



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Εκτίμηση των Συνεπειών Πτώσης ενός Αγωγού
ACSR 16mm² του Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης
Τάσης στο Έδαφος, ηλεκτροδοτούμενο από Κέντρο
Διανομής 15 ή 25 ή 50 MVA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φωτεινή Δ. Λεβογιάννη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Εκτίμηση των Συνεπειών Πτώσης ενός Αγωγού
ACSR 16mm² του Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης
Τάσης στο Έδαφος, ηλεκτροδοτούμενο από Κέντρο
Διανομής 15 ή 25 ή 50 MVA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φωτεινή Δ. Λεβογιάννη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ιουλίου 2010.

.....

Κων/νος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Νικόλαος Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....

Φωτεινή Δ. Λεβογιάννη

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

Copyright © Φωτεινή Δ. Λεβογιάννη, 2010

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.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη μελέτη σφάλματος ενός αγωγού στο Εναέριο Δίκτυο Διανομής Μέσης Τάσης της ΔΕΗ. Αρχικά γίνεται μία σύντομη αναφορά στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στα δίκτυα διανομής και στους αγωγούς που αυτά περιλαμβάνουν. Στη συνέχεια μελετάται η περίπτωση αποκοπής και πτώσης του αγωγού στο έδαφος και η ροή ρεύματος μέσω της γης για διάφορες τιμές της αντίστασης διάβασης (R_{δ}) του εδάφους. Εξετάζεται ως παράδειγμα μια γραμμή μέσης τάσης μήκους 100 km από αγωγούς αλουμινίου με χαλύβδινο πυρήνα (ACSR) ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm².

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών επιβεβαιώνουν ότι σε μερικές περιπτώσεις οι αγωγοί ACSR 16mm² είναι ακατάλληλοι για χρήση στις γραμμές κορμού, καθώς υφίστανται υπερθέρμανση άνω των επιτρεπτών ορίων. Πιο συγκεκριμένα, οι ΑΔΕ και ΔΑΕ του δικτύου μέση τάσης της Δ.Ε.Η., που είναι τοποθετημένοι σε γραμμή ACSR-16mm², σε περίπτωση που συμβεί σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης διάβασης (R_{δ}) του εδάφους, στα πρώτα 100km από τον μετασηματιστή υψηλής προς μέση τάση, δεν “αντιλαμβάνονται” το σφάλμα για: R_{δ} =100Ω, 200Ω, 500Ω, 1000Ω, 2000Ω, 3000Ω και έτσι η λειτουργία του δικτύου είναι προβληματική, με ότι αυτό συνεπάγεται. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν (R_{δ} =1Ω, 5Ω, 10Ω, 20Ω, 30Ω), δεν υπάρχει πρόβλημα, οι διακόπτες λειτουργούν κανονικά.

Απαιτείται λοιπόν η χρήση αγωγού μεγαλύτερης διατομής στις γραμμές κορμού. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε περίπτωση αποκοπής των αγωγών και πτώσης τους στο έδαφος μπορεί να δημιουργηθεί ρεύμα διαρροής που είναι επικίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή σε περίπτωση άμεσης επαφής. και επίσης είναι πιθανή η πρόκληση πυρκαγιάς από τη ροή ρεύματος στο έδαφος εφόσον υπάρχει μια σχετικά εύφλεκτη ουσία.

Τα αποτελέσματα και συμπεράσματα της εργασίας αυτής μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για τους εγκαταστάτες μηχανικούς και εμπειρογνώμονες, καθώς μπορούν να βασιστούν σε αυτά για την εξαγωγή συμπερασμάτων στα πεδία που τους απασχολούν.

Λέξεις κλειδιά:

Σφάλμα ρεύματος γης, Πτώση αγωγού στο έδαφος, Εναέριο Δίκτυο Διανομής, Μέση Τάση, γυμνοί αγωγοί ACSR, Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς, Ρεύμα Διαρροής, Αντίσταση διάβασης.

ABSTRACT

The subject of the present diploma thesis is the study of fault on the medium-voltage overhead distribution network of electric power. Firstly, electricity system and especially distribution network and bare conductors that are involved in it, are briefly analyzed. If the conductors are cut and fall on the ground there is a possibility of the leakage current through the passage resistance (R_d) of ground, which is also examined in this thesis. The study of a medium-voltage distribution line up to 100 kilometres of ACSR 16mm^2 (Aluminum Conductor Steel Reinforced with equivalent cross section of copper conductor of 16mm^2) is taken as an example.

The emerging results confirm that under some circumstances, ACSR 16mm^2 conductors are inappropriate for the main line of overhead distribution networks, due to excessive thermal stress. The results particularly demonstrate that in the case that the conductors are cut and fall on the ground and for $R_d = 100\Omega, 200\Omega, 500\Omega, 1000\Omega, 2000\Omega, 3000\Omega$ a leakage current appears and because of its value (under 50A) is not detected from the protection of the line. Thus, the above situation is dangerous for people to get an electric shock and for environment to get fire.

This makes the use of conductors with a larger cross section compulsory for the main line of overhead distribution networks. Furthermore, the results demonstrate that, in the case that the conductors are cut and fall on the ground, a leakage current would be hazardous in case of human contact, and also the current through the ground is probable to set fire, in case any flammable material lay on the ground.

The results and conclusions of this project may seem especially useful for installation engineers and experts, as regards the area of application.

Keywords:

earth current error, fall of conductor on the ground, overhead distribution network, medium-voltage, bare conductors ACSR, recloser, leakage current, passage resistance of ground.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών και το θέμα της αφορά στο επιστημονικό πεδίο του τομέα ηλεκτρικών βιομηχανικών διατάξεων και συστημάτων αποφάσεων.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους καθηγητές ΕΜΠ και επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας κ.κ Περικλή Μπούρκα και Κωνσταντίνο Καραγιαννόπουλο για το ενδιαφέρον που επέδειξαν και τις πολύτιμες γνώσεις που μου έδωσαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για τις γνώσεις που μου προσέφεραν μέσω των μαθημάτων στα οποία ήταν διδάσκοντες, οι οποίες με βοήθησαν να επιτύχω μια μερική, αλλά σημαντική, ολοκλήρωση του απαραίτητου θεωρητικού υποβάθρου ενός ηλεκτρολόγου μηχανικού.

Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου Δημήτρη και Βούλα καθώς και στα αδέρφια μου Αναστασία και Γιώργο και τους ευχαριστώ θερμά για την απέραντη αγάπη που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια και για την στήριξη που μου παρέχουν σε κάθε μου βήμα προς τους στόχους μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	15
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Περιγραφή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	15
1.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	16
1.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	17
1.3.1 Το εναέριο δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης της ηλεκτρικής.....	18
1.4 Πίνακες του δικτύου μέσης τάσης της ΔΕΗ.....	23
1.5 Βραχυκύκλωμα και Ζώνες προστασίας	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	35
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	37
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΤΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	37
3.1. Γενικά περί αγωγών δικτύου διανομής ΜΤ.....	37
3.2. Η ωμική και επαγωγική αντίσταση της εναέριας γραμμής ΜΤ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	43
4. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	43
4.1 Βασικοί Ορισμοί.....	43
4.2 Υπολογισμός του ρεύματος προς γη στην περίπτωση αποκοπής των αγωγών και πτώσης τους στο έδαφος σε εναέρια δίκτυα διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV από τις αντιστάσεις.....	46
4.3 Αποτελέσματα του εναλλασσόμενου ρεύματος στον άνθρωπο	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	53
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	53
5.1 Περιγραφή Διαδικασίας Υπολογισμών.....	53
5.2 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/20kV.....	54
5.2.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $P_N=15MVA$	54
5.2.2 Παρατηρήσεις.....	72
5.3 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/20kV.....	72

5.3.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 25 \text{ MVA}$	73
5.3.2 Παρατηρήσεις	90
5.4 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N = 50 \text{ MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV	90
5.4.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 50 \text{ MVA}$	91
5.4.2 Παρατηρήσεις	108
5.5 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N = 15 \text{ MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV	108
5.5.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 15 \text{ MVA}$	109
5.5.2 Παρατηρήσεις	126
5.6 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N = 25 \text{ MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV	126
5.6.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 25 \text{ MVA}$	127
5.6.2 Παρατηρήσεις	144
5.7 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm ² , $P_N = 50 \text{ MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV	144
5.7.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 50 \text{ MVA}$	145
5.7.2 Παρατηρήσεις	162
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	163
6. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	163
6.1 Τεχνικές και εξοπλισμός προστασίας γραμμών μεταφοράς με	163
ηλεκτρονόμους	163
6.2 Προτάσεις επίλυσης του προβλήματος του ρεύματος διαρροής	167
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	171
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	171

Κεφάλαιο 1^ο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Περιγραφή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας :

- την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας,
- την μεταφορά της ενέργειας και
- τη διανομή της ενέργειας στους καταναλωτές.

Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής.



Σχήμα 1.1-1 : Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αν και το μέγεθος των ΣΗΕ διαφέρει, υπάρχουν μεταξύ τους κοινά χαρακτηριστικά. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά εναλλασσομένου ρεύματος, συχνότητας σήμερα 50Hz ή 60Hz, χρησιμοποιούνται όμως σε ειδικές περιπτώσεις και συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση λειτουργίας παραμένει σταθερή.

Το τριφασικό σύστημα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται, ανάλογα με την τιμή της τάσης σε τρεις βασικές περιοχές:

- Το δίκτυο χαμηλής τάσης (Χ.Τ) : τριφασικό δίκτυο 400 V , 50 Hz
και μονοφασικό 230 V , 50 Hz
- Το δίκτυο μέσης τάσης (Μ.Τ) : τριφασικό δίκτυο 20 kV ή 15 kV , 50 Hz
- Το δίκτυο υψηλής και υπερυψηλής τάσης

1.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με τον όρο *μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας* εννοούμε το σύνολο διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και απ' όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης, που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Με το σύστημα μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές καταναλώσεως.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υψηλή τάση, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς, αναλόγως της απόστασης και της ποσότητας ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Οι εφαρμοζόμενες τάσεις μεταφοράς έχουν σήμερα τιμές 66kV, 110kV, 132kV, 138kV, 150kV, 220kV, 275kV, 345kV, 400kV, 500kV και 750kV. Υπό μελέτη και πειραματική εφαρμογή βρίσκονται ακόμα οι τάσεις 1000kV και 1500kV για το μέλλον. Στην Ελλάδα τα δίκτυα μεταφοράς είναι κυρίως 150kV και 400KV.

- Οι τάσεις μέχρι 220kV αποτελούν τη βαθμίδα των υψηλών τάσεων (ΥΤ)

- Οι τάσεις από 275kV μέχρι και τα 500kV αποτελούν τη βαθμίδα των υπερυψηλών τάσεων (YYT)
- Οι τάσεις πάνω από 500kV αποτελούν τη βαθμίδα των εξαιρετικά υψηλών τάσεων (EYT)

Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική αναλόγως της σχετικής θέσεως των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα κατανάλωσης.

Η διάταξη των δικτύων μεταφοράς είναι κατά κανόνα βροχοειδής, σε αντίθεση με την ακτινική δομή των δικτύων διανομής.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές διαμέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης 380/220V.

1.3 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με τον όρο *διανομή ηλεκτρικής ενέργειας* εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει έως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως μια διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ξεχωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής των καταναλωτών τους οποίους εξυπηρετεί.

Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται ανάλογα με την τάση, σε δίκτυα υψηλής τάσης (35-150kV), δίκτυα μέσης τάσης (1-35kV) και δίκτυα χαμηλής τάσης (100- 1000V). Στην Ελλάδα τα δίκτυα διανομής είναι κυρίως 20kV και 15kV. Οι αναφερόμενες τάσεις είναι οι πολικές (μεταξύ φάσεων) τριφασικού συστήματος. Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και σε υπόγεια.

Οι χρησιμοποιούμενοι στύλοι είναι συνήθως ξύλινοι ή τσιμεντένιοι και σπανιότερα μεταλλικοί. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί είναι συνήθως από αλουμίνιο, απλό στα δίκτυα χαμηλής τάσης ή ενισχυμένο με χαλύβδινη ψυχή στα δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης (λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ των στύλων) ή κράματα αλουμινίου. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αγωγοί χαλκού, σήμερα όμως η χρήση τους περιορίζεται σε περιοχές έντονης διάβρωσης. Τα τελευταία χρόνια, οι εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης κατασκευάζονται, σε ολοένα αυξανόμενο ποσοστό, με

μονωμένους αγωγούς (συνεστραμμένα καλώδια) , με τάση κατάργησης των γυμνών αγωγών. Κατ' αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ασφάλεια λειτουργίας και μειώνεται η ενόχληση στο περιβάλλον.

Η ισχύς, η οποία μπορεί να μεταφερθεί από μία γραμμή μεταφοράς, είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσης και επομένως είναι προφανής ο ρόλος των υπερυψηλών τάσεων στην επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επιπλέον οι μειωμένες απώλειες, τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερυψηλές τάσεις, καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές.

Το κόστος μεταφοράς αποτελεί τη συνιστάμενη του κόστους εγκατάστασης, του κόστους απωλειών και του κόστους συντήρησης της γραμμής. Κριτήριο για την εκλογή μια τάσης μεταφοράς είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους αγωγούς των γραμμών μεταφοράς είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ένας σύνθετος αγωγός, το ACSR (Aluminum Conductor, Steel Reinforced : αγωγός αλουμινίου ενισχυμένος με χαλύβδινη ψυχή) αποτελείται από κλώνους αλουμινίου, τοποθετημένους γύρω από ένα χαλύβδινο κεντρικό πυρήνα από κλώνους, ο οποίος παρέχει μηχανική αντοχή στον αγωγό.

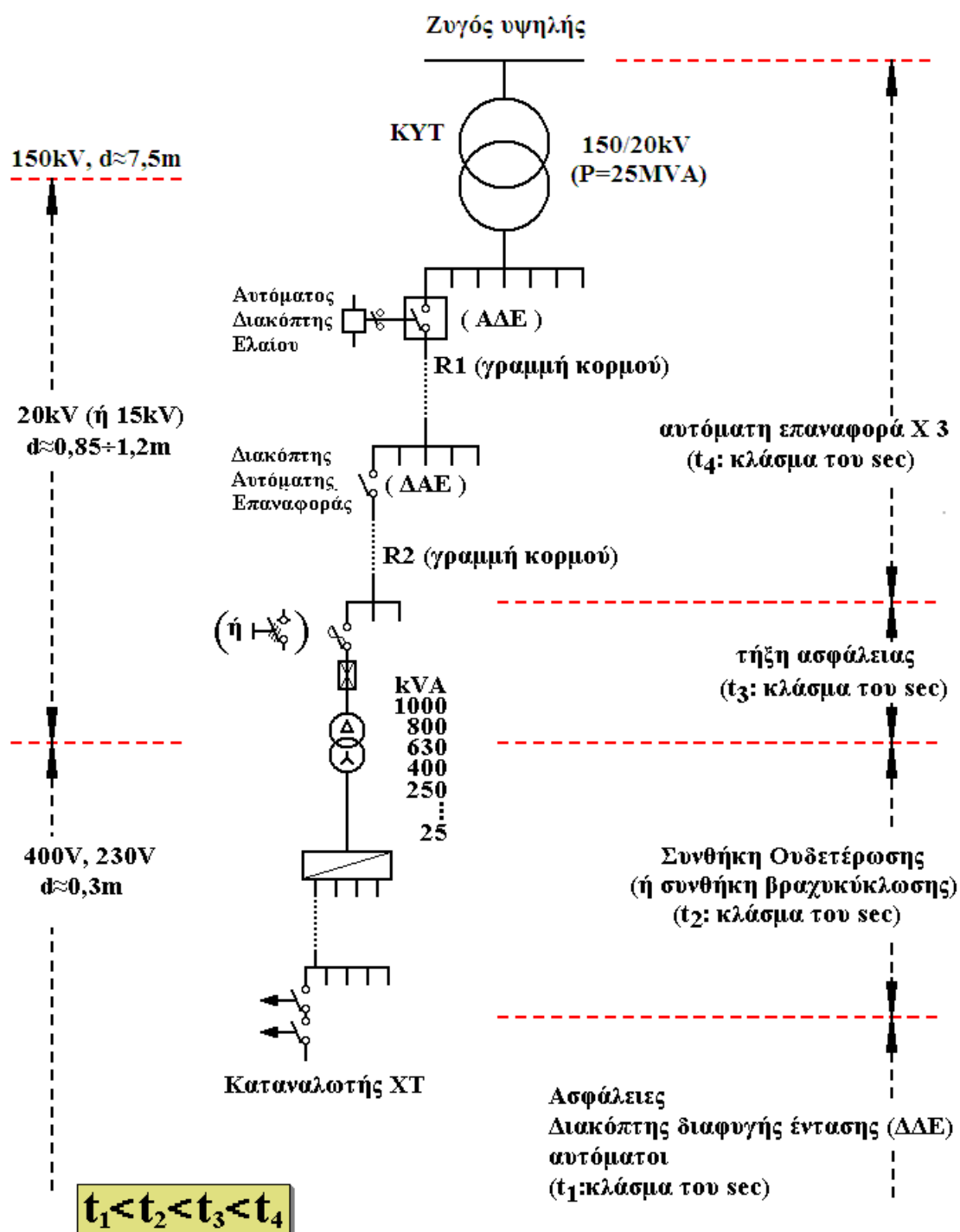
Οι κύριες απαιτήσεις από τα αγωγή υλικά είναι :

- υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- υψηλή μηχανική αντοχή
- μικρό ειδικό βάρος
- χαμηλή οξείδωση στον αέρα
- ευχέρεια συνδέσεως των αγωγών

Ως ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χαλκού ελαφράς έλξης, η αγωγιμότητα του χαλκού ισχυρής έλξης είναι 97% και του αλουμινίου 60% περίπου

1.3.1 Το εναέριο δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας

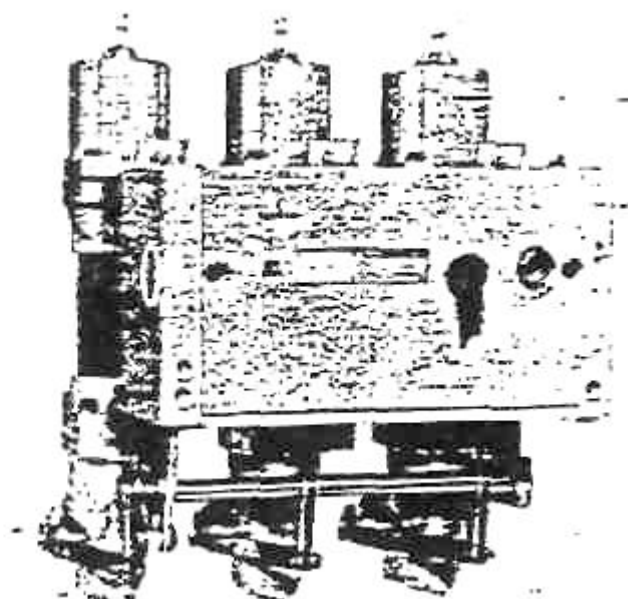
Τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης (MT) ενδείκνυται να έχουν δενδροειδή μορφή, αποτελούνται από την κύρια γραμμή (ή κορμό) που κατασκευάζεται από αγωγούς ACSR (αγωγοί αλουμινίου με χαλύβδινη ψυχή) μεγάλης διατομής, συνήθως 95mm² ισοδύναμου Cu και τις διακλαδώσεις που κατασκευάζονται από αγωγούς μικρότερης διατομής από ότι η κύρια γραμμή, συνήθως χρησιμοποιούνται αγωγοί ACSR με διατομή 35 ή 16 mm² (ισοδύναμη διατομή χαλκού).



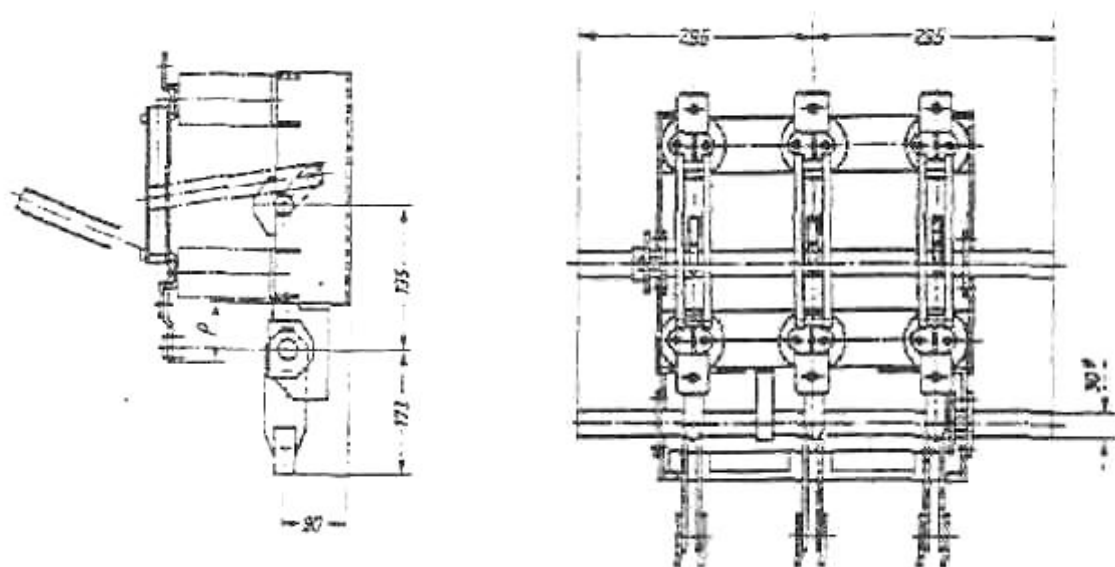
Σχήμα 1.3.1-1: Απλοποιημένο παράδειγμα ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Στο σχήμα 1.3.1-1, δίνεται απλοποιημένα ένα παράδειγμα δικτύου διανομής. Σύμφωνα με αυτό από τους ζυγούς μέσης τάσης του μετασχηματιστή 150/20kV στο κέντρο υψηλής τάσης (KYT) αναχωρούν, μέσω αυτόματων διακοπών ελαίου (ΑΔΕ), γραμμές μέσης τάσης, που ονομάζονται γραμμές κορμού. Στην πραγματικότητα σαν κορμό χαρακτηρίζεται η γραμμή που προστατεύεται με έναν αυτόματο ελαίου διακόπτη. Ο χαρακτηρισμός αυτός γίνεται για λειτουργικούς λόγους και δεν εξαρτάται τόσο από την διατομή των αγωγών. Κατά μήκος των γραμμών κορμού, συνήθως στην αρχή των μεγάλων κλάδων, εγκαθίστανται διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ). Οι περεταίρω διακλαδώσεις των γραμμών κορμού κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης διατομής και καταλήγουν σε υποσταθμούς (Υ/Σ) υποβιβασμού της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση.

Δεδομένου ότι τα δίκτυα διανομής λειτουργούν ακτινικά, η προστασία τους είναι δυνατή με απλές διατάξεις διαβαθμισμένες κατάλληλα. Κατά μήκος του δικτύου διανομής ΜΤ εγκαθίστανται μέσα ζεύξεως και μέσα προστασίας. Τα μέσα προστασίας χρησιμοποιούνται για την αυτόματη απομόνωση τμημάτων του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Λόγω του ότι τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι εκτεθειμένα, η συχνότητα εμφάνισης σφαλμάτων είναι αυξημένη. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ποσοστό που υπερβαίνει το 80% του συνόλου, τα σφάλματα είναι παροδικά.



Σχήμα 1.3.1-2: Αυτόματος διακόπτης πτωχού ελαίου (ΑΔΕ)



Σχήμα 1.3.1-3: Τριπολικός αποζεύκτης μέσης τάσης με γείωση

Οι αυτόματοι διακόπτες ελαίου και οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΑΔΕ και ΔΑΕ) λειτουργούν σε τρεις κύκλους. Όταν σε κάποια κύρια γραμμή συμβεί σφάλμα τότε ο διακόπτης αυτόματα διακόπτει την τροφοδοσία της γραμμής για κλάσματα του δευτερολέπτου και εν συνεχεία την επαναφέρει. Αν συνεχίσει να υπάρχει το σφάλμα, τότε γίνεται εκ νέου διακοπή και επαναφορά της τροφοδοσίας της γραμμής. Μόνο όταν κατά την τρίτη διακοπή συνεχίσει να υπάρχει το σφάλμα τότε διακόπτεται οριστικά η τροφοδοσία της γραμμής. Έτσι με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η οριστική διακοπή ηλεκτροδότησης μιας περιοχής αλλά και η άσκοπη μετακίνηση των συνεργείων, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό των σφαλμάτων, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, είναι παροδικά.

Η διακοπή της ηλεκτροδότησης σε κάθε κύκλο λειτουργίας των ΑΔΕ και των ΔΑΕ συμβαίνει πάντοτε σε κλάσμα του δευτερολέπτου (σχεδόν ακαριαία διακοπή, π.χ.: 0,15sec, 0,35sec, κ.λ.π.), που στην πράξη σημαίνει πως δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για την εκδήλωση αξιόλογων θερμικών φαινομένων.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.3.1-1, οι κύριες γραμμές που διακλαδίζονται μέσω των ΔΑΕ καταλήγουν σε υποσταθμούς υποβιβασμού της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση. Οι υποσταθμοί μπορεί να είναι υπαίθριοι επί στύλου για μετασχηματιστές μέχρι 400 kVA όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.1-1 ή εσωτερικοί (κυρίως σε υπόγεια πολυκατοικιών) για μετασχηματιστές μεγαλύτερους από 400 kVA.

Τα σφάλματα του δικτύου διανομής οδηγούν στην μη κανονική λειτουργία του και οφείλονται κατά κύριο λόγο στην απώλεια μόνωσης, η οποία οδηγεί σε βραχυκύκλωμα. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε αγωγούς κατά το βραχυκύκλωμα

υπολογίζεται αναλυτικά κατά το πρότυπο IEC 60865-1 και -2. Στην πράξη όμως, για το υπολογισμό της θερμοκρασίας των αγωγών, που καταπονούνται από τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τα δίκτυα διανομής μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες ζώνες προστασίας:

- Των γραμμών μέσης τάσης
- Των υποσταθμών μέσης τάσης (Δικτύου διανομής ή Ιδιωτικών)
- Των γραμμών χαμηλής τάσης
- Των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των καταναλωτών.

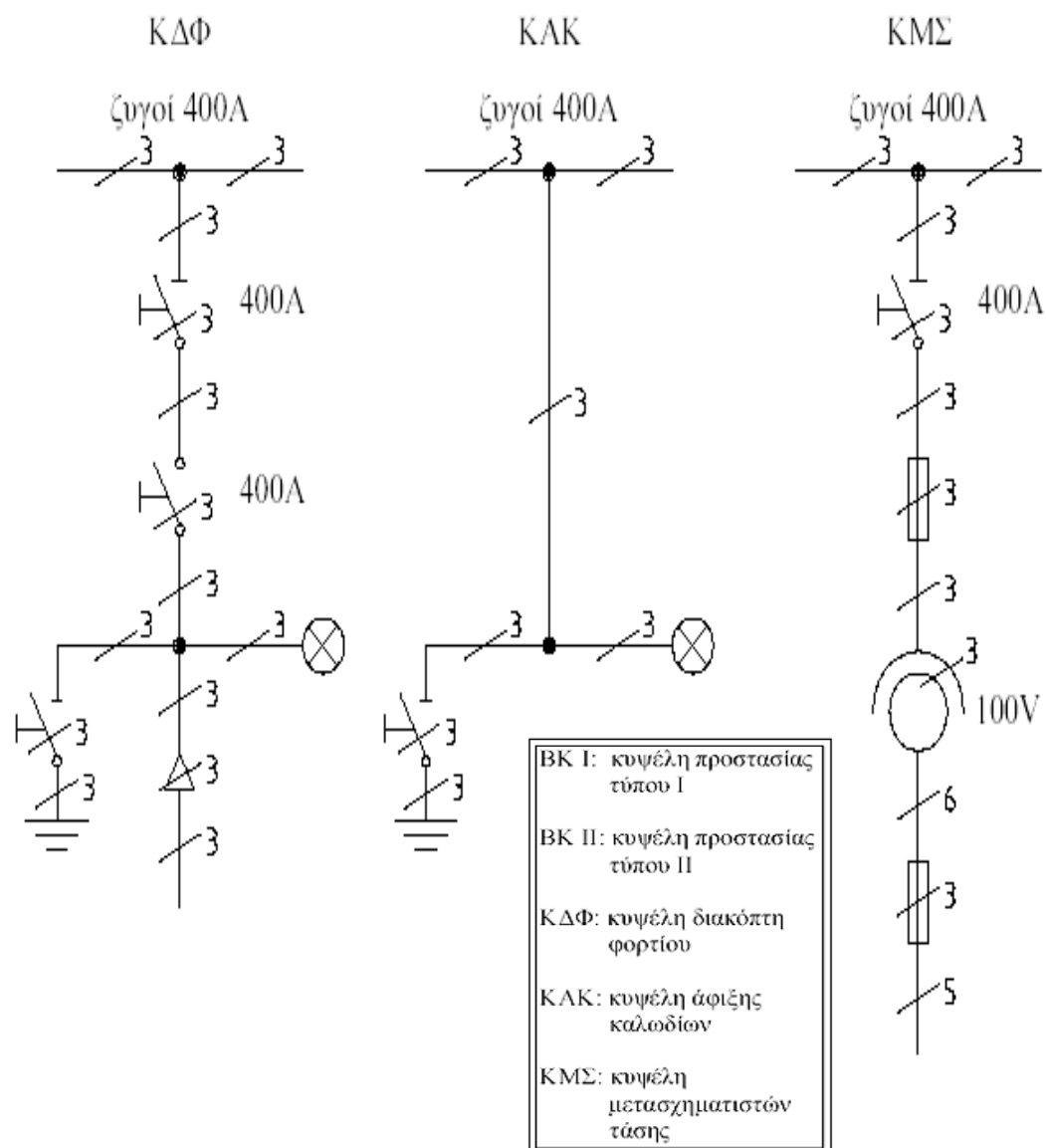
Στην αρχή κάθε ζώνης υπάρχει ένα μέσο προστασίας ώστε να απομονώνει το προστατευόμενο τμήμα του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Μέσω του χρόνου διακοπής επιτυγχάνεται η ιεράρχηση των προστασιών του δικτύου.

1.3.2. Η συντήρηση του δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας

Οι εναέρια γραμμές χαμηλής και μέσης τάσης μελετώνται και κατασκευάζονται με αυστηρούς κανονισμούς τόσο στην Ελλάδα όσο και στις άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ώστε να μην αναιρούνται η μηχανική, η ηλεκτρική και η διηλεκτρική αντοχή από ετήσια σε ετήσια επιθεώρηση.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της σχετικής νομοθεσίας που παρουσιάζεται στον Κανονισμό Εγκατάστασης Συντήρησης Υπαιθρίων Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΚΕΣΥΓΗΕ, άρθρο 281), διενεργείται σε ετήσια βάση κλάδεμα των δέντρων που έρχονται σε επαφή ή γειτνιάζουν με εναέρια γραμμές χαμηλής τάσης και μέσης τάσης. Με το κλάδεμα αποφεύγονται επαφές των κλάδων των δέντρων με τις εναέρια εγκαταστάσεις, που θα είχαν ως αποτέλεσμα βλάβες στο δίκτυο και όχληση των καταναλωτών. Σύμφωνα με τον ΚΕΣΥΓΗΕ που διέπει τη λειτουργία των εναέριων δικτύων, οι αποστάσεις ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται αφορούν αποστάσεις από τους ηλεκτροφόρους αγωγούς και όχι από τους στύλους πάνω στους οποίους είναι εγκατεστημένη η γραμμή μέσης τάσης.

Η ετήσια επιθεώρηση που διενεργείται (κατά τις οδηγίες Νο 9 και Νο 22 της ΔΕΗ) είναι ένας οπτικός έλεγχος με κιάλια που αφορά την κατάσταση των αγωγών, των μονωτήρων (καθαλατώσεις, σκόνη, κτλ.) και των λοιπών στοιχείων του δικτύου (διακόπτες, συσφίξεις επαφών, κτλ.). Εκτός από τον οπτικό έλεγχο γίνονται μετρήσεις με τη θερμοκάμερα σε σημεία σύνδεσης των αγωγών και γενικά σε στατικές επαφές, από όπου διαπιστώνεται αν υπάρχει πρόβλημα μεγάλων αντιστάσεων διάβασης. Όταν η θερμοκρασία είναι αυξημένη, τότε ο λυόμενος ηλεκτρικός σύνδεσμος έχει μεγάλη αντίσταση και ενδέχεται να προκαλέσει σφάλματα λειτουργίας λόγω κακών επαφών ή λιώσιμο των επαφών.



