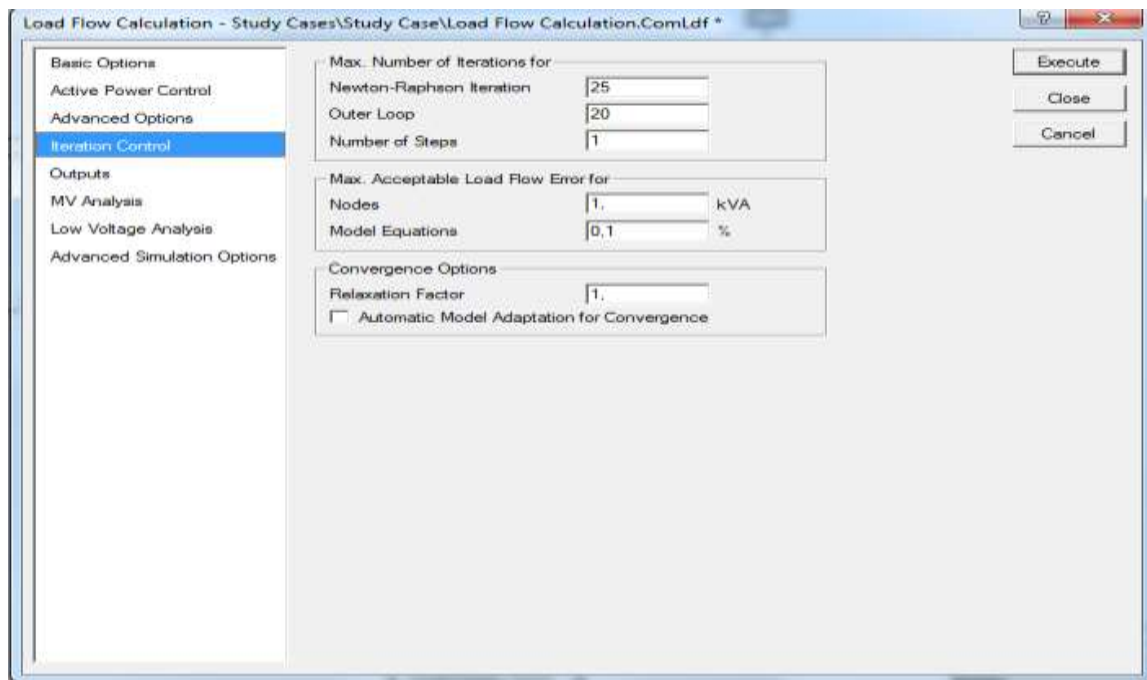
- Επιλογή της μαθηματικής μεθόδου που θα εκτελεστεί η ροή φορτίου.
- Επιλογή αρχικοποίησης για ταχύτερη σύγκλιση της μεθόδου.
- Προσαρμογή των taps.



Εικόνα 2.20: Καρτέλα προηγμένων ρυθμίσεων ροής φορτίου.

Στην καρτέλα που αφορά τον έλεγχο των επαναλήψεων που εκτελεί η εκάστοτε μέθοδος ροής φορτίου έχουμε:

- Επιλογή για τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων.
- Επιλογή για το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα.
- Επιλογές που σχετίζονται με την σύγκλιση της μεθόδου.



Εικόνα 2.21: Καρτέλα ελέγχου επαναλήψεων για την σύγκλιση της ροής φορτίου.

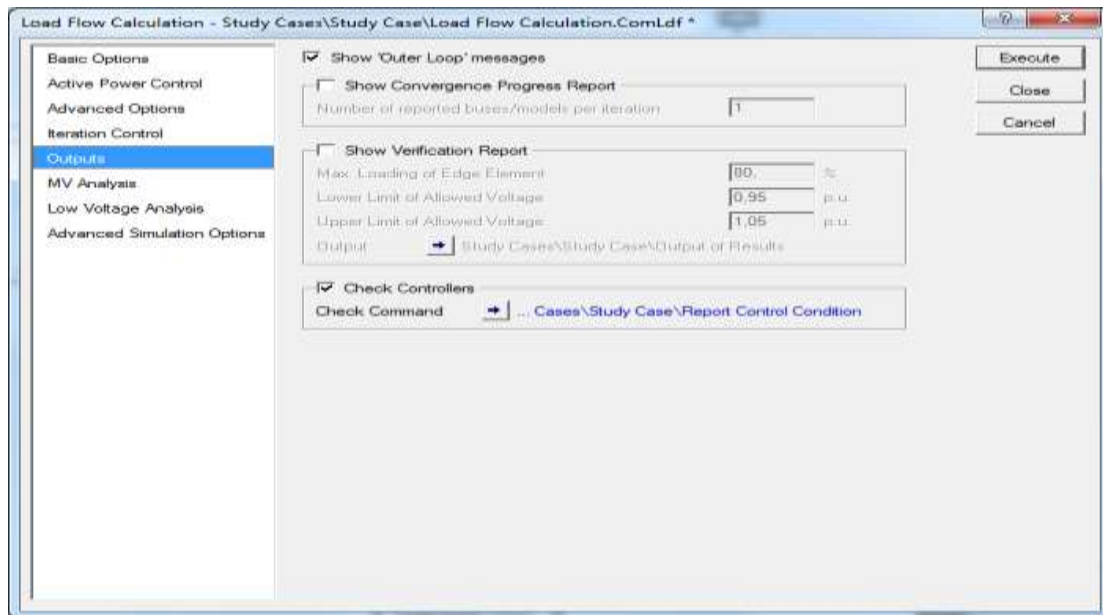
Στην καρτέλα ρυθμίσεων που αφορά τα αποτελέσματα της ροής φορτίου έχουμε:

- Αναφορά για την εξέλιξη της σύγκλισης.
- Αναφορά επαλήθευσης των αποτελεσμάτων.
- Αναφορά για την κατάσταση των ελεγκτών.

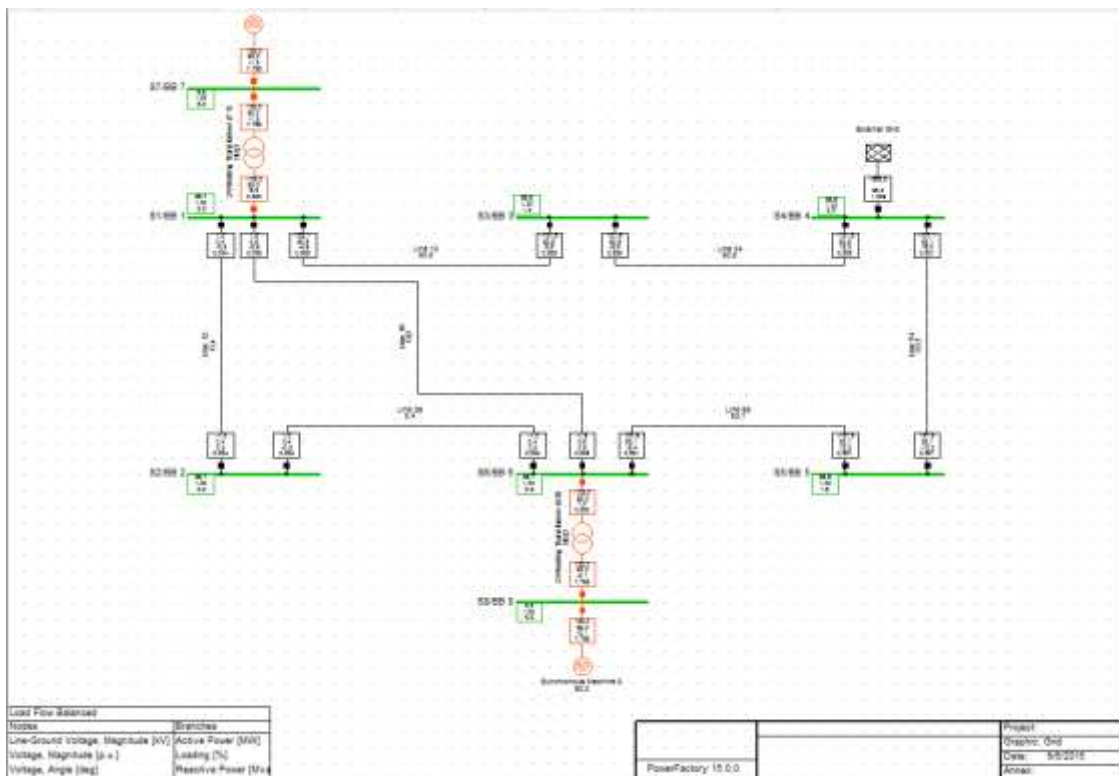
Τα αποτελέσματα της ροής φορτίου παρουσιάζονται πάνω στο δίκτυο με χρώματα που δηλώνουν της φόρτιση (loading) σε σχέση με τα ονομαστικά μεγέθη του κάθε στοιχείου ενώ, στο παράθυρο εξόδου αναγράφονται οι επαναλήψεις της ροής φορτίου και αν εκτελέστηκε με επιτυχία.

Επιπλέον, μέσα στα πλαίσια αποτελεσμάτων αναγράφονται διάφορα μεγέθη ανάλογα με το είδος του στοιχείου (πχ Τάση , Ισχύς , Ένταση). Τα πλαίσια αποτελεσμάτων βρίσκονται στα άκρα των στοιχείων ή πάνω από κάθε ζυγό.

Παρακάτω στην Εικόνα 2.23 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα AC ροής φορτίου με την μέθοδο Newton-Raphson (εξισώσεις ισχύος) σε ένα δίκτυο 8 ζυγών.



Εικόνα 2.22: Καρτέλα ρυθμίσεων αποτελεσμάτων ροής φορτίου.



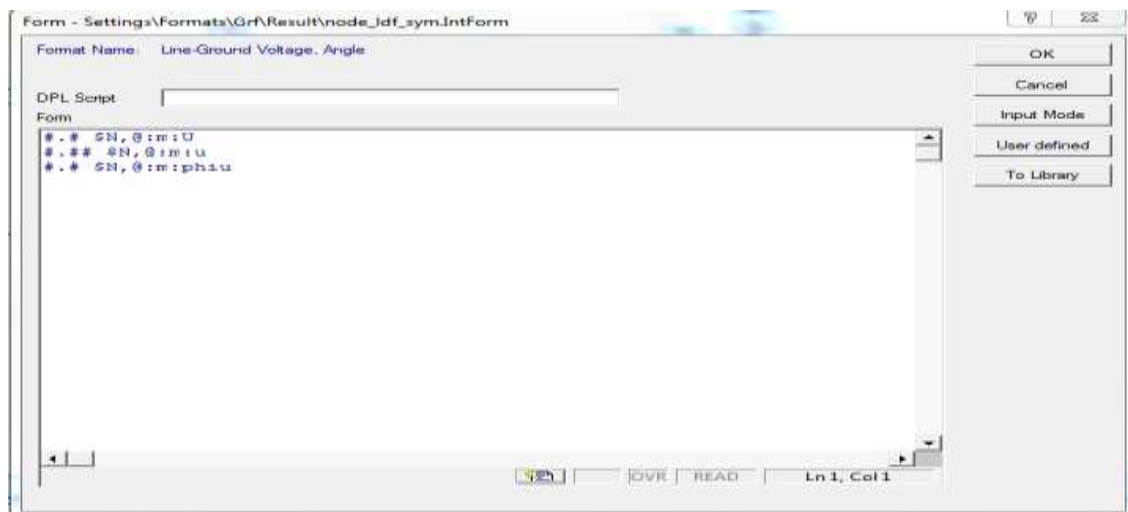
Εικόνα 2.23: Αποτελέσματα ροής φορτίου σε δίκτυο 8 ζυγών.

```
DIGSI/info - Element ' External Grid' is local reference in separated area of 'T1.2'
DIGSI/info - Grid split into 3 isolated areas
DIGSI/info - Calculating load flow...
DIGSI/info - -----
DIGSI/info - Start Newton-Raphson Algorithm...
DIGSI/info - load flow iteration: 1
DIGSI/info - load flow iteration: 2
DIGSI/info - load flow iteration: 3
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.
```

Εικόνα 2.24: Αποτελέσματα ροής φορτίου στο παράθυρο εξόδου.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα χρώματα δηλώνουν για τους ζυγούς ότι τα επίπεδα τάσης βρίσκονται στα ονομαστικά μεγέθη, ενώ οι μετασχηματιστές και οι γεννήτριες λειτουργούν στο 90% των δυνατοτήτων τους.

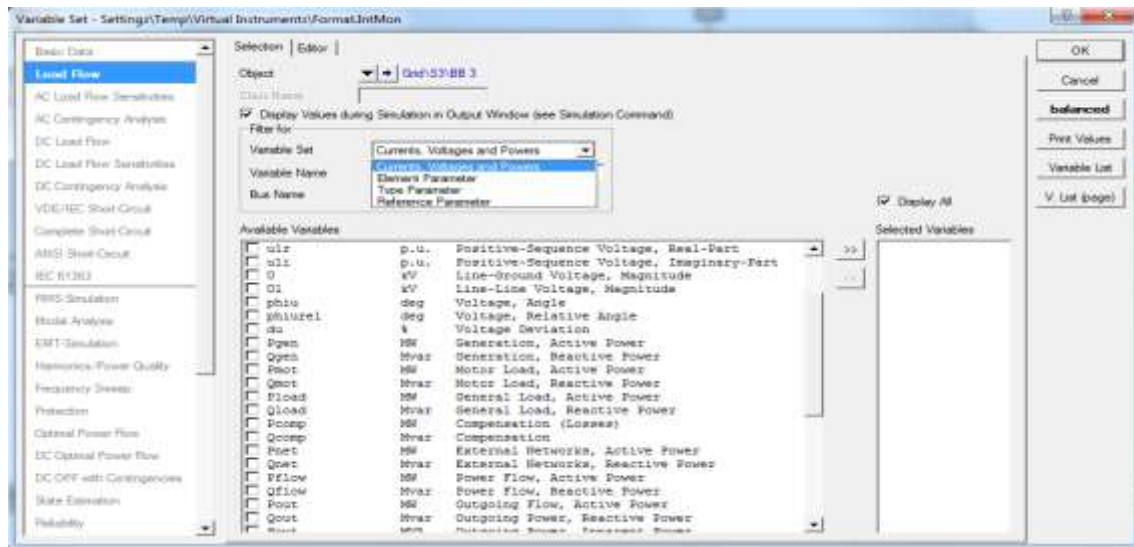
Προκειμένου να αλλαγθούν τα αποτελέσματα που φαίνονται στα πλαίσια αποτελεσμάτων πατάμε δεξί κλικ και επιλέγουμε το «Edit Format for Nodes» αν βρίσκεται σε ζυγό ή «Edit Format for Edge Elements» αν βρίσκεται σε στοιχείο με άκρα. Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε το «User Defined» και οδηγούμαστε στο παράθυρο που μπορούμε να επιλέξουμε τα αποτελέσματα τα οποία θα αναγράφονται στα πλαίσια αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.25: Παράθυρο αλλαγής της μορφής αποτελεσμάτων.


Στην επιλογή «Variable Set» ορίζουμε το είδος του ηλεκτρικού μεγέθους που επιθυμούμε, στην συνέχεια διαλέγουμε το στοιχείο από την λίστα «Available Variables», πατάμε το εικονίδιο «>>» προκειμένου το μέγεθος να εμφανιστεί στην λίστα «Selected Variables» και τέλος πατάμε «Οκ».

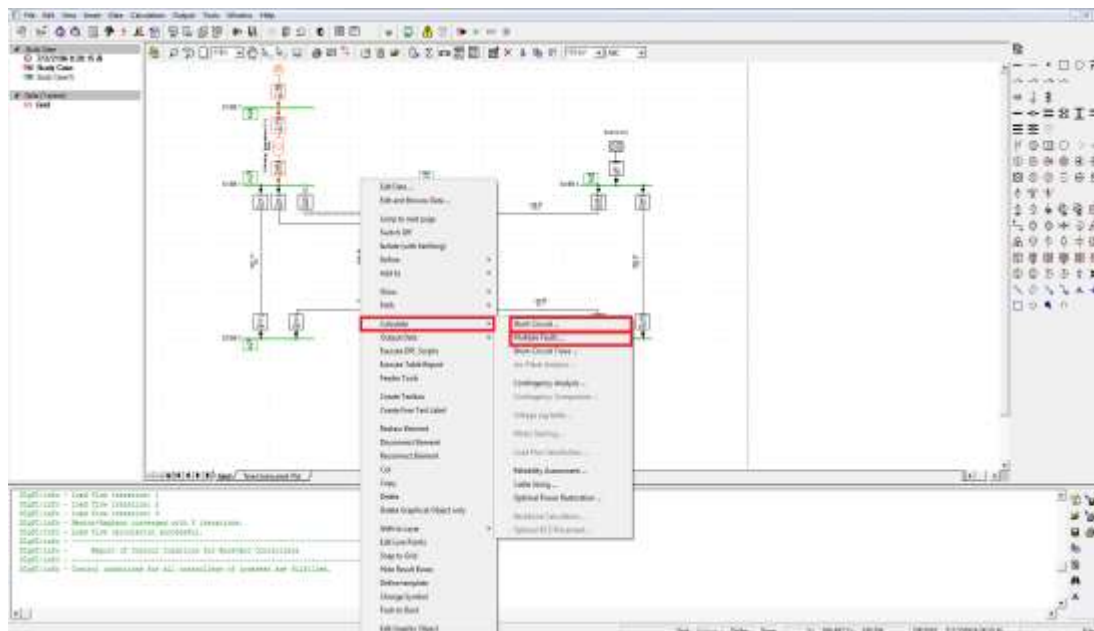
Αν θέλουμε να αφαιρέσουμε κάποιο μέγεθος από την λίστα «Selected Variables» πατάμε το εικονίδιο «<<».



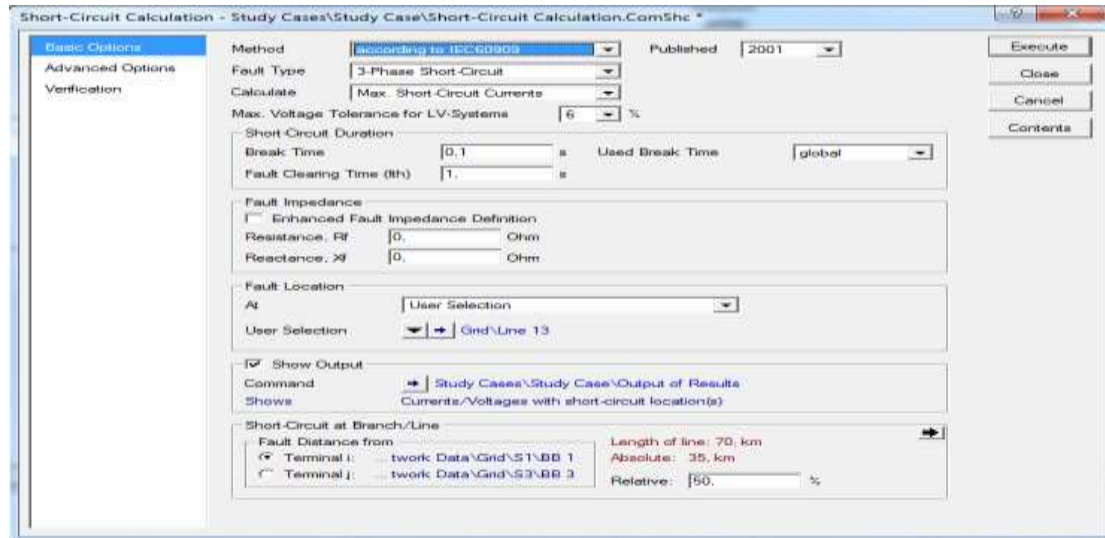
Εικόνα 2.26: Παράθυρο επιλογής μεγεθών στα πλαίσια αποτελεσμάτων.

2.6 Βραχυκυκλώματα

Βραχυκυκλώματα μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε πατώντας το εικονίδιο «» που βρίσκεται στην κεντρική γραμμή εργαλείων, είτε πατώντας δεξί κλικ πάνω στο στοιχείο που επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί το βραχυκύκλωμα. Στο μενού επιλέγουμε «Calculate» -> «Short-Circuit...» αν θέλουμε να γίνει το βραχυκύκλωμα στο συγκεκριμένο σημείο ή «Calculate» -> «Multiple Faults...» αν θέλουμε το βραχυκύκλωμα να γίνει ταυτόχρονα σε διάφορα σημεία του δικτύου.




Εικόνα 2.27: Πραγματοποίηση Βραχυκυκλώματος.



Εικόνα 2.28: Παράθυρο εκτέλεσης βραχυκυκλώματος.

Στο παράθυρο εκτέλεσης βραχυκυκλωμάτων δίνονται οι εξής δυνατότητες παραμετροποίησης:

- Επιλογή της μεθόδου που θα εκτελεστεί το βραχυκύκλωμα.
- Επιλογή του είδους του βραχυκυκλώματος.
- Επιλογή υπολογισμού μεγίστου/ελαχίστου ρεύματος βραχυκύκλωσης.
- Χρόνος βραχυκύκλωσης και χρόνος εκκαθάρισης του βραχυκυκλώματος.
- Επιλογή σύνθετης αντίστασης σφάλματος.
- Επιλογή τοποθεσίας σφάλματος.
- Επιλογή των αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν στο παράθυρο εξόδου.
- Επιλογή του ζυγού στον οποίο αναφέρεται η απόσταση του σφάλματος (αν το βραχυκύκλωμα γίνεται σε γραμμή).
- Σχετική τοποθεσία του σφάλματος ως ποσοστό (%) της γραμμής (αν το βραχυκύκλωμα γίνεται σε γραμμή).

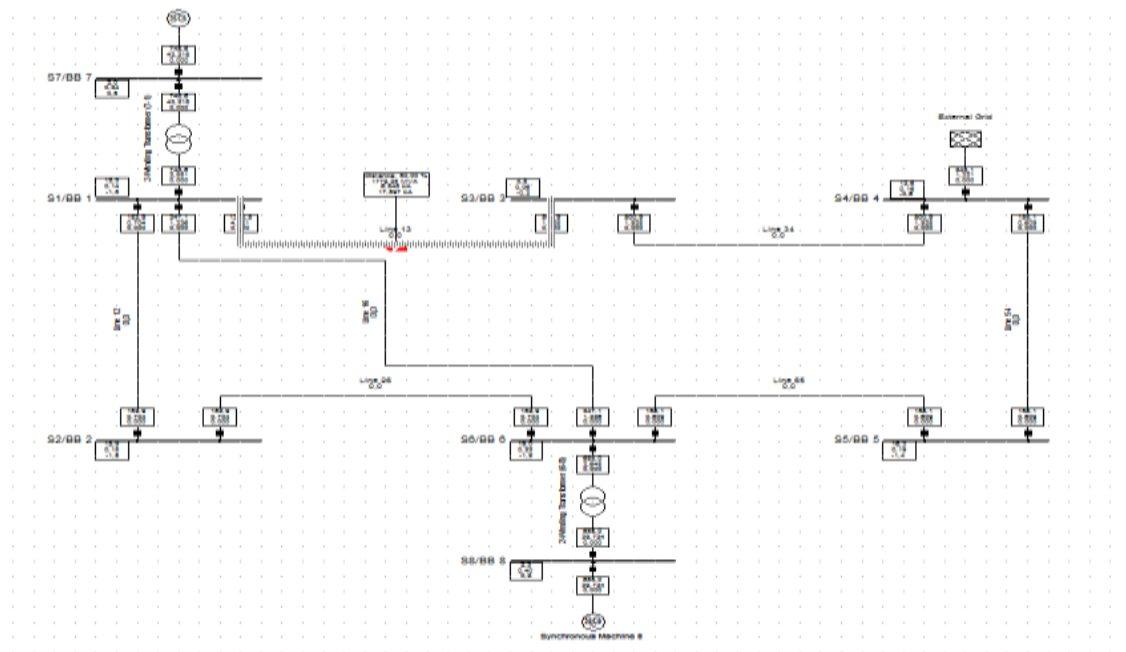
Πατώντας το εικονίδιο «» που βρίσκεται δεξιά από το «Command» στο «Show Output», εμφανίζεται το ακόλουθο πεδίο, στο οποίο επιλέγονται τα αποτελέσματα προς εμφάνιση, όπως:

- Η τοποθεσία του σφάλματος.
- Ρεύματα / Τάσεις.
- Προστασία δικτύου.
- Στοιχεία με άκρα.
- Λειτουργία ηλεκτρονόμων.
- Επιλογή πλήθους ζυγών πίσω από το σφάλμα, των οποίων η συνεισφορά θα παρουσιάζεται στα αποτελέσματα (depth).



Εικόνα 2.29: Παράθυρο επιλογής αποτελεσμάτων με την εκτέλεση βραχυκυκλώματος.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η εικόνα του δικτύου όταν πραγματοποιείται κάποιο βραχυκύκλωμα, καθώς επίσης το παράθυρο εξόδου για τις διάφορες επιλογές εξαγωγής αποτελεσμάτων. Το βραχυκύκλωμα που παρουσιάζεται ακολουθεί το πρότυπο IEC 60909, είναι 2-φασικό και βρίσκεται στο 50% της γραμμής.



Εικόνα 2.30: Βραχυκύκλωμα στην γραμμή 1-3 του δικτύου.

Το πλαίσιο αποτελεσμάτων που εμφανίζεται πάνω από το βραχυκύκλωμα παρουσιάζει την σχετική απόσταση του βραχυκυκλώματος πάνω στην γραμμή, την ισχύς βραχυκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να τροποποιηθούν με την διαδικασία που αναφέραμε για τα πλαίσια αποτελεσμάτων στο κεφάλαιο την ροής φορτίου.

```

DDIgSI/info - Short-circuit calculated at Line Line 13
DIgSI/info - Short-circuit calculation ready!
Short-Circuit Calculation according to IEC60909                2-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents
Asynchronous Motors      Grid Identification      Short-Circuit Duration
Always Considered        Automatic                               Break Time                0,10 s
                           Conductor Temperature      c-Voltage Factor          1,00 s
                           User Defined                No                          User Defined              No
Fault Distance from      Terminal 1: ... k Model\Network Data\Grid\SI\BB 1      Absolute                35,00 km
Line: \kostas\8-bus\Network Model\Network Data\Grid\Line 13      Relative                50,00 %
Grid: Grid                System Stage: Grid
rtd.V.      Voltage      c-      Sk**      Ik**      Ip      Ib      Sd      EFF
[kV]        [kV]        [deg]   [MVA]    [kA]    [deg]  [kA]   [kA]   [MVA]  [-]
Fault Location:
Line 13      A      95,25    0,76    1,10    0,00    0,00    0,00    0,00    0,00    0,00    1,00
            B      47,63   -179,24  513,78    5,93   -177,53  15,50    5,93    513,78    0,00
            C      47,63   -179,24  513,78    5,93    2,47    15,50    5,93    513,78    0,00
    
```

Εικόνα 2.31: Παράθυρο εξόδου για Fault Location.

```

Fault Distance from      Terminal 1: ... k Model\Network Data\Grid\SI\BB 1      Absolute                35,00 km
Line: \kostas\8-bus\Network Model\Network Data\Grid\Line 13      Relative                50,00 %
Grid: Grid                System Stage: Grid
rtd.V.      Voltage      c-      Sk**      Ik**      Ip      Ib      Sd      EFF
[kV]        [kV]        [deg]   [MVA]    [kA]    [deg]  [kA]   [kA]   [MVA]  [-]
Fault Location:
Line 13      A      95,25    0,76    1,10    0,00    0,00    0,00    0,00    0,00    0,00    1,00
            B      47,63   -179,24  513,78    5,93   -177,53  15,50    5,93    513,78    0,00
            C      47,63   -179,24  513,78    5,93    2,47    15,50    5,93    513,78    0,00
Between:
BB 1 /Station      150,00    95,25    0,76
                  49,43   -146,74
                  48,19    167,99
Line 12      Station 2      A      0,06    0,00    2,51
                  B      52,79    0,61    1,91
                  C      52,85    0,61   -178,09
Line 19      Station 3      A      0,05    0,01    5,68
                  B      349,65    4,27   -178,06
                  C      348,80    4,26    1,93
Line 16      Station 6      A      0,12    0,00    3,43
                  B      100,16    1,16    2,83
                  C      100,27    1,16   -177,17
2-Winding Transforms Station 7      A      1,03    0,01   -174,76
                  B      216,72    2,50    1,53
                  C      215,70    2,49   -178,49
and:
BB 2 /Station      150,00    95,25    0,75
                  47,92   -174,24
                  47,70    175,72
Grid: Grid                System Stage: Grid
rtd.V.      Voltage      c-      Sk**      Ik**      Ip      Ib      Sd      EFF
[kV]        [kV]        [deg]   [MVA]    [kA]    [deg]  [kA]   [kA]   [MVA]  [-]
Line 19      Station 1      A      0,85    0,01   -174,32
                  B      144,18    1,66   -176,15
                  C      143,03    1,67    3,26
Line 34      Station 4      A      0,85    0,01    5,68
                  B      144,18    1,66    3,26
                  C      143,03    1,67   -176,14
    
```

Εικόνα 2.32: Παράθυρο εξόδου για Fault Location With Feeders.

Short Circuit Location		0-1-2 Sequence Voltages [kV] [deg]		Sk ^m []	I _{skk} []	0-1-2 Sequence Currents [] []				
Line 13	U1	47,63	0,76	A	0,000	0,000	0,00	I1	3,425	92,47
	U2	47,63	0,76	B	513,778	5,933	2,47	I2	3,425	-87,53
	U0	0,00	0,00	C	513,778	5,933	-177,53	I*IO	0,000	0,00

Grid: Grid		System Stage: Grid		Annex: / 2							
rtd.V. [kV]	Line to Ground Voltages [kV] [deg]	0-1-2 Sequence Voltages [kV] [deg]		Sk ^m [MVA]	Currents [kA] [deg]	0-1-2 Sequence Currents [kA] [deg]					
Values at Observation Location											
SHC on line: Line 13											
	A	95,25	0,76	U1	47,63	0,76					
	B	47,63	-179,24	U2	47,63	0,76					
	C	47,63	-179,24	U0	0,00	0,00					
Values 1 Buses away											
BB 1	150,00	Substation : Station 1		U1	53,79	0,39					
		A	95,25	0,76	U2	41,47	1,29				
		B	49,43	-166,76	U0	0,00	0,00				
		C	49,19	167,99							
Cub_1	/Line	Line 12	Terminal i		A	0,062	0,001	2,51	I1	0,352	91,85
to :	Station 2				B	52,791	0,610	1,91	I2	0,352	-88,03
					C	82,893	0,610	-178,09	I*IO	0,000	0,00
Cub_1	/Line	Line 13	Terminal i		A	0,851	0,010	5,68	I1	2,461	-87,95
to :	Station 3				B	369,651	4,268	-178,06	I2	2,462	91,82
					C	368,802	4,285	1,93	I*IO	0,000	0,00
Cub_1	/Line	Line 16	Terminal i		A	0,117	0,001	3,43	I1	0,668	92,77
to :	Station 6				B	100,185	1,166	2,83	I2	0,668	-87,11
					C	100,272	1,156	-177,17	I*IO	0,000	0,00
Cub_1	/Tr2	2-Winding Transformer	HV-Side		A	1,029	0,012	-174,76	I1	1,441	91,76
to :	Station 7				B	216,722	2,502	1,52	I2	1,442	-88,71
					C	215,696	2,491	-178,49	I*IO	0,000	0,00
BB 3	150,00	Substation : Station 3		U1	50,04	0,48					
		A	95,25	0,76	U2	45,21	0,83				
		B	47,92	-174,24	U0	0,00	0,00				
		C	47,70	175,72							
Cub_1	/Loc	Line 13	Terminal j		A	0,851	0,010	-174,32	I1	0,964	-86,44
to :	Station 1				B	144,103	1,665	-176,15	I2	0,964	94,15
					C	145,038	1,675	3,86	I*IO	0,000	0,00
Cub_1	/Loc	Line 34	Terminal i		A	0,851	0,010	5,68	I1	0,964	93,56
to :	Station 4				B	144,103	1,665	3,55	I2	0,964	-85,83
					C	145,038	1,675	-176,14	I*IO	0,000	0,00

Εικόνα 2.33: Παράθυρο εξόδου για Currents/Voltages.

Short Circuit Location		0-1-2 Sequence Voltages [kV] [deg]		Sk ^m [MVA]	I _{skk} [kA]	0-1-2 Sequence Currents [kA] [deg]				
Line 13	U1	47,63	0,76	A	0,000	0,000	0,00	I1	3,425	92,47
	U2	47,63	0,76	B	513,778	5,933	2,47	I2	3,425	-87,53
	U0	0,00	0,00	C	513,778	5,933	-177,53	I*IO	0,000	0,00

Grid: Grid		System Stage: Grid		Annex: / 2									
rtd.V. [kV]	Line to Ground Voltages [kV] [deg]	0-1-2 Sequence Voltages [kV] [deg]		Sk ^m [MVA]	Currents [kA] [deg]	0-1-2 Sequence Currents [kA] [deg]							
Values at Observation Location													
SHC on line: Line 13													
	A	95,25	0,76	A - B	142,88	0,76	U1	47,63	0,76				
	B	47,63	-179,24	B - C	0,00	0,00	U2	47,63	0,76				
	C	47,63	-179,24	C - A	142,88	-179,24	I*IO	0,00	0,00				
Values 1 Buses away													
BB 1	150,00	Substation : Station 1		U1	53,79	0,39							
		A	95,25	0,76	U2	41,47	1,29						
		B	49,43	-166,76	U0	0,00	0,00						
		C	49,19	167,99									
Cub_1	/Loc	Line 12	Terminal i		A	0,061	0,609	-178,09	I1	0,352	91,85		
Currents [kA] [deg]					B	52,791	0,610	1,91	I2	0,352	-88,03		
					C	82,893	0,610	-178,09	I*IO	0,000	0,00		
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	134040,121	-1,73	A - B	236,357	-176,88	R1	0,400	Ohm	X1	5,000	Ohm	
	B	81,084	-168,66	B - C	17,524	-34,54	R0	1,200	Ohm	X0	15,000	Ohm	
	C	78,956	-13,92	C - A	233,457	-5,42	k0	0,667	phi*k0	0,000	deg		
Cub_1	/Loc	Line 13	Terminal i		A	0,010	5,68	A - B	4,278	1,95	I1	2,461	-87,95
Currents [kA] [deg]					B	4,268	-178,06	B - C	5,527	-178,07	I2	2,462	91,82
					C	4,259	1,93	C - A	4,249	1,92	I*IO	0,000	0,00
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	9697,551	-4,90	A - B	33,630	3,05	R1	0,399	Ohm	X1	4,998	Ohm	
	B	11,580	11,31	B - C	2,507	85,44	R0	1,197	Ohm	X0	14,994	Ohm	
	C	11,315	166,06	C - A	33,573	-174,57	k0	0,667	phi*k0	0,000	deg		
Cub_1	/Loc	Line 16	Terminal i		A	0,001	3,43	A - B	1,155	-177,17	I1	0,668	92,77
Currents [kA] [deg]					B	1,156	2,83	B - C	2,314	2,83	I2	0,668	-87,11
					C	1,158	-177,17	C - A	1,159	-177,17	I*IO	0,000	0,00
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	70461,714	-2,65	A - B	124,982	-177,80	R1	0,500	Ohm	X1	5,000	Ohm	
	B	42,739	-169,88	B - C	9,237	-35,46	R0	1,500	Ohm	X0	15,000	Ohm	
	C	41,617	-14,84	C - A	123,054	-6,34	k0	0,667	phi*k0	0,000	deg		

Εικόνα 2.34: Παράθυρο εξόδου για Protection (1/2).

Grid: Grid		System Stage: Grid		Annex: / 3	
Cub_1 /Tr2 2-Winding Transformer (7-1) HV-Side					
Currents [kA] [deg]	A	0,012 -174,76	A - B	2,514 -178,45	I1 1,441 91,76
	B	2,502 1,53	B - C	4,993 1,52	I2 1,442 -88,71
	C	2,491 -178,49	C - A	2,479 -178,50	3*I0 0,000 0,00
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	8018,307 175,54	A - B	57,236 -176,52	
	B	19,751 -188,29	B - C	4,281 -94,15	
	C	19,347 -13,53	C - A	57,545 -5,01	
BB 3 Substation : Station 3 rtd. V. 150,00 kV					
Voltages [kV] [deg]	A	95,25 0,75	A - B	143,05 2,43	U1 50,04 0,68
	B	47,92 -174,24	B - C	8,37 -90,71	U2 45,21 0,83
	C	47,70 175,72	C - A	142,83 179,07	3*U0 0,00 0,00
Cub_1 /Lne Line 13 Terminal j					
Currents [kA] [deg]	A	0,010 -174,32	A - B	1,655 3,84	I1 0,964 -86,44
	B	1,665 -176,15	B - C	3,340 -176,15	I2 0,964 94,15
	C	1,675 3,86	C - A	1,685 3,87	3*I0 0,000 0,00
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	9697,582 175,07	A - B	86,429 -1,41	R1 0,399 Ohm X1 4,998 Ohm
	B	28,780 1,91	B - C	2,507 85,44	R0 1,197 Ohm X0 14,994 Ohm
	C	28,485 171,86	C - A	84,791 175,20	X0 0,667 phik0 -0,000 deg
Cub_1 /Lne Line 34 Terminal i					
Currents [kA] [deg]	A	0,010 5,68	A - B	1,655 -176,16	I1 0,964 93,56
	B	1,665 3,85	B - C	3,340 3,85	I2 0,964 -85,85
	C	1,675 -176,14	C - A	1,685 -176,13	3*I0 0,000 0,00
Imp.Z [Ohm] [deg]	A	9697,582 -4,93	A - B	86,429 178,59	R1 0,400 Ohm X1 4,504 Ohm
	B	28,780 -178,09	B - C	2,507 -94,56	R0 1,200 Ohm X0 13,512 Ohm
	C	28,485 -8,14	C - A	84,791 -4,80	X0 0,667 phik0 0,000 deg

Εικόνα 2.35: Παράθυρο εξόδου για Protection (2/2).

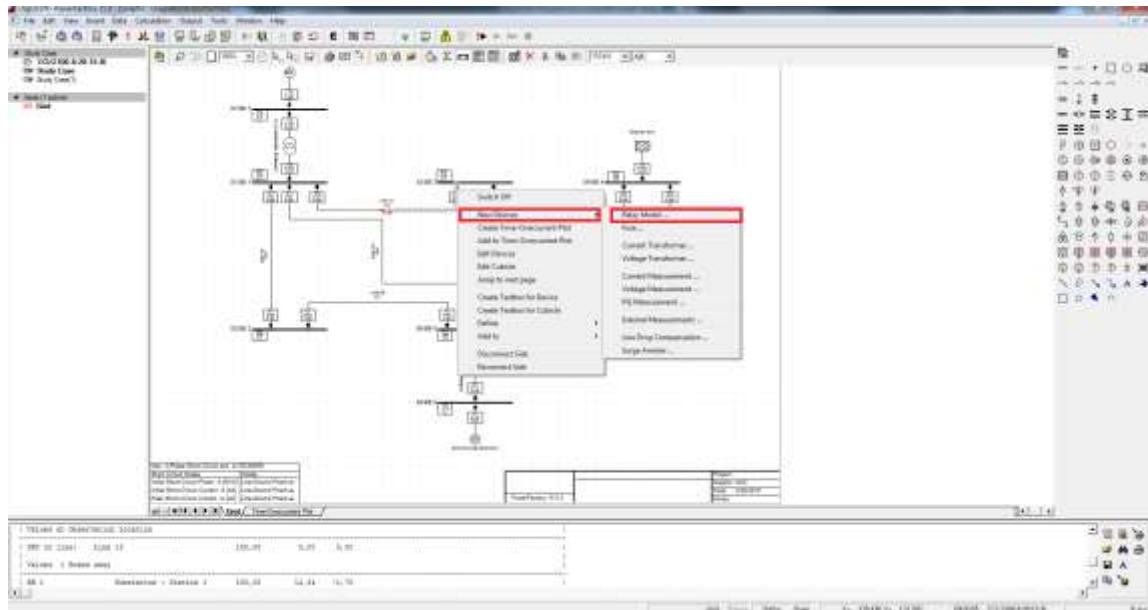
Grids		Study Case: Study Case		Pager					
Type	Voltage [kV]	Factor	Busbar	Sk* [MVA/MVA]	Ik* [kA/kA]	Ip [kA/kA]	Ib [kA]	Ik [kA]	Ich [kA]
Synchronous Machin	Syn		Station 7/BB 7	1,03 MVA	0,18 kA	0,00 kA			
Synchronous Machin	Syn		Station 8/BB 8	0,65 MVA	0,11 kA	0,00 kA			
External Grid	Xnet		Station 4/BB 4	1,68 MVA	0,02 kA	0,00 kA			
Line 12	Lne		Station 1/BB 1	0,06 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Station 2/BB 2	0,04 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 13	Lne		Station 1/BB 1	0,85 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 3/BB 3	0,88 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
Line 16	Lne		Station 1/BB 1	0,12 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Station 6/BB 6	0,12 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 26	Lne		Station 2/BB 2	0,06 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
			Station 6/BB 6	0,06 MVA	0,00 kA	0,00 kA			
Line 34	Lne		Station 3/BB 3	0,85 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 4/BB 4	0,85 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
Line 54	Lne		Station 4/BB 4	0,83 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 5/BB 5	0,83 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
Line 65	Lne		Station 6/BB 6	0,83 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 5/BB 5	0,83 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
2-Winding Transfor	Tr2		Station 6/BB 6	0,65 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 5/BB 5	0,65 MVA	0,11 kA	0,00 kA			
2-Winding Transfor	Tr2		Station 1/BB 1	1,03 MVA	0,01 kA	0,00 kA			
			Station 7/BB 7	1,03 MVA	0,18 kA	0,00 kA			

Εικόνα 2.36: Παράθυρο εξόδου για Edge Elements.

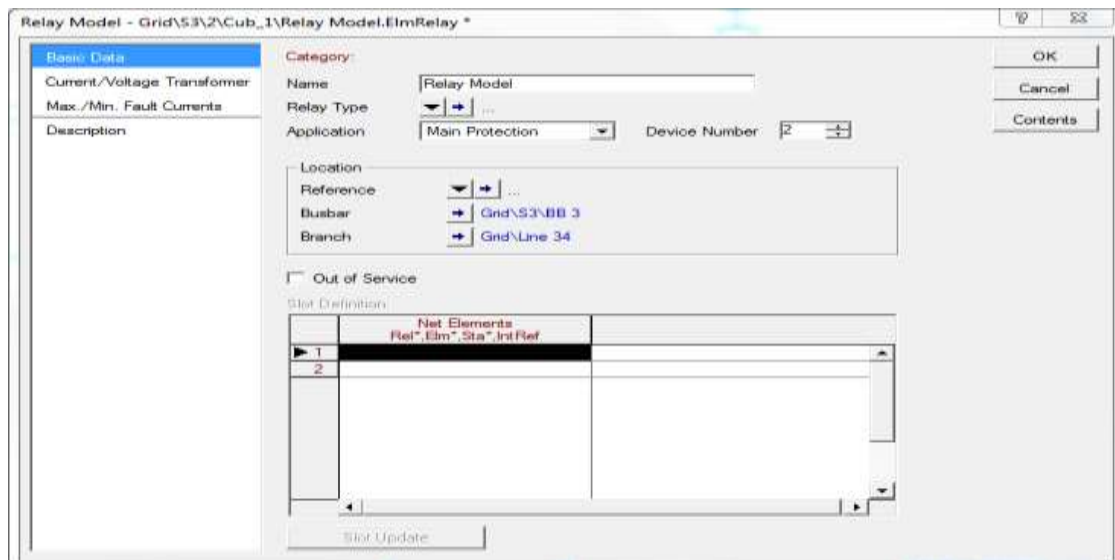
Τα αποτελέσματα για “Relay” είναι ιδιαίτερα εκτενή καθώς εμπεριέχουν τα ρεύματα βραχυκύκλωσης και τους χρόνους που λειτουργούν όλοι οι ηλεκτρονόμοι προστασίας του δικτύου.

2.7 Μελέτη Προστασίας Υπερέντασης

Η δημιουργία του σχήματος προστασίας στο υπό εξέταση δίκτυο ξεκινά με την τοποθέτηση των συσκευών προστασίας (ηλεκτρονόμοι, ασφάλειες κτλ.) στον επιτηρούμενο εξοπλισμό. Πατώντας δεξί κλικ πάνω στα cubicles που βρίσκονται εκατέρωθεν από κάθε ζυγό, επιλέγουμε «New Devices» -> «Relay Models...».



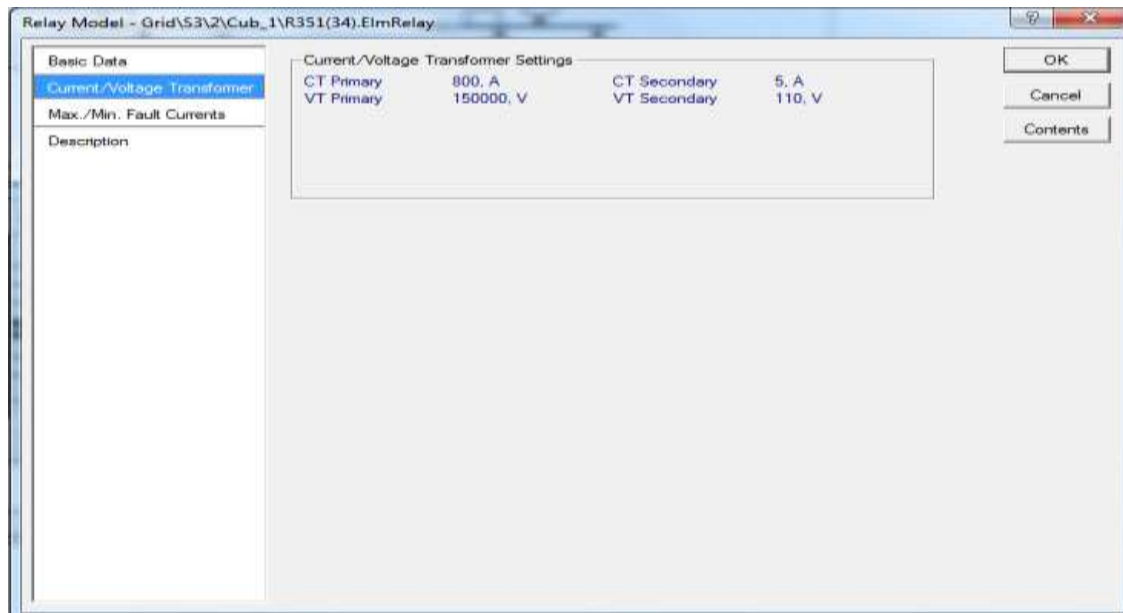
Εικόνα 2.37: Τοποθέτηση ηλεκτρονόμου.



Εικόνα 2.38: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (βασικά δεδομένα).

Το παράθυρο επεξεργασίας του ηλεκτρονόμου αποτελείται από τις εξής καρτέλες:

- Βασικά δεδομένα.
- Μετασχηματιστής Τάσης/Ρεύματος.
- Μέγιστο και ελάχιστο ρεύμα σφάλματος.



Εικόνα 2.39: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (Μετασχηματιστής Τάσης/Ρεύματος).




Εικόνα 2.40: Παράθυρο επεξεργασίας ηλεκτρονόμου (Μέγιστο / Ελάχιστο ρεύμα σφάλματος).

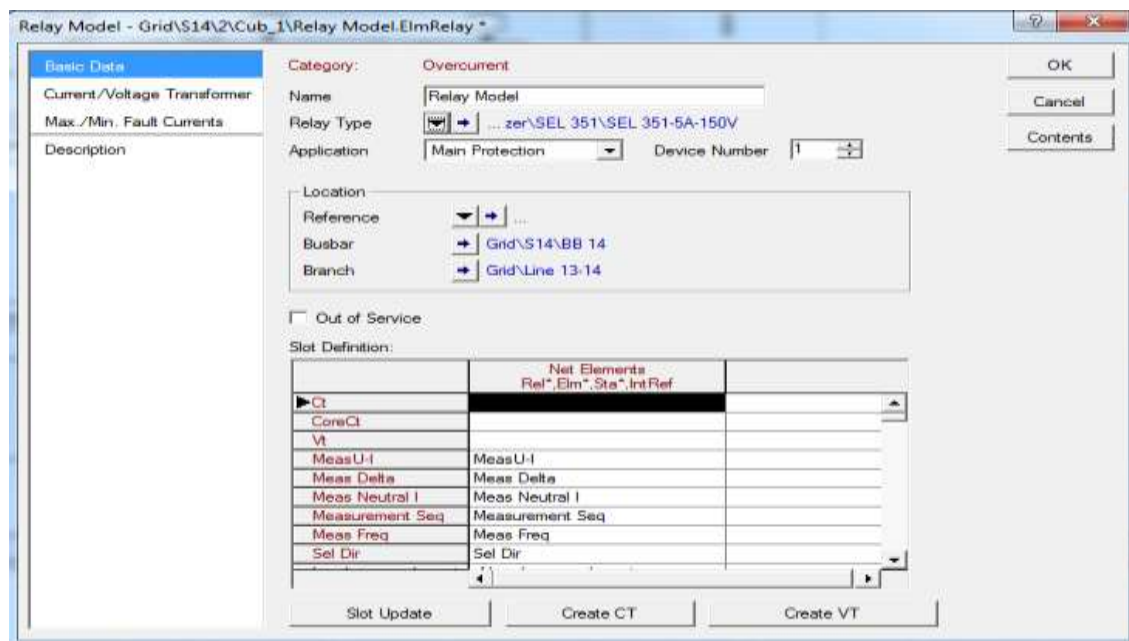
Στην καρτέλα «Μετασχηματιστής Τάσης/Ρεύματος» αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών που τροφοδοτούν τον ηλεκτρονόμο, ενώ στην καρτέλα «Μέγιστο/Ελάχιστο

ρεύμα σφάλματος» γίνεται ο υπολογισμός των μεγίστων και ελαχίστων ρευμάτων σφάλματος φάσης και γης.

Η καρτέλα βασικών δεδομένων του ηλεκτρονόμου αποτελείται από:


- Την ονομασία του ηλεκτρονόμου.
- Τον τύπο του ηλεκτρονόμου.
- Το είδος της εφαρμογής του.
- Τον αριθμό των συσκευών που χρησιμοποιούνται.
- Την τοποθεσία του.
- Ένα παράθυρο που περιέχει όλα τα στοιχεία που αποτελείται ο ηλεκτρονόμος.

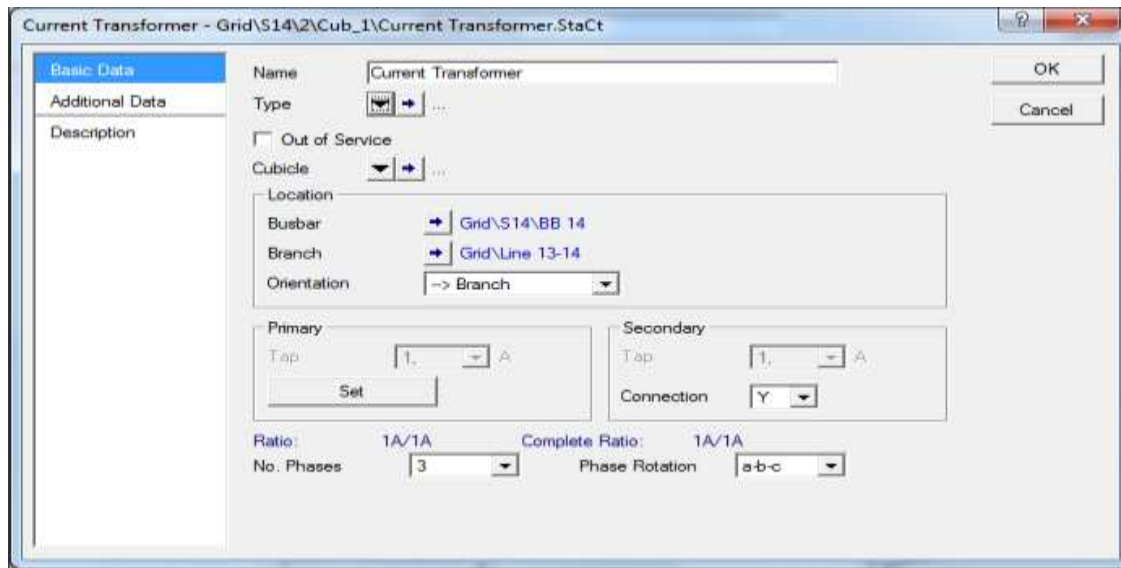
Προκειμένου να διαλέξουμε ένα τύπο ηλεκτρονόμου πατάμε το εικονίδιο «» που βρίσκεται δεξιά από την επιλογή «Relay Type» και διαλέγουμε την επιλογή «Select Global Type...». Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το παράθυρο επεξεργασίας για τον ηλεκτρονόμο SEL 351-5A-150V.



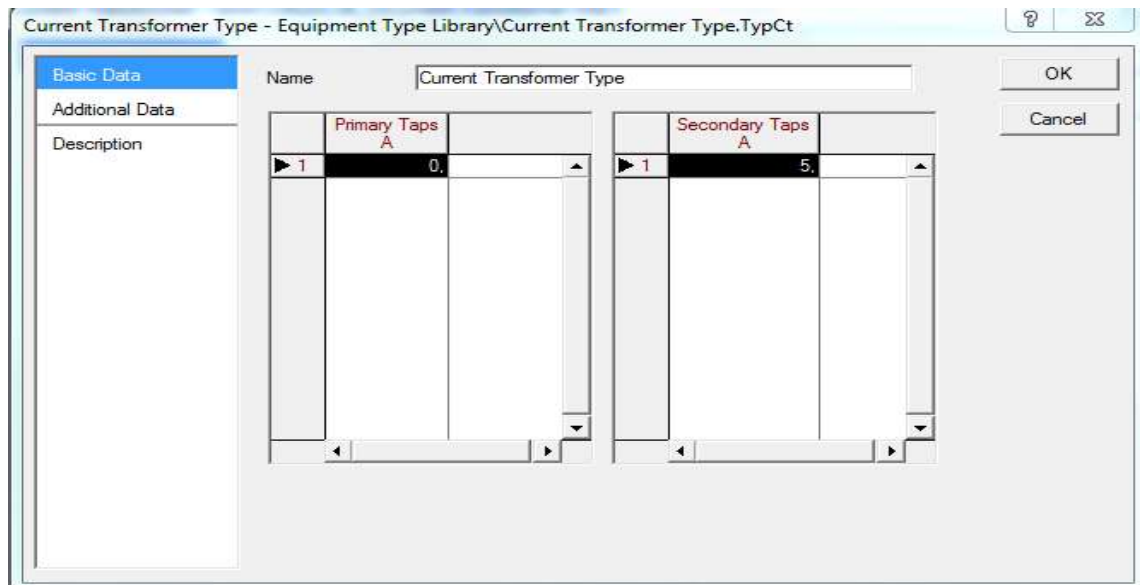
Εικόνα 2.41: Επεξεργασία ηλεκτρονόμου SEL 351-5A-150V.

Μετά την επιλογή του ηλεκτρονόμου που θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει να ορισθούν ο Μετασχηματιστής Τάσης «VT» και ο Μετασχηματιστής Έντασης «CT» του ηλεκτρονόμου.


Για τον Μετασχηματιστή Έντασης «CT» κλικάρουμε «Create CT». Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε τον τύπο του μετασχηματιστή πατώντας αρχικά το εικονίδιο «» και στη συνέχεια «New Project Type...». Στο καινούργιο παράθυρο πλέον ορίζουμε το ρεύμα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος σε ampere στις επιλογές «Primary Taps» και «Secondary Taps», αντίστοιχα.

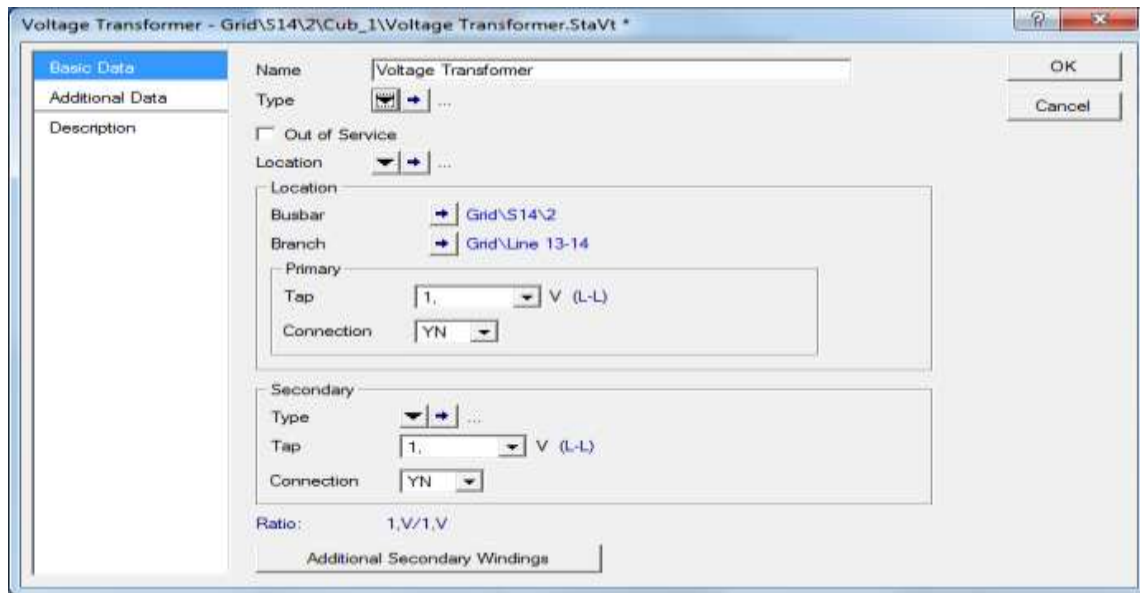


Εικόνα 2.42: Παράθυρο επεξεργασίας CT.

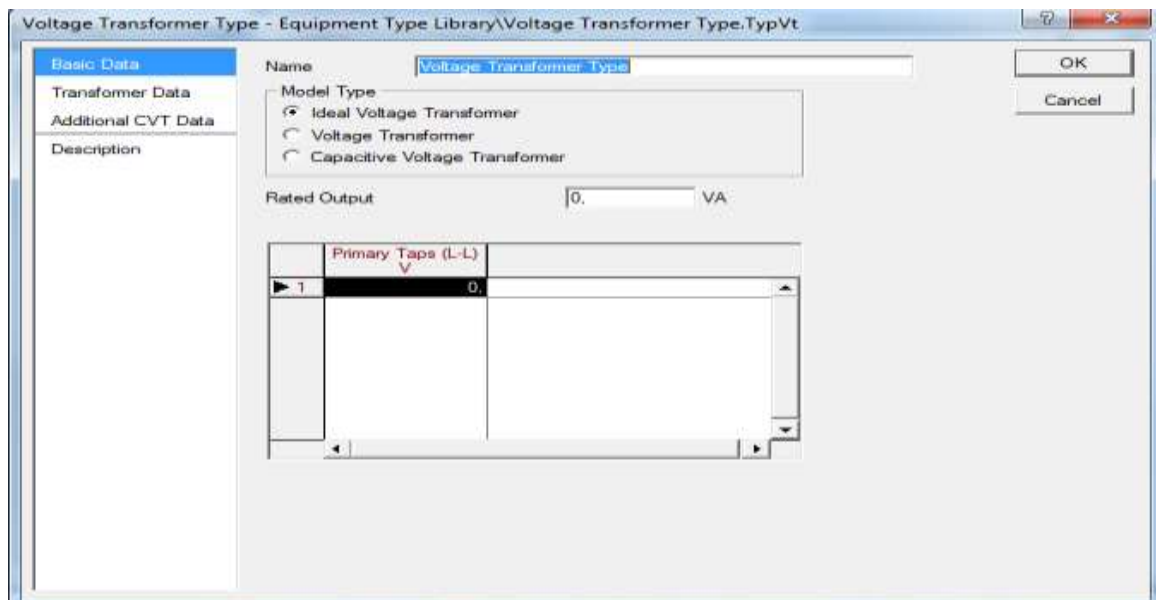


Εικόνα 2.43: Ορισμός ρεύματος πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

Κατ' αντιστοιχία για το Μετασχηματιστή Τάσης «VT» πατάμε το κουμπί «Create VT». Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε τον τύπο του μετασχηματιστή πατώντας αρχικά το εικονίδιο «» και στη συνέχεια «New Project Type...». Στο καινούργιο παράθυρο πλέον ορίζουμε την τάση του πρωτεύοντος σε volt στην επιλογή «Primary Tap». Στο παράθυρο επεξεργασίας του Μετασχηματιστή Τάσης ορίζουμε την τάση του δευτερεύοντος σε volt στην επιλογή «Secondary Tap».



Εικόνα 2.44: Παραθύρο επεξεργασίας VT.



Εικόνα 2.45: Ορισμός τάσης πρωτεύοντος.

Ακολουθως, παραμετροποιούμε κατάλληλα τα στοιχεία του ηλεκτρονόμου. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται στην λίστα «Slot Definition» στο κάτω μέρος του παραθύρου και χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Μετρητικά στοιχεία(*RelMeasure).
- Στοιχεία υπερέντασης ακαριαίου χρόνου(*RelIoc).
- Στοιχεία υπερέντασης καμπυλών χρόνου(*RelToc).
- Στοιχεία κατευθυντικότητας(*RelSeldir).
- Στοιχεία υπέρτασης και υπότασης(*RelUlim).
- Στοιχεία συχνότητας(*RelFrg).
- Λογικά στοιχεία(*RelLogdip).

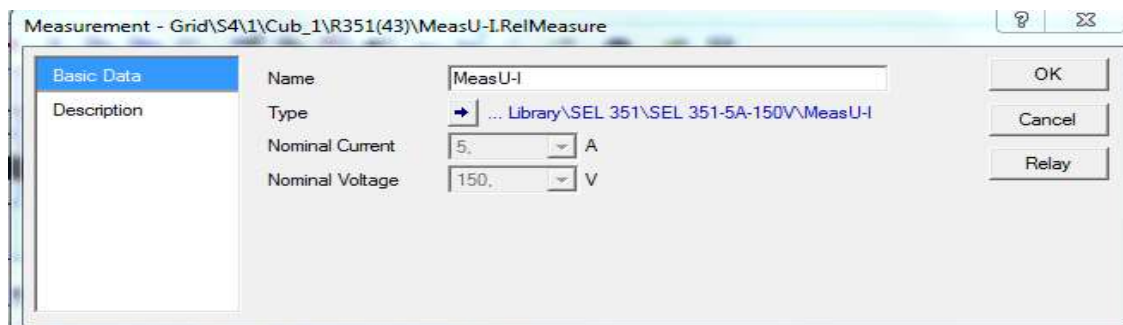
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα παράθυρα επεξεργασίας κάθε στοιχείου. Στο συγκεκριμένο εδάφιο, θα δοθεί έμφαση στα στοιχεία υπερέντασης τα οποία αποτελούν το κύριο είδος προστασίας στα ηλεκτρικά και βιομηχανικά δίκτυα.



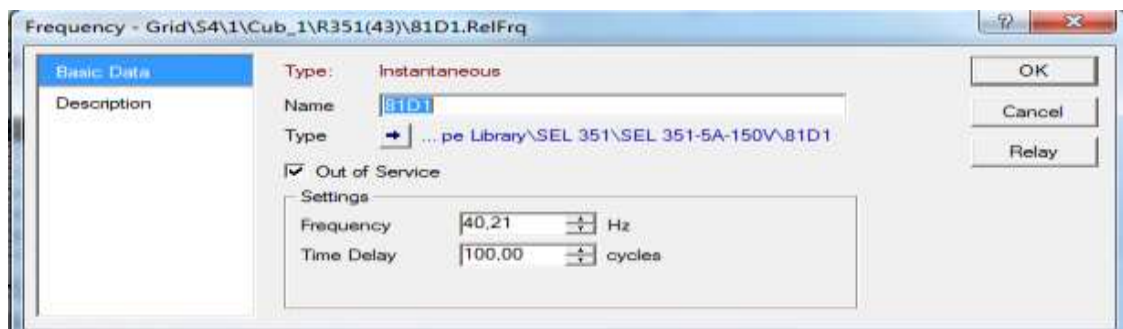
Εικόνα 2.46: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου κατευθυντικότητας.



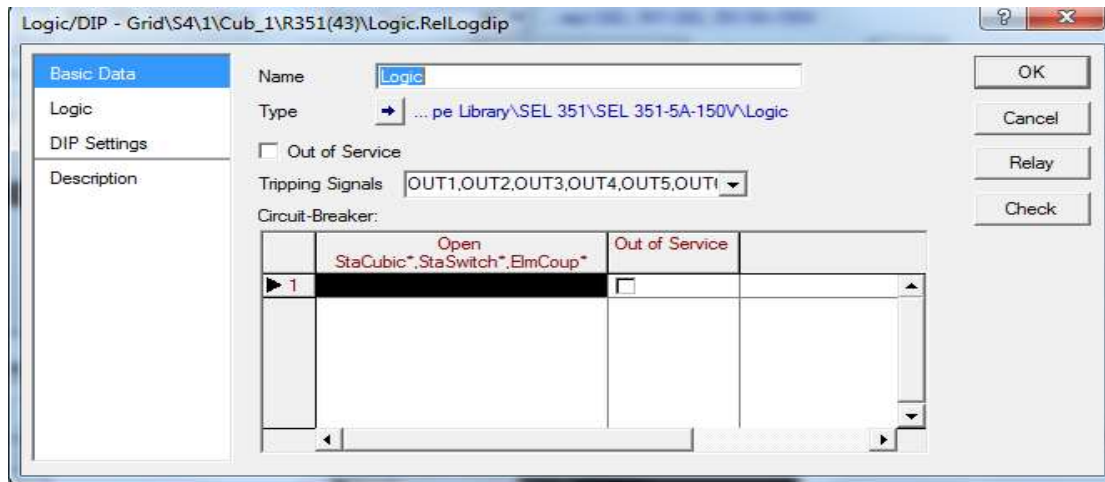
Εικόνα 2.47: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπέρτασης και υπότασης.



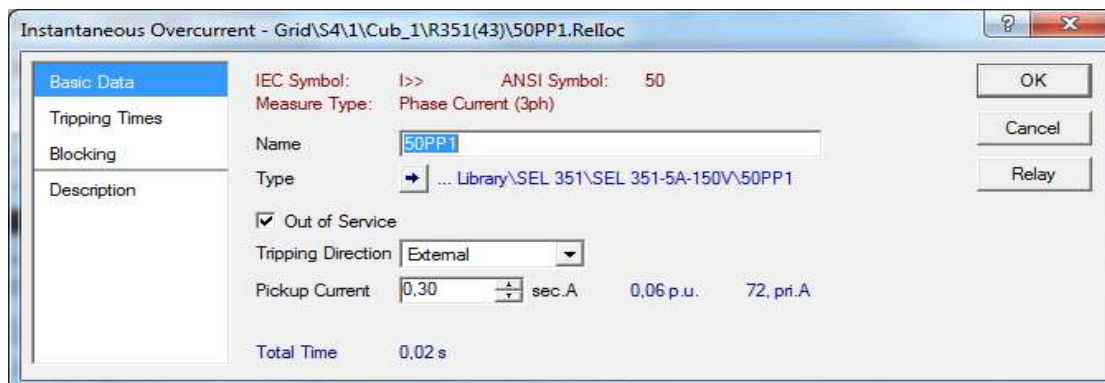
Εικόνα 2.48: Παράθυρο επεξεργασίας μετρητικού στοιχείου.



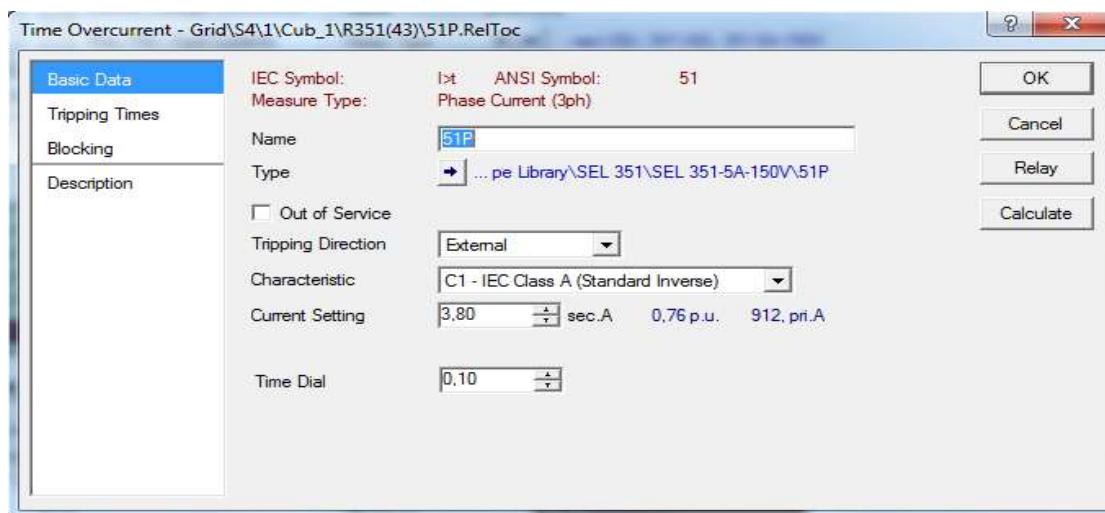
Εικόνα 2.49: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου συχνότητας.



Εικόνα 2.50: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου λογικής.



Εικόνα 2.51: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου.