Σχήμα 1.4-1β: Πίνακες (κυψέλες) ΚΔΦ, ΚΑΚ και ΚΜΣ της Δ.Ε.Η. στη Μέση Τάση

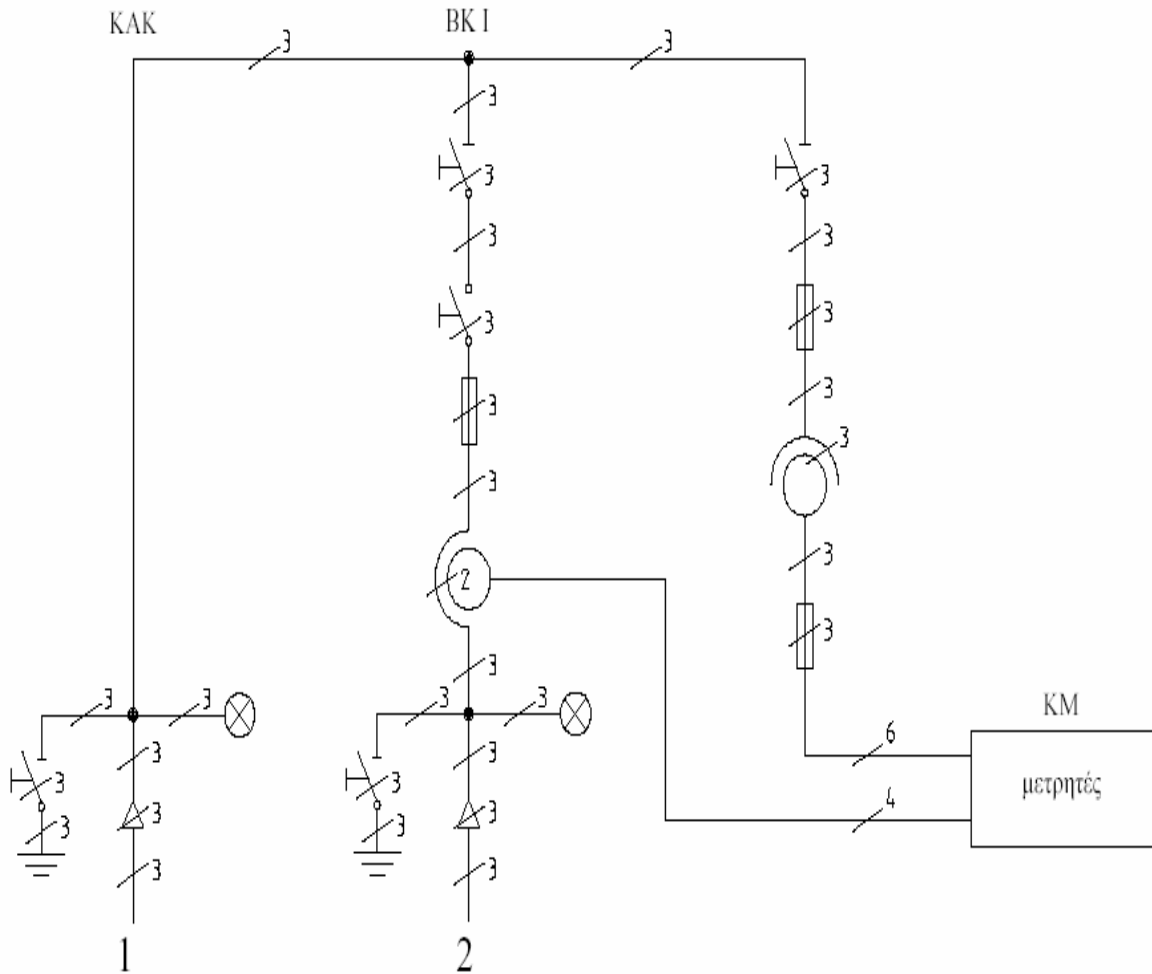
Οι πίνακες των σχημάτων 1.4-1α και 1.4.1β και ο πίνακας για τη μέτρηση και καταγραφή της ισχύος συναρμολογούνται (σε χώρο που διατίθεται από τον καταναλωτή) σε ένα συγκρότημα πινάκων, το είδος του οποίου εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου της Δ.Ε.Η. Από το συγκρότημα αυτό τροφοδοτείται ο καταναλωτής, μέσω ενός πίνακα ΒΚ Ι ή ΒΚ ΙΙ. Στον πίνακα 1.4-1 δίνονται τα τέσσερα τυποποιημένα είδη συγκροτημάτων μέσης τάσης.

α/α	Σύστημα τροφοδοσίας	Περιλαμβάνει
1	Βροχοειδές σύστημα Ι	2 ΚΔΦ + 1 ΒΚ Ι + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
2	Βροχοειδές σύστημα ΙΙ	2 ΚΔΦ + 1 ΒΚ ΙΙ + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
3	Ακτινικό σύστημα Ι	1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ Ι + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
4	Ακτινικό σύστημα ΙΙ	1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ ΙΙ + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ

Πίνακας 1.4-1 : Συστήματα τροφοδοσίας, μέσω συγκροτημάτων πινάκων, από το δίκτυο μέσης τάσης

Στο σχήμα 1.4-2 δίνεται ένα παράδειγμα συστήματος τροφοδοσίας. Πρόκειται για το μονογραμμικό σχέδιο του ακτινικού συστήματος Ι, από τον πίνακα ΒΚ Ι του οποίου τροφοδοτείται ο καταναλωτής μέσης τάσης.

Η παροχή χαμηλής τάσης (400 V, 230 V) σε πελάτες χαμηλής τάσης γίνεται μέσω γραμμών χαμηλής τάσης (από γυμνούς αγωγούς ή συνεστραμμένα καλώδια) που ξεκινούν από τον πίνακα χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο) του υποσταθμού. Τα συνεστραμμένα καλώδια αποτελούν την σύγχρονη εξέλιξη των γραμμών διανομής χαμηλής. Με σκοπό την ενημέρωση για τις παροχές χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η. εξετάζονται παρακάτω ως παράδειγμα δύο γενικά μηχανολογικά σχέδια ενός πίνακα χαμηλής τάσης του δικτύου της (σχήματα 1.4-3 & 1.4-4), που αφορούν ένα πίνακα 6 διευθύνσεων (ή 5 αναχωρήσεων). ο οποίος αποτελείται από μία τριφασική είσοδος μέσω μονοπολικών αποζευκτών και πέντε τριφασικές αναχωρήσεις. Ο παραπάνω πίνακας είναι εξωτερικού χώρου. Από τις αναχωρήσεις του ξεκινούν οι γραμμές ρευματοδότησης προς τις κατοικίες και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (τριφασικές παροχές 380V/50Hz και μονοφασικές παροχές 220V/50Hz). Σημειώνεται ότι στον ουδέτερο δεν τοποθετείται ασφάλεια, αλλά η ασφαλειοθήκη γεφυρώνεται. Η ύπαρξη της ασφαλειοθήκης στον ουδέτερο είναι Αγγλική τεχνική που στην Ευρωπαϊκή Ένωση εφαρμόζεται μόνο στην Αγγλία και στην Κύπρο.



Σχήμα 1.4-2: Ακτινικό σύστημα τροφοδοσίας
1: από το δίκτυο. 2: προς τον καταναλωτή

❖ Το μηχανολογικό σχέδιο ηλεκτροτεχνικών εγκαταστάσεων

Ένα απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα πέντε αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων), που διευκολύνει στη κατανόηση της λειτουργίας του, δίνεται στο σχήμα 1.4-5. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό (αλλά και από το σχήμα 1.4-3) η τροφοδοσία του πίνακα από τον μετασχηματιστή μέσης τάσης γίνεται μέσω τεσσάρων μονοπολικών αποζευκτών (ένας σε κάθε φάση και ένας στον ουδέτερο). Οι τριφασικές αναχωρήσεις του πίνακα είναι κατακόρυφες διακλαδώσεις πέντε οριζόντιων ζυγών (R, S T, 0 και MP).

Η τροφοδοσία του πίνακα και μία αναχώρηση φαίνονται αναλυτικά στις τομές Α-Α και Β-Β αντίστοιχα.

Στην τομή Α-Α παρατηρεί κανείς κυρίως : τον μονοπολικό αποζεύκτη της φάσης R και τον ζυγό (μπάρα) εισόδου προς αυτόν, τους ζυγούς (μπάρες) και το ακροκιβώτιο της πρώτης αναχώρησης, δύο μονωτικά διαχωριστικά (1 και 2) και έναν

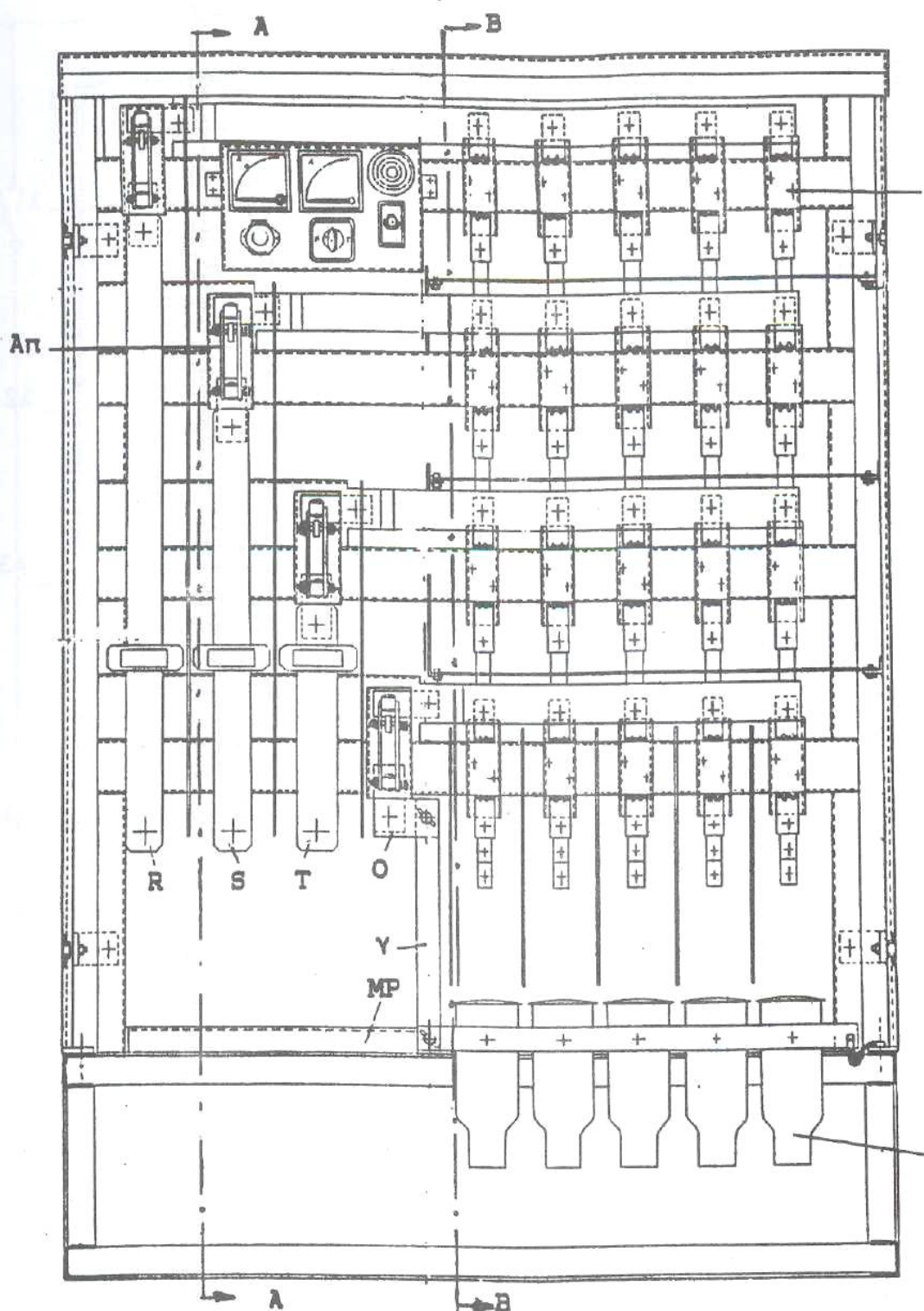
πίνακα φωτισμού-μετρήσεων. Τα ονομαστικά στοιχεία του αποζεύκτη είναι 800A/500V.

Στην τομή B-B φαίνονται κυρίως τα στοιχεία της πρώτης αναχώρησης: οι τέσσερις ασφαλειοθήκες, οι ζυγοί των τριών φάσεων και του ουδέτερου, το ακροκιβώτιο και το μονωτικό διαχωριστικό (2). Οι ασφάλειες που τοποθετούνται στους πίνακες αυτούς είναι μαχαιρωτού τύπου και το ονομαστικό ρεύμα τους εξαρτάται από το μέγεθος του μετασχηματιστή, το είδος του αγωγού και το μήκος της γραμμής.

Οι πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. διακρίνονται γενικά σε δύο κατηγορίες:

- 1) πίνακες με τριφασική είσοδο μέσω μονοπολικών αποζευκτών :
 - πίνακες 5 αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων)
 - πίνακες 8 αναχωρήσεων (ή 9 διευθύνσεων) , που είναι εσωτερικού χώρου
- 2) τα ασφαλειοκιβώτια (τεσσάρων ή δύο ή μίας αναχώρησης), που είναι εξωτερικού χώρου και δεν έχουν στην είσοδο αποζεύκτες

Να σημειωθεί ότι για τα παρακάτω σχήματα 1.4-3 και 1.4-4 ότι στην Ελλάδα δεν τοποθετείται ασφάλεια στον ουδέτερο, αλλά γεφυρώνεται η ασφαλειοθήκη.



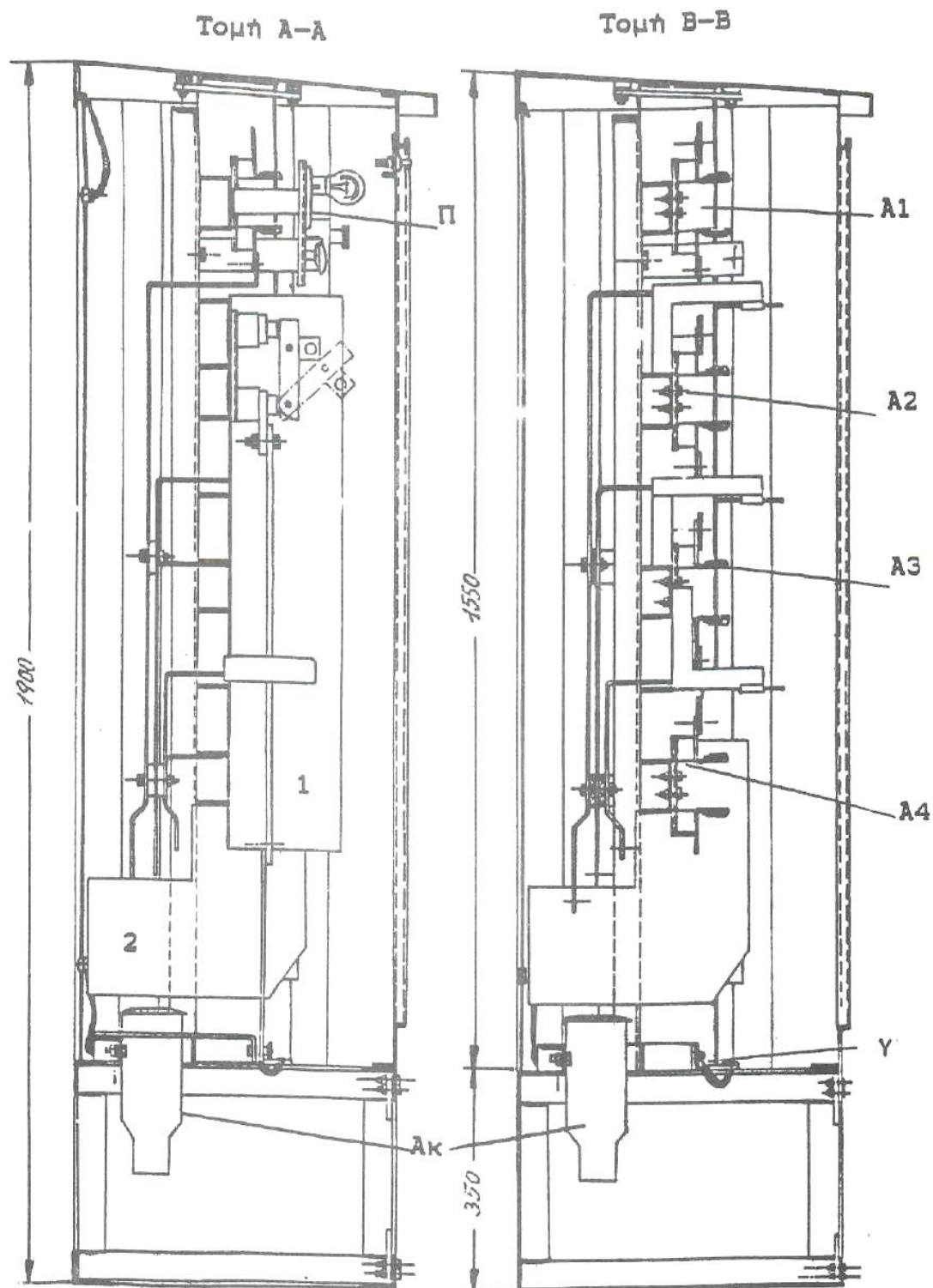
Σχήμα 1.4-3: Πίνακας 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η. (6 διευθύνσεις: μία είσοδος και πέντε αναχωρήσεις).

R, S, T, 0, MP: ζυγοί φάσεων (R, S & T), ουδετέρου (0) και γείωσης MP.

Ασ: ασφαλειοθήκη 400Α/500V

Απ: μονοπολικός αποζεύκτης 800Α/500V

Ακ: ακροκιβώτιο , γέφυρα μεταξύ 0 και MP



Σχήμα 1.4-4: Τομή Α-Α και Τομή Β-Β του πίνακα 6 διευθύνσεων κατά το προηγούμενο σχήμα.

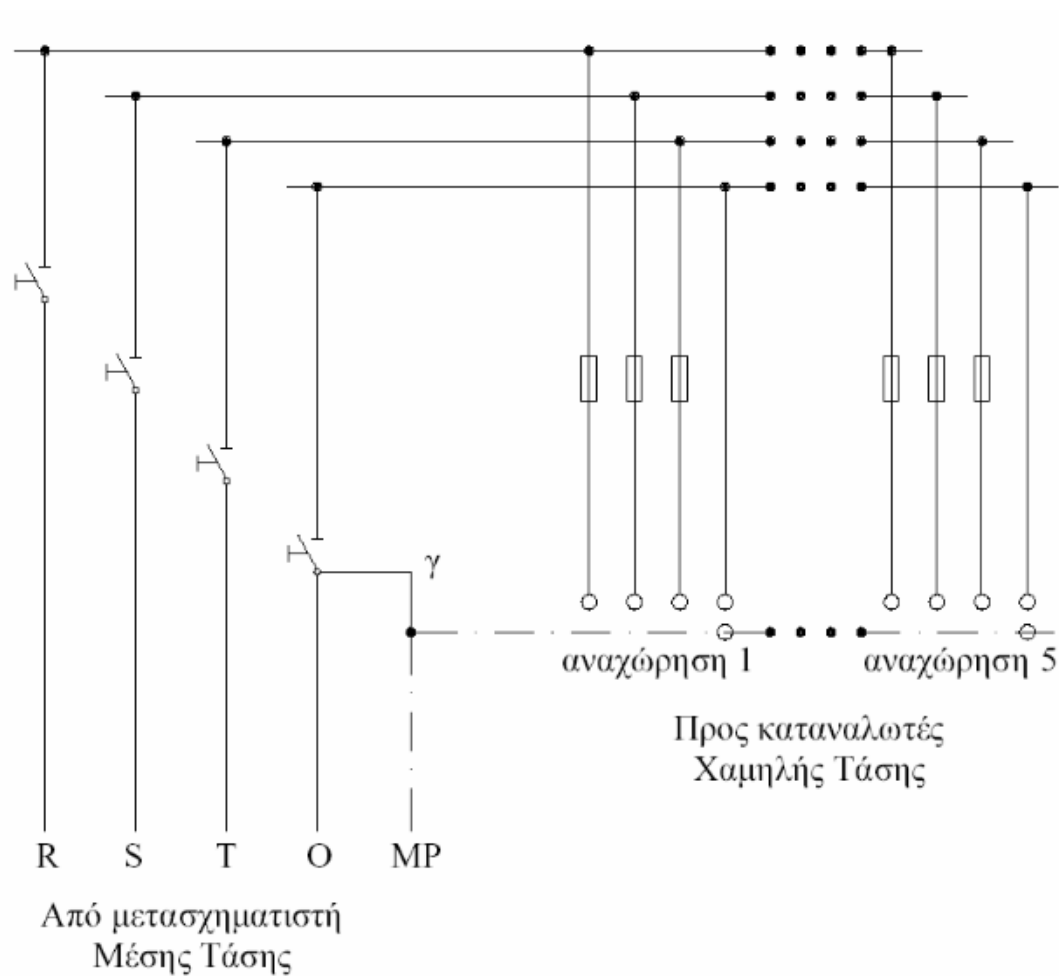
Α1, Α2, Α3 και Α4: ασφαλειοθήκες 400Α/500V

1 και 2: μονωτικά διαχωριστικά,

Ακ: μονοπολικός αποξεύκτης 800Α/500V,

Ακ: ακροκιβώτιο, γ: γέφυρα γείωσης,

Π: Πίνακας φωτισμού - μετρήσεων



Σχήμα 1.4-5: Απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα 6 διευθύνσεων κατά το σχήμα 1.4-4

Μονοπολικός αποζεύκτης: 800A/500V

Ασφάλειες: 400A/500V,

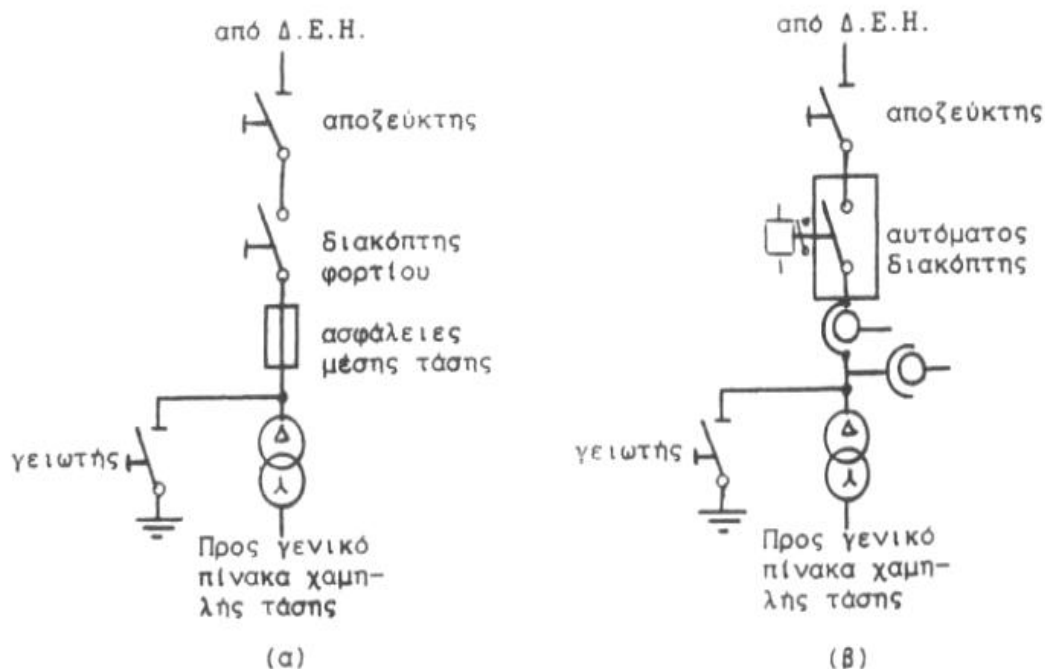
γ: γέφυρα μεταξύ 0 και MP

Η παροχή μέσης τάσης σε καταναλωτές αφορά απορροφημένες εντάσεις ρεύματος άνω των 200A ανά φάση, όπως συμβαίνει συνήθως σε βιομηχανίες, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, μεγάλα ξενοδοχεία, κτίρια ΑΕΙ, κλπ. Οι τύποι παροχής μέσης τάσης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. προς τους καταναλωτές μέσης τάσης δίνεται στον Πίνακα 1.4-2.

Τύποι παροχής Μέσης Τάσης			
Τύπου Α (τροφοδοσία από στύλο)		Τύπου Β (τροφοδοσία από συγκρότημα πινάκων)	
Τύπου Α1 (παροχή μέσω μονοπολικών ασφαλειαποζευκτών)	Τύπου Α2 (παροχή μέσω τριπολικού αποζεύκτη)	Τύπου Α3 (παροχή από πίνακα ΒΚ Ι)	Τύπου Α4 (παροχή από πίνακα ΒΚ ΙΙ)

Πίνακας 1.4-2: Τύποι παροχής μέσης τάσης της Δ.Ε.Η

Για τον εξοπλισμό μέσης τάσης των ιδιωτικών υποσταθμών, από παροχές του δικτύου με ονομαστική τάση διαφορετική από 20kV, είναι γνωστό ότι η Δ.Ε.Η. στοχεύει στη μετατροπή όλων των δικτύων μέσης τάσης στα 20kV. Για το λόγο αυτό ο εξοπλισμός μέσης τάσης του υποσταθμού θα πρέπει να είναι κατάλληλος και για ονομαστική τάση 20kV. Αυτό σημαίνει π.χ. για έναν υποσταθμό, που θα λειτουργήσει στα 15kV, ότι ο εξοπλισμός μέσης τάσης (μετασχηματιστής, πίνακες και γενικά οι αποστάσεις μόνωσης και προστασίας στον χώρο του υποσταθμού) θα πρέπει να είναι κατάλληλος στα 15kV και στα 20kV.



Σχήμα 1.4-6: Τύποι ιδιωτικών υποσταθμών
 (α) μέσω διακόπτη φορτίου και ασφαλειών τάσης
 (β) μέσω αυτόματου διακόπτη

Στο παραπάνω σχήμα 1.4-6 παρουσιάζονται οι δύο περιπτώσεις ιδιωτικών υποσταθμών μέσης τάσης, ανάλογα με τον τύπο παροχής, την ονομαστική τάση του δικτύου και την ισχύ του μετασχηματιστή

1.5 Βραχυκύκλωμα και Ζώνες προστασίας

Βραχυκύκλωμα ή απλώς σφάλμα ορίζεται, η επαφή οποιοδήποτε υπό τάση τμήματος του δικτύου προς γη, ή προς γειωμένα μεταλλικά μέρη των εγκαταστάσεων, όπως επίσης και η επαφή δύο διαφορετικών υπό τάση τμημάτων, με διαφορετικές τάσεις μεταξύ τους. Τα βραχυκυκλώματα εκδηλώνονται ως απότομες υπερεντάσεις πολλαπλάσιας τιμής από τα κανονικά ρεύματα λειτουργίας του δικτύου. Όπως είναι φανερό, η διέλευση των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως από τους αγωγούς του συστήματος, προκαλεί δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις με επιβλαβείς συνέπειες.

Τα βραχυκυκλώματα διακρίνονται σε μονοφασικά προς γη, διφασικά, διφασικά προς γη και τριφασικά. Η συνηθέστερη κατηγορία βραχυκυκλωμάτων είναι τα μονοφασικά. Η μόνωση στον αέρα είναι περισσότερη ευπρόσβλητη από την υγρή ή στερεά μόνωση, η οποία χρησιμοποιείται στις συσκευές ισχύος, ή στα καλώδια και ως εκ τούτου, οι εναέριες γραμμές υφίστανται τα περισσότερα βραχυκυκλώματα, ενώ τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, οι διακόπτες, κλπ μικρότερο μέρος. Τα κυριότερα αίτια των σφαλμάτων για τα εναέρια δίκτυα, είναι οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις, τα ξένα αντικείμενα, η ρύπανση των μονωτήρων (θαλάσσια ή βιομηχανική), η γήρανση του καλωδίου και η πέραν των προβλέψεων επιφόρτιση των γραμμών από άνεμο ή χιόνι κλπ.

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προστατεύεται από τις ανωμαλίες που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του και κυρίως από τα κάθε είδους βραχυκυκλώματα, από ένα ειδικό «σύστημα προστασίας». Το σύστημα προστασίας διεγείρεται αυτόματα κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος που προκαλεί άνοιγμα των πλησιέστερων προς αυτό διακοπών ισχύος, οι οποίοι απομονώνουν το στοιχείο που υπέστη βλάβη (γραμμή, μετασχηματιστής κλπ.) εξουδετερώνοντας το βραχυκύκλωμα με τη διακοπή της τροφοδοσίας του.

Προστασία έναντι των βραχυκυκλωμάτων έχουν όλες οι σημαντικές μονάδες του συστήματος, δηλαδή οι μονάδες παραγωγής, οι μετασχηματιστές, οι εναέριες και υπόγειες γραμμές και οι ζυγοί υψηλής τάσεως. Κυριότεροι τύποι προστασίας είναι η προστασία υπερεντάσεως, η προστασία αποστάσεως για τις γραμμές μεταφοράς και η διαφορική προστασία, για τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα καλώδια. Το σύστημα προστασίας περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους (relay), οι οποίοι ανιχνεύουν το σφάλμα και ενεργοποιούν εξ αποστάσεως τους διακόπτες ισχύος.

Είναι εύλογο να αναφέρουμε με βάση τα παραπάνω τις 7 περιοχές (ζώνες) ως προς την προστασία έναντι του βραχυκυκλώματος

1. Προστασία των γραμμών κορμού διανομής μέσης τάσης μέσω ΑΔΕ και ΔΑΕ.
2. Προστασία γραμμών διανομής μέσης τάσης (για λόγους διασύνδεσης ή απομόνωσης) μέσω μονοπολικών ασφαλισοζευκτών και τριπολικών αποζευκτών.
3. Προστασία υπαίθριων υποσταθμών μέσης τάσης μέσω μονοπολικών ασφαλισοζευκτών
4. Προστασία υποσταθμών εσωτερικού χώρου μέσω ασφαλειών μέσης τάσης ή μέσω αυτόματων διακοπών.
5. Προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των καταναλωτών μέσης τάσης (κυρίως βιομηχανίες, κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, κτίρια ΑΕΙ κλπ.) μέσω ασφαλειών μέσης τάσης ή μέσω αυτόματων διακοπών στους ιδιωτικούς τους πίνακες.
6. Προστασία των γραμμών διανομής χαμηλής τάσης μέσω των ασφαλειών στο ασφαλειοκιβώτιο των υποσταθμών μέσης τάσης.
7. Προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των καταναλωτών χαμηλής τάσης (κυρίως κατοικίες, γραφεία κλπ.) μέσω ΔΔΕ, ασφαλειών και αυτομάτων διακοπών.

Στην αρχή κάθε ζώνης υπάρχει ένα μέσο προστασίας ώστε να απομονώνει το προστατευόμενο τμήμα του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Με κατάλληλη ρύθμιση (π.χ. ο χρόνος διακοπής t) επιτυγχάνεται η ιεράρχηση των προστασιών του δικτύου.

Τα σφάλματα του δικτύου διανομής οδηγούν στην μη κανονική λειτουργία του και οφείλονται κατά κύριο λόγο στην απώλεια μόνωσης, η οποία οδηγεί σε βραχυκύκλωμα. Το βραχυκύκλωμα, λόγω των υπερεντάσεων που δημιουργεί, καταπονεί δυναμικά και θερμικά τα στοιχεία του δικτύου και γενικότερα τις ηλεκτροτεχνικές κατασκευές, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ακόμα και μόνιμες βλάβες του υλικού. Η δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας θεωρείται ότι είναι το τριφασικό βραχυκύκλωμα λόγω των μεγάλων ρευμάτων βραχυκυκλώσεως που δημιουργούνται.

Κεφάλαιο 2^ο

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση των συνεπειών που θα συμβούν λόγω εκδήλωσης σφάλματος εξαιτίας ροής ρεύματος μέσω γης από την αποκοπή και πτώση στο έδαφος ενός αγωγού ACSR-16mm² του δικτύου διανομής μέσης τάσης της Δ.Ε.Η. Οι υπολογισμοί θα γίνουν για διάφορες τιμές της αντίστασης διάβασης (R_s) του εδάφους και για τα πρώτα 100km από τον μετασχηματιστή υψηλής προς μέση τάση. Ουσιαστικά υπολογίζουμε τα ρεύματα που ρέουν μέσω της γης για τις διάφορες πιθανές τιμές των αντιστάσεων.

Επειδή το δίκτυο διανομής της Ελλάδας τόσο η τάση, όσο και οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται σε αυτό δεν έχουν μία μόνο τιμή, στους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι πρόκειται για μετασχηματιστές ονομαστικής ισχύος **15, 25, και 50 MVA** και ονομαστική τάση του δικτύου Μέσης Τάσης **15kV και 20kV**. Υπολογίζεται το ρεύμα ροής μέσω της αντίστασης R_s του εδάφους 1, 5, 10, 20, 30, 100, 200, 500, 1000, 2000 και 3000Ω.

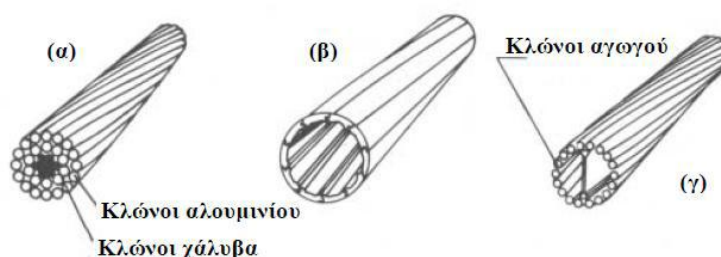
Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών και τα διαγράμματα προκύπτουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα, όπως για παράδειγμα ότι στην περίπτωση ρεύματος μέσω γης, ενδέχεται να μην λειτουργήσουν οι προστασίες της γραμμής, πρόβλημα για το οποίο αναφέρονται κάποιες λύσεις (πχ. PLC)

Κεφάλαιο 3^ο

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΤΟΥ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

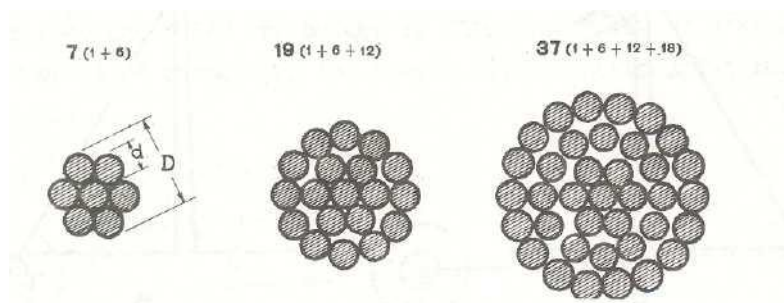
3.1. Γενικά περί αγωγών δικτύου διανομής ΜΤ

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι χωρίς μόνωση και κατασκευάζονται από χαλκό, αλουμίνιο ή αλουμίνιο-χάλυβα (ACSR). Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί από άλλα υλικά και κράμματα π.χ. από γαλβανισμένο χάλυβα, φωσφορούχο ορείχαλκο κ.λ.π..



Σχήμα 3.1-1: Αγωγοί γραμμών μεταφοράς. (α) τυπικός αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα (ACSR), (β) κοίλος αγωγός χαλκού, (γ) κοίλος αγωγός χαλκού με διαμήκη αγωγήμη δοκό.

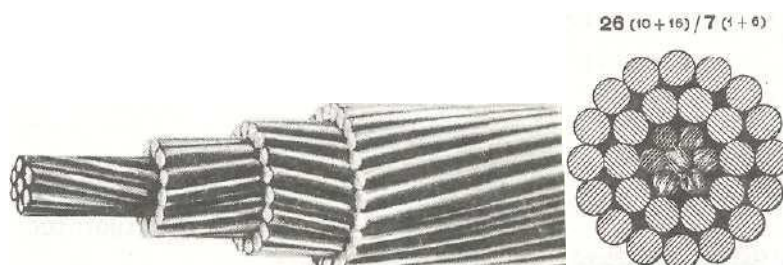
Οι αγωγοί κατασκευάζονται μονόκλωνοι ή πολύκλωνοι.. Στα εναέρια δίκτυα σπάνια χρησιμοποιούνται μονόκλωνοι αγωγοί, γιατί έχουν πολύ μικρότερη μηχανική αντοχή από τους πολύκλωνους. Επίσης οι μονόκλωνοι είναι δύσκαμπτοι. Η διατομή των μονόκλωνων αγωγών είναι μέχρι 16mm^2 . Οι πολύκλωνοι αγωγοί έχουν τη μορφή του σχήματος 3.1-2



Σχήμα 3.1-2: Γυμνός πολύκλωνος αγωγός αποτελούμενος από 7, 19 και 37 κλώνους.

Οι αγωγοί χαλκού και αλουμινίου, αποτελούνται από κλώνους της ίδιας διατομής. Γύρω από ένα κεντρικό αγωγό περιελίσσονται οι υπόλοιποι σε στρώσεις και οι αγωγοί παίρνουν τη μορφή των συρματόσχοινων. Οι αριθμοί των κλώνων είναι 7,19,37,61 κλπ. Ο χαλκός έχει μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα και καλή μηχανική αντοχή ενώ παράλληλα δεν διαβρώνεται εύκολα και γι' αυτό χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε δίκτυα που είναι κοντά στη θάλασσα. Το αλουμίνιο από την άλλη είναι τρεις φορές ελαφρύτερο από τον χαλκό και είναι πιο φθηνό. Όμως έχει το 50% της μηχανικής αντοχής και το 60% περίπου της αγωγιμότητας του χαλκού.

Τα μειονεκτήματα των αγωγών αλουμινίου αντιμετωπίζονται με επιτυχία με τους αγωγούς αλουμινίου-χάλυβα (ACSR). Αυτοί έχουν ψυχή από κλώνους με γαλβανισμένο χάλυβα. Ο χάλυβας αναλαμβάνει τη μηχανική αντοχή και το αλουμίνιο το μεγαλύτερο μέρος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ενώ παράλληλα είναι πιο φθηνό από τους αγωγούς χαλκού. Οι αγωγοί αλουμινίου-χάλυβα έχουν τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 3.1-3.



Σχήμα 3.1-3: Διατομή αγωγού αλουμινίου-χάλυβα. (ACSR).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΜΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ				
Διατομή Αγωγών mm ²	Βάρος kg / m	Διάμετρος mm	Κλώνοι mm	Φορτίο Θραύσεως kg
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΨΥΧΗ (ACSR)				
16	0,102	6,96	6Al / 1St / 2,32	950
35	0,224	10,32	6Al / 1St / 3,44	2000
50	0,321	12,33	6Al / 1St / 4,11	2800
95	0,609	17,24	26 / 2,72Al+7 / 2,12St	5650
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΨΥΧΗ (ACSR-R)				
16	0,372	10,32	3Al / 4St / 3,44	4635
ΑΓΩΓΟΙ ΕΚ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (AAAC)				
35	0,098	7,50	7 / 2,50	980
70	0,189	10,50	19 / 2,10	1880
95	0,269	12,50	19 / 2,50	2670
185	0,525	17,50	37 / 2,50	5170
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (Al)				
16	0,074	6,63	7 / 2,21	470
35	0,158	9,66	7 / 3,22	940
50	0,229	11,75	19 / 2,35	1442
70	0,320	13,90	19 / 2,78	2018
ΑΓΩΓΟΙ ΧΑΛΚΟΥ (Cu)				
16	0,144	5,13	7 / 1,71	739
35	0,315	7,59	7 / 2,53	1566
50	0,453	9,20	19 / 1,83	2299
70	0,634	10,70	19 / 2,17	3162

Πίνακας 3.1-1: Χαρακτηριστικά γυμνών αγωγών εναέριου δικτύου

Σημείωση: Οι διατομές αγωγών ACSR, ACSR-R και Al είναι ισοδύναμοι χαλκού. Οι διατομές των αγωγών Χαλκού και AAAC είναι πραγματικές.

Η ανοχή του βάρους των αγωγών είναι, +2%.

Οι αγωγοί ACSR έχουν περίπου 50% μεγαλύτερη αντοχή από τους αγωγούς χαλκού και είναι 20% ελαφρύτεροι για ισοδύναμη διατομή με το χαλκό. Στον πίνακα 3.1-1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά αγωγών που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα. Επιπλέον οι κλώνοι αλουμινίου των αγωγών αλουμινίου και των αγωγών τύπου ACSR σχηματίζουν υπό την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα οξειδίο αλουμινίου, που του προστατεύει από την διάβρωση. Είναι γνωστό ότι οι καθαλατώσεις προκαλούν αλλοιώσεις στους κλώνους αλουμινίου γιατί σχηματίζουν

χλωρίδια του αλουμινίου τα οποία εξατμίζονται, ενώ το οξείδιο του υ αλουμινίου δεν καταστρέφεται αλλά παραμερίζεται στις θέσεις εξατμίσεως. Πρόβλημα διάβρωσης του αλουμινίου υπάρχει ακόμα και υπό την επίδραση της ηλεκτρικής τάσης που ονομάζεται ηλεκτρική διάβρωση και η οποία γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει η θερμοκρασία, καθώς έτσι εννοούνται οι κινήσεις των ηλεκτρικών φορέων. Μια φυσικής ερμηνεία της ηλεκτρικής διάβρωσης μπορεί να αποδοθεί στις ξένες επικαθήσεις επί των αγωγών, οι οποίες προκαλούν κατανομή του πεδίου στην επιφάνεια, με επακόλουθο την ενεργοποίηση μηχανισμών παραγωγής ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων.

3.2. Η ωμική και επαγωγική αντίσταση της εναέριας γραμμής ΜΤ

Οι αγωγοί των εναέριων γραμμών παρουσιάζουν ωμική αντίσταση που δεν είναι σταθερή, αλλά επηρεάζεται από τρεις παράγοντες:

- ✓ την θερμοκρασία,
- ✓ την συχνότητα και
- ✓ την πυκνότητα ρεύματος.

Γνωρίζουμε ότι αν είναι γνωστή η ωμική αντίσταση ενός αγωγού R_{T_1} σε θερμοκρασία T_1 και ζητείται να υπολογιστεί σε θερμοκρασία T_2 τότε ισχύει η σχέση:

$$R_{T_2} = R_{T_1} \left[1 + a(T_2 - T_1) \right] \quad (3.2-1)$$

Όπου a : ο συντελεστής θερμοκρασίας του αγωγού, ο οποίος μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία που όμως για τις θερμοκρασίες -20°C έως 80°C η μεταβολή του είναι ελάχιστη.

Για το αλουμίνιο : $a \approx 0,0037 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα παρατηρείται αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών λόγω του επιδερμικού φαινομένου το οποίο αναλύεται στην επόμενη παράγραφο. Για την συχνότητα των 50 Hz όμως η αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών είναι πολύ μικρή (λιγότερη του 1%) για τις συνηθισμένες διατομές. Επίσης για τον υπολογισμό της αντίστασης των αγωγών δεν λαμβάνεται υπόψη το πραγματικό μήκος που εξαρτάται από το βέλος των γραμμών, αλλά το μήκος ανοίγματος μεταξύ των σημείων στήριξης τους.

Καθώς οι αγωγοί των εναέριων γραμμών διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργείται γύρω τους ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο αντιδρά στην αιτία που το προκάλεσε δηλαδή την κίνηση των ηλεκτρονίων. Σε αυτήν ακριβώς την αδράνεια στην κίνηση των ηλεκτρονίων που προκαλείται από την αντίδραση του μαγνητικού

πεδίου, οφείλεται η επαγωγική αντίσταση των γραμμών, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L \quad (3.2-2)$$

Όπου X_L η αντίδραση του μαγνητικού πεδίου σε Ω ,

f η κυκλική συχνότητα (Hz) και

L ο συντελεστής αυτεπαγωγής (H)

Τέλος η χωρητικότητα των εναέριων γραμμών MT (όπως φαίνεται και στο πίνακα 3.2-2) είναι της τάξεως των 10nF/km. Όμως, λόγω του σχετικά μικρού μήκους των γραμμών αυτών δεν λαμβάνεται υπ' όψη η χωρητικότητα αυτή. Το ισοδύναμο κύκλωμα της εναέριας γραμμής MT είναι η σύνθετη αντίσταση: $Z=R+j\omega L$.

Στον πίνακα 3.2-1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών μέσης τάσης έτσι όπως δίνονται από την Δ.Ε.Η.

Οι τιμές των αντιστάσεων για τον αγωγό ACSR 16mm² που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι αυτές του πίνακα 3.2-1, δηλαδή

$$R_{\gamma\rho/\text{km}} = 1,268 \Omega/\text{km}$$

$$X_{\gamma\rho/\text{km}} = 0,422 \Omega/\text{km}.$$

ΑΓΩΓΟΙ	$Z_1=Z_2=R+jX$		$Y_1=Y_2=j\omega C$	$Z_o=R_o+jX_o$		$Y_o=j\omega C_o$	$Z_e = (Z_1+Z_2+Z_o)/3$	I _{max} (A)
	R (Ω/km)	X (Ω/km)	C (nF/km)	R _o (Ω/km)	X _o (Ω/km)	C _o (nF/km)	Z _e (Ω/km)	
16 ACSR	1,268	0,422	9,248	1,416	1,620	4,388	1,317+j0,821	136
35 ACSR	0,576	0,397	9,896	0,724	1,595	4,518	0,625+j0,796	224
50 ACSR	0,404	0,386	10,220	0,552	1,584	4,587	0,453+j0,785	295
95 ACSR	0,215	0,334	10,890	0,363	1,556	4,712	0,264+j0,741	448

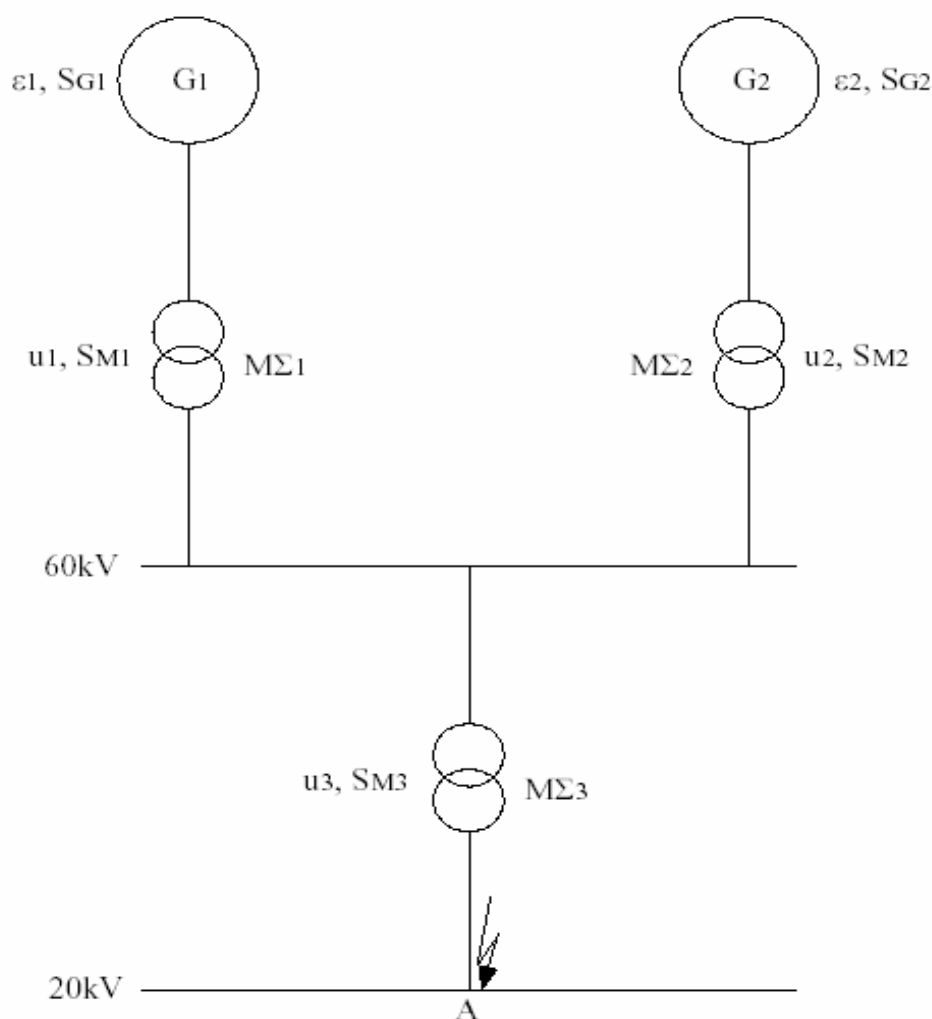
Πίνακας 3.2-1: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά γραμμών MT τύπου ACSR

Κεφάλαιο 4^ο

4. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

4.1 Βασικοί Ορισμοί

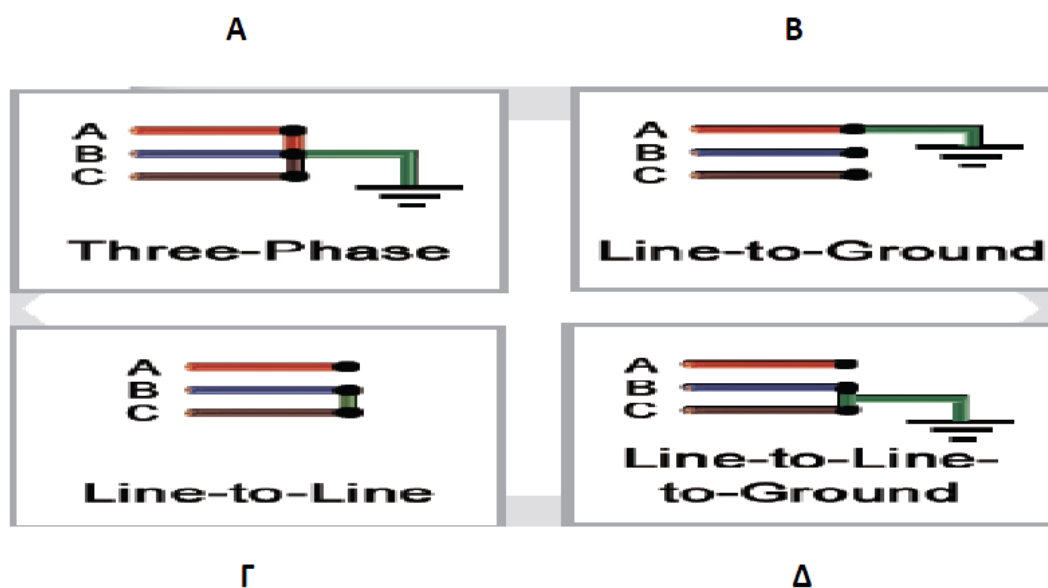
Για την θερμική καταπόνηση των ηλεκτρικών αγωγών μελετάται η δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας, η οποία θεωρείται ότι είναι το βραχυκύκλωμα. Το βραχυκύκλωμα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προκαλεί στους αγωγούς, στις επαφές (λυόμενες ή μόνιμες) και στον εξοπλισμό γενικά μια επιπλέον θερμική καταπόνηση. Αν υποθεθεί ότι στο σημείο A της εγκατάστασης του σχήματος 4.1-1 εκδηλώνεται κάποιο βραχυκύκλωμα, τότε η συνολική ισχύς του δικτύου θα οδεύσει προς το σημείο αυτό. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι η τιμή του ρεύματος στο σημείο A. Η τιμή αυτή εξαρτάται από την αντίσταση του δικτύου μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης.



Σχήμα 4.1-1: Παράδειγμα βραχυκυκλώματος

- ♦ ε_1 και ε_2 : οι κρουστικές τάσεις διασποράς των γεννητριών G_1 και G_2
- ♦ S_{G1} & S_{G2} ονομαστική ισχύς των γεννητριών G_1 & G_2 αντίστοιχα,
- ♦ u_1 , u_2 και u_3 : σχετική τάση βραχυκύκλωσης των μετασχηματιστών $M\Sigma_1$, $M\Sigma_2$ και $M\Sigma_3$ αντίστοιχα.
- ♦ SM_1 , SM_2 και SM_3 : ονομαστική ισχύς των μετασχηματιστών $M\Sigma_1$, $M\Sigma_2$ και $M\Sigma_3$ αντίστοιχα.

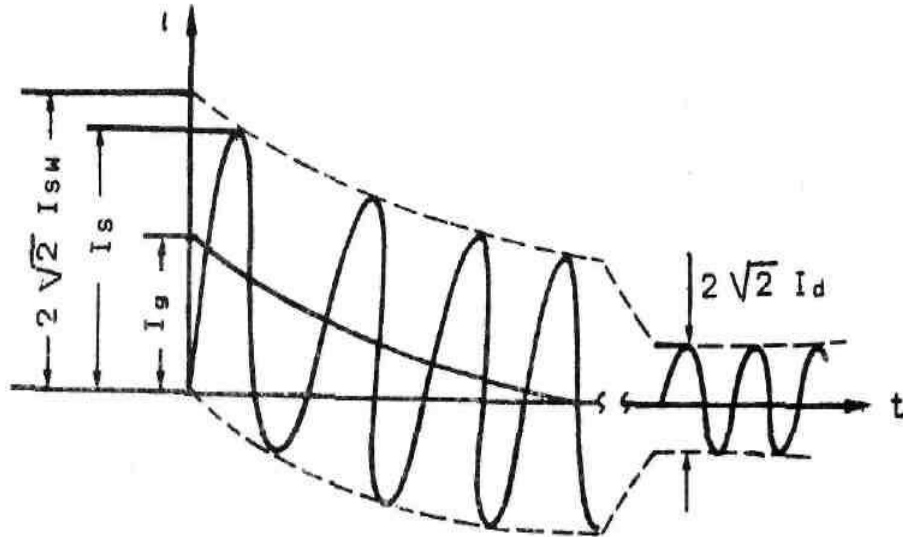
Το σχήμα 4.1-2 δείχνει τα σπουδαιότερα βραχυκυκλώματα. Το τριφασικό και το διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης ή με επαφή γης προκαλεί μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώσεως. Επειδή το τριφασικό βραχυκύκλωμα είναι ένα συμμετρικό σφάλμα, τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως δεν επηρεάζονται από την ενδεχόμενη ύπαρξη επαφής προς γη.



Σχήμα 4.1-2: Είδη βραχυκυκλωμάτων

- A.** Τριφασικό Βραχυκύκλωμα με επαφή γης
- B.** Μονοφασικό Βραχυκύκλωμα
- Γ.** Διφασικό Βραχυκύκλωμα
- Δ.** Διφασικό βραχυκύκλωμα με επαφή γης

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1-3 το ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται αρχικά κατά την υπομεταβατική και μεταβατική περίοδο ως ασύμμετρο και κατόπιν κατά την περίοδο μόνιμης κατάστασης ως συμμετρικό. Το ασύμμετρο τμήμα περιλαμβάνει το εναλλασσόμενο ή αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sw} ή I_k'') και το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_g). Το συμμετρικό τμήμα αποτελείται από το διαρκές ή μόνιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_d ή I_k). Η μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης ονομάζεται κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_s).



Σχήμα 4.1-3: Μορφή του ρεύματος κατά το βραχυκύκλωμα

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί βασικών μεγεθών:

- Ρεύμα βραχυκυκλώσεως $i_k(t)$ είναι το ρεύμα που ρέει κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος στη θέση του σφάλματος.
- Εναλλασσόμενη συνιστώσα $i_{k,ac}(t)$ είναι η συνιστώσα του $i_k(t)$ με τη συχνότητα του δικτύου.
- Αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{sw} ή I_k'' ή υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως είναι η ενδεικνυμένη τιμή του $i_{k,ac}(t)$ κατά τη στιγμή εμφάνισης του βραχυκυκλώματος.
- Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_s είναι η μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως $i_k(t)$. Το ρεύμα $i_k(t)$ αποκτά τη μέγιστη τιμή του όταν και η συνεχής συνιστώσα αποκτά τη μέγιστη τιμή της (I_g).
- Ρεύμα διακοπής I_a ενός διακόπτη είναι η ενδεικνυμένη τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως κατά τη στιγμή της διακοπής του πρώτου πόλου του διακόπτη.
- Μόνιμο ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_d ή I_k είναι η ενδεικνυμένη τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως που παραμένει μετά την απόσβεση των μεταβατικών φαινομένων.

4.2 Υπολογισμός του ρεύματος προς γη στην περίπτωση αποκοπής των αγωγών και πτώσης τους στο έδαφος σε εναέρια δίκτυα διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV από τις αντιστάσεις

Στους υπολογισμούς αυτούς λαμβάνονται μόνο υπόψη οι αντιστάσεις από KYT μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης. Δεν λαμβάνονται δηλαδή υπόψη οι αντιστάσεις της γεννήτριας και του μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Αυτό έχει ως επακόλουθο οι υπολογιζόμενες τιμές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης να είναι

μεγαλύτερες από τις πραγματικές τιμές τους με ικανοποιητική όμως προσέγγιση προς αυτές.

❖ Υπολογισμός της ολικής σύνθετης αντίστασης

Η συνισταμένη της ωμικής και επαγωγικής αντίστασης όλων των στοιχείων της εγκατάστασης μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης είναι η ολική σύνθετη αντίσταση Z σε Ω :

$$Z = \sqrt{(R_{\gamma\rho} + R_{M\Sigma} + R_{\delta} + R_T + R_{\gamma\eta\varsigma})^2 + (X_{\gamma} + X_{M\Sigma})^2} \quad (4.2-1)$$

όπου

$R_{M\Sigma}$, η ωμική αντίσταση σε Ω του M/Σ,

$X_{M\Sigma}$, η επαγωγική αντίσταση σε Ω του M/Σ,

$R_{\gamma\rho}$, η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής μέχρι τη θέση βραχυκύκλωσης σε Ω/km

$X_{\gamma\rho}$, η ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής μέχρι τη θέση βραχυκύκλωσης σε Ω/km ,

R_{δ} , η αντίσταση διάβασης σε Ω

R_T , η αντίσταση τόξου σε Ω

$R_{\gamma\eta\varsigma}$, η αντίσταση γης σε Ω

Σημείωση: Για κοντινές αποστάσεις και γειωμένο κόμβο έχουμε $R_{\gamma\eta\varsigma} \ll R_{\delta}$ οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε την αντίσταση της γης αμελητέα.

Δηλαδή, $R_{\delta} \approx R_T$ (αν υπάρχει τόξο)

Επομένως έχουμε $R \approx R_{\delta} + R_T$

Για τις αντιστάσεις που προαναφέρθηκαν δίνονται οι ακόλουθες διευκρινήσεις :

Αντίσταση διάβασης R_{δ} : είναι η αντίσταση που δημιουργείται από την επαφή του αγωγού με το έδαφος (πέτρα, ξύλο, χόρτα κτλ ακριβώς στο σημείο επαφής) σαν να πρόκειται δηλαδή για την επαφή ενός διακόπτη.

Είδος εδάφους	R [Ω]
πετρώδες έδαφος	3000
Στεγνή άμμος ή στεγνό χαλίκι	1000
Υγρό χαλίκι	500
Υγρή άμμος	200
Χώμα αγρού (φυτική γη)	100
Βαλτώδες έδαφος	30

Πίνακας 4.2-1 : Αντίσταση εδάφους

Για κοντινές αποστάσεις και γειωμένο κόμβο ισχύει $R_{\gamma\eta\varsigma} \ll R_{\delta}$ οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε την αντίσταση της γης αμελητέα. Επίσης εάν υπάρχει τόξο είναι $R_{\delta} \approx R_T$.

Αντίσταση τόξου R_T : είναι η αντίσταση που δημιουργείται όταν ο αγωγός είναι πάρα πολύ κοντά στο έδαφος χωρίς να ακουμπάει.

Αντίσταση γης $R_{\gamma\eta\varsigma}$: έχει να κάνει με το είδος του εδάφους(φυτική γη, χώμα, πέτρα, κλπ)

❖ Οι αντιστάσεις του Μετασχηματιστή Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο υπολογισμός των αντιστάσεων του μετασχηματιστή (Μ/Σ) υψηλής προς μέση τάση γίνεται με εφαρμογή των παρακάτω τύπων:

- ✓ $u_r = 0,6\%$, η ωμική συνιστώσα της σχετικής τάσης βραχυκύκλωσης
- ✓ $u_k = 20\%$, η σχετική τάση βραχυκύκλωσης
- ✓ P_N MVA , η ονομαστική ισχύς του ΜΣ (15MVA ή 25MVA ή 50MVA)
- ✓ V_{N2} kV , η ονομαστική τάση του δευτερεύοντος του Μ/Σ (20kV ή 15kV)

$R_{M\Sigma,pu} = u_r = 0.006 pu$, η ωμική αντίσταση του ΜΣ σε ανά μονάδα τιμή (pu)

$Z_{M\Sigma,pu} = u_k = 0.2 pu$, η σύνθετη αντίσταση του ΜΣ σε ανά μονάδα τιμή (pu)

$X_{M\Sigma,pu} = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{0,2^2 - 0.006^2} = 0,2 pu$, η επαγωγική αντίδραση του ΜΣ σε ανά μονάδα τιμή (pu)

Η βασική τιμή της αντίστασης στο δευτερεύον του μετασχηματιστή ισούται με

$$Z_b = \frac{V_b^2}{P_n} = \frac{V_{N2}^2}{P_n} \quad \text{σε } \Omega, \quad (4.2-2)$$

Η ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή σε Ω ισούται με

$$R_{M\Sigma} = R_{M\Sigma,pu} \cdot Z_b = u_r \cdot \frac{V_{N2}^2}{P_n} \quad (4.2-3)$$

Η επαγωγική αντίδραση του μετασχηματιστή σε Ω ισούται με

$$X_{M\Sigma} = X_{M\Sigma,pu} \cdot Z_b = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} \cdot \frac{V_{N2}^2}{P_n} \quad (4.2-4)$$

Επομένως με βάση τις παραπάνω σχέσεις έχουμε τους εξής πίνακες για τους μετασχηματιστές 150kV/15kV και 150kV/20kV αντίστοιχα.

P_N MVA	U_{N2} kV	$R_{M\Sigma}$ $=u_r U_{N2}^2/P_N$ Ω	$X_{M\Sigma}$ $=\sqrt{u_k^2 - u_r^2} U_{N2}^2/P_N$ Ω
15	20	0,160	5,331
25	20	0,096	3,199
50	20	0,048	1,599

Πίνακας 4.2-1 : Τιμή της ωμικής αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή μέσης τάσης 150kV/20kV για διάφορες τιμές της ονομαστικής ισχύος P_N σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου U_{N2} για $u_r=0.6\%$ και $u_k=20\%$.

P_N MVA	U_{N2} kV	$R_{MΣ}$ $=u_r U_{N2}^2/P_N$ Ω	$X_{MΣ}$ $=\sqrt{u_k^2 - u_r^2} U_{N2}^2/P_N$ Ω
15	15	0,090	2,999
25	15	0,054	1,799
50	15	0,027	0,900

Πίνακας 4.2-2 : Τιμή της ωμικής αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή μέσης τάσης 150kV/15kV για διάφορες τιμές της ονομαστικής ισχύος P_N σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου U_{N2} για $u_r=0.6\%$ και $u_k=20\%$.

❖ Η Ωμική και η Επαγωγική αντίσταση της εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης

Το μήκος καλωδίου L από το μετασχηματιστή μέχρι το σημείο βραχυκυκλώματος παίρνει τις τιμές μεταξύ 0..100km.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2 έχουμε

- $R_{\gamma\rho/km} = 1,268 \text{ Ω/km}$ η ωμική αντίσταση/km του αγωγού ACSR-16
- $X_{\gamma\rho/km} = 0,422 \text{ Ω/km}$ η επαγωγική αντίδραση/km του αγωγού ACSR-16

Άρα, η συνολική ωμική αντίσταση του αγωγού ισούται με

$$R_{\gamma\rho} = R_{\gamma\rho/km} \ell \tag{4.2-5}$$

Η συνολική επαγωγική αντίδραση του αγωγού ισούται με

$$X_{\gamma\rho} = X_{\gamma\rho/km} \ell \tag{4.2-6}$$

Όπου ℓ το μήκος της γραμμής σε km μέχρι το σημείο του σφάλματος

❖ Υπολογισμός του ρεύματος διάβασης I_δ

Πρόκειται για το ρεύμα το οποίο θα διέλθει δια μέσω του εδάφους. Η τιμή του ρεύματος αυτού εξαρτάται από τη σύνθετη αντίσταση Z που «βλέπει» το ρεύμα και από την ονομαστική τάση του δικτύου μέσης τάσης. Η τιμή της I_δ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I \leq \frac{U_\phi}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\gamma\rho} + R_{MΣ} + R)^2 + (X_{\gamma\rho} + X_{MΣ})^2}} \tag{4.2-7}$$

Όπου,

U : η ονομαστική πολική τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή,

U_{ϕ} : η ονομαστική φασική τάση

$R_{\gamma\rho}$: η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω μέχρι τη θέση βραχυκύκλωσης

$X_{\gamma\rho}$: η ολική επαγωγική αντίδραση της γραμμής σε Ω μέχρι τη θέση βραχυκύκλωσης

R : η αντίσταση διάβασης σε Ω , εφόσον ληφθούν οι απλοποιήσεις της σχέσης (4.2-1)

$R_{M\Sigma}$: ωμική αντίσταση σε Ω του μετασχηματιστή

$X_{M\Sigma}$: επαγωγική αντίδραση σε Ω του μετασχηματιστή

Το σύμβολο \leq υποδηλώνει πως η τιμή υπολογίζεται με την παραπάνω σχέση είναι ουσιαστικά μία μέγιστη τιμή που θα μπορούσε να πάρει το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Πρακτικά η πραγματική τιμή του είναι αρκετά μικρότερη μιας και η συνολική αντίσταση ενός ολόκληρου δικτύου είναι προφανώς μεγαλύτερη από αυτή της γραμμής και του μετασχηματιστή που εμείς λαμβάνουμε υπόψη.