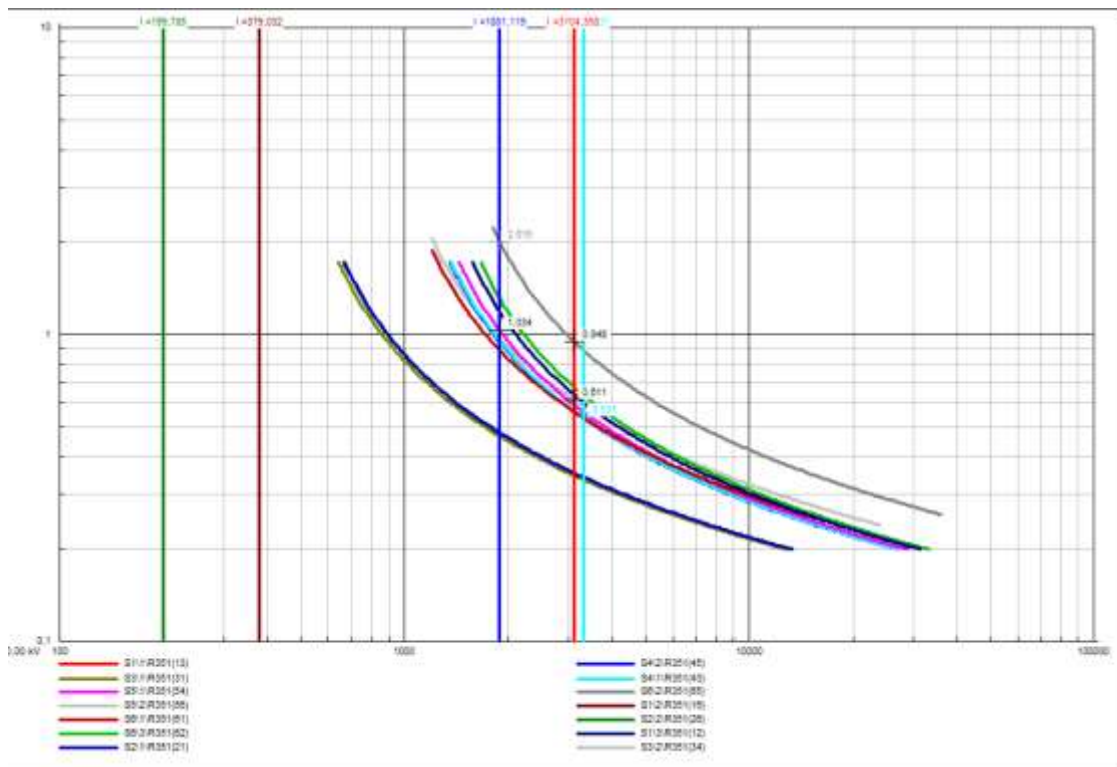
Εικόνα 2.52: Παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου.

Το παράθυρο επεξεργασίας στοιχείου υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου αποτελείται από:

- Τη χαρακτηριστική καμπύλη.
- Τη ρύθμιση ρεύματος pick-up.
- Τη ρύθμιση Time Dial.

Στο σενάριο προστασίας υπερέντασης του δικτύου 8 ζυγών έχουν ορισθεί όλα τα στοιχεία υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου, ενώ τα στοιχεία υπερέντασης στιγμιαίου χρόνου, υπέρ/υπότασης και συχνότητας έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας.

Για την καλύτερη αξιολόγηση της λειτουργίας των μέσων προστασίας, δημιουργούμε τα διαγράμματα επιλογικής συνεργασίας. Μετά την παραμετροποίηση των ηλεκτρονόμων, πατάμε δεξί κλικ πάνω στα cubicles και από το μενού επιλέγουμε το «Add to Time-Overcurrent Plot».



Εικόνα 2.53: Καμπύλες ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών.

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης βραχυκυκλωμάτων, στο διάγραμμα επιλογικής συνεργασίας παρουσιάζονται οι καμπύλες λειτουργίας των ηλεκτρονόμων, το ρεύμα που «βλέπει» κάθε ηλεκτρονόμος, καθώς και ο χρόνος λειτουργίας των ηλεκτρονόμων εφόσον έχει διεγερθεί.

2.8 *DPL Script Language*

2.8.1 *Εισαγωγή*

Η DIGSILENT Programming Language (DPL) παρέχει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης διεργασιών μέσα στο PowerFactory. Η DPL προσφέρει:

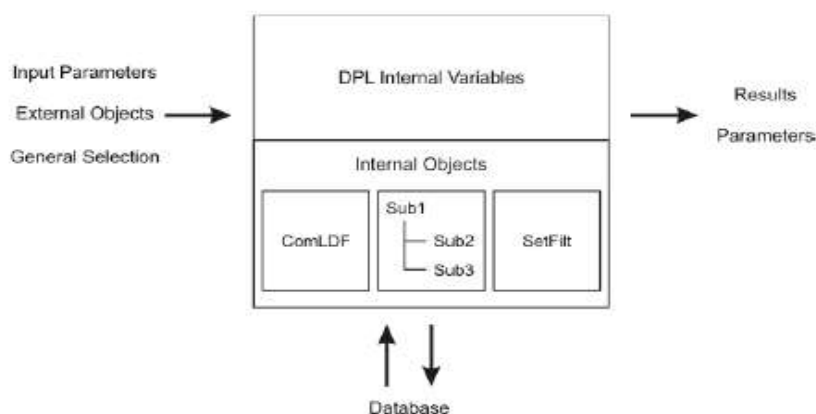
- Εντολές ροής.
- Τον ορισμό και τη χρήση μεταβλητών από τον χρήστη.
- Ένα ευέλικτο περιβάλλον για την είσοδο-έξοδο δεδομένων και την πρόσβαση σε διάφορα αντικείμενα.
- Μαθηματικές συναρτήσεις και έτοιμες υπορουτίνες.

Η DPL επίσης δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει νέες συναρτήσεις και εντολές οι οποίες δεν υπάρχουν αυτούσιες στο PowerFactory και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες εντολές είναι :

- Βελτιστοποίηση λειτουργίας δικτύων.
- Ρύθμιση μέσω προστασίας.
- Ανάλυση ευστάθειας δικτύων.
- Πραγματοποίηση πολλών σεναρίων βραχυκυκλωμάτων και εξαγωγή σε MS Excel.
- Εντοπισμός ηλεκτρονόμων που διεγείρονται κατά το βραχυκύκλωμα και εμφάνιση του χρόνου λειτουργίας τους.

2.8.2 *Δομή μιας εντολής σε DPL*

Η βασική δομή μιας εντολής DPL παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.54.





Εικόνα 2.54: Δομή εντολής σε DPL.

Η εντολή DPL ή «ComDpl» είναι το κεντρικό στοιχείο σε ένα script. Συνδέει διάφορες παραμέτρους, μεταβλητές και αντικείμενα σε ποικίλες συναρτήσεις ή εσωτερικά στοιχεία και εξάγει αποτελέσματα. Η είσοδος σε μια εντολή DPL μπορεί να είναι :

- Προκαθορισμένοι παράμετροι.
- Αντικείμενα από ένα μονογραμμικό διάγραμμα.
- Αντικείμενα από την βάση δεδομένων.
- Σύνολα από στοιχεία ή αντικείμενα.

Στην συνέχεια οι είσοδοι που έχουν οριστεί στην εντολή εμπλέκονται σε υπολογισμούς με την χρήση συναρτήσεων ή άλλων γνωστών υπολογιστικών εντολών του PowerFactory (όπως για παράδειγμα η εντολή ροής φορτίου «ComLdf»). Το script κατά την διάρκεια των υπολογισμών βρίσκεται σε επικοινωνία με την βάση δεδομένων και αποθηκεύει τις μεταβολές σε ρυθμίσεις, παραμέτρους ή αποτελέσματα κατευθείαν στην βάση δεδομένων.

2.8.3 Δημιουργία ενός script

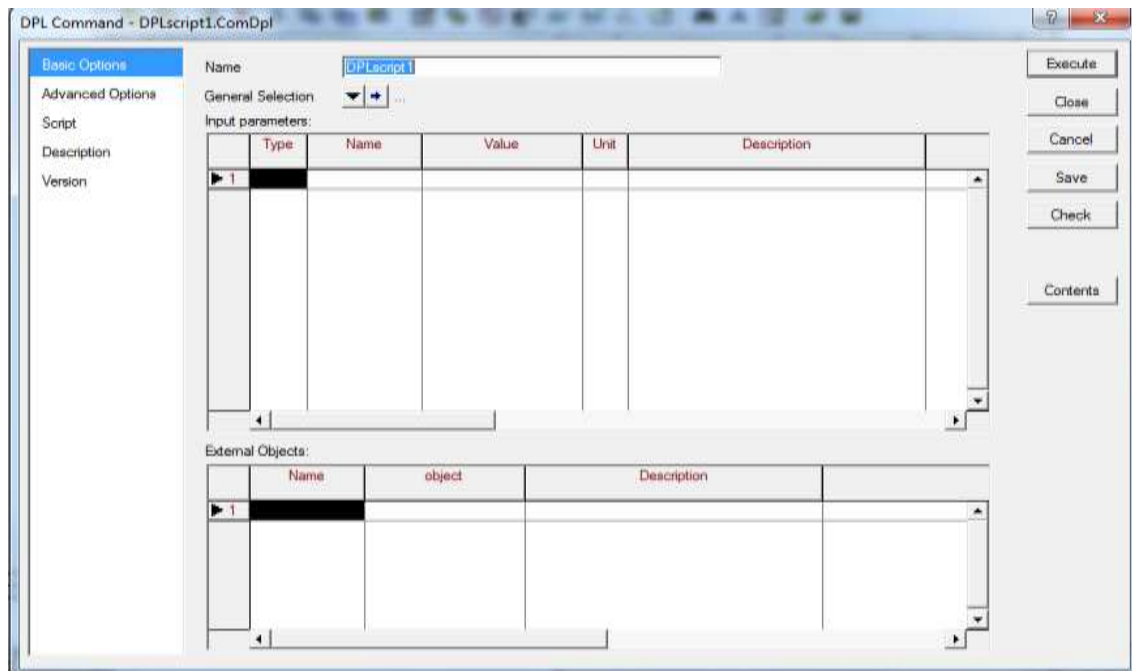
Για να δημιουργήσουμε ένα script είτε επιλέγουμε το εικονίδιο «» που βρίσκεται στην κεντρική γραμμή εργαλείων, είτε το εικονίδιο δημιουργίας νέου αντικειμένου «» που βρίσκεται στο «Data Manager» και επιλέγουμε το «DPL Command and more».

2.8.4 Ορισμός ενός συνόλου

Τα επιλεγμένα αντικείμενα τα οποία χρησιμοποιούνται μέσα σε ένα script αποθηκεύονται στο λεγόμενο «General Selection». Στην αρχή αυτό είναι άδειο και υπάρχουν ποικίλοι τρόποι προκειμένου να ορίσουμε αυτό το σύνολο αντικειμένων. Αυτό γίνεται:

- Διαλέγοντας ένα ή περισσότερα στοιχεία από ένα μονογραμμικό διάγραμμα, κάνοντας δεξί κλικ και επιλέγοντας το «Define...» -> «DPL Command Set...» από το μενού.
- Διαλέγοντας ένα ή περισσότερα στοιχεία από το «Data Manager», κάνοντας δεξί κλικ και επιλέγοντας το «Define...» -> «DPL Command Set...» από το μενού.

2.8.5 Επεξεργασία ενός script



Εικόνα 2.55: Παράθυρο επεξεργασίας script.

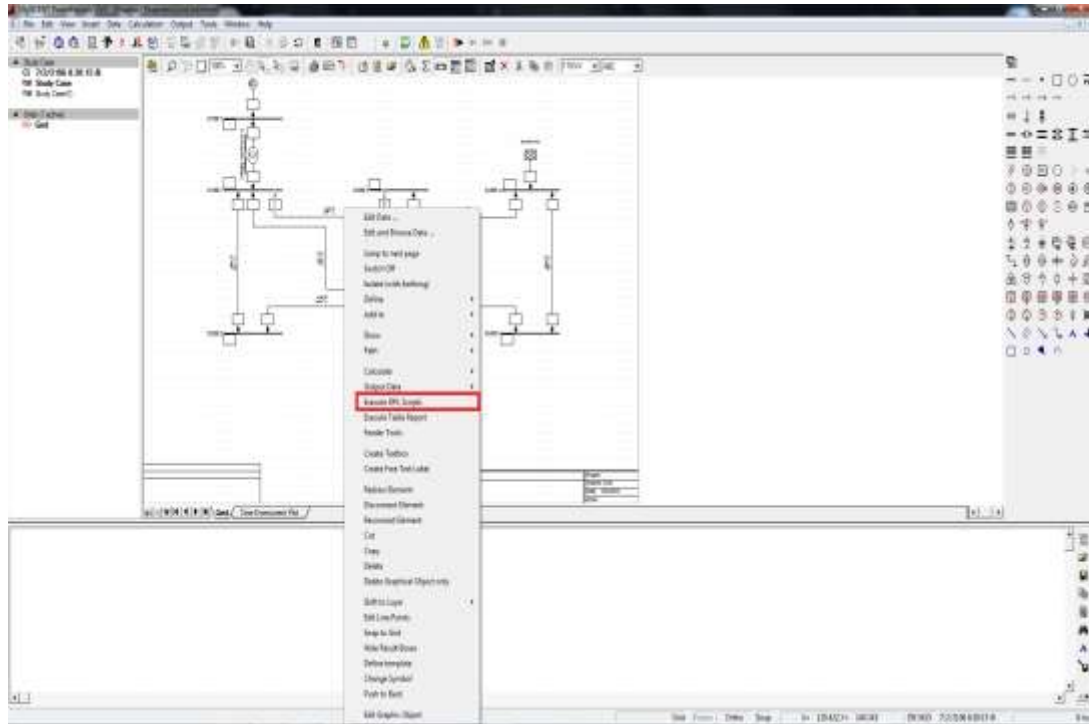
Το παράθυρο επεξεργασίας ενός script αποτελείται από :

- Το «General Selection» που αποτελεί το σύνολο των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται σαν είσοδο μέσα στο script.
- Τη λίστα των παραμέτρων εισόδου όπου μπορούμε να αλλάξουμε την τιμή ορισμένων εσωτερικών μεταβλητών του script.
- Τη λίστα εξωτερικών αντικειμένων που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση του script για συγκεκριμένα αντικείμενα με την χρήση “ψευδώνυμου”.
- Τα περιεχόμενα «Contents» όπου εμπεριέχονται όλα όσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το script, όπως για παράδειγμα σύνολα αντικειμένων, πίνακες, υπορουτίνες ή άλλα script.
- Την καρτέλα script όπου μπορούμε να γράψουμε τον κώδικα που θέλουμε να εκτελεστεί.

2.8.6 Εκτέλεση ενός script

Προκειμένου να εκτελέσουμε ένα script ακολουθούμε τα εξής βήματα:

- 1) Πατάμε δεξί κλικ στο σύνολο των στοιχείων πάνω σε ένα μονογραμμικό διάγραμμα ή στο «Data Manager».
- 2) Επιλέγουμε το «Execute DPL Scripts».
- 3) Διαλέγουμε το script που θέλουμε να εκτελεστεί και πατάμε «Οκ».
- 4) Στο αναδυόμενο παράθυρο επεξεργασίας ενός script πατάμε το «Execute».



Εικόνα 2.56: Εκτέλεση script.

2.8.7 Σύνταξη ενός script σε DPL

Η DPL χρησιμοποιεί παρόμοιο συντακτικό με τη γλώσσα προγραμματισμού C++. Είναι εύκολη στο γράψιμο, κατανοητή στην εκμάθηση και το βασικό σύνολο εντολών είναι όσο δυνατόν μικρό. Το συντακτικό χωρίζεται στα εξής κομμάτια:

1 Ορισμός Μεταβλητών

Η DPL χρησιμοποιεί τους ακόλουθους εσωτερικούς τύπους παραμέτρων :

- **Int**, για ακέραιους αριθμούς.
- **Double**, για πραγματικούς αριθμούς 15 ψηφίων.
- **String**, για σειρά από χαρακτήρες.
- **Object**, για αναφορά σε αντικείμενα του PowerFactory.
- **Set**, για σύνολο αντικειμένων.

Η σύνταξη για τον ορισμό των μεταβλητών παρουσιάζεται παρακάτω.

[VarDef] = [Type] varname , , varname;

[Type] = Int | Double | String | Object | Set

Επίσης η DPL χρησιμοποιεί σταθερές παραμέτρους που δεν μπορούν να τροποποιηθούν και κατ' επέκταση δεν μπορούμε να τους αναθέσουμε κάποια τιμή. Τέτοιες παράμετροι είναι:

- **Sel**, που αναφέρεται στο General Selection.
- **Null**, που αναφέρεται ως κενό αντικείμενο.

```

set aShcLocs;

object pObj,
    pTmp;

int ierr,
    faulttype,
    iLine,
    iBus,
    iTmp,
    iCountShc,
    iCountBus,
    iLineLen;

string aShc;
    
```

Εικόνα 2.57: Ορισμός μεταβλητών σε DPL.

2 Αναθέσεις και εκφράσεις

Το ακόλουθο συντακτικό χρησιμοποιείται από την DPL για να αναθέσουμε μια τιμή σε κάποια μεταβλητή:

Variable = Expression;
Variable +=Expression;
Variable -= Expression;

Φυσικά όπως και στην C++ έτσι και στην DPL υπάρχουν οι εξής τελεστές και συναρτήσεις:

- Αριθμητικοί τελεστές + , - , * , / .
- Βασικές συναρτήσεις.

Πίνακας 2.1: Βασικές αριθμητικές συναρτήσεις σε DPL.

Συναρτήσεις	Περιγραφή
sin(x)	Ημίτονο
cos(x)	Συνημίτονο
tan(x)	Εφαπτομένη
asin(x)	Τόξο ημιτόνου
acos(x)	Τόξο συνημίτονου
atan(x)	Τόξο εφαπτομένης

sinh(x)	Υπερβολικό ημίτονο
cosh(x)	Υπερβολικό συνημίτονο
tanh(x)	Υπερβολική εφαπτομένη
exp(x)	Εκθετική
ln(x)	Φυσικός λογάριθμος
log(x)	Λογάριθμος του 10
sqrt(x)	Τετραγωνική ρίζα
sqf(x)	Δύναμη του 2
pow (x,y)	Δύναμη του y
abs(x)	Απόλυτη τιμ
min(x,y)	Ελάχιστη τιμή
max(x,y)	Μέγιστη τιμή
modulo(x,y)	Υπόλοιπο του x/y
trunc(x)	Ακέραιο μέρος
frac(x)	Κλασματικό μέρος
round(x)	Στρογγυλοποίηση
ceil(x)	Μικρότερος μεγαλύτερος ακέραιος
floor(x)	Μεγαλύτερος μικρότερος ακέραιος

Πίνακας 2.2: Αριθμητικές σταθερές.

pi()	π
twopi()	$2*\pi$
e()	e

3 Οδηγίες ροής προγράμματος

Οι ακόλουθες εντολές ροής χρησιμοποιούνται στην DPL.

```

if ( [boolexpr] ) [statlist]
if ( [boolexpr] ) [statlist] else [statlist]
do [statlist] while ( [boolexpr] )
while ( [boolexpr] ) [statlist]
for ( statement ; [boolexpr] ; statement ) [statlist]
    Όπου:
    
```

```

[boolexpr] = expression [boolcomp] expression
[boolcomp] = "<" | ">" | "=" | ">=" | "<=" | "<>"
[statlist] = statement; | { statement; [statlist] }
    
```

Επιπλέον χρησιμοποιούνται οι εξής τελεστές:

- Μοναδιαίος τελεστής : “.not”

- Δυαδικοί τελεστές : “.and.” | “.or.” | “.nand.” | “.nor.” | “.eor.”
- Παρενθέσεις : {logical expression}

```

aShcLocs = SEL.GetContents();
for (pTmp=aShcLocs.First(); pTmp; pTmp=aShcLocs.Next()) {
    pObj = pTmp.obj_id;
    if (pObj) {
        iTmp = pObj.IsNode();
        if (iTmp) {
            iCountBus = iCountBus + 1; ! increase number of busbars
        } else {
            pTmp.obj_id = NULL;        ! reset reference
        }
    }
}

```

Εικόνα 2.58: Παράδειγμα κώδικα με χρήση επαναληπτικού βρόχου.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα γίνεται χρήση της εντολής “for” και “if”. Ο συγκεκριμένος βρόχος έχει ως σκοπό την καταμέτρηση των στοιχείων τα οποία είναι ζυγοί από ένα σύνολο στοιχείων ενός δικτύου.

4 Εντολές εισόδου / εξόδου

Οι εντολές εισόδου και εξόδου συντάσσονται ως εξής:

input(var, string);

output(string);

Στην εντολή εισόδου ο χρήστης αναθέτει μια τιμή στην μεταβλητή “var” ενώ η εντολή εξόδου γράφει το κείμενο που έχουμε ορίσει στο παράθυρο εξόδου.

5 Πρόσβαση σε άλλα αντικείμενα

Στη DPL μπορούμε να ακολουθήσουμε διάφορες μεθόδους προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε ένα αντικείμενο της βάσης δεδομένων στο script.

- Η πιο άμεση μέθοδος είναι να δημιουργήσουμε ένα αντικείμενο στο φάκελο του script ή αλλιώς πατώντας το κουμπί «Contents» του παράθυρου επεξεργασίας του script.
- Χρησιμοποιώντας σύνολα αντικειμένων που προσφέρει η DPL και μπορεί να διαχειριστεί ο χρήστης.
- Χρησιμοποιώντας την λίστα εξωτερικών αντικειμένων που βρίσκεται στο παράθυρο επεξεργασίας του script.

Εάν ένα αντικείμενο τη βάσης δεδομένων είναι δηλωμένο στο script τότε όλοι οι μέθοδοι του μπορούν να καλεστούν και όλες οι μεταβλητές να αλλάξουν. Για παράδειγμα αν θέλουμε να πραγματοποιήσουμε ένα βραχυκύκλωμα κατά την μέθοδο IEC 60909 τότε γράφουμε:

Shc:iopt_mde=1;

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το ορισμένο αντικείμενο στο script είναι το αντικείμενο **Shc** που είναι το βραχυκύκλωμα. Η γενική σύνταξη για την επεξεργασία μιας παραμέτρου ενός αντικειμένου της βάσης δεδομένων είναι:

ObjectName:ParameterName;

```
shc:Rf=Rf;
shc:Xf=Xf;
shc:iopt_mde= 1;
shc:iopt_shc ='3psc';
shc:shcobj=shcloc;
shc:ppro=distance;
shc.Execute();
```

Εικόνα 2.59: Παραμετροποίηση βραχυκυκλώματος με την χρήση script.

Στο παράδειγμα ορίζεται η σύνθετη αντίσταση του σφάλματος(R_f, X_f), η μέθοδος (IEC 60909) που χρησιμοποιείται, το είδος του βραχυκυκλώματος(3-φασικό), το στοιχείο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί το βραχυκύκλωμα (γραμμή με το “ψευδώνυμο” shcloc), η σχετική απόσταση (distance) και τέλος εκτελείται το βραχυκύκλωμα.

6 Κλήση μιας υπορουτίνας

Ένα script σε DPL μπορεί να περιλαμβάνει άλλα script στον κώδικα του τα οποία έχουν προηγουμένως οριστεί στον φάκελο του. Αυτά τα script ονομάζονται υπορουτίνες. Η κλήση μιας υπορουτίνας δε διαφέρει από την κλήση ενός αντικειμένου, έτσι η σύνταξη της είναι:

SubroutineName.Execute();

7 Συναρτήσεις και υπορουτίνες της DPL

Η DPL προσφέρει μερικές έτοιμες συναρτήσεις και υπορουτίνες οι οποίες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες και μπορούν να αναζητηθούν στον οδηγό χρήσης του προγράμματος PowerFactory . Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Οι **εσωτερικές συναρτήσεις** που μπορούν να κληθούν ανά πάσα στιγμή.
- Οι **συναρτήσεις των συνόλων** που είναι διαθέσιμοι για μεταβλητές συνόλων.
- Οι **συναρτήσεις των αντικειμένων** που αφορούν μεταβλητές αντικειμένων.
- Οι **εξωτερικές συναρτήσεις** που είναι διαθέσιμες για εξωτερικά αντικείμενα του PowerFactory, όπως για παράδειγμα εντολές ροής φορτίου κ.α.

3



Ανάλυση και περιγραφή εφαρμογών σε DPL

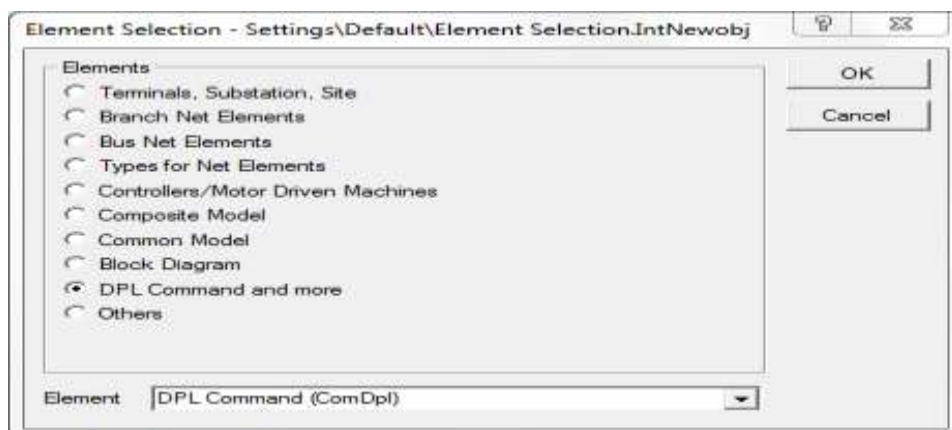
3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιασθεί η διαδικασία κατασκευής ενός script σε DPL και εν συνεχεία θα περιγραφεί η λειτουργία ορισμένων εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

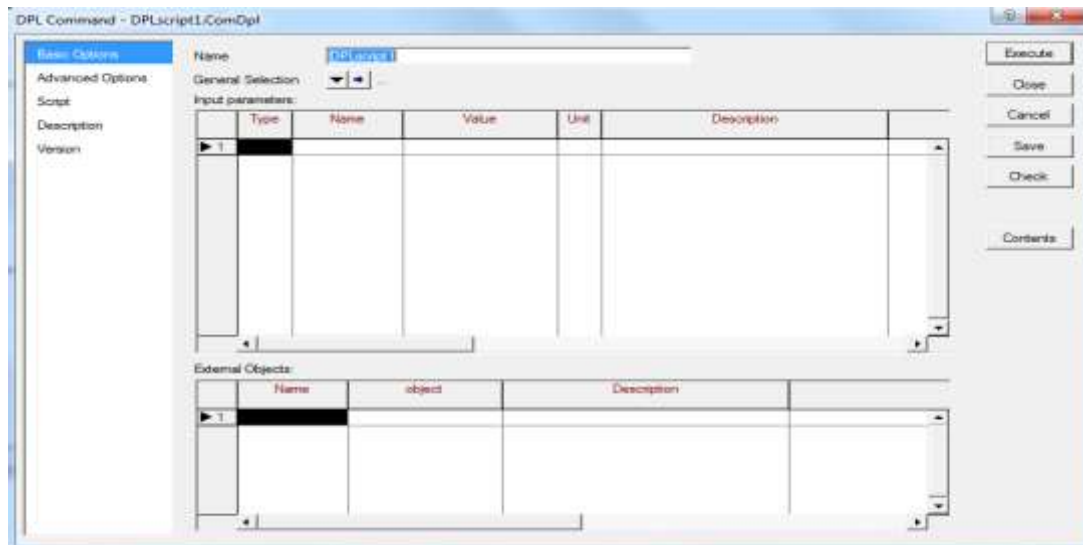
3.2 Κατασκευή ενός script

3.2.1 Δημιουργία

Για να δημιουργήσουμε ένα script είτε επιλέγουμε το εικονίδιο «» που βρίσκεται στην κεντρική γραμμή εργαλείων, είτε το εικονίδιο δημιουργίας νέου αντικειμένου «» που βρίσκεται στο «Data Manager» και επιλέγουμε το «DPL Command and more».



Εικόνα 3.1: Παράθυρο δημιουργίας νέων αντικειμένων.



Εικόνα 3.2: Παράθυρο επεξεργασίας ενός script.

3.2.2 Ορισμός παραμέτρων εισόδου

Οι παράμετροι εισόδου είναι ουσιαστικά μεταβλητές που ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιήσει χωρίς να επέμβει στον κώδικα του script. Προκειμένου να δημιουργήσουμε μια παράμετρο εισόδου πρέπει να ορίσουμε:

- το όνομα,
- το τύπο (double,int,string,object,set),
- την τιμή,
- τη μονάδα μέτρησης,
- προαιρετικά την περιγραφή της λειτουργίας.

Προκειμένου η παράμετρος εισόδου να χρησιμοποιηθεί στο κώδικα πρέπει η μεταβλητή να έχει το ίδιο όνομα με το όνομα που έχουμε ορίσει στην λίστα παραμέτρων εισόδου.

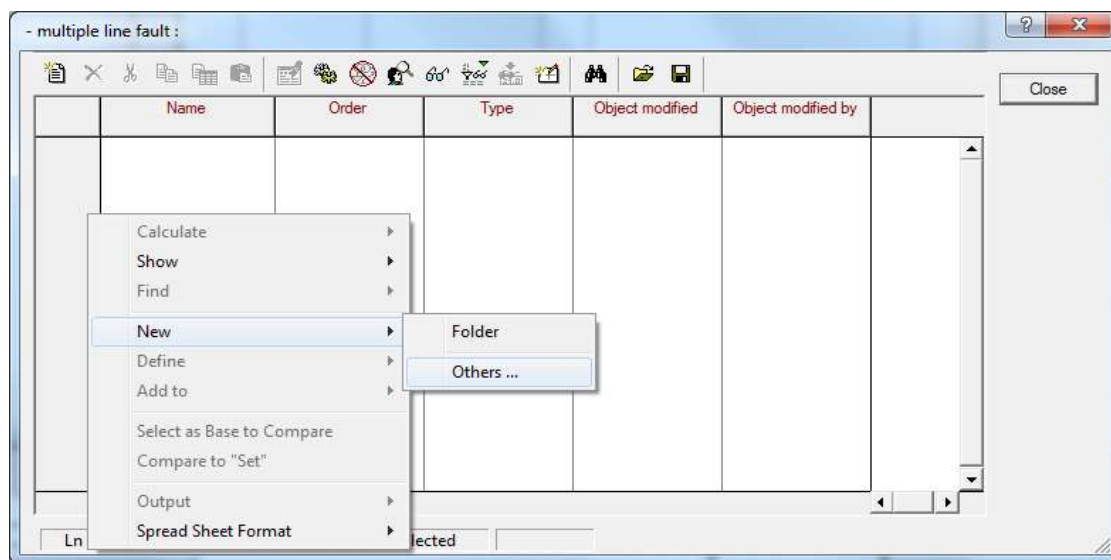
3.2.3 Ορισμός εξωτερικών αντικειμένων

Η λίστα εξωτερικών αντικειμένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου ο χρήστης να αλλάξει ένα αντικείμενο χωρίς να χρειάζεται να επέμβει στο κώδικα. Για να χρησιμοποιηθεί πρέπει να δημιουργηθεί ένα “ψευδώνυμο” το οποίο θα τοποθετείται στο κώδικα αντί του ονόματος του αντικειμένου.


3.2.4 Περιεχόμενα

Τα περιεχόμενα είναι μια λίστα από αντικείμενα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο κώδικα του script. Τα πιο βασικά αντικείμενα είναι:

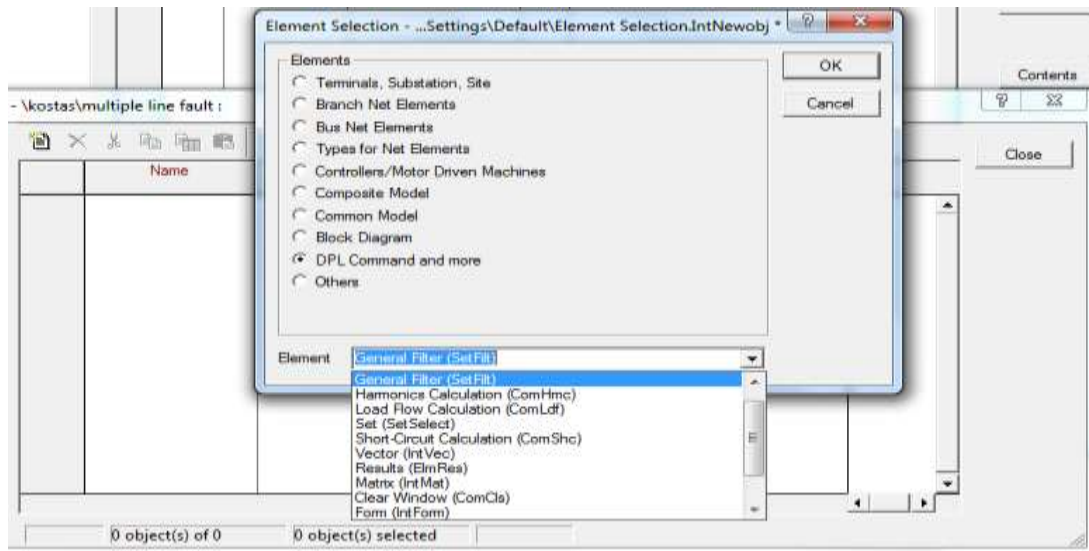
- script τα οποία ονομάζονται υπορουτίνες,
- σύνολα και φίλτρα αντικειμένων,
- εντολές ορισμένες από το PowerFactory,
- διανύσματα και μήτρες,
- πίνακες αποτελεσμάτων.



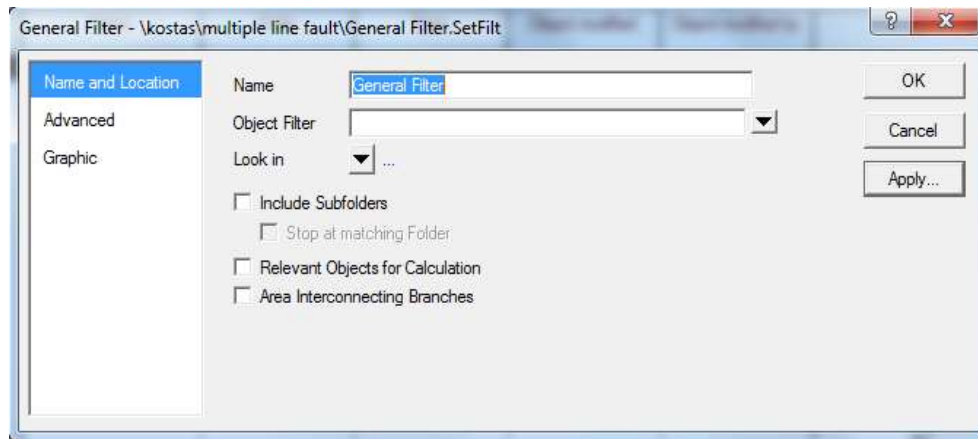
Εικόνα 3.3: Λίστα περιεχομένων ενός script.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο για την λίστα περιεχομένων είτε κλικάρουμε το εικονίδιο «» στην γραμμή εργαλείων, είτε κλικάρουμε σε οποιοδήποτε σημείο της λίστα και στο αναδυόμενο μενού επιλέγουμε «New» -> «Others...».

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα φίλτρο αντικειμένων επιλέγουμε στο πεδίο «Element» το «General Filter(SetFilt)» και πατάμε «Οκ».



Εικόνα 3.4: Παράθυρο δημιουργίας νέων αντικειμένων.

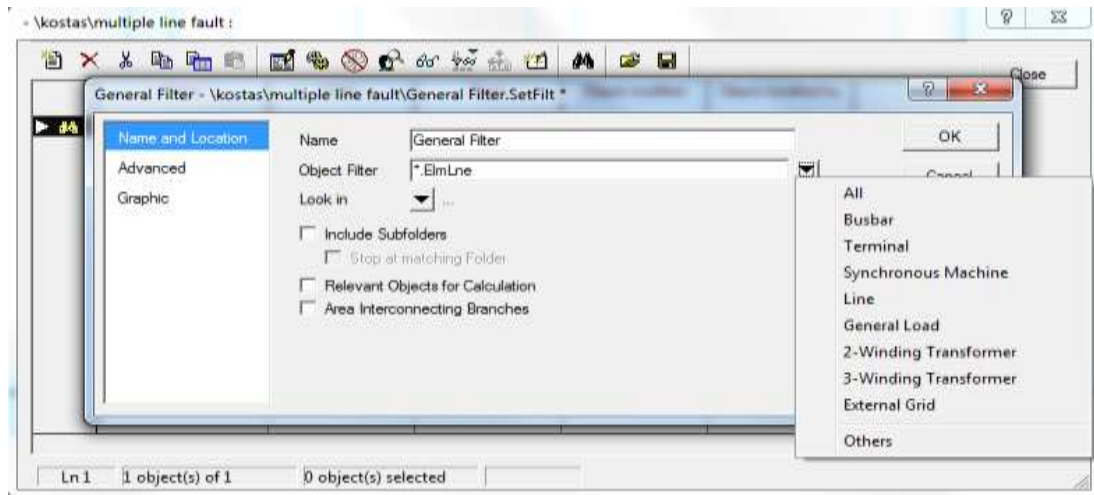


Εικόνα 3.5: Ορισμός φίλτρου αντικειμένων.

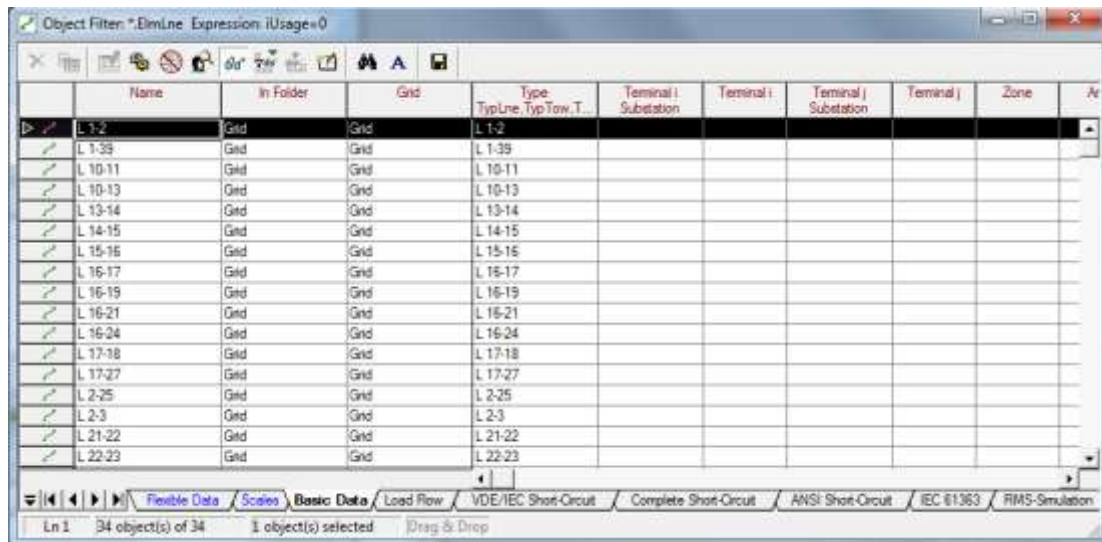
Στο παράθυρο πλέον του ορισμού φίλτρου επιλέγουμε το είδος του αντικειμένου, για το οποίο θέλουμε να δημιουργήσουμε το φίλτρο από το πεδίο «Object Filter» όπου εμπεριέχει όλα τα βασικά είδη στοιχείων τα οποία υπάρχουν σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην επιλογή «Look in» ορίζουμε το project στο οποίο θέλουμε να δημιουργήσουμε το φίλτρο, κλικάρουμε το πεδίο «Include Subfolders» προκειμένου να περιλαμβάνονται όλοι οι φάκελοι και πατάμε «Apply...».

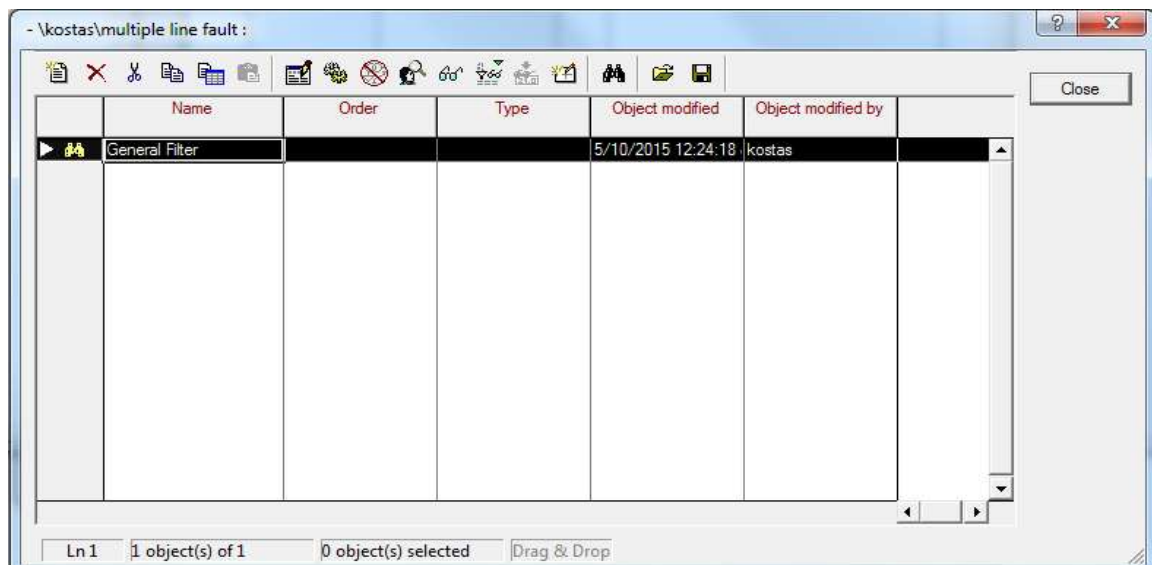
Τέλος πατάμε «Ok» και πλέον στην λίστα περιεχομένων υπάρχει το φίλτρο γραμμών με το όνομα “General Filter” το οποίο μπορεί να αλλαχθεί κλικάροντας πάνω στο όνομα.



Εικόνα 3.6: Ορισμός φίλτρου γραμμών.



Εικόνα 3.7: Φίλτρο γραμμών.



Εικόνα 3.8: Περιεχόμενα script.

3.2.5 Πρόσβαση σε αντικείμενα του δικτύου

Μια από τις πιο βασικές λειτουργίες ενός script είναι η χρήση αντικειμένων ενός δικτύου. Η πρόσβαση σε αυτά τα αντικείμενα γίνεται με 4 διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

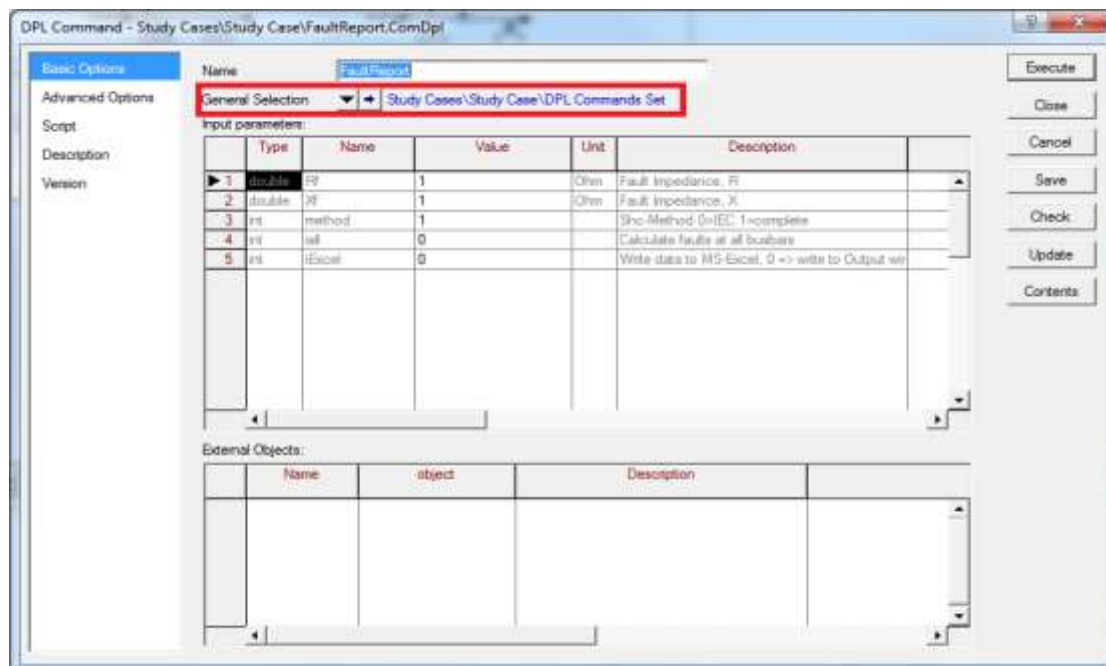
1) Μέσω του «General Selection»

Η επιλογή «General Selection» είναι ένα σύνολο το οποίο μπορεί να οριστεί είτε από το αντίστοιχο πεδίο στο παράθυρο επεξεργασίας ενός script, είτε επιλέγοντας στοιχεία από το μονογραμμικό διάγραμμα και πατώντας δεξί κλικ επιλεγθεί το «Execute DPL scripts».

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το σύνολο «General Selection» μέσα στον κώδικα χρειάζεται το ειδικό πρόθεμα **SEL**. Για παράδειγμα, το παρακάτω τμήμα κώδικα αποθηκεύει σε ένα σύνολο όλες τις γραμμές του «General Selection».

```
set slines;
```

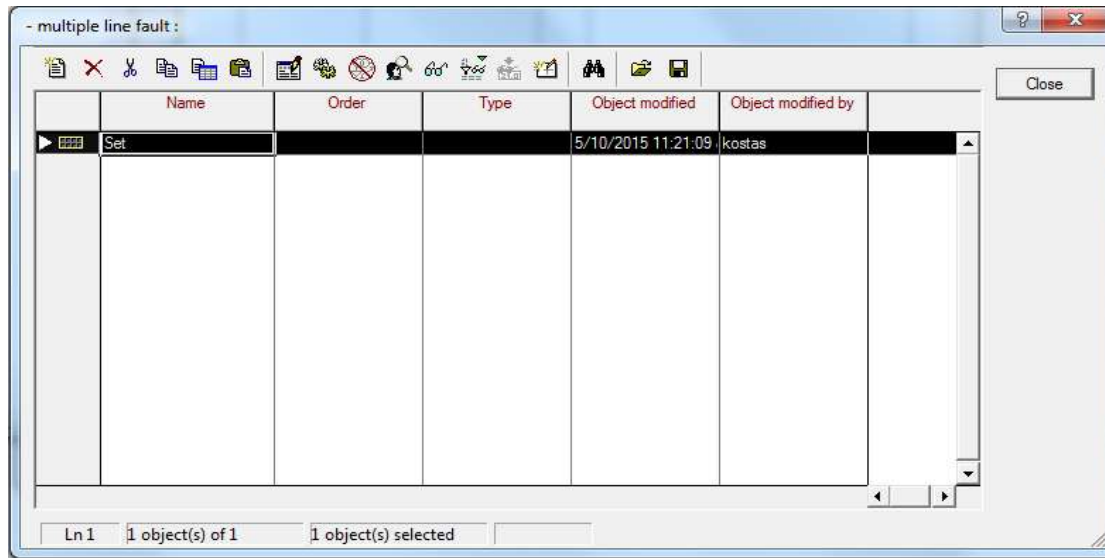
```
slines = SEL.AllLines();
```



Εικόνα 3.9: General Selection.

2) Μέσω συνόλων

Τα σύνολα αντικειμένων (Set) έχουν ακριβώς την ίδια λειτουργία με τα φίλτρα με την μόνη διαφορά ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τα αντικείμενα που θα περιέχονται μέσα στο σύνολο. Προκειμένου να δημιουργήσουμε ένα σύνολο κλικάρουμε στην επιλογή «Contents» στο παράθυρο επεξεργασίας του script, δημιουργούμε ένα νέο αντικείμενο και στο πεδίο «Element» επιλέγουμε το «Set(SetSelect)». Κλικάρουμε στο «Add» για να προσθέσουμε αντικείμενα στο σύνολο και στη συνέχεια πατάμε «Οκ».



Εικόνα 3.10: Δημιουργία συνόλου.

Στο παρακάτω τμήμα κώδικα ο χρήστης με την χρήση ενός επαναληπτικού βρόχου προσπελαίνει το σύνολο με ονομασία “Set” και εμφανίζει στο παράθυρο εξόδου το όνομα κάθε αντικειμένου.

```
object Obj;
```

```
Obj = Set.First();
```

```
while(Obj)
```

```
{
```

```
Obj.ShowFullName();
```

```
Obj = Set.Next();
```

```
}
```

Οι εντολές **Set.First()** και **Set.Next()** αποτελούν εντολές συνόλων και βοηθούν στην προσπέλαση συνόλων αντικειμένων. Περισσότερες εντολές θα αναφερθούν παρακάτω.

3) Μέσω φίλτρων

Η πρόσβαση σε αντικείμενα με την χρήση φίλτρων είναι παρόμοια με την χρήση συνόλων. Η δημιουργία ενός φίλτρου έχει αναλυθεί στην προηγούμενη ενότητα, ενώ παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα για καλύτερη κατανόηση της χρήσης του.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το φίλτρο με όνομα “Lines” εμπεριέχει ένα σύνολο γραμμών, και το συγκεκριμένο τμήμα κώδικα αποθηκεύει σε μια μεταβλητή συνόλου το σύνολο γραμμών.

```
set sL;
sL = Lines.Get();
```

4) Μέσω κώδικα

Η χρήση κώδικα είναι ο πιο γενικός τρόπος για την πρόσβαση αντικειμένων και συνήθως ακολουθεί την εξής διαδικασία:

- Με την χρήση της εντολής “**AllRelevant**” ορίζουμε το επιθυμητό σύνολο αντικειμένων ενός δικτύου.
- Με την χρήση οποιασδήποτε εντολής συνόλων (π.χ **First**, **Next**) αποκτάμε πρόσβαση σε κάθε αντικείμενο ξεχωριστά.

Το ακόλουθο τμήμα κώδικα με την χρήση επαναληπτικού βρόχου εμφανίζει τις γραμμές του συνόλου “sLines”.

```
object aLine;
set sLines;

sLines = AllRelevant('*ElmLne', 1, 1);
aLine = sLines.First();
while(aLine)
{
aLine.ShowFullName();
aLine = sLines.Next();
}
```

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των βασικότερων εντολών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύνολα και μεμονωμένα αντικείμενα, καθώς και των βασικών εντολών που προσφέρει η DPL.

Η γενική σύνταξη είναι:

[Command](arguments);

Πίνακας 3.1: Βασικές εντολές DPL

[Command]
Random
validLDF
validRMS
validSHC
validSIM
AllRelevant
ActiveCase
SummaryGrid
ActiveProject
Write
ResetCalculation
PostCommand
Execute
ClearCommands
GetLanguage
Delete
EchoOn
EchoOff
GetGraphBoard
GetCaseCommand
printf
sprintf
Error
Warn
Info
NoFinalUpdate
GetLocalLib
GetGlobalLib

Όσον αφορά για τις εντολές συνόλων η γενική σύνταξη είναι:

SetName.[SetMethod](arguments);

Πίνακας 3.2: Εντολές συνόλων

[SetMethod]
Clear
IsIn
Add
Remove

Count
First
Next
FirstMatch
NextMatch
FirstFilt
NextFilt
SortToVar
SortToClass
SortToName
MarkInGraphics

Οι εντολές αντικειμένων συντάσσονται κατά αναλογία:

ObjectName.[ObjectMethod](arguments);

Πίνακας 3.3: Εντολές αντικειμένων

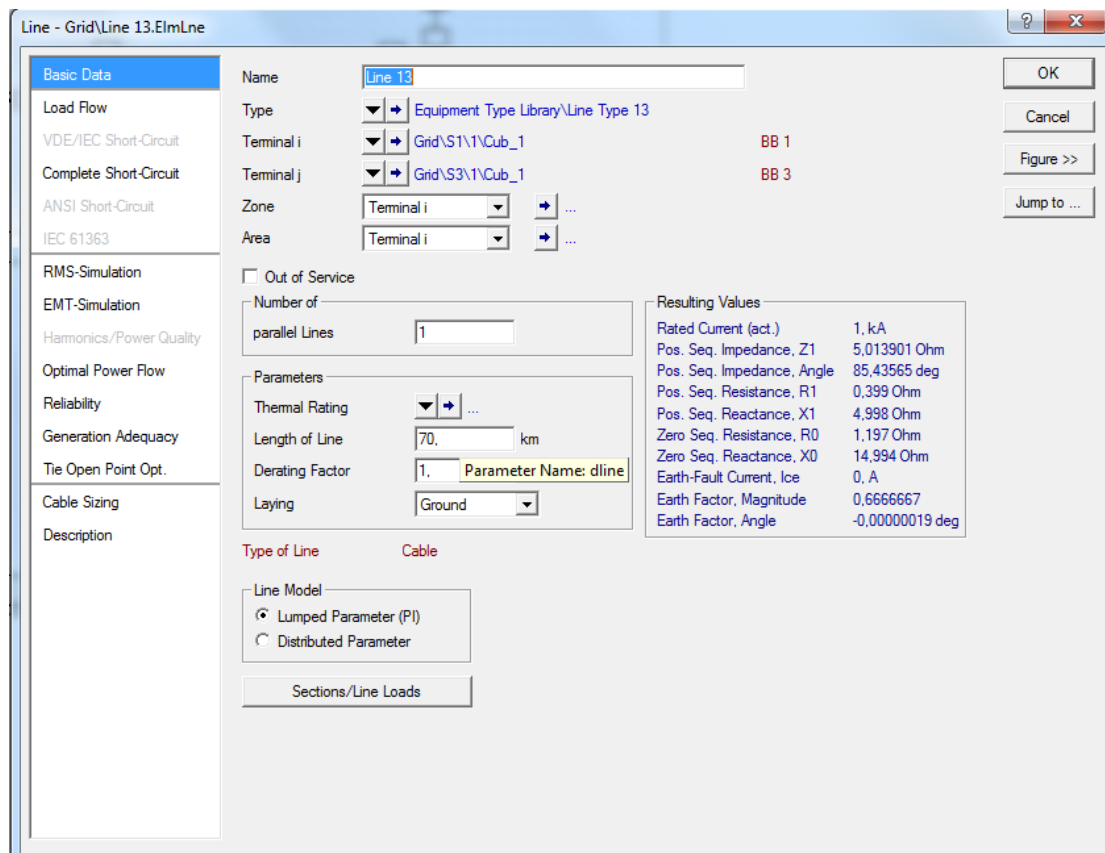
[ObjectMethod]
Unom
MarkInGraphics
ShowFullName
IsClass
AddCopy
CreateObject
Edit
GetParents
GetContents
HasResults
IsRelevant
IsOutOfService
GetConnectionCount
GetCubicle
Move
IsInFeeder
VarExists

3.2.6 Αναγνώριση, πρόσβαση και τροποποίηση παραμέτρων

1) Αναγνώριση

Προκειμένου να αποκτήσουμε πρόσβαση σε μια παράμετρο ενός αντικειμένου πρέπει να γνωρίζουμε το όνομα της. Τα ονόματα των παραμέτρων μπορούν να βρεθούν στο τεχνικό εγχειρίδιο του προγράμματος, ωστόσο ο ευκολότερος τρόπος για την ανεύρεση ενός ονόματος είναι να ανατρέξουμε στο παράθυρο επεξεργασίας του επιθυμητού αντικειμένου και να αφήσουμε το ποντίκι πάνω από το πεδίο που επιθυμούμε να μάθουμε το όνομα. Στην

ακόλουθη εικόνα φαίνεται ότι αν αφήσουμε το ποντίκι πάνω από το πεδίο «**Length of Line**» αναδύεται το όνομα “**dline**”.



Εικόνα 3.11: Αναγνώριση παραμέτρου.

2) Πρόσβαση

Η πρόσβαση στην παράμετρο ενός αντικειμένου έχει την εξής σύνταξη:

Variable = ObjectName:ParameterName;

Για παράδειγμα, παρακάτω φαίνεται πως γίνεται η αποθήκευση του μήκους μιας γραμμής σε μια μεταβλητή με όνομα “LineLength”.

LineLength = oLine:dline;

3) Τροποποίηση

Η τροποποίηση μίας παραμέτρου έχει της εξής σύνταξη:

ObjectName:ParameterName = Value;

Η ακόλουθη γραμμή κώδικα αλλάζει το μέγεθος μιας γραμμής σε 2 km.

oLine:dline = 2;

3.2.7 Εμφάνιση στο παράθυρο εξόδου

Η DPL προσφέρει μερικές συναρτήσεις οι οποίες αλλάζουν την μορφή των εξαγόμενων κειμένων στο παράθυρο εξόδου. Οι εντολές αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

1) printf

Η συνάρτηση «printf» λειτουργεί με τρόπο αντίστοιχο όπως η συνάρτηση στην C++ γλώσσα προγραμματισμού. Συντάσσεται ως εξής:

```
printf(string,[variables]);
```

Για παράδειγμα, θεωρώντας ότι η μεταβλητή **shcloc = Line 56**, η συνάρτηση **printf('Fault Location is: %s',shcloc)** θα εμφανίσει στο παράθυρο εξόδου:

```
Fault Location is: Line 5
```

2) Error

Η συνάρτηση «Error» εξάγει ένα κόκκινο κείμενο σφάλματος στο παράθυρο εξόδου. Συντάσσεται ως εξής:

```
Error(string,[variables]);
```

Για παράδειγμα, η συνάρτηση **Error('Script Failed!')**; θα εμφανίσει στο παράθυρο εξόδου:

```
DIgSI/err – Script Failed!
```

3) Warn

Η συνάρτηση «Warn» εξάγει ένα καφέ κείμενο προειδοποίησης στο παράθυρο εξόδου. Συντάσσεται ως εξής:

```
Warn(string,[variables]);
```

Για παράδειγμα, η συνάρτηση **Warn('Iterations > 5')**; θα εμφανίσει στο παράθυρο εξόδου:

```
DIgSI/wrng – Iterations > 5
```

4) Info

Η συνάρτηση «Info» εξάγει ένα πράσινο κείμενο ενημέρωσης στο παράθυρο εξόδου. Συντάσσεται ως εξής:

```
Info(string,[variables]);
```


Για παράδειγμα, η συνάρτηση **Info('Ldf command successfully executed')**; θα εμφανίσει στο παράθυρο εξόδου:

DlgSI/info – Ldf command successfully executed

5) ClearOutput

Η συνάρτηση «ClearOutput» σβήνει ότι έχει εξαχθεί στο παράθυρο εξόδου και συντάσσεται ως εξής:

ClearOutput();

3.2.8 *Διανύσματα, Ταξινομημένες Συλλογές(Maps) και Μήτρες*

Τα διανύσματα, οι ταξινομημένες συλλογές(maps) και οι μήτρες μπορούν να δημιουργηθούν και να τροποποιηθούν σε 4 διαφορετικά είδη:

- IntVec: Διανύσματα με πραγματικούς αριθμούς.
- IntDplvector: Διανύσματα με σύνολα, αντικείμενα, κείμενα και αριθμούς.
- IntMat: Μήτρες με πραγματικούς αριθμούς.
- IntDplmap: Μήτρες με σύνολα, αντικείμενα, κείμενα και αριθμούς.

1) Διανύσματα

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διανύσματα στο PowerFactory:

- IntVec
- IntDplvector

$$\text{IntVec} = \begin{pmatrix} 5.41 \\ 7 \\ 8.925 \end{pmatrix} \qquad \text{IntDplvector} = \begin{pmatrix} \text{oLine1} \\ \text{oBus1} \\ \text{oGen1} \end{pmatrix}$$

Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συναρτήσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτά τα δύο είδη διανυσμάτων.

Η σύνταξη των συναρτήσεων είναι: **VecName.VecFunction(arguments);**

Πίνακας 3.4: Συναρτήσεις διανυσμάτων

Συνάρτηση	IntVec	IntDplvector
Αρχικοποίηση	Init(n)	Clear()
Προσπέλαση της τιμής που βρίσκεται στην θέση με δείκτη i	Get(i)	Get(i)
Ορισμός μιας τιμής στην θέση του πίνακα με δείκτη i	Set(i,value)	Insert(i,item)
Αλλαγή μεγέθους του διανύσματος σε n	Resize(n)	N/A
Πλήθος των αντικειμένων στο διάνυσμα	Size()	Size()
Τοποθέτηση αντικειμένου στο τέλος του πίνακα	N/A	Insert(Item)
Αφαίρεση αντικειμένου από την θέση με δείκτη i	N/A	Remove(i)

2) Ταξινομημένες συλλογές (maps)

Οι ταξινομημένες συλλογές (maps) αποτελούνται από τα λεγόμενα «key-value» ζευγάρια. Κάθε «key» αντιστοιχεί σε μια μόνο τιμή «value» όπως φαίνεται παρακάτω.

$$\text{IntDplmap} = \begin{pmatrix} 1, & \text{oBus1} \\ 6, & \text{oLine3} \\ 9, & \text{oGen2} \end{pmatrix}$$

Στο ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται η συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στις ταξινομημένες συλλογές (maps).

Η σύνταξη των συναρτήσεων είναι: **MapName.MapFunction(arguments);**

Πίνακας 3.5: Συναρτήσεις ταξινομημένων συλλογών(maps)

Συνάρτηση	IntDplmap
Αρχικοποίηση	Clear()
Προσπέλαση της τιμής που συσχετίζεται με το «key» “x”	GetValue(x)
Μέγεθος του συσχετισμένου πίνακα	Size()
Προσθήκη ή τροποποίηση ενός ζεύγους «key-value»	Insert(key,value)
Αφαίρεση ενός ζεύγους «key-value»	Remove(key)
Έλεγχος αν το «key» “x” υπάρχει στον πίνακα	Contains(x)
Προσπέλαση του πρώτου ζεύγους «key-value»	First(key,value)
Προσπέλαση του επόμενου ζεύγους «key-value»	Next(key,value)

3) Μήτρες

Οι μήτρες είναι δισδιάστατοι πίνακες πραγματικών αριθμών.

$$\text{IntMat} = \begin{pmatrix} 6.25 & 7 \\ 9.99 & 8.231 \\ 3.68 & 4.89 \end{pmatrix}$$

Στο τελευταίο πίνακα παρουσιάζονται η συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για τις μήτρες. Η σύνταξη των συναρτήσεων είναι: **MatName.MatFunction(arguments)**;

Πίνακας 3.6: Συναρτήσεις μητρών

Συνάρτηση	IntMat
Αρχικοποίηση	Init(rows,columns,init_val)
Πλήθος στηλών/γραμμών	NRow()/NCol()
Αλλαγή μεγέθους	Resize(rows,columns,init_val)
Προσπέλαση τιμής στην θέση με δείκτη(x,y)	Get(x,y)
Ορισμός τιμής στην θέση με δείκτη(x,y)	Set(x,y,value)

Διάβασμα ετικέτας γραμμής/στήλης	RowLbl(row)/ColLbl(col)
Ορισμός ετικέτας γραμμής/στήλης	RowLbl(label,row)/ColLbl(label,col)
Πολλαπλασιασμός 2 μητρών	Multiply(Mat_A,Mat_B)
Ανάστροφος	Invert()
Ταξινόμηση ενός πίνακα αλφαριθμητικά σύμφωνα με την στήλη "col"	SortToColumn(col)

3.3 Εφαρμογές σε DPL

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Οι εφαρμογές αυτές είναι:

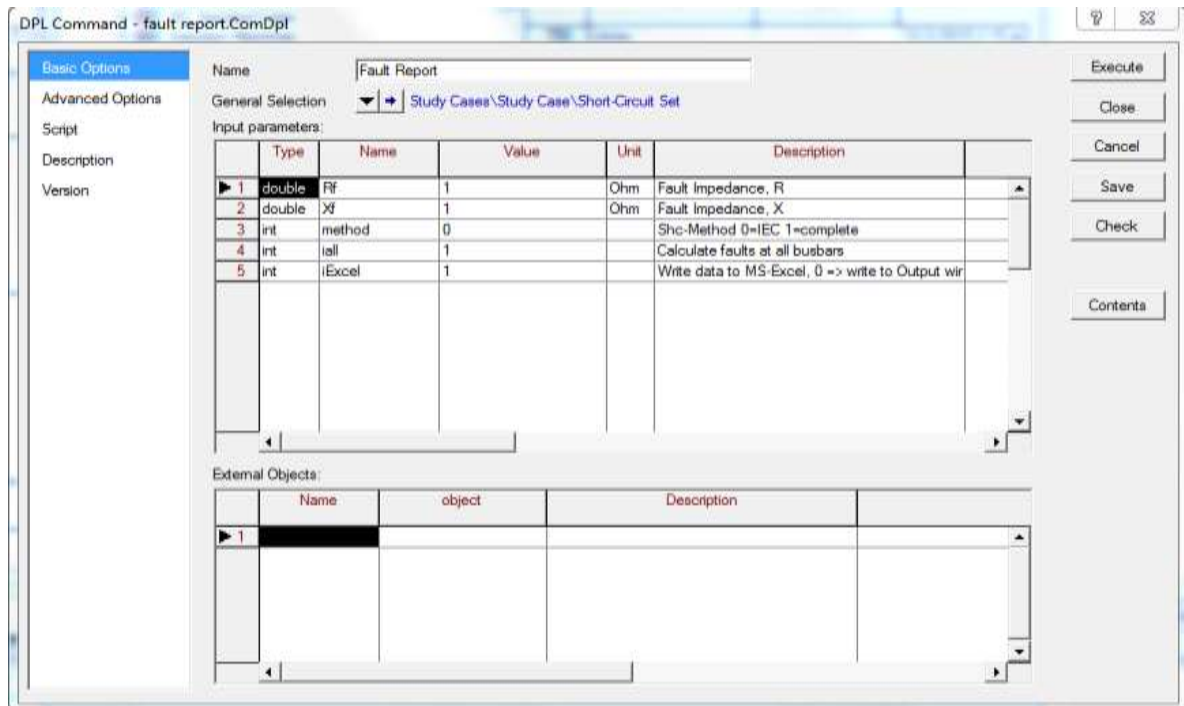
- Πραγματοποίηση πολλών σεναρίων βραχυκυκλωμάτων σε ζυγούς ενός δικτύου και εξαγωγή αποτελεσμάτων στο MS Excel(**Fault Report**).
- Πραγματοποίηση πολλών σεναρίων βραχυκυκλωμάτων σε γραμμές ενός δικτύου και εξαγωγή αποτελεσμάτων στο MS Excel(**Multiple Line Fault**).
- Αναγνώριση των ηλεκτρονόμων που διεγείρονται ύστερα από την πραγματοποίηση ενός βραχυκυκλώματος και εξαγωγή των χρόνων λειτουργίας(**Tripping time of relays**).

3.3.1 Fault report

Σε αυτή την εφαρμογή ο χρήστης επιλέγει με τον κέρσορα ένα τμήμα του δικτύου, το script απομονώνει τους ζυγούς και εκτελεί βραχυκυκλώματα σε κάθε ένα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι τα εξής:

- Το όνομα του σταθμού, αν υφίσταται.
- Το όνομα του ζυγού.
- Η ονομαστική τάση του ζυγού.
- Το ρεύμα και η γωνία για 3-φασικό βραχυκύκλωμα.
- Το ρεύμα και η γωνία για 1-φασικό βραχυκύκλωμα.
- Το ρεύμα και η γωνία για 2-φασικό βραχυκύκλωμα χωρίς γη.
- Η σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας(R_1, X_1).
- Η σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας(R_0, X_0).
- Ο λόγος X_0/X_1 .
- Ο λόγος R_0/X_0 .
- Ο λόγος R_0/X_1 .

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το παράθυρο επεξεργασίας του script όπου θα αναλυθούν οι επιλογές που δίνονται καθώς και οι υπορουτίνες που θα χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 3.12: Παράθυρο επεξεργασίας Fault Report script.

Στην λίστα με τις παραμέτρους εισόδου μπορούν να επιλεγθούν:

- Η σύνθετη αντίσταση του σφάλματος(R_f, X_f).
- Η μέθοδος που θα εκτελεσθεί το βραχυκύκλωμα μέσω της παραμέτρου “method” (0->IEC, 1->Complete).
- Αν τα βραχυκυκλώματα θα εκτελεστούν σε όλους τους ζυγούς ή μόνο στους ζυγούς της επιλογής του χρήστη μέσω της παραμέτρου “iall”(0->User, 1->All).
- Αν τα αποτελέσματα θα εξαχθούν στο παράθυρο εξόδου ή σε MS Excel μέσω της παραμέτρου “iExcel”(0->Output Window, 1->MS Excel).

	Name	Order	Type	Object modified	Object modified by
▶	InitMatrix	-1000000		8/4/2015 7:06:34	kostas
▶	Output	-1000000		8/4/2015 7:06:34	kostas
▶	ShcCalc	-1000000		8/4/2015 7:06:34	kostas
▶	ToExcel	-1000000		8/4/2015 7:06:34	kostas
▶	WriteMatrix	-1000000		8/4/2015 7:06:34	kostas
▶	CalcMatrix	-1000000		8/4/2015 7:06:55	kostas
⚠	shc	-1000000		29/9/2015 1:03:13	kostas
▶	Results			8/4/2015 7:06:34	kostas

Ln 1 8 object(s) of 8 1 object(s) selected

Εικόνα 3.13: Λίστα περιεχομένων του Fault Report script.