Η απλούστευση αυτή όμως δε δημιουργεί κανένα απολύτως πρόβλημα καθώς κάνοντας υπολογισμούς και σχεδιάζοντας δίκτυα με βάση μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης, ουσιαστικά επιτυγχάνεται ακόμα μεγαλύτερη ασφάλεια.

❖ Υπολογισμός της αναπτυσσόμενης ισχύς P_{δ} στην αντίσταση διάβασης

Το ρεύμα I_{δ} διερχόμενο από την αντίσταση διάβασης R_{δ} έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση ισχύος P_{δ} . Η ισχύς αυτή υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{\delta} = I_{\delta}^2 \cdot R_{\delta} \quad (4.2-8)$$

4.3 Αποτελέσματα του εναλλασσόμενου ρεύματος στον άνθρωπο

Η αντίσταση του ανθρώπου μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας πυρήνας 500 Ω που περιβάλλεται από την αντίσταση δέρματος, η οποία κυμαίνεται από 1k Ω έως 100k Ω , ανάλογα με την κατάσταση του δέρματος δηλαδή αν είναι ξηρό ή έχει αρκετή υγρασία. Έχει διαπιστωθεί η ροή του ρεύματος από την καρδιά μπορεί να προκαλέσει μια σειρά από ταχύτερες συσπάσεις του μυοκαρδίου, οι οποίες είναι ανεπαρκής για την άντληση του αίματος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως κοιλιακός ινιδισμός ή μαρμαρυγή των κοιλιών της καρδιάς ή μαρμαρυγή. Μια σημαντική παράμετρος για τον υπολογισμό της τιμής του ρεύματος που έχει ως αποτέλεσμα τη μαρμαρυγή των κοιλιών της καρδιάς είναι το βάρος του ανθρώπινου σώματος.

Γενικά, τα αποτελέσματα της ηλεκτροπληξίας στο ανθρώπινο σώμα εξαρτώνται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες συνέβη το ατύχημα όπως:

- ❖ η τιμή της τάσης,
- ❖ η συχνότητα ,
- ❖ ο τρόπος επαφής και τα σημεία επαφής (αντίσταση σώματος και διαδρομή ρεύματος),

- ❖ ο χρόνος που διαρκεί το ηλεκτροφυσικό φαινόμενο,
- ❖ το έδαφος (υγρό, στεγνό, πετρώδες, κ.λ.π),
- ❖ οι ατμοσφαιρικές συνθήκες

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι πίνακες τιμών για τα αποτελέσματα της ηλεκτροπληξίας, ανάλογα με την τιμή του ρεύματος, στο ανθρώπινο σώμα. Οι πίνακες αυτοί έχουν προέλθει από πειράματα που έχουν γίνει σε ζώα, για αυτό και τα αποτελέσματά τους είναι προσεγγιστικά για τον άνθρωπο. Ένας τέτοιος πίνακας δίνεται παρακάτω (πίνακας 4.3-1). Αξίζει να σημειωθεί ότι η αντίσταση του σώματος των ανθρώπων που είναι ασθενείς σε μονάδες εντατικής θεραπείας, είναι αρκετά μικρότερη από ότι των υγείων ανθρώπων γι αυτό και τα όρια του ρεύματος για τους ασθενείς είναι πιο αυστηρά.

Όριο που γίνεται αντιληπτό	1mA
Σύσπαση μυών	16mA
Σε ορισμένες περιπτώσεις απώλεια των αισθήσεων-τραυματισμός	50mA
Κοιλιακός ινιδισμός (ταχύτατες συσπάσεις του μυοκαρδίου οι οποίες είναι ανεπαρκείς για την άντληση του αίματος)	100....300mA
Κοιλιακός ινιδισμός, διακοπή της αναπνοής κατά διαστήματα, εγκαύματα.	5A
Επικίνδυνη τιμή ρεύματος για ασθενείς σε μονάδες επείγουσας ιατρικής(π.χ.: μονάδα εντατικής θεραπείας, μονάδα αναπνευστικής ανεπάρκειας κ.λ.π.)	Πάνω από 100μΑ

Πίνακας 4.3-1 : Αποτελέσματα του εναλλασσόμενου ρεύματος 50 Hz στον άνθρωπο

Κεφάλαιο 5^ο

5. Αποτελέσματα και Επεξεργασία των Υπολογισμών

5.1 Περιγραφή Διαδικασίας Υπολογισμών

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τις συνέπειες που συμβαίνουν κατά την πτώση ενός αγωγού ACSR 16mm² δικτύου διανομής μέσης τάσης στο έδαφος. Εκεί που θα εστιάσουμε κυρίως είναι στα ρεύματα διέλευσης κατά μήκος μιας αντίστασης διάβασης R_{δ} , την οποία θα συναντήσει το ρεύμα κατά τη διέλευση του από το έδαφος.

Το κομμάτι των κύριων υπολογισμών, περιλαμβάνει την μελέτη και τους αναλυτικούς υπολογισμούς για 6 διαφορετικές περιπτώσεις δικτύων όπως αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.2.1 και 4.2-2 της αντίστοιχης ενότητας 4.2. Με άλλα λόγια, κάθε ζεύγος τιμών ονοματικής τάσης δικτύου U_N και ονομαστικής ισχύος μετασχηματιστή P_N αποτελεί μία ξεχωριστή ενότητα. Υπολογίζουμε κατά αυτό τον τρόπο τις σύνθετες αντιστάσεις Z καθώς και τα ρεύματα διέλευσης I_{δ} κατά μήκος ενός αγωγού ACSR 16mm².

Σε κάθε μία λοιπόν από τις 6 περιπτώσεις εξετάζουμε 11 διαφορετικές τιμές της αντίστασης διάβασης R_{δ} . Αυτές είναι $R_{\delta} = 1\Omega, 5\Omega, 10\Omega, 20\Omega, 30\Omega, 100\Omega, 200\Omega, 500\Omega, 1000\Omega, 2000\Omega, 3000\Omega$.

Οι ΑΔΕ και ΔΑΕ του δικτύου διανομής μέσης τάσης της Δ.Ε.Η. ενεργοποιούνται κάθε φορά που το ρεύμα της γραμμής, στην οποία είναι τοποθετημένοι, ξεπεράσει την τιμή των 50Α. Γίνεται σαφές ότι, αν κατά το σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης διάβασης (R_{δ}) του εδάφους, προκύψουν ρεύματα κάτω των 50Α, οι διακόπτες δεν θα “αντιληφθούν” το σφάλμα και δεν θα λειτουργήσουν. Δημιουργείται έτσι, κίνδυνος τόσο για την ανθρώπινη ζωή (ηλεκτροπληξία), όσο και για το φυσικό περιβάλλον (εκδήλωση πυρκαγιάς). Επιπλέον, στην προβληματική αυτή λειτουργία του δικτύου, σταματά η ηλεκτροδότηση της ευρύτερης περιοχής, χωρίς ο πάροχος (Δ.Ε.Η) να αντιληφθεί τη βλάβη και να στείλει συνεργείο στο σημείο να τη διορθώσει.

Έτσι μπορούμε να εξετάσουμε για ποιες τιμές της R_{δ} ο ΔΑΕ δεν μας καλύπτει σε περίπτωση που τα ρεύματα που θα διέλθουν μέσω εδάφους δεν ξεπερνούν τα 50Α και επομένως επιβάλλεται να ληφθούν άλλα μέσα προστασίας. Κάτι τέτοιο ωστόσο είναι μάλλον αναπόφευκτο στη Μέση Τάση, καθώς ακόμα και πολύ μεγάλες αντιστάσεις όπως αυτή των 1000Α, 2000Α και 3000Α, δίνουν ρεύματα μερικών δεκάδων Α τα οποία όμως αν μείνουν ανεξέλεγκτα για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι σίγουρο ότι θα προκαλέσουν πυρκαγιά.

Για κάθε τιμή της αντίστασης διάβασης (R_{δ}) παρουσιάζεται ο αντίστοιχος πίνακας με τα μεγέθη Z , I_{δ} , κατά μήκος του αγωγού ACSR 16mm^2 . Για να βρούμε τις αντιστάσεις των μετασχηματιστών χρησιμοποιούμε τις σχέσεις (4.2-3) και (4.2-4). Η σύνθετη αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση (4.2-1). Τα αποτελέσματα αυτά είναι συγκεντρωμένα στους Πίνακες 4.2-1 και 4.2-2. Το ρεύμα διάβασης υπολογίζεται από τη σχέση (4.2-7).

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα του ρεύματος συναρτήσει του μήκους L της γραμμής ($I_{\delta} = f(L)$) για κάθε τιμή της R_{δ} . Παρατηρώντας τα διαγράμματα βλέπουμε ότι όσο μεγαλώνει η τιμή της αντίστασης διάβασης R_{δ} η καμπύλη παίρνει μορφή ευθείας, γεγονός που μας έδωσε το δικαίωμα στα συγκεντρωτικά διαγράμματα να παραλείψουμε τις αντιστάσεις 2000Ω και 3000Ω έτσι ώστε οι γραφικές παραστάσεις να είναι πιο ευανάγνωστες.

5.2 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm^2 , $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ $150\text{kV}/20\text{kV}$

Στην αρχή παραθέτουμε τους πίνακες για κάθε μετασχηματιστή και στην συνέχεια τα αντίστοιχα διαγράμματα καθώς και ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα $I = f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ} .

5.2.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ $150\text{kV}/20\text{kV}$ με ονομαστική ισχύ $P_N = 15\text{MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1\Omega$

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	1	5,456	2116,485
5	6,340	2,110	0,160	5,331	1	10,565	1092,953
10	12,680	4,220	0,160	5,331	1	16,816	686,681
15	19,020	6,330	0,160	5,331	1	23,307	495,433
20	25,360	8,440	0,160	5,331	1	29,882	386,416
25	31,700	10,550	0,160	5,331	1	36,496	316,388
30	38,040	12,660	0,160	5,331	1	43,131	267,717
35	44,380	14,770	0,160	5,331	1	49,779	231,966
40	50,720	16,880	0,160	5,331	1	56,435	204,609
45	57,060	18,990	0,160	5,331	1	63,096	183,008
50	63,400	21,100	0,160	5,331	1	69,761	165,522
55	69,740	23,210	0,160	5,331	1	76,429	151,081
60	76,080	25,320	0,160	5,331	1	83,099	138,954
65	82,420	27,430	0,160	5,331	1	89,771	128,627
70	88,760	29,540	0,160	5,331	1	96,445	119,727
75	95,100	31,650	0,160	5,331	1	103,119	111,977
80	101,440	33,760	0,160	5,331	1	109,795	105,169
85	107,780	35,870	0,160	5,331	1	116,471	99,141
90	114,120	37,980	0,160	5,331	1	123,148	93,766
95	120,460	40,090	0,160	5,331	1	129,825	88,943
100	126,800	42,200	0,160	5,331	1	136,503	84,592

Πίνακας 5.2.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,16\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=5,331\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	5	7,419	1556,359
5	6,340	2,110	0,160	5,331	5	13,697	843,008
10	12,680	4,220	0,160	5,331	5	20,236	570,623
15	19,020	6,330	0,160	5,331	5	26,845	430,137
20	25,360	8,440	0,160	5,331	5	33,483	344,862
25	31,700	10,550	0,160	5,331	5	40,136	287,700
30	38,040	12,660	0,160	5,331	5	46,797	246,749
35	44,380	14,770	0,160	5,331	5	53,463	215,982
40	50,720	16,880	0,160	5,331	5	60,132	192,026
45	57,060	18,990	0,160	5,331	5	66,804	172,848
50	63,400	21,100	0,160	5,331	5	73,478	157,148
55	69,740	23,210	0,160	5,331	5	80,154	144,061
60	76,080	25,320	0,160	5,331	5	86,830	132,984
65	82,420	27,430	0,160	5,331	5	93,507	123,488
70	88,760	29,540	0,160	5,331	5	100,185	115,257
75	95,100	31,650	0,160	5,331	5	106,863	108,054
80	101,440	33,760	0,160	5,331	5	113,541	101,699
85	107,780	35,870	0,160	5,331	5	120,220	96,049
90	114,120	37,980	0,160	5,331	5	126,900	90,993
95	120,460	40,090	0,160	5,331	5	133,579	86,443
100	126,800	42,200	0,160	5,331	5	140,259	82,326

Πίνακας 5.2.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,16\Omega$, $X_{M\Sigma}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	10	11,474	1006,391
5	6,340	2,110	0,160	5,331	10	18,100	637,948
10	12,680	4,220	0,160	5,331	10	24,757	466,422
15	19,020	6,330	0,160	5,331	10	31,424	367,461
20	25,360	8,440	0,160	5,331	10	38,096	303,102
25	31,700	10,550	0,160	5,331	10	44,771	257,911
30	38,040	12,660	0,160	5,331	10	51,448	224,439
35	44,380	14,770	0,160	5,331	10	58,126	198,654
40	50,720	16,880	0,160	5,331	10	64,805	178,180
45	57,060	18,990	0,160	5,331	10	71,485	161,532
50	63,400	21,100	0,160	5,331	10	78,164	147,727
55	69,740	23,210	0,160	5,331	10	84,845	136,096
60	76,080	25,320	0,160	5,331	10	91,525	126,162
65	82,420	27,430	0,160	5,331	10	98,206	117,580
70	88,760	29,540	0,160	5,331	10	104,886	110,091
75	95,100	31,650	0,160	5,331	10	111,567	103,498
80	101,440	33,760	0,160	5,331	10	118,248	97,650
85	107,780	35,870	0,160	5,331	10	124,929	92,428
90	114,120	37,980	0,160	5,331	10	131,611	87,736
95	120,460	40,090	0,160	5,331	10	138,292	83,497
100	126,800	42,200	0,160	5,331	10	144,973	79,649

Πίνακας 5.2.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,16\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$**

l km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	20	20,853	553,735
5	6,340	2,110	0,160	5,331	20	27,525	419,512
10	12,680	4,220	0,160	5,331	20	34,201	337,625
15	19,020	6,330	0,160	5,331	20	40,878	282,471
20	25,360	8,440	0,160	5,331	20	47,557	242,801
25	31,700	10,550	0,160	5,331	20	54,237	212,899
30	38,040	12,660	0,160	5,331	20	60,917	189,552
35	44,380	14,770	0,160	5,331	20	67,598	170,819
40	50,720	16,880	0,160	5,331	20	74,279	155,455
45	57,060	18,990	0,160	5,331	20	80,959	142,627
50	63,400	21,100	0,160	5,331	20	87,641	131,754
55	69,740	23,210	0,160	5,331	20	94,322	122,421
60	76,080	25,320	0,160	5,331	20	101,003	114,323
65	82,420	27,430	0,160	5,331	20	107,684	107,230
70	88,760	29,540	0,160	5,331	20	114,366	100,965
75	95,100	31,650	0,160	5,331	20	121,047	95,392
80	101,440	33,760	0,160	5,331	20	127,729	90,402
85	107,780	35,870	0,160	5,331	20	134,410	85,909
90	114,120	37,980	0,160	5,331	20	141,092	81,840
95	120,460	40,090	0,160	5,331	20	147,774	78,140
100	126,800	42,200	0,160	5,331	20	154,455	74,760

Πίνακας 5.2.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,16\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	30	30,628	377,014
5	6,340	2,110	0,160	5,331	30	37,251	309,980
10	12,680	4,220	0,160	5,331	30	43,892	263,079
15	19,020	6,330	0,160	5,331	30	50,544	228,457
20	25,360	8,440	0,160	5,331	30	57,202	201,862
25	31,700	10,550	0,160	5,331	30	63,866	180,801
30	38,040	12,660	0,160	5,331	30	70,533	163,710
35	44,380	14,770	0,160	5,331	30	77,203	149,567
40	50,720	16,880	0,160	5,331	30	83,874	137,670
45	57,060	18,990	0,160	5,331	30	90,547	127,524
50	63,400	21,100	0,160	5,331	30	97,222	118,770
55	69,740	23,210	0,160	5,331	30	103,897	111,139
60	76,080	25,320	0,160	5,331	30	110,573	104,429
65	82,420	27,430	0,160	5,331	30	117,250	98,482
70	88,760	29,540	0,160	5,331	30	123,927	93,176
75	95,100	31,650	0,160	5,331	30	130,605	88,412
80	101,440	33,760	0,160	5,331	30	137,283	84,111
85	107,780	35,870	0,160	5,331	30	143,962	80,209
90	114,120	37,980	0,160	5,331	30	150,641	76,653
95	120,460	40,090	0,160	5,331	30	157,320	73,398
100	126,800	42,200	0,160	5,331	30	163,999	70,409

Πίνακας 5.2.1-5 : Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 15MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0.16\Omega$, $X_{ΜΣ}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	100	100,302	115,123
5	6,340	2,110	0,160	5,331	100	106,760	108,159
10	12,680	4,220	0,160	5,331	100	113,243	101,966
15	19,020	6,330	0,160	5,331	100	119,749	96,427
20	25,360	8,440	0,160	5,331	100	126,273	91,445
25	31,700	10,550	0,160	5,331	100	132,813	86,942
30	38,040	12,660	0,160	5,331	100	139,366	82,854
35	44,380	14,770	0,160	5,331	100	145,931	79,126
40	50,720	16,880	0,160	5,331	100	152,506	75,715
45	57,060	18,990	0,160	5,331	100	159,090	72,582
50	63,400	21,100	0,160	5,331	100	165,682	69,694
55	69,740	23,210	0,160	5,331	100	172,281	67,024
60	76,080	25,320	0,160	5,331	100	178,885	64,550
65	82,420	27,430	0,160	5,331	100	185,496	62,249
70	88,760	29,540	0,160	5,331	100	192,111	60,106
75	95,100	31,650	0,160	5,331	100	198,731	58,104
80	101,440	33,760	0,160	5,331	100	205,355	56,229
85	107,780	35,870	0,160	5,331	100	211,982	54,472
90	114,120	37,980	0,160	5,331	100	218,613	52,819
95	120,460	40,090	0,160	5,331	100	225,247	51,264
100	126,800	42,200	0,160	5,331	100	231,884	49,797

Πίνακας 5.2.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0.16\Omega$, $X_{ΜΣ}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	200	200,231	57,668
5	6,340	2,110	0,160	5,331	200	206,634	55,881
10	12,680	4,220	0,160	5,331	200	213,054	54,198
15	19,020	6,330	0,160	5,331	200	219,490	52,608
20	25,360	8,440	0,160	5,331	200	225,940	51,106
25	31,700	10,550	0,160	5,331	200	232,403	49,685
30	38,040	12,660	0,160	5,331	200	238,878	48,338
35	44,380	14,770	0,160	5,331	200	245,365	47,061
40	50,720	16,880	0,160	5,331	200	251,861	45,847
45	57,060	18,990	0,160	5,331	200	258,367	44,692
50	63,400	21,100	0,160	5,331	200	264,882	43,593
55	69,740	23,210	0,160	5,331	200	271,405	42,545
60	76,080	25,320	0,160	5,331	200	277,935	41,546
65	82,420	27,430	0,160	5,331	200	284,473	40,591
70	88,760	29,540	0,160	5,331	200	291,017	39,678
75	95,100	31,650	0,160	5,331	200	297,567	38,805
80	101,440	33,760	0,160	5,331	200	304,123	37,968
85	107,780	35,870	0,160	5,331	200	310,684	37,166
90	114,120	37,980	0,160	5,331	200	317,250	36,397
95	120,460	40,090	0,160	5,331	200	323,821	35,659
100	126,800	42,200	0,160	5,331	200	330,397	34,949

Πίνακας 5.2.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,16\Omega$, $X_{M\Sigma}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	500	500,188	23,085
5	6,340	2,110	0,160	5,331	500	506,555	22,795
10	12,680	4,220	0,160	5,331	500	512,929	22,512
15	19,020	6,330	0,160	5,331	500	519,311	22,235
20	25,360	8,440	0,160	5,331	500	525,700	21,965
25	31,700	10,550	0,160	5,331	500	532,097	21,701
30	38,040	12,660	0,160	5,331	500	538,501	21,443
35	44,380	14,770	0,160	5,331	500	544,911	21,191
40	50,720	16,880	0,160	5,331	500	551,328	20,944
45	57,060	18,990	0,160	5,331	500	557,751	20,703
50	63,400	21,100	0,160	5,331	500	564,179	20,467
55	69,740	23,210	0,160	5,331	500	570,614	20,236
60	76,080	25,320	0,160	5,331	500	577,055	20,010
65	82,420	27,430	0,160	5,331	500	583,500	19,789
70	88,760	29,540	0,160	5,331	500	589,951	19,573
75	95,100	31,650	0,160	5,331	500	596,408	19,361
80	101,440	33,760	0,160	5,331	500	602,869	19,153
85	107,780	35,870	0,160	5,331	500	609,335	18,950
90	114,120	37,980	0,160	5,331	500	615,805	18,751
95	120,460	40,090	0,160	5,331	500	622,280	18,556
100	126,800	42,200	0,160	5,331	500	628,759	18,365

Πίνακας 5.2.1-8 : Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 15MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0.16\Omega$, $X_{ΜΣ}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	1000	1000,174	11,545
5	6,340	2,110	0,160	5,331	1000	1006,528	11,472
10	12,680	4,220	0,160	5,331	1000	1012,885	11,400
15	19,020	6,330	0,160	5,331	1000	1019,247	11,329
20	25,360	8,440	0,160	5,331	1000	1025,612	11,259
25	31,700	10,550	0,160	5,331	1000	1031,982	11,189
30	38,040	12,660	0,160	5,331	1000	1038,356	11,120
35	44,380	14,770	0,160	5,331	1000	1044,733	11,053
40	50,720	16,880	0,160	5,331	1000	1051,115	10,985
45	57,060	18,990	0,160	5,331	1000	1057,500	10,919
50	63,400	21,100	0,160	5,331	1000	1063,888	10,854
55	69,740	23,210	0,160	5,331	1000	1070,281	10,789
60	76,080	25,320	0,160	5,331	1000	1076,676	10,725
65	82,420	27,430	0,160	5,331	1000	1083,076	10,661
70	88,760	29,540	0,160	5,331	1000	1089,478	10,599
75	95,100	31,650	0,160	5,331	1000	1095,884	10,537
80	101,440	33,760	0,160	5,331	1000	1102,293	10,475
85	107,780	35,870	0,160	5,331	1000	1108,706	10,415
90	114,120	37,980	0,160	5,331	1000	1115,121	10,355
95	120,460	40,090	0,160	5,331	1000	1121,540	10,296
100	126,800	42,200	0,160	5,331	1000	1127,962	10,237

Πίνακας 5.2.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,16\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

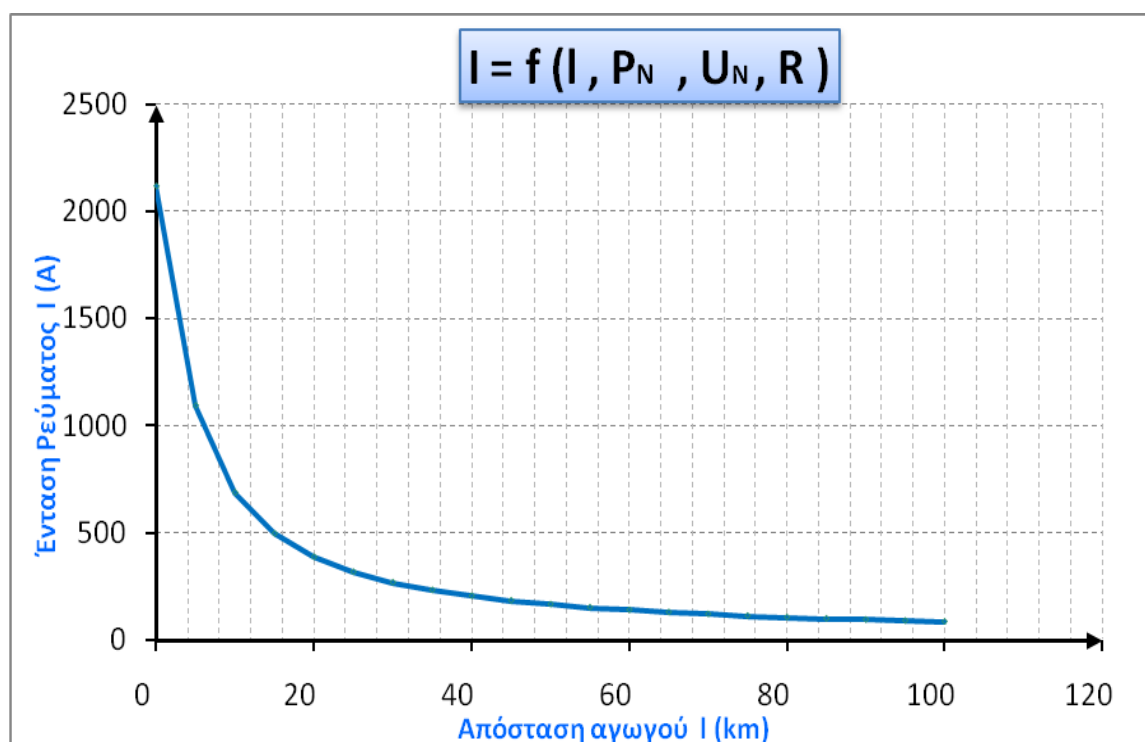
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	2000	2000,167	5,773
5	6,340	2,110	0,160	5,331	2000	2006,514	5,755
10	12,680	4,220	0,160	5,331	2000	2012,863	5,737
15	19,020	6,330	0,160	5,331	2000	2019,214	5,719
20	25,360	8,440	0,160	5,331	2000	2025,567	5,701
25	31,700	10,550	0,160	5,331	2000	2031,922	5,683
30	38,040	12,660	0,160	5,331	2000	2038,279	5,665
35	44,380	14,770	0,160	5,331	2000	2044,639	5,647
40	50,720	16,880	0,160	5,331	2000	2051,000	5,630
45	57,060	18,990	0,160	5,331	2000	2057,364	5,613
50	63,400	21,100	0,160	5,331	2000	2063,729	5,595
55	69,740	23,210	0,160	5,331	2000	2070,097	5,578
60	76,080	25,320	0,160	5,331	2000	2076,466	5,561
65	82,420	27,430	0,160	5,331	2000	2082,838	5,544
70	88,760	29,540	0,160	5,331	2000	2089,211	5,527
75	95,100	31,650	0,160	5,331	2000	2095,586	5,510
80	101,440	33,760	0,160	5,331	2000	2101,964	5,493
85	107,780	35,870	0,160	5,331	2000	2108,343	5,477
90	114,120	37,980	0,160	5,331	2000	2114,724	5,460
95	120,460	40,090	0,160	5,331	2000	2121,106	5,444
100	126,800	42,200	0,160	5,331	2000	2127,491	5,428

Πίνακας 5.2.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,16\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=5,331\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$**

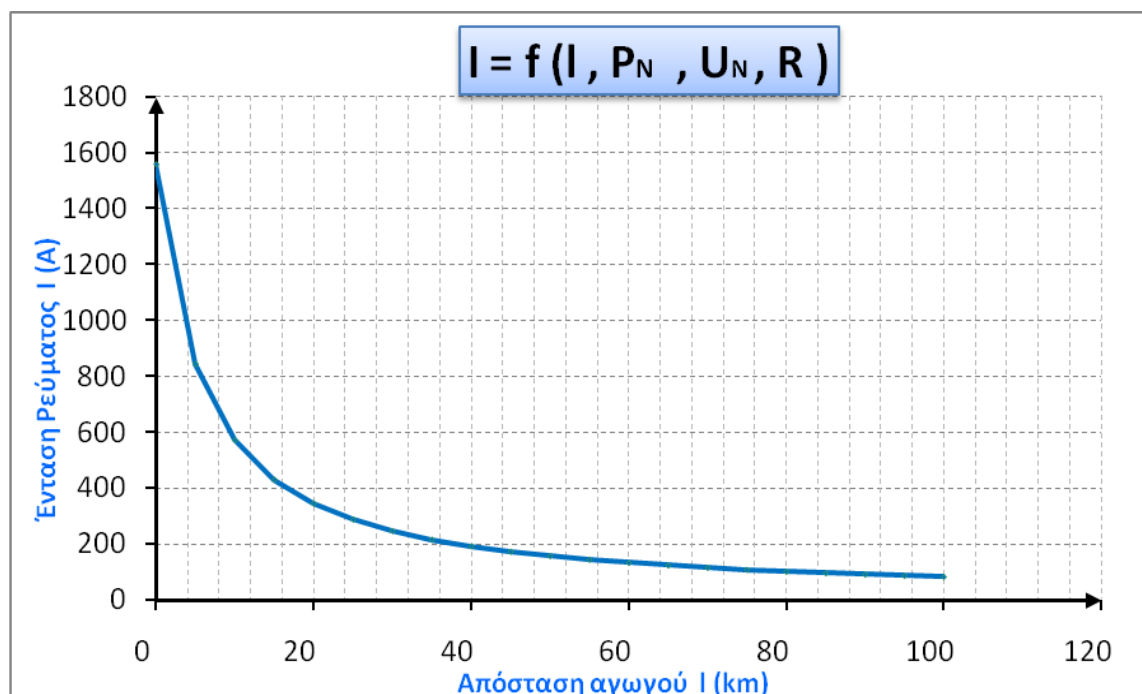
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,160	5,331	3000	3000,165	3,849
5	6,340	2,110	0,160	5,331	3000	3006,509	3,841
10	12,680	4,220	0,160	5,331	3000	3012,855	3,833
15	19,020	6,330	0,160	5,331	3000	3019,203	3,825
20	25,360	8,440	0,160	5,331	3000	3025,551	3,816
25	31,700	10,550	0,160	5,331	3000	3031,902	3,809
30	38,040	12,660	0,160	5,331	3000	3038,253	3,801
35	44,380	14,770	0,160	5,331	3000	3044,606	3,793
40	50,720	16,880	0,160	5,331	3000	3050,961	3,785
45	57,060	18,990	0,160	5,331	3000	3057,317	3,777
50	63,400	21,100	0,160	5,331	3000	3063,674	3,769
55	69,740	23,210	0,160	5,331	3000	3070,033	3,761
60	76,080	25,320	0,160	5,331	3000	3076,393	3,753
65	82,420	27,430	0,160	5,331	3000	3082,754	3,746
70	88,760	29,540	0,160	5,331	3000	3089,117	3,738
75	95,100	31,650	0,160	5,331	3000	3095,481	3,730
80	101,440	33,760	0,160	5,331	3000	3101,846	3,723
85	107,780	35,870	0,160	5,331	3000	3108,213	3,715
90	114,120	37,980	0,160	5,331	3000	3114,581	3,707
95	120,460	40,090	0,160	5,331	3000	3120,951	3,700
100	126,800	42,200	0,160	5,331	3000	3127,321	3,692

Πίνακας 5.2.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,16\Omega$, $X_{ΜΣ}=5,331\Omega$



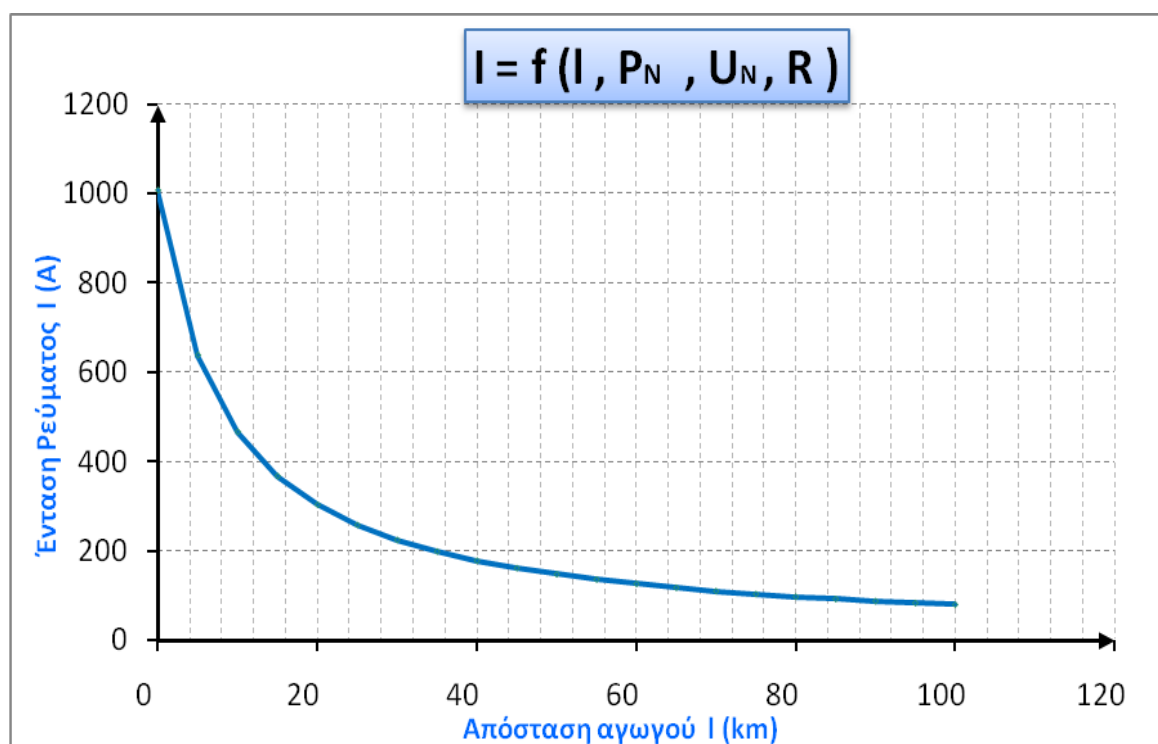
Σχήμα 5.2.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