Η λίστα περιεχομένων περιλαμβάνει τις εξής υπορουτίνες:

- Την υπορουτίνα “InitMatrix” η οποία χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του πίνακα όπου θα αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των βραχυκυκλωμάτων.
- Την υπορουτίνα “Output” η οποία ορίζει την μορφή με την οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα στο παράθυρο εξόδου του προγράμματος.
- Την υπορουτίνα “ShcCalc” η οποία αναγνωρίζει το είδος του βραχυκυκλώματος και το εκτελεί.
- Την υπορουτίνα “ToExcel” η οποία ορίζει την μορφή με την οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα στους πίνακες του MS Excel.
- Την υπορουτίνα “WriteMatrix” η οποία χρησιμοποιείται για την εκχώρηση των αποτελεσμάτων στην κατάλληλη θέση του πίνακα.
- Την ρουτίνα “CalcMatrix” η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των λόγων X_0/X_1 , R_0/X_0 , R_0/X_1 και την εκχώρηση τους στην κατάλληλη θέση του πίνακα.

Η λίστα περιεχομένων εκτός από τις υπορουτίνες που χρησιμοποιούνται στο script περιέχει:

- Την εντολή “shc” η οποία είναι το βραχυκύκλωμα που εκτελείται και πρέπει να ορισθεί και να παραμετροποιηθεί.
- Τον πίνακα “Results” όπου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα από τα βραχυκυκλώματα.

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστεί τμηματικά ο κώδικας του Fault Report script στις Εικόνες 3.14 έως 3.22.

```

set aShcLocs;

object pObj,
    pTmp;

int ierr,
    faulttype,
    inline,
    iBus,
    iTmp,
    iCountShc,
    iCountBus,
    iLineLen;

string aShc;

iCountShc= 0;
iCountBus= 0;
iLineLen = 1;
pObj = NULL;

```

Αρχικά πραγματοποιείται ο ορισμός των μεταβλητών και η αρχικοποίηση.

Εικόνα 3.14: Κώδικας Fault Report script(1/9).

```

if (iExcel) {
    iTmp = ddeOpen('', 'Excel', 'System');
    ddeClose();
    if (iTmp) { ! error
        Error('Please start MS Excel first or select redirect output to output window (iExcel=0)');
        exit();
    }
}

```

Έλεγχος της παραμέτρου “iExcel” για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.15: Κώδικας Fault Report script(2/9).

```

EchoOff();

! first reset calculation
ResetCalculation();

! method
if (method=0) { ! iec
    shc:iopt_mde=1;
    aShc = 'IEC';
} else { ! complete
    shc:iopt_mde=3;
    aShc = 'complete';
}

```

Έλεγχος της παραμέτρου “method” για τον ορισμό της μεθόδου που θα χρησιμοποιείται.

Εικόνα 3.16: Κώδικας Fault Report script(3/9).

```

! configure short circuit command
! filter busbars
if (iall) {
  Info("Calculating short circuits (%s) at all busbars", aShc);
  shc:iopt_allbus = 1;
} else {
  aShcLocs = SEL.GetContents();
  for (pImp=aShcLocs.First(); pImp; pImp=aShcLocs.Next()) {
    pObj = pImp:obj_id;
    if (pObj) {
      iImp = pObj.IsNode();
      if (iImp) {
        iCountBus = iCountBus + 1; ! increase number of busbars
      } else {
        pImp:obj_id = NULL; ! reset reference
      }
    }
  }
  aShcLocs.Clear();
  if (iCountBus=0) {
    Error("Please select busbars or calculate short circuit at all busbars (parameter iall)");
    exit();
  } else {
    Info("Calculating short circuits (%s) at selected busbars", aShc);
    shc:iopt_allbus = 0;
    shc:shcobj = SEL;
  }
}

```

Γίνεται έλεγχος της παραμέτρου “iall”, εάν είναι 0 τότε γίνεται έλεγχος των στοιχείων που έχουμε επιλεχθεί με τον κέρσορα και γίνεται καταμέτρηση των ζυγών. Στην συνέχεια αφού έχει γίνει το φιλτράρισμα των ζυγών ορίζονται στην εντολή ”shc”.

Εικόνα 3.17: Κώδικας Fault Report script(4/9).

```

! fault resistance
shc:Rf = Rf;
shc:Xf = Xf;

ierr=0;
faulttype = 0;

```

Ορισμός της σύνθετης αντίστασης σφάλματος και αρχικοποίηση μεταβλητών.

Εικόνα 3.18: Κώδικας Fault Report script(5/9).

```

faulttype = -1;
while (faulttype<2) { ! 3-1 -> increased in loop !

  faulttype = faulttype + 1; ! increase at the beginning (continue)
  ierr = ShcCalc.Execute(shc, faulttype); ! calculate short circuits
  if (ierr) {
    continue;
  }

  if (iCountShc=0) { ! only first time
    ! collect the short circuit buses
    if (iall) { ! selected busbars
      aShcLocs = AllRelevant();
    } else { ! all busbars
      aShcLocs = SEL.AllBars();
    }
    iCountBus = aShcLocs.Count();
  }
}

```

Με την χρήση επαναληπτικού βρόχου εκτελούνται τα βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς που έχουν επιλεχθεί. γίνεται αρίθμηση των γραμμών του πίνακα αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.19: Κώδικας Fault Report script(6/9).


```

iline=1;
for (iBus=iCountBus-1; iBus>=0; iBus=iBus-1) {
  pTmp = aShcLocs.Obj(iBus);
  iTmp = pTmp.IsNode();
  if (iTmp) {
    iTmp = pTmp.IsShortCircuited();
    if (iTmp) {
      pTmp.dp11 = iline; ! line in matrix
      iline = iline+1;
      continue;
    }
  }
  aShcLocs.Remove(pTmp);
}
iCountBus = aShcLocs.Count();
if (iCountBus) {
  aShcLocs.SortToVar(0, 'loc_name');
  InitMatrix.Execute(Results, aShcLocs);
}
}

if (iCountBus=0) {
  continue;
}

```

Γίνεται αρίθμηση των γραμμών του πίνακα αποτελεσμάτων και στην συνέχεια καλείται η υπορουτίνα για την αρχικοποίηση του.

Εικόνα 3.20: Κώδικας Fault Report script(7/9).

```

! store results in matrix
WriteMatrix.Execute(Results, aShcLocs, faulttype);
iCountShc = iCountShc + 1;
}

shc:shcobj = NULL;

! calculate dependend values
CalcMatrix.Execute(Results);

```

Καλείται η υπορουτίνα για την εκχώρηση των αποτελεσμάτων στις κατάλληλες θέσεις του πίνακα και γίνεται ο υπολογισμός των λόγων X_0/X_1 , R_0/X_0 , R_0/X_1 .

Εικόνα 3.21: Κώδικας Fault Report script(8/9).

```

! produce output
if (iExcel) {
  ToExcel.Execute(aShcLocs, Results);
} else {
  Output.Execute(iLineLen, aShcLocs, Results);
}

EchoOn();

```

Γίνεται εκ νέου έλεγχος της παραμέτρου “iExcel” και ανάλογα με την τιμή γίνεται κλήση της αντίστοιχης υπορουτίνας για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.22: Κώδικας Fault Report script(9/9).

Τέλος, στην Εικόνα 3.23 δίνεται μια απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μπορούν να εξαχθούν με την χρήση του Fault Report script.

```
DigSI/info - DPL Program 'fault report' started
DigSI/info - Calculating short circuits (IEC) at all busbars
```

Station Name	Bus Name	Unom Unom [kV]	3-Phase		1-Phase		Phase-Phase		Positive Seq		Zero Seq		Ratio	Ratio	Ratio
			I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	R [pu]	X [pu]	R0 [pu]	X0 [pu]	X0/X1 [-]	R0/X0 [-]	R0/X1 [-]
	B1	150,0	17,7	-76,1	9,3	-79,9	17,2	-170,5	0,0013	0,0188	0,0081	0,0839	4,458	0,097	0,431
	B10	150,0	40,3	-63,4	6,6	-75,7	48,5	-161,4	0,0003	0,0049	0,0338	0,1629	32,930	0,207	6,826
	B11	150,0	36,7	-65,2	6,7	-75,4	42,5	17,2	0,0004	0,0060	0,0340	0,1592	26,434	0,213	5,637
	B12	20,0	8,8	-45,9	1,8	-8,3	15,0	-136,8	0,0004	0,0083	4,5000	0,0031	0,369	1e+003	539,072
	B13	150,0	34,8	-66,4	6,4	-76,1	39,4	-163,8	0,0004	0,0067	0,0334	0,1644	24,456	0,203	4,961
	B14	150,0	29,2	-69,4	6,5	-76,4	31,3	-165,9	0,0007	0,0092	0,0315	0,1595	17,427	0,198	3,447
	B15	150,0	24,8	-71,6	5,8	-77,9	25,6	12,7	0,0010	0,0118	0,0313	0,1790	15,214	0,175	2,656
	B16	150,0	33,9	-66,7	6,1	-77,7	38,1	-163,7	0,0005	0,0070	0,0302	0,1769	25,250	0,171	4,315
	B17	150,0	27,9	-69,9	6,1	-77,8	29,6	-166,1	0,0008	0,0098	0,0288	0,1690	17,266	0,171	2,947
	B18	150,0	24,6	-71,6	6,1	-78,0	25,3	12,7	0,0010	0,0119	0,0278	0,1656	13,911	0,168	2,339
	B19	150,0	42,9	-61,8	4,9	-79,3	53,1	-159,9	0,0002	0,0043	0,0351	0,2354	55,271	0,149	8,236
	B2	150,0	36,2	-62,9	7,4	-77,7	42,0	20,4	0,0009	0,0060	0,0213	0,1417	23,743	0,150	3,571
	B20	20,0	8,9	-45,6	8,8	-46,1	15,2	43,7	0,0003	0,0059	0,0000	0,0185	3,140	0,002	0,006
	B21	150,0	26,7	-71,4	5,1	-79,2	28,0	-167,6	0,0006	0,0106	0,0322	0,2104	19,895	0,153	3,047
	B22	150,0	41,1	-63,1	4,9	-79,5	49,8	-161,2	0,0002	0,0048	0,0334	0,2303	48,465	0,145	7,029
	B23	150,0	37,9	-65,1	4,8	-79,6	44,3	-163,0	0,0003	0,0057	0,0337	0,2353	41,363	0,143	5,933
	B24	150,0	26,6	-71,3	5,5	-78,7	27,8	-167,5	0,0007	0,0107	0,0311	0,1933	18,139	0,161	2,917
	B25	150,0	34,7	-62,9	6,5	-74,6	39,6	-159,4	0,0011	0,0064	0,0365	0,1618	25,164	0,226	5,681
	B26	150,0	22,3	-72,6	5,3	-78,2	22,6	-167,9	0,0012	0,0137	0,0336	0,1961	14,354	0,171	2,460
	B27	150,0	20,0	-74,2	5,3	-78,7	19,8	-169,1	0,0013	0,0160	0,0314	0,1912	11,981	0,164	1,968
	B28	150,0	19,3	-74,6	3,8	-80,1	19,0	-169,5	0,0014	0,0167	0,0416	0,2843	17,023	0,146	2,493
	B29	150,0	36,4	-65,7	4,0	-79,9	42,0	16,3	0,0003	0,0062	0,0422	0,2898	47,071	0,145	6,846
	B3	150,0	27,7	-69,7	6,8	-77,5	29,4	14,2	0,0009	0,0099	0,0255	0,1496	15,159	0,170	2,581
	B30	20,0	8,9	-45,7	8,7	-46,8	15,1	-136,4	0,0006	0,0066	0,0001	0,0360	5,425	0,004	0,022
	B31	20,0	8,9	-45,6	8,8	-46,0	15,2	-136,3	0,0004	0,0060	0,0000	0,0147	2,444	0,002	0,004
	B32	20,0	8,9	-45,6	8,8	-46,0	15,2	-136,2	0,0003	0,0054	0,0000	0,0152	2,834	0,002	0,005
	B33	20,0	8,9	-45,5	8,8	-46,0	15,3	-136,0	0,0003	0,0047	0,0000	0,0165	3,500	0,002	0,006
	B35	20,0	8,9	-45,5	8,8	-45,9	15,2	-136,1	0,0003	0,0050	0,0000	0,0153	3,024	0,002	0,005
	B36	20,0	8,9	-45,6	8,8	-46,1	15,2	43,7	0,0003	0,0058	0,0000	0,0178	3,088	0,002	0,006
	B37	20,0	8,8	-45,7	8,8	-46,2	15,1	-136,4	0,0009	0,0068	0,0000	0,0193	2,827	0,002	0,006
	B38	20,0	8,9	-45,7	8,8	-45,9	15,2	-136,4	0,0003	0,0063	0,0000	0,0125	1,985	0,001	0,003
	B39	150,0	37,6	-63,2	26,4	-67,3	43,9	20,1	0,0006	0,0056	0,0040	0,0198	3,526	0,200	0,705
	B4	150,0	28,9	-69,7	6,8	-76,1	30,9	-166,2	0,0006	0,0093	0,0305	0,1501	16,165	0,203	3,285
	B5	150,0	35,5	-65,6	7,2	-74,4	40,6	-163,0	0,0005	0,0064	0,0336	0,1449	22,588	0,232	5,233
	B6	150,0	40,0	-63,2	7,2	-74,3	48,0	19,0	0,0003	0,0050	0,0338	0,1463	29,242	0,231	6,762
	B7	150,0	27,3	-69,9	6,8	-74,3	28,9	13,9	0,0009	0,0101	0,0356	0,1467	14,523	0,242	3,521
	B8	150,0	27,2	-69,4	7,0	-73,6	28,7	-165,4	0,0010	0,0102	0,0358	0,1397	13,763	0,256	3,530
	B9	150,0	16,6	-70,7	9,1	-77,9	16,1	-164,2	0,0040	0,0197	0,0081	0,0839	4,264	0,097	0,412

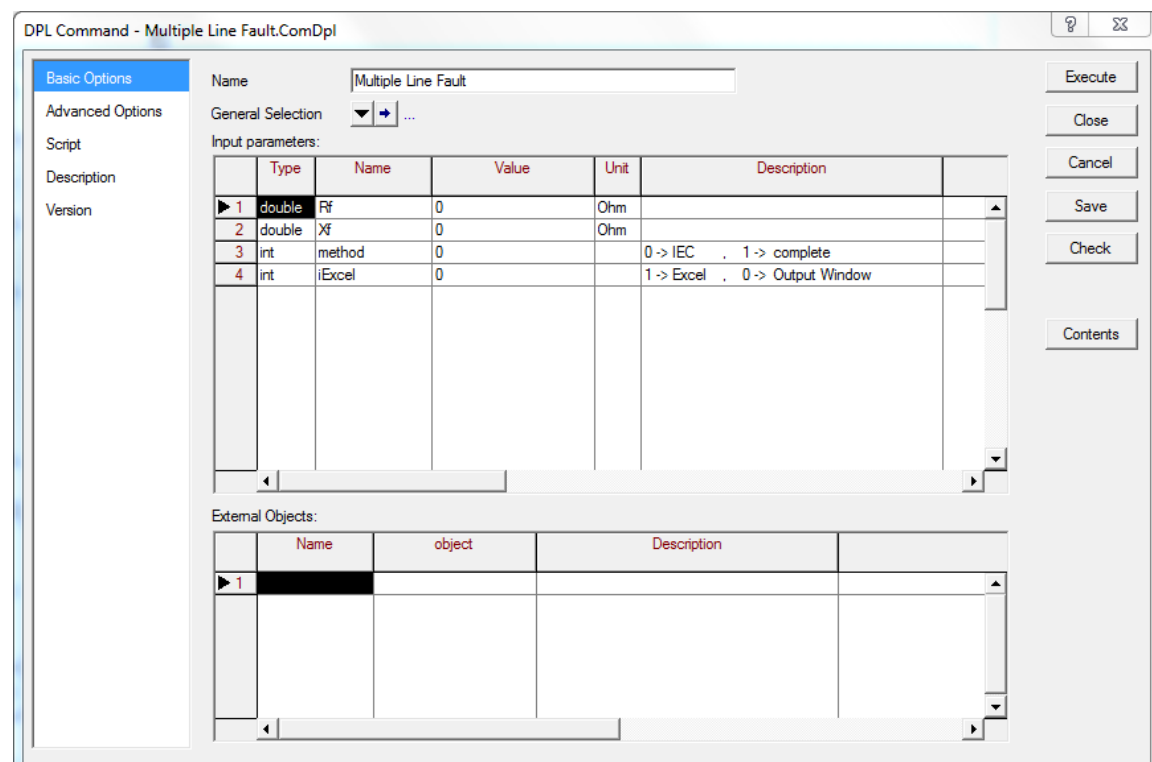
Εικόνα 3.23: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Fault Report script.

3.3.2 *Multiple Line Fault*

Σε αυτή την εφαρμογή χρήστης επιλέγει την σύνθετη αντίσταση του σφάλματος (R_f, X_f), τη μέθοδο που θα εκτελεστεί το βραχυκύκλωμα και τον τρόπο που θα εξαχθούν τα αποτελέσματα και το script εκτελεί βραχυκυκλώματα στο 1% , στο 50% και στο 99% της κάθε γραμμής. Έτσι τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι:

- Το όνομα της γραμμής.
- Το ρεύμα και την γωνία για 3-φασικό βραχυκύκλωμα στο 1% , 50% και 99% της γραμμής.
- Το ρεύμα και την γωνία για 1-φασικό βραχυκύκλωμα στο 1% , 50% και 99% της γραμμής.
- Το ρεύμα και την γωνία για 2-φασικό βραχυκύκλωμα στο 1% , 50% και 99% της γραμμής.
- Το ρεύμα και την γωνία για 2-φασικό βραχυκύκλωμα προς γή στο 1% , 50% και 99% της γραμμής.

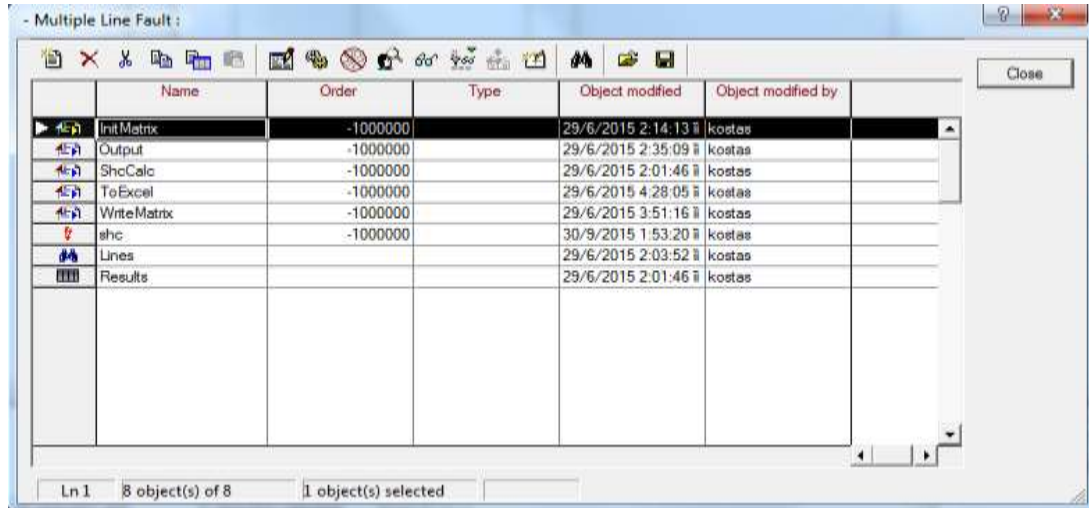
Το παράθυρο επεξεργασίας του συγκεκριμένου script παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.24.



Εικόνα 3.24: Παράθυρο επεξεργασίας Multiple Line Fault script.

Στη λίστα παραμέτρων εισόδων μπορούν να ορισθούν:

- Η σύνθετη αντίσταση σφάλματος (R_f, X_f).
- Η μέθοδος που θα εκτελεσθεί το βραχυκύκλωμα μέσω της παραμέτρου “method”(0->IEC, 1->Complete).
- Αν τα αποτελέσματα θα εξαχθούν στο παράθυρο εξόδου ή σε MS Excel μέσω της παραμέτρου “iExcel”(0->Output Window, 1->MS Excel).



Name	Order	Type	Object modified	Object modified by
InitMatrix	-1000000		29/6/2015 2:14:13	kostas
Output	-1000000		29/6/2015 2:35:09	kostas
ShcCalc	-1000000		29/6/2015 2:01:46	kostas
ToExcel	-1000000		29/6/2015 4:28:05	kostas
WriteMatrix	-1000000		29/6/2015 3:51:16	kostas
shc	-1000000		30/9/2015 1:53:20	kostas
Lines			29/6/2015 2:03:52	kostas
Results			29/6/2015 2:01:46	kostas

Εικόνα 3.25: Λίστα περιεχομένων του Multiple Line Fault script.

Η λίστα περιεχομένων περιλαμβάνει τις εξής υπορουτίνες:

- Την υπορουτίνα “InitMatrix” η οποία χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του πίνακα όπου θα αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των βραχυκυκλωμάτων.
- Την υπορουτίνα “Output” η οποία ορίζει την μορφή με την οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα στο παράθυρο εξόδου του προγράμματος.
- Την υπορουτίνα “ShcCalc” η οποία αναγνωρίζει το είδος του βραχυκυκλώματος και το εκτελεί.
- Την υπορουτίνα “ToExcel” η οποία ορίζει την μορφή με την οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα στους πίνακες του MS Excel.
- Την υπορουτίνα “WriteMatrix” η οποία χρησιμοποιείται για την εκχώρηση των αποτελεσμάτων στην κατάλληλη θέση του πίνακα.

Επίσης, η λίστα περιεχομένων περιλαμβάνει:

- Την εντολή “shc” η οποία είναι το βραχυκύκλωμα που εκτελείται και πρέπει να ορισθεί και να παραμετροποιηθεί.
- Το φίλτρο “Lines” το οποίο εμπεριέχει όλες τις γραμμές του δικτύου.
- Τον πίνακα “Results” όπου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα από τα βραχυκυκλώματα.

Στην συνέχεια, στις Εικόνες 3.26 έως 3.32 θα γίνει τμηματική ανάλυση του script για την βέλτιστη κατανόηση της λειτουργίας του.

```
set Slines ;
object Oline ;

int ierr,
    faulttype,
    ipot,
    iLineLen,
    iTmp,
    ilinescount,
    icount;
```

Ορισμός των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στον κώδικα.

Εικόνα 3.26: Λίστα περιεχομένων του Multiple Line Fault script.

```
if (iExcel) {
    iTmp = ddeOpen("", "Excel", "System");
    ddeClose();
    if (iTmp) { ! error
        Error("Please start MS Excel first or select redirect output to output window (iExcel=0)");
        exit();
    }
}
```

Έλεγχος της παραμέτρου “iExcel” για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.27: Κώδικας του Multiple Line Fault script(2/7).

```
! method
if (method=0) { ! iec
    shc:iopt_mde=1;
} else { ! complete
    shc:iopt_mde=3;
}
```

Έλεγχος της παραμέτρου “method” για τον ορισμό της μεθόδου που θα χρησιμοποιείται.

Εικόνα 3.28: Κώδικας του Multiple Line Fault script(3/7).

```
!Count Lines
ilinescount=0;
Slines=Lines.Get();
Oline=Slines.First();
while (Oline)
{
    ilinescount=ilinescount+1;
    Oline=Slines.Next();
}
InitMatrix.Execute(ilinescount,Slines,Results);
```

Καταμέτρηση των γραμμών του δικτύου και αρχικοποίηση του πίνακα που θα αποθηκευτούν τα βραχυκυκλώματα.

Εικόνα 3.29: Κώδικας του Multiple Line Fault script(4/7).

```
EchoOff();

iLineLen=213;
shc:Rf=Rf;
shc:Xf=Xf;

Oline= NULL;
icount=1;
Slines=Lines.Get();
Oline=Slines.First();
```

Αρχικοποίηση μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν μέσα στον επαναληπτικό βρόχο.

Εικόνα 3.30: Κώδικας του Multiple Line Fault script(5/7).

```

while (Oline)
{
ierr=0;
faulttype = 0;
shc:shcobj=Oline;

while (faulttype<4)
{
ipot=0;
while (ipot<3)      ! position of Short circuit
{

ierr = ShcCalc.Execute(ipot,shc,faulttype); ! calculate short circuit

! store results in matrix
WriteMatrix.Execute(iount,ipot,Results,Oline,faulttype);
ipot = ipot + 1;
}
faulttype = faulttype + 1;

}

iount=iount+1;
Oline=Slines.Next();
shc:shcobj = NULL;

}

```

Ο επαναληπτικός βρόχος σε κάθε επανάληψη επιλέγει μια γραμμή από το σύνολο, εκτελεί βραχυκυκλώματα και τα αποτελέσματα τα αποθηκεύει στον πίνακα αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.31: Κώδικας του Multiple Line Fault script(6/7).

```

! produce output
if (iExcel) {
ToExcel.Execute(Slines,Results);
} else {
Output.Execute(iLineLen,Slines,Results);
}

EchoOn();

```

Γίνεται εκ νέου έλεγχος της παραμέτρου “iExcel” και ανάλογα με την τιμή γίνεται κλήση της αντίστοιχης υπορουτίνας για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Εικόνα 3.32: Κώδικας του Multiple Line Fault script(7/7).

Τέλος τα αποτελέσματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.33.

DlgSI/info - DPL Program 'multiple line fault' started

 Line Name 	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)		
	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]
L 1-2	66,4	98,1	23,7	95,1	22,3	94,1	8,2	98,4	8,1	96,5	10,3	95,1	57,6	7,6	20,5	5,0	19,3	4,0	57,7	5,5	20,8	-1,7	19,7	-5,8	
L 1-39	22,5	94,0	29,7	94,0	72,2	96,4	10,5	95,0	15,2	95,3	38,9	99,3	19,5	4,0	25,7	4,0	62,6	6,4	19,9	-5,9	26,4	-7,2	64,9	-5,5	
L 2-3	69,1	98,3	44,9	95,9	42,7	95,0	8,2	98,5	7,5	98,6	7,4	99,1	59,9	7,7	38,9	5,7	36,9	4,8	60,0	5,7	39,1	2,7	37,2	1,7	
L 2-25	64,7	100,1	60,3	106,4	69,8	98,7	7,1	102,5	7,5	101,5	8,2	98,6	56,0	9,4	52,3	15,9	60,5	8,2	56,2	7,5	52,5	-161,9	60,6	6,1	
L 3-4	42,3	94,9	35,1	94,1	45,0	94,0	7,4	99,1	7,0	99,5	7,4	100,6	36,7	4,8	30,4	4,0	39,0	3,8	36,9	1,6	30,6	0,4	39,3	0,9	
L 3-18	35,4	94,8	36,4	94,9	42,5	94,9	6,6	98,9	6,9	99,0	7,4	99,1	30,7	4,7	31,5	4,8	36,9	4,8	30,9	1,3	31,7	1,4	37,1	1,7	
L 4-5	45,4	93,9	46,6	93,9	65,1	94,2	7,4	100,7	7,4	101,2	7,9	102,3	39,3	3,7	40,4	3,7	56,3	3,7	39,6	0,9	40,7	0,9	56,7	1,7	
L 4-14	45,3	93,9	40,7	94,0	45,9	94,2	7,4	100,6	7,0	100,3	7,0	100,4	39,2	3,7	35,2	3,8	39,8	4,0	39,5	0,9	35,5	0,7	40,0	1,3	
L 5-6	65,9	94,2	72,7	94,0	84,2	93,8	7,9	102,3	7,9	102,3	7,9	102,4	57,1	3,7	62,9	3,5	72,9	3,1	57,5	1,7	63,3	1,6	73,3	1,5	
L 5-8	65,0	94,2	44,3	94,9	41,4	95,8	7,9	102,3	7,5	102,5	7,7	103,3	56,3	3,8	38,3	4,6	35,9	5,6	56,6	1,7	38,7	1,6	36,3	2,3	
L 6-7	83,1	93,8	50,4	94,4	41,8	95,0	7,9	102,4	7,5	102,3	7,4	102,6	71,9	3,1	43,6	4,0	36,2	4,7	72,3	1,5	44,0	1,4	36,6	1,6	
L 6-11	83,8	93,8	67,5	94,0	69,9	93,7	7,9	102,4	7,5	101,8	7,3	101,4	72,6	3,1	58,5	3,5	60,6	3,2	73,0	1,5	58,8	1,6	60,9	1,4	
L 7-8	41,7	95,0	40,8	95,4	41,5	95,9	7,4	102,6	7,5	102,9	7,7	103,3	36,1	4,7	35,3	5,1	35,9	5,6	36,5	1,6	35,7	1,9	36,3	2,3	
L 8-9	40,4	96,8	21,3	109,4	21,0	101,8	7,7	103,4	8,0	105,1	10,1	97,7	35,0	6,5	18,5	19,3	18,2	11,8	35,4	3,1	18,9	-153,3	18,8	-158,1	
L 9-39	72,2	96,5	29,0	97,4	21,2	101,3	38,9	99,4	15,1	96,5	10,3	97,4	62,5	6,4	25,1	7,4	18,3	11,3	64,8	-5,4	25,7	-161,2	18,9	-158,4	
L 10-11	70,1	93,7	72,6	93,6	85,1	93,0	7,3	101,4	7,2	101,3	7,2	101,2	60,7	3,1	62,9	3,0	73,7	2,3	61,1	1,4	63,2	1,3	74,0	0,9	
L 10-13	62,9	93,6	68,9	93,5	85,0	93,0	7,0	100,9	7,1	101,0	7,2	101,2	54,5	3,2	59,7	3,0	73,6	2,3	54,8	1,3	60,0	1,2	73,9	0,9	
L 13-14	46,1	94,2	48,4	94,1	62,3	93,7	7,0	100,5	6,9	100,6	7,0	100,8	39,9	4,0	42,0	3,8	54,0	3,2	40,2	1,3	42,2	1,4	54,3	1,3	
L 14-15	35,7	94,7	32,9	94,5	45,5	94,2	6,2	99,3	6,3	99,6	7,0	100,4	30,9	4,6	28,5	4,4	39,5	4,0	31,1	1,5	28,7	1,0	39,7	1,3	
L 15-16	59,7	94,1	42,9	94,5	36,0	94,7	6,6	99,3	6,3	99,3	6,2	99,3	51,7	3,9	37,2	4,4	31,1	4,6	51,9	2,0	37,4	1,8	31,3	1,5	
L 16-17	43,2	94,4	47,3	94,3	59,9	94,1	6,6	99,1	6,5	99,2	6,6	99,3	37,4	4,3	41,0	4,2	51,9	3,9	37,6	1,6	41,2	1,7	52,1	2,0	
L 16-19	59,6	94,1	50,2	94,2	36,2	93,2	6,5	99,3	5,6	98,6	5,2	98,3	51,6	3,9	43,5	3,9	83,3	2,2	51,8	2,0	43,7	2,0	83,5	1,3	
L 16-21	59,6	94,0	42,6	93,6	39,9	93,4	6,5	99,3	5,8	98,6	5,4	98,2	51,6	3,9	36,9	3,5	34,6	3,2	51,8	2,0	37,1	1,1	34,8	0,8	
L 17-18	35,5	94,7	37,6	94,6	43,0	94,4	6,6	98,9	6,6	99,0	6,6	99,1	30,7	4,6	32,6	4,5	37,2	4,3	30,9	1,3	32,8	1,4	37,4	1,6	
L 17-27	26,5	94,7	30,0	94,5	42,6	94,4	5,6	98,7	6,0	98,7	6,6	99,1	22,9	4,6	26,0	4,4	36,9	4,3	23,1	0,7	26,2	0,8	37,1	1,6	
L 16-24	39,8	93,6	47,0	93,7	59,9	94,1	5,9	98,6	6,2	98,9	6,6	99,3	34,4	3,5	40,7	3,6	51,9	3,9	34,6	0,9	40,9	1,3	52,1	2,0	
L 21-22	40,0	93,4	47,6	93,1	87,1	92,6	5,4	98,2	5,2	98,0	5,2	98,0	34,7	3,2	41,3	2,8	75,4	1,8	34,8	0,8	41,4	0,9	75,6	0,8	
L 22-23	88,1	92,6	68,3	92,9	74,0	92,7	5,2	98,0	5,1	97,9	5,1	97,9	76,3	1,8	59,2	2,4	64,1	2,0	76,5	0,8	59,3	1,1	64,3	0,9	
L 23-24	39,0	93,6	30,5	93,4	70,9	92,7	5,8	98,5	5,0	97,8	5,1	97,9	33,8	3,5	26,4	3,3	61,4	2,1	34,0	0,8	26,6	0,4	61,6	0,9	
L 25-26	62,5	99,6	29,1	96,2	30,6	95,2	7,1	102,4	5,8	100,1	5,6	99,2	54,1	8,9	25,2	6,0	26,5	5,0	54,3	7,0	25,4	2,4	26,7	1,7	
L 26-28	30,2	95,1	19,1	95,0	24,9	94,7	5,6	99,1	4,2	98,1	4,0	97,9	26,2	5,0	16,6	4,9	21,6	4,4	26,3	1,7	16,7	0,8	21,7	1,6	
L 26-29	30,0	95,1	19,3	94,9	63,0	93,3	5,5	99,1	4,1	98,0	4,1	98,0	26,0	5,0	16,7	4,8	54,6	2,4	26,2	1,7	16,9	1,0	54,8	1,3	
L 28-29	25,4	94,7	34,8	94,4	67,2	93,2	4,0	97,9	4,0	98,0	4,2	98,0	22,0	4,4	30,2	3,9	58,2	2,2	22,1	1,7	30,3	1,9	58,4	1,2	
L 26-27	30,7	95,1	26,9	94,9	26,4	94,7	5,6	99,1	5,5	98,8	5,6	98,7	26,6	5,0	23,3	4,8	22,9	4,6	26,8	1,7	23,5	1,1	23,1	0,7	

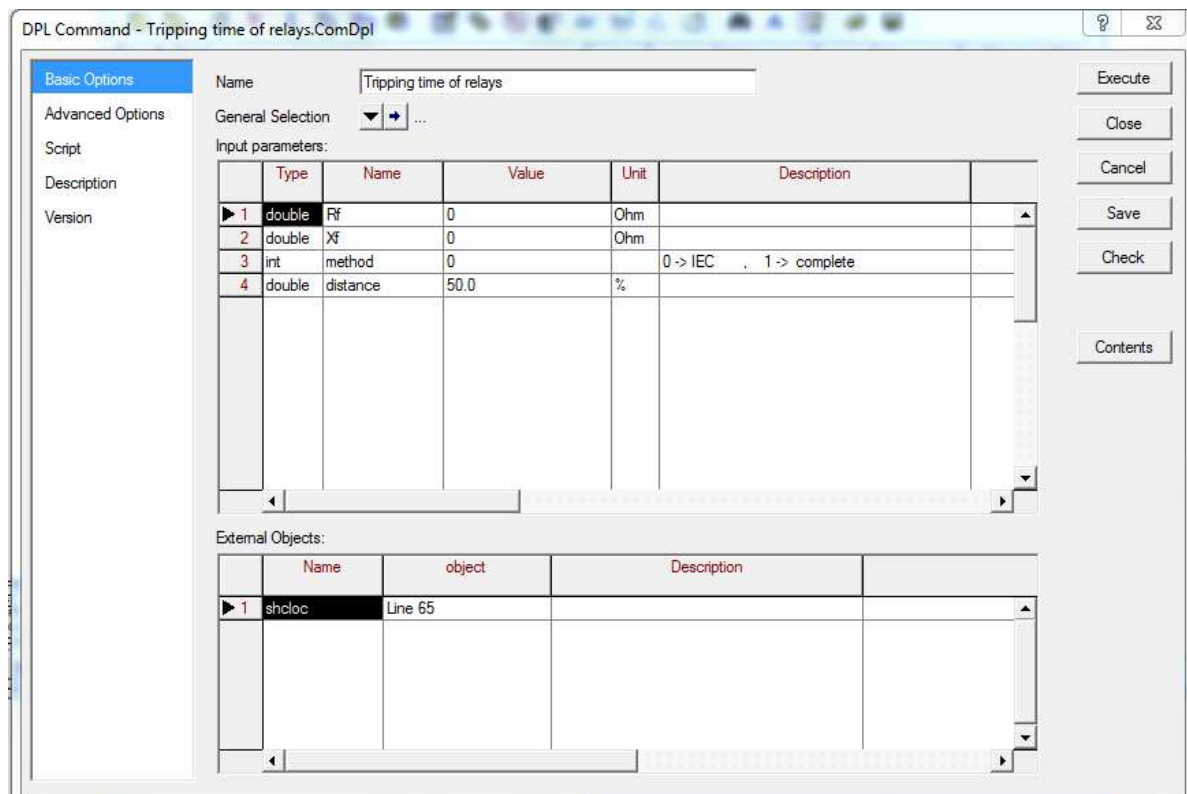
Εικόνα 3.33: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Multiple Line Fault script.

3.3.3 *Tripping time of relays*

Σε αυτή την εφαρμογή ο χρήστης επιλέγει από το παράθυρο επεξεργασίας του script την γραμμή στην οποία επιθυμεί να πραγματοποιηθεί το βραχυκύκλωμα, καθώς και την σχετική απόσταση και το script εκτελεί το βραχυκύκλωμα. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι:

- Το όνομα της γραμμής που εκτελείται το βραχυκύκλωμα.
- Η σχετική απόσταση του βραχυκυκλώματος πάνω στην γραμμή.
- Οι ηλεκτρονόμοι του δικτύου που διεγείρονται.
- Το στοιχείο των ηλεκτρονόμων που λειτουργεί πιο γρήγορα.
- Οι χρόνοι λειτουργίας των ηλεκτρονόμων.

Το παράθυρο επεξεργασίας του script παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.34.



Εικόνα 3.34: Παράθυρο επεξεργασίας Tripping time of relays script.

Η λίστα παραμέτρων εισόδου περιλαμβάνει:

- Η σύνθετη αντίσταση σφάλματος (R_f, X_f).
- Η μέθοδος που θα εκτελεσθεί το βραχυκύκλωμα μέσω της παραμέτρου “method”(0->IEC, 1->Complete).
- Την σχετική απόσταση του βραχυκυκλώματος μέσω της παραμέτρου “distance”.

Η λίστα εξωτερικών αντικειμένων περιλαμβάνει την παράμετρο “shcloc” η οποία αποτελεί το σημείο όπου θα πραγματοποιηθεί το βραχυκύκλωμα. Η εκάστοτε γραμμή που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να επιλεγθεί πατώντας διπλό αριστερό κλικ στο πλαίσιο “object”.

Name	Order	Type	Object modified	Object modified by
shc	-1000000		30/9/2015 4:03:52	kostas
Relays			17/6/2015 11:59:28	kostas

Εικόνα 3.35: Λίστα περιεχομένων Tripping time of relays script.

Η λίστα περιεχομένων περιλαμβάνει:

- Την εντολή “shc” η οποία είναι το βραχυκύκλωμα που εκτελείται και πρέπει να ορισθεί και να παραμετροποιηθεί.
- Το φίλτρο “Relays” το οποίο εμπεριέχει όλους του ηλεκτρονόμους του δικτύου.

Στην συνέχεια, στις Εικόνες 3.36 έως 3.39 παρουσιάζεται ο κώδικας του “Tripping time of relays” script.

```
set sRelays,sElements;
object oRelay,oElement;
int i;
```

Αρχικοποίηση μεταβλητών.

Εικόνα 3.36: Κώδικας του Tripping time of relays script(1/4).

```
EchoOff();

shc:Rf=Rf;
shc:Xf=Xf;
! method
if (method=0) [ ! iec
shc:iopt_mde=1;
] else [ ! complete
shc:iopt_mde=3;
]
shc:iopt_shc='3sec';
shc:shcobj=shcloc;
shc:ppro=distance;
```

Παραμετροποίηση του βραχυκυκλώματος.

Εικόνα 3.37: Κώδικας του Tripping time of relays script(2/4).

```
shc.Execute();
printf('The location of Fault is : %s ',shcloc);
printf('The relative distance is : %.1f%%',distance);
```

Εκτέλεση του βραχυκυκλώματος και εξαγωγή.

Εικόνα 3.38: Κώδικας του Tripping time of relays script(3/4).

```
sRelays=Relays.Get();
oRelay=sRelays.First();
while (oRelay)
{
if (oRelay:s:yout < 9000.0)
{
sElements=oRelay.GetContents('.RelIoc');
oElement=sElements.First();
while (oElement)
{
i=oElement.IsOutOfService();
if (.not.i)
{
if (oElement:s:yout=oRelay:s:yout)
{
printf("%s (%s): %f sec ",oRelay:loc_name,oElement:loc_name,oRelay:s:yout);
}
}
oElement=sElements.Next();
}
}
oRelay=sRelays.Next();
}
EchoOn();
```

Ο επαναληπτικός βρόχος ελέγχει ποίο στοιχείο του ηλεκτρονόμου και ποίοι από τους ηλεκτρονόμους πυροδοτούνται.

Εικόνα 3.39: Κώδικας του Tripping time of relays script(4/4).

Τέλος τα αποτελέσματα που εξάγονται από την εκτέλεση του “Tripping time of relays” script παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.40.

```
DlgSI/info - DPL Program 'Tripping time of relays' started
The Location of Fault is : Line 65
The relative distance is : 50,0%
R351(16) (51P): 1,404575 sec
R351(45) (51P): 0,938139 sec
R351(26) (51P): 1,411063 sec
R351(65) (51P): 0,626585 sec
R351(56) (51P): 0,476745 sec
DlgSI/info - DPL program 'Tripping time of relays' successfully executed
```

Εικόνα 3.40: Εξαγωγή αποτελεσμάτων του Tripping time of relays script.

4 Προσομοιώσεις και αποτελέσματα

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των πρότυπων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας που προσομοιώθηκαν με χρήση του λογισμικού PowerFactory και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Τα εν λόγω δίκτυα είναι τα εξής:

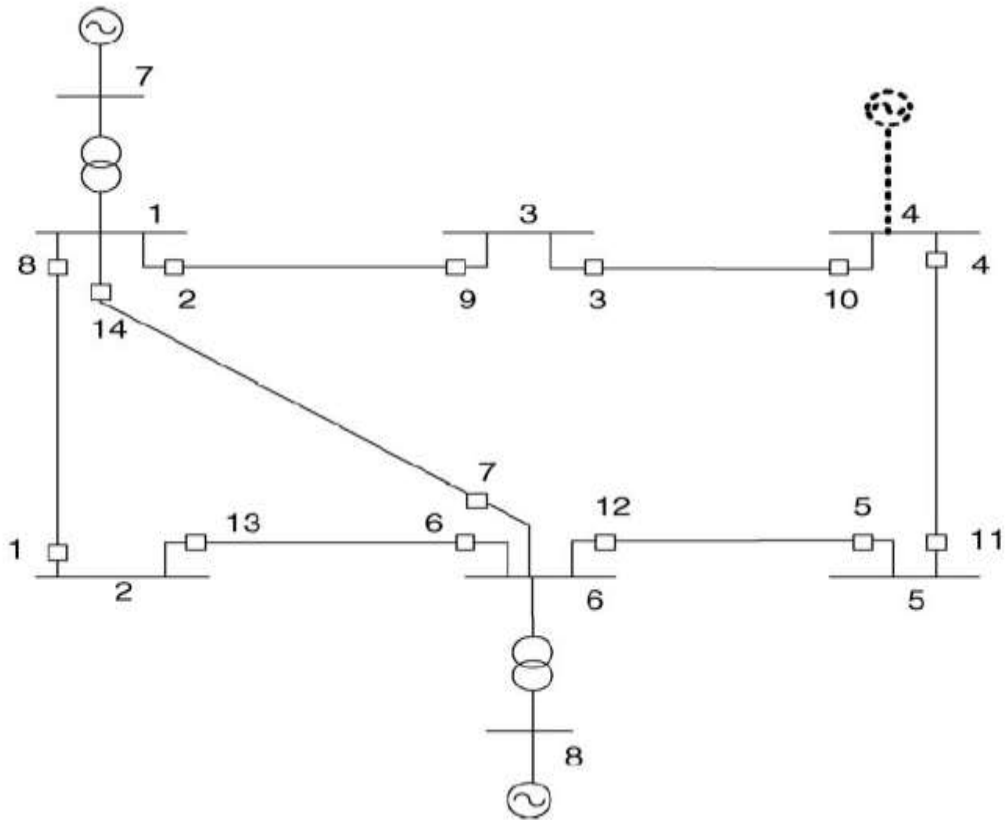
- Δίκτυο 8 ζυγών IEEE.
- Δίκτυο 14 ζυγών IEEE.
- Δίκτυο New England 39 ζυγών.

Στη συνέχεια, θα γίνει επίδειξη του τρόπου λειτουργίας των scripts που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 επί των συγκεκριμένων δικτύων και θα σχολιασθούν τα εξαχθέντα αποτελέσματα.

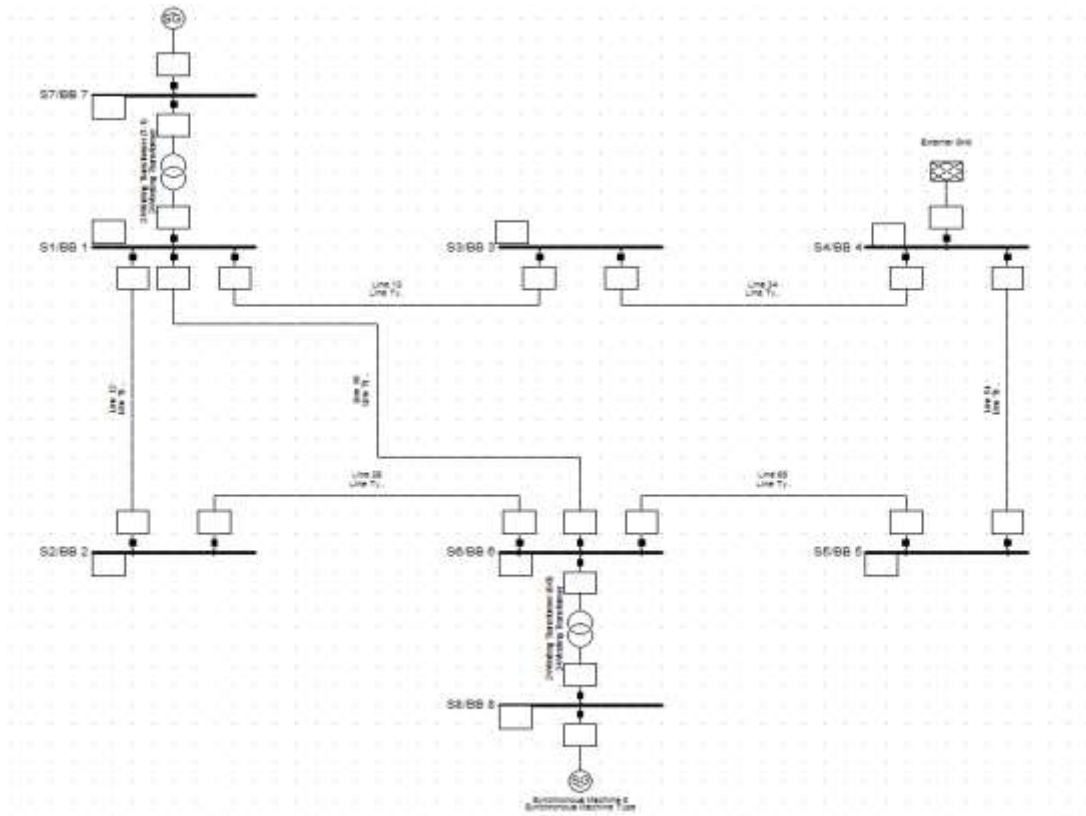
4.2 Δίκτυο 8 ζυγών IEEE

4.2.1 Δεδομένα δικτύου

Το δίκτυο 8 ζυγών IEEE περιέχει 2 σταθμούς παραγωγής (γεννήτρια και μετασχηματιστής ανύψωσης), επτά γραμμές μεταφοράς και το άπειρο σύστημα στο οποίο συνδέεται. Τα δεδομένα του δικτύου παρουσιάζονται στη συνέχεια, όπως παρατίθενται στην [10]. Το μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1, όπως δίδεται στην [11], ενώ στην Εικόνα 4.2 φαίνεται η υλοποίηση του δικτύου στο περιβάλλον του PowerFactory.

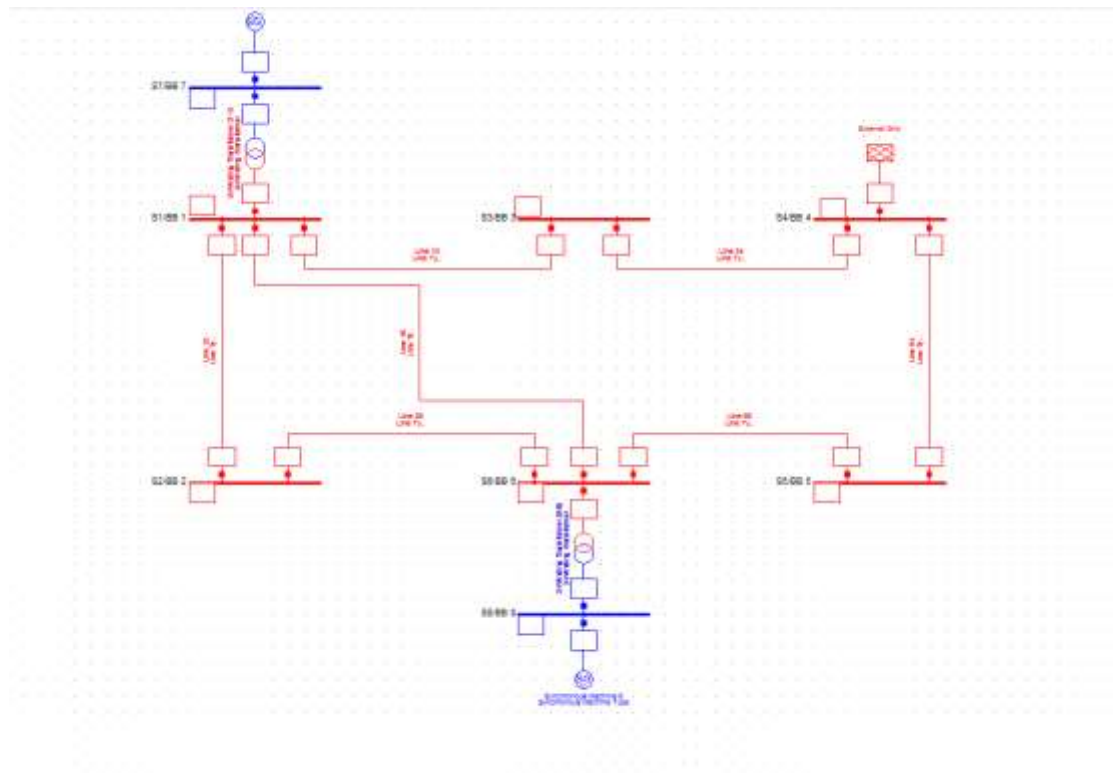


Εικόνα 4.1: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 8 ζυγών IEEE.



Εικόνα 4.2: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 8 ζυγών IEEE στο PowerFactory.

Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζονται χρωματικά τα επίπεδα τάσης του δικτύου. Τα στοιχεία του δικτύου τα οποία απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 150 kV, ενώ τα στοιχεία που απεικονίζονται με μπλε χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 10 kV. Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά των στοιχείων του δικτύου παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.1 έως 4.4.



Εικόνα 4.3: Επίπεδα τάσης δικτύου 8 ζυγών IEEE.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς δικτύου 8 ζυγών IEEE

Γραμμή	R(Ω/km)	X(Ω/km)	B(μS/km)	R ₀ (Ω/km)	X ₀ (Ω/km)	Μήκος(km)
1-2	0,004	0,005	0,0	0,012	0,015	100
1-3	0,0057	0,0714	0,0	0,0171	0,2142	70
3-4	0,005	0,0563	0,0	0,015	0,1689	80
4-5	0,005	0,045	0,0	0,015	0,135	100
5-6	0,0045	0,0409	0,0	0,0135	0,1227	110
2-6	0,0044	0,05	0,0	0,0132	0,015	90
1-6	0,005	0,05	0,0	0,015	0,015	100

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 8 ζυγών IEEE

Ζυγός	S _n (MVA)	V _P (kV)	X''(%)	X ₀ (%)	X ₂ (%)
7	150	10	15	10	15
8	150	10	15	10	15

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά Μετασηματιστών Ανύψωσης του δικτύου 8 ζυγών IEEE

Ζυγοί	S_n (MVA)	V_L (kV)	V_H (kV)	Z (%)
7-1	150	10	150	4
8-6	150	10	150	4

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Ισοδύναμου ΣΗΕ του δικτύου 8 ζυγών IEEE

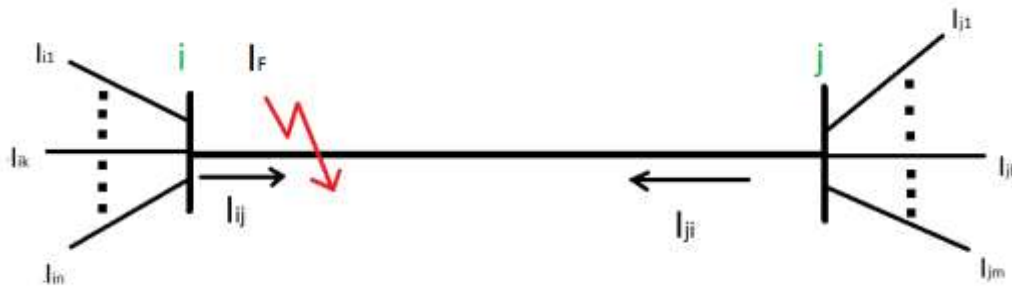
Ζυγός	S_k (MVA)	R/X
4	400	0,1

4.2.2 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι τιμές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης όπως υπολογίστηκαν στο δίκτυο 8 ζυγών IEEE. Για την εκπόνηση αναλυτικής μελέτης βραχυκυκλωμάτων και την συμπλήρωση των Πινάκων 4.5 έως 4.6 πραγματοποιήθηκαν 112 περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων.

Οι πίνακες περιέχουν 3-φασικά, 1-φασικά, 2-φασικά και 2-φασικά προς γη βραχυκυκλώματα για διάφορες τιμές αντιστάσεως σφάλματος, ενώ αφορούν close-in(1%) και far-end(99%) σφάλματα κατά μήκος όλων των γραμμών μεταφοράς του δικτύου. Επιπλέον, για κάθε βραχυκύκλωμα αναγράφονται οι συνεισφορές από τους γειτονικούς κλάδους με βάθος 1 ζυγό.

Η συμπλήρωση των πινάκων με τα αποτελέσματα έγινε με τη βοήθεια της Εικόνας 4.4.



Εικόνα 4.4: Close-in σφάλμα στην γραμμή L_{ij} .

Πίνακας 4.5: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
			3LG		LL		LG		LLG	
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		7,59	6,579	11,394	1,246	1,246	6,642	11,061	0,678
		L12	6,50	5,630	9,750	1,062	1,054	5,683	9,465	0,574
		L31	1,20	1,044	1,800	0,365	0,702	1,061	1,746	0,382
		L61	2,00	1,736	3,006	0,336	0,352	1,752	2,916	0,192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		T71	3,30	2,865	4,950	0,361	0,000	2,873	4,806	0,000
2	1									
		L21	0,950	1,644	0,184	0,192	0,958	1,596	0,105	0,950
		L62	0,950	1,644	0,184	0,192	0,958	1,596	0,105	0,950
1	3		7,60	6,580	11,397	1,247	1,247	6,643	11,061	0,678
		L13	6,37	5,527	9,564	0,878	0,541	5,562	9,282	0,294
		L21	1,06	0,920	1,593	0,178	0,187	0,928	1,545	0,102
		L61	2,01	1,745	3,021	0,338	0,354	1,761	2,931	0,193
		T71	3,30	2,865	4,953	0,361	0,000	2,873	4,806	0,000
3	1									
		L31	1,22	1,054	1,836	0,369	0,706	1,082	1,782	0,384
		L43	1,22	1,054	1,836	0,369	0,706	1,082	1,782	0,384
1	6		7,60	6,586	11,406	1,246	1,246	6,648	11,070	0,678
		L16	5,54	4,801	8,313	0,901	0,885	4,845	8,070	0,482
		L21	1,05	0,907	1,569	0,176	0,184	0,916	1,524	0,100
		L31	1,19	1,040	1,794	0,364	0,701	1,057	1,740	0,382
		T71	3,30	2,866	4,953	0,361	0,000	2,874	4,809	0,000
6	1									
		L61	2,06	1,787	3,093	0,346	0,361	1,803	3,003	0,197
		L26	1,05	0,907	1,569	0,176	0,184	0,916	1,524	0,100
		L56	0,16	0,145	0,246	0,199	0,545	0,187	0,240	0,297
		T86	2,95	2,563	4,434	0,323	0,000	2,570	4,305	0,000
3	4		6,48	5,612	9,720	1,253	1,253	5,674	9,378	0,693
		L34	3,84	3,335	5,769	0,581	0,256	3,355	5,568	0,142
		L13	3,84	3,335	5,769	0,581	0,256	3,355	5,568	0,142
4	3									
		L43	2,63	2,286	3,954	0,672	0,996	2,319	3,813	0,551
		L54	1,29	1,119	1,929	0,081	0,256	1,115	1,863	0,142
		ExGrid	1,35	1,177	2,025	0,591	1,253	1,212	1,953	0,693
2	6		6,70	5,807	10,059	1,203	1,203	5,866	9,732	0,660
		L26	3,20	2,771	4,800	0,573	0,571	2,799	4,644	0,313
		L12	3,20	2,771	4,800	0,573	0,571	2,799	4,644	0,313
6	2									
		L62	3,51	3,036	5,259	0,630	0,633	3,068	5,088	0,347
		L16	0,10	0,088	0,153	0,016	0,012	0,088	0,147	0,007
		L56	0,64	0,559	0,960	0,283	0,621	0,574	0,927	0,341
		T86	2,77	2,401	4,152	0,331	0,000	2,408	4,017	0,000
6	5		7,61	6,588	11,412	1,248	1,248	6,651	11,076	0,679
		L65	6,35	5,509	9,534	0,866	0,514	5,542	9,252	0,280
		L16	2,00	1,733	3,000	0,331	0,337	1,747	2,910	0,183
		L26	1,05	0,913	1,581	0,174	0,177	0,921	1,536	0,097
		T86	3,30	2,866	4,950	0,361	0,000	2,874	4,806	0,000
5	6									
		L56	1,25	1,092	1,881	0,382	0,734	1,111	1,827	0,400
		L45	1,25	1,092	1,881	0,382	0,734	1,111	1,827	0,400
4	5		6,54	5,665	9,813	1,315	1,315	5,731	9,450	0,730
		L45	3,97	3,442	5,955	0,969	1,312	3,493	5,733	0,728
		L34	2,43	2,113	3,654	0,325	0,003	2,120	3,519	0,002
		ExGrid	1,54	1,340	2,307	0,644	1,315	1,378	2,220	0,730
5	4									
		L54	2,57	2,233	3,861	0,346	0,003	2,240	3,720	0,002
		L65	2,57	2,233	3,861	0,346	0,003	2,240	3,720	0,002

Πίνακας 4.6: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0,5 \Omega$			$R_F = 10 \Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		7,57	6,573	11,385	1,209	1,209	5,201	0,663	8,454
		L12	6,48	5,625	9,741	1,031	1,023	4,450	0,561	7,233
		L31	1,20	1,043	1,797	0,354	0,681	0,875	0,374	1,335
		L61	2,00	1,734	3,003	0,326	0,342	1,374	0,187	2,229
		T71	3,29	2,862	4,947	0,350	0,000	2,210	0,000	3,672
2	1									
		L21	1,09	0,949	1,641	0,178	0,186	0,709	0,102	1,218
		L62	1,09	0,949	1,641	0,178	0,186	0,709	0,102	1,218
1	3		7,57	6,574	11,385	1,210	1,210	5,202	0,663	8,454
		L13	6,35	5,522	9,555	0,852	0,525	4,317	0,288	7,095
		L21	1,06	0,919	1,590	0,173	0,181	0,728	0,099	1,182
		L61	2,01	1,744	3,018	0,328	0,343	1,381	0,188	2,241
		T71	3,29	2,862	4,947	0,350	0,000	2,210	0,000	3,672
3	1									
		L31	1,22	1,064	1,833	0,358	0,685	0,892	0,376	1,362
		L43	1,22	1,064	1,833	0,358	0,685	0,892	0,376	1,362
1	6		7,58	6,579	11,397	1,209	1,209	5,204	0,663	8,475
		L16	5,52	4,796	8,307	0,874	0,859	3,781	0,471	6,165
		L21	1,04	0,906	1,569	0,170	0,178	0,718	0,098	1,164
		L31	1,19	1,039	1,791	0,353	0,681	0,872	0,373	1,329
		T71	3,29	2,864	4,950	0,350	0,000	2,211	0,000	3,732
6	1									
		L61	2,06	1,783	3,090	0,336	0,351	1,414	0,192	2,295
		L26	1,04	0,906	1,569	0,170	0,178	0,718	0,098	1,164
		L56	0,16	0,145	0,246	0,193	0,529	0,191	0,290	0,183
		T86	2,95	2,561	4,431	0,313	0,000	1,981	0,000	3,288
3	4		6,46	5,607	9,711	1,215	1,215	4,672	0,678	7,548
		L34	3,83	3,332	5,766	0,564	0,249	2,733	0,139	4,482
		L13	3,83	3,332	5,766	0,564	0,249	2,733	0,139	4,482
4	3									
		L43	2,63	2,284	3,948	0,652	0,967	1,945	0,539	3,069
		L54	1,28	1,118	1,932	0,078	0,249	0,913	0,139	1,500
		ExGrid	1,35	1,176	2,022	0,574	1,215	1,077	0,678	1,572
2	6		6,69	5,802	10,050	1,170	1,170	4,787	0,647	7,767
		L26	3,19	2,768	4,794	0,557	0,555	2,284	0,307	3,705
		L12	3,19	2,768	4,794	0,557	0,555	2,284	0,307	3,705
6	2									
		L62	3,50	3,034	5,253	0,613	0,615	2,377	0,340	4,062
		L16	0,10	0,088	0,153	0,016	0,012	0,073	0,007	0,117
		L56	0,64	0,558	0,957	0,275	0,603	0,512	0,334	0,741
		T86	2,76	2,399	4,149	0,322	0,000	1,935	0,000	3,204
6	5		7,58	6,582	11,400	1,211	1,211	5,204	0,664	8,457
		L65	6,33	5,504	9,525	0,841	0,499	4,300	0,273	7,065
		L16	1,99	1,731	2,997	0,321	0,327	1,370	0,179	2,223
		L26	1,05	0,912	1,581	0,169	0,172	0,722	0,094	1,173
		T86	3,29	2,863	4,950	0,350	0,000	2,209	0,000	3,672

5	6									
		L56	1,25	1,091	1,878	0,371	0,712	0,914	0,391	1,395
		L45	1,25	1,091	1,878	0,371	0,712	0,914	0,391	1,395
4	5		6,52	5,659	9,801	1,272	1,272	4,697	0,714	7,563
		L45	3,96	3,438	5,946	0,938	1,270	2,894	0,712	4,587
		L34	2,43	2,110	3,648	0,315	0,003	1,709	0,001	2,814
		ExGrid	1,53	1,338	2,301	0,623	1,272	1,208	0,714	1,776
5	4									
		L54	2,56	2,230	3,858	0,335	0,003	1,807	0,001	2,976
		L65	2,56	2,230	3,858	0,335	0,003	1,807	0,001	2,976

Πίνακας 4.7: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$				
Bus From	Bus To		3LG	LL		LG		LLG		
			I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		7,54	6,564	11,370	1,158	1,158	3,655	0,650	5,709
		L12	6,45	5,618	9,729	0,987	0,979	3,126	0,550	4,887
		L31	1,19	1,041	1,794	0,339	0,652	0,647	0,366	0,900
		L61	1,99	1,732	2,997	0,313	0,327	0,967	0,184	1,506
		T71	3,27	2,858	4,941	0,335	0,000	1,521	0,000	2,481
2	1									
		L21	1,09	0,947	1,641	0,171	0,178	0,529	0,100	0,825
		L62	1,09	0,947	1,641	0,171	0,178	0,529	0,100	0,825
1	3		7,54	6,565	11,370	1,158	1,158	3,655	0,651	5,709
		L13	6,33	5,514	9,543	0,815	0,502	3,003	0,282	4,791
		L21	1,05	0,918	1,590	0,166	0,173	0,512	0,097	0,798
		L61	2,00	1,741	3,015	0,314	0,329	0,972	0,185	1,512
		T71	3,27	2,859	4,941	0,335	0,000	1,520	0,000	2,481
3	1									
		L31	1,21	1,063	1,830	0,343	0,656	0,658	0,369	0,918
		L43	1,21	1,063	1,830	0,343	0,656	0,658	0,369	0,918
1	6		7,55	6,571	11,382	1,158	1,158	3,656	0,651	5,712
		L16	5,50	4,790	8,295	0,837	0,823	2,662	0,462	4,161
		L21	1,04	0,905	1,566	0,163	0,171	0,505	0,096	0,786
		L31	1,19	1,038	1,788	0,338	0,652	0,644	0,366	0,897
		T71	3,28	2,860	4,944	0,335	0,000	1,520	0,000	2,481
6	1									
		L61	2,05	1,783	3,087	0,321	0,336	0,995	0,189	1,548
		L26	1,04	0,905	1,566	0,163	0,171	0,505	0,096	0,786
		L56	0,16	0,145	0,246	0,185	0,506	0,165	0,284	0,123
		T86	2,93	2,557	4,422	0,300	0,000	1,362	0,000	2,220
3	4		6,44	5,600	9,699	1,163	1,163	3,455	0,664	5,364
		L34	3,82	3,328	5,757	0,540	0,238	1,993	0,136	3,183
		L13	3,82	3,328	5,757	0,540	0,238	1,993	0,136	3,183
4	3									
		L43	2,62	2,281	3,942	0,624	0,925	1,467	0,528	2,181
		L54	1,28	1,117	1,929	0,075	0,238	0,662	0,136	1,065
		ExGrid	1,34	1,175	2,019	0,549	1,163	0,856	0,664	1,116
2	6		6,66	5,795	10,038	1,123	1,123	3,498	0,635	5,463

		L26	3,18	2,765	4,788	0,535	0,533	1,669	0,301	2,607
		L12	3,18	2,765	4,788	0,535	0,533	1,669	0,301	2,607
6	2									
		L62	3,48	3,030	5,247	0,588	0,590	1,829	0,334	2,856
		L16	0,10	0,088	0,153	0,015	0,012	0,053	0,007	0,084
		L56	0,64	0,558	0,957	0,264	0,579	0,405	0,327	0,522
		T86	2,75	2,396	4,143	0,309	0,000	1,385	0,000	2,253
6	5		7,55	6,573	11,385	1,159	1,159	3,656	0,651	5,709
		L65	6,31	5,496	9,513	0,805	0,477	2,988	0,268	4,770
		L16	1,98	1,729	2,994	0,307	0,313	0,963	0,176	1,500
		L26	1,05	0,911	1,578	0,162	0,165	0,508	0,093	0,792
		T86	3,28	2,860	4,941	0,335	0,000	1,519	0,000	2,478
5	6									
		L56	1,25	1,090	1,878	0,355	0,682	0,675	0,383	0,942
		L45	1,25	1,090	1,878	0,355	0,682	0,675	0,383	0,942
4	5		6,50	5,652	9,789	1,213	1,213	3,468	0,698	5,355
		L45	3,94	3,433	5,937	0,894	1,211	2,166	0,697	3,249
		L34	2,42	2,108	3,645	0,300	0,003	1,234	0,001	1,992
		ExGrid	1,53	1,336	2,298	0,594	1,213	0,951	0,698	1,257
5	4									
		L54	2,55	2,227	3,852	0,319	0,003	1,305	0,001	2,106
		L65	2,55	2,227	3,852	0,319	0,003	1,305	0,001	2,106

Πίνακας 4.8: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 2 \Omega$			$R_F = 40 \Omega$				
Bus From	Bus To		3LG	LL	LG	LLG				
			I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		7,44	6,539	11,325	1,034	1,034	2,185	0,620	3,171
		L12	6,37	5,596	9,693	0,881	0,874	1,868	0,524	2,712
		L31	1,17	1,037	1,788	0,303	0,582	0,418	0,349	0,501
		L61	1,96	1,725	2,988	0,279	0,292	0,579	0,175	0,837
		T71	3,23	2,848	4,920	0,299	0,000	0,878	0,000	1,377
2	1									
		L21	1,07	0,944	1,635	0,153	0,159	0,317	0,096	0,456
		L62	1,07	0,944	1,635	0,153	0,159	0,317	0,096	0,456
1	3		7,44	6,540	11,328	1,034	1,034	2,185	0,620	3,171
		L13	6,24	5,493	9,507	0,728	0,448	1,765	0,269	2,661
		L21	1,04	0,914	1,584	0,148	0,155	0,307	0,093	0,444
		L61	1,97	1,735	3,003	0,281	0,294	0,582	0,176	0,840
		T71	3,23	2,848	4,923	0,299	0,000	0,877	0,000	1,377
3	1									
		L31	1,20	1,059	1,824	0,306	0,586	0,425	0,351	0,510
		L43	1,20	1,059	1,824	0,306	0,586	0,425	0,351	0,510
1	6		7,45	6,546	11,337	1,034	1,034	2,185	0,620	3,171
		L16	5,43	4,772	8,262	0,747	0,734	1,590	0,440	2,31
		L21	1,03	0,901	1,560	0,146	0,152	0,303	0,091	0,438
		L31	1,17	1,034	1,782	0,302	0,582	0,417	0,349	0,498
		T71	3,23	2,849	4,923	0,299	0,000	0,877	0,000	1,377
	1									