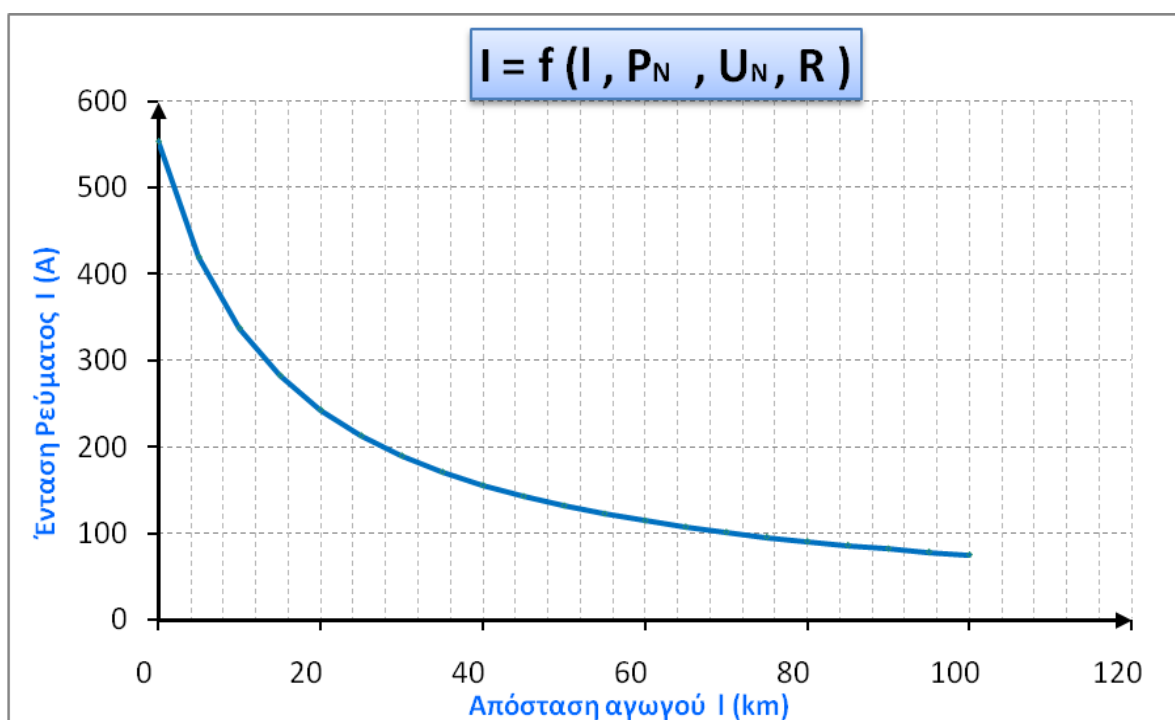
Σχήμα 5.2.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



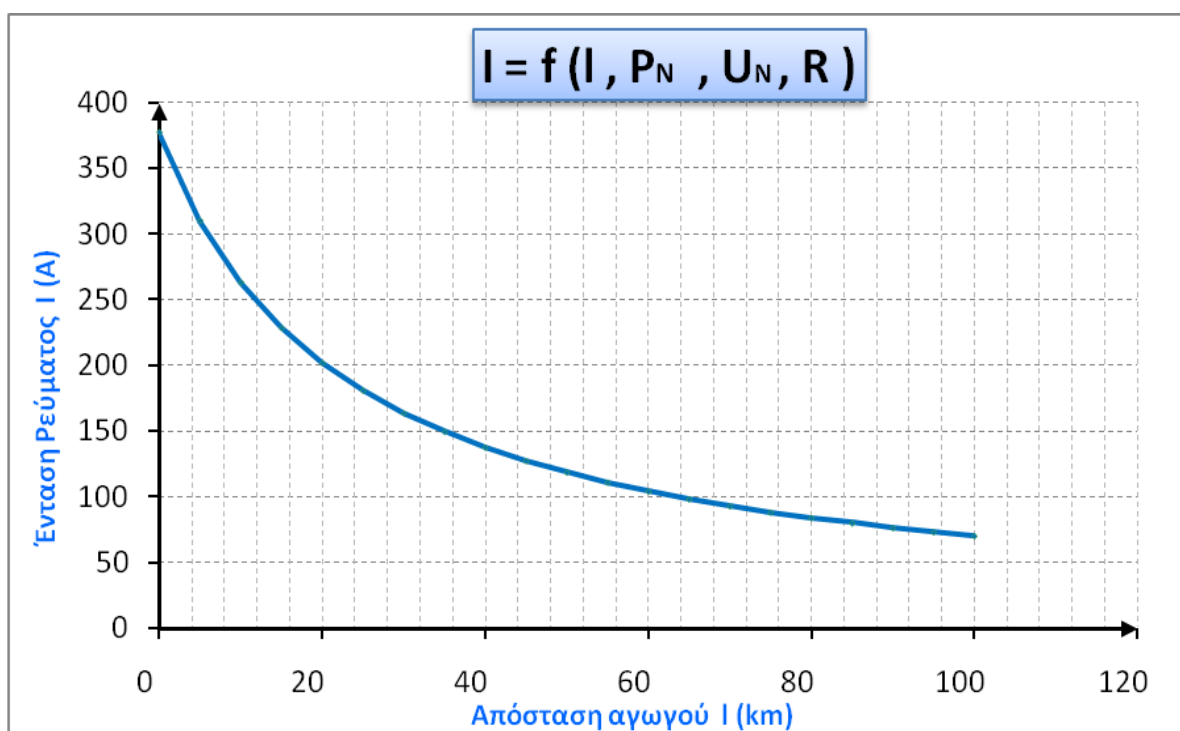
Σχήμα 5.2.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



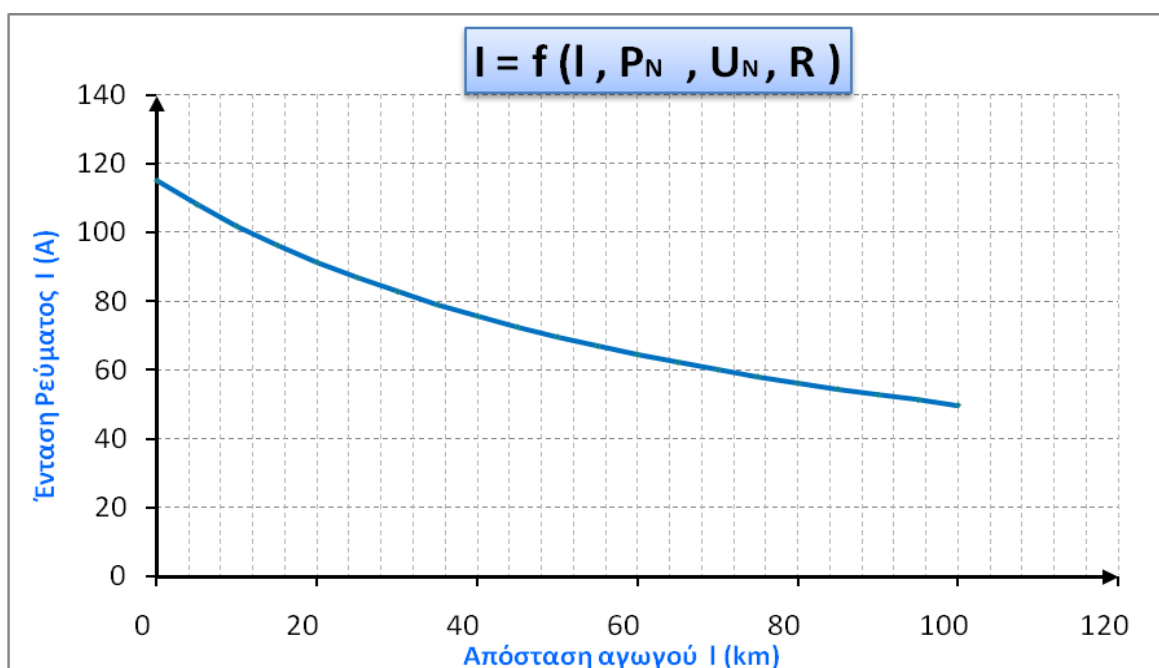
Σχήμα 5.2.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



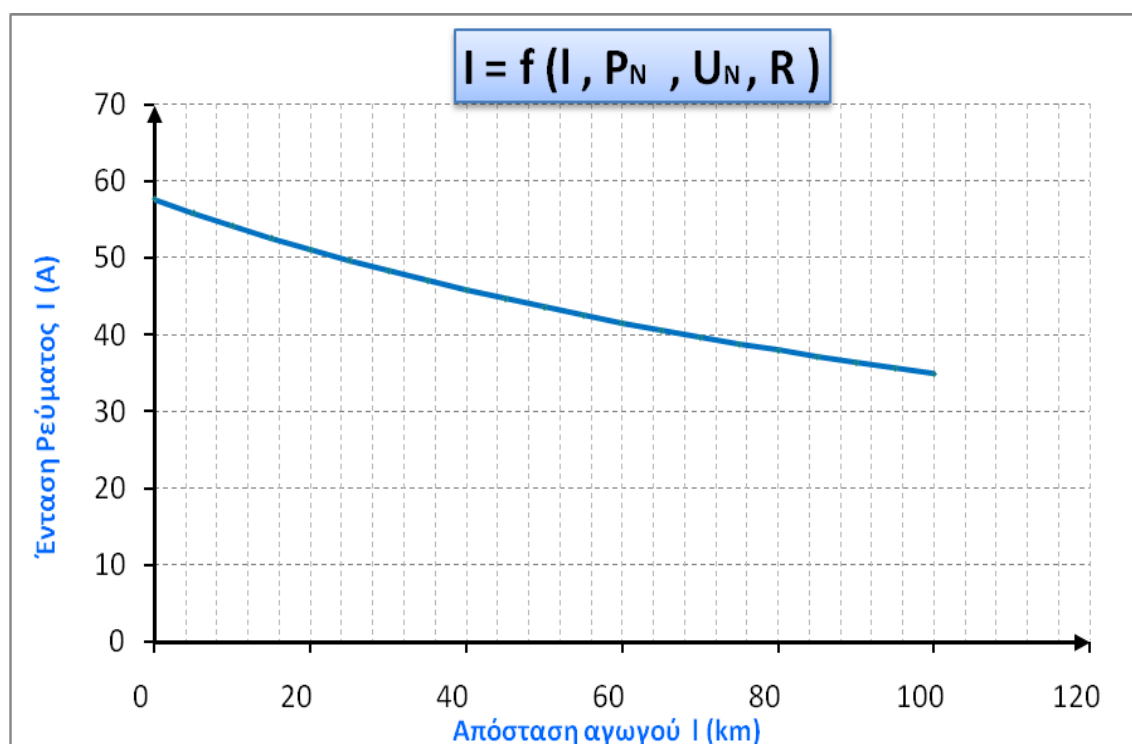
Σχήμα 5.2.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=15MVA, ΜΣ 150kV/20kV



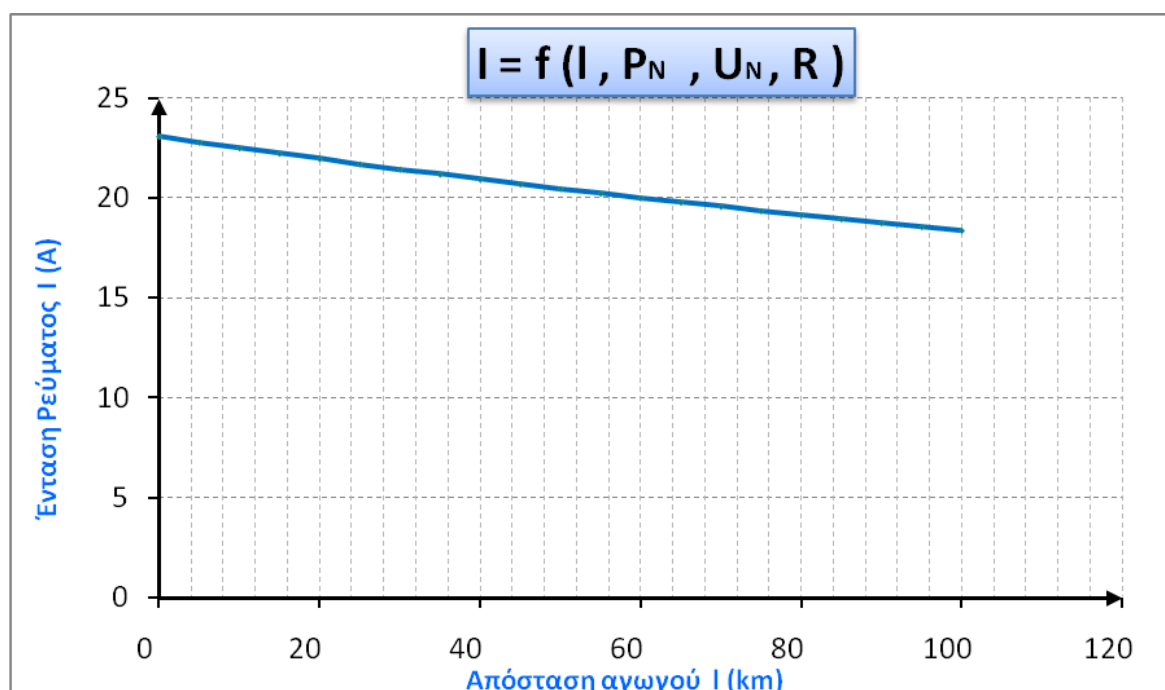
Σχήμα 5.2.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=15MVA, ΜΣ 150kV/20kV



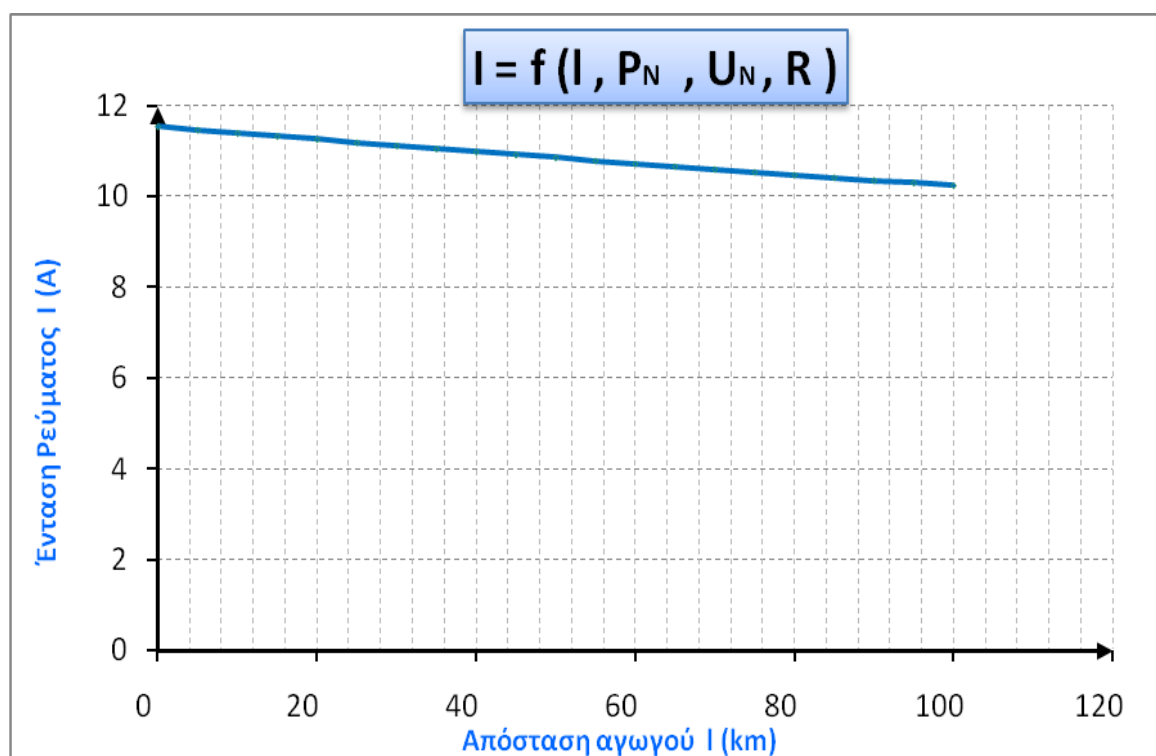
Σχήμα 5.2.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=15MVA, ΜΣ 150kV/20kV

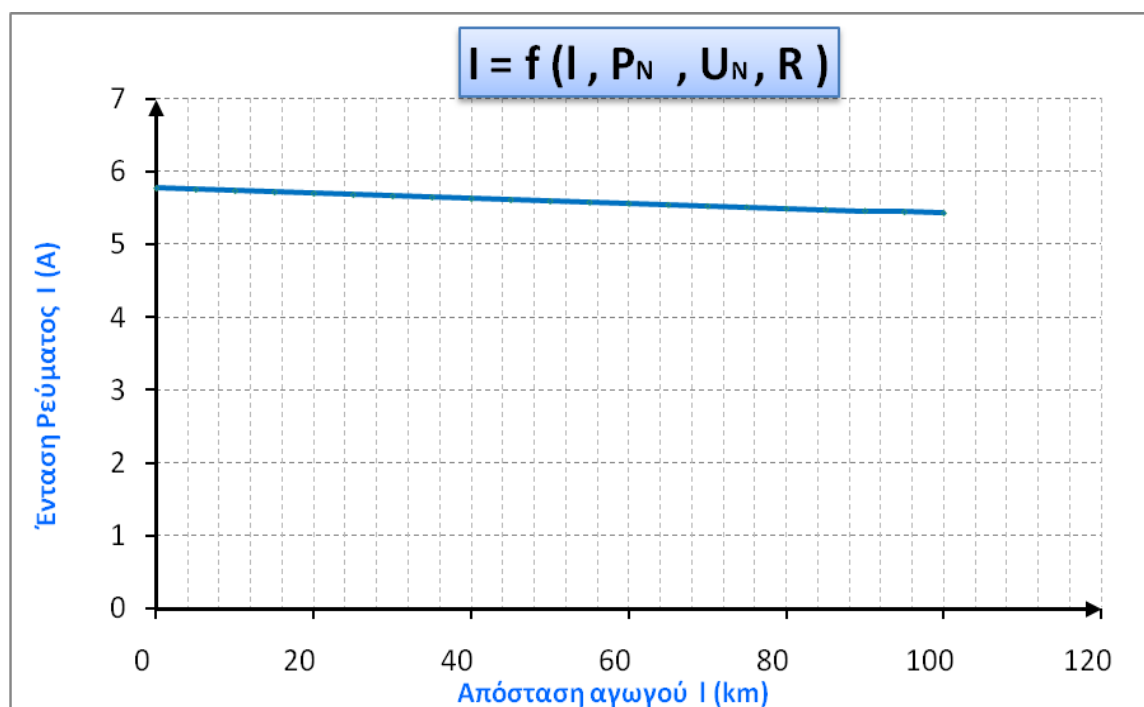


Σχήμα 5.2.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

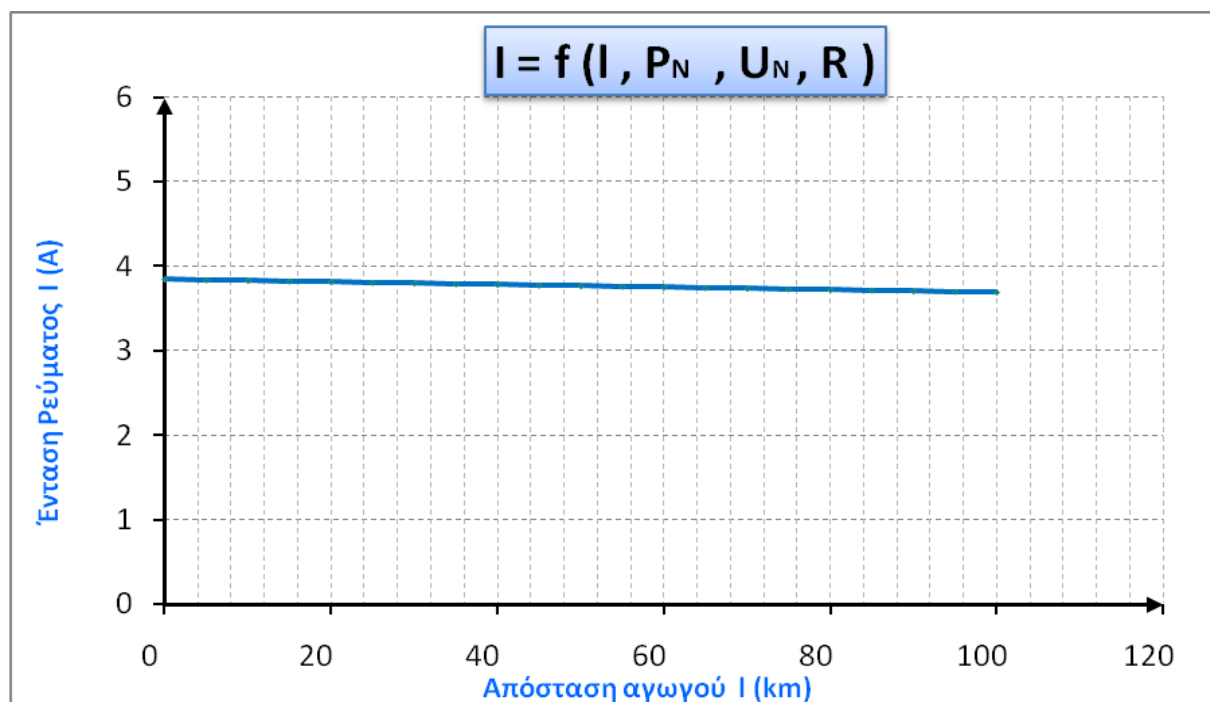
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=15MVA, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.2.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.2.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

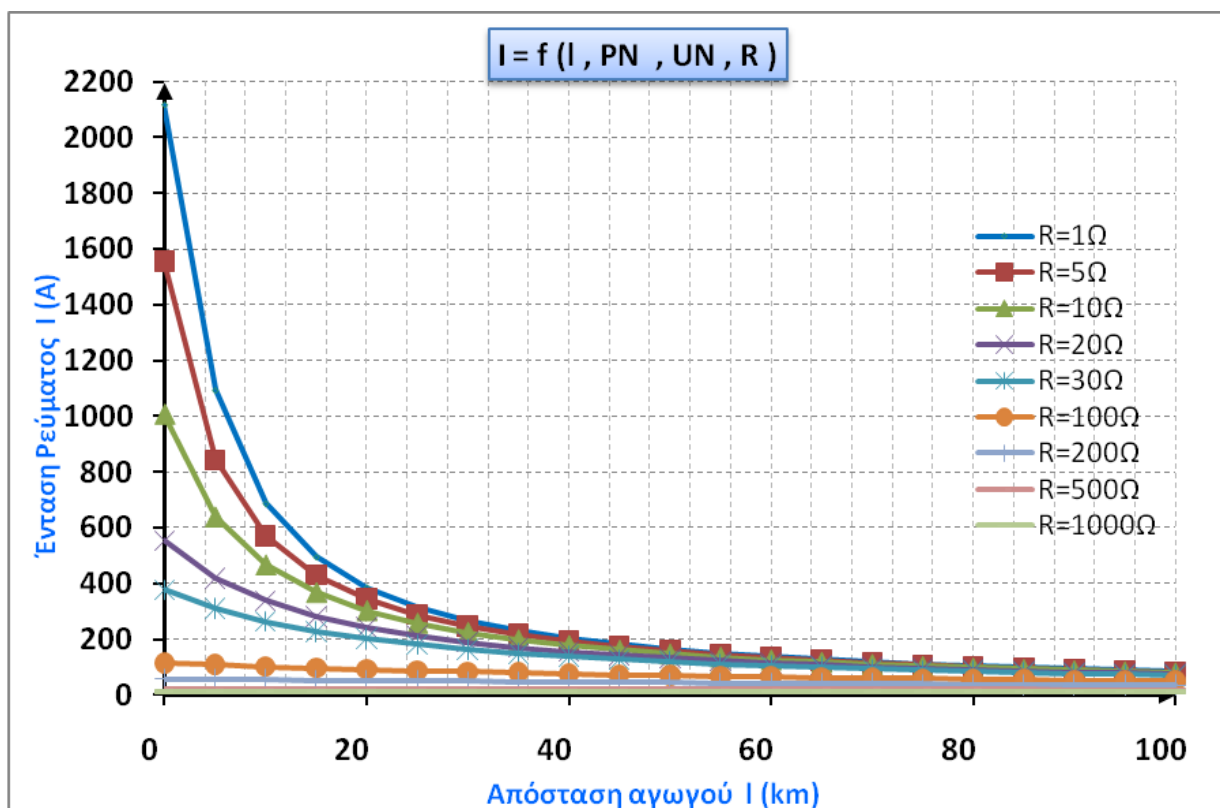


Σχήμα 5.2.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.2.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} . $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

5.2.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=200\Omega$ και $R_{\delta}=500\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

5.3 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm^2 , $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

5.3.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 25 \text{ MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_\delta = 1 \Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	1	3,382	3414,717
5	6,340	2,110	0,096	3,199	1	9,137	1263,803
10	12,680	4,220	0,096	3,199	1	15,647	737,983
15	19,020	6,330	0,096	3,199	1	22,259	518,761
20	25,360	8,440	0,096	3,199	1	28,903	399,508
25	31,700	10,550	0,096	3,199	1	35,561	324,706
30	38,040	12,660	0,096	3,199	1	42,227	273,450
35	44,380	14,770	0,096	3,199	1	48,897	236,148
40	50,720	16,880	0,096	3,199	1	55,570	207,791
45	57,060	18,990	0,096	3,199	1	62,245	185,508
50	63,400	21,100	0,096	3,199	1	68,922	167,538
55	69,740	23,210	0,096	3,199	1	75,599	152,741
60	76,080	25,320	0,096	3,199	1	82,277	140,343
65	82,420	27,430	0,096	3,199	1	88,955	129,807
70	88,760	29,540	0,096	3,199	1	95,634	120,741
75	95,100	31,650	0,096	3,199	1	102,314	112,859
80	101,440	33,760	0,096	3,199	1	108,994	105,942
85	107,780	35,870	0,096	3,199	1	115,674	99,824
90	114,120	37,980	0,096	3,199	1	122,354	94,374
95	120,460	40,090	0,096	3,199	1	129,034	89,488
100	126,800	42,200	0,096	3,199	1	135,715	85,083

Πίνακας 5.3.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_\delta = 1 \Omega$ του εδάφους, $P_N = 25 \text{ MVA}$, $L =$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km} = 1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} = 0,422 \Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma} = 0,096 \Omega$, $X_{M\Sigma} = 3,199 \Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	5	6,017	1919,103
5	6,340	2,110	0,096	3,199	5	12,608	915,830
10	12,680	4,220	0,096	3,199	5	19,262	599,468
15	19,020	6,330	0,096	3,199	5	25,930	445,308
20	25,360	8,440	0,096	3,199	5	32,604	354,157
25	31,700	10,550	0,096	3,199	5	39,281	293,961
30	38,040	12,660	0,096	3,199	5	45,959	251,246
35	44,380	14,770	0,096	3,199	5	52,638	219,366
40	50,720	16,880	0,096	3,199	5	59,318	194,664
45	57,060	18,990	0,096	3,199	5	65,998	174,960
50	63,400	21,100	0,096	3,199	5	72,678	158,878
55	69,740	23,210	0,096	3,199	5	79,359	145,503
60	76,080	25,320	0,096	3,199	5	86,040	134,205
65	82,420	27,430	0,096	3,199	5	92,721	124,535
70	88,760	29,540	0,096	3,199	5	99,402	116,165
75	95,100	31,650	0,096	3,199	5	106,083	108,848
80	101,440	33,760	0,096	3,199	5	112,765	102,399
85	107,780	35,870	0,096	3,199	5	119,446	96,671
90	114,120	37,980	0,096	3,199	5	126,128	91,550
95	120,460	40,090	0,096	3,199	5	132,809	86,944
100	126,800	42,200	0,096	3,199	5	139,491	82,780

Πίνακας 5.3.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, L= το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,096\Omega$, $X_{M\Sigma}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	10	10,591	1090,297
5	6,340	2,110	0,096	3,199	10	17,272	668,533
10	12,680	4,220	0,096	3,199	10	23,954	482,052
15	19,020	6,330	0,096	3,199	10	30,636	376,914
20	25,360	8,440	0,096	3,199	10	37,317	309,426
25	31,700	10,550	0,096	3,199	10	43,999	262,436
30	38,040	12,660	0,096	3,199	10	50,681	227,836
35	44,380	14,770	0,096	3,199	10	57,363	201,297
40	50,720	16,880	0,096	3,199	10	64,045	180,295
45	57,060	18,990	0,096	3,199	10	70,727	163,262
50	63,400	21,100	0,096	3,199	10	77,409	149,169
55	69,740	23,210	0,096	3,199	10	84,091	137,316
60	76,080	25,320	0,096	3,199	10	90,772	127,208
65	82,420	27,430	0,096	3,199	10	97,454	118,486
70	88,760	29,540	0,096	3,199	10	104,136	110,884
75	95,100	31,650	0,096	3,199	10	110,818	104,198
80	101,440	33,760	0,096	3,199	10	117,500	98,272
85	107,780	35,870	0,096	3,199	10	124,182	92,985
90	114,120	37,980	0,096	3,199	10	130,864	88,237
95	120,460	40,090	0,096	3,199	10	137,546	83,950
100	126,800	42,200	0,096	3,199	10	144,228	80,061

Πίνακας 5.3.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,096\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	20	20,349	567,448
5	6,340	2,110	0,096	3,199	20	26,964	428,241
10	12,680	4,220	0,096	3,199	20	33,605	343,608
15	19,020	6,330	0,096	3,199	20	40,260	286,811
20	25,360	8,440	0,096	3,199	20	46,922	246,087
25	31,700	10,550	0,096	3,199	20	53,590	215,470
30	38,040	12,660	0,096	3,199	20	60,260	191,619
35	44,380	14,770	0,096	3,199	20	66,933	172,516
40	50,720	16,880	0,096	3,199	20	73,608	156,873
45	57,060	18,990	0,096	3,199	20	80,283	143,828
50	63,400	21,100	0,096	3,199	20	86,960	132,785
55	69,740	23,210	0,096	3,199	20	93,637	123,316
60	76,080	25,320	0,096	3,199	20	100,315	115,107
65	82,420	27,430	0,096	3,199	20	106,994	107,922
70	88,760	29,540	0,096	3,199	20	113,673	101,581
75	95,100	31,650	0,096	3,199	20	120,352	95,944
80	101,440	33,760	0,096	3,199	20	127,031	90,899
85	107,780	35,870	0,096	3,199	20	133,711	86,358
90	114,120	37,980	0,096	3,199	20	140,391	82,249
95	120,460	40,090	0,096	3,199	20	147,071	78,513
100	126,800	42,200	0,096	3,199	20	153,751	75,102

Πίνακας 5.3.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,096\Omega$, $X_{ΜΣ}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	30	30,266	381,523
5	6,340	2,110	0,096	3,199	30	36,821	313,601
10	12,680	4,220	0,096	3,199	30	43,415	265,971
15	19,020	6,330	0,096	3,199	30	50,032	230,793
20	25,360	8,440	0,096	3,199	30	56,664	203,779
25	31,700	10,550	0,096	3,199	30	63,307	182,397
30	38,040	12,660	0,096	3,199	30	69,957	165,058
35	44,380	14,770	0,096	3,199	30	76,613	150,719
40	50,720	16,880	0,096	3,199	30	83,273	138,664
45	57,060	18,990	0,096	3,199	30	89,936	128,391
50	63,400	21,100	0,096	3,199	30	96,602	119,532
55	69,740	23,210	0,096	3,199	30	103,270	111,814
60	76,080	25,320	0,096	3,199	30	109,939	105,031
65	82,420	27,430	0,096	3,199	30	116,610	99,022
70	88,760	29,540	0,096	3,199	30	123,283	93,663
75	95,100	31,650	0,096	3,199	30	129,956	88,853
80	101,440	33,760	0,096	3,199	30	136,630	84,513
85	107,780	35,870	0,096	3,199	30	143,304	80,577
90	114,120	37,980	0,096	3,199	30	149,980	76,990
95	120,460	40,090	0,096	3,199	30	156,656	73,709
100	126,800	42,200	0,096	3,199	30	163,332	70,696