		L61	2,02	1,776	3,075	0,287	0,300	0,596	0,180	0,861
		L26	1,03	0,902	1,560	0,146	0,152	0,303	0,091	0,438
		L56	0,16	0,144	0,246	0,165	0,452	0,132	0,271	0,069
		T86	2,89	2,548	4,407	0,268	0,000	0,786	0,000	1,233
3	4		6,37	5,581	9,666	1,038	1,038	2,139	0,632	3,084
		L34	3,78	3,317	5,739	0,481	0,212	1,206	0,129	1,830
		L13	3,78	3,317	5,739	0,481	0,212	1,206	0,129	1,830
4	3									
		L43	2,59	2,274	3,930	0,556	0,825	0,938	0,503	1,254
		L54	1,26	1,113	1,923	0,067	0,212	0,396	0,129	0,612
		ExGrid	1,33	1,171	2,013	0,490	1,038	0,591	0,632	0,642
2	6		6,59	5,776	10,005	1,008	1,008	2,145	0,606	3,117
		L26	3,14	2,756	4,773	0,480	0,478	1,023	0,288	1,488
		L12	3,14	2,756	4,773	0,480	0,478	1,023	0,288	1,488
6	2									
		L62	3,44	3,020	5,232	0,528	0,530	1,122	0,319	1,629
		L16	0,10	0,088	0,153	0,014	0,010	0,032	0,006	0,048
		L56	0,63	0,556	0,954	0,237	0,520	0,280	0,313	0,297
		T86	2,72	2,388	4,128	0,277	0,000	0,820	0,000	1,287
6	5		7,45	6,548	11,340	1,035	1,035	2,185	0,621	3,171
		L65	6,22	5,475	9,474	0,718	0,426	1,755	0,256	2,649
		L16	1,96	1,722	2,982	0,274	0,279	0,576	0,167	0,834
		L26	1,03	0,908	1,572	0,145	0,147	0,304	0,088	0,438
		T86	3,23	2,849	4,923	0,299	0,000	0,877	0,000	1,377
5	6									
		L56	1,23	1,085	1,869	0,317	0,609	0,437	0,365	0,522
		L45	1,23	1,085	1,869	0,317	0,609	0,437	0,365	0,522
4	5		6,42	5,632	9,753	1,073	1,073	2,146	0,661	3,069
		L45	3,90	3,421	5,916	0,791	1,071	1,371	0,660	1,863
		L34	2,39	2,100	3,630	0,266	0,002	0,736	0,001	1,143
		ExGrid	1,51	1,332	2,292	0,526	1,073	0,650	0,661	0,720
5	4									
		L54	2,53	2,220	3,837	0,282	0,002	0,779	0,001	1,206
		L65	2,53	2,220	3,837	0,282	0,002	0,779	0,001	1,206

Πίνακας 4.9: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
Bus From	Bus To		3LG	LL		LG		LLG		
			I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		6,70	5,806	10,056	1,203	1,203	5,865	0,660	9,729
		L12	3,24	2,812	4,869	0,582	0,579	2,840	0,318	4,713
		L31	0,56	0,492	0,843	0,262	0,585	0,507	0,321	0,816
		L61	0,07	0,058	0,099	0,010	0,006	0,058	0,003	0,096
		T71	2,75	2,388	4,128	0,329	0,000	2,395	0,000	3,993
2	1									
		L21	3,46	2,994	5,184	0,622	0,624	3,025	0,342	5,016
		L62	3,46	2,994	5,184	0,622	0,624	3,025	0,342	5,016
1	3		6,49	5,619	9,732	1,252	1,252	5,681	0,692	9,390
		L13	3,88	3,366	5,823	0,587	0,262	3,386	0,145	5,619

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L21	0,43	0,371	0,642	0,085	0,090	0,375	0,050	0,618
		L61	0,81	0,703	1,218	0,161	0,171	0,711	0,095	1,173
		T71	2,64	2,294	3,966	0,340	0,000	2,301	0,000	3,825
3	1									
		L31	2,61	2,263	3,912	0,666	0,990	2,295	0,548	3,774
		L43	2,61	2,263	3,912	0,666	0,990	2,295	0,548	3,774
1	6		7,61	6,592	11,418	1,248	1,248	6,655	0,679	11,082
		L16	2,05	1,773	3,069	0,338	0,344	1,788	0,187	2,979
		L21	1,04	0,900	1,557	0,172	0,175	0,907	0,095	1,512
		L31	0,13	0,119	0,201	0,187	0,518	0,159	0,282	0,195
		T71	2,96	2,566	4,440	0,323	0,000	2,573	0,000	4,308
6	1									
		L61	5,56	4,829	8,349	0,910	0,904	4,867	0,492	8,103
		L26	1,04	0,900	1,557	0,172	0,175	0,907	0,095	1,512
		L56	1,23	1,069	1,839	0,377	0,730	1,087	0,397	1,785
		T86	3,30	2,866	4,953	0,361	0,000	2,874	0,000	4,809
3	4		6,54	5,665	9,813	1,315	1,315	5,730	0,730	9,450
		L34	2,46	2,136	3,693	0,331	0,003	2,143	0,002	3,558
		L13	2,46	2,136	3,693	0,331	0,003	2,143	0,002	3,558
4	3									
		L43	4,08	3,530	6,12	0,984	1,312	3,588	0,728	5,895
		L54	2,54	2,209	3,819	0,340	0,003	2,216	0,002	3,678
		ExGrid	1,54	1,340	2,304	0,644	1,315	1,378	0,730	2,220
2	6		7,61	6,587	11,409	1,247	1,247	6,650	0,679	11,073
		L26	1,09	0,940	1,629	0,179	0,182	0,948	0,099	1,581
		L12	1,09	0,940	1,629	0,179	0,182	0,948	0,099	1,581
6	2									
		L62	6,52	5,648	9,783	1,068	1,065	5,702	0,580	1,740
		L16	1,99	1,724	2,985	0,329	0,335	1,739	0,182	2,898
		L56	1,23	1,073	1,848	0,378	0,730	1,091	0,397	1,794
		T86	3,30	2,866	4,953	0,361	0,000	2,874	0,000	4,806
6	5		6,56	5,682	9,843	1,254	1,254	5,761	0,692	9,498
		L65	4,04	3,508	6,069	0,603	0,262	3,527	0,145	5,859
		L16	0,89	0,773	1,338	0,171	0,172	0,780	0,095	1,293
		L26	0,47	0,408	0,705	0,090	0,090	0,411	0,050	0,681
		T86	2,68	2,329	4,026	0,342	0,000	2,336	0,000	3,885
5	6									
		L56	2,52	2,184	3,774	0,651	0,992	2,218	0,548	3,642
		L45	2,52	2,184	3,774	0,651	0,992	2,218	0,548	3,642
4	5		6,55	5,674	9,828	1,254	1,254	5,735	0,693	9,486
		L45	2,54	2,206	3,813	0,657	0,997	2,240	0,551	3,678
		L34	1,19	1,034	1,782	0,066	0,257	1,030	0,142	1,722
		ExGrid	1,36	1,183	2,034	0,591	1,254	1,217	0,693	1,962
5	4									
		L54	4,01	3,478	6,018	0,598	0,257	3,497	0,142	5,808
		L65	4,01	3,478	6,018	0,598	0,257	3,497	0,142	5,808

Πίνακας 4.10: Far-end(99%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

		$R_F = 0,5 \Omega$			$R_F = 10 \Omega$					
Branches		3LG	LL		LG		LLG			
Bus From	Bus To	Contributions	I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		6,69	5,801	10,047	1,170	1,170	4,786	0,647	7,764
		L12	3,24	2,809	4,866	0,565	0,563	2,318	0,311	3,762
		L31	0,56	0,492	0,843	0,255	0,568	0,455	0,314	0,651
		L61	0,07	0,058	0,099	0,009	0,006	0,047	0,003	0,078
		T71	2,74	2,385	4,125	0,320	0,000	1,924	0,000	3,189
2	1									
		L21	3,45	2,991	5,181	0,604	0,607	2,468	0,335	4,005
		L62	3,45	2,991	5,181	0,604	0,607	2,468	0,335	4,005
1	3		6,47	5,613	9,723	1,215	1,215	4,676	0,678	7,554
		L13	3,87	3,363	5,817	0,569	0,254	2,757	0,142	4,521
		L21	0,43	0,370	0,642	0,083	0,088	0,309	0,049	0,498
		L61	0,81	0,702	1,215	0,157	0,166	0,586	0,093	0,945
		T71	2,63	2,291	3,960	0,330	0,000	1,864	0,000	3,078
3	1									
		L31	2,60	2,261	3,906	0,646	0,961	1,925	0,536	3,036
		L43	2,60	2,261	3,906	0,646	0,961	1,925	0,536	3,036
1	6		7,59	6,586	11,406	1,211	1,211	5,206	0,664	8,460
		L16	2,04	1,771	3,066	0,328	0,108	1,402	0,183	2,274
		L21	1,035	0,899	1,557	0,167	0,169	0,711	0,093	1,155
		L31	0,129	0,118	0,201	0,181	0,503	0,167	0,276	0,147
		T71	2,95	2,563	4,434	0,314	0,000	1,981	0,000	3,288
6	1									
		L61	5,55	4,816	8,340	0,882	0,887	3,805	0,481	6,186
		L26	1,04	0,899	1,557	0,167	0,169	0,711	0,093	1,155
		L56	1,22	1,068	1,839	0,366	0,708	0,896	0,388	1,365
		T86	3,29	2,864	4,950	0,350	0,000	2,209	0,000	3,672
3	4		6,52	5,659	9,801	1,272	1,272	4,697	0,714	7,563
		L34	2,45	2,134	3,690	0,320	0,003	1,729	0,001	2,847
		L13	2,45	2,134	3,690	0,320	0,003	1,729	0,001	2,847
4	3									
		L43	4,07	3,535	6,114	0,952	1,270	2,976	0,712	4,719
		L54	2,54	2,207	3,816	0,329	0,003	1,787	0,001	2,943
		ExGrid	1,53	1,338	2,301	0,623	1,272	1,208	0,714	1,776
2	6		7,58	6,581	11,400	1,210	1,210	5,204	0,664	8,457
		L26	1,08	0,939	1,626	0,174	0,177	0,743	0,097	1,206
		L12	1,08	0,939	1,626	0,174	0,177	0,743	0,097	1,206
6	2									
		L62	6,50	5,643	9,774	1,036	1,033	4,461	0,567	7,251
		L16	1,98	1,723	2,982	0,319	0,325	1,364	0,178	2,214
		L56	1,23	1,072	1,845	0,367	0,709	0,899	0,389	1,371
		T86	3,29	2,863	4,947	0,350	0,000	2,209	0,000	3,672
6	5		6,54	5,676	9,831	1,216	1,216	4,705	0,678	7,605
		L65	4,03	3,505	6,063	0,585	0,254	2,860	0,142	4,689
		L16	0,89	0,773	1,338	0,166	0,166	0,641	0,093	1,035
		L26	0,47	0,407	0,705	0,087	0,088	0,338	0,049	0,546
		T86	2,67	2,326	4,020	0,331	0,000	1,882	0,000	3,111
5	6									

		L56	2,51	2,181	3,768	0,631	0,962	1,850	0,536	2,916
		L45	2,51	2,181	3,768	0,631	0,962	1,850	0,536	2,916
4	5		6,53	5,668	9,819	1,217	1,217	4,701	0,678	7,596
		L45	2,53	2,204	3,807	0,164	0,967	1,869	0,539	2,946
		L34	1,18	1,033	1,782	0,064	0,249	0,841	0,139	1,380
		ExGrid	1,35	1,182	2,031	0,573	1,217	1,078	0,678	1,572
5	4									
		L54	4,00	3,474	6,012	0,580	0,249	2,836	0,139	4,650
		L65	4,00	3,474	6,012	0,580	0,249	2,836	0,139	4,650

Πίνακας 4.11: Far-end(99%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$				
Bus From	Bus To		3LG	LL		LG	LLG			
			I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		6,66	5,794	10,035	1,123	1,123	3,498	0,635	5,460
		L12	3,23	2,806	4,860	0,543	0,540	1,694	0,306	2,646
		L31	0,56	0,491	0,843	0,245	0,545	0,362	0,308	0,459
		L61	0,07	0,057	0,099	0,009	0,006	0,034	0,003	0,054
		T71	2,73	2,383	4,119	0,307	0,000	1,377	0,000	2,241
2	1									
		L21	3,43	2,988	5,175	0,580	0,582	1,804	0,329	2,817
		L62	3,43	2,988	5,175	0,580	0,582	1,804	0,329	2,817
1	3		6,45	5,607	9,711	1,163	1,163	3,457	0,664	5,367
		L13	3,86	3,358	5,811	0,545	0,243	2,010	0,139	3,21
		L21	0,43	0,370	0,639	0,079	0,084	0,229	0,048	0,354
		L61	0,81	0,701	1,215	0,150	0,159	0,434	0,091	0,672
		T71	2,62	2,289	3,957	0,316	0,000	1,348	0,000	2,187
3	1									
		L31	2,59	2,258	3,903	0,618	0,920	1,352	0,525	2,157
		L43	2,59	2,258	3,903	0,618	0,920	1,352	0,525	2,157
1	6		7,55	6,577	11,391	1,159	1,159	3,657	0,651	5,712
		L16	2,03	1,769	3,063	0,314	0,319	0,985	0,179	1,536
		L21	1,03	0,898	1,554	0,159	0,162	0,500	0,091	0,780
		L31	0,13	0,118	0,201	0,173	0,481	0,147	0,270	0,099
		T71	2,94	2,560	4,428	0,300	0,000	1,362	0,000	2,220
6	1									
		L61	5,52	4,810	8,328	0,845	0,840	2,672	0,472	4,176
		L26	1,03	0,898	1,557	0,159	0,162	0,500	0,091	0,780
		L56	1,22	1,066	1,836	0,350	0,678	0,662	0,381	0,921
		T86	3,28	2,860	4,941	0,335	0,000	1,519	0,000	2,478
3	4		6,50	5,651	9,789	1,213	1,213	3,468	0,698	5,355
		L34	2,44	2,131	3,684	0,305	0,003	1,248	0,001	2,016
		L13	2,44	2,131	3,684	0,305	0,003	1,248	0,001	2,016
4	3									
		L43	4,06	3,530	6,105	0,908	1,211	2,225	0,697	3,339
		L54	2,53	2,204	3,810	0,314	0,003	1,290	0,001	2,085
		ExGrid	1,53	1,336	2,298	0,594	1,213	0,951	0,698	1,257
2	6		7,55	6,572	11,382	1,159	1,159	3,656	0,651	5,709
		L26	1,08	0,938	1,623	0,167	0,169	0,523	0,095	0,816

		L12	1,08	0,938	1,623	0,167	0,169	0,523	0,095	0,816
6	2									
		L62	6,47	5,635	9,759	0,992	0,989	3,133	0,556	4,896
		L16	1,98	1,720	2,979	0,306	0,311	0,959	0,175	1,494
		L56	1,22	1,070	1,842	0,351	0,679	0,665	0,381	0,924
		T86	3,28	2,859	4,941	0,335	0,000	1,519	0,000	2,478
6	5		6,52	5,669	9,819	1,164	1,164	3,466	0,664	5,382
		L65	4,02	3,500	6,054	0,559	0,243	2,077	0,139	3,318
		L16	0,89	0,772	1,335	0,159	0,159	0,472	0,091	0,732
		L26	0,47	0,407	0,705	0,084	0,084	0,249	0,048	0,387
		T86	2,66	2,323	4,017	0,317	0,000	1,357	0,000	2,202
5	6									
		L56	2,50	2,179	3,765	0,604	0,920	1,393	0,525	2,064
		L45	2,50	2,179	3,765	0,604	0,920	1,393	0,525	2,064
4	5		6,51	5,661	9,804	1,164	1,164	3,464	0,664	5,379
		L45	2,53	2,201	3,804	0,610	0,926	1,408	0,528	2,085
		L34	1,18	1,031	1,779	0,061	0,239	0,608	0,136	0,975
		ExGrid	1,35	1,180	2,028	0,548	1,164	0,854	0,664	1,113
5	4									
		L54	3,98	3,470	6,003	0,555	0,239	2,061	0,136	3,294
		L65	3,98	3,470	6,003	0,555	0,239	2,061	0,136	3,294

Πίνακας 4.12: Far-end(99%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 8-bus)

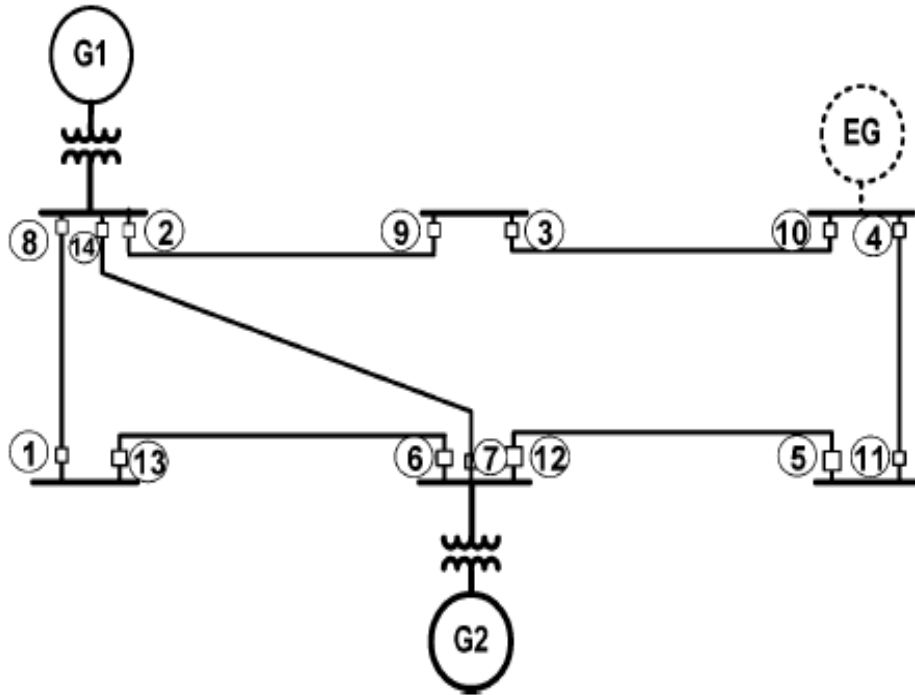
Branches		Contributions	$R_F = 2 \Omega$			$R_F = 40 \Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To	I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)	
1	2		6,59	5,774	10,002	1,008	1,008	2,145	0,606	3,117
		L12	3,19	2,797	4,845	0,487	0,485	1,039	0,292	1,509
		L31	0,55	0,490	0,840	0,220	0,490	0,253	0,295	0,261
		L61	0,07	0,057	0,099	0,008	0,005	0,021	0,003	0,03
		T71	2,70	2,375	4,107	0,276	0,000	0,816	0,000	1,281
2	1									
		L21	3,40	2,978	5,157	0,521	0,523	1,106	0,314	1,608
		L62	3,40	2,978	5,157	0,521	0,523	1,106	0,314	1,608
1	3		6,38	5,588	9,678	1,037	1,037	2,139	0,632	3,084
		L13	3,81	3,347	5,79	0,486	0,217	1,216	0,132	1,845
		L21	0,42	0,368	0,639	0,070	0,075	0,142	0,046	0,204
		L61	0,80	0,699	1,209	0,134	0,142	0,269	0,086	0,387
		T71	2,60	2,281	3,942	0,282	0,000	0,806	0,000	1,257
3	1									
		L31	2,56	2,250	3,891	0,551	0,820	0,928	0,500	1,239
		L43	2,56	2,250	3,891	0,551	0,820	0,928	0,500	1,239
1	6		7,45	6,552	11,349	1,034	1,034	2,185	0,621	3,171
		L16	2,00	1,762	3,051	0,280	0,285	0,589	0,171	0,852
		L21	1,02	0,894	1,548	0,142	0,145	0,299	0,087	0,432
		L31	0,13	0,118	0,198	0,155	0,430	0,119	0,258	0,057
		T71	2,90	2,550	4,413	0,268	0,000	0,786	0,000	1,233
6	1									

		L61	5,45	4,789	8,298	0,754	0,749	1,596	0,450	2,319
		L26	1,02	0,894	1,548	0,142	0,145	0,299	0,087	0,432
		L56	1,20	1,062	1,830	0,313	0,605	0,429	0,363	0,510
		T86	3,23	2,849	4,923	0,299	0,000	0,876	0,000	1,377
3	4		6,42	6,631	9,753	1,073	1,073	2,146	0,661	3,069
		L34	2,42	2,123	3,672	0,270	0,002	0,745	0,001	1,155
		L13	2,42	2,123	3,672	0,270	0,002	0,745	0,001	1,155
4	3									
		L43	4,00	3,517	6,084	0,804	1,071	1,406	0,660	1,914
		L54	2,50	2,196	3,798	0,278	0,002	0,770	0,001	1,194
		ExGrid	1,50	1,332	2,292	0,526	1,073	0,650	0,661	0,720
2	6		7,45	6,547	11,340	1,034	1,034	2,185	0,621	3,171
		L26	1,06	0,934	1,617	0,149	0,151	0,313	0,091	0,453
		L12	1,06	0,934	1,617	0,149	0,151	0,313	0,091	0,453
6	2									
		L62	6,39	5,614	9,723	0,885	0,883	1,873	0,530	2,718
		L16	1,95	1,714	2,967	0,273	0,278	0,574	0,167	0,831
		L56	1,21	1,066	1,836	0,313	0,606	0,431	0,363	0,513
		T86	3,23	2,848	4,923	0,299	0,000	0,877	0,000	1,377
6	5		6,44	5,649	9,786	1,038	1,038	2,140	0,632	3,087
		L65	3,97	3,488	6,033	0,499	0,217	1,254	0,132	1,902
		L16	0,88	0,769	1,332	0,141	0,142	0,292	0,086	0,420
		L26	0,46	0,405	0,702	0,075	0,075	0,154	0,046	0,222
		T86	2,63	2,315	4,002	0,283	0,000	0,809	0,000	1,263
5	6									
		L56	2,47	2,171	3,750	0,539	0,133	0,891	0,500	1,182
		L45	2,47	2,171	3,750	0,539	0,133	0,891	0,500	1,182
4	5		6,43	5,641	9,771	1,038	1,038	2,140	0,632	3,084
		L45	2,50	2,193	3,789	0,544	0,825	0,900	0,502	1,197
		L34	1,17	1,028	1,773	0,055	0,213	0,364	0,129	0,561
		ExGrid	1,33	1,176	2,022	0,489	1,038	0,589	0,632	0,639
5	4									
		L54	3,94	3,458	5,982	0,494	0,213	1,244	0,129	1,890
		L65	3,94	3,458	5,982	0,494	0,213	1,244	0,129	1,890

4.2.3 Προστασία Υπερέντασης

Στα άκρα κάθε γραμμής του δικτύου 8 ζυγών IEEE είναι τοποθετημένοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης με στοιχείο κατεύθυνσης. Οι ηλεκτρονόμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τύπου SEL 351-150V-5A του οίκου Schweitzer [19].

Οι υφιστάμενες ρυθμίσεις των στοιχείων φάσης (51P) δίνονται στον Πίνακα 4.13, οι οποίες έχουν υπολογισθεί βάσει τα τριφασικά βραχυκυκλώματα. Αναλόγως, μπορούν να υπολογισθούν οι ρυθμίσεις για τα στοιχεία υπερέντασης γης (51N/G) και αρνητικής ακολουθίας (51Q) βάσει των μονοφασικών και των διφασικών βραχυκυκλωμάτων, αντίστοιχα.

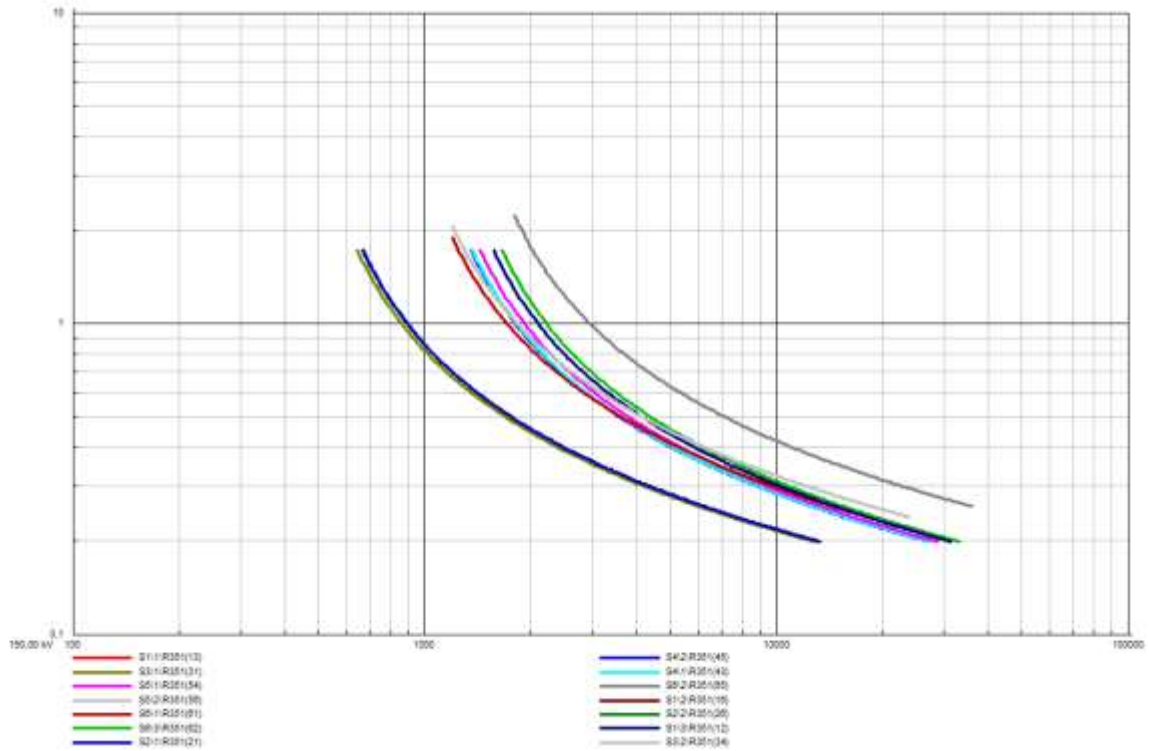


Εικόνα 4.5: Αρίθμηση ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών IEEE.

Πίνακας 4.13: Ρυθμίσεις ηλεκτρονόμων

Relay No	Relay Name	Pick-up Current (A)	Time Dial	CT Ratio
1	R351(21)	1,863	0,100	1200:5
2	R351(13)	5,000	0,131	1200:5
3	R351(34)	5,000	0,116	800:5
4	R351(45)	3,765	0,100	1200:5
5	R351(56)	1,861	0,100	1200:5
6	R351(62)	4,617	0,100	1200:5
7	R351(61)	5,000	0,107	800:5
8	R351(12)	4,366	0,100	1200:5
9	R351(31)	2,676	0,100	800:5
10	R351(43)	3,797	0,100	1200:5
11	R351(54)	3,995	0,100	1200:5
12	R351(65)	5,000	0,132	1200:5
13	R351(26)	1,853	0,100	1200:5
14	R351(16)	5,000	1,07	800:5

Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζονται οι καμπύλες λειτουργίας των ηλεκτρονόμων υπερέντασης του δικτύου.

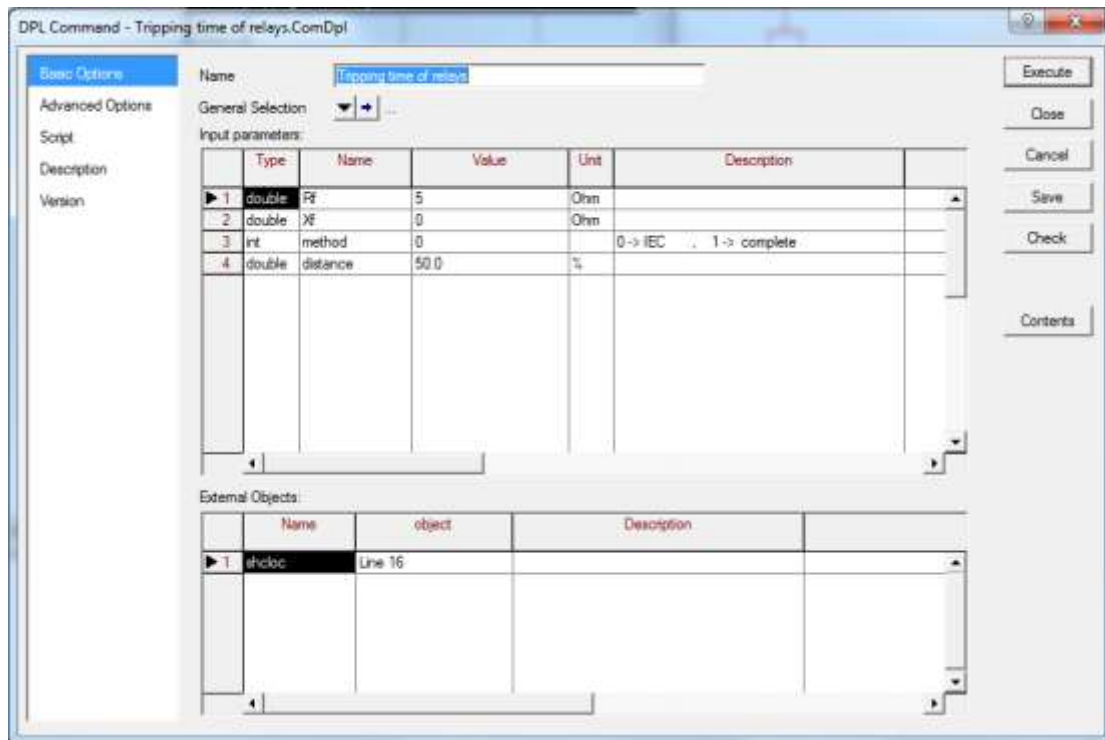


Εικόνα 4.6: Καμπύλες ηλεκτρονόμων δικτύου 8 ζυγών IEEE.

4.2.4 Προσομοιώσεις

Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με χρήση των script που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Στο δίκτυο 8 ζυγών IEEE έχουν τοποθετηθεί ηλεκτρονόμοι υπερέντασης. συνεπώς μπορεί να γίνει εφαρμογή του script “Tripping time of relays” το οποίο υπολογίζει τους χρόνους λειτουργίας τους. Έχει επιλεγθεί αντίσταση σφάλματος $R_F = 5 \Omega$, μέθοδος υπολογισμού βραχυκυκλώματος κατά IEC 60909 και σχετική απόσταση του σφάλματος επί της γραμμής 50.0%. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.7.



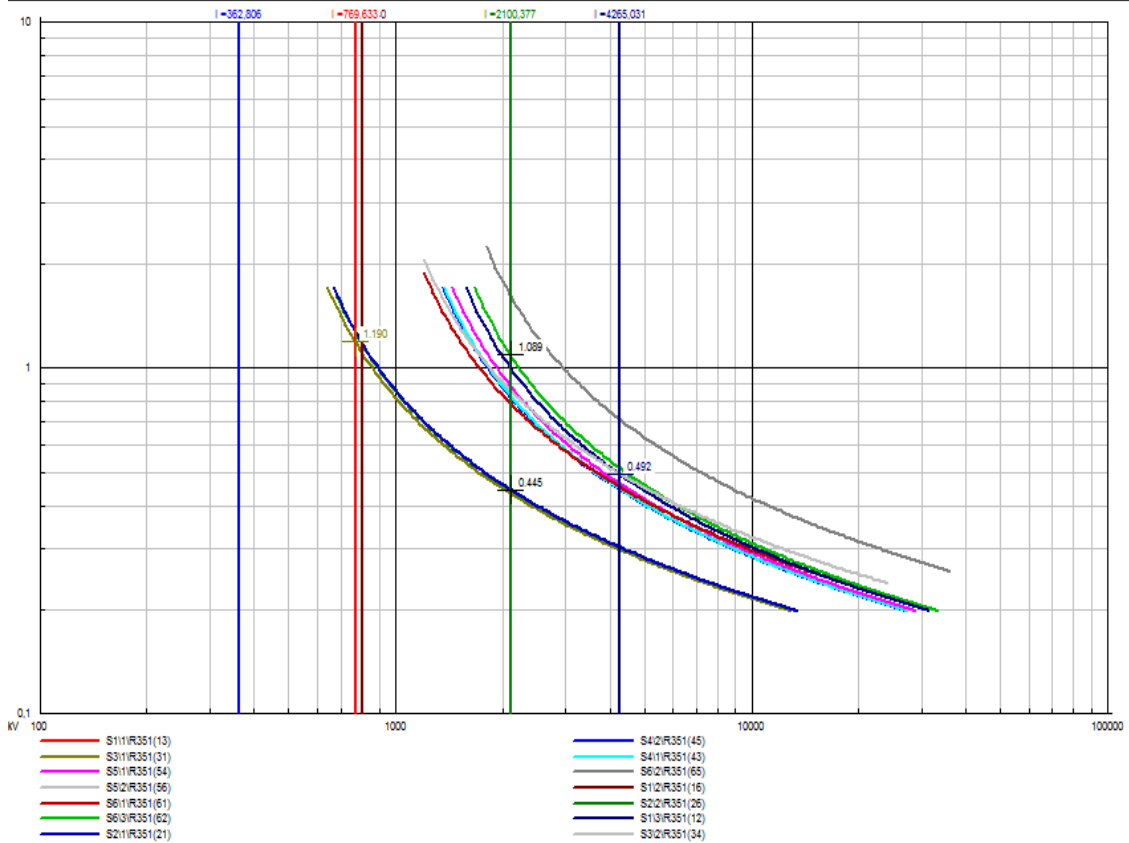
Εικόνα 4.7: Ρυθμίσεις “Tripping time of relays” script.

Στην λίστα “εξωτερικών αντικειμένων” μπορεί να ορισθεί η γραμμή που θέλουμε να πραγματοποιηθεί το βραχυκύκλωμα. Για τους σκοπούς της προσομοίωσης επιλέχθηκαν οι γραμμές 1-2, 5-6, 1-6. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.8 έως 4.13.

```

DIgSI/info - DPL Program 'Tripping time of relays' started
The Location of Fault is : Line 12
The relative distance is : 50,0%
R351(12) (51P): 0,492034 sec
R351(31) (51P): 1,189753 sec
R351(21) (51P): 0,445041 sec
R351(62) (51P): 1,088754 sec
DIgSI/info - DPL program 'Tripping time of relays' successfully executed
    
```

Εικόνα 4.8: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 1-2.



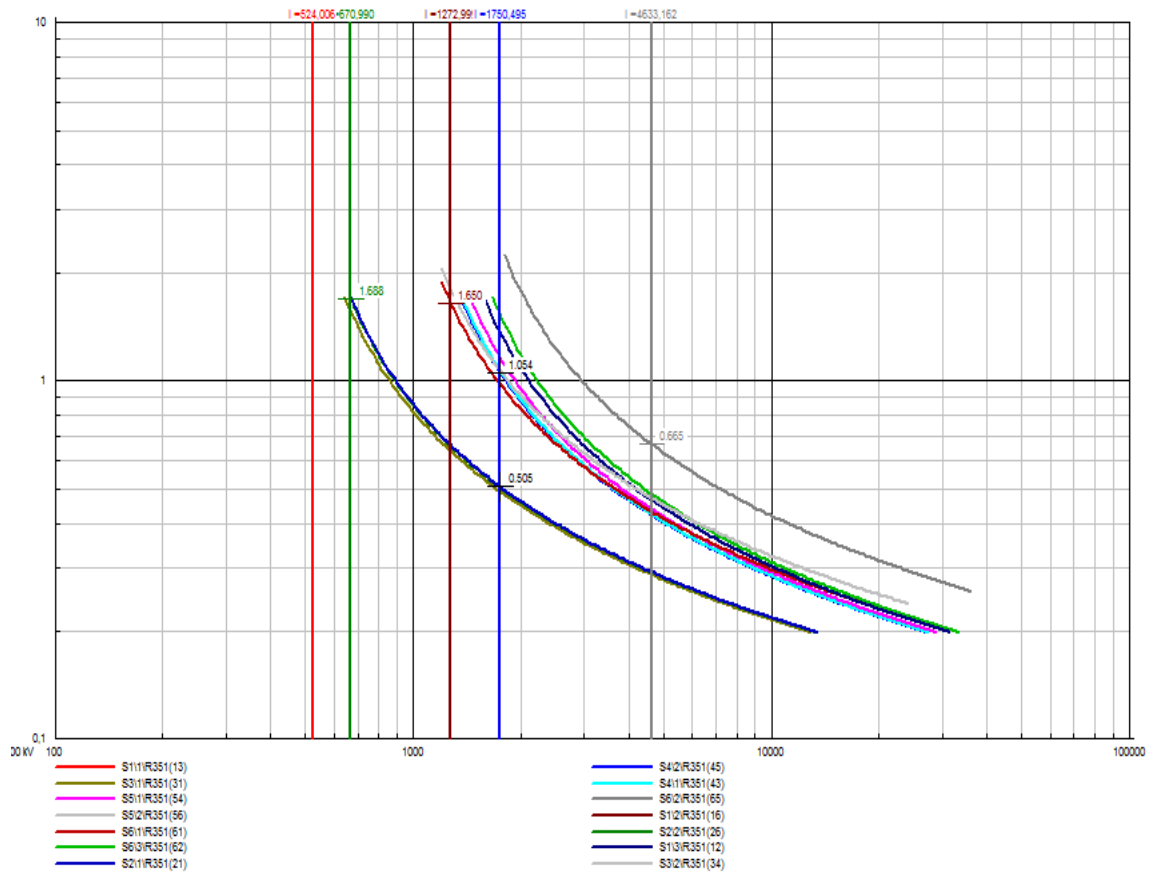
Εικόνα 4.9: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 1-2.

Με εφαρμογή βραχυκυκλώματος στην γραμμή 1-2 επαληθεύεται ότι οι ηλεκτρονόμοι R351(21) και R351(12) που είναι η κύρια προστασία της γραμμής λειτουργούν γρηγορότερα από όλους όσους διεγείρονται, ενώ οι ηλεκτρονόμοι R351(62) και R351(31) αποτελούν back-up προστασία των R351(21), R351(12) αντίστοιχα. Επίσης στην Εικόνα 4.9 απεικονίζεται πως “βλέπει” ο κάθε ηλεκτρονόμος το σφάλμα, κι επιβεβαιώνονται οι χρόνοι που δίνονται στην Εικόνα 4.8.

```

DIgSI/info - DPL Program 'Tripping time of relays' started
The Location of Fault is : Line 65
The relative distance is : 50,0%
R351(16) (51P): 1,649939 sec
R351(26) (51P): 1,688213 sec
R351(45) (51P): 1,053718 sec
R351(56) (51P): 0,505312 sec
R351(65) (51P): 0,664557 sec
DIgSI/info - DPL program 'Tripping time of relays' successfully executed
    
```

Εικόνα 4.10: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 5-6.



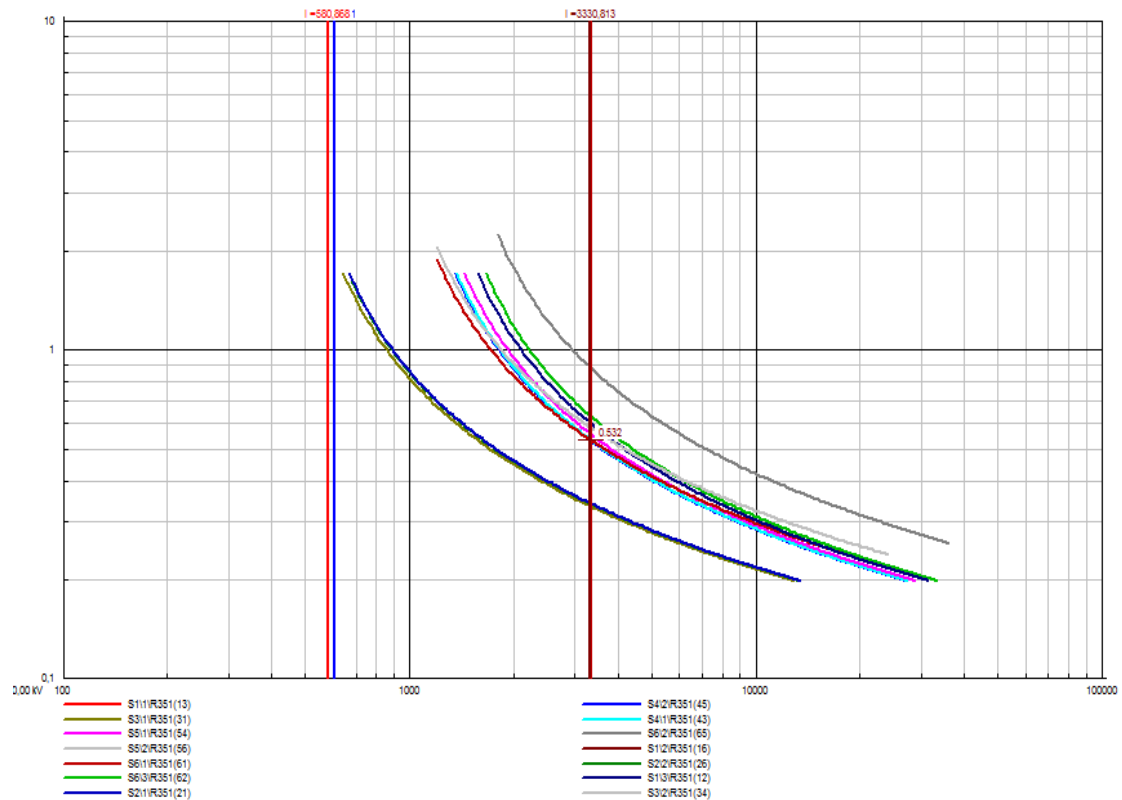
Εικόνα 4.11: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 5-6.

Με εφαρμογή βραχυκυκλώματος στην γραμμή 5-6 παρατηρείται ότι οι ηλεκτρονόμοι R351(56) και R351(65), που είναι η κύρια προστασία της γραμμής, λειτουργούν ταχύτατα, ενώ οι ηλεκτρονόμοι R351(45), R351(16) και R351(26) αποτελούν back-up προστασία των R351(56), R351(65) αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρείται ότι σε αυτή την περίπτωση ο ηλεκτρονόμος R351(65) έχει δύο back-up ηλεκτρονόμους.

```

DIgSI/info - DPL Program 'Tripping time of relays' started
The Location of Fault is : Line 16
The relative distance is : 50,0%
R351(16) (51P): 0,532172 sec
R351(61) (51P): 0,530383 sec
DIgSI/info - DPL program 'Tripping time of relays' successfully executed
    
```

Εικόνα 4.12: Προσομοίωση “Tripping time of relays” script στη γραμμή 1-6.

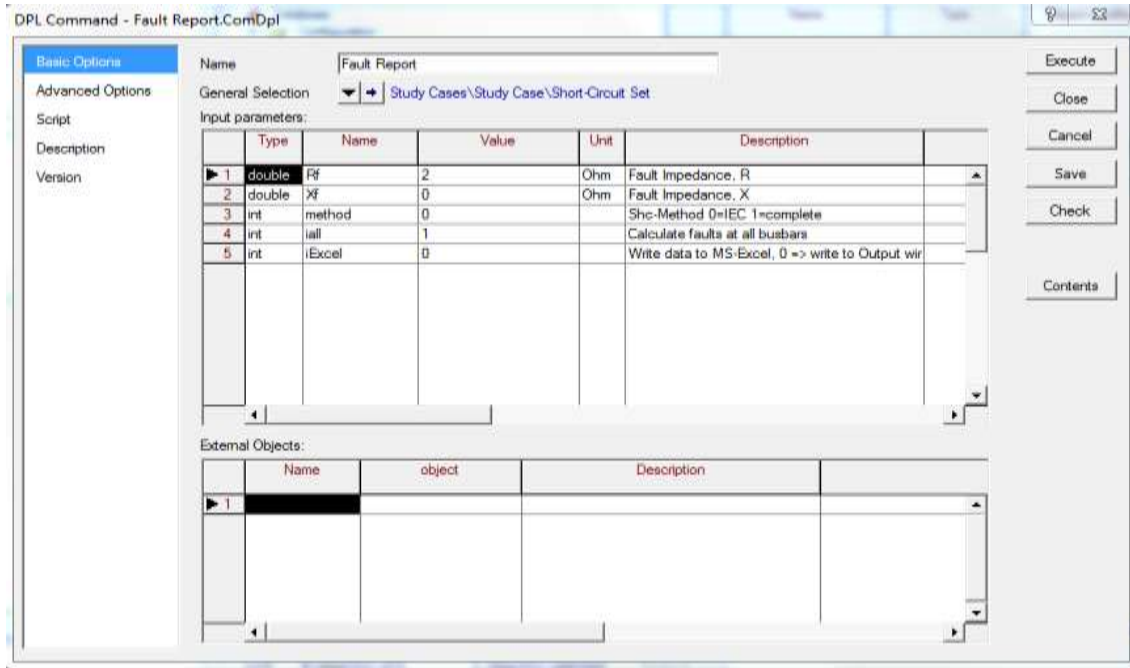


Εικόνα 4.13: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονόμων υπερέντασης για βραχυκύκλωμα στη γραμμή 1-6.

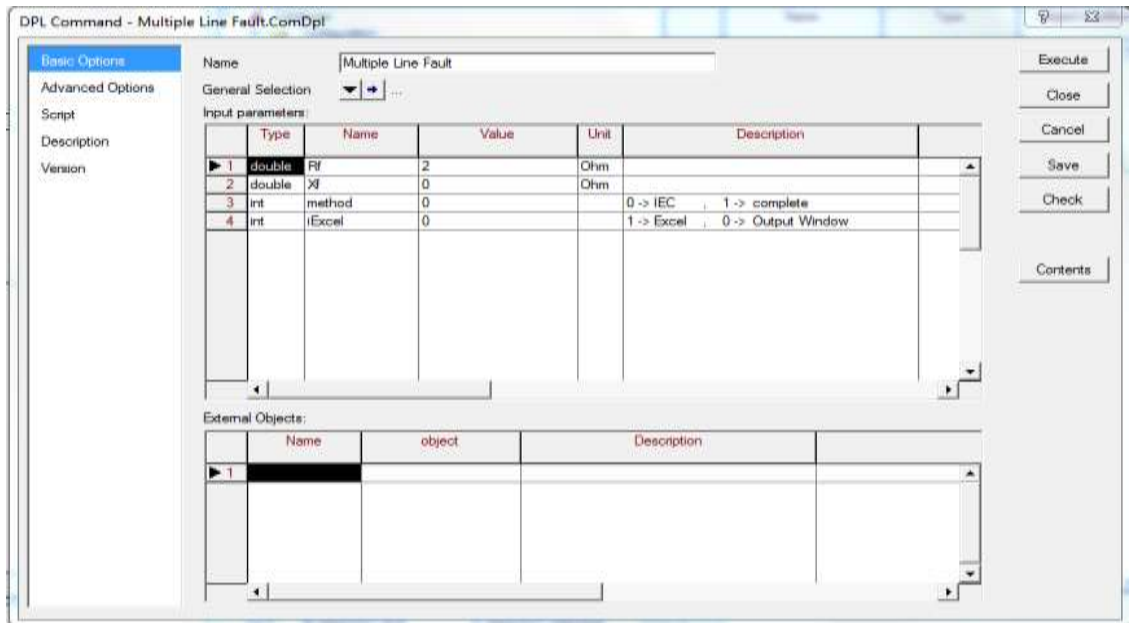
Με εφαρμογή βραχυκυκλώματος στην γραμμή 1-6 παρατηρείται ότι οι ηλεκτρονόμοι R351(61) και R351(16) είναι η κύρια προστασία της γραμμής, ενώ δεν έχουν κάποιο back-up ηλεκτρονόμο. Η έλλειψη back-up προστασίας οφείλεται αφενός στις ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων, και αφετέρου στα βραχυκυκλώματα (της γραμμής 1-6) τα οποία είναι ιδιαίτερα ασθενή με αποτέλεσμα να μη διεγείρουν τους ηλεκτρονόμους εκτός της ζώνης προστασίας της γραμμής 1-6.

Στις Εικόνες 4.16 έως 4.19 πραγματοποιείται η προσομοίωση των script “Fault Report” και “Multiple Line Fault” τα οποία εκτελούν 3-φασικά, 1-φασικά, 2-φασικά και 2-φασικά προς γη βραχυκυκλώματα σε όλους τους ζυγούς και σε επιλεγμένες γραμμές του δικτύου, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα εξάγονται είτε στο παράθυρο εξόδου του λογισμικού PowerFactory, είτε σε αρχείο MS Excel.

Η αντίσταση σφάλματος έχει ορισθεί $R_F = 2 \Omega$ και η μέθοδος υπολογισμού του βραχυκυκλώματος είναι η IEC 60909. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο παράθυρο επεξεργασίας των script στις Εικόνες 4.14 και 4.15.



Εικόνα 4.14: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (IEEE 8-bus).



Εικόνα 4.15: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (IEEE 8-bus).

DigSI/info - Calculating short circuits (IEC) at all busbars

Station Name	Bus Name	Unom [kV]	3-Phase		1-Phase		Phase-Phase		Positive Seq		Zero Seq		Ratio X0/X1 [-]	Ratio R0/X0 [-]	Ratio R0/X1 [-]
			I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	I [kA]	Angle [deg]	R [pu]	X [pu]	R0 [pu]	X0 [pu]			
	BB 1	150,0	7,5	-78,0	1,2	-78,6	6,6	-173,3	0,0029	0,0555	0,1709	0,8923	16,074	0,191	3,078
	BB 2	150,0	6,6	-78,9	1,2	-78,9	5,8	-173,6	0,0035	0,0631	0,1729	0,9141	14,494	0,189	2,741
	BB 3	150,0	6,4	-78,9	1,2	-78,6	5,6	-173,4	0,0039	0,0652	0,1685	0,8685	13,321	0,194	2,584
	BB 4	150,0	6,4	-78,6	1,3	-78,2	5,6	-173,1	0,0042	0,0646	0,1642	0,8209	12,714	0,200	2,543
	BB 5	150,0	6,4	-78,6	1,2	-78,5	5,6	-173,2	0,0041	0,0645	0,1693	0,8685	13,472	0,195	2,626
	BB 6	150,0	7,5	-78,0	1,2	-78,6	6,6	6,7	0,0029	0,0555	0,1713	0,8913	16,072	0,192	3,088
	BB 7	10,0	3,2	-1,6	3,2	-1,7	5,5	-93,2	0,0028	0,0558	0,0001	0,0673	1,206	0,002	0,002
	BB 8	10,0	3,2	-1,6	3,2	-1,7	5,5	86,8	0,0028	0,0558	0,0001	0,0673	1,207	0,002	0,002

DigSI/info - DPL program 'Fault Report' successfully executed

Εικόνα 4.16: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (IEEE 8-bus).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Station Name	Bus Name	Unom [kV]	3-Phase I [kA]	3-Phase Angle [deg]	1-Phase I [kA]	1-Phase Angle [deg]	Phase-Phase I [kA]	Phase-Phase Angle [deg]	Pos-Seq R [pu]	Pos-Seq X [pu]	Zero-Seq R0 [pu]	Zero-Seq X0 [pu]	Ratio X0/X1 [pu]	Ratio R0/X0 [pu]	Ratio R0/X1 [pu]	
	BB 1	150	7,5	-78	1,2	-78,6	6,6	-173,3	0,0029	0,0555	0,1709	0,8923	16,074	0,191	3,078	
	BB 2	150	6,6	-78,9	1,2	-78,9	5,8	-173,6	0,0035	0,0631	0,1729	0,9141	14,494	0,189	2,741	
	BB 3	150	6,4	-78,9	1,2	-78,6	5,6	-173,4	0,0039	0,0652	0,1685	0,8685	13,321	0,194	2,584	
	BB 4	150	6,4	-78,6	1,3	-78,2	5,6	-173,1	0,0042	0,0646	0,1642	0,8209	12,714	0,2	2,543	
	BB 5	150	6,4	-78,6	1,2	-78,5	5,6	-173,2	0,0041	0,0645	0,1693	0,8685	13,472	0,195	2,626	
	BB 6	150	7,5	-78	1,2	-78,6	6,6	6,7	0,0029	0,0555	0,1713	0,8913	16,072	0,192	3,088	
	BB 7	10	3,2	-1,6	3,2	-1,7	5,5	-93,2	0,0028	0,0558	0,0001	0,0673	1,206	0,002	0,002	
	BB 8	10	3,2	-1,6	3,2	-1,7	5,5	86,8	0,0028	0,0558	0,0001	0,0673	1,207	0,002	0,002	

Εικόνα 4.17: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (IEEE 8-bus).

DlgSI/info - DPL Program 'Multiple Line Fault' started

Line Name	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)	
	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]
Line 13	7,4	102,0	6,7	101,3	6,4	101,1	1,2	101,4	1,2	101,3	1,2	101,4	6,5	6,7	5,9	6,6	5,6	6,6	6,5	8,2	5,9	7,3	5,6	6,9
Line 34	6,4	101,1	6,3	101,2	6,4	101,4	1,2	101,4	1,3	101,5	1,3	101,7	5,6	6,6	5,5	6,7	5,6	6,9	5,5	6,9	5,5	6,9	5,6	7,1
Line 12	7,4	102,0	6,8	101,3	6,6	101,1	1,2	101,4	1,2	101,2	1,2	101,1	6,5	6,7	5,9	6,5	5,8	6,4	6,5	8,2	5,9	7,3	5,7	7,1
Line 16	7,4	102,0	7,1	101,7	7,5	102,0	1,2	101,4	1,2	101,3	1,2	101,4	6,5	6,7	6,3	6,7	6,6	6,7	6,5	8,2	6,2	7,9	6,5	8,2
Line 26	6,6	101,1	6,8	101,4	7,4	102,0	1,2	101,1	1,2	101,2	1,2	101,4	5,8	6,4	6,0	6,5	6,5	6,7	5,7	7,1	5,9	7,4	6,5	8,2
Line 65	7,4	102,0	6,8	101,6	6,4	101,4	1,2	101,4	1,2	101,4	1,2	101,5	6,5	6,7	6,0	6,8	5,6	6,8	6,5	8,2	5,9	7,6	5,6	7,2
Line 54	6,4	101,4	6,3	101,3	6,4	101,4	1,3	101,8	1,3	101,6	1,2	101,5	5,6	6,9	5,5	6,9	5,6	6,8	5,6	7,1	5,5	7,0	5,6	7,2

DlgSI/info - DPL program 'Multiple Line Fault' successfully executed

Εικόνα 4.18: Προσομοίωση “Multiple Line Fault” script – Output Window (IEEE 8-bus).

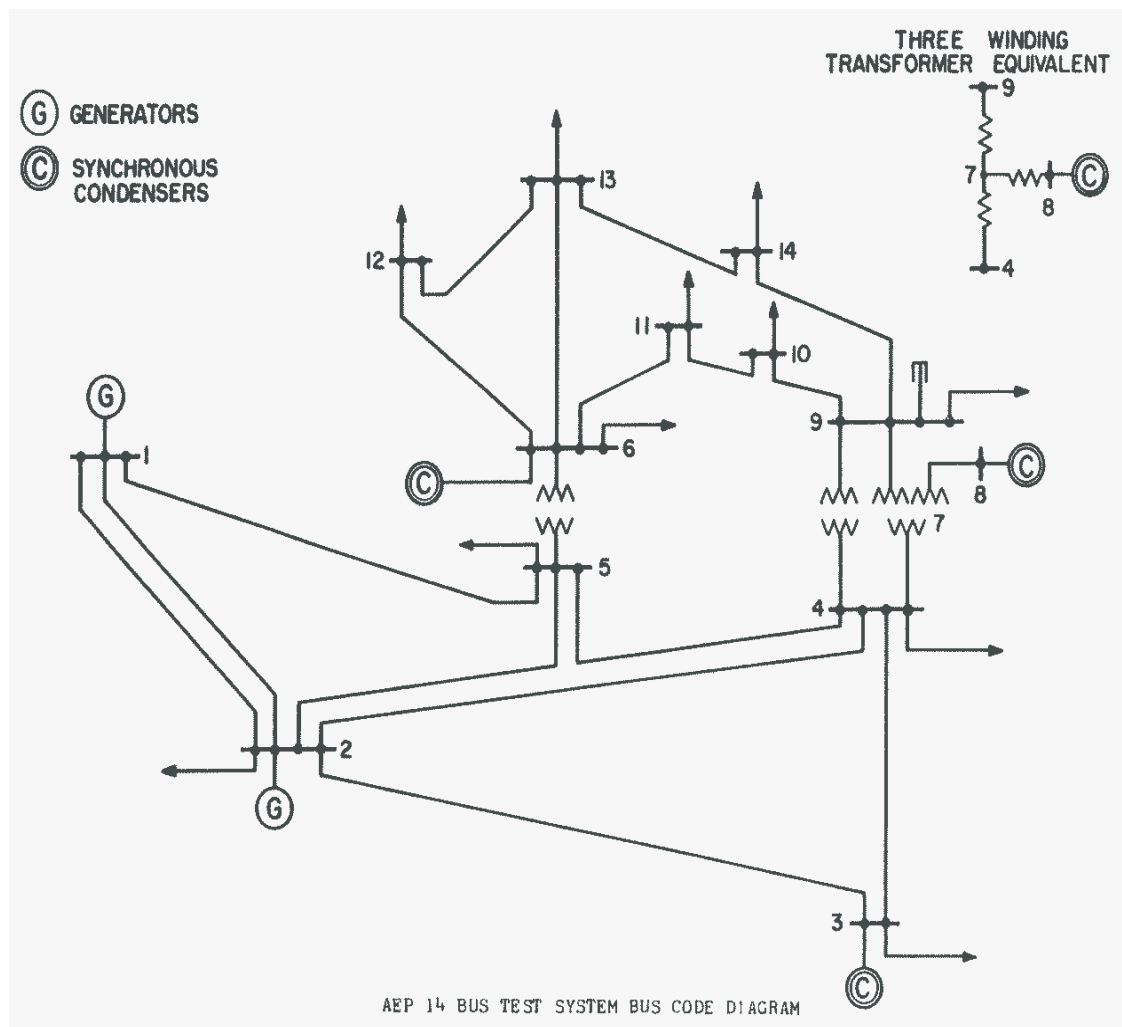
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)		
Line Name	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	
Line 13	7,4	102	6,7	101,3	6,4	101,1	1,2	101,4	1,2	101,3	1,2	101,4	6,5	6,7	5,9	6,6	5,6	6,6	6,5	8,2	5,9	7,3	5,6	6,9	
Line 34	6,4	101,1	6,3	101,2	6,4	101,4	1,2	101,4	1,3	101,5	1,3	101,7	5,6	6,6	5,5	6,7	5,6	6,9	5,5	6,9	5,5	6,9	5,6	7,1	
Line 12	7,4	102	6,8	101,3	6,6	101,1	1,2	101,4	1,2	101,2	1,2	101,1	6,5	6,7	5,9	6,5	5,8	6,4	6,5	8,2	5,9	7,3	5,7	7,1	
Line 16	7,4	102	7,1	101,7	7,5	102	1,2	101,4	1,2	101,3	1,2	101,4	6,5	6,7	6,3	6,7	6,6	6,7	6,5	8,2	6,2	7,9	6,5	8,2	
Line 26	6,6	101,1	6,8	101,4	7,4	102	1,2	101,1	1,2	101,2	1,2	101,4	5,8	6,4	6	6,5	6,5	6,7	5,7	7,1	5,9	7,4	6,5	8,2	
Line 65	7,4	102	6,8	101,6	6,4	101,4	1,2	101,4	1,2	101,4	1,2	101,5	6,5	6,7	6	6,8	5,6	6,8	6,5	8,2	5,9	7,6	5,6	7,2	
Line 54	6,4	101,4	6,3	101,3	6,4	101,4	1,3	101,8	1,3	101,6	1,2	101,5	5,6	6,9	5,5	6,9	5,6	6,8	5,6	7,1	5,5	7	5,6	7,2	

Εικόνα 4.19: Προσομοίωση “Multiple Line Fault” script – MS Excel File (IEEE 8-bus).

4.3 Δίκτυο 14 ζυγών IEEE

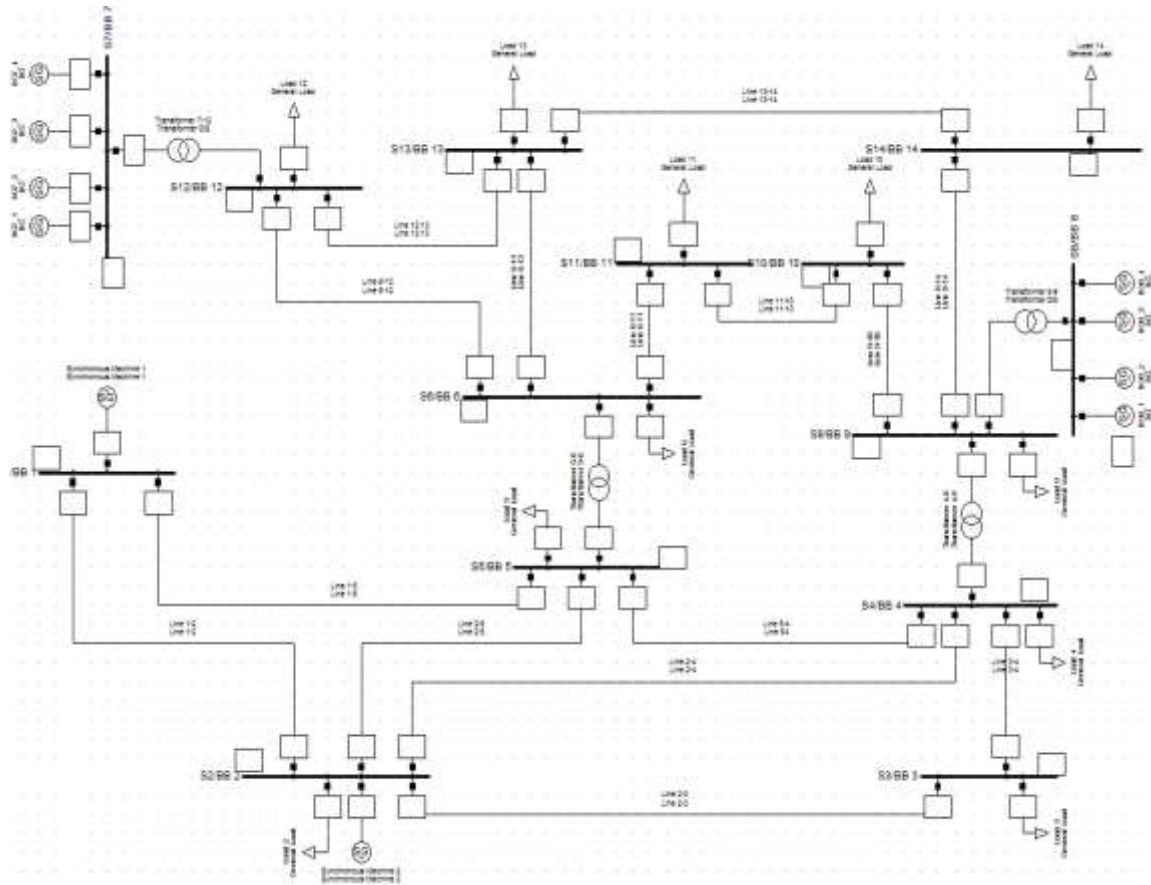
4.3.1 Δεδομένα δικτύου

Το δίκτυο 14 ζυγών IEEE περιλαμβάνει 2 σύγχρονες γεννήτριες, 3 σύγχρονους πυκνωτές, 2 μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης, 1 μετασχηματιστή τριών τυλιγμάτων, 1 εγκάρσια αγωγιμότητα, 15 γραμμές μεταφοράς και 10 φορτία. Τα δεδομένα του δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω, όπως παρατίθενται στην [23]. Το μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου απεικονίζεται στην Εικόνα 4.20.



Εικόνα 4.20: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 14 ζυγών IEEE.

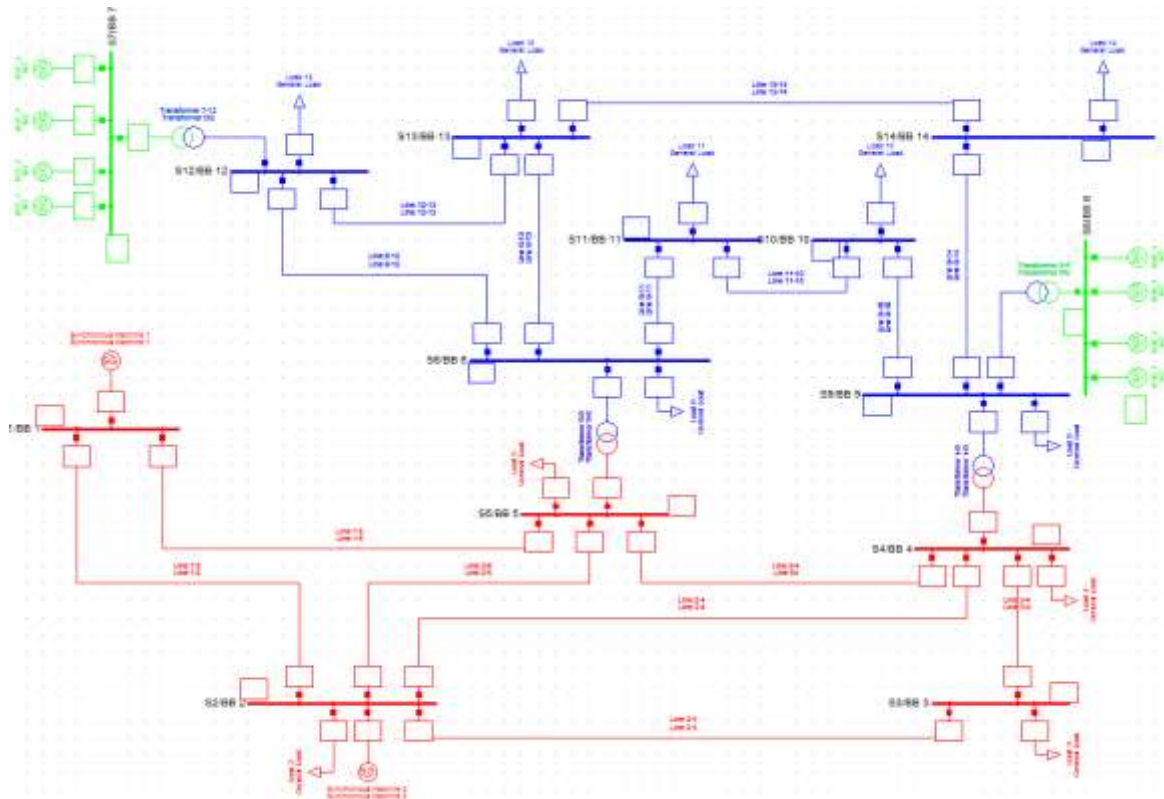
Κατά την υλοποίηση του δικτύου στο λογισμικό PowerFactory παραλήφθηκαν οι σύγχρονοι πυκνωτές στους ζυγούς 3, 6, 8 και η εγκάρσια αγωγιμότητα στον ζυγό 9, ενώ προστέθηκαν 2 γεννήτριες διεσπαρμένης παραγωγής (DG) στους ζυγούς 8, 12. Το μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου στο περιβάλλον του PowerFactory παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.21.



Εικόνα 4.21: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 14 ζυγών IEEE στο PowerFactory.

Στην Εικόνα 4.22 παρουσιάζονται χρωματικά τα επίπεδα τάσης του δικτύου. Τα στοιχεία του δικτύου τα οποία απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 66 kV, τα στοιχεία τα οποία απεικονίζονται με μπλε χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 33 kV, ενώ τα στοιχεία τα οποία απεικονίζονται με πράσινο χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 0.415 kV.

Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά των στοιχείων του δικτύου παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.14 έως 4.18.



Εικόνα 4.22: Επίπεδα τάσης δικτύου 14 ζυγών IEEE.

Για το συγκεκριμένο δίκτυο έχει γίνει ο υπολογισμός των σύνθετων αντιστάσεων σε Ω/km από τις αντίστοιχες ανά μονάδα τιμές οι οποίες έχουν παρθεί από [1].

Πίνακας 4.14: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς και Διανομής του δικτύου 14 ζυγών IEEE

Γραμμή	R(Ω/km)	X(Ω/km)	B($\mu\text{S}/\text{km}$)	R ₀ (Ω/km)	X ₀ (Ω/km)	Μήκος(km)
1-2	3,69073	11,2683	277,253	11,07219	33,8049	1
1-5	10,2895	42,4757	258,349	30,8685	127,4271	1
2-3	8,94878	37,7014	229,994	26,84634	113,1042	1
2-4	11,0665	33,5784	178,534	33,1995	100,7352	1
2-5	10,8456	33,1137	181,685	32,5368	99,3411	1
3-4	12,7614	32,571	67,2128	38,2842	97,713	1
4-5	2,54237	8,01943	0,0	7,62711	24,05829	1
6-11	18,088	37,8785	0,0	54,264	113,6355	1
6-12	23,407	48,7165	0,0	70,221	146,1495	1
6-13	12,5976	24,8086	0,0	37,7928	74,4258	1
9-10	6,0579	16,0922	0,0	18,1737	48,2766	1
9-14	24,2068	51,4912	0,0	72,6204	154,4736	1
10-11	15,6256	36,5778	0,0	46,8768	109,7334	1
12-13	42,072	38,0651	0,0	126,216	114,1953	1
13-14	32,5519	66,2769	0,0	97,6557	198,8307	1

Πίνακας 4.15: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 14 ζυγών IEEE

Ζυγός	S_n (MVA)	V_p (kV)	X'' (%)	X_0 (%)	X_2 (%)
1	615	66	1	0,1	1
2	60	66	1	0,1	1

Έχουν χρησιμοποιηθεί 8 ίδιες γεννήτριες DG σε 2 σταθμούς παραγωγής των οποίων τα χαρακτηριστικά φαίνονται παρακάτω. Κάθε μια από τις DG γεννήτριες έχει φαινόμενη ισχύ 2,18 MVA.

Πίνακας 4.16: Χαρακτηριστικά Γεννητριών DG του δικτύου 14 ζυγών IEEE

Ζυγός	S_n (MVA)	V_p (kV)	X'' (%)	X_0 (%)	X_2 (%)
7	8,72	0,415	0,148	0,1	0,148
8	8,72	0,415	0,148	0,1	0,148

Πίνακας 4.17: Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστών του δικτύου 14 ζυγών IEEE

Ζυγοί	S_n (MVA)	V_L (kV)	V_H (kV)	Z (%)
4-9	100	33	66	55,618
5-6	100	33	66	25,202
7-12	10	0,415	33	6
9-8	10	0,415	33	6

Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά Ζυγών και Φορτίων του δικτύου 14 ζυγών IEEE

Ζυγός	U (kV)	P_G (MW)	Q_G (Mvar)	P_D (MW)	Q_D (Mvar)
1	66	0	0	-	-
2	66	40	0	21,7	12,7
3	66	-	-	94,2	19
4	66	-	-	47,8	-3,9
5	66	-	-	7,6	1,6
6	33	-	-	11,2	7,5
7	0,415	0	0	-	-
8	0,415	0	0	-	-
9	33	-	-	29,5	16,6
10	33	-	-	9	5,8
11	33	-	-	3,5	1,8
12	33	-	-	6,1	1,6
13	33	-	-	13,5	5,8
14	33	-	-	14,9	5

4.3.2 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιαστούν τα βραχυκυκλώματα που πραγματοποιήθηκαν στο δίκτυο 14 ζυγών IEEE. Για την υλοποίηση της μελέτης και την συμπλήρωση των Πινάκων 4.19 έως 4.26 πραγματοποιήθηκαν 240 βραχυκυκλώματα.

Οι πίνακες περιέχουν 3-φασικά, 1-φασικά, 2-φασικά και 2-φασικά προς γη βραχυκυκλώματα για διάφορες τιμές αντιστάσεως σφάλματος, ενώ αφορούν close-in(1%) και far-end(99%) σφάλματα κατά μήκος όλων των γραμμών μεταφοράς του δικτύου. Επιπλέον, για κάθε βραχυκύκλωμα αναγράφονται οι συνεισφορές από τους γειτονικούς κλάδους με βάθος 1 ζυγό.

Πίνακας 4.19: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		6,115	5,302	9,183	8,506	8,506	8,829	13,913	2,223
		L1-2	5,493	4,763	8,247	7,859	8,296	8,237	13,569	1,995
		L5-1	0,202	0,1750	0,303	0,196	0,025	0,139	0,041	0,072
		SM1	5,292	4,589	7,944	7,664	8,272	8,066	13,529	1,923
2	1									
		L2-1	0,624	0,543	0,939	0,650	0,212	0,657	0,347	0,228
		L3-2	0,043	0,037	0,063	0,038	0,004	0,040	0,007	0,015
		L4-2	0,089	0,077	0,135	0,080	0,009	0,083	0,014	0,033
		L5-2	0,062	0,054	0,093	0,054	0,012	0,057	0,020	0,024
		SM2	0,433	0,377	0,651	0,481	0,238	0,493	0,388	0,159
1	5		5,853	5,076	8,790	7,697	7,697	7,719	11,188	3,201
		L1-5	5,614	4,868	8,433	7,461	7,618	7,494	11,074	3,069
		L2-1	0,554	0,482	0,834	0,526	0,121	0,551	0,175	0,303
		SM1	5,063	4,390	27,602	6,938	7,501	7,010	10,904	2,766
5	1									
		L5-1	0,239	0,208	0,360	0,236	0,079	0,242	0,115	0,132
		L2-5	0,040	0,035	0,060	0,079	0,038	0,041	0,055	0,021
		L4-5	0,140	0,122	0,210	0,136	0,041	0,143	0,060	0,078
		T6-5	0,141	0,124	0,216	0,125	0,000	0,132	0,000	0,078
2	5		3,182	2,760	4,782	3,738	3,738	3,611	4,511	2,526
		L2-5	1,977	2,483	4,299	3,460	3,653	3,328	4,409	2,271
		L3-2	0,123	0,107	0,186	0,102	0,017	0,113	0,021	0,099
		L4-2	0,255	0,222	0,384	0,212	0,036	0,235	0,043	0,204
		L1-2	1,977	1,721	2,973	1,762	0,652	1,891	0,786	1,572
		SM2	0,511	0,448	0,768	1,392	2,976	1,401	3,591	0,405
5	2									
		L5-2	0,319	0,277	0,480	0,279	0,086	0,299	0,103	0,255
		L1-5	0,307	0,268	0,462	0,286	0,138	0,301	0,166	0,243
		L4-5	0,119	0,105	0,180	0,111	0,053	0,114	0,063	0,096
		T6-5	0,133	0,116	0,201	0,104	0,000	0,120	0,000	0,105
2	4		3,179	2,758	4,776	3,733	3,733	3,605	4,501	2,526

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L2-4	2,895	2,512	4,350	3,488	3,665	3,356	4,420	2,298
		L3-2	0,121	0,105	0,183	0,100	0,015	0,111	0,018	0,096
		L5-2	0,290	0,252	0,438	0,244	0,052	0,269	0,063	0,231
		L1-2	1,977	1,721	2,973	1,761	0,651	1,891	0,785	1,572
		SM2	0,511	0,448	0,768	1,390	2,974	1,399	3,586	0,405
4	2									
		L2-4	0,284	0,247	0,426	0,245	0,068	0,265	0,082	0,225
		L3-4	0,121	0,105	0,183	0,100	0,015	0,111	0,018	0,096
		L5-4	0,144	0,127	0,219	0,141	0,083	0,143	0,100	0,117
		T9-4	0,262	0,229	0,393	0,205	0,000	0,236	0,000	0,207
2	3		3,164	2,744	4,752	3,705	3,705	3,586	4,450	2,529
		L2-3	3,024	2,623	4,542	3,583	3,667	3,463	4,405	2,415
		L4-2	0,256	0,222	0,384	0,212	0,037	0,235	0,045	0,204
		L5-2	0,293	0,254	0,441	0,247	0,056	0,271	0,067	0,234
		L1-2	1,970	1,715	2,964	1,750	0,647	1,879	0,777	1,575
		SM2	0,509	0,446	0,765	1,381	2,954	1,384	3,549	0,405
3	2									
		L3-2	0,140	0,121	0,210	0,121	0,037	0,131	0,045	0,111
		L4-3	0,140	0,121	0,210	0,121	0,037	0,131	0,045	0,111
4	5		2,184	1,893	3,279	1,556	1,556	2,031	1,206	2,679
		L4-5	1,198	1,039	1,797	0,840	0,814	1,116	0,630	1,467
		L2-4	0,568	0,494	0,852	0,453	0,550	0,538	0,426	0,696
		L3-4	0,273	0,237	0,411	0,218	0,264	0,259	0,205	0,336
		T9-4	0,360	0,315	0,540	0,171	0,000	0,319	0,000	0,441
5	4									
		L5-4	0,987	0,858	1,485	0,717	0,742	0,915	0,575	1,212
		L1-5	0,521	0,454	0,783	0,368	0,360	0,465	0,279	0,639
		L2-5	0,343	0,298	0,516	0,290	0,382	0,331	0,296	0,420
		T6-5	0,124	0,109	0,189	0,059	0,000	0,110	0,000	0,153
3	4		1,329	1,152	1,995	0,938	0,938	1,218	0,724	1,632
		L3-4	0,688	0,597	1,035	0,499	0,524	0,634	0,404	0,846
		L2-3	0,688	0,597	1,035	0,499	0,524	0,634	0,404	0,846
4	3									
		L4-3	0,642	0,557	0,963	0,441	0,416	0,587	0,321	0,789
		L2-4	0,134	0,116	0,201	0,120	0,171	0,132	0,132	0,165
		L5-4	0,343	0,299	0,516	0,244	0,245	0,313	0,189	0,423
		T9-4	0,168	0,147	0,252	0,079	0,000	0,148	0,000	0,207
9	10		2,884	2,499	4,329	1,564	1,564	2,915	0,926	4,131
		L9-10	2,884	2,404	4,164	1,487	1,453	2,804	0,861	3,975
		L14-9	0,085	0,074	0,129	0,055	0,099	0,081	0,058	0,123
		T4-9	1,901	1,658	2,856	1,147	1,385	1,989	0,820	2,727
		T8-9	0,794	0,700	1,197	0,288	0,000	0,736	0,000	1,143
10	9									
		L10-9	0,116	0,101	0,174	0,081	0,154	0,112	0,091	0,165
		L11-10	0,116	0,101	0,174	0,081	0,154	0,112	0,091	0,165
9	14		2,750	2,383	4,128	1,504	1,504	2,780	0,902	3,918
		L9-14	2,664	2,309	3,999	1,447	1,428	2,695	0,856	3,798
		L10-9	0,105	0,092	0,159	0,075	0,146	0,100	0,087	0,150
		T4-9	1,809	1,578	2,718	1,100	1,329	1,895	0,797	2,580
		T8-9	0,756	0,667	1,140	0,276	0,000	0,701	0,000	1,080
14	9									
		L14-9	0,091	0,079	0,135	0,058	0,099	0,086	0,059	0,129
		L13-14	0,091	0,079	0,135	0,058	0,099	0,086	0,059	0,129
13	14		0,964	0,837	1,449	0,530	0,530	0,902	0,361	1,275

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L13-14	0,827	0,718	1,245	0,448	0,434	0,775	0,296	1,095
		L12-13	0,265	0,231	0,399	0,127	0,089	0,243	0,060	0,351
		L6-13	0,568	0,493	0,852	0,323	0,347	0,540	0,236	0,750
14	13									
		L14-13	0,138	0,120	0,207	1,583	0,098	0,128	0,067	0,183
		L9-14	0,138	0,120	0,207	1,583	0,098	0,128	0,067	0,183
11	10		0,719	0,623	1,080	0,447	0,447	0,675	0,322	0,924
		L11-10	0,410	0,356	0,615	0,254	0,251	0,385	0,181	0,525
		L6-11	0,410	0,346	0,615	0,254	0,251	0,385	0,181	0,525
10	11									
		L10-11	0,309	0,268	0,465	0,193	0,196	0,290	0,141	0,396
		L9-10	0,309	0,268	0,465	0,193	0,196	0,290	0,141	0,396
6	11		3,057	2,651	4,593	1,566	1,566	3,062	0,916	4,395
		L6-11	2,951	2,559	4,431	1,493	1,459	2,955	0,853	4,242
		L12-6	0,214	0,187	0,324	0,079	0,020	0,198	0,012	0,309
		L13-6	0,165	0,144	0,249	0,072	0,078	0,152	0,046	0,237
		T5-6	2,584	2,240	3,873	1,343	1,396	2,612	0,816	3,708
11	6									
		L11-6	0,110	0,095	0,165	0,078	0,156	0,107	0,091	0,156
		L10-11	0,110	0,095	0,165	0,078	0,156	0,107	0,091	0,156
6	13		3,121	2,707	4,689	1,582	1,582	3,123	0,920	4,497
		L6-13	2,951	2,559	4,431	1,504	1,523	2,962	0,886	4,248
		L11-6	0,100	0,087	0,150	0,073	0,153	0,097	0,089	0,144
		L12-6	0,216	0,189	0,327	0,078	0,018	0,200	0,011	0,315
		T5-6	2,641	2,290	3,960	1,359	1,414	2,667	0,822	3,798
13	6									
		L13-6	0,180	0,157	0,273	0,078	0,082	0,167	0,048	0,261
		L12-13	0,136	0,119	0,207	0,044	0,018	0,125	0,011	0,198
		L14-13	0,044	0,038	0,066	0,043	0,101	0,046	0,059	0,063
6	12		3,028	2,626	4,548	1,542	1,542	3,029	0,903	4,350
		L6-12	2,796	2,425	4,197	1,455	1,520	2,814	0,890	4,011
		L11-6	0,097	0,084	0,144	0,071	0,150	0,093	0,088	0,138
		L13-6	0,158	0,138	0,240	0,067	0,074	0,145	0,044	0,228
		T5-6	2,555	2,215	3,831	1,322	1,379	2,581	0,807	3,663
12	6									
		L12-6	0,233	0,204	0,354	0,087	0,025	0,217	0,014	0,339
		L13-12	0,119	0,104	0,180	0,035	0,025	0,108	0,014	0,174
		T7-12	0,349	0,306	0,531	0,119	0,000	0,321	0,000	0,507
12	13		1,305	1,127	1,953	0,427	0,427	1,192	0,252	1,842
		L12-13	1,098	0,953	1,650	0,324	0,250	0,995	0,147	1,557
		L6-12	0,314	0,276	0,474	0,151	0,250	0,290	0,147	0,447
		T7-12	0,793	0,696	1,200	0,174	0,000	0,707	0,000	1,131
13	12									
		L13-12	0,228	0,200	0,342	0,109	0,181	0,210	0,107	0,324
		L14-13	0,050	0,044	0,075	0,026	0,048	0,046	0,029	0,072
		L6-13	0,178	0,156	0,267	0,085	0,137	0,167	0,081	0,252

Πίνακας 4.20: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0,5 \Omega$			$R_F = 10 \Omega$				
			3LG	LL		LG	LLG			
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		6,069	5,291	9,165	3,692	3,692	3,974	3,907	3,252
		L1-2	5,452	4,753	8,229	3,411	3,601	3,648	3,811	2,922
		L5-1	0,200	0,175	0,303	0,085	0,011	0,107	0,012	0,108
		SM1	5,253	4,579	7,929	3,326	3,590	3,547	3,799	2,814
2	1									
		L2-1	0,620	0,541	0,939	0,282	0,092	0,344	0,098	0,333
		L3-2	0,042	0,037	0,063	0,017	0,002	0,022	0,002	0,024
		L4-2	0,088	0,077	0,135	0,035	0,004	0,046	0,004	0,048
		L5-2	0,061	0,054	0,093	0,023	0,005	0,032	0,006	0,033
		SM2	0,430	0,376	0,651	0,209	0,103	0,249	0,109	0,231
1	5		5,809	5,064	8,772	3,588	3,588	3,825	3,776	3,189
		L1-5	5,572	4,857	8,412	3,478	3,551	3,697	3,737	3,057
		L2-1	0,550	0,480	0,831	0,245	0,056	0,305	0,059	0,303
		SM1	5,025	4,380	7,584	3,234	3,497	3,413	3,680	2,757
5	1									
		L5-1	0,237	0,207	0,360	0,110	0,037	0,133	0,039	0,132
		L2-5	0,040	0,035	0,060	0,011	0,018	0,022	0,019	0,021
		L4-5	0,139	0,122	0,210	0,064	0,019	0,078	0,020	0,078
		T6-5	0,140	0,124	0,213	0,058	0,000	0,075	0,000	0,078
2	5		3,158	2,751	4,764	2,603	2,603	2,644	2,871	2,112
		L2-5	2,842	2,475	4,287	2,409	2,544	2,426	2,806	1,899
		L3-2	0,122	0,106	0,183	0,071	0,012	0,086	0,013	0,081
		L4-2	0,253	0,221	0,384	0,147	0,025	0,178	0,027	0,171
		L1-2	1,963	1,716	2,964	1,227	0,454	1,432	0,501	1,314
		SM2	0,507	0,447	0,765	0,969	2,073	0,957	2,286	0,339
5	2									
		L5-2	0,317	0,276	0,480	0,194	0,060	0,227	0,066	0,213
		L1-5	0,305	0,267	0,462	0,199	0,096	0,228	0,106	0,204
		L4-5	0,118	0,105	0,180	0,077	0,037	0,087	0,040	0,081
		T6-5	0,132	0,115	0,201	0,073	0,000	0,090	0,000	0,090
2	4		3,156	2,749	4,761	2,601	2,601	2,642	2,868	2,109
		L2-4	2,874	2,504	4,335	2,431	2,554	2,448	2,816	1,920
		L3-2	0,120	0,105	0,183	0,070	0,011	0,084	0,012	0,081
		L5-2	0,288	0,251	0,435	0,170	0,036	0,204	0,040	0,192
		L1-2	1,962	1,715	2,964	1,227	0,454	1,432	0,500	1,314
		SM2	0,507	0,446	0,765	0,969	2,072	0,956	2,285	0,339
4	2									
		L2-4	0,282	0,246	0,426	0,171	0,048	0,201	0,052	0,189
		L3-4	0,120	0,105	0,183	0,070	0,011	0,084	0,012	0,081
		L5-4	0,143	0,127	0,219	0,098	0,058	0,107	0,064	0,096
		T9-4	0,260	0,228	0,393	0,143	0,000	0,178	0,000	0,174
2	3		3,141	2,735	4,737	2,594	2,594	2,630	2,860	2,103
		L2-3	3,002	2,615	4,530	2,509	2,568	2,533	2,832	2,010
		L4-2	0,254	0,222	0,384	0,149	0,026	0,179	0,029	0,171
		L5-2	0,290	0,253	0,438	0,173	0,039	0,206	0,043	0,195
		L1-2	1,956	1,710	2,955	1,226	0,453	1,429	0,500	1,311
		SM2	0,505	0,445	0,762	0,967	2,069	0,953	2,281	0,339

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3	2									
		L3-2	0,139	0,121	0,210	0,085	0,026	0,100	0,029	0,093
		L4-3	0,139	0,121	0,210	0,085	0,026	0,100	0,029	0,093
4	5		2,172	1,889	3,270	1,359	1,359	1,704	1,082	2,163
		L4-5	1,191	1,037	1,791	0,733	0,710	0,925	0,566	1,185
		L2-4	0,565	0,492	0,852	0,395	0,480	0,462	0,382	0,564
		L3-4	0,271	0,237	0,408	0,190	0,231	0,222	0,184	0,270
		T9-4	0,358	0,315	0,537	0,149	0,000	0,258	0,000	0,357
5	4									
		L5-4	0,981	0,856	1,482	0,626	0,648	0,780	0,516	0,981
		L1-5	0,518	0,453	0,780	0,321	0,315	0,407	0,251	0,516
		L2-5	0,341	0,298	0,514	0,254	0,334	0,285	0,266	0,339
		T6-5	0,123	0,108	0,189	0,052	0,000	0,090	0,000	0,123
3	4		1,323	1,150	1,992	0,870	0,870	1,114	0,683	1,443
		L3-4	0,686	0,596	1,032	0,462	0,486	0,581	0,381	0,747
		L2-3	0,686	0,596	1,032	0,462	0,486	0,581	0,381	0,747
4	3									
		L4-3	0,640	0,556	0,963	0,409	0,386	0,534	0,303	0,699
		L2-4	0,133	0,116	0,201	0,111	0,159	0,124	0,125	0,147
		L5-4	0,342	0,299	0,516	0,226	0,227	0,290	0,178	0,375
		T9-4	0,167	0,147	0,252	0,073	0,000	0,131	0,000	0,183
9	10		2,850	2,487	4,308	0,938	0,938	1,526	0,647	2,103
		L9-10	2,742	2,393	4,143	0,891	0,871	1,479	0,601	2,022
		L14-9	0,084	0,074	0,126	0,033	0,059	0,051	0,041	0,063
		T4-9	1,879	1,650	2,841	0,678	0,830	1,047	0,573	1,386
		T8-9	0,785	0,697	1,191	0,172	0,000	0,399	0,000	0,582
10	9									
		L10-9	0,114	0,100	0,174	0,048	0,092	0,072	0,064	0,084
		L11-10	0,114	0,100	0,174	0,048	0,092	0,072	0,064	0,084
9	14		2,716	2,371	4,107	0,919	0,919	1,488	0,637	2,046
		L9-14	2,632	2,298	3,978	0,884	0,873	1,449	0,604	1,983
		L10-9	0,104	0,090	0,159	0,046	0,089	0,068	0,062	0,078
		T4-9	1,787	1,570	2,703	0,673	0,812	1,018	0,563	1,347
		T8-9	0,747	0,664	1,134	0,169	0,000	0,389	0,000	0,564
14	9									
		L14-9	0,089	0,079	0,135	0,035	0,060	0,054	0,042	0,069
		L13-14	0,089	0,079	0,135	0,035	0,060	0,054	0,042	0,069
13	14		0,954	0,833	1,443	0,453	0,453	0,686	0,322	0,978
		L13-14	0,818	0,714	1,236	0,383	0,371	0,590	0,264	0,840
		L12-13	0,262	0,230	0,399	0,108	0,076	0,186	0,054	0,270
		L6-13	0,562	0,491	0,849	0,276	0,296	0,411	0,210	0,576
14	13									
		L14-13	0,136	0,119	0,207	0,071	0,084	0,099	0,060	0,141
		L9-14	0,136	0,119	0,207	0,071	0,084	0,099	0,060	0,141
11	10		0,715	0,621	1,077	0,399	0,399	0,559	0,295	0,774
		L11-10	0,407	0,354	0,615	0,226	0,224	0,319	0,166	0,441
		L6-11	0,407	0,354	0,615	0,226	0,224	0,319	0,166	0,441
10	11									
		L10-11	0,307	0,267	0,462	0,173	0,175	0,240	0,129	0,333
		L9-10	0,307	0,267	0,462	0,173	0,175	0,240	0,129	0,333
6	11		3,010	2,633	4,560	0,930	0,930	1,523	0,642	2,106
		L6-11	2,905	2,542	4,401	0,886	0,866	1,480	0,598	2,031
		L12-6	0,211	0,186	0,321	0,047	0,012	0,100	0,008	0,150

		L13-6	0,162	0,143	0,246	0,042	0,046	0,082	0,032	0,114
		T5-6	2,544	2,225	3,849	0,797	0,829	1,316	0,572	1,776
11	6									
		L11-6	0,108	0,095	0,162	0,047	0,092	0,065	0,064	0,075
		L10-11	0,108	0,095	0,162	0,047	0,092	0,065	0,064	0,075
6	13		3,073	2,689	4,656	0,934	0,934	1,536	0,644	2,127
		L6-13	2,905	2,542	4,401	0,888	0,899	1,463	0,620	2,010
		L11-6	0,098	0,086	0,150	0,043	0,090	0,061	0,062	0,069
		L12-6	0,213	0,188	0,324	0,046	0,011	0,100	0,007	0,150
		T5-6	2,600	2,275	3,933	0,802	0,835	1,329	0,575	1,797
13	6									
		L13-6	0,177	0,156	0,270	0,046	0,049	0,087	0,034	0,123
		L12-13	0,134	0,119	0,207	0,026	0,011	0,065	0,007	0,093
		L14-13	0,043	0,037	0,063	0,025	0,060	0,030	0,041	0,030
6	12		2,981	2,608	4,518	0,922	0,922	1,514	0,636	2,097
		L6-12	2,752	2,408	4,167	0,871	0,909	1,406	0,627	1,935
		L11-6	0,095	0,083	0,144	0,043	0,089	0,060	0,062	0,066
		L13-6	0,156	0,137	0,237	0,040	0,044	0,079	0,031	0,111
		T5-6	2,515	2,200	3,804	0,791	0,825	1,307	0,569	1,767
12	6									
		L12-6	0,229	0,203	0,351	0,052	0,015	0,110	0,010	0,162
		L13-12	0,117	0,104	0,180	0,021	0,015	0,058	0,010	0,084
		T7-12	0,344	0,304	0,525	0,071	0,000	0,165	0,000	0,243
12	13		1,294	1,123	1,944	0,377	0,377	0,887	0,230	1,389
		L12-13	1,089	0,950	1,644	0,285	0,220	0,745	0,135	1,173
		L6-12	0,311	0,275	0,471	0,133	0,220	0,226	0,135	0,336
		T7-12	0,786	0,693	1,194	0,154	0,000	0,538	0,000	0,855
13	12									
		L13-12	0,226	0,199	0,342	0,096	0,160	0,164	0,097	0,234
		L14-13	0,050	0,044	0,075	0,023	0,043	0,039	0,026	0,054
		L6-13	0,176	0,156	0,267	0,075	0,121	0,124	0,074	0,189

Πίνακας 4.21: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

		$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$					
		3LG	LL		LG		LLG			
Branches		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)	
Bus From	Bus To	Contributions								
1	2		5,994	5,272	9,123	2,013	2,103	2,125	2,040	1,932
		L1-2	5,384	4,736	8,202	1,860	1,963	1,945	1,990	1,737
		L5-1	0,198	0,174	0,303	0,046	0,006	0,060	0,006	0,063
		SM1	5,187	4,562	7,899	1,814	1,958	1,889	1,984	1,674
2	1									
		L2-1	0,612	0,540	0,936	0,154	0,050	0,190	0,051	0,198
		L3-2	0,042	0,037	0,063	0,009	0,001	0,012	0,001	0,015
		L4-2	0,087	0,077	0,132	0,019	0,002	0,026	0,002	0,027
		L5-2	0,061	0,054	0,093	0,013	0,003	0,018	0,003	0,021
		SM2	0,425	0,375	0,648	0,114	0,056	0,137	0,057	0,138
1	5		5,739	5,046	8,739	1,991	1,991	2,089	2,013	1,920
		L1-5	5,505	4,840	8,382	1,930	1,970	2,017	1,993	1,842
		L2-1	0,543	0,479	0,828	0,136	0,031	0,172	0,032	0,183

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		SM1	4,965	4,365	7,557	1,795	1,940	1,856	1,962	1,659
5	1									
		L5-1	0,235	0,206	0,357	0,061	0,021	0,075	0,021	0,078
		L2-5	0,039	0,035	0,060	0,006	0,010	0,013	0,010	0,012
		L4-5	0,137	0,121	0,210	0,035	0,011	0,044	0,011	0,045
		T6-5	0,139	0,123	0,213	0,032	0,000	0,043	0,000	0,048
2	5		3,131	2,741	4,749	1,722	1,722	1,764	1,802	1,551
		L2-5	2,817	2,466	4,272	1,593	1,683	1,615	1,761	1,395
		L3-2	0,121	0,106	0,183	0,047	0,008	0,059	0,008	0,060
		L4-2	0,251	0,220	0,381	0,097	0,016	0,122	0,017	0,126
		L1-2	1,945	1,710	2,955	0,812	0,300	0,974	0,314	0,966
		SM2	0,503	0,445	0,762	0,641	1,371	0,609	1,435	0,249
5	2									
		L5-2	0,314	0,275	0,477	0,128	0,039	0,155	0,041	0,156
		L1-5	0,302	0,266	0,459	0,132	0,064	0,155	0,066	0,150
		L4-5	0,117	0,104	0,018	0,051	0,024	0,059	0,025	0,060
		T6-5	0,131	0,115	0,201	0,048	0,000	0,062	0,000	0,060
2	4		3,128	2,739	4,743	1,721	1,721	1,763	1,801	1,551
		L2-4	2,849	2,495	4,320	1,608	1,690	1,631	1,768	1,413
		L3-2	0,119	0,105	0,180	0,046	0,007	0,058	0,007	0,060
		L5-2	0,286	0,250	0,435	0,113	0,024	0,139	0,025	0,141
		L1-2	1,945	1,709	2,952	0,812	0,300	0,975	0,314	0,966
		SM2	0,503	0,445	0,762	0,641	1,371	0,609	1,435	0,249
4	2									
		L2-4	0,279	0,245	0,423	0,113	0,031	0,137	0,033	0,138
		L3-4	0,119	0,105	0,180	0,046	0,007	0,058	0,007	0,060
		L5-4	0,142	0,126	0,216	0,065	0,038	0,072	0,040	0,072
		T9-4	0,258	0,228	0,390	0,095	0,000	0,122	0,000	0,129
2	3		3,113	2,726	4,722	1,720	1,720	1,760	1,801	1,548
		L2-3	2,976	2,605	4,512	1,663	1,702	1,694	1,782	1,482
		L4-2	0,252	0,221	0,381	0,098	0,017	0,123	0,018	0,126
		L5-2	0,288	0,252	0,438	0,115	0,026	0,141	0,027	0,144
		L1-2	1,939	1,704	2,943	0,812	0,300	0,975	0,314	0,966
		SM2	0,501	0,443	0,759	0,641	1,371	0,609	1,436	0,249
3	2									
		L3-2	0,137	0,121	0,210	0,056	0,017	0,068	0,018	0,069
		L4-3	0,137	0,121	0,210	0,056	0,017	0,068	0,018	0,069
4	5		2,158	1,883	3,261	1,129	1,129	1,365	0,940	1,617
		L4-5	1,183	1,034	1,785	0,609	0,590	0,740	0,492	0,885
		L2-4	0,561	0,491	0,849	0,329	0,399	0,374	0,332	0,420
		L3-4	0,270	0,236	0,408	0,158	0,192	0,180	0,160	0,201
		T9-4	0,355	0,314	0,537	0,124	0,000	0,201	0,000	0,267
5	4									
		L5-4	0,975	0,854	1,476	0,520	0,539	0,626	0,449	0,732
		L1-5	0,515	0,451	0,780	0,267	0,261	0,326	0,218	0,387
		L2-5	0,339	0,297	0,513	0,211	0,277	0,232	0,231	0,255
		T6-5	0,123	0,108	0,186	0,043	0,000	0,070	0,000	0,093
3	4		1,318	1,148	1,989	0,786	0,786	0,986	0,633	1,218
		L3-4	0,683	0,595	1,029	0,418	0,439	0,515	0,354	0,630
		L2-3	0,683	0,595	1,029	0,418	0,439	0,515	0,354	0,630
4	3									
		L4-3	0,637	0,555	0,960	0,369	0,349	0,472	0,281	0,588
		L2-4	0,133	0,116	0,201	0,100	0,144	0,112	0,116	0,123
		L5-4	0,341	0,298	0,516	0,204	0,205	0,257	0,165	0,315

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		T9-4	0,166	0,146	0,252	0,066	0,000	0,113	0,000	0,153
9	10		2,805	2,472	4,281	0,656	0,656	0,890	0,498	1,176
		L9-10	2,698	2,379	4,119	0,624	0,610	0,855	0,462	1,131
		L14-9	0,083	0,073	0,126	0,023	0,041	0,034	0,031	0,036
		T4-9	1,849	1,641	2,826	0,481	0,581	0,617	0,440	0,777
		T8-9	0,773	0,693	1,182	0,121	0,000	0,234	0,000	0,324
10	9									
		L10-9	0,113	0,100	0,171	0,034	0,065	0,048	0,049	0,048
		L11-10	0,113	0,100	0,171	0,034	0,065	0,048	0,049	0,048
9	14		2,673	2,356	4,080	0,648	0,648	0,878	0,492	1,161
		L9-14	2,590	2,284	3,954	0,624	0,615	0,857	0,467	1,125
		L10-9	0,103	0,091	0,156	0,032	0,063	0,045	0,048	0,045
		T4-9	1,759	1,560	2,688	0,474	0,573	0,607	0,435	0,765
		T8-9	0,735	0,660	1,125	0,119	0,000	0,231	0,000	0,321
14	9									
		L14-9	0,088	0,078	0,135	0,025	0,043	0,036	0,032	0,039
		L13-14	0,088	0,078	0,135	0,025	0,043	0,036	0,032	0,039
13	14		0,944	0,829	1,434	0,388	0,388	0,525	0,288	0,744
		L13-14	0,810	0,711	1,230	0,328	0,318	0,460	0,236	0,639
		L12-13	0,259	0,229	0,396	0,093	0,065	0,145	0,048	0,207
		L6-13	0,556	0,488	0,843	0,237	0,254	0,316	0,188	0,438
14	13									
		L14-13	0,135	0,118	0,204	0,061	0,018	0,081	0,053	0,105
		L9-14	0,135	0,118	0,204	0,061	0,018	0,081	0,053	0,105
11	10		0,710	0,619	1,074	0,353	0,353	0,470	0,269	0,633
		L11-10	0,405	0,353	0,612	0,200	0,199	0,267	0,151	0,360
		L6-11	0,405	0,353	0,612	0,200	0,199	0,267	0,151	0,360
10	11									
		L10-11	0,305	0,267	0,462	0,153	0,155	0,203	0,118	0,273
		L9-10	0,305	0,267	0,462	0,153	0,155	0,203	0,118	0,273
6	11		2,950	2,612	4,524	0,651	0,607	0,885	0,494	1,170
		L6-11	2,848	2,521	4,368	0,621	0,607	0,864	0,460	1,128
		L12-6	0,206	0,185	0,321	0,033	0,008	0,058	0,006	0,084
		L13-6	0,159	0,142	0,246	0,030	0,032	0,051	0,025	0,063
		T5-6	2,494	2,207	3,816	0,558	0,580	0,772	0,440	0,987
11	6									
		L11-6	0,106	0,094	0,162	0,033	0,065	0,043	0,049	0,042
		L10-11	0,106	0,094	0,162	0,033	0,065	0,043	0,049	0,042
6	13		3,011	2,667	4,620	0,653	0,653	0,889	0,495	1,176
		L6-13	2,847	2,521	4,365	0,620	0,628	0,849	0,476	1,110
		L11-6	0,096	0,085	0,147	0,030	0,063	0,040	0,048	0,039
		L12-6	0,208	0,186	0,324	0,032	0,008	0,057	0,006	0,081
		T5-6	2,548	2,256	3,903	0,560	0,583	0,776	0,442	0,993
13	6									
		L13-6	0,173	0,155	0,267	0,032	0,034	0,054	0,026	0,069
		L12-13	0,131	0,118	0,204	0,018	0,008	0,038	0,006	0,051
		L14-13	0,042	0,037	0,063	0,018	0,042	0,021	0,032	0,015
6	12		2,922	2,587	4,482	0,647	0,647	0,882	0,491	1,170
		L6-12	2,698	2,389	4,134	0,611	0,638	0,820	0,484	1,077
		L11-6	0,093	0,083	0,144	0,030	0,063	0,040	0,048	0,036
		L13-6	0,153	0,136	0,237	0,028	0,031	0,049	0,024	0,060
		T5-6	2,466	2,183	3,774	0,555	0,579	0,768	0,439	0,984
12	6									

		L12-6	0,225	0,201	0,348	0,036	0,010	0,064	0,008	0,090
		L13-12	0,115	0,103	0,177	0,015	0,010	0,034	0,008	0,045
		T7-12	0,337	0,302	0,522	0,050	0,000	0,097	0,000	0,135
12	13		1,281	1,119	1,938	0,332	0,332	0,656	0,212	0,996
		L12-13	1,078	0,946	01,638	0,252	0,194	0,548	0,124	0,843
		L6-12	0,308	0,274	0,471	0,117	0,194	0,178	0,124	0,243
		T7-12	0,779	0,690	1,191	0,135	0,000	0,391	0,000	0,612
13	12									
		L13-12	0,223	0,199	0,339	0,085	0,141	0,129	0,090	0,174
		L14-13	0,174	0,044	0,075	0,020	0,038	0,031	0,024	0,039
		L6-13	0,049	0,155	0,264	0,066	0,107	0,098	0,068	0,138

Πίνακας 4.22: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 2 \Omega$			$R_F = 40 \Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		5,767	5,215	9,033	1,034	1,034	1,068	1,036	1,023
		L1-2	5,181	4,685	8,112	0,955	1,009	0,977	1,011	0,918
		L5-1	0,190	0,172	0,300	0,024	0,003	0,031	0,003	0,033
		SM1	4,991	4,513	7,815	0,932	1,006	0,948	1,008	0,885
2	1									
		L2-1	0,589	0,534	0,924	0,079	0,026	0,097	0,026	0,105
		L3-2	0,040	0,036	0,063	0,005	0,001	0,006	0,001	0,006
		L4-2	0,084	0,076	0,132	0,010	0,001	0,013	0,001	0,015
		L5-2	0,058	0,053	0,093	0,007	0,001	0,009	0,001	0,009
		SM2	0,409	0,371	0,642	0,058	0,029	0,070	0,029	0,072
1	5		5,533	4,993	8,649	1,030	1,030	1,060	1,031	1,020
		L1-5	5,307	4,789	8,295	0,998	1,019	1,023	1,020	0,978
		L2-1	0,524	0,474	0,819	0,070	0,016	0,089	0,016	0,096
		SM1	4,786	4,319	7,479	0,928	1,004	0,941	1,005	0,882
5	1									
		L5-1	0,226	0,204	0,354	0,032	0,011	0,039	0,011	0,042
		L2-5	0,038	0,035	0,060	0,003	0,005	0,007	0,005	0,006
		L4-5	0,132	0,120	0,207	0,018	0,005	0,023	0,005	0,024
		T6-5	0,134	0,122	0,210	0,017	0,000	0,022	0,000	0,024
2	5		3,065	2,719	4,710	0,972	0,972	0,992	0,989	0,930
		L2-5	2,758	2,446	4,236	0,900	0,950	0,907	0,966	0,837
		L3-2	0,118	0,105	0,183	0,026	0,004	0,034	0,005	0,036
		L4-2	0,246	0,219	0,378	0,055	0,009	0,070	0,009	0,075
		L1-2	1,905	1,696	2,931	0,458	0,169	0,557	0,172	0,579
		SM2	0,492	0,432	0,756	0,362	0,775	0,334	0,787	0,150
5	2									
		L5-2	0,308	0,273	0,474	0,072	0,022	0,089	0,023	0,093
		L1-5	0,296	0,264	0,456	0,074	0,036	0,088	0,036	0,090
		L4-5	0,114	0,103	0,177	0,029	0,014	0,033	0,014	0,036
		T6-5	0,128	0,114	0,198	0,027	0,000	0,036	0,000	0,039
2	4		3,063	2,716	4,704	0,972	0,972	0,992	0,988	0,930
		L2-4	2,789	2,474	4,284	0,908	0,954	0,916	0,971	0,849
		L3-2	0,117	0,104	0,180	0,026	0,004	0,033	0,004	0,036

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L5-2	0,280	0,248	0,429	0,064	0,014	0,080	0,014	0,084
		L1-2	1,905	1,695	2,928	0,458	0,170	0,557	0,172	0,579
		SM2	0,492	0,441	0,756	0,362	0,774	0,334	0,787	0,150
4	2									
		L2-4	0,273	0,243	0,420	0,064	0,018	0,079	0,018	0,084
		L3-4	0,117	0,104	0,180	0,026	0,004	0,033	0,004	0,036
		L5-4	0,139	0,125	0,217	0,037	0,022	0,041	0,022	0,042
		T9-4	0,252	0,226	0,387	0,053	0,000	0,071	0,000	0,078
2	3		3,049	2,704	4,683	0,972	0,972	0,991	0,989	0,930
		L2-3	2,915	2,584	4,476	0,940	0,962	0,953	0,979	0,888
		L4-2	0,247	0,219	0,378	0,056	0,010	0,071	0,010	0,075
		L5-2	0,282	0,250	0,435	0,065	0,015	0,081	0,015	0,087
		L1-2	1,899	1,690	2,919	0,459	0,170	0,558	0,173	0,579
		SM2	0,491	0,439	0,753	0,362	0,775	0,334	0,789	0,150
3	2									
		L3-2	0,135	0,120	0,207	0,032	0,010	0,039	0,010	0,042
		L4-3	0,135	0,120	0,207	0,032	0,010	0,039	0,010	0,042
4	5		2,128	1,872	3,243	0,788	0,788	0,899	0,703	0,978
		L4-5	1,167	1,028	1,776	0,425	0,412	0,486	0,368	0,534
		L2-4	0,553	0,488	0,843	0,229	0,278	0,249	0,248	0,255
		L3-4	0,266	0,235	0,405	0,110	0,134	0,119	0,119	0,123
		T9-4	0,350	0,312	0,534	0,086	0,000	0,129	0,000	0,162
5	4									
		L5-4	0,961	0,849	1,467	0,363	0,376	0,413	0,335	0,444
		L1-5	0,508	0,449	0,774	0,186	0,182	0,214	0,163	0,234
		L2-5	0,334	0,295	0,510	0,147	0,193	0,155	0,173	0,153
		T6-5	0,121	0,108	0,186	0,030	0,000	0,045	0,000	0,057
3	4		1,306	1,143	1,980	0,625	0,625	0,747	0,533	0,855
		L3-4	0,677	0,592	1,026	0,332	0,349	0,391	0,297	0,444
		L2-3	0,677	0,592	1,026	0,332	0,349	0,391	0,297	0,444
4	3									
		L4-3	0,631	0,553	0,957	0,294	0,277	0,356	0,236	0,414
		L2-4	0,131	0,116	0,201	0,080	0,114	0,087	0,097	0,087
		L5-4	0,338	0,297	0,513	0,162	0,163	0,195	0,139	0,222
		T9-4	0,165	0,146	0,249	0,053	0,000	0,083	0,000	0,108
9	10		2,687	2,435	4,218	0,406	0,406	0,476	0,339	0,588
		L9-10	2,585	2,344	4,059	0,386	0,378	0,464	0,315	0,564
		L14-9	0,079	0,072	0,126	0,014	0,026	0,020	0,021	0,018
		T4-9	1,772	1,616	2,784	0,298	0,360	0,334	0,300	0,387
		T8-9	0,740	0,683	1,167	0,075	0,000	0,124	0,000	0,162
10	9									
		L10-9	0,108	0,098	0,171	0,021	0,040	0,028	0,033	0,024
		L11-10	0,108	0,098	0,171	0,021	0,040	0,028	0,033	0,024
9	14		2,564	2,321	4,020	0,404	0,404	0,472	0,336	0,585
		L9-14	2,484	2,249	3,897	0,388	0,388	0,462	0,319	0,567
		L10-9	0,098	0,090	0,153	0,020	0,039	0,027	0,033	0,021
		T4-9	1,687	1,537	2,646	0,295	0,357	0,331	0,297	0,384
		T8-9	0,705	0,650	1,110	0,074	0,000	0,123	0,000	0,162
14	9									
		L14-9	0,084	0,077	0,132	0,016	0,026	0,021	0,022	0,018
		L13-14	0,084	0,077	0,132	0,016	0,026	0,021	0,022	0,018
13	14		0,924	0,820	1,419	0,294	0,294	0,375	0,234	0,474
		L13-14	0,792	0,703	1,218	0,249	0,241	0,318	0,191	0,408
		L12-13	0,254	0,226	0,393	0,070	0,049	0,099	0,039	0,132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L6-13	0,544	0,483	0,834	0,180	0,192	0,219	0,153	0,279
14	13									
		L14-13	0,132	0,117	0,204	0,046	0,055	0,057	0,043	0,069
		L9-14	0,132	0,117	0,204	0,046	0,055	0,057	0,043	0,069
11	10		0,700	0,615	1,065	0,279	0,279	0,349	0,225	0,435
		L11-10	0,399	0,351	0,609	0,158	0,157	0,198	0,126	0,249
		L6-11	0,399	0,351	0,609	0,158	0,157	0,198	0,126	0,249
10	11									
		L10-11	0,301	0,265	0,459	0,121	0,122	0,151	0,098	0,189
		L9-10	0,301	0,265	0,459	0,121	0,122	0,151	0,098	0,189
6	11		2,802	2,562	4,437	0,404	0,404	0,474	0,337	0,585
		L6-11	2,705	2,473	4,281	0,385	0,376	0,464	0,314	0,564
		L12-6	0,196	0,181	0,312	0,020	0,005	0,031	0,004	0,042
		L13-6	0,151	0,139	0,240	0,018	0,020	0,029	0,017	0,033
		T5-6	2,369	2,165	3,744	0,346	0,360	0,417	0,300	0,495
11	6									
		L11-6	0,101	0,092	0,159	0,020	0,040	0,026	0,033	0,021
		L10-11	0,101	0,092	0,159	0,020	0,040	0,026	0,033	0,021
6	13		2,857	2,615	4,530	0,404	0,404	0,475	0,337	0,585
		L6-13	2,701	2,472	4,278	0,384	0,389	0,455	0,325	0,555
		L11-6	0,091	0,084	0,144	0,019	0,039	0,024	0,033	0,018
		L12-6	0,198	0,183	0,315	0,020	0,005	0,031	0,004	0,042
		T5-6	2,418	2,212	3,825	0,347	0,361	0,418	0,301	0,780
13	6									
		L13-6	0,164	0,152	0,261	0,020	0,021	0,031	0,018	0,033
		L12-13	0,125	0,115	0,261	0,011	0,005	0,020	0,004	0,027
		L14-13	0,040	0,036	0,063	0,011	0,026	0,013	0,021	0,009
6	12		2,777	2,537	3,395	0,403	0,403	0,473	0,335	0,585
		L6-12	2,564	2,343	4,053	0,380	0,397	0,440	0,331	0,540
		L11-6	0,089	0,081	0,141	0,019	0,039	0,024	0,033	0,018
		L13-6	0,145	0,134	0,231	0,018	0,019	0,028	0,016	0,030
		T5-6	2,343	2,141	3,702	0,345	0,360	0,415	0,300	0,492
12	6									
		L12-6	0,214	0,197	0,342	0,023	0,006	0,034	0,005	0,045
		L13-12	0,109	0,101	0,174	0,009	0,006	0,019	0,005	0,024
		T7-12	0,320	0,296	0,513	0,031	0,000	0,051	0,000	0,069
12	13		1,255	1,109	1,920	0,263	0,263	0,421	0,183	0,588
		L12-13	1,056	0,938	1,623	0,199	0,154	0,348	0,107	0,495
		L6-12	0,302	0,272	0,465	0,093	0,154	0,120	0,107	0,141
		T7-12	0,763	0,684	1,179	0,107	0,000	0,241	0,000	0,360
13	12									
		L13-12	0,219	0,197	0,336	0,067	0,111	0,087	0,077	0,099
		L14-13	0,048	0,043	0,075	0,016	0,030	0,022	0,021	0,024
		L6-13	0,171	0,154	0,264	0,052	0,085	0,066	0,059	0,081

Πίνακας 4.23: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		3,258	2,826	4,896	3,898	3,898	3,781	4,828	2,481
		L1-2	2,042	1,777	3,076	1,862	0,712	1,965	0,882	1,557
		L5-1	0,304	0,265	0,456	0,286	0,132	0,299	0,164	0,231
		SM1	2,345	2,042	3,528	2,148	0,844	2,263	1,046	1,788
2	1									
		L2-1	1,219	1,062	1,830	2,041	3,210	1,969	3,976	0,927
		L3-2	0,128	0,112	0,192	0,110	0,022	0,119	0,028	0,099
		L4-2	0,267	0,232	0,402	0,228	0,046	0,248	0,057	0,204
		L5-2	0,303	0,263	0,456	0,263	0,064	0,282	0,079	0,231
		SM2	0,522	0,457	0,783	1,442	3,081	1,480	3,817	0,396
1	5		2,258	1,958	3,393	1,628	1,628	2,099	1,269	2,757
		L1-5	0,698	0,607	1,050	0,503	0,500	0,648	0,390	0,852
		L2-1	0,835	0,729	1,257	0,466	0,196	0,751	0,153	1,023
		SM1	1,532	1,335	2,304	0,967	0,690	1,388	0,538	1,872
5	1									
		L5-1	1,560	1,355	2,343	1,126	1,128	1,452	0,879	1,905
		L2-5	0,564	0,489	0,846	0,452	0,543	0,536	0,423	0,687
		L4-5	0,798	0,694	1,197	0,579	0,585	0,748	0,456	0,975
		T6-5	0,199	0,174	0,303	0,096	0,000	0,176	0,000	0,246
2	5		2,258	1,959	3,393	1,632	1,632	2,100	1,274	2,757
		L2-5	0,584	0,507	0,876	0,468	0,560	0,556	0,437	0,714
		L3-2	0,175	0,152	0,264	0,148	0,190	0,168	0,149	0,213
		L4-2	0,364	0,317	0,546	0,308	0,396	0,349	0,309	0,444
		L1-2	0,852	0,743	1,281	0,476	0,200	0,766	0,156	1,041
		SM2	0,273	0,239	0,411	0,450	0,955	0,381	0,745	0,333
5	2									
		L5-2	1,674	1,453	2,514	1,164	1,072	1,545	0,837	2,043
		L1-5	0,679	0,590	1,020	0,489	0,486	0,630	0,379	0,828
		L4-5	0,797	0,692	1,194	0,579	0,587	0,747	0,458	0,972
		T6-5	0,200	0,175	0,303	0,097	0,000	0,177	0,000	0,246
2	4		2,166	1,878	3,252	1,544	1,544	2,014	1,197	2,655
		L2-4	0,580	0,504	0,870	0,461	0,557	0,549	0,432	0,711
		L3-2	0,268	0,233	0,402	0,214	0,260	0,254	0,202	0,330
		L5-2	0,333	0,289	0,501	0,283	0,374	0,321	0,290	0,408
		L1-2	0,911	0,795	1,371	0,502	0,210	0,818	0,163	1,119
		SM2	0,272	0,237	0,408	0,459	0,989	0,386	0,767	0,333
4	2									
		L2-4	1,587	1,377	2,382	1,084	0,988	1,465	0,766	1,944
		L3-4	0,268	0,233	0,402	0,214	0,260	0,254	0,202	0,330
		L5-4	0,966	0,840	1,452	0,702	0,727	0,896	0,564	1,185
		T9-4	0,356	0,312	0,534	0,169	0,000	0,316	0,000	0,435
2	3		1,330	1,153	1,998	0,941	0,941	1,220	0,726	1,635
		L2-3	0,700	0,607	1,050	0,508	0,533	0,645	0,411	0,861
		L4-2	0,129	0,113	0,195	0,117	0,168	0,128	0,130	0,159
		L5-2	0,050	0,044	0,075	0,061	0,113	0,060	0,087	0,063
		L1-2	0,687	0,598	1,032	0,371	0,145	0,612	0,112	0,846
		SM2	0,189	0,165	0,285	0,313	0,672	0,261	0,519	0,231
3	2									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L3-2	0,632	0,548	0,948	0,434	0,410	0,578	0,316	0,777
		L4-3	0,632	0,548	0,948	0,434	0,410	0,578	0,316	0,777
4	5		2,276	1,974	3,420	1,644	1,664	2,117	1,283	2,778
		L4-5	0,817	0,709	1,224	0,593	0,600	0,766	0,468	0,996
		L2-4	0,375	0,326	0,564	0,316	0,405	0,359	0,316	0,459
		L3-4	0,180	0,157	0,270	0,152	0,195	0,173	0,152	0,219
		T9-4	0,264	0,232	0,396	0,127	0,000	0,235	0,000	0,324
5	4									
		L5-4	1,459	1,268	2,193	1,051	1,044	1,351	0,815	1,782
		L1-5	0,687	0,598	1,032	0,495	0,493	0,638	0,384	0,840
		L2-5	0,572	0,497	0,858	0,459	0,552	0,544	0,431	0,699
		T6-5	0,202	0,176	0,306	0,097	0,000	0,178	0,000	0,249
3	4		2,156	1,869	3,237	1,534	1,534	2,004	1,187	2,646
		L3-4	0,279	0,243	0,420	0,221	0,267	0,264	0,207	0,342
		L2-3	0,279	0,243	0,420	0,221	0,267	0,264	0,207	0,342
4	3									
		L4-3	1,877	1,628	2,817	1,312	1,267	1,740	0,981	2,301
		L2-4	0,559	0,486	0,840	0,446	0,541	0,530	0,419	0,687
		L5-4	0,966	0,840	1,452	0,700	0,726	0,895	0,562	1,188
		T9-4	0,355	0,312	0,534	0,168	0,000	0,315	0,000	0,435
9	10		1,047	0,908	1,572	0,652	0,652	1,015	0,462	1,359
		L9-10	0,841	0,730	1,263	0,519	0,510	0,820	0,362	1,092
		L14-9	0,023	0,020	0,036	0,016	0,027	0,025	0,019	0,030
		T4-9	0,558	0,487	0,837	0,394	0,490	0,565	0,348	0,723
		T8-9	0,262	0,231	0,396	0,109	0,000	0,238	0,000	0,342
10	9									
		L10-9	0,207	0,180	0,312	0,133	0,144	0,195	0,102	0,270
		L11-10	0,207	0,180	0,312	0,133	0,144	0,195	0,102	0,270
9	14		0,527	0,457	0,792	0,319	0,319	0,487	0,228	0,678
		L9-14	0,323	0,280	0,486	0,196	0,197	0,300	0,141	0,417
		L10-9	0,008	0,007	0,012	0,005	0,008	0,008	0,006	0,009
		T4-9	0,205	0,179	0,309	0,146	0,191	0,196	0,137	0,264
		T8-9	0,111	0,098	0,168	0,045	0,000	0,100	0,000	0,144
14	9									
		L14-9	0,204	0,177	0,306	0,123	0,122	0,187	0,087	0,264
		L13-14	0,204	0,177	0,306	0,123	0,122	0,187	0,087	0,264
13	14		0,523	0,454	0,786	0,317	0,317	0,483	0,226	0,675
		L13-14	0,207	0,180	0,312	0,125	0,123	0,190	0,088	0,267
		L12-13	0,073	0,063	0,111	0,038	0,025	0,065	0,018	0,093
		L6-13	0,136	0,118	0,204	0,088	0,098	0,128	0,070	0,174
14	13									
		L14-13	0,316	0,274	0,474	0,192	0,194	0,293	0,138	0,408
		L9-14	0,316	0,274	0,474	0,192	0,194	0,293	0,138	0,408
11	10		1,030	0,893	1,548	0,641	0,641	0,996	0,455	1,335
		L11-10	0,209	0,182	0,315	0,134	0,145	0,197	0,103	0,270
		L6-11	0,209	0,182	0,315	0,134	0,145	0,197	0,103	0,270
10	11									
		L10-11	0,822	0,713	1,233	0,507	0,498	0,800	0,354	1,065
		L9-10	0,822	0,713	1,233	0,507	0,498	0,800	0,354	1,065
6	11		0,722	0,626	1,083	0,449	0,449	0,678	0,323	0,927
		L6-11	0,417	0,362	0,627	0,258	0,256	0,392	0,184	0,534
		L12-6	0,039	0,034	0,060	0,017	0,001	0,035	0,001	0,051
		L13-6	0,023	0,020	0,036	0,010	0,004	0,020	0,003	0,030

		T5-6	0,356	0,309	0,534	0,231	0,253	0,340	0,182	0,456
11	6									
		L11-6	0,305	0,265	0,459	0,191	0,193	0,286	0,139	0,393
		L10-11	0,305	0,265	0,459	0,191	0,193	0,286	0,139	0,393
6	13		0,991	0,860	1,491	0,543	0,543	0,928	0,369	1,314
		L6-13	0,591	0,513	0,885	0,335	0,359	0,562	0,244	0,780
		L11-6	0,017	0,015	0,027	0,016	0,038	0,022	0,026	0,024
		L12-6	0,033	0,031	0,054	0,040	0,090	0,045	0,061	0,048
		T5-6	0,592	0,514	0,885	0,356	0,424	0,574	0,288	0,780
13	6									
		L13-6	0,404	0,352	0,609	0,209	0,185	0,371	0,125	0,537
		L12-13	0,271	0,237	0,411	0,129	0,090	0,249	0,061	0,360
		L14-13	0,136	0,118	0,204	0,082	0,098	0,126	0,066	0,180
6	12		1,306	1,128	1,956	0,430	0,430	1,195	0,253	1,845
		L6-12	0,326	0,287	0,492	0,155	0,255	0,302	0,150	0,465
		L11-6	0,016	0,014	0,024	0,013	0,036	0,020	0,021	0,024
		L13-6	0,170	0,150	0,258	0,082	0,135	0,160	0,080	0,243
		T5-6	0,476	0,419	0,717	0,225	0,361	0,447	0,213	0,678
12	6									
		L12-6	0,983	0,854	1,473	0,274	0,178	0,893	0,105	1,389
		L13-12	0,219	0,193	0,330	0,106	0,178	0,202	0,105	0,312
		T7-12	0,792	0,695	1,197	0,175	0,000	0,706	0,000	1,131
12	13		0,978	0,850	1,473	0,534	0,534	0,915	0,362	1,296
		L12-13	0,275	0,240	0,417	0,131	0,092	0,253	0,062	0,366
		L6-12	0,035	0,032	0,057	0,041	0,092	0,046	0,062	0,051
		T7-12	0,250	0,220	0,381	0,092	0,000	0,225	0,000	0,336
13	12									
		L13-12	0,709	0,616	1,065	0,406	0,444	0,671	0,301	0,939
		L14-13	0,134	0,116	0,201	0,081	0,097	0,125	0,065	0,177
		L6-13	0,575	0,499	0,864	0,325	0,349	0,546	0,237	0,762

Πίνακας 4.24: Far-end(99%) με $R_F = 0,5 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 10 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0,5 \Omega$			$R_F = 10 \Omega$				
			3LG	LL		LG	LLG			
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		3,234	2,817	4,878	2,670	2,670	2,724	2,975	2,121
		L1-2	2,026	1,772	3,060	1,276	0,488	1,482	0,543	1,332
		L5-1	0,301	0,264	0,456	0,196	0,091	0,225	0,101	0,198
		SM1	2,327	2,035	3,516	1,471	0,578	1,706	0,644	1,530
2	1									
		L2-1	1,209	1,059	1,824	1,398	2,199	1,357	2,450	0,792
		L3-2	0,127	0,111	0,192	0,075	0,015	0,090	0,017	0,084
		L4-2	0,265	0,231	0,402	0,156	0,032	0,187	0,035	0,174
		L5-2	0,301	0,262	0,453	0,180	0,044	0,213	0,049	0,198
		SM2	0,518	0,456	0,780	0,988	2,111	0,987	2,352	0,339
1	5		2,244	1,953	3,384	1,412	1,412	1,755	1,133	2,205
		L1-5	0,694	0,606	1,047	0,436	0,434	0,543	0,348	0,681
		L2-1	0,830	0,727	1,254	0,404	0,170	0,609	0,136	0,816
		SM1	1,523	1,331	2,298	0,838	0,598	1,153	0,480	1,497
5	1									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L5-1	1,551	1,351	2,337	0,976	0,978	1,212	0,785	01,524
		L2-5	0,560	0,488	0,843	0,392	0,470	0,454	0,378	0,549
		L4-5	0,794	0,692	1,194	0,502	0,508	0,617	0,407	0,777
		T6-5	0,198	0,174	0,300	0,083	0,000	0,144	0,000	0,195
2	5		2,244	1,953	3,384	1,414	1,414	1,754	1,136	2,202
		L2-5	0,581	0,506	0,876	0,405	0,485	0,470	0,390	0,570
		L3-2	0,174	0,152	0,261	0,128	0,165	0,144	0,133	0,171
		L4-2	0,362	0,316	0,546	0,266	0,343	0,301	0,276	0,354
		L1-2	0,847	0,741	1,278	0,412	0,173	0,621	0,139	0,831
		SM2	0,272	0,238	0,411	0,390	0,827	0,323	0,665	0,267
5	2									
		L5-2	1,664	1,449	2,508	1,008	0,929	1,287	0,747	1,632
		L1-5	0,675	0,589	1,017	0,424	0,421	0,528	0,338	0,663
		L4-5	0,792	0,690	1,191	0,502	0,508	0,615	0,408	0,777
		T6-5	0,199	0,174	0,300	0,084	0,000	0,144	0,000	0,195
2	4		2,154	1,873	3,246	1,350	1,350	1,693	1,075	2,148
		L2-4	0,576	0,503	0,870	0,403	0,487	0,472	0,388	0,576
		L3-2	0,267	0,233	0,402	0,187	0,228	0,219	0,181	0,267
		L5-2	0,331	0,289	0,498	0,247	0,327	0,278	0,260	0,330
		L1-2	0,906	0,793	1,368	0,439	0,184	0,670	0,146	0,906
		SM2	0,270	0,237	0,408	0,401	0,865	0,329	0,689	0,270
4	2									
		L2-4	1,578	1,374	2,376	0,947	0,863	1,224	0,687	1,575
		L3-4	0,267	0,233	0,402	0,187	0,228	0,219	0,181	0,267
		L5-4	0,960	0,838	1,449	0,613	0,636	0,764	0,506	0,960
		T9-4	0,354	0,311	0,534	0,148	0,000	0,256	0,000	0,354
2	3		1,325	1,151	1,992	0,872	0,872	1,115	0,685	1,446
		L2-3	0,697	0,606	1,050	0,471	0,494	0,591	0,388	0,762
		L4-2	0,129	0,112	0,195	0,108	0,156	0,121	0,123	0,141
		L5-2	0,050	0,044	0,075	0,056	0,104	0,057	0,082	0,054
		L1-2	0,684	0,597	1,029	0,344	0,135	0,544	0,106	0,747
		SM2	0,188	0,165	0,282	0,290	0,624	0,236	0,490	0,204
3	2									
		L3-2	0,629	0,547	0,948	0,403	0,380	0,525	0,298	0,687
		L4-3	0,629	0,547	0,948	0,403	0,380	0,525	0,298	0,687
4	5		2,262	1,969	3,411	1,422	1,422	1,766	1,143	2,214
		L4-5	0,812	0,708	1,221	0,513	0,519	0,630	0,417	0,795
		L2-4	0,373	0,325	0,561	0,273	0,350	0,309	0,282	0,366
		L3-4	0,179	0,156	0,270	0,131	0,168	0,148	0,135	0,174
		T9-4	0,263	0,232	0,396	0,110	0,000	0,188	0,000	0,258
5	4									
		L5-4	1,450	1,264	2,187	0,909	0,904	1,136	0,726	1,422
		L1-5	0,683	0,596	1,029	0,429	0,426	0,534	0,343	0,669
		L2-5	0,568	0,495	0,855	0,397	0,477	0,460	0,384	0,555
		T6-5	0,200	0,176	0,303	0,084	0,000	0,145	0,000	0,198
3	4		2,144	1,864	3,228	1,342	1,342	1,685	1,067	2,142
		L3-4	0,277	0,242	0,417	0,194	0,234	0,227	0,186	0,276
		L2-3	0,277	0,242	0,417	0,194	0,234	0,227	0,186	0,276
4	3									
		L4-3	1,866	1,624	2,811	1,148	1,108	1,459	0,881	1,866
		L2-4	0,556	0,485	0,837	0,390	0,473	0,456	0,376	0,555
		L5-4	0,960	0,838	1,449	0,613	0,635	0,765	0,505	0,963
		T9-4	0,353	0,311	0,531	0,147	0,000	0,256	0,000	0,354
9	10		1,039	0,905	1,566	0,546	0,546	0,781	0,402	1,065

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L9-10	0,835	0,727	1,260	0,434	0,427	0,633	0,314	0,855
		L14-9	0,023	0,020	0,036	0,013	0,023	0,021	0,017	0,024
		T4-9	0,553	0,485	0,834	0,330	0,411	0,434	0,302	0,567
		T8-9	0,260	0,230	0,393	0,091	0,000	0,189	0,000	0,267
10	9									
		L10-9	0,206	0,179	0,309	0,111	0,121	0,152	0,089	0,210
		L11-10	0,206	0,179	0,309	0,111	0,121	0,152	0,089	0,210
9	14		0,524	0,456	0,789	0,295	0,295	0,423	0,215	0,597
		L9-14	0,321	0,279	0,483	0,181	0,182	0,260	0,133	0,366
		L10-9	0,008	0,007	0,012	0,005	0,008	0,008	0,006	0,009
		T4-9	0,204	0,178	0,306	0,135	0,177	0,169	0,129	0,231
		T8-9	0,111	0,098	0,168	0,042	0,000	0,088	0,000	0,126
14	9									
		L14-9	0,203	0,177	0,306	0,114	0,112	0,163	0,082	0,231
		L13-14	0,203	0,177	0,306	0,114	0,112	0,163	0,082	0,231
13	14		0,521	0,452	0,783	0,293	0,293	0,420	0,213	0,591
		L13-14	0,206	0,179	0,309	0,115	0,114	0,165	0,083	0,234
		L12-13	0,072	0,063	0,108	0,035	0,023	0,057	0,017	0,084
		L6-13	0,136	0,118	0,204	0,081	0,091	0,111	0,066	0,153
14	13									
		L14-13	0,315	0,274	0,474	0,178	0,179	0,255	0,130	0,357
		L9-14	0,315	0,274	0,474	0,178	0,179	0,255	0,130	0,357
11	10		1,022	0,890	1,542	0,539	0,539	0,770	0,397	1,050
		L11-10	0,208	0,181	0,312	0,113	0,122	0,154	0,090	0,213
		L6-11	0,208	0,181	0,312	0,113	0,122	0,154	0,090	0,213
10	11									
		L10-11	0,815	0,710	1,230	0,426	0,419	0,620	0,308	0,840
		L9-10	0,815	0,710	1,230	0,426	0,419	0,620	0,308	0,840
6	11		0,718	0,624	1,080	0,400	0,400	0,561	0,295	0,777
		L6-11	0,415	0,361	0,624	0,230	0,228	0,325	0,168	0,450
		L12-6	0,039	0,034	0,060	0,015	0,001	0,030	0,001	0,042
		L13-6	0,023	0,020	0,036	0,009	0,003	0,018	0,002	0,024
		T5-6	0,354	0,308	0,531	0,206	0,225	0,282	0,166	0,384
11	6									
		L11-6	0,303	0,264	0,456	0,170	0,173	0,236	0,127	0,330
		L10-11	0,303	0,264	0,456	0,170	0,173	0,236	0,127	0,330
6	13		0,980	0,856	1,482	0,462	0,462	0,700	0,328	0,999
		L6-13	0,585	0,510	0,882	0,285	0,305	0,424	0,216	0,594
		L11-6	0,017	0,015	0,027	0,014	0,032	0,019	0,023	0,018
		L12-6	0,033	0,031	0,054	0,034	0,077	0,039	0,055	0,036
		T5-6	0,585	0,511	0,882	0,303	0,361	0,433	0,256	0,594
13	6									
		L13-6	0,400	0,350	0,606	0,178	0,157	0,281	0,111	0,408
		L12-13	0,268	0,235	0,408	0,110	0,077	0,189	0,055	0,276
		L14-13	0,134	0,117	0,204	0,070	0,083	0,097	0,059	0,138
6	12		1,296	1,124	1,947	0,379	0,379	0,892	0,231	1,398
		L6-12	0,323	0,286	0,489	0,137	0,225	0,234	0,137	0,351
		L11-6	0,016	0,014	0,024	0,012	0,032	0,017	0,019	0,018
		L13-6	0,169	0,149	0,255	0,073	0,119	0,120	0,073	0,183
		T5-6	0,472	0,417	0,714	0,198	0,318	0,333	0,194	0,513
12	6									
		L12-6	0,975	0,851	1,467	0,242	0,157	0,675	0,096	1,053
		L13-12	0,217	0,192	0,330	0,094	0,157	0,159	0,096	0,237

		T7-12	0,786	0,692	1,194	0,154	0,000	0,540	0,000	0,855
12	13		0,968	0,845	1,464	0,455	0,455	0,692	0,323	0,990
		L12-13	0,272	0,239	0,414	0,112	0,078	0,192	0,056	0,279
		L6-12	0,034	0,032	0,057	0,035	0,078	0,040	0,056	0,039
		T7-12	0,248	0,219	0,378	0,078	0,000	0,173	0,000	0,255
13	12									
		L13-12	0,702	0,613	1,059	0,346	0,378	0,507	0,268	0,714
		L14-13	0,133	0,116	0,201	0,069	0,082	0,096	0,058	0,135
		L6-13	0,569	0,497	0,858	0,277	0,298	0,413	0,211	0,579

Πίνακας 4.25: Far-end(99%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$				
			3LG	LL		LG	LLG			
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		3,205	2,807	4,860	1,745	1,745	1,794	1,833	1,560
		L1-2	2,008	1,765	3,051	0,834	0,319	0,997	0,335	0,978
		L5-1	0,299	0,263	0,453	0,128	0,059	0,151	0,062	0,315
		SM1	2,307	2,028	3,504	0,961	0,378	1,148	0,397	1,125
2	1									
		L2-1	1,199	1,055	1,818	0,914	1,437	0,869	1,509	0,585
		L3-2	0,126	0,111	0,192	0,049	0,010	0,061	0,010	0,063
		L4-2	0,263	0,231	0,399	0,102	0,021	0,127	0,022	0,129
		L5-2	0,298	0,261	0,453	0,118	0,028	0,144	0,030	0,144
		SM2	0,513	0,454	0,777	0,646	1,379	0,618	1,449	0,249
1	5		2,230	1,948	3,372	1,162	1,162	1,393	0,977	1,629
		L1-5	0,690	0,604	1,044	0,359	0,357	0,431	0,300	0,504
		L2-1	0,825	0,725	1,251	0,333	0,140	0,473	0,118	0,603
		SM1	1,513	1,327	2,289	0,690	0,493	0,904	0,414	1,107
5	1									
		L5-1	1,541	1,347	2,331	0,804	0,805	0,962	0,677	1,125
		L2-5	0,557	0,487	0,843	0,322	0,387	0,364	0,326	0,408
		L4-5	0,789	0,690	1,191	0,413	0,318	0,490	0,351	0,576
		T6-5	0,197	0,173	0,300	0,069	0,000	0,111	0,000	0,144
2	5		2,230	1,948	3,372	1,163	1,163	1,392	0,979	1,629
		L2-5	0,577	0,505	0,873	0,334	0,399	0,376	0,336	0,420
		L3-2	0,173	0,151	0,261	0,105	0,136	0,116	0,114	0,126
		L4-2	0,360	0,315	0,543	0,219	0,282	0,242	0,238	0,264
		L1-2	0,841	0,739	1,275	0,339	0,142	0,482	0,120	0,615
		SM2	0,270	0,238	0,408	0,321	0,680	0,274	0,573	0,198
5	2									
		L5-2	1,653	1,445	2,502	0,830	0,764	1,017	0,643	1,206
		L1-5	0,670	0,587	1,014	0,349	0,346	0,419	0,292	0,489
		L4-5	0,787	0,688	1,188	0,413	0,418	0,488	0,352	0,573
		T6-5	0,197	0,174	0,300	0,069	0,000	0,111	0,000	0,144
2	4		2,141	1,868	3,237	1,124	1,124	1,359	0,935	1,611
		L2-4	0,573	0,501	0,867	0,335	0,405	0,382	0,337	0,432
		L3-2	0,265	0,232	0,402	0,156	0,189	0,177	0,158	0,198
		L5-2	0,329	0,288	0,498	0,206	0,272	0,226	0,226	0,246
		L1-2	0,900	0,791	1,362	0,365	0,153	0,527	0,127	0,678