Πίνακας 5.3.1-5: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,096\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=3,199\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	100	100,147	115,300
5	6,340	2,110	0,096	3,199	100	106,568	108,353
10	12,680	4,220	0,096	3,199	100	113,020	102,168
15	19,020	6,330	0,096	3,199	100	119,497	96,630
20	25,360	8,440	0,096	3,199	100	125,995	91,647
25	31,700	10,550	0,096	3,199	100	132,511	87,140
30	38,040	12,660	0,096	3,199	100	139,043	83,046
35	44,380	14,770	0,096	3,199	100	145,589	79,312
40	50,720	16,880	0,096	3,199	100	152,147	75,894
45	57,060	18,990	0,096	3,199	100	158,715	72,753
50	63,400	21,100	0,096	3,199	100	165,292	69,858
55	69,740	23,210	0,096	3,199	100	171,877	67,182
60	76,080	25,320	0,096	3,199	100	178,469	64,700
65	82,420	27,430	0,096	3,199	100	185,068	62,393
70	88,760	29,540	0,096	3,199	100	191,673	60,243
75	95,100	31,650	0,096	3,199	100	198,282	58,235
80	101,440	33,760	0,096	3,199	100	204,897	56,355
85	107,780	35,870	0,096	3,199	100	211,516	54,592
90	114,120	37,980	0,096	3,199	100	218,138	52,934
95	120,460	40,090	0,096	3,199	100	224,764	51,374
100	126,800	42,200	0,096	3,199	100	231,393	49,902

Πίνακας 5.3.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,096\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	200	200,122	57,700
5	6,340	2,110	0,096	3,199	200	206,504	55,917
10	12,680	4,220	0,096	3,199	200	212,905	54,235
15	19,020	6,330	0,096	3,199	200	219,323	52,648
20	25,360	8,440	0,096	3,199	200	225,756	51,148
25	31,700	10,550	0,096	3,199	200	232,203	49,728
30	38,040	12,660	0,096	3,199	200	238,663	48,382
35	44,380	14,770	0,096	3,199	200	245,135	47,105
40	50,720	16,880	0,096	3,199	200	251,618	45,891
45	57,060	18,990	0,096	3,199	200	258,112	44,736
50	63,400	21,100	0,096	3,199	200	264,614	43,637
55	69,740	23,210	0,096	3,199	200	271,125	42,589
60	76,080	25,320	0,096	3,199	200	277,645	41,589
65	82,420	27,430	0,096	3,199	200	284,171	40,634
70	88,760	29,540	0,096	3,199	200	290,705	39,721
75	95,100	31,650	0,096	3,199	200	297,246	38,847
80	101,440	33,760	0,096	3,199	200	303,793	38,010
85	107,780	35,870	0,096	3,199	200	310,345	37,207
90	114,120	37,980	0,096	3,199	200	316,903	36,437
95	120,460	40,090	0,096	3,199	200	323,466	35,698
100	126,800	42,200	0,096	3,199	200	330,033	34,987

Πίνακας 5.3.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,096\Omega$, $X_{M\Sigma}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	500	500,106	23,089
5	6,340	2,110	0,096	3,199	500	506,464	22,799
10	12,680	4,220	0,096	3,199	500	512,830	22,516
15	19,020	6,330	0,096	3,199	500	519,203	22,240
20	25,360	8,440	0,096	3,199	500	525,585	21,970
25	31,700	10,550	0,096	3,199	500	531,974	21,706
30	38,040	12,660	0,096	3,199	500	538,370	21,448
35	44,380	14,770	0,096	3,199	500	544,772	21,196
40	50,720	16,880	0,096	3,199	500	551,182	20,950
45	57,060	18,990	0,096	3,199	500	557,598	20,708
50	63,400	21,100	0,096	3,199	500	564,020	20,473
55	69,740	23,210	0,096	3,199	500	570,448	20,242
60	76,080	25,320	0,096	3,199	500	576,881	20,016
65	82,420	27,430	0,096	3,199	500	583,321	19,795
70	88,760	29,540	0,096	3,199	500	589,765	19,579
75	95,100	31,650	0,096	3,199	500	596,215	19,367
80	101,440	33,760	0,096	3,199	500	602,670	19,160
85	107,780	35,870	0,096	3,199	500	609,130	18,957
90	114,120	37,980	0,096	3,199	500	615,595	18,757
95	120,460	40,090	0,096	3,199	500	622,064	18,562
100	126,800	42,200	0,096	3,199	500	628,538	18,371

Πίνακας 5.3.1-8: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,096\Omega$, $X_{ΜΣ}=3,199\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	1000	1000,101	11,546
5	6,340	2,110	0,096	3,199	1000	1006,450	11,473
10	12,680	4,220	0,096	3,199	1000	1012,803	11,401
15	19,020	6,330	0,096	3,199	1000	1019,161	11,330
20	25,360	8,440	0,096	3,199	1000	1025,522	11,260
25	31,700	10,550	0,096	3,199	1000	1031,888	11,190
30	38,040	12,660	0,096	3,199	1000	1038,257	11,122
35	44,380	14,770	0,096	3,199	1000	1044,631	11,054
40	50,720	16,880	0,096	3,199	1000	1051,008	10,987
45	57,060	18,990	0,096	3,199	1000	1057,389	10,920
50	63,400	21,100	0,096	3,199	1000	1063,774	10,855
55	69,740	23,210	0,096	3,199	1000	1070,162	10,790
60	76,080	25,320	0,096	3,199	1000	1076,554	10,726
65	82,420	27,430	0,096	3,199	1000	1082,949	10,663
70	88,760	29,540	0,096	3,199	1000	1089,348	10,600
75	95,100	31,650	0,096	3,199	1000	1095,750	10,538
80	101,440	33,760	0,096	3,199	1000	1102,156	10,477
85	107,780	35,870	0,096	3,199	1000	1108,565	10,416
90	114,120	37,980	0,096	3,199	1000	1114,977	10,356
95	120,460	40,090	0,096	3,199	1000	1121,392	10,297
100	126,800	42,200	0,096	3,199	1000	1127,810	10,238

Πίνακας 5.3.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,096\Omega$, $X_{M\Sigma}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	2000	2000,099	5,773
5	6,340	2,110	0,096	3,199	2000	2006,443	5,755
10	12,680	4,220	0,096	3,199	2000	2012,790	5,737
15	19,020	6,330	0,096	3,199	2000	2019,138	5,719
20	25,360	8,440	0,096	3,199	2000	2025,489	5,701
25	31,700	10,550	0,096	3,199	2000	2031,843	5,683
30	38,040	12,660	0,096	3,199	2000	2038,198	5,665
35	44,380	14,770	0,096	3,199	2000	2044,555	5,648
40	50,720	16,880	0,096	3,199	2000	2050,914	5,630
45	57,060	18,990	0,096	3,199	2000	2057,276	5,613
50	63,400	21,100	0,096	3,199	2000	2063,639	5,595
55	69,740	23,210	0,096	3,199	2000	2070,004	5,578
60	76,080	25,320	0,096	3,199	2000	2076,372	5,561
65	82,420	27,430	0,096	3,199	2000	2082,741	5,544
70	88,760	29,540	0,096	3,199	2000	2089,113	5,527
75	95,100	31,650	0,096	3,199	2000	2095,486	5,510
80	101,440	33,760	0,096	3,199	2000	2101,861	5,494
85	107,780	35,870	0,096	3,199	2000	2108,238	5,477
90	114,120	37,980	0,096	3,199	2000	2114,617	5,461
95	120,460	40,090	0,096	3,199	2000	2120,998	5,444
100	126,800	42,200	0,096	3,199	2000	2127,380	5,428

Πίνακας 5.3.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,096\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=3,199\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$**

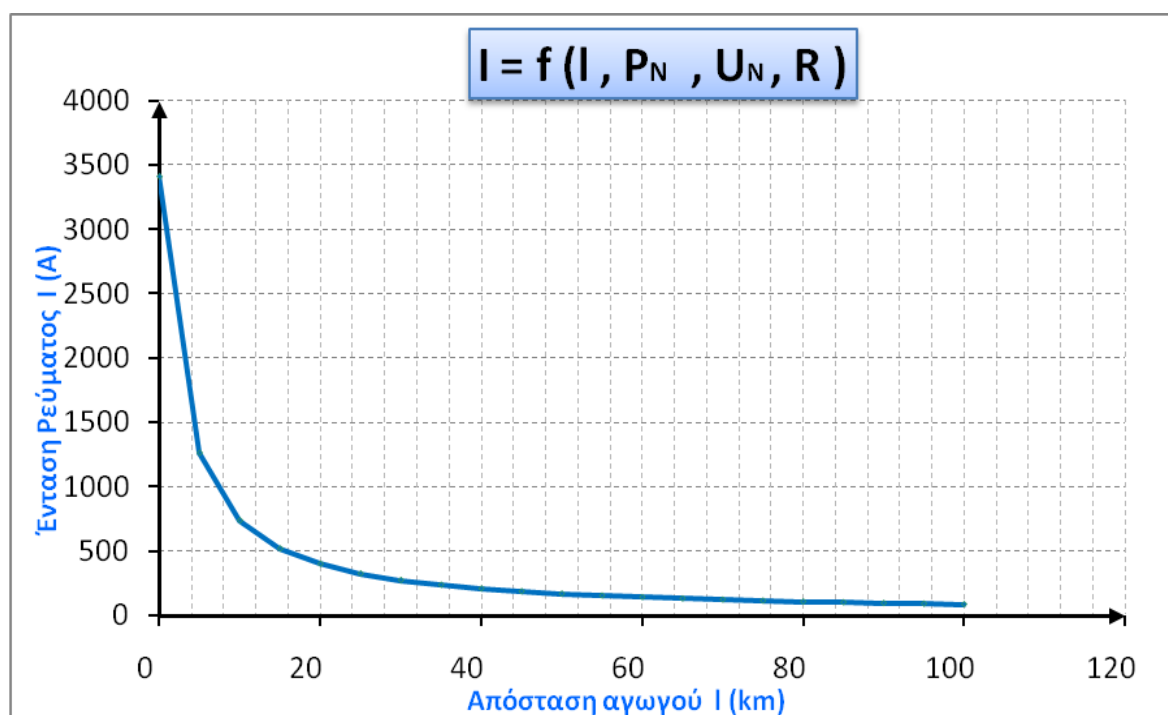
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,096	3,199	3000	3000,098	3,849
5	6,340	2,110	0,096	3,199	3000	3006,441	3,841
10	12,680	4,220	0,096	3,199	3000	3012,785	3,833
15	19,020	6,330	0,096	3,199	3000	3019,131	3,825
20	25,360	8,440	0,096	3,199	3000	3025,478	3,817
25	31,700	10,550	0,096	3,199	3000	3031,827	3,809
30	38,040	12,660	0,096	3,199	3000	3038,177	3,801
35	44,380	14,770	0,096	3,199	3000	3044,529	3,793
40	50,720	16,880	0,096	3,199	3000	3050,882	3,785
45	57,060	18,990	0,096	3,199	3000	3057,237	3,777
50	63,400	21,100	0,096	3,199	3000	3063,592	3,769
55	69,740	23,210	0,096	3,199	3000	3069,950	3,761
60	76,080	25,320	0,096	3,199	3000	3076,308	3,754
65	82,420	27,430	0,096	3,199	3000	3082,668	3,746
70	88,760	29,540	0,096	3,199	3000	3089,029	3,738
75	95,100	31,650	0,096	3,199	3000	3095,392	3,730
80	101,440	33,760	0,096	3,199	3000	3101,756	3,723
85	107,780	35,870	0,096	3,199	3000	3108,122	3,715
90	114,120	37,980	0,096	3,199	3000	3114,488	3,708
95	120,460	40,090	0,096	3,199	3000	3120,856	3,700
100	126,800	42,200	0,096	3,199	3000	3127,226	3,692

Πίνακας 5.3.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,

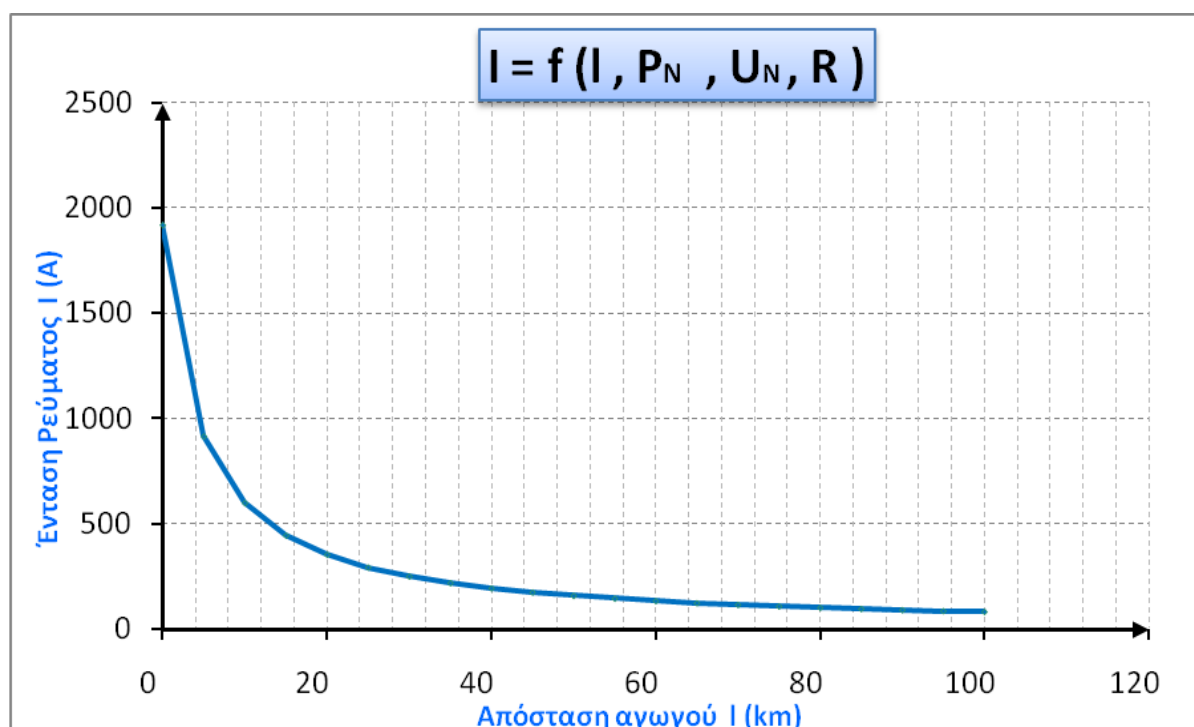
$P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km

Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$

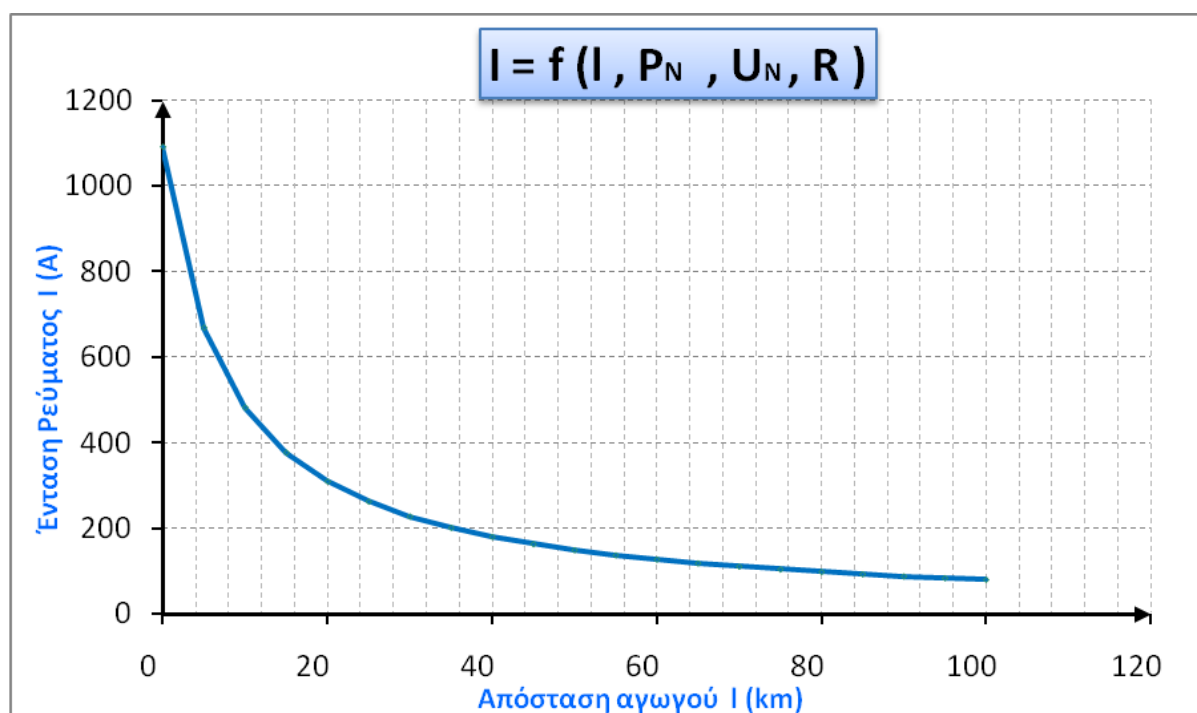
ΜΣ 150kV/20kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,096\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=3,199\Omega$



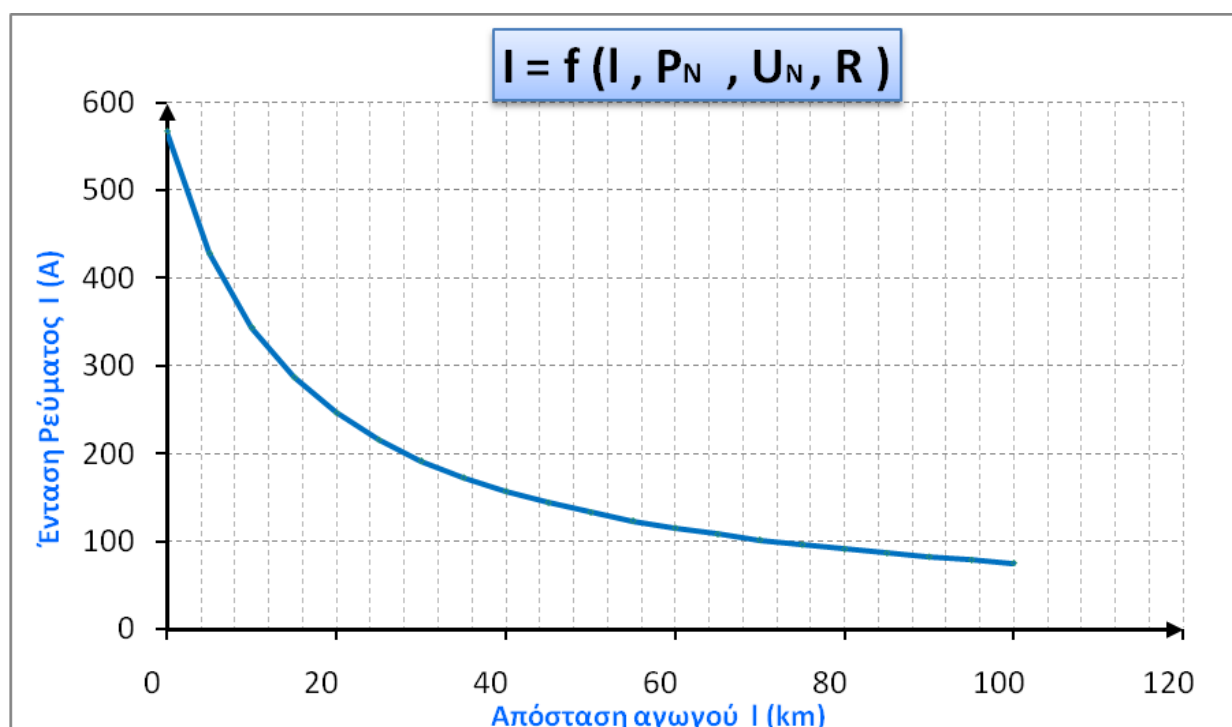
Σχήμα 5.3.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



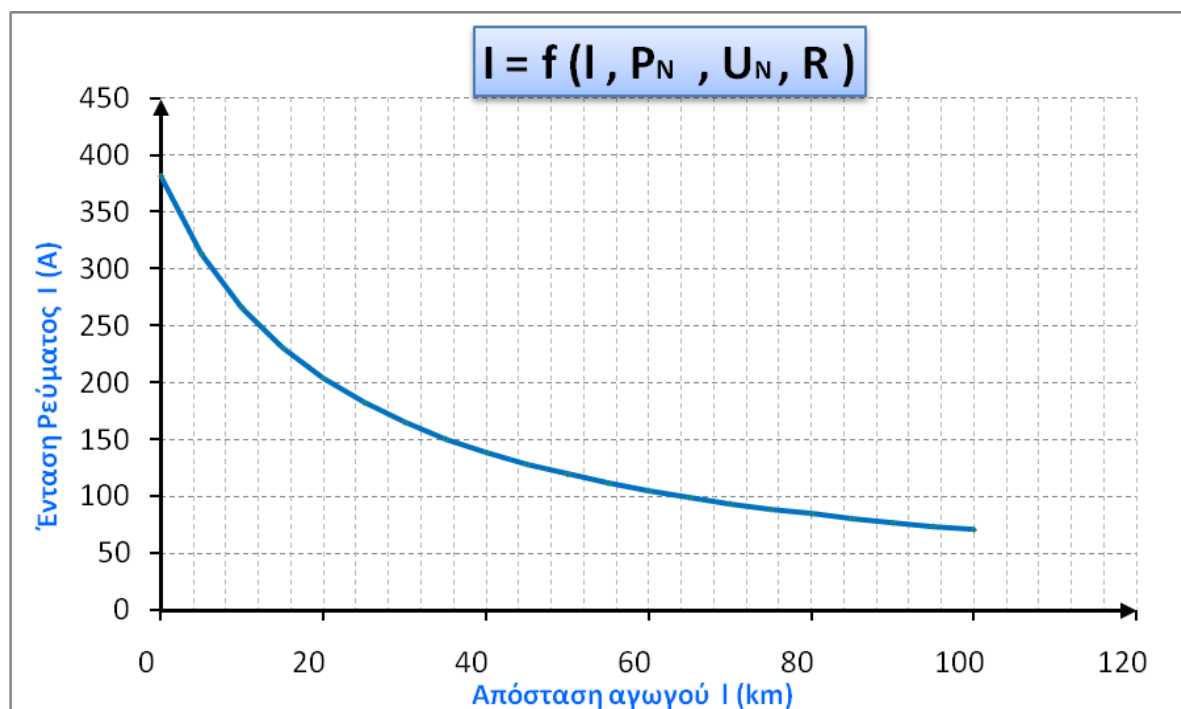
Σχήμα 5.3.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



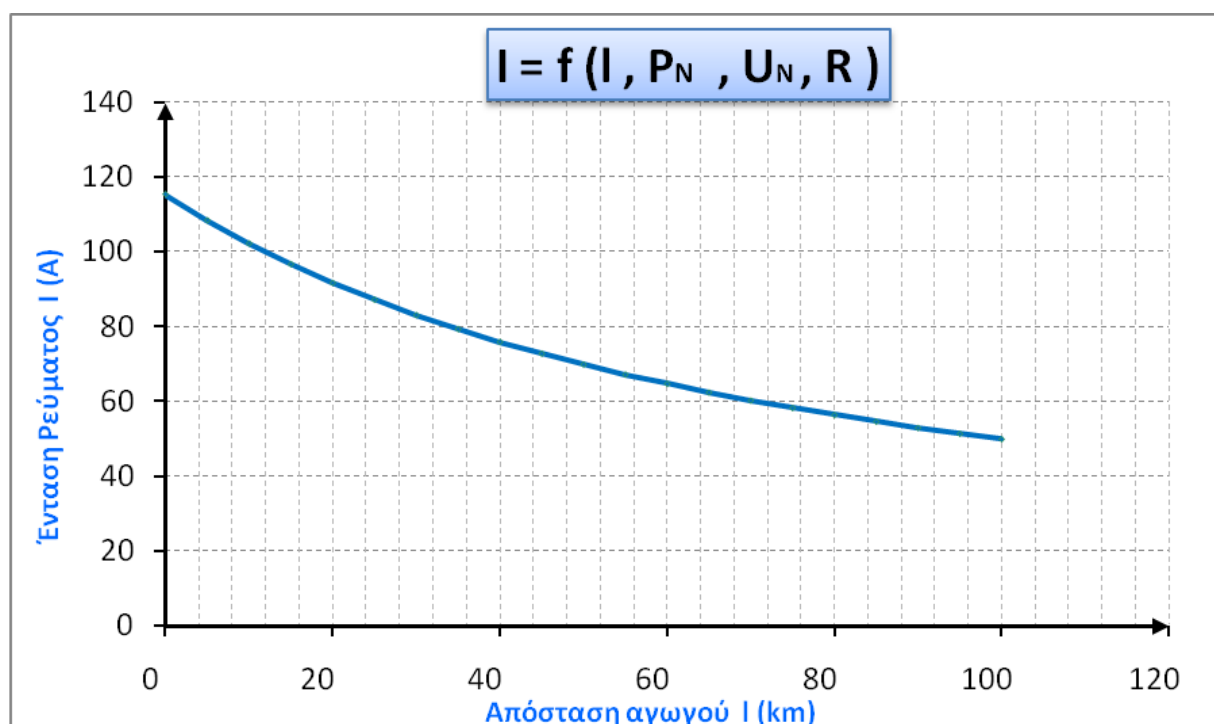
Σχήμα 5.3.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



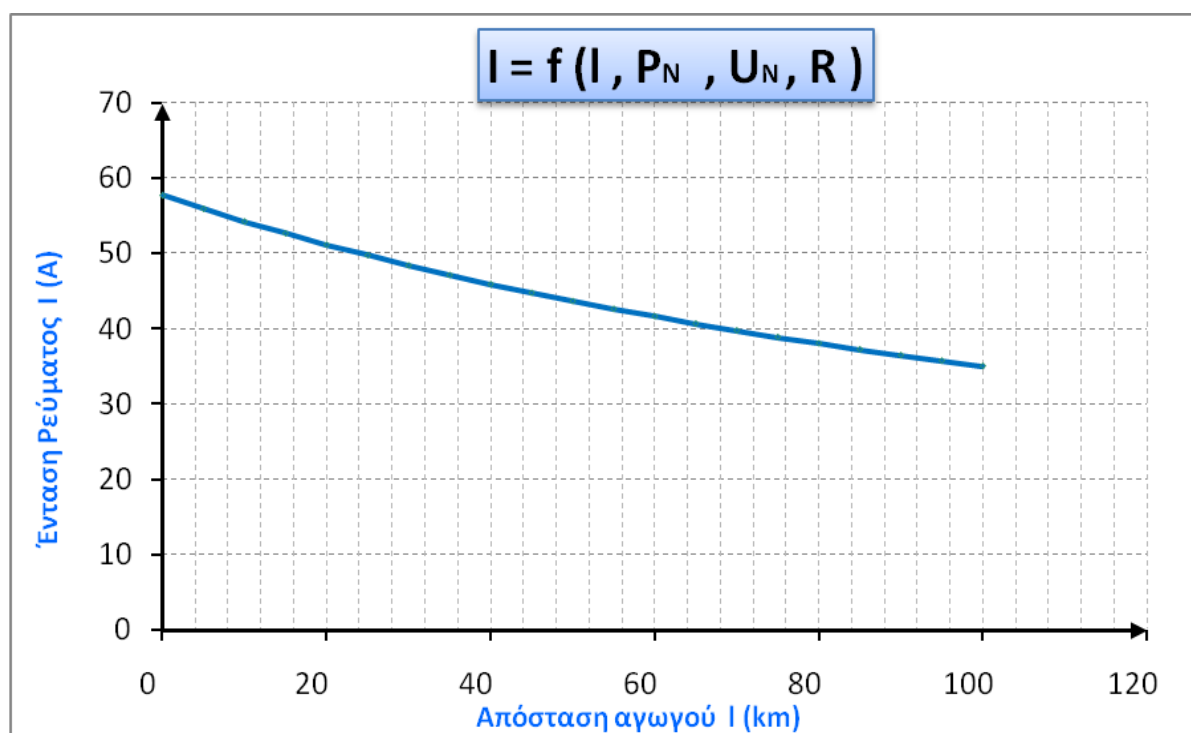
Σχήμα 5.3.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.3.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

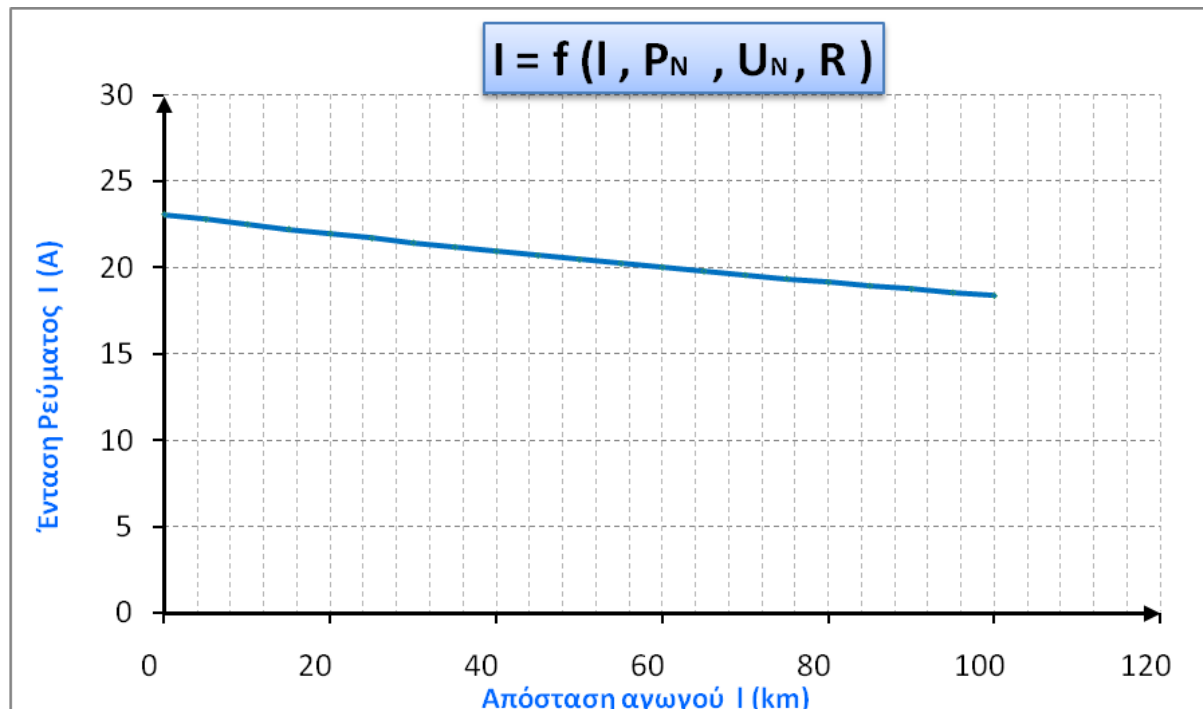


Σχήμα 5.3.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



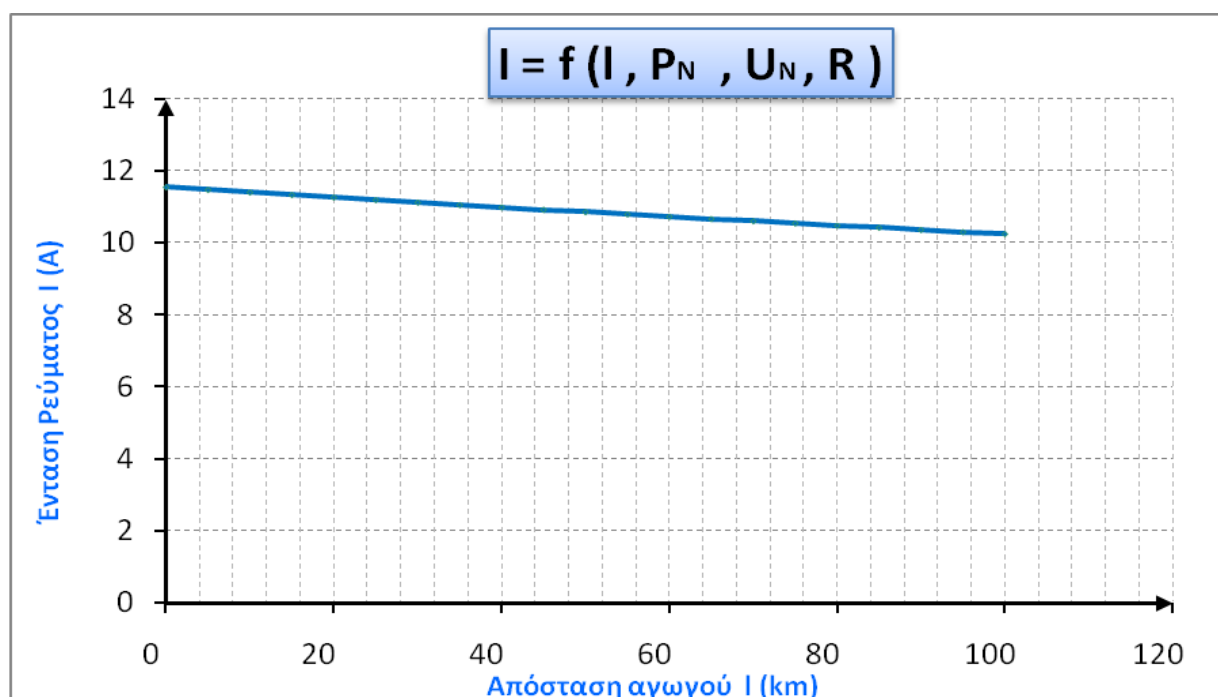
Σχήμα 5.3.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