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		SM2	0,268	0,236	0,405	0,334	0,720	0,283	0,599	0,201
4	2									
		L2-4	1,568	1,370	2,370	0,788	0,718	0,979	0,598	1,179
		L3-4	0,265	0,232	0,402	0,156	0,189	0,177	0,158	0,198
		L5-4	0,954	0,836	1,446	0,511	0,529	0,615	0,440	0,720
		T9-4	0,352	0,311	0,531	0,123	0,000	0,200	0,000	0,264
2	3		1,319	1,149	1,989	0,788	0,788	0,987	0,646	1,218
		L2-3	0,694	0,605	1,047	0,425	0,446	0,524	0,360	0,642
		L4-2	0,128	0,112	0,195	0,098	0,141	0,109	0,114	0,120
		L5-2	0,050	0,044	0,075	0,051	0,094	0,052	0,076	0,045
		L1-2	0,681	0,596	1,029	0,311	0,122	0,474	0,098	0,630
		SM2	0,187	0,165	0,282	0,262	0,563	0,220	0,454	0,174
3	2									
		L3-2	0,627	0,546	0,945	0,364	0,343	0,464	0,277	0,579
		L4-3	0,627	0,546	0,945	0,364	0,343	0,464	0,277	0,579
4	5		2,247	1,1963	3,399	1,169	1,169	1,398	0,984	1,635
		L4-5	0,807	0,706	1,218	0,421	0,426	0,499	0,359	0,585
		L2-4	0,370	0,324	0,561	0,224	0,288	0,248	0,242	0,270
		L3-4	0,178	0,156	0,270	0,108	0,138	0,119	0,117	0,129
		T9-4	0,261	0,231	0,396	0,090	0,000	0,145	0,000	0,189
5	4									
		L5-4	1,441	1,261	2,181	0,747	0,742	0,899	0,625	1,050
		L1-5	0,679	0,595	1,026	0,352	0,350	0,423	0,295	0,495
		L2-5	0,565	0,494	0,855	0,326	0,392	0,368	0,330	0,411
		T6-5	0,199	0,175	0,303	0,069	0,000	0,112	0,000	1,470
3	4		2,131	1,859	3,222	1,118	1,118	1,354	0,930	1,608
		L3-4	0,276	0,241	0,417	0,161	0,195	0,184	0,162	0,207
		L2-3	0,276	0,241	0,417	0,161	0,195	0,184	0,162	0,207
4	3									
		L4-3	1,855	1,619	2,805	0,957	0,923	1,171	0,768	1,398
		L2-4	0,553	0,484	0,837	0,325	0,394	0,370	0,328	0,417
		L5-4	0,954	0,836	1,446	0,511	0,529	0,616	0,440	0,720
		T9-4	0,351	0,310	0,531	0,123	0,000	0,200	0,000	0,264
9	10		1,031	0,901	1,560	0,456	0,456	0,590	0,350	0,801
		L9-10	0,828	0,724	1,254	0,363	0,357	0,479	0,274	0,645
		L14-9	0,023	0,020	0,036	0,011	0,019	0,017	0,015	0,018
		T4-9	0,549	0,483	0,831	0,276	0,343	0,328	0,263	0,426
		T8-9	0,258	0,230	0,393	0,076	0,000	0,144	0,000	0,201
10	9									
		L10-9	0,204	0,178	0,309	0,093	0,101	0,123	0,077	0,159
		L11-10	0,204	0,178	0,309	0,093	0,101	0,123	0,077	0,159
9	14		0,522	0,455	0,786	0,270	0,270	0,374	0,201	0,513
		L9-14	0,320	0,279	0,483	0,166	0,167	0,228	0,125	0,315
		L10-9	0,008	0,007	0,012	0,004	0,007	0,007	0,005	0,006
		T4-9	0,203	0,178	0,306	0,124	0,162	0,150	0,121	0,201
		T8-9	0,110	0,098	0,168	0,038	0,000	0,076	0,000	0,108
14	9									
		L14-9	0,202	0,176	0,306	0,104	0,103	0,146	0,077	0,198
		L13-14	0,202	0,176	0,306	0,104	0,103	0,146	0,077	0,198
13	14		0,518	0,451	0,783	0,269	0,269	0,372	0,200	0,510
		L13-14	0,205	0,179	0,309	0,106	0,105	0,148	0,078	0,201
		L12-13	0,072	0,063	0,108	0,032	0,021	0,051	0,016	0,072
		L6-13	0,135	0,118	0,204	0,074	0,084	0,098	0,062	0,132
14	13									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L14-13	0,313	0,273	0,474	0,163	0,164	0,224	0,122	0,309
		L9-14	0,313	0,273	0,474	0,163	0,164	0,224	0,122	0,309
11	10		1,014	0,886	1,536	0,451	0,451	0,585	0,346	0,795
		L11-10	0,206	0,180	0,312	0,095	0,102	0,125	0,078	0,162
		L6-11	0,206	0,180	0,312	0,095	0,102	0,125	0,078	0,162
10	11									
		L10-11	0,809	0,707	1,224	0,357	0,351	0,471	0,269	0,633
		L9-10	0,809	0,707	1,224	0,357	0,351	0,471	0,269	0,633
6	11		0,713	0,622	1,077	0,354	0,354	0,471	0,270	0,636
		L6-11	0,412	0,360	0,621	0,204	0,202	0,271	0,154	0,366
		L12-6	0,039	0,034	0,060	0,013	0,001	0,025	0,001	0,036
		L13-6	0,023	0,020	0,036	0,008	0,003	0,015	0,002	0,021
		T5-6	0,352	0,307	0,531	0,183	0,199	0,232	0,152	0,312
11	6									
		L11-6	0,301	0,263	0,456	0,151	0,153	0,200	0,116	0,270
		L10-11	0,301	0,263	0,456	0,151	0,153	0,200	0,116	0,270
6	13		0,970	0,851	1,476	0,394	0,394	0,549	0,292	0,756
		L6-13	0,578	0,507	0,876	0,243	0,260	0,324	0,193	0,450
		L11-6	0,017	0,015	0,027	0,012	0,027	0,016	0,020	0,012
		L12-6	0,032	0,030	0,054	0,029	0,066	0,033	0,049	0,027
		T5-6	0,579	0,509	0,876	0,258	0,308	0,331	0,228	0,450
13	6									
		L13-6	0,395	0,348	0,603	0,152	0,143	0,225	0,099	0,309
		L12-13	0,265	0,234	0,405	0,094	0,066	0,147	0,049	0,207
		L14-13	0,133	0,117	0,201	0,059	0,071	0,079	0,053	0,102
6	12		1,284	1,120	1,941	0,334	0,334	0,659	0,213	1,002
		L6-12	0,321	0,285	0,489	0,121	0,198	0,184	0,126	0,252
		L11-6	0,016	0,014	0,024	0,010	0,028	0,014	0,018	0,012
		L13-6	0,167	0,149	0,255	0,064	0,105	0,095	0,067	0,132
		T5-6	0,468	0,416	0,711	0,175	0,281	0,262	0,179	0,366
12	6									
		L12-6	0,966	0,848	1,461	0,213	0,139	0,487	0,089	0,753
		L13-12	0,215	0,191	0,327	0,083	0,139	0,125	0,089	0,168
		T7-12	0,779	0,689	1,188	0,136	0,000	0,392	0,000	0,615
12	13		0,958	0,841	1,455	0,389	0,389	0,544	0,288	0,750
		L12-13	0,269	0,238	0,411	0,096	0,067	0,150	0,050	0,213
		L6-12	0,034	0,032	0,057	0,030	0,067	0,034	0,050	0,030
		T7-12	0,245	0,218	0,375	0,067	0,000	0,133	0,000	0,195
13	12									
		L13-12	0,694	0,609	1,053	0,296	0,323	0,395	0,239	0,543
		L14-13	0,131	0,115	0,198	0,059	0,070	0,078	0,052	0,102
		L6-13	0,563	0,494	0,855	0,237	0,254	0,317	0,188	0,441

Πίνακας 4.26: Far-end(99%) με $R_F = 2 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 40 \Omega$ για σφάλματα γης (IEEE 14-bus)

		$R_F = 2 \Omega$			$R_F = 40 \Omega$					
Branches		3LG	LL		LG		LLG			
Bus From	Bus To	Contributions	I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		3,137	2,783	4,821	0,977	0,977	1,000	0,996	0,933
		L1-2	1,966	1,750	3,024	0,467	0,179	0,566	0,182	0,585
		L5-1	0,292	0,261	0,450	0,072	0,033	0,085	0,034	0,087
		SM1	2,257	2,011	3,474	0,539	0,212	0,651	0,216	0,672
2	1									
		L2-1	1,173	1,046	1,803	0,512	0,805	0,476	0,820	0,348
		L3-2	0,124	0,110	0,189	0,028	0,006	0,035	0,006	0,036
		L4-2	0,257	0,229	0,396	0,057	0,012	0,072	0,012	0,078
		L5-2	0,292	0,259	0,450	0,066	0,016	0,082	0,016	0,087
		SM2	0,502	0,450	0,771	0,362	0,773	0,335	0,787	0,150
1	5		2,197	1,935	3,351	0,801	0,801	0,907	0,721	0,978
		L1-5	0,680	0,600	1,038	0,247	0,246	0,281	0,222	0,303
		L2-1	0,813	0,720	1,242	0,229	0,096	0,302	0,087	0,363
		SM1	1,491	1,319	2,277	0,475	0,339	0,583	0,306	0,663
5	1									
		L5-1	1,518	1,339	2,316	0,554	0,555	0,627	0,500	0,675
		L2-5	0,548	0,484	0,837	0,222	0,267	0,239	0,240	0,243
		L4-5	0,777	0,685	1,182	0,285	0,288	0,319	0,259	0,345
		T6-5	0,194	0,172	0,297	0,047	0,000	0,070	0,000	0,087
2	5		2,197	1,935	3,351	0,801	0,801	0,906	0,722	0,978
		L2-5	0,569	0,500	0,867	0,230	0,275	0,247	0,248	0,252
		L3-2	0,170	0,151	0,261	0,073	0,093	0,077	0,084	0,075
		L4-2	0,354	0,313	0,540	0,151	0,194	0,160	0,175	0,159
		L1-2	0,829	0,734	1,266	0,234	0,098	0,308	0,088	0,369
		SM2	0,266	0,236	0,405	0,221	0,469	0,192	0,422	0,117
5	2									
		L5-2	1,628	1,436	2,487	0,571	0,526	0,660	0,474	0,723
		L1-5	0,660	0,583	1,008	0,240	0,239	0,272	0,215	0,294
		L4-5	0,776	0,684	1,182	0,284	0,288	0,318	0,259	0,345
		T6-5	0,194	0,173	0,300	0,047	0,000	0,071	0,000	0,087
2	4		2,111	1,857	3,216	0,786	0,786	0,896	0,701	0,975
		L2-4	0,565	0,498	0,861	0,235	0,283	0,255	0,253	0,261
		L3-2	0,261	0,231	0,399	0,109	0,132	0,118	0,118	0,120
		L5-2	0,324	0,286	0,495	0,144	0,190	0,152	0,170	0,150
		L1-2	0,887	0,786	1,356	0,255	0,107	0,340	0,095	0,411
		SM2	0,265	0,235	0,405	0,233	0,503	0,203	0,449	0,123
4	2									
		L2-4	1,546	1,362	2,385	0,551	0,502	0,644	0,448	0,714
		L3-4	0,261	0,231	0,399	0,109	0,132	0,118	0,118	0,120
		L5-4	0,941	0,831	1,437	0,357	0,370	0,406	0,330	0,435
		T9-4	0,347	0,309	0,528	0,086	0,000	0,129	0,000	0,159
2	3		1,307	1,144	1,980	0,626	0,626	0,748	0,534	0,855
		L2-3	0,688	0,602	1,044	0,338	0,355	0,398	0,302	0,450
		L4-2	0,127	0,112	0,192	0,078	0,112	0,084	0,096	0,084
		L5-2	0,049	0,043	0,075	0,040	0,075	0,041	0,064	0,033
		L1-2	0,675	0,593	1,023	0,247	0,097	0,351	0,082	0,441
		SM2	0,186	0,164	0,282	0,209	0,448	0,179	0,382	0,120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3	2									
		L3-2	0,621	0,544	0,942	0,289	0,273	0,351	0,233	0,405
		L4-3	0,621	0,544	0,942	0,289	0,273	0,351	0,233	0,405
4	5		2,214	1,951	3,378	0,803	0,803	0,908	0,724	0,978
		L4-5	0,795	0,701	1,212	0,290	0,293	0,324	0,264	0,351
		L2-4	0,365	0,322	0,558	0,154	0,198	0,163	0,178	0,162
		L3-4	0,175	0,155	0,267	0,074	0,095	0,078	0,086	0,078
		T9-4	0,257	0,230	0,393	0,062	0,000	0,092	0,000	0,114
5	4									
		L5-4	1,419	1,253	2,169	0,514	0,510	0,584	0,460	0,627
		L1-5	0,669	0,591	1,020	0,242	0,241	0,274	0,217	0,297
		L2-5	0,556	0,491	0,849	0,224	0,270	0,241	0,243	0,246
		T6-5	0,196	0,174	0,303	0,048	0,000	0,071	0,000	0,087
3	4		2,101	1,848	3,201	0,783	0,783	0,895	0,698	0,975
		L3-4	0,272	0,240	0,414	0,113	0,136	0,123	0,122	0,126
		L2-3	0,272	0,240	0,414	0,113	0,136	0,123	0,122	0,126
4	3									
		L4-3	1,829	1,610	2,787	0,670	0,647	0,772	0,576	0,849
		L2-4	0,545	0,481	0,831	0,228	0,276	0,247	0,246	0,252
		L5-4	0,941	0,831	1,437	0,358	0,371	0,407	0,330	0,438
		T9-4	0,346	0,308	0,528	0,086	0,000	0,129	0,000	0,162
9	10		1,013	0,894	1,548	0,332	0,332	0,400	0,273	0,495
		L9-10	0,813	0,718	1,245	0,264	0,259	0,316	0,213	0,399
		L14-9	0,023	0,020	0,036	0,008	0,014	0,012	0,011	0,012
		T4-9	0,539	0,479	0,825	0,201	0,250	0,218	0,205	0,264
		T8-9	0,254	0,228	0,390	0,055	0,000	0,093	0,000	0,126
10	9									
		L10-9	0,200	0,177	0,306	0,068	0,073	0,084	0,060	0,099
		L11-10	0,200	0,177	0,306	0,068	0,073	0,084	0,060	0,099
9	14		0,516	0,452	0,783	0,227	0,227	0,297	0,177	0,384
		L9-14	0,316	0,277	0,480	0,140	0,141	0,182	0,110	0,234
		L10-9	0,007	0,007	0,012	0,004	0,006	0,006	0,005	0,006
		T4-9	0,200	0,177	0,303	0,104	0,136	0,121	0,106	0,150
		T8-9	0,109	0,097	0,165	0,032	0,000	0,058	0,000	0,081
14	9									
		L14-9	0,200	0,175	0,303	0,088	0,087	0,116	0,068	0,147
		L13-14	0,200	0,175	0,303	0,088	0,087	0,116	0,068	0,147
13	14		0,512	0,449	0,777	0,226	0,226	0,296	0,176	0,381
		L13-14	0,203	0,178	0,309	0,089	0,088	0,118	0,069	0,150
		L12-13	0,071	0,063	0,108	0,027	0,018	0,040	0,014	0,054
		L6-13	0,134	0,117	0,201	0,063	0,070	0,078	0,055	0,099
14	13									
		L14-13	0,310	0,271	0,471	0,137	0,138	0,178	0,108	0,231
		L9-14	0,310	0,271	0,471	0,137	0,138	0,178	0,108	0,231
11	10		0,996	0,879	1,524	0,330	0,330	0,399	0,271	0,495
		L11-10	0,202	0,179	0,309	0,069	0,075	0,086	0,061	0,099
		L6-11	0,202	0,179	0,309	0,069	0,075	0,086	0,061	0,099
10	11									
		L10-11	0,795	0,702	1,215	0,261	0,256	0,313	0,210	0,393
		L9-10	0,795	0,702	1,215	0,261	0,256	0,313	0,210	0,393
6	11		0,703	0,618	1,071	0,279	0,279	0,349	0,255	0,438
		L6-11	0,406	0,357	0,618	0,161	0,159	0,201	0,128	0,252
		L12-6	0,038	0,034	0,060	0,010	0,001	0,018	0,000	0,024

		L13-6	0,023	0,020	0,036	0,006	0,002	0,011	0,002	0,015
		T5-6	0,347	0,305	0,528	0,144	0,157	0,173	0,127	0,216
11	6									
		L11-6	0,297	0,261	0,453	0,119	0,120	0,149	0,097	0,186
		L10-11	0,297	0,261	0,453	0,119	0,120	0,149	0,097	0,186
6	13		0,948	0,842	1,458	0,297	0,297	0,378	0,236	0,480
		L6-13	0,565	0,502	0,867	0,183	0,196	0,224	0,156	0,285
		L11-6	0,017	0,015	0,024	0,009	0,021	0,011	0,016	0,009
		L12-6	0,032	0,030	0,054	0,022	0,050	0,025	0,039	0,018
		T5-6	0,566	0,503	0,867	0,195	0,232	0,225	0,185	0,285
13	6									
		L13-6	0,387	0,344	0,597	0,114	0,101	0,155	0,080	0,195
		L12-13	0,259	0,232	0,402	0,071	0,050	0,100	0,039	0,132
		L14-13	0,130	0,115	0,198	0,045	0,054	0,055	0,043	0,066
6	12		1,258	1,111	1,923	0,264	0,264	0,422	0,184	0,588
		L6-12	0,314	0,282	0,483	0,096	0,157	0,124	0,109	0,147
		L11-6	0,016	0,014	0,024	0,008	0,022	0,010	0,015	0,006
		L13-6	0,164	0,148	0,252	0,051	0,083	0,064	0,058	0,078
		T5-6	0,458	0,412	0,705	0,138	0,222	0,176	0,154	0,216
12	6									
		L12-6	0,947	0,841	1,449	0,169	0,110	0,303	0,076	0,444
		L13-12	0,211	0,190	0,324	0,065	0,110	0,085	0,076	0,099
		T7-12	0,763	0,684	1,179	0,107	0,000	0,241	0,000	0,360
12	13		0,936	0,820	1,440	0,295	0,295	0,376	0,234	0,477
		L12-13	0,263	0,235	0,408	0,072	0,051	0,102	0,040	0,135
		L6-12	0,033	0,031	0,054	0,023	0,051	0,025	0,040	0,018
		T7-12	0,239	0,216	0,372	0,051	0,000	0,089	0,000	0,123
13	12									
		L13-12	0,679	0,603	1,041	0,224	0,245	0,274	0,194	0,345
		L14-13	0,128	0,114	0,198	0,045	0,053	0,055	0,042	0,066
		L6-13	0,550	0,489	0,843	0,179	0,193	0,219	0,153	0,279

Στον Πίνακα 4.27 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των βραχυκυκλωμάτων στο close-in (1%) των γραμμών μεταφοράς για αντίσταση σφάλματος $R_F = 0 \Omega$ χωρίς την συμβολή από τις γεννήτριες DG. Παρατηρείται ότι τα βραχυκυκλώματα που πραγματοποιούνται στις γραμμές μεταφοράς Μέσης Τάσης είναι ιδιαίτερα ασθενή χωρίς της συμβολή των DG.

Πίνακας 4.27: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος χωρίς DG (IEEE 14-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
1	2		5,761	4,995	8,652	8,047	8,047	8,399	13,294	2,001
		L1-2	5,362	4,649	8,049	7,609	7,849	7,976	12,966	1,860
		L5-1	0,067	0,059	0,102	0,070	0,024	0,073	0,039	0,024
		SM1	5,294	4,591	7,950	7,539	7,825	7,908	12,928	1,839
2	1		2,915	2,528	4,380	3,563	3,563	3,350	4,563	2,097
		L2-1	0,910	0,794	1,368	1,719	0,371	1,693	3,757	0,654
		L3-2	0,066	0,057	0,099	0,060	0,020	0,063	0,026	0,048

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L4-2	0,137	0,119	0,207	0,125	0,042	0,132	0,054	0,099
		L5-2	0,186	0,162	0,279	0,171	0,058	0,180	0,074	0,135
		SM2	0,522	0,458	0,783	1,364	2,817	1,419	3,607	0,375
1	5		5,520	4,786	8,289	7,311	7,311	7,372	10,778	2,901
		L1-5	5,413	4,694	8,130	7,192	7,236	7,253	10,667	2,850
		L2-1	0,339	0,295	0,510	0,337	0,115	0,354	0,169	0,180
		SM1	5,075	4,401	7,620	6,855	7,125	6,926	10,503	2,673
5	1		1,840	1,596	2,766	1,468	1,468	1,741	1,218	2,157
		L5-1	1,148	0,996	1,725	0,950	1,017	1,096	0,844	1,344
		L2-5	0,550	0,477	0,825	0,456	0,489	0,525	0,406	0,645
		L4-5	0,580	0,503	0,870	0,484	0,528	0,555	0,438	0,678
		T6-5	0,018	0,016	0,027	0,010	0,000	0,016	0,000	0,021
2	5		2,847	2,469	4,278	3,423	3,423	3,303	4,273	2,139
		L2-5	2,645	2,295	3,972	3,235	3,345	3,119	4,176	1,986
		L3-2	0,061	0,053	0,093	0,054	0,016	0,058	0,020	0,045
		L4-2	0,127	0,111	0,192	0,113	0,033	0,121	0,041	0,096
		L1-2	1,948	1,695	2,931	1,757	0,597	1,870	0,745	1,467
		SM2	0,512	0,449	0,768	1,318	2,725	1,348	3,402	0,384
5	2		1,838	1,595	2,763	1,470	1,470	1,741	1,221	2,151
		L5-2	1,272	1,104	1,911	1,000	0,966	1,199	0,803	1,488
		L1-5	0,677	0,587	1,017	0,507	0,438	0,630	0,364	0,792
		L4-5	0,578	0,501	0,867	0,484	0,528	0,554	0,439	0,675
		T6-5	0,018	0,016	0,027	0,010	0,000	0,016	0,000	0,021
2	4		2,844	2,467	4,272	3,417	3,417	3,297	4,264	2,139
		L2-4	2,691	2,334	4,044	3,274	3,355	3,157	4,187	2,025
		L3-2	0,060	0,052	0,090	0,052	0,014	0,057	0,017	0,045
		L5-2	0,176	0,153	0,265	0,156	0,048	0,168	0,059	0,132
		L1-2	1,947	1,694	2,928	1,756	0,596	1,869	0,744	1,467
		SM2	0,512	0,449	0,768	1,317	2,723	1,346	3,397	0,384
4	2		1,723	1,495	2,589	1,376	1,376	1,629	1,143	2,019
		L2-4	1,152	1,000	1,731	0,907	0,880	1,085	0,731	1,350
		L3-4	0,266	0,231	0,399	0,219	0,232	0,254	0,193	0,312
		L5-4	0,859	0,745	1,290	0,674	0,648	0,809	0,538	1,005
		T9-4	0,027	0,023	0,042	0,014	0,000	0,024	0,000	0,033
2	3		2,834	2,458	4,257	3,396	3,396	3,283	4,220	2,148
		L2-3	2,757	2,391	4,140	3,323	3,362	3,211	4,177	2,088
		L4-2	0,129	0,112	0,195	0,114	0,034	0,123	0,043	0,099
		L5-2	0,179	0,156	0,270	0,160	0,051	0,171	0,064	0,135
		L1-2	1,943	1,690	2,922	1,747	0,593	1,859	0,737	1,473
		SM2	0,510	0,447	0,765	1,310	2,708	1,333	3,365	0,387
3	2		1,211	1,050	1,818	0,899	0,899	1,120	0,713	1,461
		L3-2	0,546	0,473	0,819	0,401	0,391	0,504	0,311	0,660
		L4-3	0,546	0,473	0,819	0,401	0,391	0,504	0,311	0,660
4	5		1,732	1,502	2,601	1,385	1,385	1,638	1,150	2,028
		L4-5	0,858	0,744	1,290	0,699	0,724	0,814	0,601	1,005
		L2-4	0,561	0,487	0,843	0,462	0,489	0,535	0,406	0,657
		L3-4	0,270	0,234	0,405	0,222	0,235	0,257	0,195	0,315
		T9-4	0,027	0,023	0,042	0,014	0,000	0,024	0,000	0,033
5	4		1,847	1,602	2,775	1,479	1,479	1,749	1,229	2,160
		L5-4	1,256	1,090	1,887	0,983	0,939	1,182	0,781	1,470
		L1-5	0,683	0,593	1,026	0,512	0,443	0,636	0,368	0,798
		L2-5	0,556	0,482	0,834	0,462	0,496	0,531	0,413	0,651
		T6-5	0,018	0,016	0,027	0,010	0,000	0,016	0,000	0,021
3	4		1,208	1,048	1,815	0,896	0,896	1,118	0,711	1,458

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

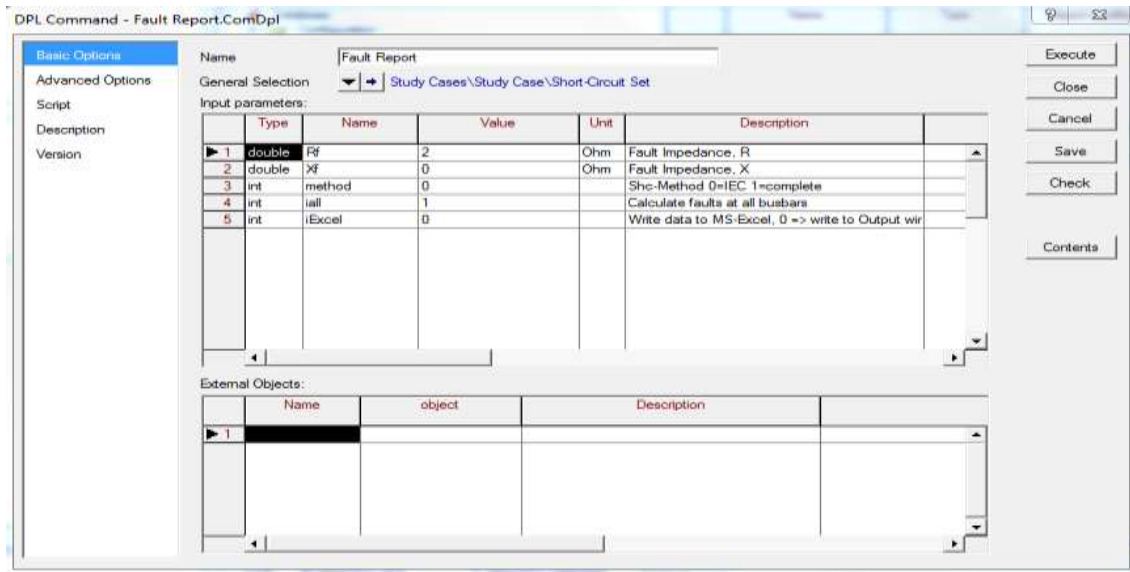
		L3-4	0,656	0,568	0,984	0,491	0,500	0,608	0,397	0,792
		L2-3	0,656	0,568	0,984	0,491	0,500	0,608	0,397	0,792
4	3		1,715	1,488	2,577	1,367	1,367	1,621	1,133	2,010
		L4-3	1,440	1,249	2,163	1,142	1,129	1,359	0,936	1,689
		L2-4	0,555	0,481	0,834	0,455	0,482	0,528	0,400	0,651
		L5-4	0,859	0,745	1,290	0,672	0,647	0,809	0,536	1,008
		T9-4	0,027	0,023	0,042	0,014	0,000	0,024	0,000	0,033
9	10		2,006	1,738	3,009	1,399	1,399	2,137	0,903	2,802
		L9-10	1,905	1,650	2,859	1,318	1,300	2,033	0,839	2,661
		L14-9	0,066	0,058	0,099	0,052	0,088	0,065	0,057	0,093
		T4-9	1,843	1,597	2,766	1,267	1,239	1,969	0,800	2,577
		T8-9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	9		0,921	0,798	1,383	0,618	0,618	0,906	0,454	1,173
		L10-9	0,192	0,167	0,288	0,131	0,137	0,183	0,101	0,246
		L11-10	0,192	0,167	0,288	0,131	0,137	0,183	0,101	0,246
9	14		1,940	1,681	2,910	1,348	1,348	2,063	0,879	2,697
		L9-14	1,873	1,623	2,811	1,294	1,280	1,993	0,835	2,601
		L10-9	0,099	0,086	0,150	0,077	0,131	0,096	0,085	0,138
		T4-9	1,779	1,541	2,670	1,219	1,191	1,898	0,777	2,472
		T8-9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	9		0,488	0,423	0,732	0,310	0,310	0,455	0,226	0,621
		L14-9	0,186	0,162	0,279	0,118	0,118	0,173	0,086	0,237
		L13-14	0,186	0,162	0,279	0,118	0,118	0,173	0,086	0,237
13	14		0,790	0,684	1,185	0,493	0,493	0,756	0,353	1,017
		L13-14	0,664	0,575	0,996	0,411	0,404	0,638	0,289	0,855
		L12-13	0,136	0,118	0,204	0,084	0,083	0,130	0,059	0,174
		L6-13	0,530	0,459	0,795	0,328	0,322	0,509	0,231	0,684
14	13		0,485	0,420	0,726	0,307	0,307	0,451	0,224	0,618
		L14-13	0,296	0,256	0,444	0,188	0,188	0,276	0,137	0,375
		L9-14	0,296	0,256	0,444	0,188	0,188	0,276	0,137	0,375
11	10		0,674	0,584	1,011	0,435	0,435	0,637	0,319	0,855
		L11-10	0,389	0,337	0,585	0,249	0,245	0,368	0,179	0,495
		L6-11	0,389	0,337	0,585	0,249	0,245	0,368	0,179	0,495
10	11		0,908	0,787	1,362	0,609	0,609	0,891	0,448	1,155
		L10-11	0,714	0,619	1,071	0,477	0,160	0,707	0,348	0,909
		L9-10	0,714	0,619	1,071	0,477	0,160	0,707	0,348	0,909
6	11		2,504	2,170	3,759	1,494	1,494	2,577	0,908	3,564
		L6-11	2,427	2,104	3,642	1,428	1,392	2,496	0,842	3,453
		L12-6	0,009	0,008	0,015	0,009	0,019	0,009	0,012	0,012
		L13-6	0,036	0,031	0,054	0,034	0,074	0,036	0,045	0,051
		T5-6	2,385	2,067	3,582	1,390	1,332	2,451	0,809	3,396
11	6		0,677	0,586	1,014	0,437	0,437	0,640	0,320	0,861
		L11-6	0,281	0,243	0,420	0,184	0,188	0,265	0,138	0,357
		L10-11	0,281	0,243	0,420	0,184	0,188	0,265	0,138	0,357
6	13		2,541	2,202	3,813	1,509	1,509	2,614	0,912	3,624
		L6-13	2,498	2,165	3,750	1,473	1,452	2,568	0,878	3,564
		L11-6	0,071	0,061	0,105	0,066	0,146	0,072	0,088	0,102
		L12-6	0,005	0,005	0,009	0,006	0,018	0,007	0,011	0,009
		T5-6	2,427	2,103	3,642	1,407	1,348	2,492	0,815	3,456
13	6		0,808	0,700	1,212	0,504	0,504	0,775	0,361	1,044
		L13-6	0,261	0,227	0,393	0,166	0,171	0,249	0,123	0,336
		L12-13	0,138	0,120	0,207	0,085	0,084	0,133	0,060	0,177
		L14-13	0,124	0,108	0,186	0,082	0,091	0,117	0,065	0,159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

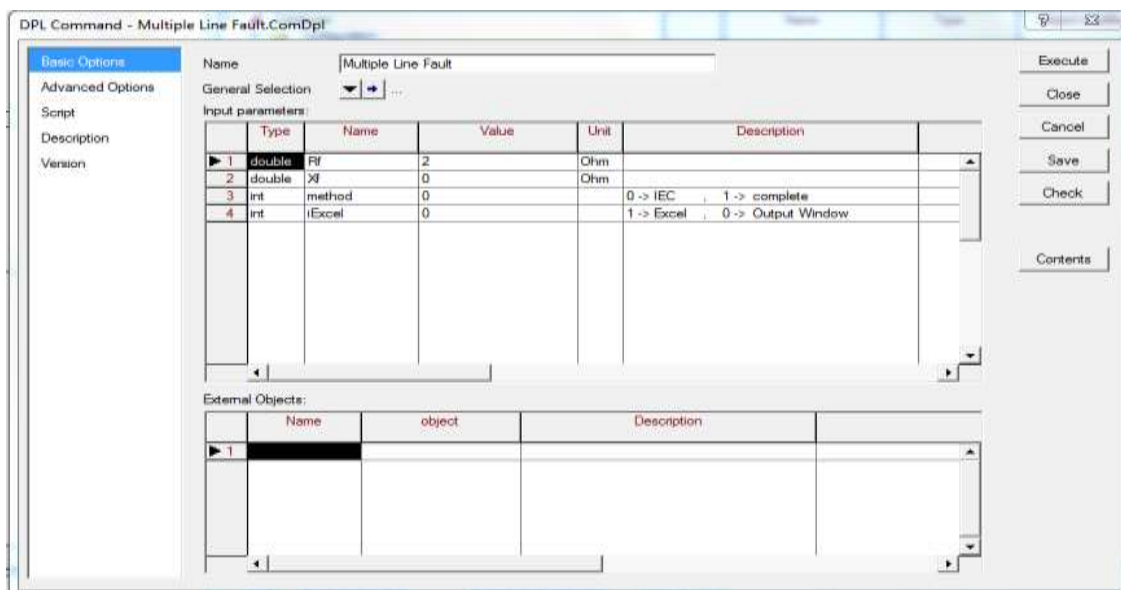
6	12		2,464	2,136	3,699	1,468	1,468	2,535	0,894	3,501
		L6-12	2,446	2,120	3,672	1,454	1,447	2,515	0,882	3,477
		L11-6	0,069	0,060	0,102	0,064	0,142	0,069	0,087	0,099
		L13-6	0,027	0,024	0,042	0,029	0,071	0,029	0,043	0,039
		T5-6	2,355	2,041	3,534	1,370	1,313	2,419	0,800	3,348
12	6		0,532	0,461	0,798	0,323	0,323	0,500	0,230	0,687
		L12-6	0,218	0,189	0,327	0,133	0,134	0,204	0,095	0,282
		L13-12	0,218	0,189	0,327	0,133	0,134	0,204	0,095	0,282
		T7-12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12	13		0,530	0,459	0,795	0,322	0,322	0,497	0,229	0,684
		L12-13	0,313	0,272	0,471	0,189	0,188	0,294	0,134	0,405
		L6-12	0,313	0,272	0,471	0,189	0,188	0,294	0,134	0,405
		T7-12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	12		0,795	0,689	1,194	0,495	0,495	0,762	0,354	1,026
		L13-12	0,656	0,569	0,984	0,410	0,412	0,628	0,294	0,846
		L14-13	0,123	0,106	0,183	0,080	0,090	0,116	0,064	0,159
		L6-13	0,534	0,462	0,801	0,329	0,324	0,513	0,232	0,690

4.3.3 Προσομοιώσεις

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης από την εκτέλεση των “Fault Report” και “Multiple Line Fault” script στο δίκτυο 14 ζυγών IEEE. Στο συγκεκριμένο δίκτυο δεν έχουν τοποθετηθεί ηλεκτρονόμοι, συνεπώς δεν μπορεί να γίνει προσομοίωση του “Tripping Time of Relays” script. Όπως έχει προαναφερθεί, η αντίσταση σφάλματος έχει ορισθεί $R_F = 2 \Omega$ και η μέθοδος υπολογισμού του βραχυκυκλώματος είναι η IEC 60909. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο παράθυρο επεξεργασίας των script στις Εικόνες 4.23 και 4.24 ενώ στις Εικόνες 4.25 έως 4.28 παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις.



Εικόνα 4.23: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (IEEE 14-bus).



Εικόνα 4.24: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (IEEE 14-bus).

Station Name	Bus Name	Unom Unom [kV]	3-Phase I Angle [kA] [deg]		1-Phase I Angle [kA] [deg]		Phase-Phase I Angle [kA] [deg]		Positive Seq R X [pu] [pu]		Zero Seq R0 X0 [pu] [pu]		Ratio X0/X1 [-]	Ratio R0/X0 [-]	Ratio R0/X1 [-]
	BB 1	66,0	5,8	-70,2	8,0	-65,4	5,3	10,6	0,0098	0,1550	0,0001	0,0175	0,113	0,005	0,001
	BB 10	33,0	1,0	-67,2	0,6	-55,3	0,9	-160,1	0,5561	1,7610	3,5969	4,0455	2,297	0,889	2,043
	BB 11	33,0	0,7	-64,8	0,4	-58,3	0,6	23,3	0,9845	2,4820	4,4111	6,2504	2,518	0,706	1,777
	BB 12	33,0	1,3	-68,9	0,4	-51,6	1,1	-163,8	0,3589	1,4037	7,3447	7,9468	5,661	0,924	5,232
	BB 13	33,0	0,9	-59,1	0,5	-50,3	0,8	-151,6	0,8619	1,7457	4,7777	4,9791	2,852	0,960	2,737
	BB 14	33,0	0,5	-63,4	0,3	-58,9	0,5	25,2	1,4906	3,3458	6,0142	9,0735	2,712	0,663	1,798
	BB 2	66,0	3,1	-71,4	3,8	-71,7	2,8	13,6	0,0523	0,2914	0,0090	0,1461	0,501	0,062	0,031
	BB 3	66,0	1,3	-72,6	0,9	-73,0	1,1	-164,7	0,1745	0,7027	0,4318	1,5692	2,233	0,275	0,615
	BB 4	66,0	2,1	-72,5	1,5	-72,4	1,9	-166,0	0,0902	0,4311	0,2658	0,9394	2,179	0,283	0,617
	BB 5	66,0	2,2	-72,1	1,6	-72,3	2,0	14,2	0,0872	0,4132	0,2421	0,8787	2,126	0,276	0,586
	BB 6	33,0	3,0	-64,4	1,4	-25,7	2,7	-162,7	0,0971	0,5870	2,9079	0,5788	0,986	5,024	4,954
	BB 7	0,4	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,2	89,9	0,2644	1,2296	0,0001	1,2041	0,979	0,000	0,000
	BB 8	0,4	0,1	-0,0	0,1	-0,0	0,2	-90,1	0,0834	0,8054	0,0001	1,2041	1,495	0,000	0,000
	BB 9	33,0	2,7	-67,4	1,4	-29,7	2,5	-165,5	0,0864	0,6475	2,8622	0,7377	1,139	3,880	4,421

DigSI/info - DPL program 'Fault Report' successfully executed

Εικόνα 4.25: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (IEEE 14-bus).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1				3-Phase		1-Phase		Phase-Phase		Pos-Seq		Zero-Seq		Ratio		
2	Station Name	Bus Name	Unom	I	Angle	I	Angle	I	Angle	R	X	R0	X0	X0/X1	R0/X0	R0/X1
3			[kV]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[pu]	[pu]	[pu]	[pu]	[pu]	[pu]	[pu]
4		BB 1	66	5,8	-70,2	8	-65,4	5,3	10,6	0,0098	0,155	0,0001	0,0175	0,113	0,005	0,001
5		BB 10	33	1	-67,2	0,6	-55,3	0,9	-160,1	0,5561	1,761	3,5969	4,0455	2,297	0,889	2,043
6		BB 11	33	0,7	-64,8	0,4	-58,3	0,6	23,3	0,9845	2,482	4,4111	6,2504	2,518	0,706	1,777
7		BB 12	33	1,3	-68,9	0,4	-51,6	1,1	-163,8	0,3589	1,4037	7,3447	7,9468	5,661	0,924	5,232
8		BB 13	33	0,9	-59,1	0,5	-50,3	0,8	-151,6	0,8619	1,7457	4,7777	4,9791	2,852	0,96	2,737
9		BB 14	33	0,5	-63,4	0,3	-58,9	0,5	25,2	1,4906	3,3458	6,0142	9,0735	2,712	0,663	1,798
10		BB 2	66	3,1	-71,4	3,8	-71,7	2,8	13,6	0,0523	0,2914	0,009	0,1461	0,501	0,062	0,031
11		BB 3	66	1,3	-72,6	0,9	-73	1,1	-164,7	0,1745	0,7027	0,4318	1,5692	2,233	0,275	0,615
12		BB 4	66	2,1	-72,5	1,5	-72,4	1,9	-166	0,0902	0,4311	0,2658	0,9394	2,179	0,283	0,617
13		BB 5	66	2,2	-72,1	1,6	-72,3	2	14,2	0,0872	0,4132	0,2421	0,8787	2,126	0,276	0,586
14		BB 6	33	3	-64,4	1,4	-25,7	2,7	-162,7	0,0971	0,587	2,9079	0,5788	0,986	5,024	4,954
15		BB 7	0,41	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,2	89,9	0,2644	1,2296	0,0001	1,2041	0,979	0	0
16		BB 8	0,41	0,1	0	0,1	0	0,2	-90,1	0,0834	0,8054	0,0001	1,2041	1,495	0	0
17		BB 9	33	2,7	-67,4	1,4	-29,7	2,5	-165,5	0,0864	0,6475	2,8622	0,7377	1,139	3,88	4,421

Εικόνα 4.26: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (IEEE 14-bus).

DlgSI/info - DPL Program 'Multiple Line Fault' started

Line Name	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)	
	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]
Line 1-5	5,5	109,5	2,1	106,4	2,2	107,8	7,1	113,3	1,5	106,2	1,6	107,6	5,0	10,8	1,8	13,1	1,9	14,2	7,5	-18,7	1,9	-2,0	2,0	-0,7
Line 2-5	3,1	108,6	1,9	108,3	2,2	107,9	3,6	108,3	1,5	108,2	1,6	107,7	2,7	13,7	1,7	15,3	1,9	14,3	3,5	-20,0	1,8	-2,1	2,0	-0,7
Line 2-4	3,1	108,6	1,9	108,2	2,1	107,5	3,6	108,3	1,5	108,2	1,5	107,6	2,7	13,7	1,6	15,2	1,9	14,0	3,5	-20,0	1,7	-2,1	1,9	-0,7
Line 2-3	3,0	108,5	1,6	106,5	1,3	107,4	3,6	108,1	1,2	105,7	0,9	106,9	2,7	13,6	1,4	14,0	1,1	15,3	3,4	-20,1	1,4	-144,2	1,2	-0,5
Line 3-4	1,3	107,5	1,4	108,4	2,1	107,6	0,9	107,0	1,0	108,4	1,5	107,7	1,1	15,3	1,3	16,1	1,8	14,1	1,2	-0,4	1,3	1,0	1,9	-0,6
Line 5-4	2,1	107,5	2,1	107,7	2,2	107,9	1,5	107,6	1,5	107,7	1,6	107,7	1,9	14,0	1,9	14,2	2,0	14,2	2,0	-0,7	2,0	-0,6	2,0	-0,7
Line 9-10	2,7	112,6	1,4	112,6	1,0	112,8	1,4	149,6	0,9	131,2	0,6	124,8	2,4	14,7	1,2	18,5	0,9	19,9	2,7	16,0	1,4	11,3	1,0	9,8
Line 9-14	2,6	112,9	0,7	115,8	0,5	116,6	1,3	148,3	0,4	123,8	0,3	121,2	2,3	15,3	0,6	23,8	0,5	25,2	2,6	15,9	0,7	12,5	0,5	12,8
Line 13-14	0,9	120,8	0,5	117,8	0,5	116,6	0,5	129,3	0,3	122,1	0,3	121,1	0,8	28,3	0,5	26,4	0,4	25,2	0,9	19,0	0,5	14,3	0,5	12,9
Line 11-10	0,7	115,2	0,7	114,2	1,0	112,8	0,4	121,6	0,5	121,0	0,6	124,5	0,6	23,3	0,6	22,2	0,9	20,0	0,7	11,2	0,7	10,2	1,0	9,8
Line 6-11	2,8	115,6	0,9	115,9	0,7	115,2	1,4	152,7	0,6	126,2	0,4	121,7	2,6	17,8	0,8	23,4	0,6	23,3	2,8	19,4	0,9	12,8	0,7	11,3
Line 6-13	2,9	115,7	1,2	118,6	0,9	120,9	1,4	153,3	0,7	133,3	0,5	129,7	2,6	17,8	1,1	25,3	0,8	28,3	2,8	19,6	1,2	17,6	0,9	19,1
Line 12-13	1,3	112,0	0,8	126,5	0,9	121,3	0,4	128,6	0,4	133,3	0,5	129,9	1,1	17,2	0,7	34,3	0,8	28,8	1,1	14,8	0,7	26,5	0,9	19,6
Line 6-12	2,8	115,6	1,0	115,2	1,3	111,3	1,4	152,3	0,5	128,5	0,4	128,3	2,5	17,9	0,9	22,2	1,1	16,5	2,7	19,4	0,9	15,4	1,1	14,2
Line 1-2	5,8	109,8	3,8	109,4	3,1	108,6	7,8	114,4	3,8	110,8	3,7	108,4	5,2	10,7	3,4	13,4	2,8	13,6	8,6	-19,3	3,9	-9,4	3,6	-21,0

DlgSI/info - DPL program 'Multiple Line Fault' successfully executed

Εικόνα 4.27: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – Output Window (IEEE 14-bus).

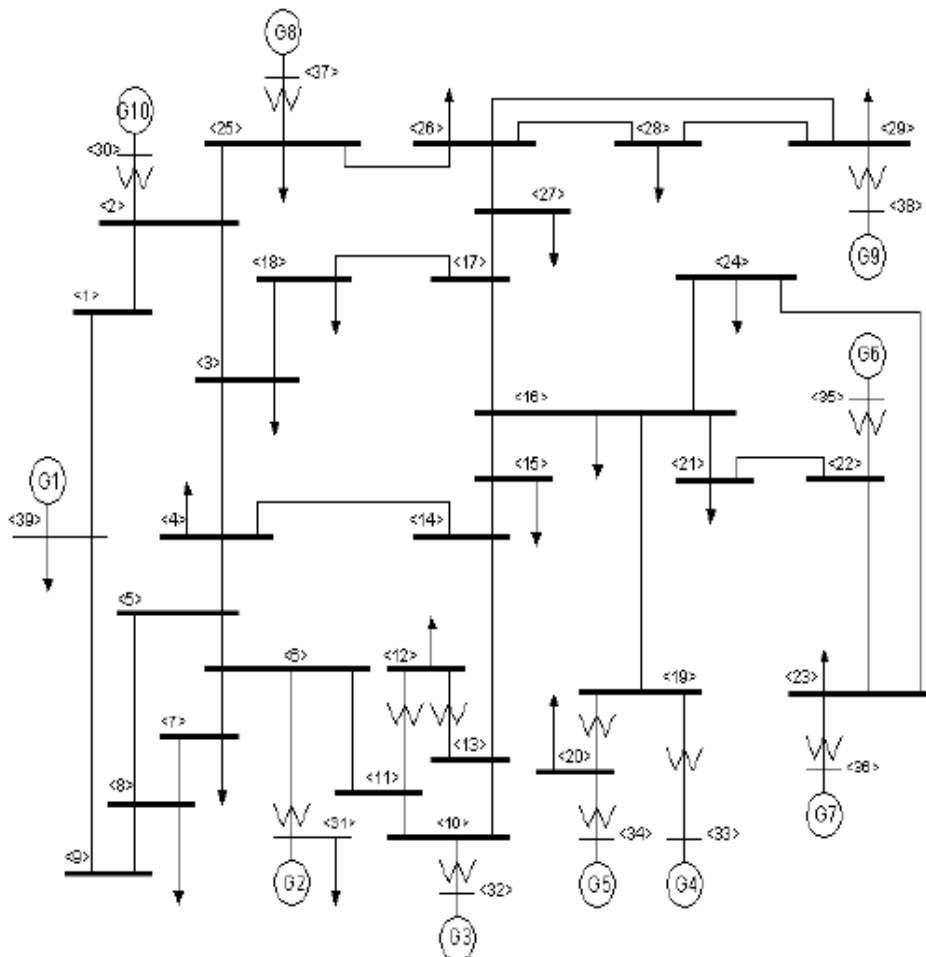
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)		
Line Name	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	
Line 1-5	5,5	109,5	2,1	106,4	2,2	107,8	7,1	113,3	1,5	106,2	1,6	107,6	5	10,8	1,8	13,1	1,9	14,2	7,5	-18,7	1,9	-2	2	-0,7	
Line 2-5	3,1	108,6	1,9	108,3	2,2	107,9	3,6	108,3	1,5	108,2	1,6	107,7	2,7	13,7	1,7	15,3	1,9	14,3	3,5	-20	1,8	-2,1	2	-0,7	
Line 2-4	3,1	108,6	1,9	108,2	2,1	107,5	3,6	108,3	1,5	108,2	1,5	107,6	2,7	13,7	1,6	15,2	1,9	14	3,5	-20	1,7	-2,1	1,9	-0,7	
Line 2-3	3	108,5	1,6	106,5	1,3	107,4	3,6	108,1	1,2	105,7	0,9	106,9	2,7	13,6	1,4	14	1,1	15,3	3,4	-20,1	1,4	-144,2	1,2	-0,5	
Line 3-4	1,3	107,5	1,4	108,4	2,1	107,6	0,9	107	1	108,4	1,5	107,7	1,1	15,3	1,3	16,1	1,8	14,1	1,2	-0,4	1,3	1	1,9	-0,6	
Line 5-4	2,1	107,5	2,1	107,7	2,2	107,9	1,5	107,6	1,5	107,7	1,6	107,7	1,9	14	1,9	14,2	2	14,2	2	-0,7	2	-0,6	2	-0,7	
Line 9-10	2,7	112,6	1,4	112,6	1	112,8	1,4	149,6	0,9	131,2	0,6	124,8	2,4	14,7	1,2	18,5	0,9	19,9	2,7	16	1,4	11,3	1	9,8	
Line 9-14	2,6	112,9	0,7	115,8	0,5	116,6	1,3	148,3	0,4	123,8	0,3	121,2	2,3	15,3	0,6	23,8	0,5	25,2	2,6	15,9	0,7	12,5	0,5	12,8	
Line 13-14	0,9	120,8	0,5	117,8	0,5	116,6	0,5	129,3	0,3	122,1	0,3	121,1	0,8	28,3	0,5	26,4	0,4	25,2	0,9	19	0,5	14,3	0,5	12,9	
Line 11-10	0,7	115,2	0,7	114,2	1	112,8	0,4	121,6	0,5	121	0,6	124,5	0,6	23,3	0,6	22,2	0,9	20	0,7	11,2	0,7	10,2	1	9,8	
Line 6-11	2,8	115,6	0,9	115,9	0,7	115,2	1,4	152,7	0,6	126,2	0,4	121,7	2,6	17,8	0,8	23,4	0,6	23,3	2,8	19,4	0,9	12,8	0,7	11,3	
Line 6-13	2,9	115,7	1,2	118,6	0,9	120,9	1,4	153,3	0,7	133,3	0,5	129,7	2,6	17,8	1,1	25,3	0,8	28,3	2,8	19,6	1,2	17,6	0,9	19,1	
Line 12-13	1,3	112	0,8	126,5	0,9	121,3	0,4	128,6	0,4	133,3	0,5	129,9	1,1	17,2	0,7	34,3	0,8	28,8	1,1	14,8	0,7	26,5	0,9	19,6	
Line 6-12	2,8	115,6	1	115,2	1,3	111,3	1,4	152,3	0,5	128,5	0,4	128,3	2,5	17,9	0,9	22,2	1,1	16,5	2,7	19,4	0,9	15,4	1,1	14,2	
Line 1-2	5,8	109,8	3,8	109,4	3,1	108,6	7,8	114,4	3,8	110,8	3,7	108,4	5,2	10,7	3,4	13,4	2,8	13,6	8,6	-19,3	3,9	-9,4	3,6	-21	

Εικόνα 4.28: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script– MS Excel File (IEEE 14-bus).

4.4 Δίκτυο 39 ζυγών New England

4.4.1 Δεδομένα δικτύου

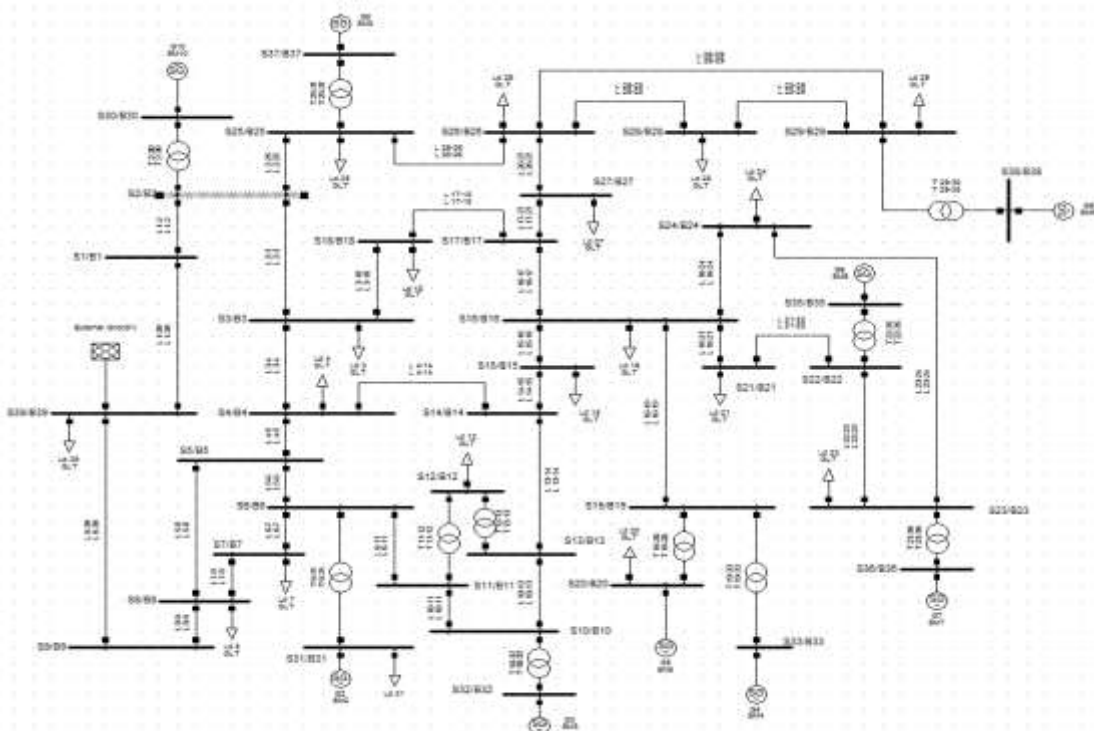
Το δίκτυο 39 ζυγών New England αποτελείται από 9 σταθμούς παραγωγής (γεννήτριες και μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης), 34 γραμμές μεταφοράς, 2 μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης, 19 φορτία και το άπειρο σύστημα στο οποίο συνδέεται. Τα δεδομένα του δικτύου παρουσιάζονται στη συνέχεια όπως παρατίθενται στην [24]. Το μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου απεικονίζεται στην Εικόνα 4.29, όπως δίδεται στην [25], ενώ στην εικόνα 4.30 φαίνεται η υλοποίηση του δικτύου στο περιβάλλον του PowerFactory.



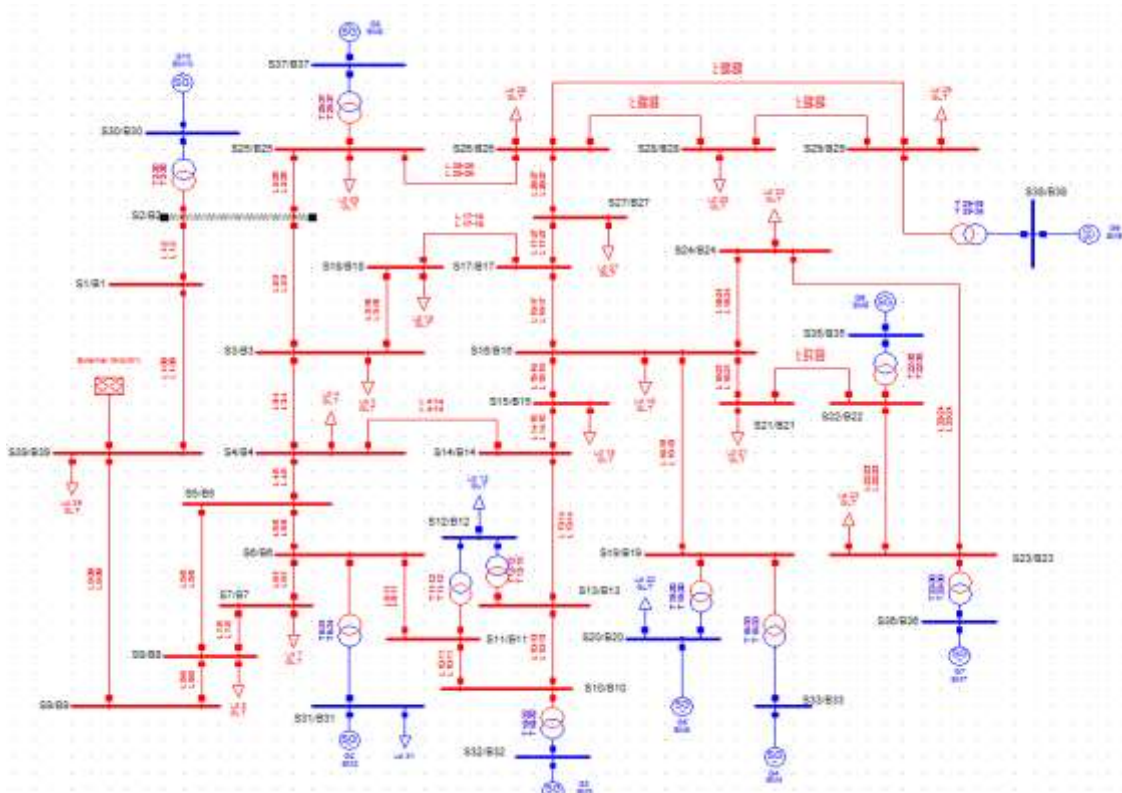
Εικόνα 4.29: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 39 ζυγών New England.

Στην εικόνα 4.31 παρουσιάζονται χρωματικά τα επίπεδα τάσης του δικτύου. Τα στοιχεία του δικτύου τα οποία απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 150 kV,

ενώ τα στοιχεία που απεικονίζονται με μπλε χρώμα ανήκουν στο επίπεδο τάσης των 20 kV. Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά του δικτύου παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.28 έως 4.32.



Εικόνα 4.30: Μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου 39 ζυγών New England στο PowerFactory.



Εικόνα 4.31: Επίπεδα τάσης δικτύου 39 ζυγών New England.

Πίνακας 4.28: Χαρακτηριστικά Γραμμών Μεταφοράς του δικτύου 39 ζυγών New England

Γραμμή	R(Ω/km)	X(Ω/km)	B(μS/km)	R ₀ (Ω/km)	X ₀ (Ω/km)	Μήκος(km)
1-2	0,7875	9,2475	3105,333	2,3625	27,7425	1
1-39	0,225	5,625	3333,333	0,675	16,875	1
2-3	0,2925	3,3975	1143,111	0,8775	10,1925	1
2-25	1,575	1,935	648,8889	4,725	5,805	1
3-4	0,2925	4,7925	984	0,8775	14,3775	1
3-18	0,2475	2,5425	950,2222	0,7425	7,6275	1
4-5	0,18	2,88	596,4444	0,54	8,64	1
4-14	0,18	2,9025	614,2222	0,54	8,7075	1
5-6	0,045	0,585	192,8889	0,135	1,755	1
5-8	0,18	2,52	656	0,54	7,56	1
6-7	0,135	2,07	502,2222	0,405	6,21	1
6-11	0,1575	1,845	617,3333	0,4725	5,535	1
7-8	0,09	1,035	346,6667	0,27	3,105	1
8-9	5,175	8,1675	1690,667	15,525	24,5025	1
9-39	0,225	5,625	5333,333	0,675	16,875	1
10-11	0,09	0,9675	324	0,27	2,9025	1
10-13	0,09	0,9675	324	0,27	2,9025	1
13-14	0,2025	2,2725	765,7778	0,6075	6,8175	1
14-15	0,405	4,8825	1626,667	1,215	14,6475	1
15-16	0,2025	2,115	760	0,6075	6,345	1
16-17	0,1575	2,0025	596,4444	0,4725	6,0075	1
16-19	0,36	4,3875	1351,111	1,08	13,1625	1
16-21	0,18	3,0375	1132,444	0,54	9,1125	1
16-24	0,0675	1,3275	302,2222	0,2025	3,9825	1
17-18	0,1575	1,845	586,2222	0,4725	5,535	1
17-27	0,2925	3,8925	1429,333	0,8775	11,6775	1
21-22	0,18	3,15	1140	0,54	9,45	1
22-23	0,135	2,16	820,4444	0,405	6,48	1
23-24	0,495	7,875	1604,444	1,485	23,625	1
25-26	0,72	7,2675	2280	2,16	21,8025	1
26-27	0,315	3,3075	1064,889	0,945	9,9225	1
26-28	0,9675	10,665	3467,556	2,9025	31,995	1
26-29	1,2825	14,0625	4573,333	3,8475	42,1875	1
28-29	0,315	3,3975	1106,667	0,945	10,1925	1

Πίνακας 4.29: Χαρακτηριστικά Γεννητριών του δικτύου 39 ζυγών New England

Ζυγός	S _n (MVA)	V _p (kV)	X''(%)	X ₀ (%)	X ₂ (%)
31	720	20	0,0697	0,1	0,0697
32	700	20	0,0531	0,1	0,0531
33	650	20	0,0436	0,1	0,0436
20	550	20	0,132	0,1	0,132
35	700	20	0,05	0,1	0,05
36	600	20	0,049	0,1	0,049
37	550	20	0,057	0,1	0,057
38	850	20	0,057	0,1	0,057
30	300	20	0,031	0,1	0,031

Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστών του δικτύου 39 ζυγών New England

Ζυγοί	S_n (MVA)	V_L (kV)	V_H (kV)	Z(%)
2-30	320	20	150	1,81
6-31	750	20	150	2,5
10-32	720	20	150	2,0
11-12	720	20	150	4,35
12-13	720	20	150	4,35
19-20	600	20	150	1,38
19-33	680	20	150	1,42
22-35	720	20	150	1,43
23-36	620	20	150	2,72
25-37	580	20	150	2,32
29-38	870	20	150	1,56

Πίνακας 4.31: Χαρακτηριστικά Ισοδύναμου ΣΗΕ του δικτύου 39 ζυγών New England

Ζυγός	S_n (MVA)	R/X
39	16583,75	0,1

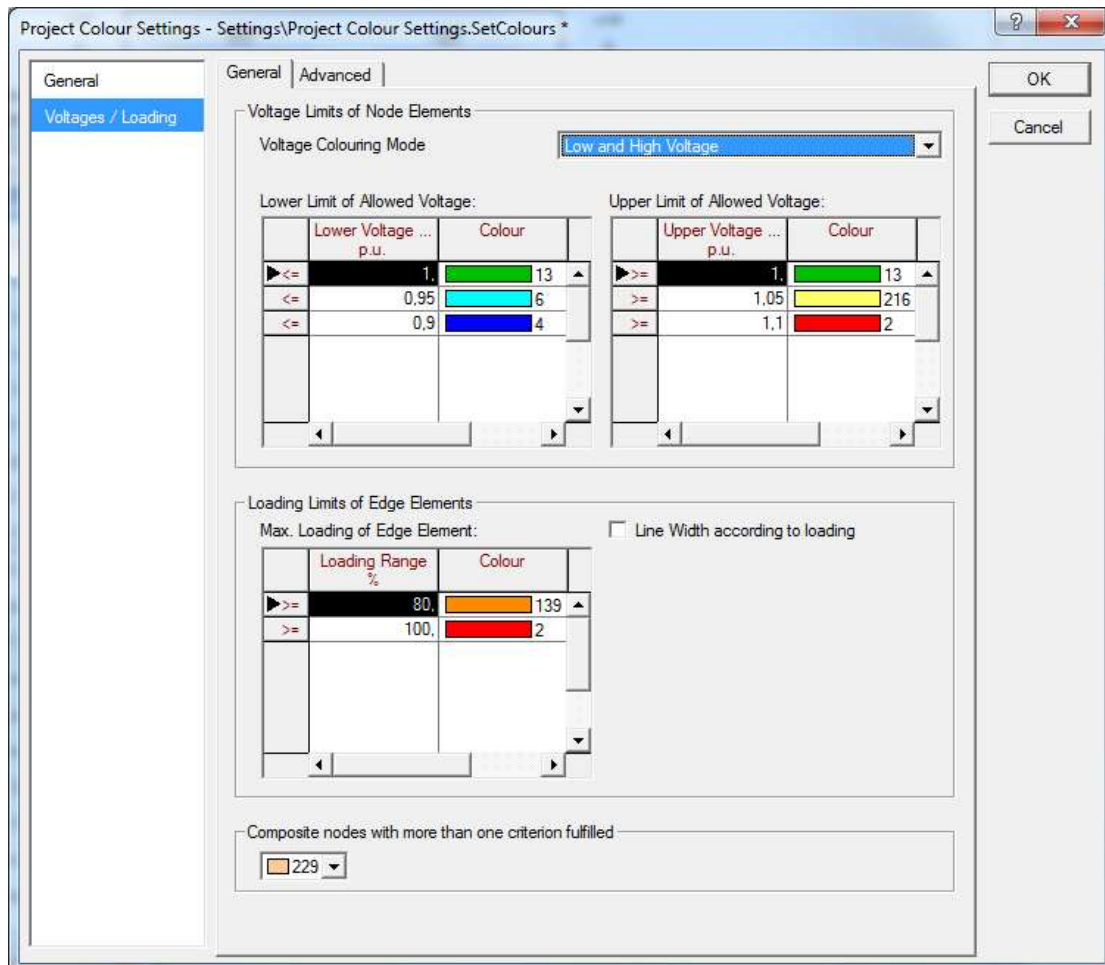
Πίνακας 4.32: Χαρακτηριστικά Ζυγών και Φορτίων του δικτύου 39 ζυγών New England

Ζυγός	U(kV)	P_G (MW)	Q_G (Mvar)	P_D (MW)	Q_D (Mvar)
1	150	-	-	-	-
2	150	-	-	-	-
3	150	-	-	322	2,4
4	150	-	-	500	184
5	150	-	-	-	-
6	150	-	-	-	-
7	150	-	-	233,8	84
8	150	-	-	522	176
9	150	-	-	-	-
10	150	-	-	-	-
11	150	-	-	-	-
12	20	-	-	7,5	88
13	150	-	-	-	-
14	150	-	-	-	-
15	150	-	-	320	153
16	150	-	-	329	32,3
17	150	-	-	-	-
18	150	-	-	158	30
19	150	-	-	-	-
20	20	508	-	628	103
21	150	-	-	274	115
22	150	-	-	-	-
23	150	-	-	247,5	84,6
24	150	-	-	308,6	-92
25	150	-	-	224	47,2
26	150	-	-	139	17
27	150	-	-	281	75,5
28	150	-	-	206	27,6

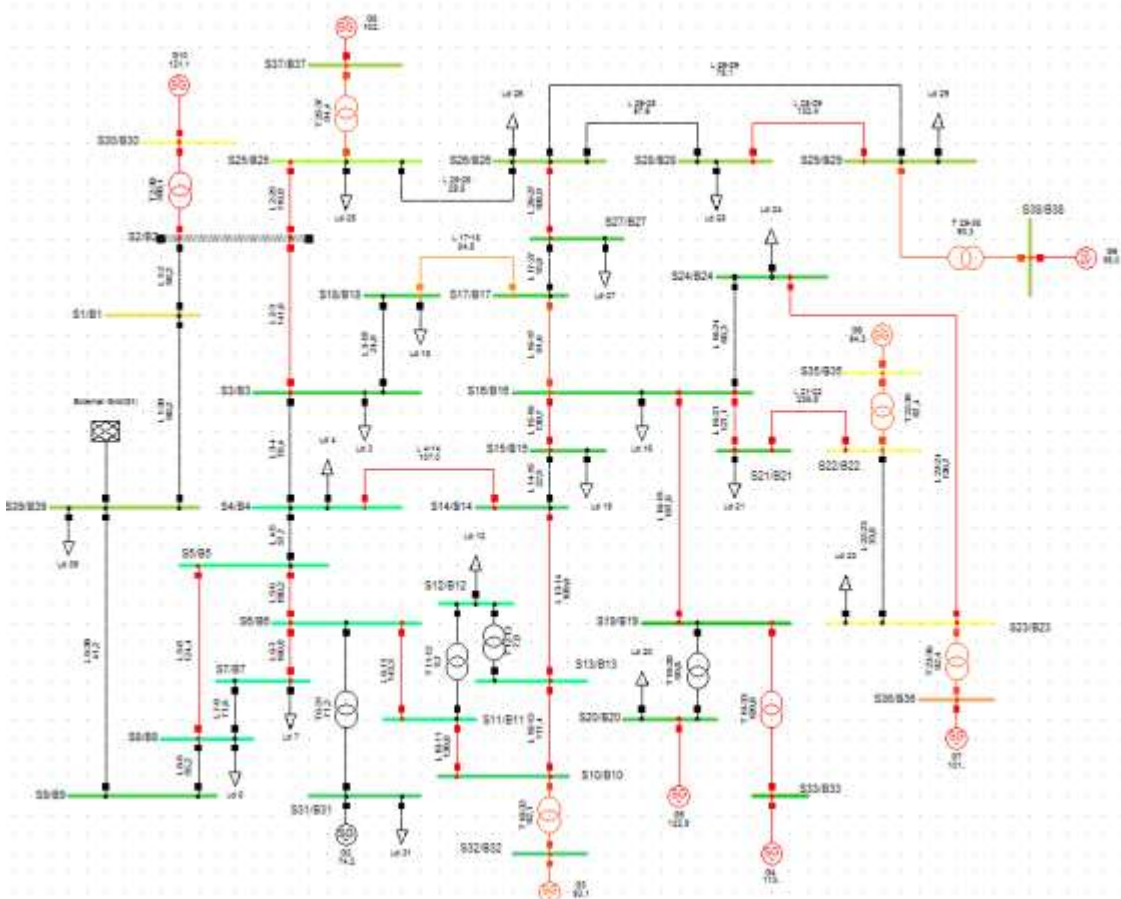
29	150	-	-	283,5	26,9
30	20	250	-	-	-
31	20	-	-	9,2	4,6
32	20	650	-	-	-
33	20	632	-	-	-
35	20	650	-	-	-
36	20	560	-	-	-
37	20	540	-	-	-
38	20	830	-	-	-
39	150	1000	-	1104	250

4.4.2 Μελέτη ροής φορτίου

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων ροής φορτίου στο δίκτυο 39 ζυγών New England. Στην εικόνα 4.32 γίνεται παρουσίαση του κώδικα χρωμάτων που έχει εφαρμοστεί στο δίκτυο, ενώ στην εικόνα 4.33 παρουσιάζεται η χρωματική απεικόνιση της ροής φορτίου του δικτύου, ανάλογα την τάση των ζυγών και τη φόρτιση των κλάδων.



Εικόνα 4.32: Κώδικας χρωμάτων ροής φορτίου.



Εικόνα 4.33: Γραφική απεικόνιση ροής φορτίου του δικτύου 39 ζυγών New England.

Στους Πίνακες 4.33 έως 4.38 παρατίθενται τα λεπτομερή αποτελέσματα της ροής φορτίου για τα όλα τα στοιχεία του δικτύου.

Πίνακας 4.33: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τις γεννήτριες

Ζυγός	P_i (MW)	Q_i (Mvar)	I_i (kA)	Loading(%)
31	516,4	136,5	15,700	74,2
32	650,0	45,4	19,133	93,1
33	632,0	-382,9	21,391	113,7
20	508,0	445,6	19,271	122,9
35	650,0	114,4	18,157	94,3
36	560,0	240,4	16,542	101,6
37	540,0	-157,5	15,799	102,3
38	830,0	71,5	23,428	98,0
30	250,0	263,6	10,012	121,1

Πίνακας 4.34: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τους ζυγούς

Ζυγός	U(kV)	u(p.u)	phi(deg)
1	156,2	1,04	-2,3
2	155,5	1,03	0,9
3	151,3	1,01	-1,9
4	146,3	0,98	-2,8
5	146,4	0,98	-1,7
6	146,7	0,98	-1,0
7	145,2	0,97	-3,3
8	145,2	0,97	-3,8
9	153,0	1,02	-4,7
10	147,3	0,98	1,7
11	146,9	0,98	0,8
12	19,5	0,98	0,8
13	147,1	0,98	0,9
14	147,2	0,98	-0,8
15	148,5	0,99	-0,9
16	151,4	1,01	0,7
17	151,7	1,01	-0,5
18	151,3	1,01	-1,5
19	150,7	1,00	6,4
20	20,2	1,01	6,2
21	152,8	1,02	3,2
22	157,1	1,05	7,6
23	158,0	1,05	7,4
24	152,9	1,02	0,8
25	155,0	1,03	2,7
26	154,4	1,03	1,5
27	152,2	1,01	-0,6
28	154,0	1,03	5,2
29	154,1	1,03	8,1
30	21,0	1,05	1,6
31	19,6	0,98	0,0
32	19,7	0,98	2,7
33	19,8	1,00	7,2
35	21,0	1,05	8,3
36	21,3	1,06	8,6
37	20,6	1,03	3,9
38	20,5	1,03	8,9
39	154,5	1,03	-4,2

Πίνακας 4.35: Αποτελέσματα ροής φορτίου για το ισοδύναμο ΣΗΕ

Ζυγός	P _i (MW)	Q _i (Mvar)	I _i (kA)
39	1000,0	149,8	3,779

Πίνακας 4.36: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τις γραμμές

Γραμμή	P_{ij} (MW)	P_{ji} (MW)	Q_{ij} (Mvar)	Q_{ji} (Mvar)	I_{ij} (kA)	I_{ji} (kA)	Loading(%)
1-2	-141,4	142,0	-2,2	-64,9	0,523	0,582	58,2
1-39	141,4	-141,4	2,2	-77,6	0,523	0,602	60,2
2-3	345,7	-344,0	132,6	-139,5	1,379	1,416	141,6
2-25	-237,7	244,0	189,1	-197,0	1,131	1,168	116,8
3-4	85,1	-84,7	141,5	-156,9	0,630	0,704	70,4
3-18	-63,1	63,2	-4,4	-16,9	0,241	0,249	24,9
4-5	145,9	-145,7	-12,2	2,3	0,577	0,575	57,7
4-14	-269,6	270,2	-29,3	26,0	1,070	1,065	107,0
5-6	456,1	-455,7	35,5	-34,0	1,801	1,902	180,2
5-8	309,8	-309,0	46,2	-48,5	1,235	1,244	124,4
6-7	-419,5	414,6	-71,2	77,7	1,668	1,661	166,8
6-11	-363,6	364,5	9,1	-11,1	1,432	1,433	143,3
7-8	-179,6	179,7	7,1	-12,8	0,715	0,716	71,6
8-9	37,1	-33,5	102,8	-134,6	0,412	0,552	55,2
9-39	-37,1	37,2	-102,8	-22,6	0,412	0,162	41,2
10-11	-350,2	350,8	-26,4	24,9	1,380	1,378	138,0
10-13	299,2	-298,9	8,3	-11,4	1,173	1,174	117,4
13-14	277,1	-276,3	-39,5	31,1	1,099	1,091	109,9
14-15	-6,1	6,2	21,9	-57,1	0,088	0,225	22,5
15-16	315,0	-319,9	169,9	-174,9	1,365	1,397	139,7
16-17	236,0	-235,6	-44,4	35,7	0,916	0,907	91,6
16-19	-507,1	511,3	74,7	-54,7	1,955	1,970	197,0
16-21	328,7	-327,8	47,4	-59,1	1,255	1,271	127,1
16-24	-45,1	45,2	-173,3	168,1	0,683	0,658	68,3
17-18	221,5	-221,2	3,6	-13,1	0,843	0,845	84,5
17-27	-14,1	14,1	6,5	-39,4	0,059	0,159	15,9
21-22	-602,7	605,7	-162,4	187,0	2,358	2,330	235,8
22-23	44,3	-44,3	-80,5	60,7	0,338	0,275	33,8
23-24	356,5	-353,8	80,7	76,1	1,336	1,367	136,7
25-26	71,7	-71,6	-19,7	-33,3	0,277	0,295	29,5
26-27	267,9	-266,9	67,8	-82,0	1,033	1,059	105,9
26-28	-143,0	143,8	-18,6	-54,5	0,539	0,576	57,6
26-29	-192,4	194,4	-32,9	-74,8	0,730	0,781	78,1
28-29	-349,8	351,5	26,9	-35,4	1,315	1,324	132,4

Πίνακας 4.37: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τους Μ/Σ

Ζυγοί	P_{ij} (MW)	P_{ji} (MW)	Q_{ij} (Mvar)	Q_{ji} (Mvar)	I_{ij} (kA)	I_{ji} (kA)	Loading(%)
2-30	-250,0	250,0	-256,8	263,6	1,335	10,012	108,4
6-31	-507,2	507,2	-122,4	131,9	2,054	15,405	71,2
10-32	-650,0	650,0	-33,2	45,4	2,551	19,133	92,1
11-12	-14,3	14,3	37,5	-37,4	0,158	1,182	5,7
12-13	-21,8	21,8	-50,6	50,8	1,629	0,217	7,8
19-20	120,1	-120,0	-339,7	342,6	1,380	10,353	59,8
19-33	-631,4	632,0	394,4	-382,9	2,852	21,391	109,0
22-35	-650,0	650,0	-106,6	114,4	2,421	18,157	87,4
23-36	-559,7	560,0	-226,0	240,4	2,206	16,542	92,4
25-37	-539,7	540,0	169,5	-157,5	2,107	15,799	94,4
29-38	-829,4	830,0	83,3	-71,5	3,124	23,428	93,3

Πίνακας 4.38: Αποτελέσματα ροής φορτίου για τα φορτία.

Ζυγός	P_D (MW)	Q_D (Mvar)	I_i (kA)
3	322,0	2,4	1,229
4	500,0	184,0	2,102
7	233,8	84,0	0,988
8	522,0	176,0	2,191
12	7,5	88,0	2,609
15	320,0	153,0	1,379
16	329,0	32,3	1,261
18	158,0	30,0	0,614
20	628,0	103,0	18,148
21	274,0	115,0	1,123
23	247,5	84,6	0,956
24	308,6	-92,0	1,216
25	224,0	47,2	0,852
26	139,0	17,0	0,524
27	281,0	75,5	1,104
28	206,0	27,6	0,779
29	283,5	26,9	1,067
31	9,2	4,6	0,302
39	1104,0	250,0	4,230

4.4.3 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν οι τιμές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το δίκτυο 39 ζυγών New England. Για την υλοποίηση της μελέτης και την συμπλήρωση των Πινάκων 4.39 έως 4.42 πραγματοποιήθηκαν 272 βραχυκυκλώματα.

Οι πίνακες περιέχουν 3-φασικά, 1-φασικά, 2-φασικά και 2-φασικά προς γη βραχυκυκλώματα για διάφορες τιμές αντιστάσεως σφάλματος, ενώ αφορούν close-in(1%) και far-end(99%) σφάλματα κατά μήκος όλων των γραμμών μεταφοράς του δικτύου. Επιπλέον, για κάθε βραχυκύκλωμα αναγράφονται οι συνεισφορές από τους γειτονικούς κλάδους με βάθος 1 ζυγό.

Πίνακας 4.39: Close-in σφάλματα(1%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (New England 39-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 0 \Omega$							
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To	I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)	
2	1	66,430	57,570	99,714	8,157	8,157	57,662	4,343	97,542	
		L2-1	60,599	52,543	90,963	5,996	3,121	52,647	1,662	88,980
		L25-2	19,726	17,150	29,730	1,821	0,611	17,150	0,325	29,082
		L3-2	11,788	10,267	17,694	1,796	2,512	10,277	1,337	17,307
		T30-2	29,897	25,997	44,844	2,446	0,000	26,007	0,000	43,866
1	2									
		L1-2	5,846	5,089	8,766	2,169	5,072	5,166	2,700	8,574
		L39-1	5,846	5,089	8,766	2,169	5,072	5,166	2,700	8,574

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1	39		22,494	19,481	33,741	10,459	10,459	19,858	6,813	30,336
		L1-39	8,797	7,623	13,197	3,226	1,505	7,720	0,981	11,865
		L2-1	8,797	7,623	13,197	3,226	1,505	7,720	0,981	11,865
39	1									
		L39-1	13,700	11,869	20,550	7,238	8,973	12,196	5,845	18,477
		L9-39	1,025	0,889	1,539	0,185	1,505	0,938	0,981	1,383
		Ex Grid	12,699	11,001	19,047	7,422	10,459	11,508	6,813	17,124
39	9		72,181	62,513	108,279	38,914	38,914	64,813	26,619	95,001
		L39-9	66,855	57,900	100,278	36,979	38,858	60,351	26,581	87,987
		L1-39	5,543	4,803	8,316	1,974	0,057	4,835	0,039	7,296
		Ex Grid	61,313	53,103	91,968	35,006	38,914	55,556	26,619	80,694
9	39									
		L9-39	5,462	4,734	8,196	1,982	0,057	4,770	0,039	7,191
		L8-9	5,462	4,734	8,196	1,982	0,057	4,770	0,039	7,191
8	9		40,440	35,027	60,669	7,716	7,716	35,381	4,261	58,557
		L8-9	34,707	30,081	52,092	5,385	2,933	30,181	1,620	50,280
		L5-8	17,938	15,545	26,922	2,828	1,653	15,597	0,913	25,986
		L7-8	16,769	14,536	25,170	2,556	1,280	14,584	0,707	24,294
9	8									
		L9-8	5,916	5,137	8,874	2,370	4,864	5,233	2,686	8,565
		L39-9	5,916	5,137	8,874	2,370	4,864	5,233	2,686	8,565
5	8		64,948	56,258	97,443	7,856	7,856	56,641	4,178	95,379
		L5-8	57,499	49,820	86,286	6,304	5,003	50,047	2,661	84,462
		L4-5	12,813	11,141	19,236	1,817	2,366	11,127	1,258	18,828
		L6-5	44,686	38,752	67,053	4,490	2,660	38,938	1,414	65,634
8	5									
		L8-5	7,475	6,478	11,199	1,561	2,877	6,597	1,530	10,962
		L7-8	2,964	2,591	4,482	0,374	1,772	2,723	0,943	4,386
		L9-8	4,705	4,098	7,059	1,925	4,649	4,171	2,472	6,909
7	8		41,728	36,139	62,595	7,431	7,431	36,510	4,074	60,582
		L7-8	24,864	21,547	37,311	3,784	2,501	21,665	1,372	36,111
		L6-7	24,864	21,547	37,311	3,784	2,501	21,665	1,372	36,111
8	7									
		L8-7	16,887	14,633	25,323	3,653	4,947	14,849	2,713	24,510
		L5-8	12,232	10,603	18,363	1,589	0,478	10,601	0,262	17,772
		L9-8	4,806	4,176	7,209	2,093	4,581	4,267	2,512	6,978
6	7		83,061	71,944	124,611	7,925	7,925	72,348	4,159	122,562
		L6-7	79,284	68,699	128,968	6,836	5,379	68,974	2,823	127,012
		L5-6	12,050	10,503	18,087	2,139	4,122	10,502	2,163	17,790
		L11-6	21,217	18,447	31,854	1,768	1,263	18,407	0,663	31,329
		T31-6	46,048	40,039	69,129	2,930	0,000	40,108	0,000	67,992
7	6									
		L7-6	3,836	3,343	5,754	1,097	2,561	3,382	1,344	5,598
		L8-7	3,839	3,343	5,754	1,097	2,561	3,382	1,344	5,598
5	6		65,930	57,109	98,916	7,869	7,869	57,492	4,181	96,852
		L5-6	20,207	17,550	30,315	3,329	5,166	17,645	2,745	29,685
		L4-5	12,992	11,296	19,503	1,819	2,370	11,281	1,259	19,098
		L8-5	7,235	6,270	10,839	1,522	2,841	6,389	1,510	10,611
6	5									
		L6-5	45,731	39,658	68,662	4,540	2,705	39,847	1,437	67,188
		L11-6	14,595	12,691	21,915	1,464	0,918	12,670	0,488	21,459
		L7-6	2,712	2,373	4,107	0,409	1,813	2,517	0,963	4,020
		T31-6	33,793	29,380	50,733	2,690	0,000	29,440	0,000	49,674

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4	5		45,382	39,323	68,109	7,398	7,398	39,643	4,024	66,114
		L4-5	26,052	22,595	39,114	4,238	4,224	22,695	2,298	37,968
		L14-4	14,592	12,650	21,909	2,118	1,595	12,730	0,868	21,267
		L3-4	11,461	9,945	17,205	2,121	2,639	9,967	1,436	16,701
5	4									
		L5-4	19,330	16,755	29,001	3,163	3,199	16,948	1,740	28,149
		L6-5	16,557	13,361	28,249	2,097	0,895	14,432	0,487	24,120
		L8-5	2,786	2,415	4,170	1,071	2,305	2,518	1,254	4,050
3	4		42,309	36,675	63,522	7,389	7,389	36,902	4,046	61,506
		L3-4	30,172	26,163	45,309	5,124	4,839	26,260	2,649	43,869
		L2-3	18,289	15,852	27,435	3,332	3,628	15,888	1,987	26,562
		L18-3	11,886	10,328	17,877	1,793	1,222	10,373	0,669	17,310
4	3									
		L4-3	12,142	10,525	18,222	2,265	2,569	10,649	1,407	17,643
		L14-4	4,712	4,093	7,086	0,627	0,233	4,101	0,128	6,861
		L5-4	7,430	6,432	11,136	1,639	2,336	6,551	1,27	10,785
4	14		45,258	39,216	67,923	7,389	7,389	39,535	4,020	65,931
		L4-14	30,438	26,371	45,672	5,232	5,758	26,606	3,132	44,331
		L3-4	11,438	9,926	17,172	2,119	2,633	9,947	1,432	16,668
		L5-4	19,000	16,469	28,503	3,117	3,159	16,659	1,719	27,665
14	4									
		L14-4	14,820	12,848	22,251	2,158	1,632	12,929	0,888	21,600
		L13-14	9,926	8,602	14,883	1,356	0,842	8,675	0,458	14,448
		L15-14	4,894	4,268	7,471	0,803	0,814	4,268	0,443	7,155
2	3		69,082	59,872	103,701	8,158	8,158	59,961	4,333	101,535
		L2-3	56,533	49,035	84,837	6,325	5,633	49,035	2,992	83,064
		L1-2	5,693	4,957	8,535	2,130	5,047	5,032	2,681	8,358
		L25-2	20,525	17,846	30,936	1,820	0,604	17,846	0,321	30,291
		T30-2	31,127	27,069	46,692	2,449	0,000	27,078	0,000	45,714
3	2									
		L3-2	12,597	10,971	18,909	1,833	2,544	10,977	1,351	18,513
		L18-3	6,013	5,243	9,039	0,599	0,378	5,232	0,201	8,850
		L4-3	6,585	5,728	3,290	1,236	2,166	5,767	1,150	9,666
18	3		35,357	30,679	53,139	6,628	6,628	30,886	3,654	51,318
		L18-3	18,879	16,406	28,413	3,152	2,371	16,500	1,307	27,438
		L17-18	18,879	16,406	28,413	3,152	2,371	16,500	1,307	27,438
3	18									
		L3-18	16,480	14,279	824,726	3,475	4,259	14,387	2,348	23,880
		L2-3	10,179	8,820	15,267	2,154	2,669	8,849	1,471	14,745
		L4-3	6,304	5,467	9,465	1,325	1,628	5,559	0,898	9,138
17	18		35,399	30,716	53,202	6,623	6,623	30,923	3,651	51,384
		L17-18	19,056	16,561	28,680	3,177	2,391	16,655	1,318	27,699
		L16-17	14,246	12,402	21,474	2,267	1,458	12,469	0,804	20,742
		L27-17	4,810	4,159	7,203	0,910	0,935	4,187	0,516	6,957
18	17									
		L18-17	16,344	14,162	24,525	3,446	4,234	14,269	2,334	23,685
		L3-18	16,344	14,162	24,525	3,446	4,234	14,269	2,334	23,685
25	2		64,652	56,002	96,999	7,106	7,106	56,159	3,760	95,121
		L25-2	43,042	37,374	64,626	3,559	1,220	37,396	0,645	63,375
		L26-25	7,480	6,521	11,23	0,952	1,220	6,540	0,645	11,016
		T37-25	35,565	30,934	53,409	2,607	0,000	30,958	0,000	52,377
2	25									
		L2-25	22,538	19,632	33,930	3,614	5,928	19,784	3,136	33,273

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L1-2	2,700	2,365	4,065	1,628	4,318	2,669	2,285	3,987
		L3-2	5,080	4,459	7,668	0,944	1,711	4,445	0,905	7,518
		T30-2	14,780	12,834	22,257	1,085	0,000	12,825	0,000	21,828
25	26		62,519	54,145	93,783	7,055	7,055	54,316	3,739	91,917
		L25-26	54,938	47,605	82,707	6,084	5,857	47,786	3,104	80,739
		L2-25	21,441	18,677	32,280	3,551	5,857	18,826	3,104	31,638
		T37-25	34,385	29,904	51,630	2,588	0,000	29,930	0,000	50,604
26	25									
		L26-25	7,261	6,568	11,445	0,984	1,240	6,658	0,657	11,217
		L28-26	2,330	2,027	3,495	0,175	0,000	2,026	0,000	3,423
		L29-26	2,330	2,027	3,495	0,175	0,000	2,026	0,000	3,423
		L27-26	2,977	2,599	4,479	0,637	1,240	2,608	0,657	4,389
26	29		29,988	25,984	45,006	5,548	5,548	26,152	3,056	43,482
		L26-29	24,396	21,142	36,612	4,849	5,520	21,298	3,040	35,373
		L25-26	10,056	8,710	15,081	2,193	2,860	8,807	1,575	14,571
		L28-26	5,292	4,587	7,941	0,643	0,028	4,595	0,015	7,674
		L27-26	9,050	7,856	13,596	2,015	2,695	7,903	1,484	13,134
29	26									
		L29-26	5,592	4,847	8,391	0,699	0,028	4,856	0,015	8,109
		L28-29	5,292	4,587	7,941	0,643	0,028	4,595	0,015	7,674
		T38-29	10,884	9,435	16,335	1,342	0,000	9,451	0,000	15,780
26	28		30,192	26,160	45,312	5,564	5,564	26,329	3,063	43,785
		L26-28	24,618	21,335	36,945	4,872	5,543	21,491	3,051	35,700
		L25-26	10,145	8,786	15,213	2,201	2,868	8,884	1,579	14,700
		L27-26	9,130	7,925	13,716	2,023	2,702	7,972	1,488	13,254
		L29-26	5,345	4,634	8,022	0,650	0,021	4,641	0,012	7,752
28	26									
		L28-26	5,574	4,832	8,367	0,692	0,021	4,841	0,012	8,085
		L29-28	5,574	4,832	8,367	0,692	0,021	4,841	0,012	8,085
26	27		30,730	26,627	46,119	5,610	5,610	26,797	3,086	44,580
		L26-27	21,308	18,463	31,965	3,553	2,884	18,577	1,586	30,900
		L25-26	10,354	8,967	15,525	2,221	2,884	9,066	1,586	15,009
		L28-26	5,478	4,748	8,220	0,667	0,000	4,757	0,000	27,947
		L29-26	5,478	4,748	8,220	0,667	0,000	4,757	0,000	7,947
27	26									
		L27-26	9,423	8,180	14,154	2,059	2,733	8,227	1,503	13,683
		L17-27	9,423	8,180	14,154	2,059	2,733	8,227	1,503	13,683
28	29		25,379	21,987	38,082	3,960	3,960	22,088	2,146	37,011
		L28-29	6,113	5,306	9,171	1,454	2,454	5,345	1,330	8,913
		L26-28	6,113	5,306	9,171	1,454	2,454	5,345	1,330	8,913
29	28									
		L29-28	19,266	16,702	28,914	2,506	1,506	16,749	0,816	28,101
		L26-29	0,066	0,077	0,147	0,506	1,506	0,334	0,816	0,144
		T38-29	19,224	16,676	28,854	2,000	0,000	16,697	0,000	28,044
27	17		26,442	22,925	39,708	5,633	5,633	23,852	3,150	38,136
		L27-17	12,100	10,484	18,153	2,410	2,079	10,565	1,163	17,436
		L26-27	12,100	10,484	18,153	2,410	2,079	10,565	1,163	17,436
17	27									
		L17-27	14,342	12,449	21,555	3,224	3,556	12,543	1,989	20,703
		L16-17	9,620	8,369	14,487	1,852	1,446	8,422	0,809	13,914
		L18-17	4,723	4,082	7,071	1,373	2,115	4,128	1,183	6,789
17	16		42,995	37,376	64,737	6,646	6,646	37,585	3,599	62,946
		L17-16	19,832	17,180	29,757	3,590	4,661	17,298	2,524	28,932

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L18-17	11,965	10,366	17,955	2,337	3,326	10,441	1,801	17,457
		L27-17	7,867	6,814	11,802	1,253	1,336	6,857	0,723	11,478
16	17									
		L16-17	23,164	20,196	34,980	3,056	1,988	20,289	1,076	34,011
		L15-16	4,069	3,498	6,057	1,077	1,988	3,569	1,076	5,889
		L19-16	8,600	7,668	13,281	0,909	0,000	7,680	0,000	12,912
		L21-16	6,260	5,389	9,333	0,639	0,000	5,398	0,000	9,057
		L24-16	4,236	3,646	6,315	0,432	0,000	3,652	0,000	6,141
24	16		39,569	34,448	59,664	5,859	5,859	34,639	3,161	58,389
		L24-16	9,275	8,429	14,592	1,101	0,439	8,453	0,237	14,208
		L23-24	9,275	8,429	14,592	1,101	0,439	8,453	0,237	14,208
16	24									
		L16-24	29,844	26,027	45,072	4,758	5,421	26,929	2,924	43,884
		L15-16	5,385	4,646	8,037	1,317	2,374	4,722	1,281	7,827
		L17-16	7,969	6,876	11,895	1,941	3,488	6,949	1,882	11,583
		L19-16	9,788	8,741	15,138	0,991	0,000	8,755	0,000	14,739
		L21-16	6,704	5,782	10,005	0,509	0,493	5,780	0,237	9,741
16	21		59,024	51,624	89,415	6,547	6,547	51,829	3,462	87,693
		L16-21	46,844	41,078	71,142	5,651	6,536	41,258	3,456	69,771
		L15-16	9,024	7,820	13,533	1,545	2,652	7,896	1,403	13,272
		L17-16	13,354	11,574	20,028	2,277	3,898	11,641	2,061	19,644
		L19-16	16,403	14,720	25,485	1,244	0,000	14,738	0,000	24,993
		L24-16	8,065	6,987	12,096	0,587	0,011	6,995	0,006	11,865
21	16									
		L21-16	12,183	10,558	18,279	0,896	0,011	10,571	0,006	17,925
		L22-21	12,183	10,558	18,279	0,896	0,011	10,571	0,006	17,925
16	19		58,979	51,608	89,388	6,541	6,541	51,812	3,459	87,666
		L16-19	42,198	36,558	63,303	5,286	6,541	36,734	3,459	62,085
		L15-16	8,982	7,785	13,473	1,541	2,650	7,861	1,401	13,215
		L17-16	13,293	11,523	19,941	2,270	3,894	11,589	2,059	19,557
		L21-16	11,885	10,299	17,799	0,870	0,000	10,312	0,000	17,487
		L24-16	8,042	6,968	12,066	0,589	0,000	6,976	0,000	11,832
19	16									
		L19-16	16,781	15,068	26,085	1,272	0,000	15,085	0,000	25,584
		T20-19	2,191	3,927	6,789	0,331	0,000	3,932	0,000	6,657
		T33-19	14,590	11,141	19,296	0,941	0,000	11,154	0,000	18,927
16	15		59,145	51,732	89,604	6,560	6,560	51,937	3,469	87,876
		L16-15	49,956	43,780	75,819	4,999	3,898	43,899	2,061	74,358
		L17-16	13,396	11,611	20,094	2,280	3,898	11,678	2,061	19,698
		L19-16	16,466	14,779	25,587	1,249	0,000	14,796	0,000	25,092
		L21-16	11,986	10,386	17,982	0,878	0,000	10,398	0,000	17,634
		L24-16	8,111	7,022	12,168	0,594	0,000	7,035	0,000	11,934
15	16									
		L15-16	9,189	7,965	13,785	1,561	2,665	8,041	1,409	13,518
		L14-15	9,189	7,965	13,785	1,561	2,665	8,041	1,409	13,518
15	14		35,531	30,887	53,499	6,186	6,186	31,089	3,385	51,813
		L15-14	23,194	20,200	34,986	3,685	2,966	20,286	1,623	33,885
		L16-15	23,194	20,200	34,986	3,685	2,966	20,286	1,623	33,885
14	15									
		L14-15	12,337	10,689	18,513	2,501	3,223	10,806	1,764	17,928
		L13-14	7,902	6,845	11,853	1,425	1,538	6,917	0,842	11,478
		L4-14	4,435	3,844	6,660	1,077	1,689	3,893	0,924	6,450
14	13		46,078	39,942	69,183	7,022	7,022	40,225	3,797	67,299
		L14-13	24,476	21,246	36,768	4,080	4,777	21,367	2,583	35,766

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L15-14	10,102	8,789	15,198	1,544	1,550	8,802	0,838	14,784
		L4-14	14,375	12,458	21,570	2,536	3,228	12,568	1,746	20,982
13	14									
		L13-14	21,602	18,731	32,415	2,943	2,254	18,860	1,219	31,533
		L10-13	16,257	14,099	24,396	2,401	2,254	14,217	1,219	23,730
		T12-13	5,384	4,633	8,022	0,543	0,000	4,643	0,000	7,803
13	10		62,895	54,494	94,386	7,015	7,015	54,801	3,712	92,550
		L13-10	27,017	23,451	40,545	3,142	3,402	23,494	1,800	39,756
		L14-13	14,069	12,236	21,123	2,179	3,402	12,252	1,800	20,712
		T12-13	12,956	11,223	19,440	0,963	0,000	11,243	0,000	19,059
10	13									
		L10-13	35,879	31,121	53,841	3,873	3,620	31,308	1,915	52,794
		L11-10	1,811	1,628	2,799	1,335	3,620	1,875	1,915	2,745
		T32-10	34,199	29,709	51,342	2,543	0,000	29,759	0,000	50,340
6	11		83,788	72,574	125,703	7,926	7,926	72,978	4,158	123,654
		L6-11	62,060	53,810	93,084	6,133	6,660	54,167	3,493	91,569
		L5-6	12,309	10,728	18,474	2,154	4,137	10,730	2,170	18,174
		L7-6	3,552	3,097	5,328	1,067	2,532	3,131	1,328	5,241
		T31-6	46,292	40,251	69,495	2,920	0,000	40,319	0,000	68,364
11	6									
		L11-6	21,728	18,890	32,622	1,794	1,277	18,849	0,670	32,091
		L10-11	17,258	14,997	25,908	1,512	1,277	14,965	0,670	25,485
		T12-11	4,472	3,894	6,714	0,282	0,000	3,887	0,000	6,606
11	10		70,105	60,736	105,198	7,267	7,267	61,071	3,829	103,305
		L11-10	36,996	32,077	55,503	4,207	4,953	32,261	2,610	54,507
		L6-11	26,545	23,018	39,819	3,485	4,953	23,185	2,610	39,105
		T12-11	10,460	9,067	15,699	0,723	0,000	9,076	0,000	15,417
10	11									
		L10-11	33,109	28,715	49,692	3,061	2,321	28,811	1,223	48,801
		L13-10	2,645	2,340	4,023	0,593	2,321	2,425	1,223	3,951
		T32-10	35,701	30,998	53,592	2,467	0,000	31,050	0,000	52,629
21	22		39,910	34,652	60,018	5,424	5,424	34,824	2,908	58,572
		L21-22	18,737	16,010	27,702	3,151	4,475	16,102	2,399	27,033
		L16-21	18,737	16,010	27,702	3,151	4,475	16,102	2,399	27,033
22	21									
		L22-21	21,538	18,676	32,322	2,263	0,948	18,724	0,508	31,542
		L23-22	5,011	4,370	7,536	0,770	0,948	4,357	0,508	7,353
		T35-22	16,527	14,347	24,792	1,493	0,000	14,368	0,000	24,192
22	23		88,060	76,335	132,216	5,241	5,241	76,513	2,700	130,872
		L22-23	65,757	57,082	98,736	3,738	3,387	57,204	1,745	97,734
		L21-22	10,348	9,067	15,588	1,541	3,387	9,028	1,745	15,429
		T35-22	55,412	48,154	83,172	2,197	0,000	48,189	0,000	82,329
23	22									
		L23-22	22,303	19,411	33,489	1,503	1,854	19,365	0,955	33,150
		L24-23	1,930	1,721	2,937	0,695	1,854	1,737	0,955	2,907
		T36-23	20,376	17,695	30,564	0,808	0,000	17,682	0,000	30,255
24	23		38,824	33,793	58,530	5,820	5,820	33,983	3,143	56,967
		L24-23	28,987	25,275	43,770	4,686	5,354	25,433	2,891	42,600
		L16-24	29,987	25,275	43,770	4,686	5,354	25,433	2,891	42,600
23	24									
		L23-24	9,836	8,526	14,760	1,130	0,466	8,551	0,252	14,367
		L22-23	1,930	1,682	2,910	0,348	0,466	1,692	0,252	2,832
		T36-23	7,908	6,848	11,853	0,786	0,000	6,859	0,000	11,535

Πίνακας 4.40: Close-in σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (New England 39-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To		I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)
2	1		51,209	52,246	90,492	3,873	3,873	5,151	2,995	5,970
		L2-1	46,715	47,684	82,548	2,847	1,482	4,263	1,146	5,335
		L25-2	15,204	15,564	26,973	0,865	0,290	1,368	0,224	1,779
		L3-2	9,093	9,317	16,056	0,853	1,193	0,990	0,922	1,059
		T30-2	23,042	23,593	40,695	1,161	0,000	1,977	0,000	2,685
1	2									
		L1-2	4,506	4,618	7,956	1,030	2,408	0,936	1,862	0,525
		L39-1	4,506	4,618	7,956	1,030	2,408	0,936	1,862	0,525
1	39		21,556	19,191	33,240	4,198	4,198	4,977	3,742	5,196
		L1-39	8,431	7,510	12,999	1,295	0,604	1,736	0,539	2,031
		L2-1	8,431	7,510	12,999	1,295	0,604	1,736	0,539	2,031
39	1									
		L39-1	13,129	11,692	20,244	2,905	3,601	3,255	3,210	3,165
		L9-39	0,983	0,876	1,515	0,074	0,604	0,280	0,539	0,237
		Ex Grid	12,169	10,838	18,762	2,979	4,198	3,173	3,742	2,934
39	9		54,649	56,397	97,683	4,638	4,638	4,878	4,548	4,821
		L39-9	50,617	52,236	90,468	4,407	4,631	4,558	4,541	4,464
		L1-39	4,197	4,334	7,503	0,235	0,007	0,325	0,007	0,369
		Ex Grid	46,421	47,908	82,971	4,172	4,638	4,255	4,548	4,095
9	39									
		L9-39	4,135	4,271	7,395	0,236	0,007	0,321	0,007	0,366
		L8-9	4,135	4,271	7,395	0,236	0,007	0,321	0,007	0,366
8	9		35,742	33,501	58,026	3,689	3,689	4,979	2,847	5,874
		L8-9	30,675	28,771	49,821	2,574	1,402	3,985	1,082	5,043
		L5-8	15,855	14,869	25,749	1,352	0,790	2,073	0,610	2,607
		L7-8	14,821	13,903	24,072	1,222	0,612	1,912	0,472	2,436
9	8									
		L9-8	5,229	4,913	8,487	1,133	2,325	1,143	1,795	0,858
		L39-9	5,229	4,913	8,487	1,133	2,325	1,143	1,795	0,858
5	8		51,909	52,210	90,432	3,735	3,735	5,084	2,841	6,024
		L5-8	45,975	46,235	80,079	2,997	2,379	4,342	1,809	5,334
		L4-5	10,246	10,340	17,853	0,864	1,125	1,107	0,856	1,188
		L6-5	35,711	35,963	62,229	2,135	1,265	3,239	0,962	4,146
8	5									
		L8-5	5,974	6,012	10,392	0,742	1,368	0,779	1,041	0,693
		L7-8	2,369	2,404	4,161	0,178	0,843	0,304	0,641	0,276
		L9-8	3,760	3,803	6,549	0,915	2,210	0,834	1,681	0,435
7	8		37,052	34,711	60,120	3,664	3,664	5,001	2,792	5,952
		L7-8	22,078	20,695	35,835	1,866	1,233	2,818	0,940	3,546
		L6-7	22,078	20,695	35,835	1,866	1,233	2,818	0,940	3,546
8	7									
		L8-7	14,995	14,054	24,324	1,801	2,439	2,210	1,859	2,406
		L5-8	10,862	10,184	17,637	0,783	0,236	1,332	0,180	1,746
		L9-8	4,267	4,011	6,924	1,032	2,259	1,007	1,722	0,684
6	7		60,661	64,685	112,038	3,743	3,743	5,107	2,834	6,063
		L6-7	57,902	61,767	106,965	3,229	2,541	4,689	1,923	5,790

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L5-6	8,804	9,444	16,623	1,010	1,947	1,059	1,474	0,879
		L11-6	15,496	16,585	28,641	0,835	0,596	1,251	0,452	1,551
		T31-6	33,625	35,999	62,154	1,384	0,000	2,441	0,000	3,363
7	6									
		L7-6	2,802	3,005	5,172	0,518	1,210	0,478	0,916	0,279
		L8-7	2,802	3,005	5,172	0,518	1,210	0,478	0,916	0,279
5	6		52,440	52,911	91,644	3,737	3,737	5,086	2,843	6,027
		L5-6	16,076	16,260	28,089	1,581	2,454	1,842	1,866	1,848
		L4-5	10,338	10,466	18,069	0,864	1,125	1,106	0,856	1,188
		L8-5	5,574	5,809	10,041	0,723	1,349	0,753	1,026	0,660
6	5									
		L6-5	36,370	36,743	63,576	2,156	1,285	3,268	0,977	4,182
		L11-6	11,609	11,758	20,304	0,695	0,436	1,066	0,332	1,335
		L7-6	2,157	2,199	3,804	0,194	0,861	0,294	0,655	0,249
		T31-6	26,874	27,221	47,004	1,277	0,000	2,249	0,000	3,090
4	5		39,932	37,700	65,298	3,705	3,705	5,054	2,814	6,000
		L4-5	22,931	21,662	37,500	2,122	2,116	2,925	1,607	3,447
		L14-4	12,843	12,128	21,006	1,061	0,799	1,548	0,607	1,929
		L3-4	10,087	9,535	16,349	1,062	1,322	1,379	1,004	1,515
5	4									
		L5-4	17,002	16,063	27,801	1,584	1,602	2,129	1,217	2,556
		L6-5	14,563	13,768	23,823	1,050	0,448	1,667	0,340	2,190
		L8-5	2,450	2,315	3,999	0,536	1,154	0,511	0,877	0,369
3	4		37,519	35,187	60,945	3,743	3,743	5,066	2,859	5,97
		L3-4	26,760	25,102	43,470	2,596	2,451	3,594	1,872	4,260
		L2-3	16,205	15,209	26,322	1,688	1,838	2,261	1,404	2,580
		L18-3	10,558	9,909	17,151	0,908	0,619	1,334	0,473	1,680
4	3									
		L4-3	10,763	10,098	17,484	1,148	1,301	1,473	0,994	1,713
		L14-4	4,184	3,927	6,798	0,318	0,118	0,507	0,090	0,666
		L5-4	6,579	6,171	10,686	0,830	1,183	0,973	0,904	1,047
4	14		39,845	37,604	65,133	3,704	3,704	5,054	2,813	6,000
		L4-14	26,793	25,287	43,794	2,623	2,886	3,478	2,191	4,035
		L3-4	10,073	9,518	16,467	1,062	1,320	1,379	1,002	1,518
		L5-4	16,720	15,792	27,330	1,562	1,584	2,099	1,203	2,517
14	4									
		L14-4	13,052	12,320	21,336	1,082	0,818	1,577	0,621	1,965
		L13-14	8,727	8,249	14,271	0,680	0,422	1,017	0,320	1,314
		L15-14	4,324	4,092	7,068	0,403	0,408	0,560	0,310	0,651
2	3		52,466	54,001	93,531	3,872	3,872	5,154	2,990	5,979
		L2-3	42,928	44,226	76,518	3,002	2,673	4,141	2,065	4,890
		L1-2	4,323	4,470	7,698	1,011	2,395	0,910	1,850	0,492
		L25-2	15,587	16,096	27,903	0,864	0,287	1,369	0,221	1,782
		T30-2	23,635	24,414	42,111	1,162	0,000	1,981	0,000	2,691
3	2									
		L3-2	9,574	9,895	17,055	0,870	1,207	1,015	0,933	1,089
		L18-3	4,576	4,729	8,154	0,284	0,180	0,414	0,139	0,522
		L4-3	4,999	5,167	8,904	0,586	1,028	0,611	0,794	0,570
18	3		32,337	29,732	51,498	3,611	3,611	5,006	2,695	6,021
		L18-3	17,290	15,900	27,534	1,718	1,292	2,546	0,964	3,219
		L17-18	17,290	15,900	27,534	1,718	1,292	2,546	0,964	3,219
3	18									
		L3-18	15,048	13,838	23,964	1,894	2,321	2,464	1,732	2,802

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L2-3	9,291	8,548	14,796	1,173	1,454	1,548	1,085	1,731
		L4-3	5,760	5,298	9,171	0,722	0,887	0,916	0,662	1,071
17	18		32,372	29,767	51,558	3,610	3,610	5,006	2,693	6,024
		L17-18	17,450	16,049	27,792	1,732	1,303	2,576	0,972	3,246
		L16-17	13,068	12,019	20,811	1,236	0,795	1,885	0,593	2,430
		L27-17	4,382	4,030	6,981	0,496	0,510	0,682	0,380	0,816
18	17									
		L18-17	14,923	13,724	23,766	1,879	2,308	2,443	1,722	2,775
		L3-18	14,923	13,724	23,766	1,879	2,308	2,443	1,722	2,775
25	2		49,620	50,572	87,594	3,613	3,613	5,031	2,677	6,075
		L25-2	33,032	33,750	58,359	1,809	0,620	3,023	0,460	4,047
		L26-25	5,743	5,888	10,143	0,484	0,620	0,636	0,460	0,705
		T37-25	27,291	27,934	48,231	1,325	0,000	2,395	0,000	3,345
2	25									
		L2-25	17,298	17,728	30,639	1,837	3,013	2,182	2,233	2,124
		L1-2	2,072	2,136	3,669	0,828	2,195	0,711	1,627	0,255
		L3-2	3,904	4,026	6,924	0,480	0,870	0,518	0,645	0,480
		T30-2	11,340	11,589	20,100	0,552	0,000	1,000	0,000	1,395
25	26		48,692	49,230	85,269	3,605	3,605	5,028	2,669	6,078
		L25-26	42,785	43,283	74,898	3,109	2,993	4,364	2,216	5,340
		L2-25	16,700	16,981	29,349	1,815	2,993	2,154	2,216	2,091
		T37-25	26,777	27,189	46,944	1,322	0,000	2,395	0,000	3,348
26	25									
		L26-25	5,938	6,038	10,404	0,503	0,634	0,666	0,469	0,741
		L28-26	1,813	1,843	3,177	0,090	0,000	0,163	0,000	0,225
		L29-26	1,813	1,843	3,177	0,090	0,000	0,163	0,000	0,225
		L27-26	2,323	2,363	4,071	0,326	0,634	0,342	0,469	0,291
26	29		27,907	25,330	43,872	3,361	3,361	4,901	2,397	6,123
		L26-29	22,705	20,611	35,691	2,937	3,344	4,105	2,385	4,98
		L25-26	9,355	8,490	14,700	1,328	1,732	1,752	1,236	2,052
		L28-26	4,923	4,472	7,743	0,390	0,017	0,755	0,012	1,080
		L27-26	8,430	7,659	13,254	1,221	1,632	1,608	1,164	1,848
29	26									
		L29-26	5,202	4,725	8,181	0,423	0,017	0,804	0,012	1,143
		L28-29	4,923	4,472	7,743	0,390	0,017	0,755	0,012	1,080
		T38-29	10,125	9,197	15,924	0,813	0,000	1,558	0,000	2,223
26	28		28,076	25,496	44,16	3,365	3,365	4,904	2,401	6,123
		L26-28	22,894	20,793	36,009	2,946	3,352	4,115	2,392	4,992
		L25-26	9,430	8,563	14,826	1,331	1,734	1,756	1,238	2,055
		L27-26	8,498	7,724	13,368	1,223	1,634	1,611	1,166	1,854
		L29-26	4,969	4,516	7,818	0,393	0,013	0,758	0,009	1,083
28	26									
		L28-26	5,182	4,709	8,154	0,418	0,013	0,795	0,009	1,131
		L29-28	5,182	4,709	8,154	0,418	0,013	0,795	0,009	1,131
26	27		28,519	25,934	44,919	3,376	3,376	4,911	2,413	6,123
		L26-27	19,768	17,982	31,134	2,138	1,735	3,279	1,240	4,245
		L25-26	9,606	8,734	15,123	1,336	1,735	1,762	1,240	2,061
		L28-26	5,082	4,625	8,007	0,401	0,000	0,766	0,000	1,092
		L29-26	5,082	4,625	8,007	0,401	0,000	0,766	0,000	1,092
27	26									
		L27-26	8,753	7,967	13,788	1,239	1,644	1,633	1,175	1,878
		L17-27	8,753	7,967	13,788	1,239	1,644	1,633	1,175	1,878
28	29		24,039	21,577	37,374	2,857	2,857	4,736	1,859	6,348

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L28-29	5,791	5,207	9,000	1,049	1,771	1,345	1,152	1,530
		L26-28	5,791	5,207	9,000	1,049	1,771	1,345	1,152	1,530
29	28									
		L29-28	18,248	16,391	28,374	1,809	1,087	3,401	0,707	4,821
		L26-29	0,063	0,076	0,147	0,365	1,087	0,249	0,707	0,024
		T38-29	18,208	16,366	28,317	1,443	0,000	3,206	0,000	4,812
27	17		24,980	22,462	38,904	3,394	3,394	4,887	2,454	6,051
		L27-17	11,420	10,272	17,787	1,452	1,253	2,172	0,906	2,766
		L26-27	11,420	10,272	17,787	1,452	1,253	2,172	0,906	2,766
17	27									
		L17-27	13,561	12,197	21,120	1,942	2,143	2,715	1,549	3,285
		L16-17	9,115	8,199	14,193	1,116	0,871	1,709	0,630	2,208
		L18-17	4,446	3,999	6,927	0,827	1,275	1,010	0,922	1,077
17	16		38,212	35,874	62,136	3,610	3,610	5,039	2,666	6,096
		L17-16	17,564	16,490	28,560	1,950	2,532	2,498	1,870	2,802
		L18-17	10,598	9,950	17,232	1,269	1,806	1,568	1,334	1,692
		L27-17	6,966	6,541	11,328	0,681	0,726	0,931	0,536	1,110
16	17									
		L16-17	20,648	19,385	33,576	1,660	1,080	2,547	0,798	3,294
		L15-16	3,575	3,358	5,811	0,584	1,080	0,622	0,798	0,570
		L19-16	7,838	7,360	12,747	0,494	0,000	0,896	0,000	1,251
		L21-16	5,509	5,172	8,958	0,347	0,000	0,630	0,000	0,879
		L24-16	3,728	3,500	6,060	0,235	0,000	0,426	0,000	0,594
24	16		35,912	33,321	57,714	3,452	3,452	4,995	2,462	6,210
		L24-16	8,783	8,153	14,115	0,649	0,258	1,111	0,184	1,518
		L23-24	8,783	8,153	14,115	0,649	0,258	1,111	0,184	1,518
16	24									
		L16-24	27,129	25,175	43,596	2,803	3,194	3,888	2,278	4,692
		L15-16	4,839	4,494	7,776	0,776	1,399	0,859	0,997	0,837
		L17-16	7,161	6,651	11,508	1,144	2,055	1,282	1,466	1,239
		L19-16	9,109	8,455	14,643	0,584	0,000	1,106	0,000	1,575
		L21-16	6,021	5,593	9,678	0,300	0,258	0,688	0,184	1,041
16	21		48,994	48,347	83,739	3,587	3,587	5,071	2,602	6,201
		L16-21	38,981	38,471	66,624	3,096	3,581	4,181	2,597	4,935
		L15-16	7,417	7,323	12,675	0,846	1,453	0,951	1,054	0,939
		L17-16	10,976	10,839	18,756	1,247	2,135	1,419	1,549	1,389
		L19-16	13,961	13,786	23,868	0,681	0,000	1,253	0,000	1,767
		L24-16	6,628	6,543	11,328	0,321	0,006	0,594	0,005	0,840
21	16									
		L21-16	10,015	9,888	17,118	0,491	0,006	0,900	0,005	1,269
		L22-21	10,015	9,888	17,118	0,491	0,006	0,900	0,005	1,269
16	19		48,974	48,327	83,706	3,586	3,586	5,071	2,600	6,201
		L16-19	34,686	34,234	59,280	2,888	3,586	3,799	2,600	4,392
		L15-16	7,383	7,290	12,618	0,844	1,453	0,948	1,053	0,936
		L17-16	10,926	10,791	18,672	1,245	2,135	1,415	1,548	1,383
		L21-16	9,769	9,645	16,698	0,477	0,000	0,877	0,000	1,236
		L24-16	6,610	6,525	11,298	0,323	0,000	0,594	0,000	0,837
19	16									
		L19-16	14,288	14,110	24,426	0,697	0,000	1,283	0,000	1,809
		T20-19	3,718	3,677	6,357	0,181	0,000	0,333	0,000	0,471
		T33-19	10,570	10,432	18,072	0,516	0,000	0,949	0,000	1,338
16	15		49,055	48,430	83,883	3,589	3,589	5,072	2,605	6,201
		L16-15	41,508	40,985	70,980	2,735	2,133	4,123	1,548	5,247

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L17-16	11,002	10,870	18,810	1,247	2,133	1,419	1,548	1,389
		L19-16	14,004	13,835	23,952	0,683	0,000	1,255	0,000	1,770
		L21-16	9,844	9,723	16,833	0,480	0,000	0,882	0,000	1,245
		L24-16	6,661	6,578	11,391	0,325	0,000	0,597	0,000	0,843
15	16									
		L15-16	7,548	7,456	12,903	0,854	1,458	0,942	1,058	0,954
		L14-15	7,548	7,456	12,903	0,854	1,458	0,942	1,058	0,954
15	14		32,542	29,933	51,846	3,510	3,510	4,978	2,562	6,096
		L15-14	21,281	19,576	33,906	2,091	1,683	3,147	1,228	3,987
		L16-15	21,281	19,576	33,906	2,091	1,683	3,147	1,228	3,987
14	15									
		L14-15	11,261	10,359	17,940	1,419	1,829	1,835	1,335	2,109
		L13-14	7,209	6,634	11,487	0,809	0,873	1,110	0,637	1,350
		L4-14	4,052	3,728	6,453	0,611	0,959	0,726	0,700	0,759
14	13		40,368	38,220	66,201	3,646	3,646	5,044	2,726	6,057
		L14-13	21,457	20,330	35,181	2,119	2,480	2,801	1,854	3,219
		L15-14	8,870	8,410	14,544	0,802	0,805	1,120	0,602	1,332
		L4-14	12,588	11,921	20,640	1,317	1,676	1,682	1,253	1,890
13	14									
		L13-14	18,911	17,923	31,017	1,528	1,170	2,245	0,875	2,838
		L10-13	14,231	13,491	23,343	1,247	1,170	1,743	0,875	2,136
		T12-13	4,681	4,434	7,677	0,282	0,000	0,507	0,000	0,702
13	10		51,029	50,912	88,182	3,635	3,635	5,075	2,682	6,144
		L13-10	21,927	21,909	37,878	1,628	1,763	2,232	1,301	2,640
		L14-13	11,424	11,432	19,734	1,129	1,763	1,345	1,301	1,374
		T12-13	10,509	10,485	18,162	0,499	0,000	0,906	0,000	1,266
10	13									
		L10-13	29,103	29,075	50,301	2,007	1,876	2,843	1,384	3,504
		L11-10	1,470	1,521	2,616	0,692	1,876	0,583	1,384	0,183
		T32-10	27,739	27,755	47,964	1,318	0,000	2,389	0,000	3,342
6	11		60,926	65,156	112,854	3,744	3,744	5,108	2,833	6,066
		L6-11	45,152	48,310	83,571	2,897	3,145	3,841	2,381	4,491
		L5-6	8,959	9,631	16,587	1,017	1,954	1,068	1,479	0,891
		L7-6	2,585	2,781	4,785	0,504	1,196	0,461	0,905	0,258
		T31-6	33,676	36,136	62,391	1,379	0,000	2,433	0,000	3,354
11	6									
		L11-6	15,810	16,959	29,286	0,847	0,603	1,269	0,457	1,575
		L10-11	12,556	13,464	23,259	0,714	0,603	1,034	0,457	1,251
		T12-11	3,255	3,496	6,030	0,133	0,000	0,237	0,000	0,324
11	10		54,821	56,011	97,014	3,665	3,665	5,086	2,722	6,126
		L11-10	28,931	29,582	51,186	2,122	2,498	2,786	1,855	3,231
		L6-11	20,757	21,228	36,723	1,757	2,498	2,145	1,855	2,319
		T12-11	8,181	8,362	14,478	0,365	0,000	0,658	0,000	0,915
10	11									
		L10-11	25,890	26,481	45,828	1,544	1,170	2,304	0,869	2,895
		L13-10	2,063	2,158	3,711	0,299	1,170	0,378	0,869	0,234
		T32-10	27,911	28,586	49,425	1,244	0,000	2,241	0,000	3,120
21	22		36,139	33,542	58,095	3,350	3,350	4,971	2,331	6,291
		L21-22	16,681	15,497	26,814	1,952	2,764	2,536	1,924	2,904
		L16-21	16,681	15,497	26,814	1,952	2,764	2,536	1,924	2,904
22	21									
		L22-21	19,459	18,078	31,287	1,398	0,586	2,448	0,408	3,387
		L23-22	4,537	4,230	7,293	0,476	0,586	0,659	0,408	0,789

		T35-22	14,923	13,887	23,997	0,922	0,000	1,796	0,000	2,598
22	23		63,264	68,462	118,578	3,304	3,304	5,024	2,216	6,486
		L22-23	47,242	51,195	88,554	2,056	2,104	3,684	1,432	4,845
		L21-22	7,461	8,132	13,980	0,397	2,104	0,956	1,432	0,765
		T35-22	39,783	43,188	74,595	1,633	0,000	2,765	0,000	4,080
23	22									
		L23-22	16,023	17,409	30,036	1,244	1,200	1,342	0,784	1,644
		L24-23	1,404	1,543	2,634	0,359	0,458	0,350	0,784	0,144
		T36-23	14,620	15,870	27,411	0,935	0,770	1,021	0,000	1,500
24	23		35,340	32,720	56,673	3,444	3,444	4,990	2,453	6,210
		L24-23	26,428	24,473	42,381	2,465	2,854	3,847	2,257	4,644
		L16-24	26,428	24,473	42,381	2,465	2,854	3,847	2,257	4,644
23	24									
		L23-24	8,912	8,256	14,292	0,987	0,570	1,147	0,196	1,566
		L22-23	1,758	1,629	2,817	0,236	0,570	0,269	0,196	0,309
		T36-23	7,155	6,631	11,475	0,754	0,000	0,882	0,000	1,257

Πίνακας 4.41: Far-end σφάλματα(99%) με μηδενική αντίσταση σφάλματος (New England 39-bus)

		$R_F = 0 \Omega$								
		3LG	LL		LG		LLG			
Branches		Contributions	I_{ph}	I_{ph}	$3I_2$	I_{ph}	$3I_0$	I_{ph}	$3I_0$	$3I_2$
Bus From	Bus To		(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)
2	1		22,329	19,338	58,014	10,315	10,315	19,707	6,706	30,141
		L2-1	8,921	7,729	13,380	3,252	1,524	7,827	0,991	12,042
		L25-2	2,927	2,544	4,410	1,003	0,298	2,550	0,194	3,969
		L3-2	1,673	1,455	2,508	0,919	1,227	1,541	0,798	2,256
		T30-2	4,443	3,861	6,660	1,368	0,000	3,873	0,000	5,994
1	2									
		L1-2	13,412	11,619	20,118	7,067	8,810	11,938	5,728	18,105
		L39-1	13,412	11,619	20,118	7,067	8,810	11,938	5,728	18,105
1	39		72,227	62,552	108,345	38,924	38,924	64,870	26,621	95,070
		L1-39	5,794	5,021	8,691	2,100	0,057	5,063	0,039	7,626
		L2-1	5,794	5,021	8,691	2,100	0,057	5,063	0,039	7,626
39	1									
		L39-1	66,437	57,541	99,660	36,825	38,868	59,832	26,583	87,450
		L9-39	5,228	4,531	7,845	1,860	0,057	4,564	0,039	6,885
		Ex Grid	61,332	53,120	91,995	35,008	38,924	55,582	26,621	80,724
39	9		21,157	18,327	31,743	10,270	10,270	18,934	6,771	28,374
		L39-9	13,716	11,881	20,568	7,361	8,810	12,180	5,809	18,384
		L1-39	1,092	0,947	1,641	0,197	1,478	1,062	0,975	1,4670
		Ex Grid	12,625	10,937	18,93	7,489	10,270	11,372	6,771	16,920
9	39									
		L9-39	7,849	6,804	11,781	3,031	1,478	6,940	0,975	10,530
		L8-9	7,849	6,804	11,781	3,031	1,478	6,940	0,975	10,530
8	9		20,992	18,185	31,497	10,136	10,136	18,787	6,671	28,176
		L8-9	7,946	6,888	11,928	3,054	1,496	7,027	0,984	10,671
		L5-8	4,102	3,555	6,156	1,600	0,843	3,633	0,555	5,508
		L7-8	3,844	3,333	5,772	1,454	0,653	3,394	0,430	5,163
9	8									
		L9-8	13,444	11,645	20,160	7,199	8,657	11,939	5,698	18,033
		L39-9	13,444	11,645	20,160	7,199	8,657	11,939	5,698	18,033

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5	8		41,447	35,894	62,169	7,716	7,716	36,277	4,250	60,069
		L5-8	18,667	16,183	28,029	2,879	1,696	16,246	0,934	27,081
		L4-5	6,416	5,580	9,627	1,456	1,995	5,590	1,099	9,300
		L6-5	12,261	10,649	18,405	1,424	0,300	10,684	0,165	17,784
8	5									
		L8-5	22,796	19,744	34,185	4,847	6,057	20,038	3,336	33,030
		L7-8	17,132	14,849	25,710	2,542	1,258	14,903	0,693	24,840
		L9-8	5,845	5,076	8,769	2,335	4,844	5,171	2,668	8,472
7	8		41,463	35,908	62,193	7,721	7,721	36,291	4,252	60,093
		L7-8	17,369	15,054	26,064	2,587	1,302	15,111	0,717	25,185
		L6-7	17,369	15,054	26,064	2,587	1,302	15,111	0,717	25,185
8	7									
		L8-7	24,118	20,893	36,168	5,142	6,445	21,185	3,550	34,947
		L5-8	18,437	15,974	27,666	2,835	1,652	16,035	0,910	26,733
		L9-8	5,865	5,093	8,799	2,340	4,849	5,188	2,671	8,502
6	7		41,844	36,237	62,763	7,427	7,427	36,607	4,071	60,753
		L6-7	25,159	21,801	37,749	3,822	2,539	21,921	1,392	36,540
		L5-6	5,954	5,190	8,949	0,196	1,528	5,168	0,838	8,664
		L11-6	9,670	8,406	14,514	1,480	1,013	8,386	0,555	14,049
		T31-6	21,444	12,644	32,190	2,539	0,000	18,700	0,000	31,158
7	6									
		L7-6	16,708	14,476	25,053	3,612	4,906	14,690	2,689	24,249
		L8-7	16,708	14,476	25,053	3,612	4,906	14,690	2,689	24,249
5	6		84,159	72,885	126,24	7,937	7,937	73,290	4,162	124,191
		L5-6	12,595	10,970	18,894	2,178	4,164	10,973	2,184	18,588
		L4-5	11,047	9,621	16,578	1,369	2,042	9,617	1,071	16,308
		L8-5	1,678	1,465	2,520	0,828	2,178	1,554	1,142	2,478
6	5									
		L6-5	71,581	62,062	107,397	5,759	3,744	62,318	1,979	105,654
		L11-6	21,490	18,681	32,259	1,770	1,263	18,641	0,662	31,734
		L7-6	3,519	3,068	5,277	1,064	2,530	3,101	1,327	5,193
		T31-6	46,650	40,563	70,035	2,934	0,000	40,632	0,000	68,895
4	5		65,058	56,345	97,593	7,855	7,855	56,727	4,177	95,529
		L4-5	13,116	11,397	19,680	1,847	2,390	11,381	1,271	19,263
		L14-4	6,229	5,403	9,348	0,538	0,110	5,406	0,059	9,150
		L3-4	6,888	5,994	10,332	1,311	2,284	6,005	1,214	10,113
5	4									
		L5-4	51,942	45,021	77,913	6,014	5,507	45,362	2,928	76,266
		L6-5	44,802	38,851	67,224	4,497	2,672	39,037	1,421	65,805
		L8-5	7,166	6,210	10,734	1,523	2,839	6,327	1,510	10,509
3	4		44,996	38,970	67,500	7,386	7,386	39,288	4,020	65,505
		L3-4	11,643	10,095	17,466	2,157	2,662	10,118	1,449	16,950
		L2-3	7,700	6,674	11,550	1,780	2,829	6,702	1,540	11,208
		L18-3	3,944	3,422	5,916	0,379	0,175	3,427	0,095	5,742
4	3									
		L4-3	33,354	28,899	50,034	5,232	4,755	29,171	2,588	48,546
		L14-4	14,479	12,542	21,723	2,116	1,594	12,622	0,867	21,081
		L5-4	18,875	16,359	28,311	3,117	3,165	16,550	1,723	27,477
4	14		45,910	39,765	68,874	7,022	7,022	40,047	3,799	66,99
		L4-14	14,572	12,625	21,858	2,573	3,262	12,736	1,765	21,261
		L3-4	5,758	5,000	8,637	1,158	1,730	5,025	0,936	8,400
		L5-4	8,814	7,644	13,224	1,421	1,585	7,757	0,857	12,861
14	4									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L14-4	31,339	27,148	47,019	4,449	3,761	27,317	2,035	45,732
		L13-14	21,251	18,425	31,887	2,907	2,226	18,553	1,204	31,014
		L15-14	10,088	8,751	15,132	1,542	1,545	8,764	0,836	14,718
2	3		42,654	36,943	63,987	7,403	7,403	37,168	4,052	61,968
		L2-3	18,702	16,209	28,053	3,379	3,658	16,246	2,002	27,168
		L1-2	1,905	1,659	2,856	1,578	4,073	1,847	2,229	2,766
		L25-2	6,312	5,486	9,510	0,605	0,415	5,501	0,227	9,210
		T30-2	10,728	9,319	16,083	1,241	0,000	9,335	0,000	15,576
3	2									
		L3-2	23,959	20,764	35,943	4,026	3,775	20,926	2,066	34,809
		L18-3	12,002	10,404	18,006	1,798	1,230	10,447	0,673	17,439
		L4-3	11,958	10,361	17,937	2,228	2,545	10,483	1,393	17,370
18	3		42,527	36,883	63,798	7,391	7,391	37,059	4,046	61,782
		L18-3	12,159	10,539	18,243	1,825	1,251	10,584	0,685	17,667
		L17-18	12,159	10,539	18,243	1,825	1,251	10,584	0,685	17,667
3	18									
		L3-18	30,369	26,310	45,555	5,567	6,144	26,476	3,363	44,115
		L2-3	18,418	15,963	27,627	3,340	3,631	15,999	1,987	26,754
		L4-3	11,958	10,361	17,937	2,228	2,540	10,483	1,390	17,370
17	18		42,963	37,212	64,452	6,647	6,647	37,421	3,600	62,661
		L17-18	30,906	26,769	46,365	4,290	3,309	26,903	1,792	45,075
		L16-17	23,055	19,969	34,587	3,036	1,976	20,061	1,070	33,624
		L27-17	7,850	6,800	11,778	1,254	1,333	6,843	0,722	11,451
18	17									
		L18-17	12,058	10,444	18,090	2,357	3,341	10,520	1,810	17,586
		L3-18	12,058	10,444	18,090	2,357	3,341	10,520	1,810	17,586
25	2		69,835	60,519	104,823	8,162	8,162	60,593	4,331	96,654
		L25-2	21,082	18,328	31,770	1,853	0,622	18,331	0,330	31,113
		L26-25	3,055	2,683	4,617	0,444	0,622	2,706	0,330	4,521
		T37-25	18,056	15,687	27,222	1,410	0,000	15,690	0,000	26,661
2	25									
		L2-25	49,579	42,970	74,340	6,372	7,550	43,155	4,007	72,804
		L1-2	5,750	5,007	8,622	2,132	5,054	5,089	2,682	8,445
		L3-2	12,400	10,792	18,597	1,800	2,522	10,792	1,339	18,213
		T30-2	31,536	27,339	47,16	2,449	0,000	27,347	0,000	46,185
25	26		30,640	26,538	45,966	5,609	5,609	26,708	3,086	44,427
		L25-26	10,523	9,114	15,780	2,253	2,909	9,214	1,600	15,252
		L2-25	3,422	2,984	5,151	1,381	2,909	3,103	1,600	4,977
		T37-25	7,233	6,284	10,860	0,883	0,000	6,295	0,000	10,497
26	25									
		L26-25	20,120	17,430	30,189	3,357	2,706	17,495	1,489	29,181
		L28-26	5,434	4,710	8,154	0,663	0,000	4,718	0,000	7,881
		L29-26	5,434	4,710	8,154	0,663	0,000	4,718	0,000	7,881
		L27-26	9,252	8,021	13,881	2,031	2,706	8,068	1,489	13,416
26	29		63,038	54,633	94,626	4,148	4,148	54,766	2,143	93,558
		L26-29	4,167	3,640	6,249	0,881	2,095	3,632	1,082	6,177
		L25-26	4,053	3,540	6,078	0,890	2,138	3,539	1,105	6,009
		L28-26	3,537	3,094	5,304	0,839	2,053	3,093	1,061	5,244
		L27-26	3,652	3,194	5,478	0,831	2,015	3,201	1,041	5,415
29	26									
		L29-26	58,883	51,058	88,389	3,267	2,053	51,142	1,061	87,393
		L28-29	3,537	3,094	5,304	0,839	2,053	3,093	1,061	5,244
		T38-29	55,349	48,031	83,103	2,428	0,000	48,067	0,000	82,164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