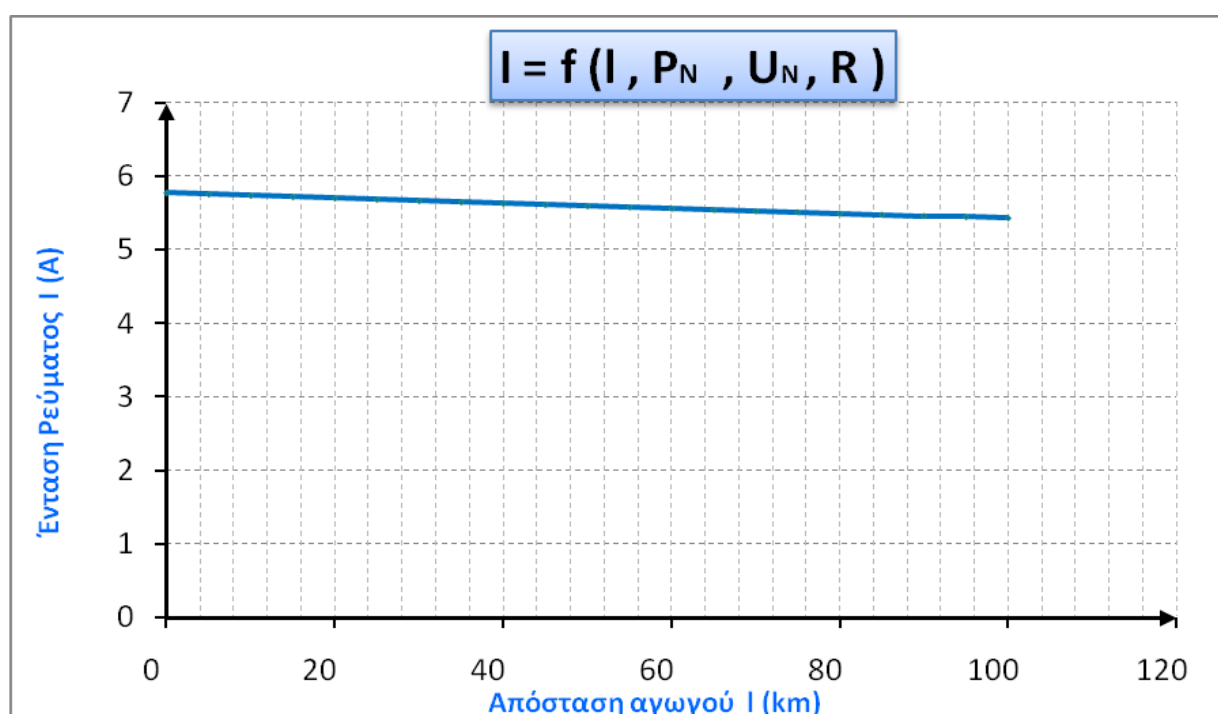


Σχήμα 5.3.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

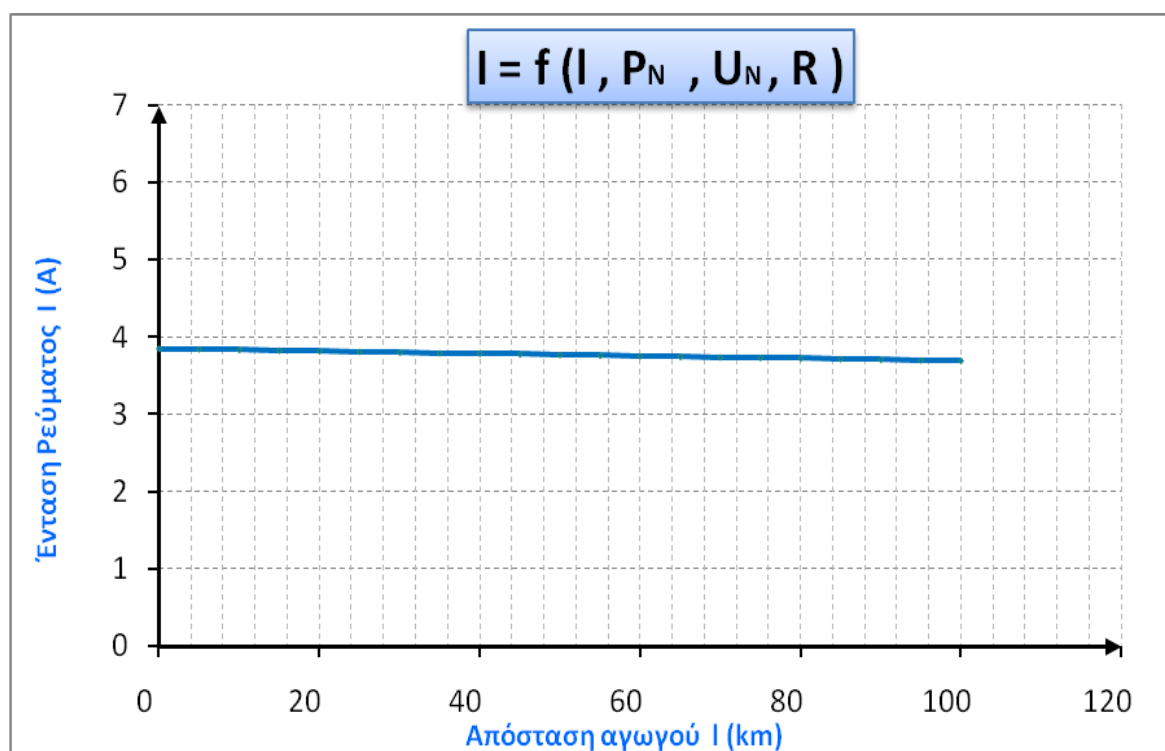
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.3.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.3.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

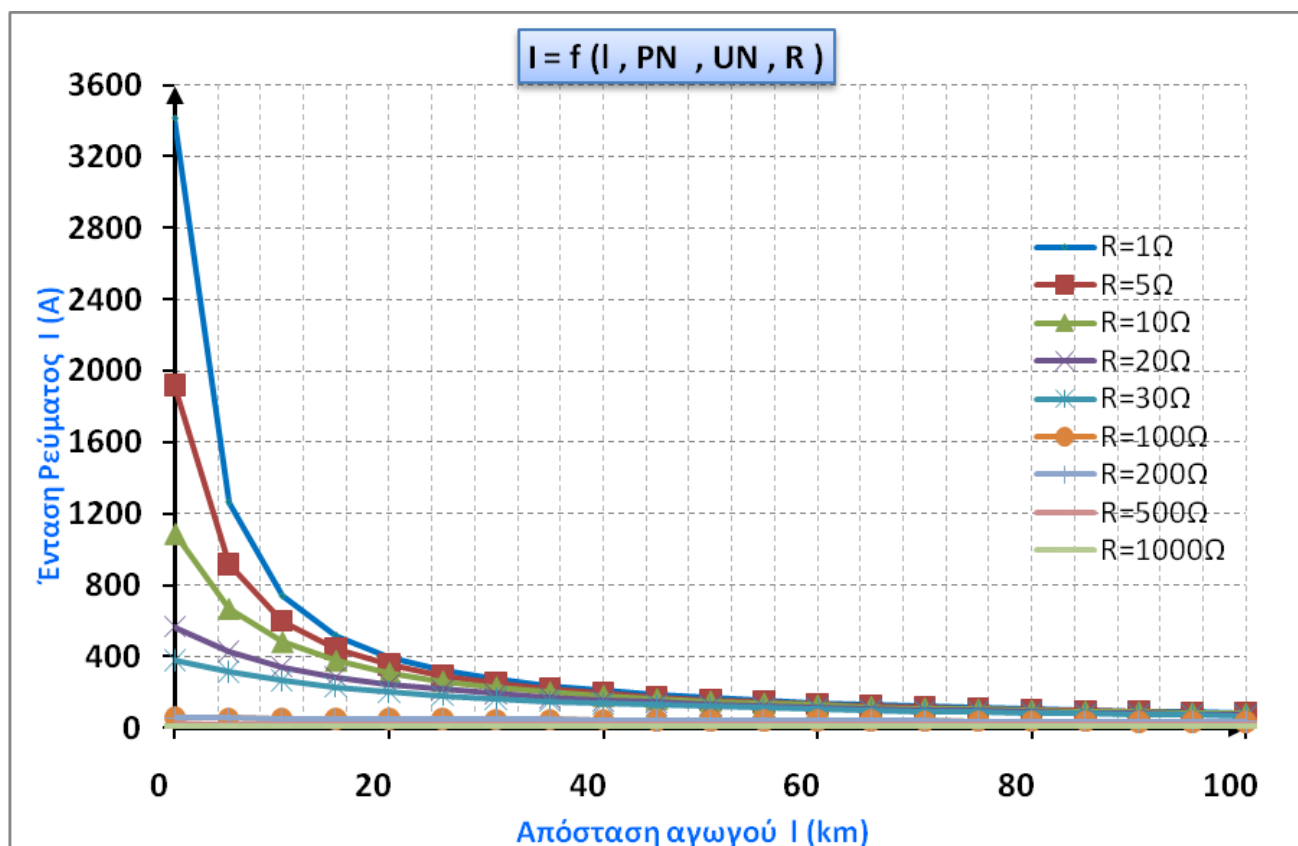


Σχήμα 5.3.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.3.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} .
 $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

5.3.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=100\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

5.4 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm^2 , $P_N=50\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

5.4.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 50 \text{ MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_\delta = 1 \Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	1	1,912	6039,757
5	6,340	2,110	0,048	1,599	1	8,267	1396,800
10	12,680	4,220	0,048	1,599	1	14,910	774,429
15	19,020	6,330	0,048	1,599	1	21,578	535,138
20	25,360	8,440	0,048	1,599	1	28,252	408,718
25	31,700	10,550	0,048	1,599	1	34,929	330,586
30	38,040	12,660	0,048	1,599	1	41,608	277,522
35	44,380	14,770	0,048	1,599	1	48,287	239,132
40	50,720	16,880	0,048	1,599	1	54,967	210,071
45	57,060	18,990	0,048	1,599	1	61,648	187,306
50	63,400	21,100	0,048	1,599	1	68,329	168,992
55	69,740	23,210	0,048	1,599	1	75,010	153,941
60	76,080	25,320	0,048	1,599	1	81,691	141,350
65	82,420	27,430	0,048	1,599	1	88,372	130,664
70	88,760	29,540	0,048	1,599	1	95,053	121,479
75	95,100	31,650	0,048	1,599	1	101,735	113,501
80	101,440	33,760	0,048	1,599	1	108,416	106,506
85	107,780	35,870	0,048	1,599	1	115,098	100,324
90	114,120	37,980	0,048	1,599	1	121,779	94,819
95	120,460	40,090	0,048	1,599	1	128,461	89,887
100	126,800	42,200	0,048	1,599	1	135,142	85,443

Πίνακας 5.4.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_\delta = 1 \Omega$ του εδάφους,
 $P_N = 50 \text{ MVA}$, $L =$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km} = 1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} = 0,422 \Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma} = 0.048 \Omega$, $X_{M\Sigma} = 1,599 \Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	5	5,295	2180,657
5	6,340	2,110	0,048	1,599	5	11,977	964,116
10	12,680	4,220	0,048	1,599	5	18,659	618,858
15	19,020	6,330	0,048	1,599	5	25,340	455,675
20	25,360	8,440	0,048	1,599	5	32,022	360,593
25	31,700	10,550	0,048	1,599	5	38,704	298,340
30	38,040	12,660	0,048	1,599	5	45,386	254,417
35	44,380	14,770	0,048	1,599	5	52,068	221,768
40	50,720	16,880	0,048	1,599	5	58,750	196,545
45	57,060	18,990	0,048	1,599	5	65,432	176,474
50	63,400	21,100	0,048	1,599	5	72,114	160,122
55	69,740	23,210	0,048	1,599	5	78,796	146,544
60	76,080	25,320	0,048	1,599	5	85,477	135,088
65	82,420	27,430	0,048	1,599	5	92,159	125,294
70	88,760	29,540	0,048	1,599	5	98,841	116,824
75	95,100	31,650	0,048	1,599	5	105,523	109,426
80	101,440	33,760	0,048	1,599	5	112,205	102,910
85	107,780	35,870	0,048	1,599	5	118,887	97,126
90	114,120	37,980	0,048	1,599	5	125,569	91,958
95	120,460	40,090	0,048	1,599	5	132,251	87,312
100	126,800	42,200	0,048	1,599	5	138,933	83,112

Πίνακας 5.4.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,048\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	10	10,174	1134,904
5	6,340	2,110	0,048	1,599	10	16,802	687,220
10	12,680	4,220	0,048	1,599	10	23,461	492,177
15	19,020	6,330	0,048	1,599	10	30,130	383,239
20	25,360	8,440	0,048	1,599	10	36,804	313,746
25	31,700	10,550	0,048	1,599	10	43,480	265,572
30	38,040	12,660	0,048	1,599	10	50,158	230,215
35	44,380	14,770	0,048	1,599	10	56,836	203,163
40	50,720	16,880	0,048	1,599	10	63,516	181,798
45	57,060	18,990	0,048	1,599	10	70,195	164,498
50	63,400	21,100	0,048	1,599	10	76,876	150,204
55	69,740	23,210	0,048	1,599	10	83,556	138,195
60	76,080	25,320	0,048	1,599	10	90,237	127,963
65	82,420	27,430	0,048	1,599	10	96,918	119,143
70	88,760	29,540	0,048	1,599	10	103,599	111,459
75	95,100	31,650	0,048	1,599	10	110,280	104,707
80	101,440	33,760	0,048	1,599	10	116,961	98,725
85	107,780	35,870	0,048	1,599	10	123,642	93,391
90	114,120	37,980	0,048	1,599	10	130,323	88,603
95	120,460	40,090	0,048	1,599	10	137,005	84,282
100	126,800	42,200	0,048	1,599	10	143,686	80,363

Πίνακας 5.4.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	20	20,112	574,145
5	6,340	2,110	0,048	1,599	20	26,647	433,326
10	12,680	4,220	0,048	1,599	20	33,241	347,369
15	19,020	6,330	0,048	1,599	20	39,864	289,656
20	25,360	8,440	0,048	1,599	20	46,504	248,299
25	31,700	10,550	0,048	1,599	20	53,155	217,233
30	38,040	12,660	0,048	1,599	20	59,812	193,053
35	44,380	14,770	0,048	1,599	20	66,475	173,705
40	50,720	16,880	0,048	1,599	20	73,141	157,874
45	57,060	18,990	0,048	1,599	20	79,809	144,682
50	63,400	21,100	0,048	1,599	20	86,480	133,522
55	69,740	23,210	0,048	1,599	20	93,152	123,958
60	76,080	25,320	0,048	1,599	20	99,826	115,671
65	82,420	27,430	0,048	1,599	20	106,501	108,422
70	88,760	29,540	0,048	1,599	20	113,176	102,027
75	95,100	31,650	0,048	1,599	20	119,852	96,344
80	101,440	33,760	0,048	1,599	20	126,529	91,260
85	107,780	35,870	0,048	1,599	20	133,206	86,685
90	114,120	37,980	0,048	1,599	20	139,884	82,547
95	120,460	40,090	0,048	1,599	20	146,562	78,786
100	126,800	42,200	0,048	1,599	20	153,241	75,352

Πίνακας 5.4.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	30	30,091	383,742
5	6,340	2,110	0,048	1,599	30	36,577	315,694
10	12,680	4,220	0,048	1,599	30	43,122	267,773
15	19,020	6,330	0,048	1,599	30	49,705	232,313
20	25,360	8,440	0,048	1,599	30	56,310	205,061
25	31,700	10,550	0,048	1,599	30	62,932	183,484
30	38,040	12,660	0,048	1,599	30	69,565	165,989
35	44,380	14,770	0,048	1,599	30	76,207	151,522
40	50,720	16,880	0,048	1,599	30	82,855	139,364
45	57,060	18,990	0,048	1,599	30	89,508	129,005
50	63,400	21,100	0,048	1,599	30	96,165	120,074
55	69,740	23,210	0,048	1,599	30	102,826	112,297
60	76,080	25,320	0,048	1,599	30	109,489	105,463
65	82,420	27,430	0,048	1,599	30	116,154	99,411
70	88,760	29,540	0,048	1,599	30	122,821	94,015
75	95,100	31,650	0,048	1,599	30	129,489	89,173
80	101,440	33,760	0,048	1,599	30	136,159	84,805
85	107,780	35,870	0,048	1,599	30	142,830	80,844
90	114,120	37,980	0,048	1,599	30	149,502	77,236
95	120,460	40,090	0,048	1,599	30	156,175	73,936
100	126,800	42,200	0,048	1,599	30	162,849	70,906

Πίνακας 5.4.1-5: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,048\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	100	100,061	115,400
5	6,340	2,110	0,048	1,599	100	106,453	108,471
10	12,680	4,220	0,048	1,599	100	112,878	102,296
15	19,020	6,330	0,048	1,599	100	119,332	96,764
20	25,360	8,440	0,048	1,599	100	125,809	91,782
25	31,700	10,550	0,048	1,599	100	132,307	87,274
30	38,040	12,660	0,048	1,599	100	138,822	83,178
35	44,380	14,770	0,048	1,599	100	145,353	79,441
40	50,720	16,880	0,048	1,599	100	151,896	76,019
45	57,060	18,990	0,048	1,599	100	158,451	72,874
50	63,400	21,100	0,048	1,599	100	165,017	69,975
55	69,740	23,210	0,048	1,599	100	171,591	67,294
60	76,080	25,320	0,048	1,599	100	178,173	64,808
65	82,420	27,430	0,048	1,599	100	184,763	62,496
70	88,760	29,540	0,048	1,599	100	191,359	60,342
75	95,100	31,650	0,048	1,599	100	197,960	58,330
80	101,440	33,760	0,048	1,599	100	204,567	56,446
85	107,780	35,870	0,048	1,599	100	211,179	54,679
90	114,120	37,980	0,048	1,599	100	217,794	53,018
95	120,460	40,090	0,048	1,599	100	224,414	51,454
100	126,800	42,200	0,048	1,599	100	231,038	49,979

Πίνακας 5.4.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	200	200,054	57,719
5	6,340	2,110	0,048	1,599	200	206,421	55,939
10	12,680	4,220	0,048	1,599	200	212,808	54,260
15	19,020	6,330	0,048	1,599	200	219,211	52,675
20	25,360	8,440	0,048	1,599	200	225,631	51,176
25	31,700	10,550	0,048	1,599	200	232,066	49,757
30	38,040	12,660	0,048	1,599	200	238,515	48,412
35	44,380	14,770	0,048	1,599	200	244,975	47,135
40	50,720	16,880	0,048	1,599	200	251,448	45,922
45	57,060	18,990	0,048	1,599	200	257,931	44,768
50	63,400	21,100	0,048	1,599	200	264,424	43,669
55	69,740	23,210	0,048	1,599	200	270,926	42,620
60	76,080	25,320	0,048	1,599	200	277,437	41,620
65	82,420	27,430	0,048	1,599	200	283,956	40,665
70	88,760	29,540	0,048	1,599	200	290,482	39,751
75	95,100	31,650	0,048	1,599	200	297,015	38,877
80	101,440	33,760	0,048	1,599	200	303,554	38,039
85	107,780	35,870	0,048	1,599	200	310,100	37,236
90	114,120	37,980	0,048	1,599	200	316,651	36,466
95	120,460	40,090	0,048	1,599	200	323,208	35,726
100	126,800	42,200	0,048	1,599	200	329,770	35,015

Πίνακας 5.4.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	500	500,051	23,092
5	6,340	2,110	0,048	1,599	500	506,402	22,802
10	12,680	4,220	0,048	1,599	500	512,761	22,519
15	19,020	6,330	0,048	1,599	500	519,129	22,243
20	25,360	8,440	0,048	1,599	500	525,504	21,973
25	31,700	10,550	0,048	1,599	500	531,887	21,710
30	38,040	12,660	0,048	1,599	500	538,277	21,452
35	44,380	14,770	0,048	1,599	500	544,674	21,200
40	50,720	16,880	0,048	1,599	500	551,078	20,953
45	57,060	18,990	0,048	1,599	500	557,488	20,713
50	63,400	21,100	0,048	1,599	500	563,905	20,477
55	69,740	23,210	0,048	1,599	500	570,328	20,246
60	76,080	25,320	0,048	1,599	500	576,757	20,021
65	82,420	27,430	0,048	1,599	500	583,191	19,800
70	88,760	29,540	0,048	1,599	500	589,631	19,583
75	95,100	31,650	0,048	1,599	500	596,076	19,372
80	101,440	33,760	0,048	1,599	500	602,526	19,164
85	107,780	35,870	0,048	1,599	500	608,982	18,961
90	114,120	37,980	0,048	1,599	500	615,442	18,762
95	120,460	40,090	0,048	1,599	500	621,907	18,567
100	126,800	42,200	0,048	1,599	500	628,376	18,376

Πίνακας 5.4.1-8: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm² $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	1000	1000,049	11,546
5	6,340	2,110	0,048	1,599	1000	1006,395	11,474
10	12,680	4,220	0,048	1,599	1000	1012,745	11,402
15	19,020	6,330	0,048	1,599	1000	1019,099	11,331
20	25,360	8,440	0,048	1,599	1000	1025,457	11,260
25	31,700	10,550	0,048	1,599	1000	1031,820	11,191
30	38,040	12,660	0,048	1,599	1000	1038,186	11,122
35	44,380	14,770	0,048	1,599	1000	1044,556	11,054
40	50,720	16,880	0,048	1,599	1000	1050,930	10,987
45	57,060	18,990	0,048	1,599	1000	1057,308	10,921
50	63,400	21,100	0,048	1,599	1000	1063,690	10,856
55	69,740	23,210	0,048	1,599	1000	1070,076	10,791
60	76,080	25,320	0,048	1,599	1000	1076,465	10,727
65	82,420	27,430	0,048	1,599	1000	1082,857	10,663
70	88,760	29,540	0,048	1,599	1000	1089,253	10,601
75	95,100	31,650	0,048	1,599	1000	1095,653	10,539
80	101,440	33,760	0,048	1,599	1000	1102,055	10,478
85	107,780	35,870	0,048	1,599	1000	1108,461	10,417
90	114,120	37,980	0,048	1,599	1000	1114,871	10,357
95	120,460	40,090	0,048	1,599	1000	1121,283	10,298
100	126,800	42,200	0,048	1,599	1000	1127,699	10,239

Πίνακας 5.4.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{M\Sigma}=0,048\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,599\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

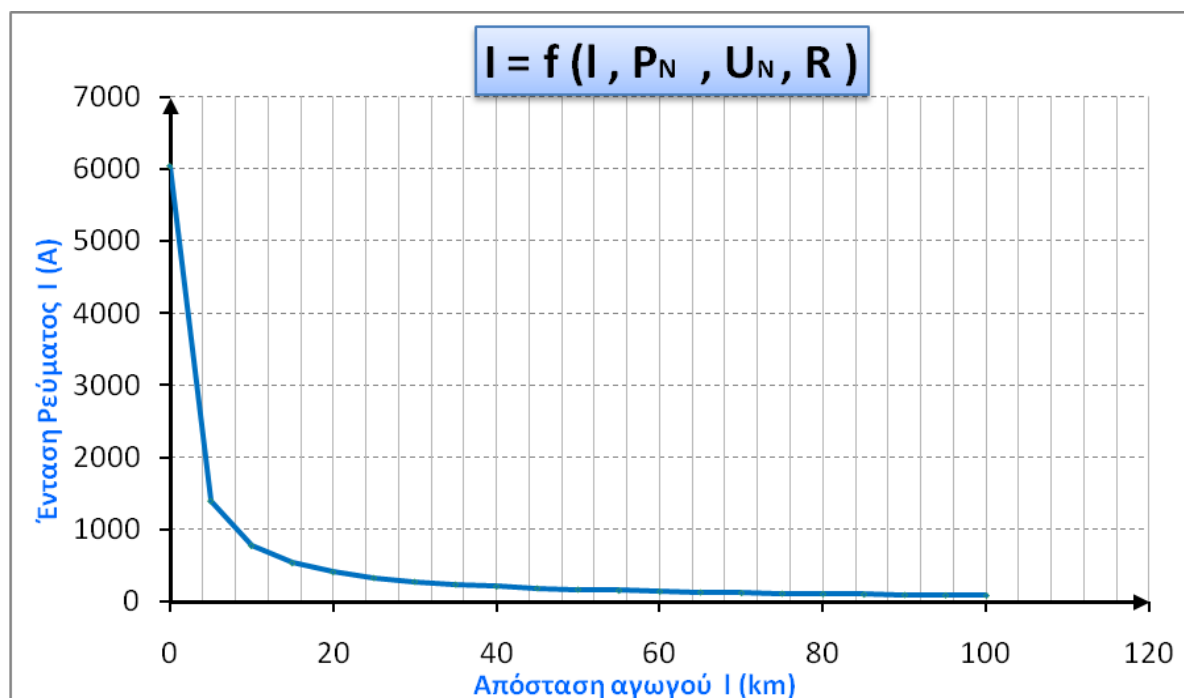
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	2000	2000,049	5,773
5	6,340	2,110	0,048	1,599	2000	2006,391	5,755
10	12,680	4,220	0,048	1,599	2000	2012,736	5,737
15	19,020	6,330	0,048	1,599	2000	2019,084	5,719
20	25,360	8,440	0,048	1,599	2000	2025,433	5,701
25	31,700	10,550	0,048	1,599	2000	2031,784	5,683
30	38,040	12,660	0,048	1,599	2000	2038,138	5,665
35	44,380	14,770	0,048	1,599	2000	2044,494	5,648
40	50,720	16,880	0,048	1,599	2000	2050,851	5,630
45	57,060	18,990	0,048	1,599	2000	2057,211	5,613
50	63,400	21,100	0,048	1,599	2000	2063,573	5,596
55	69,740	23,210	0,048	1,599	2000	2069,937	5,578
60	76,080	25,320	0,048	1,599	2000	2076,303	5,561
65	82,420	27,430	0,048	1,599	2000	2082,670	5,544
70	88,760	29,540	0,048	1,599	2000	2089,040	5,527
75	95,100	31,650	0,048	1,599	2000	2095,412	5,511
80	101,440	33,760	0,048	1,599	2000	2101,785	5,494
85	107,780	35,870	0,048	1,599	2000	2108,161	5,477
90	114,120	37,980	0,048	1,599	2000	2114,538	5,461
95	120,460	40,090	0,048	1,599	2000	2120,918	5,444
100	126,800	42,200	0,048	1,599	2000	2127,299	5,428

Πίνακας 5.4.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$

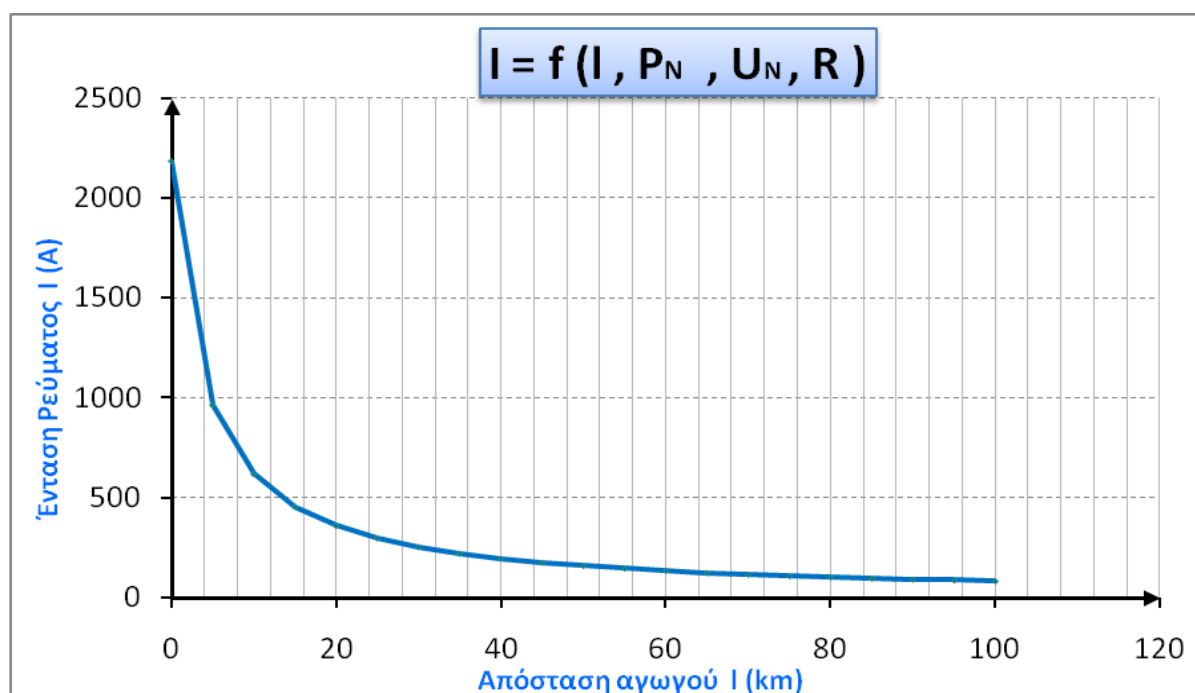
■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,048	1,599	3000	3000,048	3,849
5	6,340	2,110	0,048	1,599	3000	3006,390	3,841
10	12,680	4,220	0,048	1,599	3000	3012,734	3,833
15	19,020	6,330	0,048	1,599	3000	3019,078	3,825
20	25,360	8,440	0,048	1,599	3000	3025,425	3,817
25	31,700	10,550	0,048	1,599	3000	3031,772	3,809
30	38,040	12,660	0,048	1,599	3000	3038,121	3,801
35	44,380	14,770	0,048	1,599	3000	3044,472	3,793
40	50,720	16,880	0,048	1,599	3000	3050,824	3,785
45	57,060	18,990	0,048	1,599	3000	3057,177	3,777
50	63,400	21,100	0,048	1,599	3000	3063,532	3,769
55	69,740	23,210	0,048	1,599	3000	3069,888	3,761
60	76,080	25,320	0,048	1,599	3000	3076,246	3,754
65	82,420	27,430	0,048	1,599	3000	3082,605	3,746
70	88,760	29,540	0,048	1,599	3000	3088,965	3,738
75	95,100	31,650	0,048	1,599	3000	3095,327	3,730
80	101,440	33,760	0,048	1,599	3000	3101,690	3,723
85	107,780	35,870	0,048	1,599	3000	3108,054	3,715
90	114,120	37,980	0,048	1,599	3000	3114,420	3,708
95	120,460	40,090	0,048	1,599	3000	3120,786	3,700
100	126,800	42,200	0,048	1,599	3000	3127,155	3,692

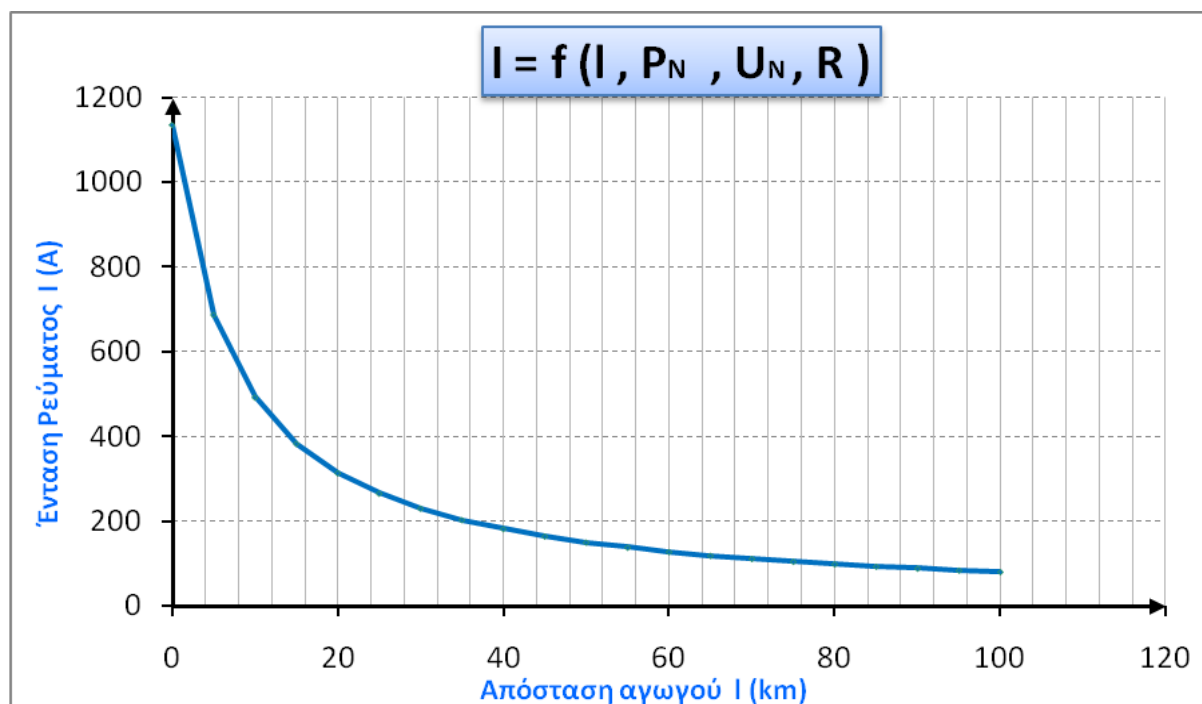
Πίνακας 5.4.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/20kV: $R_{ΜΣ}=0,048\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,599\Omega$