26	28		24,902	21,572	37,365	3,958	3,958	21,674	2,149	36,291
		L26-28	6,189	5,370	9,282	1,480	2,472	5,411	1,342	9,015
		L25-26	3,247	2,820	4,866	1,024	2,040	2,866	1,107	4,728
		L27-26	2,926	2,545	4,389	0,950	1,922	2,566	1,043	4,263
		L29-26	0,052	0,064	0,135	0,493	1,486	0,329	0,807	0,132
28	26									
		L28-26	18,713	16,222	28,083	2,478	1,486	16,269	0,807	27,276
		L29-28	18,713	16,222	28,083	2,478	1,486	16,269	0,807	27,276
26	27		26,426	22,888	39,642	5,625	5,625	23,816	3,146	38,076
		L26-27	12,217	10,584	18,327	2,432	2,094	10,666	1,171	17,601
		L25-26	5,835	5,054	8,751	1,526	2,094	5,128	1,171	8,406
		L28-26	3,191	2,765	4,788	0,453	0,000	2,771	0,000	4,599
		L29-26	3,191	2,765	4,788	0,453	0,000	2,771	0,000	4,599
27	26									
		L27-26	14,211	12,311	21,318	3,194	3,534	12,405	1,976	20,475
		L17-27	14,211	12,311	21,318	3,194	3,534	12,405	1,976	20,475
28	29		67,206	58,235	100,866	4,159	4,159	58,373	2,145	99,798
		L28-29	4,054	3,543	6,078	0,862	2,085	3,536	1,075	6,015
		L26-28	4,054	3,543	6,078	0,862	2,085	3,536	1,075	6,015
29	28									
		L29-28	63,155	54,763	94,803	3,297	2,075	54,850	1,070	93,801
		L26-29	3,891	3,403	5,835	0,852	2,075	3,397	1,070	5,775
		T38-29	59,267	51,431	88,986	2,446	0,000	51,469	0,000	88,044
27	17		42,646	36,938	63,975	6,631	6,631	37,146	3,593	62,19
		L27-17	7,931	6,870	11,898	1,271	1,346	6,914	0,729	11,568
		L26-27	7,931	6,870	11,898	1,271	1,346	6,914	0,729	11,568
17	27									
		L17-27	34,715	30,068	52,077	5,360	5,286	30,233	2,864	50,622
		L16-17	22,869	19,807	34,308	3,028	1,974	19,899	1,070	33,348
		L18-17	11,847	10,261	17,772	2,333	3,316	10,337	1,797	17,274
17	16		59,865	51,854	89,814	6,565	6,565	52,059	3,471	88,086
		L17-16	13,605	11,794	20,409	2,299	3,915	11,861	2,070	20,016
		L18-17	7,970	6,908	11,955	1,494	2,734	6,953	1,446	11,724
		L27-17	5,635	4,886	8,454	0,806	1,181	4,909	0,625	8,292
16	17									
		L16-17	46,260	40,081	69,408	4,266	2,653	40,203	1,403	68,073
		L15-16	9,026	7,854	13,593	1,546	2,653	7,930	1,403	13,332
		L19-16	17,076	14,801	25,626	1,248	0,000	14,819	0,000	25,131
		L21-16	12,003	10,402	18,009	0,877	0,000	10,414	0,000	17,661
		L24-16	8,122	7,037	12,186	0,594	0,000	7,046	0,000	11,952
24	16		59,915	51,898	89,889	6,557	6,557	52,103	3,467	88,164
		L24-16	8,218	7,121	12,330	0,601	0,005	7,129	0,003	12,093
		L23-24	8,218	7,121	12,330	0,601	0,005	7,129	0,003	12,093
16	24									
		L16-24	51,698	44,782	77,562	5,956	6,552	44,974	3,464	76,074
		L15-16	9,095	7,883	13,641	1,549	2,657	7,959	1,405	13,380
		L17-16	13,459	11,667	20,19	2,283	3,904	11,734	2,064	19,803
		L19-16	17,120	14,839	25,692	1,249	0,000	14,857	0,000	25,197
		L21-16	12,027	10,423	18,045	0,876	0,005	10,435	0,003	17,697
16	21		39,935	34,589	59,910	5,435	5,435	34,761	2,915	58,458
		L16-21	18,704	16,216	28,059	3,198	4,504	16,310	2,415	27,378
		L15-16	3,743	3,248	5,613	1,074	2,202	3,313	1,181	5,478
		L17-16	5,539	4,807	8,307	1,581	3,236	4,867	1,735	8,106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L19-16	7,045	6,108	10,569	0,639	0,000	6,106	0,000	10,314
		L24-16	2,379	2,068	3,573	0,095	0,931	2,078	0,499	3,486
21	16									
		L21-16	21,231	18,407	31,854	2,237	0,931	18,454	0,499	31,083
		L22-21	21,231	18,407	31,854	2,237	0,931	18,454	0,499	31,083
16	19		96,162	83,325	144,321	5,160	5,160	83,498	2,650	143,004
		L16-19	14,496	12,668	21,741	2,238	5,160	121,619	2,650	21,543
		L15-16	3,086	2,698	4,626	0,807	2,090	2,713	1,074	4,584
		L17-16	4,566	3,993	6,849	1,187	3,072	4,002	1,578	6,786
		L21-16	4,083	3,566	6,123	0,146	0,000	3,563	0,000	6,069
		L24-16	2,763	2,413	4,143	0,099	0,000	2,412	0,000	4,107
19	16									
		L19-16	81,670	70,893	122,619	2,922	0,000	70,939	0,000	121,500
		T20-19	21,251	18,477	31,908	0,760	0,000	18,489	0,000	31,617
		T33-19	60,419	52,417	90,711	2,162	0,000	52,451	0,000	89,883
16	15		35,959	31,145	53,943	6,191	6,191	31,345	3,385	52,260
		L16-15	23,741	20,564	35,616	3,722	2,991	20,650	1,636	34,503
		L17-16	5,866	5,084	8,799	1,670	2,991	5,149	1,636	8,523
		L19-16	8,206	7,110	12,312	0,942	0,000	7,123	0,000	11,928
		L21-16	5,768	4,997	8,652	0,662	0,000	5,006	0,000	8,382
		L24-16	3,903	3,381	5,856	0,448	0,000	3,387	0,000	5,673
15	16									
		L15-16	12,217	10,582	18,327	2,469	3,202	10,699	11,751	17,754
		L14-15	12,217	10,582	18,327	2,469	3,202	10,699	11,751	17,754
15	14		45,550	39,453	68,334	7,003	7,003	39,734	3,791	66,453
		L15-14	10,260	8,899	15,390	1,573	1,576	8,914	0,848	14,967
		L16-15	10,260	8,899	15,390	1,573	1,576	8,914	0,848	14,967
14	15									
		L14-15	35,290	30,581	52,947	5,431	5,441	30,821	2,945	51,489
		L13-14	21,085	18,248	31,638	2,903	2,229	18,409	1,207	30,768
		L4-14	14,206	12,307	213,09	2,528	3,17	12,416	1,714	20,721
14	13		62,343	54,002	93,534	7,009	7,009	54,307	3,711	91,695
		L14-13	14,207	12,342	21,309	2,203	3,419	12,360	1,810	20,889
		L15-14	6,692	5,823	10,038	0,940	1,321	5,813	0,699	9,840
		L4-14	7,516	6,520	11,271	1,263	2,100	6,568	1,112	11,052
13	14									
		L13-14	48,137	41,739	72,234	4,807	3,597	41,947	1,904	70,815
		L10-13	35,247	30,572	52,893	3,841	3,597	30,757	1,904	51,852
		T12-13	12,897	11,172	19,350	0,967	0,000	11,191	0,000	18,969
13	10		84,962	73,589	127,461	7,208	7,208	73,937	3,762	125,604
		L13-10	13,374	11,646	20,061	1,723	2,905	11,598	1,516	19,767
		L14-13	11,321	9,866	16,983	1,607	2,905	9,827	1,516	16,734
		T12-13	2,054	1,782	3,084	0,116	0,000	1,780	0,000	3,039
10	13									
		L10-13	71,592	62,078	107,421	5,485	4,310	62,340	2,249	105,855
		L11-10	18,381	15,990	27,576	2,476	4,310	16,027	2,249	27,174
		T32-10	53,226	46,247	79,896	3,011	0,000	46,315	0,000	78,732
6	11		69,920	60,566	104,904	7,271	7,271	60,902	3,832	103,011
		L6-11	26,826	23,258	40,236	3,517	4,973	23,429	2,621	39,510
		L5-6	2,791	2,451	4,197	1,128	2,810	2,507	1,481	4,122
		L7-6	1,432	1,253	2,151	0,822	2,172	1,314	1,144	2,112
		T31-6	22,670	19,664	34,038	1,572	0,000	19,697	0,000	33,423
11	6									

		L11-6	43,097	37,360	64,674	3,755	2,304	37,473	1,215	63,507
		L10-11	32,616	28,284	48,948	3,028	2,304	28,379	1,215	48,063
		T12-11	10,486	9,087	15,732	0,727	0,000	9,096	0,000	15,450
11	10		85,056	73,671	127,602	7,210	7,210	74,019	3,763	125,745
		L11-10	18,832	16,380	28,251	2,505	4,323	16,418	2,256	27,840
		L6-11	20,582	17,898	30,876	2,604	4,323	17,936	2,256	30,429
		T12-11	1,752	1,519	2,628	0,099	0,000	1,518	0,000	2,589
10	11									
		L10-11	66,235	57,443	99,384	4,707	2,894	57,602	1,510	97,938
		L13-10	12,988	11,312	19,482	1,697	2,894	11,266	1,510	19,200
		T32-10	53,255	46,272	79,941	3,011	0,000	46,340	0,000	78,777
21	22		87,055	75,415	130,623	5,243	5,243	75,593	2,702	129,279
		L21-22	10,643	9,283	15,963	1,562	3,404	9,243	1,754	15,801
		L16-21	10,643	9,283	15,963	1,562	3,404	9,243	1,754	15,801
22	21									
		L22-21	76,414	66,267	114,675	3,681	1,839	66,360	0,948	113,496
		L23-22	21,588	18,779	32,394	1,480	1,839	18,735	0,948	32,061
		T35-22	54,828	47,648	82,296	2,202	0,000	47,683	0,000	81,450
22	23		73,980	64,087	111,003	5,100	5,100	64,253	2,640	109,689
		L22-23	25,943	22,531	38,928	2,086	2,681	22,491	1,388	38,466
		L21-22	2,513	2,213	3,774	1,009	2,681	2,244	1,388	3,729
		T35-22	23,432	20,324	35,169	1,077	0,000	20,307	0,000	34,755
23	22									
		L23-22	48,038	41,672	72,081	3,014	2,420	41,762	12,53	71,229
		L24-23	7,604	6,549	11,406	1,156	2,420	6,608	1,253	11,271
		T36-23	40,436	35,127	60,690	1,859	0,000	35,155	0,000	32,973
24	23		70,924	61,439	106,416	5,089	5,089	61,603	2,638	105,105
		L24-23	7,810	6,799	11,715	1,188	2,443	6,789	1,267	11,571
		L16-24	7,810	6,799	11,715	1,188	2,443	6,789	1,267	11,571
23	24									
		L23-24	63,116	54,713	94,710	3,901	2,646	54,817	1,372	93,540
		L22-23	24,372	21,168	36,570	2,048	2,646	21,130	1,372	36,120
		T36-23	38,745	33,659	58,152	1,854	0,000	33,686	0,000	57,435

Πίνακας 4.42: Far-end σφάλματα(1%) με $R_F = 1 \Omega$ για φασικά σφάλματα & με $R_F = 20 \Omega$ για σφάλματα γης (New England 39-bus)

Branches		Contributions	$R_F = 1 \Omega$			$R_F = 20 \Omega$				
			3LG	LL		LG		LLG		
Bus From	Bus To	I_{ph} (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_2$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	I_{ph} (kA)	$3I_0$ (kA)	$3I_2$ (kA)	
2	1		21,406	19,053	33,000	4,186	4,186	4,975	3,721	5,205
		L2-1	8,552	7,615	13,185	1,320	0,619	1,774	0,550	2,079
		L25-2	2,806	2,506	4,344	0,407	0,121	0,587	0,108	0,684
		L3-2	1,603	1,433	2,469	0,373	0,498	0,391	0,443	0,390
		T30-2	4,259	3,804	6,561	0,555	0,000	0,842	0,000	1,035
1	2									
		L1-2	12,858	11,448	19,821	2,868	3,575	3,215	3,178	3,126
		L39-1	12,858	11,448	19,821	2,868	3,575	3,215	3,178	3,126
1	39		54,708	56,454	97,782	4,638	4,538	4,878	4,548	4,821
		L1-39	4,389	4,531	7,845	0,250	0,007	0,340	0,007	0,387
		L2-1	4,389	4,531	7,845	0,250	0,007	0,340	0,007	0,387
39	1									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L39-1	50,322	51,931	89,943	4,388	4,631	4,559	4,542	4,434
		L9-39	3,960	4,090	7,080	0,222	0,007	0,306	0,007	0,348
		Ex Grid	46,456	47,942	83,028	4,172	4,638	4,256	4,548	4,095
39	9		19,844	17,835	30,891	4,123	4,123	4,853	3,713	5,007
		L39-9	12,865	11,562	20,016	2,955	3,537	3,230	3,186	3,243
		L1-39	1,025	0,922	1,596	0,079	0,593	0,253	0,534	0,258
		Ex Grid	11,842	10,643	18,423	3,007	4,123	3,128	3,713	2,985
9	39									
		L9-39	7,362	6,621	11,466	1,217	0,593	1,641	0,534	1,857
		L8-9	7,362	6,621	11,466	1,217	0,593	1,641	0,534	1,857
8	9		19,673	17,678	30,636	4,103	4,103	4,821	3,685	5,007
		L8-9	7,447	6,700	11,601	1,237	0,605	1,672	0,544	1,896
		L5-8	3,844	3,458	5,988	0,648	0,341	0,869	0,306	0,978
		L7-8	3,603	3,242	5,613	0,589	0,246	0,803	0,237	0,918
9	8									
		L9-8	12,599	11,326	19,608	2,914	3,505	3,186	3,148	3,204
		L39-9	12,599	11,326	19,608	2,914	3,505	3,186	3,148	3,204
5	8		36,664	34,387	59,559	3,692	3,692	4,991	2,844	5,895
		L5-8	16,552	15,503	26,85	1,378	0,811	2,113	0,625	2,658
		L4-5	5,676	5,345	9,222	0,697	0,955	0,873	0,736	0,912
		L6-5	10,846	10,202	17,631	0,682	0,144	1,252	0,111	1,746
8	5									
		L8-5	20,165	18,915	32,748	2,319	2,898	2,905	2,233	3,243
		L7-8	15,155	14,225	24,63	1,216	0,602	1,909	0,464	2,439
		L9-8	5,171	4,863	8,400	1,117	2,318	1,125	1,786	0,831
7	8		36,672	34,397	59,577	3,692	3,692	4,991	2,845	5,895
		L7-8	15,362	14,421	24,969	1,237	0,623	1,937	0,480	2,472
		L6-7	15,362	14,421	24,969	1,237	0,623	1,937	0,480	2,472
8	7									
		L8-7	21,331	20,014	34,647	2,459	3,082	3,082	2,375	3,429
		L5-8	16,306	15,303	26,502	1,356	0,790	2,083	0,609	2,622
		L9-8	5,188	4,879	8,427	1,119	2,319	1,127	1,787	0,834
6	7		37,139	34,802	60,279	3,664	3,664	5,002	2,792	5,952
		L6-7	22,330	20,938	36,255	1,885	1,252	2,845	0,958	3,579
		L5-6	5,285	4,985	8,595	0,097	0,754	0,661	0,574	0,849
		L11-6	8,583	8,073	13,941	0,730	0,500	1,106	0,381	1,377
		T31-6	19,032	17,906	30,915	1,252	0,000	2,223	0,000	3,054
7	6									
		L7-6	14,829	13,903	24,060	1,782	2,420	2,183	1,844	2,376
		L8-7	14,829	13,903	24,060	1,782	2,420	2,183	1,844	2,376
5	6		61,110	65,390	113,259	3,745	3,745	5,109	2,835	6,066
		L5-6	9,146	9,842	16,950	1,028	1,965	1,082	1,487	0,909
		L4-5	8,022	8,631	14,871	0,646	0,963	0,791	0,729	0,795
		L8-5	1,218	1,314	2,259	0,391	1,028	0,339	0,778	0,120
6	5									
		L6-5	51,976	55,679	96,354	2,717	1,781	4,064	1,348	5,160
		L11-6	15,604	16,760	28,941	0,835	0,596	1,250	0,451	1,551
		L7-6	2,555	2,752	4,734	0,502	1,194	0,458	0,94	0,255
		T31-6	33,874	36,391	62,832	1,384	0,000	2,442	0,000	3,366
4	5		51,974	52,288	90,567	3,736	3,736	5,084	2,841	6,024
		L4-5	10,479	10,576	18,261	0,879	1,137	1,27	0,865	1,215
		L14-4	4,976	5,014	8,676	0,256	0,052	0,429	0,040	0,576
		L3-4	5,503	5,563	9,588	0,623	1,086	0,706	0,826	0,639

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5	4									
		L5-4	41,496	41,779	72,303	2,860	2,619	3,957	1,992	4,809
		L6-5	35,792	36,053	62,385	2,139	1,271	3,243	0,966	4,149
		L8-5	5,725	5,763	9,963	0,724	1,350	0,755	10,27	0,663
3	4		39,645	37,384	64,749	3,704	3,704	5,053	2,813	6,000
		L3-4	10,258	9,684	16,755	1,082	1,335	1,408	1,014	1,551
		L2-3	6,785	6,402	11,079	0,893	1,419	1,054	1,077	1,026
		L18-3	3,475	3,283	5,676	0,190	0,088	0,364	0,067	0,525
4	3									
		L4-3	29,387	27,722	47,997	2,624	2,385	3,646	1,811	4,446
		L14-4	12,757	12,032	20,838	1,061	0,799	1,549	0,607	1,932
		L5-4	16,630	15,693	27,159	1,563	1,587	2,099	1,205	2,517
4	14		40,228	38,063	65,928	3,647	3,647	5,044	2,727	6,057
		L4-14	12,769	12,084	20,922	1,336	1,694	1,709	1,267	1,923
		L3-4	5,046	4,786	8,268	0,602	0,898	0,743	0,672	0,759
		L5-4	7,724	7,317	12,657	0,738	0,823	0,966	0,615	1,164
14	4									
		L14-4	27,460	25,987	45,006	2,310	1,953	3,336	1,460	4,134
		L13-14	18,621	17,637	30,522	1,510	1,156	2,217	0,864	2,805
		L15-14	8,840	8,376	14,484	0,801	0,802	1,119	0,600	1,332
2	3		37,732	35,423	61,356	3,746	3,746	5,068	2,861	5,970
		L2-3	16,544	15,542	26,898	1,709	1,851	2,293	1,414	2,619
		L1-2	1,685	1,591	2,736	0,798	2,061	0,677	1,574	0,267
		L25-2	5,584	5,260	9,117	0,306	0,210	0,604	0,161	0,888
		T30-2	9,490	8,935	15,42	0,628	0,000	1,096	0,000	1,500
3	2									
		L3-2	21,195	19,910	34,464	2,037	1,910	2,776	1,459	3,354
		L18-3	10,617	9,976	17,265	0,910	0,622	1,335	0,475	1,680
		L4-3	10,578	9,935	17,199	1,127	1,288	1,442	0,984	1,674
18	3		37,644	35,326	61,188	3,743	3,743	5,067	2,859	5,973
		L18-3	10,763	10,108	17,496	0,924	0,357	1,357	0,484	1,707
		L17-18	10,763	10,108	17,496	0,924	0,357	1,357	0,484	1,707
3	18									
		L3-18	26,882	25,233	43,692	2,819	3,112	3,712	2,376	4,263
		L2-3	16,303	15,310	26,496	1,691	1,839	2,267	1,404	2,586
		L4-3	10,585	9,937	17,202	1,129	1,286	1,446	0,982	1,680
17	18		38,074	35,725	61,878	3,610	3,610	5,038	2,667	6,093
		L17-18	27,389	25,700	44,514	2,330	1,797	3,461	1,328	4,383
		L16-17	20,432	19,171	33,204	1,649	1,073	2,530	0,793	3,270
		L27-17	6,975	6,528	11,307	0,681	0,724	0,932	0,535	1,113
18	17									
		L18-17	10,686	10,027	17,367	1,280	1,815	1,584	1,341	1,710
		L3-18	10,686	10,027	17,367	1,280	1,815	1,584	1,341	1,710
25	2		52,651	54,375	94,182	3,870	3,870	5,152	2,989	5,976
		L25-2	15,894	16,467	28,545	0,879	0,295	1,391	0,228	1,812
		L26-25	2,304	2,411	4,146	0,210	0,295	0,261	0,228	0,264
		T37-25	13,613	14,095	24,459	0,669	0,000	1,141	0,000	1,551
2	25									
		L2-25	37,379	38,608	66,795	3,021	3,580	3,778	2,765	4,239
		L1-2	4,335	4,450	7,746	1,011	2,397	0,910	1,851	0,492
		L3-2	9,348	9,696	16,707	0,853	1,196	0,991	0,924	1,059
		T30-2	23,701	24,564	42,372	1,161	0,000	1,978	0,000	2,688
25	26		28,432	25,849	44,772	3,375	3,375	4,909	2,412	6,120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		L25-26	9,765	8,877	15,369	1,356	1,750	1,793	1,251	2,100
		L2-25	3,175	2,906	5,016	0,831	1,750	0,865	1,251	0,687
		T37-25	6,712	6,121	10,578	0,531	0,000	1,014	0,000	1,446
26	25									
		L26-25	18,670	16,977	29,406	2,020	1,629	3,124	1,164	4,020
		L28-26	5,042	4,588	7,944	0,399	0,000	0,763	0,000	1,086
		L29-26	5,042	4,588	7,944	0,399	0,000	0,763	0,000	1,086
		L27-26	8,585	7,813	13,521	1,222	1,629	1,609	1,164	1,848
26	29		51,217	51,217	88,71	2,932	2,932	4,887	1,856	6,609
		L26-29	3,385	3,412	5,859	0,623	1,481	0,581	0,937	0,435
		L25-26	3,293	3,319	5,697	0,629	1,511	0,578	0,957	0,423
		L28-26	2,873	2,901	4,974	0,593	1,451	0,534	0,919	0,372
		L27-26	2,967	2,995	5,136	0,588	1,424	0,538	0,901	0,384
29	26									
		L29-26	47,834	47,867	82,866	2,310	1,451	4,327	0,919	6,174
		L28-29	2,873	2,901	4,974	0,593	1,451	0,534	0,919	0,372
		T38-29	44,963	45,028	77,907	1,716	0,000	3,821	0,000	5,805
26	28		23,622	21,180	36,684	2,857	2,857	4,730	1,860	6,339
		L26-28	5,871	5,272	9,114	1,068	1,784	1,378	1,162	1,575
		L25-26	3,080	2,769	4,779	0,739	1,472	0,825	0,959	0,825
		L27-26	2,776	2,499	4,308	0,686	1,387	0,763	0,903	0,744
		L29-26	0,049	0,063	0,132	0,356	1,072	0,239	0,689	0,024
28	26									
		L28-26	17,751	15,927	27,573	1,789	1,072	3,362	0,698	4,764
		L29-28	17,751	15,927	27,573	1,789	1,072	3,362	0,698	4,764
26	27		24,942	22,426	38,844	3,392	3,392	4,886	2,452	6,051
		L26-27	11,531	10,371	17,958	1,466	1,263	2,195	0,913	2,796
		L25-26	5,507	4,952	8,574	0,920	1,263	1,174	0,913	1,335
		L28-26	3,012	2,709	4,692	0,273	0,000	0,517	0,000	0,732
		L29-26	3,012	2,709	4,692	0,273	0,000	0,517	0,000	0,732
27	26									
		L27-26	13,413	12,063	20,889	1,926	2,131	2,691	1,540	3,255
		L17-27	13,413	12,063	20,889	1,926	2,131	2,691	1,540	3,255
28	29		53,523	54,257	93,975	2,936	2,936	4,893	1,857	6,618
		L28-29	3,228	3,301	5,664	0,609	1,472	0,556	0,931	0,399
		L26-28	3,228	3,301	5,664	0,609	1,472	0,556	0,931	0,399
29	28									
		L29-28	50,297	51,021	88,326	2,328	1,465	4,359	0,926	6,222
		L26-29	3,099	3,170	5,436	0,601	1,465	0,544	0,926	0,384
		T38-29	47,200	47,917	82,905	1,727	0,000	3,842	0,000	5,838
27	17		37,846	35,479	61,452	3,607	3,607	5,036	2,664	6,093
		L27-17	7,039	6,599	11,430	0,691	0,732	0,948	0,541	1,134
		L26-27	7,039	6,599	11,430	0,691	0,732	0,948	0,541	1,134
17	27									
		L17-27	30,808	28,880	50,022	2,916	2,875	4,089	2,6124	4,962
		L16-17	20,295	19,025	32,952	1,647	1,074	2,528	0,793	3,267
		L18-17	10,514	9,856	17,070	1,269	1,804	1,569	1,332	1,692
17	16		49,140	48,534	84,063	3,590	3,590	5,072	2,606	6,201
		L17-16	11,168	11,039	19,104	1,257	2,141	1,434	1,554	1,410
		L18-17	6,542	6,456	11,190	0,817	1,495	0,895	1,085	0,825
		L27-17	4,626	4,573	7,914	0,441	0,646	0,540	0,469	0,585
16	17									
		L16-17	37,973	37,515	64,962	2,333	1,451	3,656	1,053	4,791

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

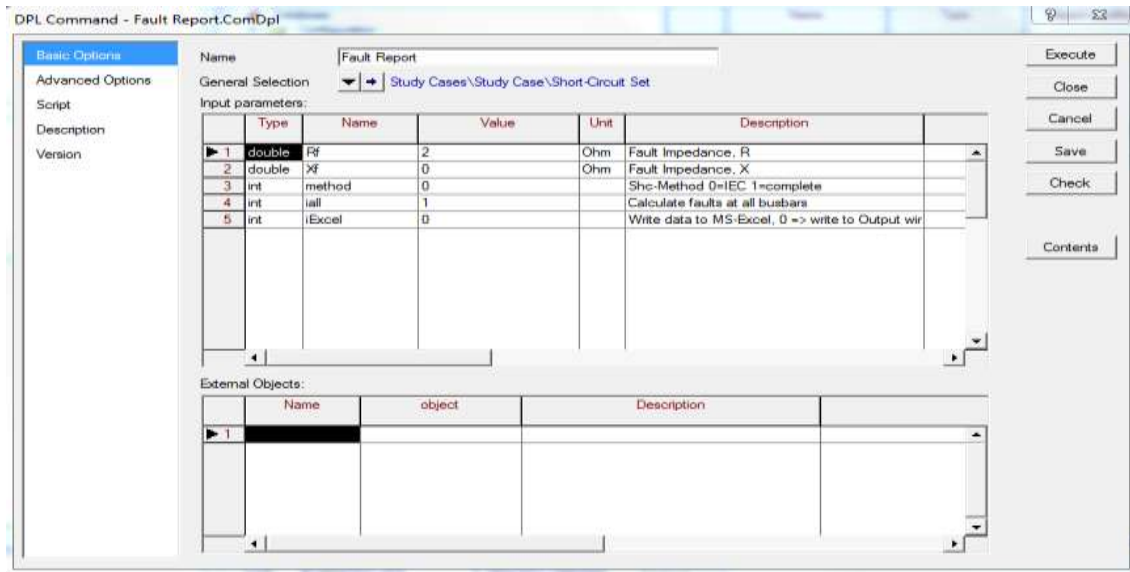
		L15-16	7,439	7,352	12,723	0,846	1,451	0,950	1,053	0,939
		L19-16	14,017	13,854	23,985	0,683	0,000	1,254	0,000	1,770
		L21-16	9,853	9,736	16,854	0,480	0,000	0,882	0,000	1,242
		L24-16	6,667	6,587	11,406	0,325	0,000	0,597	0,000	0,840
24	16		49,175	48,575	84,135	3,589	3,589	5,072	2,604	6,201
		L24-16	6,745	6,665	11,541	0,329	0,003	0,604	0,002	0,852
		L23-24	6,745	6,665	11,541	0,329	0,003	0,604	0,002	0,852
16	24									
		L16-24	42,431	41,915	72,594	3,260	3,586	4,474	2,602	5,352
		L15-16	7,464	7,378	12,768	0,848	1,454	0,953	1,055	0,942
		L17-16	11,047	10,920	18,897	1,249	2,136	1,422	1,550	1,392
		L19-16	14,051	13,889	24,045	0,684	0,000	1,257	0,000	1,773
		L21-16	9,871	9,756	16,89	0,479	0,003	0,882	0,002	1,245
16	21		36,082	33,483	57,993	3,353	3,353	4,972	2,335	6,288
		L16-21	16,900	15,698	27,159	1,973	2,778	2,568	1,935	2,946
		L15-16	3,382	3,144	5,433	0,662	1,358	0,677	0,946	0,588
		L17-16	5,004	4,654	8,040	0,975	1,996	1,010	1,390	0,873
		L19-16	6,366	5,912	10,233	0,394	0,000	0,769	0,000	1,110
		L24-16	2,150	2,002	3,459	0,058	0,574	0,329	0,400	0,375
21	16									
		L21-16	19,183	17,818	30,837	1,380	0,574	2,417	0,400	3,342
		L22-21	19,183	17,818	30,837	1,380	0,574	2,417	0,400	3,342
16	19		65,888	73,251	126,873	3,273	3,273	5,015	2,182	6,504
		L16-19	9,932	11,136	19,113	1,420	3,273	1,337	2,182	0,981
		L15-16	2,114	2,372	4,068	0,512	1,326	0,420	0,884	0,210
		L17-16	3,129	3,510	6,021	0,753	1,949	0,623	1,299	0,309
		L21-16	2,797	3,135	5,382	0,093	0,000	0,188	0,000	0,276
		L24-16	1,893	2,121	3,642	0,063	0,000	0,127	0,000	0,186
19	16									
		L19-16	55,958	62,322	107,796	1,853	0,000	3,736	0,000	5,526
		T20-19	14,561	16,243	28,050	0,482	0,000	0,971	0,000	1,437
		T33-19	41,398	46,080	79,746	1,371	0,000	2,765	0,000	4,089
16	15		32,774	30,170	52,257	3,511	3,511	4,980	2,562	6,099
		L16-15	21,639	19,921	34,503	2,111	1,696	3,178	1,238	0,996
		L17-16	5,346	4,925	8,523	0,947	1,696	1,051	1,238	0,996
		L19-16	7,479	6,888	11,928	0,534	0,000	0,990	0,000	1,392
		L21-16	5,257	4,841	8,382	0,375	0,000	0,696	0,000	0,978
		L24-16	3,557	3,275	5,673	0,254	0,000	0,471	0,000	0,663
15	16									
		L15-16	11,135	10,251	17,754	1,400	1,816	1,806	1,325	2,073
		L14-15	11,135	10,251	17,754	1,400	1,816	1,806	1,325	2,073
15	14		39,971	37,781	65,439	3,644	3,644	5,042	2,723	6,057
		L15-14	9,003	8,522	14,739	0,818	0,815	1,145	0,609	1,365
		L16-15	9,003	8,522	14,739	0,818	0,815	1,145	0,609	1,365
14	15									
		L14-15	30,968	29,285	50,703	2,826	2,831	3,897	2,116	4,692
		L13-14	18,503	17,507	30,297	1,510	1,160	2,218	0,867	2,805
		L4-14	12,466	11,786	20,406	1,316	1,674	1,681	1,251	1,890
14	13		50,705	50,496	87,462	3,635	3,635	5,074	2,682	6,141
		L14-13	11,555	11,541	19,926	1,142	1,773	1,364	1,308	1,398
		L15-14	5,443	5,445	9,387	0,488	0,685	0,615	0,505	0,660
		L4-14	6,113	6,097	10,542	0,655	1,089	0,749	0,803	0,741
13	14									

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

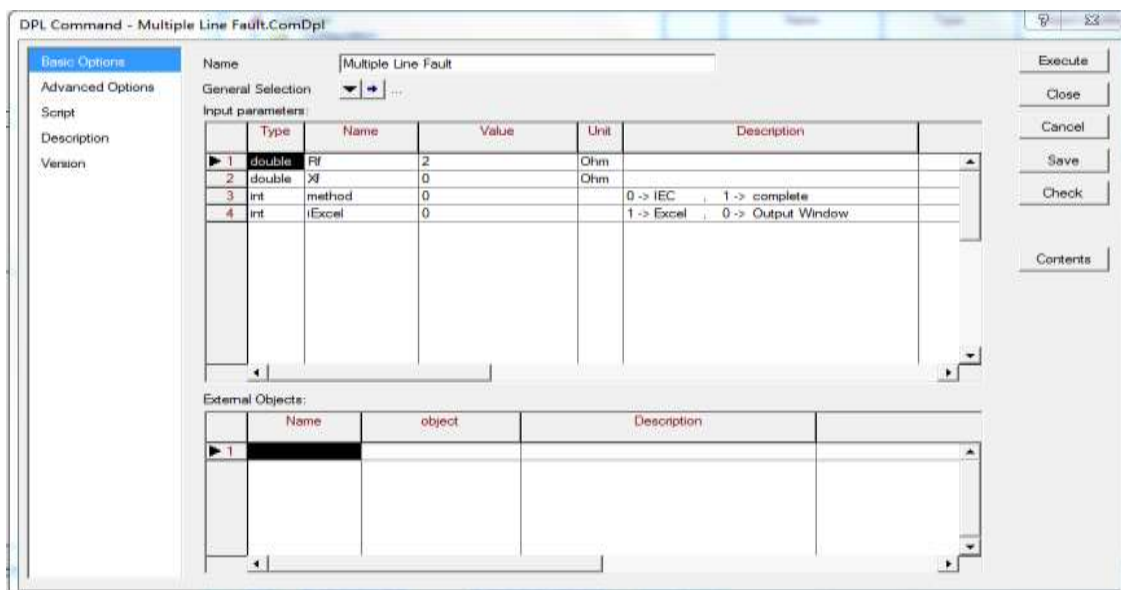
		L13-14	39,151	39,029	67,545	2,492	1,865	3,721	1,376	4,743
		L10-13	28,667	28,587	49,458	1,991	1,865	2,819	1,376	3,474
		T12-13	10,490	10,446	18,093	0,501	0,000	0,910	0,000	1,269
13	10		61,802	66,234	114,720	3,661	3,661	5,104	2,698	6,171
		L13-10	9,728	10,482	18,054	0,875	1,475	1,005	1,087	0,972
		L14-13	8,235	8,880	15,285	0,816	1,475	0,903	1,087	0,822
		T12-13	1,494	1,603	2,775	0,059	0,000	0,107	0,000	0,150
10	13									
		L10-13	52,077	55,873	96,684	2,786	2,189	4,111	1,613	5,202
		L11-10	13,371	14,392	24,819	1,258	2,189	1,397	1,613	1,335
		T32-10	38,716	41,625	71,910	1,529	0,000	2,764	0,000	3,870
6	11		54,719	55,871	96,771	3,665	3,665	5,086	2,723	6,126
		L6-11	20,994	21,455	37,119	1,773	2,507	2,168	1,862	2,349
		L5-6	2,184	2,261	3,873	0,569	1,416	0,506	1,052	0,246
		L7-6	1,121	1,156	1,983	0,414	1,095	0,349	0,813	0,126
		T31-6	17,741	18,139	31,401	0,793	0,000	1,428	0,000	1,986
11	6									
		L11-6	33,727	34,463	59,661	1,893	1,162	2,935	0,863	3,777
		L10-11	25,525	26,091	45,153	1,527	1,162	2,277	0,863	2,859
		T12-11	8,207	8,383	14,514	0,366	0,000	0,661	0,000	0,918
11	10		61,839	66,294	114,825	3,661	3,661	5,104	2,699	6,171
		L11-10	13,691	14,740	25,422	1,272	2,195	1,419	1,618	1,365
		L6-11	14,964	16,106	27,786	1,322	2,195	1,506	1,618	1,494
		T12-11	1,273	1,367	2,364	0,050	0,000	0,091	0,000	0,126
10	11									
		L10-11	48,155	51,692	89,433	2,390	1,469	3,716	1,083	4,806
		L13-10	9,443	10,180	17,532	0,862	1,469	0,984	1,083	0,942
		T32-10	38,719	41,639	71,937	1,529	0,000	2,762	0,000	3,867
21	22		62,847	67,779	117,396	3,304	3,304	5,024	2,217	6,486
		L21-22	7,683	8,343	14,349	0,984	2,145	0,976	1,439	0,792
		L16-21	7,683	8,343	14,349	0,984	2,145	0,976	1,439	0,792
22	21									
		L22-21	55,165	59,557	103,062	2,320	1,159	4,077	0,778	5,694
		L23-22	15,585	16,878	29,115	0,933	1,159	1,316	0,778	1,608
		T35-22	39,582	42,824	73,965	1,388	0,000	2,769	0,000	4,086
22	23		57,141	59,033	102,249	3,265	3,625	5,004	2,181	6,486
		L22-23	20,038	20,754	35,859	1,335	1,716	1,870	1,147	2,274
		L21-22	1,941	2,0381	3,477	0,646	1,716	0,517	1,147	0,222
		T35-22	18,099	18,721	32,397	0,690	0,000	1,394	0,000	2,055
23	22									
		L23-22	37,104	38,386	66,399	1,930	1,549	3,137	1,035	4,212
		L24-23	5,873	6,101	10,506	0,740	1,549	0,764	1,035	0,666
		T36-23	31,232	32,358	55,905	1,190	0,000	2,399	0,000	3,546
24	23		55,628	56,894	98,544	3,262	3,262	5,001	2,180	6,483
		L24-23	6,126	6,296	10,848	0,761	1,566	0,798	1,047	0,714
		L16-24	6,126	6,296	10,848	0,761	1,566	0,798	1,047	0,714
23	24									
		L23-24	49,504	50,665	87,702	2,500	1,696	4,220	1,133	5,769
		L22-23	19,116	19,602	33,864	1,312	1,696	1,835	1,133	2,229
		T36-23	30,389	31,169	53,850	1,188	0,000	2,396	0,000	3,543

4.4.4 Προσομοιώσεις

Σε συνέχεια, θα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης των “Fault Report” και “Multiple Line Fault” script στο δίκτυο 39 ζυγών New England. Στο συγκεκριμένο δίκτυο δεν έχουν τοποθετηθεί ηλεκτρονόμοι, συνεπώς δεν μπορεί να γίνει προσομοίωση του “Tripping Time of Relays” script. Όπως έχει προαναφερθεί, η αντίσταση σφάλματος έχει οριστεί $R_F = 2 \Omega$ και η μέθοδος υπολογισμού του βραχυκυκλώματος είναι η IEC 60909. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο παράθυρο επεξεργασίας των script στις Εικόνες 4.34 και 4.35 ενώ στις Εικόνες 4.33 έως 4.39 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.



Εικόνα 4.34: Ρυθμίσεις του script “Fault Report” (New England 39-bus).



Εικόνα 4.35: Ρυθμίσεις του script “Multiple Line Fault” (New England 39-bus).

DigSI/info - Calculating short circuits (IEC) at all busbars

Station Name	Bus Name	Unom Unom [kV]	3-Phase		1-Phase		Phase-Phase		Positive Seq		Zero Seq		Ratio	Ratio	Ratio
			I	Angle	I	Angle	I	Angle	R	X	R0	X0	X0/X1	R0/X0	R0/X1
			[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[pu]	[pu]	[pu]	[pu]	[-]	[-]	[-]
	B1	150,0	19,8	-61,5	10,0	-72,9	18,6	-163,0	0,0013	0,0188	0,0081	0,0839	4,458	0,097	0,431
	B10	150,0	40,7	-28,4	6,9	-70,6	54,1	-136,8	0,0003	0,0049	0,0338	0,1629	32,930	0,207	6,826
	B11	150,0	38,3	-33,0	7,0	-70,3	47,7	38,4	0,0004	0,0060	0,0340	0,1592	26,434	0,213	5,637
	B12	20,0	6,3	-1,0	1,6	-0,2	11,0	88,1	0,0004	0,0083	4,5000	0,0031	0,369	1e+003	539,072
	B13	150,0	36,9	-35,8	6,8	-71,1	44,3	35,6	0,0004	0,0067	0,0334	0,1644	24,456	0,203	4,961
	B14	150,0	32,0	-43,8	6,8	-71,5	35,0	-151,0	0,0007	0,0092	0,0315	0,1595	17,427	0,198	3,447
	B15	150,0	27,6	-50,1	6,0	-73,6	28,3	24,6	0,0010	0,0118	0,0313	0,1790	15,214	0,175	2,656
	B16	150,0	36,1	-36,7	6,4	-73,1	42,8	-144,9	0,0005	0,0070	0,0302	0,1769	25,250	0,171	4,315
	B17	150,0	30,8	-45,4	6,4	-73,2	33,1	-152,1	0,0008	0,0098	0,0288	0,1690	17,266	0,171	2,947
	B18	150,0	27,4	-50,3	6,4	-73,4	28,0	24,5	0,0010	0,0119	0,0278	0,1656	13,911	0,168	2,339
	B19	150,0	42,1	-25,0	5,0	-75,7	58,5	-132,8	0,0002	0,0043	0,0351	0,2354	55,271	0,149	8,236
	B2	150,0	37,0	-31,4	7,9	-72,1	46,1	41,4	0,0009	0,0060	0,0213	0,1417	23,743	0,150	3,571
	B20	20,0	6,3	-0,7	6,3	-1,2	11,0	88,6	0,0003	0,0059	0,0000	0,0185	3,140	0,002	0,006
	B21	150,0	29,8	-48,0	5,3	-75,5	31,3	-154,6	0,0006	0,0106	0,0322	0,2104	19,895	0,153	3,047
	B22	150,0	41,2	-27,6	5,1	-75,9	55,5	44,0	0,0002	0,0048	0,0334	0,2303	48,465	0,145	7,029
	B23	150,0	39,3	-31,8	5,0	-76,1	49,9	39,2	0,0003	0,0057	0,0337	0,2353	41,363	0,143	5,933
	B24	150,0	29,6	-48,1	5,7	-74,6	31,1	-154,5	0,0007	0,0107	0,0311	0,1933	18,139	0,161	2,917
	B25	150,0	35,6	-32,7	6,8	-69,5	43,4	-139,6	0,0011	0,0064	0,0365	0,1618	25,164	0,226	5,681
	B26	150,0	24,9	-53,5	5,5	-74,3	24,8	-157,6	0,0012	0,0137	0,0336	0,1961	14,354	0,171	2,460
	B27	150,0	22,4	-57,4	5,5	-74,8	21,6	-160,2	0,0013	0,0160	0,0314	0,1912	11,981	0,164	1,968
	B28	150,0	21,6	-58,4	3,9	-77,4	20,8	-161,0	0,0014	0,0167	0,0416	0,2843	17,023	0,146	2,493
	B29	150,0	38,2	-33,7	4,1	-77,1	47,4	-142,8	0,0003	0,0062	0,0422	0,2898	47,071	0,145	6,846
	B3	150,0	30,5	-45,4	7,1	-72,4	32,8	28,1	0,0009	0,0099	0,0255	0,1496	15,159	0,170	2,581
	B30	20,0	6,3	-0,8	6,3	-1,9	11,0	-91,5	0,0006	0,0066	0,0001	0,0360	5,425	0,004	0,022
	B31	20,0	6,3	-0,7	6,3	-1,0	11,0	-91,4	0,0004	0,0060	0,0000	0,0147	2,444	0,002	0,004
	B32	20,0	6,3	-0,6	6,3	-1,0	11,0	88,8	0,0003	0,0054	0,0000	0,0152	2,834	0,002	0,005
	B33	20,0	6,3	-0,5	6,3	-1,0	11,0	88,9	0,0003	0,0047	0,0000	0,0165	3,500	0,002	0,006
	B35	20,0	6,3	-0,6	6,3	-1,0	11,0	-91,2	0,0003	0,0050	0,0000	0,0153	3,024	0,002	0,005
	B36	20,0	6,3	-0,7	6,3	-1,1	11,0	-91,3	0,0003	0,0058	0,0000	0,0178	3,088	0,002	0,006
	B37	20,0	6,3	-0,8	6,3	-1,3	11,0	88,4	0,0009	0,0068	0,0000	0,0193	2,827	0,002	0,006
	B38	20,0	6,3	-0,7	6,3	-1,0	11,0	-91,4	0,0003	0,0063	0,0000	0,0125	1,985	0,001	0,003
	B39	150,0	38,3	-30,5	28,5	-44,2	48,4	42,2	0,0006	0,0056	0,0040	0,0198	3,526	0,200	0,705
	B4	150,0	31,8	-44,2	7,1	-70,9	34,7	-151,4	0,0006	0,0093	0,0305	0,1501	16,165	0,203	3,285
	B5	150,0	37,3	-34,4	7,5	-68,8	45,5	-142,8	0,0005	0,0064	0,0336	0,1449	22,588	0,232	5,233
	B6	150,0	40,4	-28,5	7,6	-68,7	53,3	43,3	0,0003	0,0050	0,0338	0,1463	29,242	0,231	6,762
	B7	150,0	30,1	-45,9	7,1	-69,1	32,2	-152,4	0,0009	0,0101	0,0356	0,1467	14,523	0,242	3,521
	B8	150,0	29,8	-45,6	7,4	-68,1	31,8	-151,8	0,0010	0,0102	0,0358	0,1397	13,763	0,256	3,530
	B9	150,0	18,0	-56,8	9,7	-70,9	17,1	-156,8	0,0040	0,0197	0,0081	0,0839	4,264	0,097	0,412

DigSI/info - DPL program 'Fault Report' successfully executed

Εικόνα 4.36: Προσομοίωση “Fault Report” script – Output Window (New England 39-bus).

A	B	C	D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P	Q	
Station Name	Bus Name	Unom [kV]	3-Phase		1-Phase		Phase-Phase		Pos-Seq		Zero-Seq		Ratio		R0/X0 [pu]	X0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]	R0/X1 [pu]
			I	Angle [deg]	I	Angle [deg]	I	Angle [deg]	R	X	R0	X0	R0/X0	R0/X1															
	B1	150	19,8	-61,5	10	-72,9	18,6	-163	0,0013	0,0188	0,0081	0,0839	4,458	0,097	0,431														
	B10	150	40,7	-28,4	6,9	-70,6	54,1	-136,8	0,0003	0,0049	0,0338	0,1629	32,93	0,207	6,826														
	B11	150	38,3	-33	7	-70,3	47,7	38,4	0,0004	0,006	0,034	0,1592	26,434	0,213	5,637														
	B12	20	6,3	-1	1,6	-0,2	11	88,1	0,0004	0,0083	4,5	0,0031	0,369	1,00E+03	539,072														
	B13	150	36,9	-35,8	6,8	-71,1	44,3	35,6	0,0004	0,0067	0,0334	0,1644	24,456	0,203	4,961														
	B14	150	32	-43,8	6,8	-71,5	35	-151	0,0007	0,0092	0,0315	0,1595	17,427	0,198	3,447														
	B15	150	27,6	-50,1	6	-73,6	28,3	24,6	0,001	0,0118	0,0313	0,179	15,214	0,175	2,656														
	B16	150	36,1	-36,7	6,4	-73,1	42,8	-144,9	0,0005	0,007	0,0302	0,1769	25,25	0,171	4,315														
	B17	150	30,8	-45,4	6,4	-73,2	33,1	-152,1	0,0008	0,0098	0,0288	0,169	17,266	0,171	2,947														
	B18	150	27,4	-50,3	6,4	-73,4	28	24,5	0,001	0,0119	0,0278	0,1656	13,911	0,168	2,339														
	B19	150	42,1	-25	5	-75,7	58,5	-132,8	0,0002	0,0043	0,0351	0,2354	55,271	0,149	8,236														
	B2	150	37	-31,4	7,9	-72,1	46,1	41,4	0,0009	0,006	0,0213	0,1417	23,743	0,15	3,571														
	B20	20	6,3	-0,7	6,3	-1,2	11	88,6	0,0003	0,0059	0	0,0185	3,14	0,002	0,006														
	B21	150	29,8	-48	5,3	-75,5	31,3	-154,6	0,0006	0,0106	0,0322	0,2104	19,895	0,153	3,047														
	B22	150	41,2	-27,6	5,1	-75,9	55,5	44	0,0002	0,0048	0,0334	0,2303	48,465	0,145	7,029														
	B23	150	39,3	-31,8	5	-76,1	49,9	39,2	0,0003	0,0057	0,0337	0,2353	41,363	0,143	5,933														
	B24	150	29,6	-48,1	5,7	-74,6	31,1	-154,5	0,0007	0,0107	0,0311	0,1933	18,139	0,161	2,917														
	B25	150	35,6	-32,7	6,8	-69,5	43,4	-139,6	0,0011	0,0064	0,0365	0,1618	25,164	0,226	5,681														
	B26	150	24,9	-53,5	5,5	-74,3	24,8	-157,6	0,0012	0,0137	0,0336	0,1961	14,354	0,171	2,46														
	B27	150	22,4	-57,4	5,5	-74,8	21,6	-160,2	0,0013	0,016	0,0314	0,1912	11,981	0,164	1,968														
	B28	150	21,6	-58,4	3,9	-77,4	20,8	-161	0,0014	0,0167	0,0416	0,2843	17,023	0,146	2,493														
	B29	150	38,2	-33,7	4,1	-77,1	47,4	-142,8	0,0003	0,0062	0,0422	0,2898	47,071	0,145	6,846														
	B3	150	30,5	-45,4	7,1	-72,4	32,8	28,1	0,0009	0,0099	0,0255	0,1496	15,159	0,17	2,581														
	B30	20	6,3	-0,8	6,3	-1,9	11	-91,5	0,0006	0,0066	0,0001	0,036	5,425	0,004	0,022														
	B31	20	6,3	-0,7	6,3	-1	11	-91,4	0,0004	0,006	0	0,0147	2,444	0,002	0,004														
	B32	20	6,3	-0,6	6,3	-1	11	88,8	0,0003	0,0054	0	0,0152	2,834	0,002	0,005														
	B33	20	6,3	-0,5	6,3	-1	11	88,9	0,0003	0,0047	0	0,0165	3,5	0,002	0,006														
	B35	20	6,3	-0,6	6,3	-1	11	-91,2	0,0003	0,005	0	0,0153	3,024	0,002	0,005														
	B36	20	6,3	-0,7	6,3	-1,1	11	-91,3	0,0003	0,0058	0	0,0178	3,088	0,002	0,006														
	B37	20	6,3	-0,8	6,3	-1,3	11	88,4	0,0009	0,0068	0	0,0193	2,827	0,002	0,006														
	B38	20	6,3	-0,7	6,3	-1	11	-91,4	0,0003	0,0063	0	0,0125	1,985	0,001	0,003														
	B39	150	38,3	-30,5	28,5	-44,2	48,4	42,2	0,0006	0,0056	0,004	0,0198	3,526	0,2	0,705														
	B4	150	31,8	-44,2	7,1	-70,9	34,7	-151,4	0,0006	0,0093	0,0305	0,1501	16,165	0,203	3,285														
	B5	150	37,3	-34,4	7,5	-68,8	45,5	-142,8	0,0005	0,0064	0,0336	0,1449	22,588	0,232	5,233														
	B6	150	40,4	-28,5	7,6	-68,7	53,3	43,3	0,0003	0,005	0,0338	0,1463	29,242	0,231	6,762														
	B7	150	30,1	-45,9	7,1	-69,1	32,2	-152,4	0,0009	0,0101	0,0356	0,1467	14,523	0,242	3,521														
	B8	150	29,8	-45,6	7,4	-68,1	31,8	-151,8	0,001	0,0102	0,0358	0,1397	13,763	0,256	3,53														
	B9	150	18	-56,8	9,7	-70,9	17,1	-156,8	0,004	0,0197	0,0081	0,0839	4,264	0,097	0,412														

Εικόνα 4.37: Προσομοίωση “Fault Report” script – MS Excel File (New England 39-bus).

DigSI/info - DPL Program 'Multiple Line Fault' started

Line Name	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)	
	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]
L 1-2	36,4	147,2	20,5	120,5	19,7	118,4	7,9	107,8	7,8	105,9	9,9	107,0	44,5	40,0	19,5	16,7	18,5	17,0	33,1	-120,3	18,7	-142,5	18,2	-141,6
L 1-39	19,8	118,5	24,5	124,8	37,9	148,6	10,0	107,2	14,1	112,5	28,0	134,8	18,7	17,0	24,1	20,9	47,4	41,2	18,3	-141,4	23,1	-133,5	38,1	-106,1
L 2-3	36,8	148,2	31,1	136,4	30,5	134,6	7,9	107,9	7,3	107,3	7,1	107,6	45,6	41,0	33,9	29,8	32,7	28,1	33,5	-119,4	28,1	-130,2	27,5	-131,9
L 2-25	35,5	147,3	33,1	148,2	36,8	148,6	6,8	110,5	7,2	110,0	7,9	108,0	43,2	40,5	39,6	43,4	45,8	41,5	32,1	-120,4	30,1	-119,2	33,6	-119,0
L 3-4	30,4	134,4	27,3	129,0	31,6	135,5	7,1	107,6	6,8	107,5	7,1	109,0	32,5	27,9	27,9	23,7	34,4	28,3	27,4	-132,1	24,5	-137,0	28,5	-131,2
L 3-18	27,4	129,7	27,8	130,4	30,4	134,5	6,4	106,6	6,7	106,9	7,1	107,6	28,0	24,4	28,6	25,0	32,6	28,0	24,6	-136,6	25,0	-135,8	27,4	-132,0
L 4-5	31,8	135,7	32,2	136,4	37,2	145,3	7,1	109,1	7,1	109,6	7,5	111,1	34,6	28,5	35,4	29,0	45,2	36,9	28,6	-131,0	29,0	-130,4	33,6	-122,1
L 4-14	31,7	135,6	29,9	132,8	31,9	136,1	7,1	109,1	6,7	108,3	6,8	108,5	34,6	28,5	31,7	26,3	34,9	28,9	28,6	-131,0	26,9	-133,8	28,7	-130,8
L 5-6	37,3	145,6	38,6	148,0	40,3	151,4	7,5	111,2	7,5	111,2	7,6	111,3	45,6	37,2	48,6	39,5	53,2	43,2	33,7	-121,8	34,9	-119,6	36,5	-116,4
L 5-8	37,1	145,3	31,1	135,6	29,8	134,3	7,5	111,2	7,2	110,9	7,4	111,9	45,1	36,8	33,7	28,7	31,8	28,1	33,5	-122,1	28,0	-131,0	26,8	-131,8
L 6-7	40,2	151,1	33,4	138,7	30,2	134,1	7,6	111,3	7,2	110,7	7,1	110,9	52,8	42,8	37,5	31,0	32,2	27,6	36,4	-116,7	30,0	-128,3	27,1	-132,3
L 6-11	40,3	151,3	37,7	146,1	38,2	146,9	7,6	111,3	7,2	110,3	7,0	109,7	53,1	43,1	46,4	37,6	47,6	38,3	36,5	-116,5	34,0	-121,5	34,5	-120,9
L 7-8	30,1	134,0	29,6	133,7	29,8	134,4	7,1	111,0	7,2	111,3	7,4	111,9	32,1	27,6	31,5	27,5	31,8	28,2	27,1	-132,3	26,6	-132,5	26,8	-131,8
L 8-9	29,2	134,2	17,4	129,6	17,9	123,4	7,4	112,0	7,5	113,9	9,7	109,3	31,0	28,4	16,9	30,4	17,0	23,4	26,3	-131,8	16,1	-132,5	16,9	-136,1
L 9-39	37,8	148,6	23,4	126,6	18,1	123,2	28,0	134,8	13,9	113,4	9,8	109,1	47,3	41,2	23,2	23,6	17,2	23,1	38,1	-106,1	22,4	-131,4	17,0	-136,3
L 10-11	38,3	147,0	38,7	147,8	40,7	151,5	7,0	109,7	6,9	109,5	6,9	109,4	47,7	38,4	48,8	39,2	53,9	43,0	34,5	-120,8	34,9	-120,1	36,7	-116,7
L 10-13	36,9	144,2	38,1	146,5	40,6	151,5	6,8	108,9	6,8	109,1	6,9	109,4	44,4	35,6	47,2	37,8	53,9	43,0	33,2	-123,5	34,3	-121,3	36,7	-116,7
L 13-14	32,0	136,2	32,8	137,5	36,7	144,0	6,8	108,5	6,7	108,5	6,8	108,9	35,0	29,0	36,4	30,0	44,1	35,4	28,7	-130,7	29,5	-129,6	33,1	-123,7
L 14-15	27,5	129,8	26,1	127,7	31,8	135,9	6,0	106,4	6,1	106,9	6,8	106,4	28,2	24,5	26,3	23,0	34,7	28,8	24,6	-136,8	23,4	-138,5	28,6	-131,0
L 15-16	36,0	143,0	30,7	134,5	27,6	130,0	6,4	106,9	6,1	106,6	6,0	106,4	42,5	34,9	33,0	27,9	28,4	24,6	32,3	-124,7	27,5	-132,5	24,7	-136,6
L 16-17	30,8	134,6	32,4	137,0	36,0	143,1	6,4	106,8	6,4	106,7	6,4	106,9	33,1	27,9	35,7	29,7	42,6	34,9	27,7	-132,3	29,1	-130,2	32,4	-124,6
L 16-19	36,0	143,0	33,4	138,5	41,8	154,3	6,3	106,8	5,5	105,2	5,1	104,3	42,5	34,8	37,5	30,9	57,5	46,4	32,3	-124,8	29,9	-129,3	37,5	-114,7
L 16-21	36,0	143,0	30,8	133,8	29,8	131,9	6,3	106,8	5,7	105,4	5,3	104,6	42,5	34,8	33,0	27,0	31,3	25,4	32,3	-124,8	27,5	-133,5	26,6	-135,5
L 17-18	27,4	129,7	28,4	131,1	30,7	134,5	6,4	106,6	6,4	106,6	6,4	106,8	28,1	24,5	29,5	25,4	33,0	27,8	24,6	-136,6	25,5	-135,4	27,6	-132,4
L 17-27	22,4	122,6	24,5	125,4	30,6	134,3	5,5	105,2	5,8	105,7	6,4	106,8	21,6	19,8	24,3	21,5	32,8	27,7	20,0	-143,2	21,9	-140,7	27,5	-132,6
L 16-24	29,6	132,0	32,4	136,5	36,1	143,1	5,7	105,4	6,0	106,0	6,4	106,8	31,1	25,6	35,6	29,1	42,6	34,9	26,5	-135,2	29,0	-130,9	32,4	-124,6
L 21-22	29,8	132,0	32,8	136,6	41,0	151,9	5,3	104,5	5,1	104,1	5,1	104,1	31,3	25,5	36,2	28,8	54,8	43,4	26,6	-135,4	29,3	-131,4	36,7	-116,9
L 22-23	41,1	152,2	38,2	146,1	39,2	148,0	5,1	104,1	5,0	103,9	5,0	103,8	55,2	43,7	47,2	37,2	49,8	39,1	36,9	-116,6	34,1	-122,5	35,1	-120,7
L 23-24	29,3	131,5	25,0	125,0	38,7	147,0	5,7	105,3	4,9	103,6	5,0	103,8	30,6	25,2	24,7	20,7	48,4	38,0	26,2	-135,6	22,2	-141,9	34,6	-121,7
L 25-26	35,2	146,3	23,7	125,9	24,8	126,4	6,8	110,4	5,6	106,8	5,5	105,7	42,3	39,4	23,4	22,4	24,6	22,3	31,8	-121,4	21,2	-140,3	22,1	-140,1
L 26-28	24,5	126,0	17,2	116,2	21,4	121,3	5,4	105,6	4,2	103,1	3,9	102,6	24,3	22,1	16,0	16,0	20,5	18,8	21,9	-140,4	15,3	-149,7	18,9	-145,9
L 26-29	24,4	125,8	17,4	116,3	37,0	144,2	5,4	105,5	4,0	102,8	4,1	102,9	24,2	22,0	16,1	16,0	44,7	35,2	21,8	-140,6	15,4	-149,8	33,0	-124,8
L 28-29	21,7	121,7	27,1	129,0	37,9	145,8	3,9	102,6	4,0	102,7	4,1	102,9	20,8	19,0	27,7	23,5	46,7	36,7	19,2	-145,6	24,1	-139,1	33,8	-123,3
L 26-27	24,8	126,4	22,6	123,2	22,3	122,6	5,5	105,7	5,4	105,3	5,5	105,2	24,7	22,4	22,0	20,2	21,6	19,8	22,2	-140,0	20,2	-142,8	19,9	-143,3

DigSI/info - DPL program 'Multiple Line Fault' successfully executed

Εικόνα 4.38: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – Output Window (New England 39-bus).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Line Name	3-Ph(1)		3-Ph(50)		3-Ph(99)		1-Ph(1)		1-Ph(50)		1-Ph(99)		Ph-Ph(1)		Ph-Ph(50)		Ph-Ph(99)		Ph-Ph-Gr(1)		Ph-Ph-Gr(50)		Ph-Ph-Gr(99)	
	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle	I	Angle
	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]	[kA]	[deg]
L 1-2	36,4	147,2	20,3	120,5	19,7	118,4	7,9	107,8	7,8	105,9	9,9	107	44,5	40	19,5	18,7	18,5	17	33,1	-120,3	18,7	-142,5	18,2	-141,6
L 1-39	19,8	118,5	24,5	124,8	37,9	148,6	10	107,2	14,1	112,5	28	134,8	18,7	17	24,1	20,9	47,4	41,2	18,3	-141,4	23,1	-133,5	38,1	-106,1
L 2-3	36,8	148,2	31,1	136,4	30,5	134,6	7,9	107,9	7,3	107,3	7,1	107,6	45,6	41	33,9	29,8	32,7	28,1	33,5	-119,4	28,1	-130,2	27,5	-131,9
L 2-25	35,5	147,3	33,1	148,2	36,8	148,6	6,8	110,5	7,2	110	7,9	108	43,2	40,5	39,6	43,4	45,8	41,5	32,1	-120,4	30,1	-119,2	33,6	-119
L 3-4	30,4	134,4	27,3	129	31,6	135,5	7,1	107,6	6,8	107,5	7,1	109	32,5	27,9	27,9	23,7	34,4	28,3	27,4	-132,1	24,5	-137	28,5	-131,2
L 3-18	27,4	129,7	27,8	130,4	30,4	134,5	6,4	106,6	6,7	106,9	7,1	107,6	28	24,4	28,6	25	32,6	28	24,6	-136,6	25	-135,8	27,4	-132
L 4-5	31,8	135,7	32,2	136,4	37,2	145,3	7,1	109,1	7,1	109,6	7,5	111,1	34,6	28,5	35,4	29	45,2	36,9	28,6	-131	29	-130,4	33,6	-122,1
L 4-14	31,7	135,6	29,9	132,8	31,9	136,1	7,1	109,1	6,7	108,3	6,8	108,5	34,6	28,5	31,7	26,3	34,9	28,9	28,6	-131	26,9	-133,8	28,7	-130,8
L 5-6	37,3	145,6	38,6	148	40,3	151,4	7,5	111,2	7,5	111,2	7,6	111,3	45,6	37,2	48,6	39,5	53,2	43,2	33,7	-121,8	34,9	-119,6	36,5	-116,4
L 5-8	37,1	145,3	31,1	135,6	29,8	134,3	7,5	111,2	7,2	110,9	7,4	111,9	45,1	36,8	33,7	28,7	31,8	28,1	33,5	-122,1	28	-131	26,8	-131,8
L 6-7	40,2	151,1	33,4	138,7	30,2	134,1	7,6	111,3	7,2	110,7	7,1	110,9	52,8	42,8	37,5	31	32,2	27,6	36,4	-116,7	30	-128,3	27,1	-132,3
L 6-11	40,3	151,3	37,7	146,1	38,2	146,9	7,6	111,3	7,2	110,3	7	109,7	53,1	43,1	46,4	37,6	47,6	38,3	36,5	-116,5	34	-121,5	34,5	-120,9
L 7-8	30,1	134	29,6	133,7	29,8	134,4	7,1	111	7,2	111,3	7,4	111,9	32,1	27,6	31,5	27,5	31,8	28,2	27,1	-132,3	26,6	-132,5	26,8	-131,8
L 8-9	29,2	134,2	17,4	129,6	17,9	123,4	7,4	112	7,5	113,9	9,7	109,3	31	28,4	16,9	30,4	17	23,4	26,3	-131,8	16,1	-132,5	16,9	-136,1
L 9-39	37,8	148,6	23,4	126,6	18,1	123,2	28	134,8	13,9	113,4	9,8	109,1	47,3	41,2	23,2	23,6	17,2	23,1	38,1	-106,1	22,4	-131,4	17	-136,3
L 10-11	38,3	147	38,7	147,8	40,7	151,5	7	109,7	6,9	109,5	6,9	109,4	47,7	38,4	48,8	39,2	53,9	43	34,5	-120,8	34,9	-120,1	36,7	-116,7
L 10-13	36,9	144,2	38,1	146,5	40,6	151,5	6,8	108,9	6,8	109,1	6,9	109,4	44,4	35,6	47,2	37,8	53,9	43	33,2	-123,5	34,3	-121,3	36,7	-116,7
L 13-14	32	136,2	32,8	137,5	36,7	144	6,8	108,5	6,7	108,5	6,8	108,9	35	29	36,4	30	44,1	35,4	28,7	-130,7	29,5	-129,6	33,1	-123,7
L 14-15	27,5	129,8	26,1	127,7	31,8	135,9	6	106,4	6,1	106,9	6,8	108,4	28,2	24,5	26,3	23	34,7	28,8	24,6	-136,8	23,4	-138,5	28,6	-131
L 15-16	36	143	30,7	134,5	27,6	130	6,4	106,9	6,1	106,6	6	106,4	42,5	34,9	33	27,9	28,4	24,6	32,3	-124,7	27,5	-132,5	24,7	-136,6
L 16-17	30,8	134,6	32,4	137	36	143,1	6,4	106,8	6,4	106,7	6,4	106,9	33,1	27,9	35,7	29,7	42,6	34,9	27,7	-132,3	29,1	-130,2	32,4	-124,6
L 16-19	36	143	33,4	138,5	41,8	154,3	6,3	106,8	5,5	105,2	5,1	104,3	42,5	34,8	37,5	30,9	57,5	46,4	32,3	-124,8	29,9	-129,3	37,5	-114,7
L 16-21	36	143	30,8	133,8	29,8	131,9	6,3	106,8	5,7	105,4	5,3	104,6	42,5	34,8	33	27	31,3	25,4	32,3	-124,8	27,5	-133,5	26,6	-135,5
L 17-18	27,4	129,7	28,4	131,1	30,7	134,5	6,4	106,6	6,4	106,6	6,4	106,8	28,1	24,5	29,5	25,4	33	27,8	24,6	-136,6	25,5	-135,4	27,6	-132,4
L 17-27	22,4	122,6	24,5	125,4	30,6	134,3	5,3	105,2	5,8	105,7	6,4	106,8	21,6	19,8	24,3	21,5	32,8	27,7	20	-143,2	21,9	-140,7	27,5	-132,6
L 16-24	29,6	132	32,4	136,5	36,1	143,1	5,7	105,4	6	106	6,4	106,8	31,1	25,6	35,6	29,1	42,6	34,5	26,5	-135,2	29	-130,9	32,4	-124,6
L 21-22	29,8	132	32,8	136,6	41	151,9	5,3	104,5	5,1	104,1	5,1	104,1	31,3	25,5	36,2	28,8	54,8	43,4	26,6	-135,4	29,3	-131,4	36,7	-116,9
L 22-23	41,1	152,2	38,2	146,1	39,2	148	5,1	104,1	5	103,9	5	103,8	55,2	43,7	47,2	37,2	49,8	39,1	36,9	-116,6	34,1	-122,5	35,1	-120,7
L 23-24	29,3	131,5	25	125	36,7	147	5,7	105,3	4,9	103,6	5	103,8	30,6	25,2	24,7	20,7	46,4	38	26,2	-135,6	22,2	-141,9	34,6	-121,7
L 25-26	35,2	146,3	23,7	125,9	24,8	126,4	6,8	110,4	5,6	106,8	5,5	105,7	42,3	39,4	23,4	22,4	24,6	22,3	31,8	-121,4	21,2	-140,3	22,1	-140,1
L 26-28	24,5	126	17,2	116,2	21,4	121,3	5,4	105,6	4,2	103,1	3,9	102,6	24,3	22,1	16	16	20,5	18,8	21,9	-140,4	15,3	-149,7	18,9	-145,9
L 26-29	24,4	125,8	17,4	116,3	37	144,2	5,4	105,5	4	102,8	4,1	102,9	24,2	22	16,1	16	44,7	35,2	21,8	-140,6	15,4	-149,8	33	-124,8
L 28-29	21,7	121,7	27,1	129	37,9	145,8	3,9	102,6	4	102,7	4,1	102,9	20,8	19	27,7	23,5	46,7	36,7	19,2	-145,6	24,1	-139,1	33,8	-123,3
L 26-27	24,8	126,4	22,6	123,2	22,3	122,6	5,3	105,7	5,4	105,3	5,3	105,2	24,7	22,4	22	20,2	21,6	19,8	22,2	-140	20,2	-142,8	19,9	-143,3

Εικόνα 4.39: Προσομοίωση “Multiple Line Script” script – MS Excel File (New England 39-bus).

5 *Επίλογος*

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε εκτενής χρήση του πακέτου PowerFactory της εταιρίας DIgSILENT GmbH, ένα ιδιαίτερα χρήσιμο λογισμικό για την μοντελοποίηση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και την πραγματοποίηση πολλών ειδών μελετών και προσομοιώσεων. Σκοπός της εργασίας ήταν η ανάδειξη των δυνατοτήτων του συγκεκριμένου λογισμικού, η σύνταξη βασικού οδηγού για νέους χρήστες, καθώς και η επίδειξη εκπόνησης μελετών λειτουργίας, ήτοι υπολογισμός ροών φορτίου, υπολογισμός βραχυκυκλωμάτων, μελέτη προστασίας, σε πρότυπα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Επιπλέον, αξιοποιήθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού DPL, με στόχο την αυτοματοποίηση και συστηματοποίηση των μελετών προστασίας.

Στο 4^ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάσθηκαν και αναλύθηκαν διεξοδικά τα αποτελέσματα των μελετών και των εφαρμογών σε DPL. Συμπερασματικά, η παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να βοηθήσει σπουδαστές και νέους ερευνητές στην εξοικείωση με την εκπόνηση μελετών σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο λογισμικό, μέσα από αναλυτικά παραδείγματα και πληθώρα οδηγιών.

Βιβλιογραφία–Ιστογραφία

Βιβλία

- [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. L. Blackburn, T. J. Domin, Protective Relaying, Principles and Applications, Third Edition, CRC Press, 2007.
- [6] J. M. Gers, E. J. Holmes, Protection of Electricity Distribution Networks Third Edition, 2011.
- [7] N. D. Tleis, Power Systems Modelling and Fault Analysis, Theory and Practice, 2008.
- [8] W. A. Elmore, Protective Relaying, Theory and Applications, Second Edition, Marcel Dekker, Inc, 2004.
- [9] P. M. Anderson, Power System Protection, IEEE Press, 1999.

Δημοσιεύσεις

- [10] H.H. Zeineldin, E.F. El-Saadany and M.M.A. Salama, Optimal coordination of overcurrent relays using a modified particle swarm optimization,” Electr. Power Syst. Res., Vol. 76, No. 11, pp. 988–995, Jul. 2006.
- [11] T. Amraee, “Coordination of directional overcurrent relays using seeker algorithm,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 27, no. 3, pp. 1415–1422, Jul. 2012.
- [12] J. Roberts, H. J. Altuve, and D. Hou, Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2001.

Διπλωματικές Εργασίες

- [13] Zhiqi Han, Protection Coordination in Networks with Renewable Energy Sources, University of Manchester, 2014.
- [14] Sidharth Parmar Ashok, Modeling and Protection Scheme for IEEE 34 Radial Distribution Feeder with and Without Distributed Generation, University of Wisconsin, May 2014.
- [15] Βασίλειος Α. Παπασηλιωτόπουλος, Εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας μονάδας παραγωγής & μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Μελέτη και έλεγχος προστασίας του μετασχηματιστή ανύψωσης, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούνιος 2012.
- [16] Ταμάς Σ. Κουρασβίλι, Ρύθμιση Ηλεκτρονόμων Υπερέντασης Κατεύθυνσης για Προσαρμοστικά Συστήματα Προστασίας, με χρήση της Υβριδικής μεθόδου βελτιστοποίησης PSO-LP, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Απρίλιος 2014.

Εγχειρίδια

- [17] DIgSILENT GmbH, PowerFactory Version 15.0 BETA User Manual, First Edition, November 2012.
- [18] DIgSILENT GmbH, PowerFactory DIgSILENT Programming Language Tutorial, 2013.
- [19] DIgSILENT GmbH, PowerFactory Relay model description SEL 351, Version 001, 2012.

Σημειώσεις

- [20] Γ. Κορρές, Θεωρία προστασίας υπερέντασης, Αθήνα 2005.
- [21] Γ. Κορρές, Διαφάνειες μαθήματος “Προστασία Σ.Η.Ε.”.

Ιστοσελίδες

- [22] www.selinc.com(SEL)
- [23] www.ee.washington.edu/research/pstca/
- [24] www.digsilent.de
- [25] publish.illinois.edu/smartergrid/ieee-39-bus-system/