Σχήμα 5.4.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV

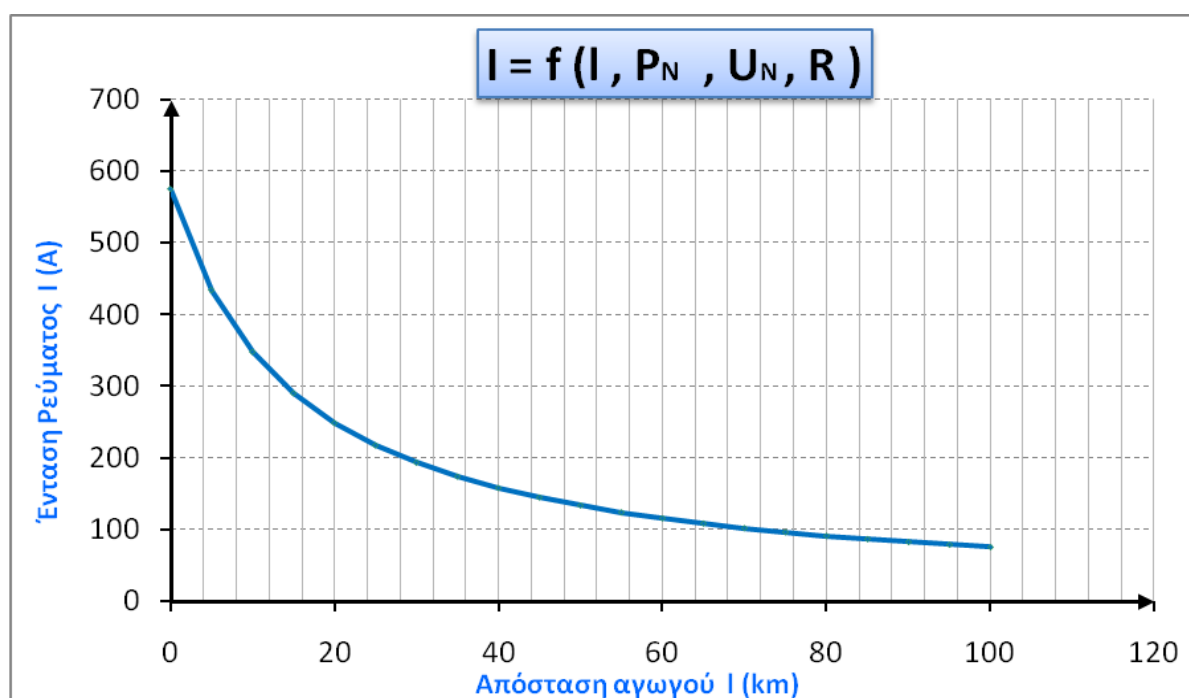


Σχήμα 5.4.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



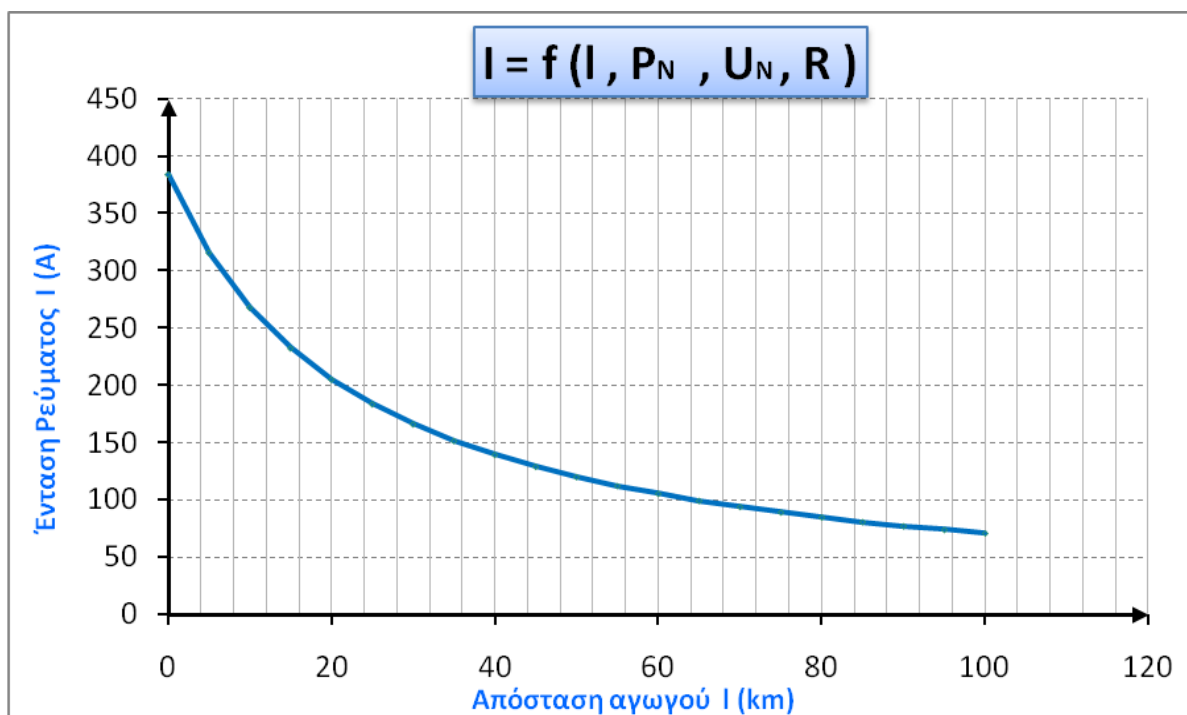
Σχήμα 5.4.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

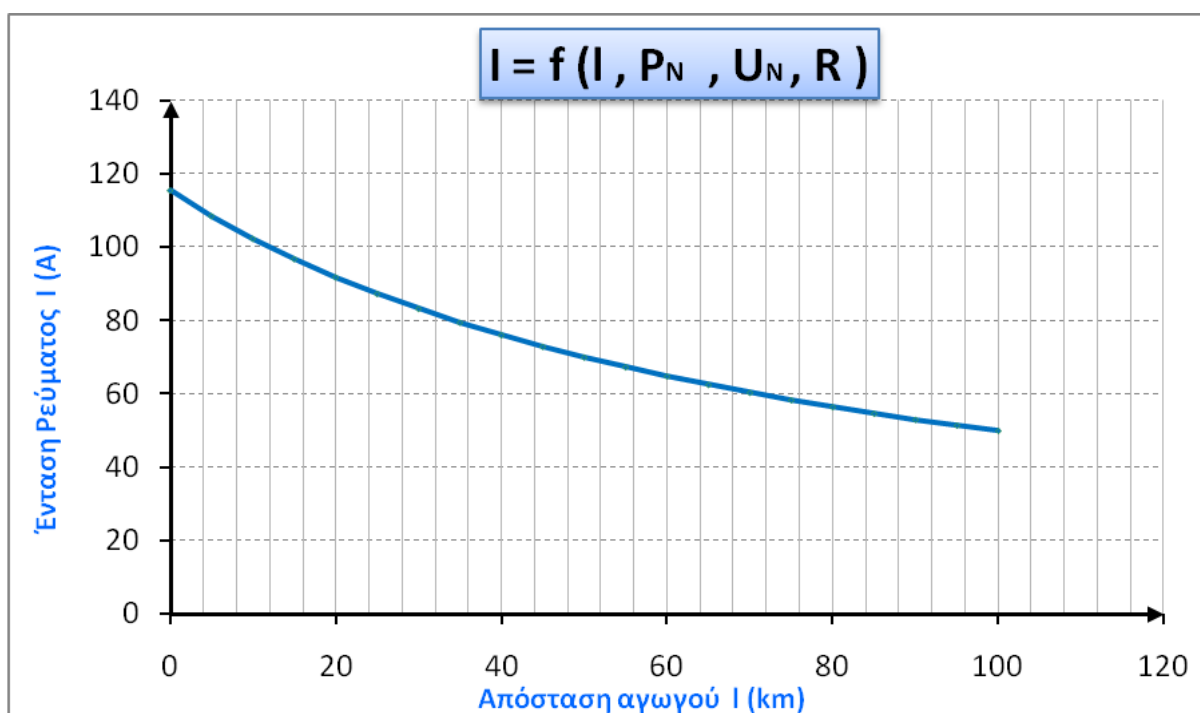


Σχήμα 5.4.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

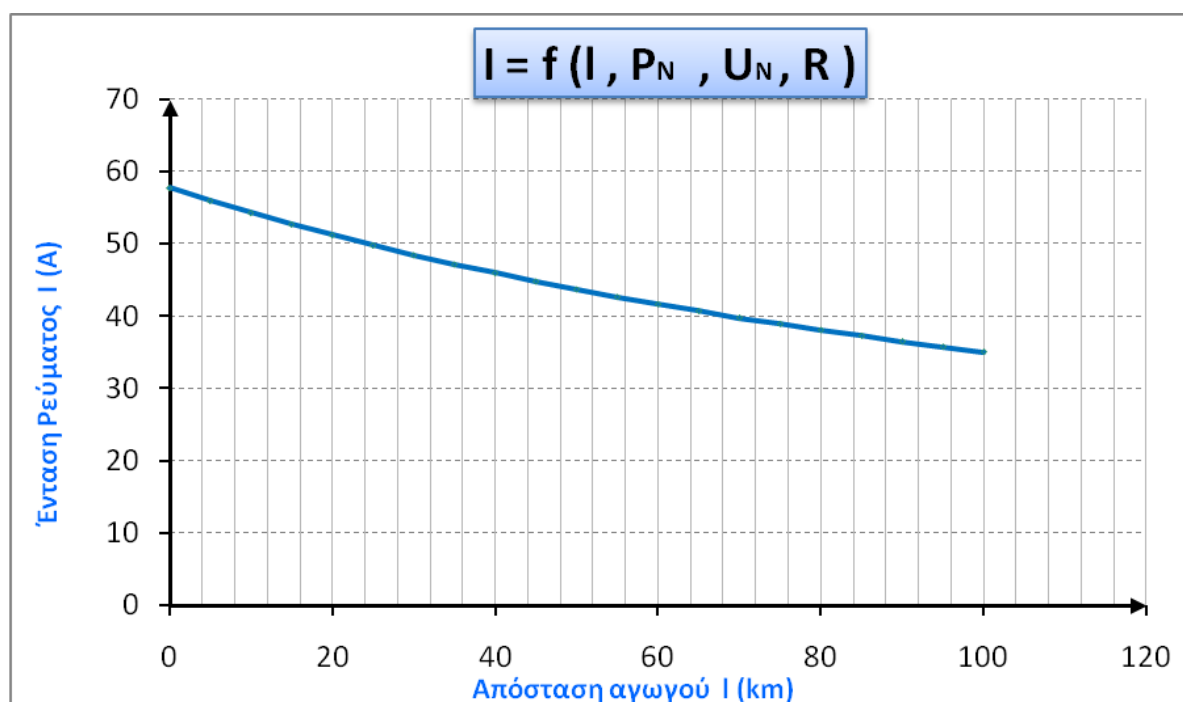
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.4.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV

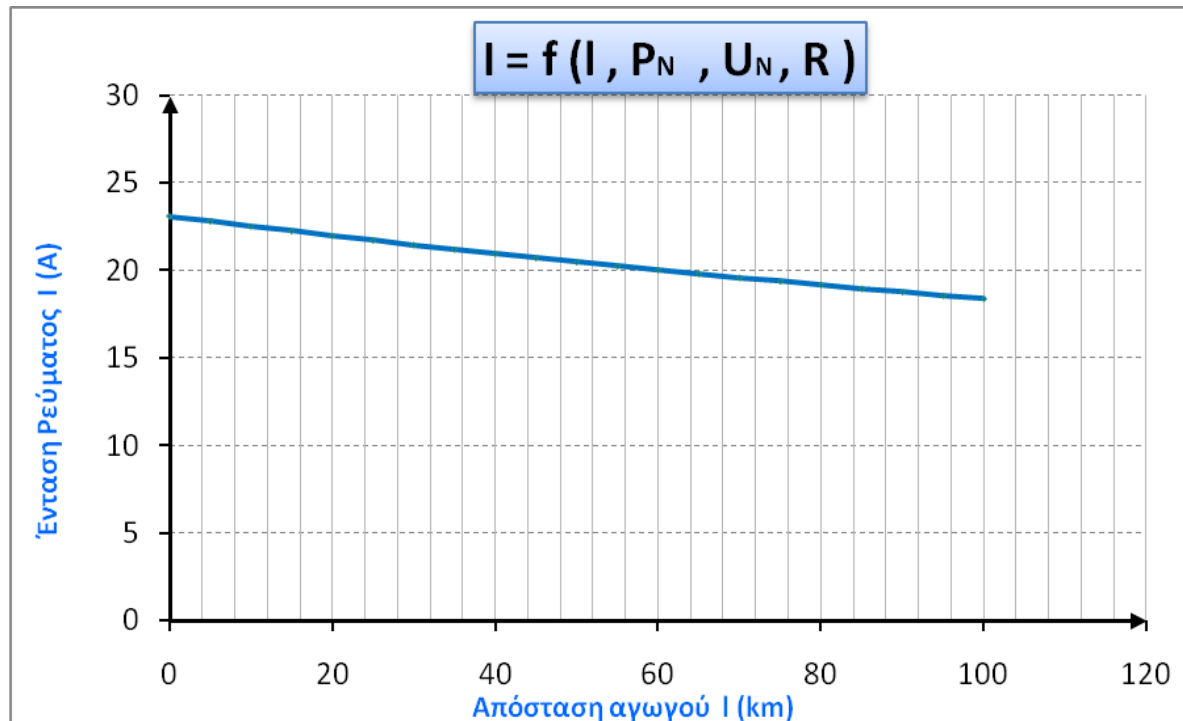


Σχήμα 5.4.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



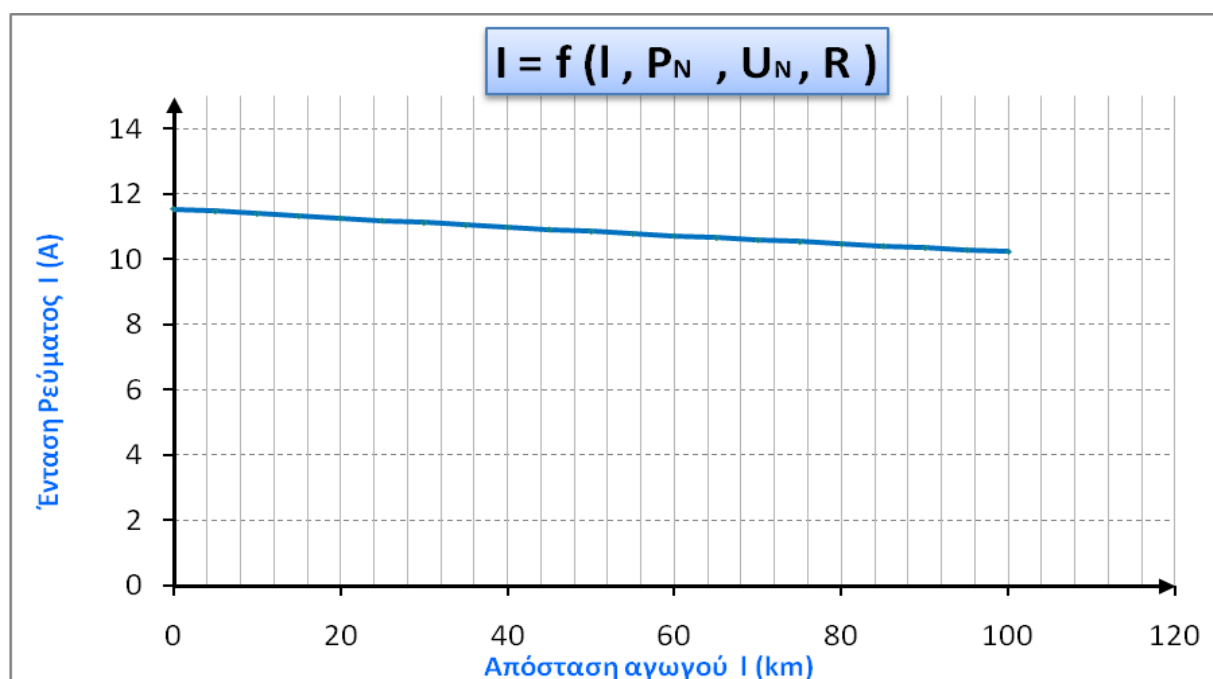
Σχήμα 5.4.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



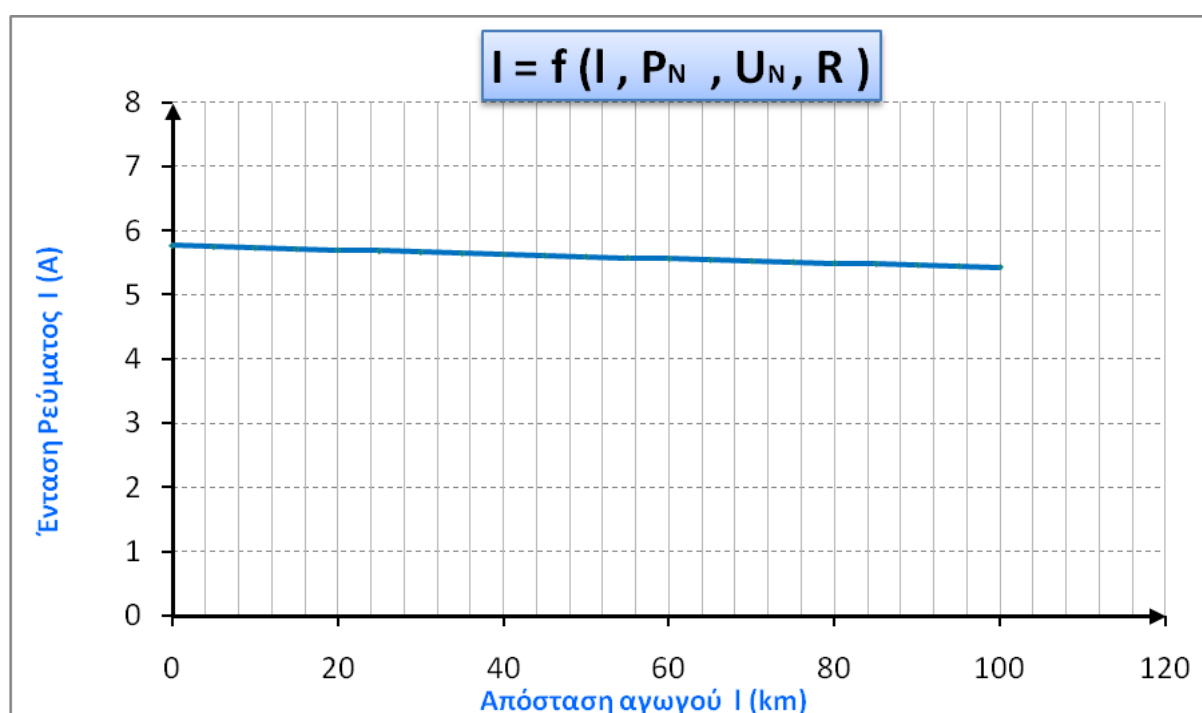
Σχήμα 5.4.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



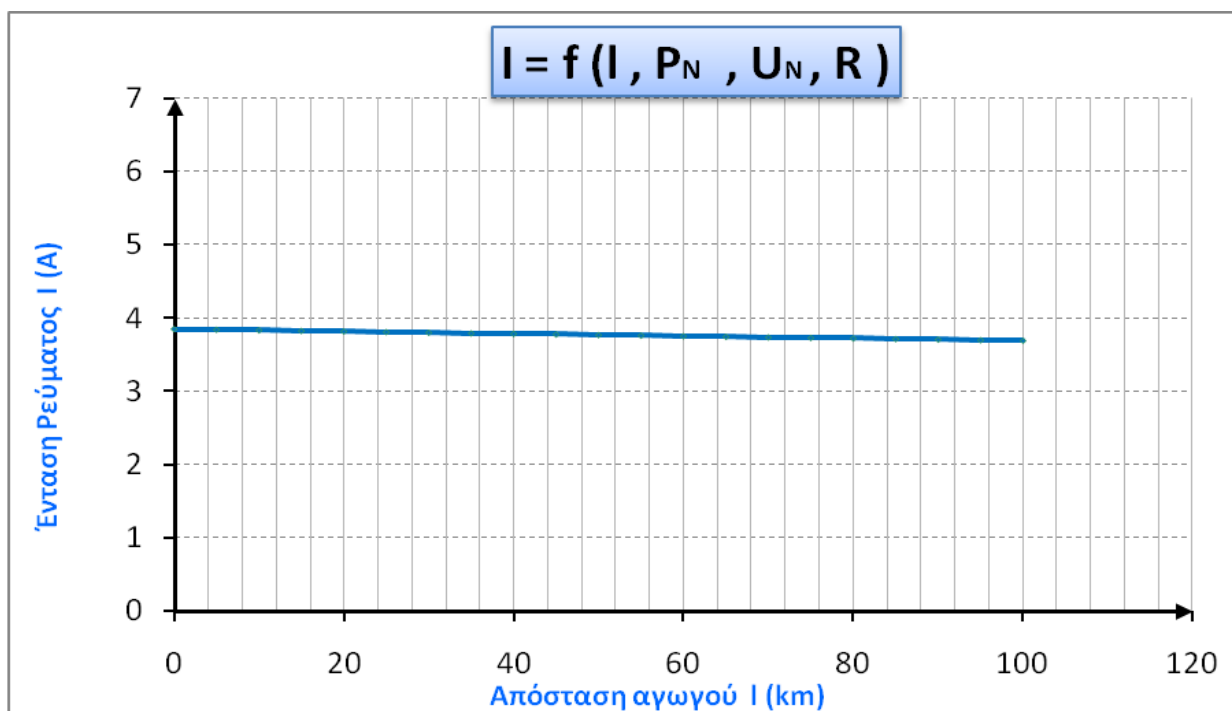
Σχήμα 5.4.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.4.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

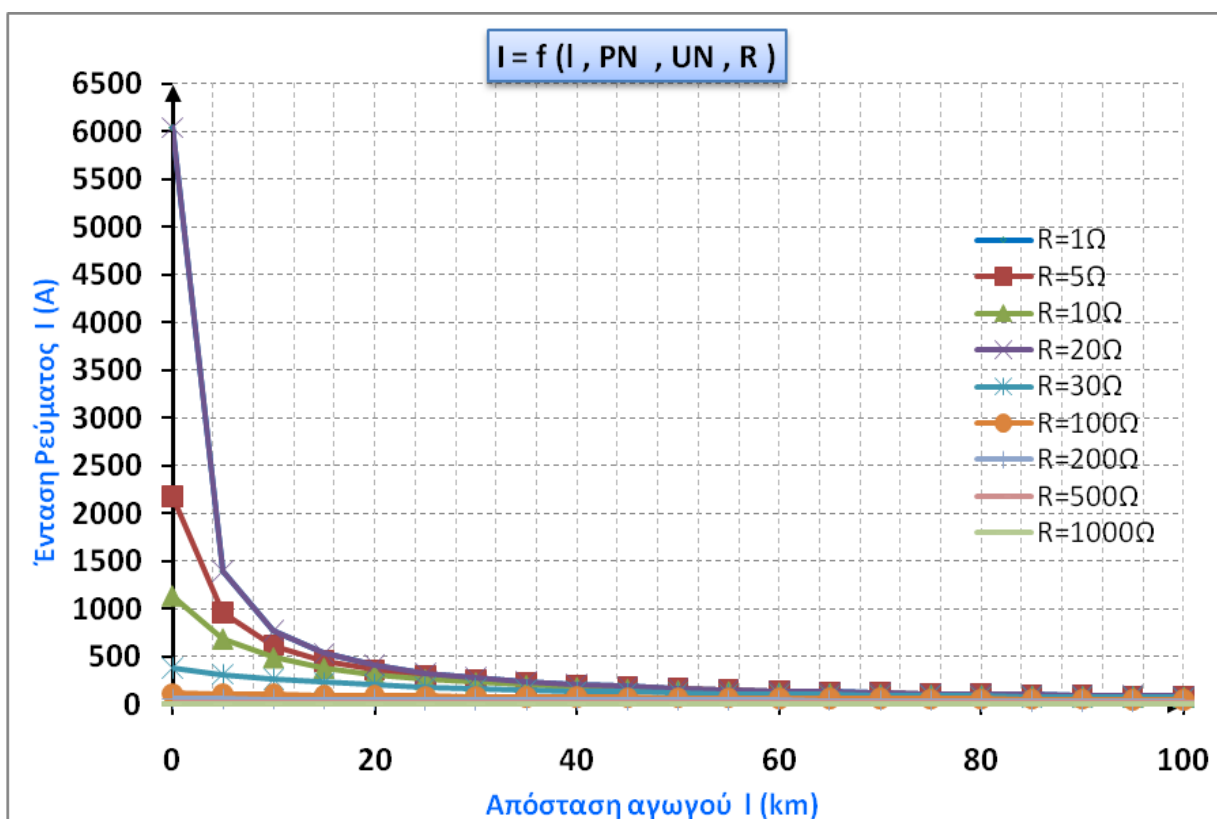
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/20kV



Σχήμα 5.4.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=50\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/20kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.4.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} .

$P_N=50\text{MVA}$, $M\Sigma 150\text{kV}/20\text{kV}$

5.4.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=100\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

5.5 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm^2 , $S_N=15\text{MVA}$, $M\Sigma 150\text{kV}/15\text{kV}$

5.5.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 15 \text{ MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_\delta = 1 \Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	1	3,191	2714,013
5	6,340	2,110	0,09	2,999	1	9,017	960,433
10	12,680	4,220	0,09	2,999	1	15,548	557,017
15	19,020	6,330	0,09	2,999	1	22,168	390,656
20	25,360	8,440	0,09	2,999	1	28,818	300,520
25	31,700	10,550	0,09	2,999	1	35,479	244,095
30	38,040	12,660	0,09	2,999	1	42,147	205,478
35	44,380	14,770	0,09	2,999	1	48,819	177,397
40	50,720	16,880	0,09	2,999	1	55,493	156,061
45	57,060	18,990	0,09	2,999	1	62,169	139,303
50	63,400	21,100	0,09	2,999	1	68,846	125,792
55	69,740	23,210	0,09	2,999	1	75,524	114,670
60	76,080	25,320	0,09	2,999	1	82,202	105,353
65	82,420	27,430	0,09	2,999	1	88,881	97,436
70	88,760	29,540	0,09	2,999	1	95,560	90,626
75	95,100	31,650	0,09	2,999	1	102,240	84,705
80	101,440	33,760	0,09	2,999	1	108,920	79,510
85	107,780	35,870	0,09	2,999	1	115,601	74,915
90	114,120	37,980	0,09	2,999	1	122,281	70,823
95	120,460	40,090	0,09	2,999	1	128,961	67,154
100	126,800	42,200	0,09	2,999	1	135,642	63,846

Πίνακας 5.5.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_\delta = 1 \Omega$ του εδάφους,
 $P_N = 15 \text{ MVA}$, L= το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422 \Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,090 \Omega$, $X_{M\Sigma}=2,999 \Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	5	5,908	1465,902
5	6,340	2,110	0,09	2,999	5	12,520	691,722
10	12,680	4,220	0,09	2,999	5	19,180	451,516
15	19,020	6,330	0,09	2,999	5	25,852	334,994
20	25,360	8,440	0,09	2,999	5	32,528	266,242
25	31,700	10,550	0,09	2,999	5	39,206	220,893
30	38,040	12,660	0,09	2,999	5	45,885	188,740
35	44,380	14,770	0,09	2,999	5	52,564	164,755
40	50,720	16,880	0,09	2,999	5	59,245	146,178
45	57,060	18,990	0,09	2,999	5	65,925	131,365
50	63,400	21,100	0,09	2,999	5	72,606	119,277
55	69,740	23,210	0,09	2,999	5	79,287	109,227
60	76,080	25,320	0,09	2,999	5	85,968	100,738
65	82,420	27,430	0,09	2,999	5	92,649	93,473
70	88,760	29,540	0,09	2,999	5	99,331	87,186
75	95,100	31,650	0,09	2,999	5	106,012	81,691
80	101,440	33,760	0,09	2,999	5	112,694	76,848
85	107,780	35,870	0,09	2,999	5	119,375	72,547
90	114,120	37,980	0,09	2,999	5	126,057	68,701
95	120,460	40,090	0,09	2,999	5	132,738	65,243
100	126,800	42,200	0,09	2,999	5	139,420	62,116

Πίνακας 5.5.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, L= το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,090\Omega$, $X_{M\Sigma}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	10	10,526	822,729
5	6,340	2,110	0,09	2,999	10	17,206	503,327
10	12,680	4,220	0,09	2,999	10	23,887	362,552
15	19,020	6,330	0,09	2,999	10	30,568	283,308
20	25,360	8,440	0,09	2,999	10	37,250	232,491
25	31,700	10,550	0,09	2,999	10	43,932	197,131
30	38,040	12,660	0,09	2,999	10	50,613	171,106
35	44,380	14,770	0,09	2,999	10	57,295	151,152
40	50,720	16,880	0,09	2,999	10	63,977	135,366
45	57,060	18,990	0,09	2,999	10	70,659	122,565
50	63,400	21,100	0,09	2,999	10	77,340	111,976
55	69,740	23,210	0,09	2,999	10	84,022	103,071
60	76,080	25,320	0,09	2,999	10	90,704	95,478
65	82,420	27,430	0,09	2,999	10	97,386	88,927
70	88,760	29,540	0,09	2,999	10	104,068	83,217
75	95,100	31,650	0,09	2,999	10	110,750	78,197
80	101,440	33,760	0,09	2,999	10	117,432	73,747
85	107,780	35,870	0,09	2,999	10	124,113	69,777
90	114,120	37,980	0,09	2,999	10	130,795	66,212
95	120,460	40,090	0,09	2,999	10	137,477	62,994
100	126,800	42,200	0,09	2,999	10	144,159	60,074

Πίνακας 5.5.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	20	20,313	426,349
5	6,340	2,110	0,09	2,999	20	26,919	321,712
10	12,680	4,220	0,09	2,999	20	33,556	258,086
15	19,020	6,330	0,09	2,999	20	40,207	215,390
20	25,360	8,440	0,09	2,999	20	46,867	184,782
25	31,700	10,550	0,09	2,999	20	53,533	161,774
30	38,040	12,660	0,09	2,999	20	60,202	143,853
35	44,380	14,770	0,09	2,999	20	66,874	129,501
40	50,720	16,880	0,09	2,999	20	73,547	117,751
45	57,060	18,990	0,09	2,999	20	80,222	107,953
50	63,400	21,100	0,09	2,999	20	86,898	99,659
55	69,740	23,210	0,09	2,999	20	93,575	92,548
60	76,080	25,320	0,09	2,999	20	100,253	86,384
65	82,420	27,430	0,09	2,999	20	106,931	80,989
70	88,760	29,540	0,09	2,999	20	113,609	76,228
75	95,100	31,650	0,09	2,999	20	120,288	71,996
80	101,440	33,760	0,09	2,999	20	126,968	68,208
85	107,780	35,870	0,09	2,999	20	133,647	64,799
90	114,120	37,980	0,09	2,999	20	140,327	61,715
95	120,460	40,090	0,09	2,999	20	147,007	58,911
100	126,800	42,200	0,09	2,999	20	153,687	56,350

Πίνακας 5.5.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	30	30,239	286,393
5	6,340	2,110	0,09	2,999	30	36,787	235,419
10	12,680	4,220	0,09	2,999	30	43,375	199,660
15	19,020	6,330	0,09	2,999	30	49,988	173,246
20	25,360	8,440	0,09	2,999	30	56,618	152,960
25	31,700	10,550	0,09	2,999	30	63,258	136,904
30	38,040	12,660	0,09	2,999	30	69,906	123,884
35	44,380	14,770	0,09	2,999	30	76,561	113,116
40	50,720	16,880	0,09	2,999	30	83,219	104,066
45	57,060	18,990	0,09	2,999	30	89,881	96,352
50	63,400	21,100	0,09	2,999	30	96,546	89,701
55	69,740	23,210	0,09	2,999	30	103,213	83,907
60	76,080	25,320	0,09	2,999	30	109,882	78,814
65	82,420	27,430	0,09	2,999	30	116,552	74,304
70	88,760	29,540	0,09	2,999	30	123,224	70,281
75	95,100	31,650	0,09	2,999	30	129,896	66,670
80	101,440	33,760	0,09	2,999	30	136,570	63,413
85	107,780	35,870	0,09	2,999	30	143,244	60,458
90	114,120	37,980	0,09	2,999	30	149,919	57,766
95	120,460	40,090	0,09	2,999	30	156,595	55,304
100	126,800	42,200	0,09	2,999	30	163,271	53,042

Πίνακας 5.5.1-5: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	100	100,135	86,486
5	6,340	2,110	0,09	2,999	100	106,553	81,277
10	12,680	4,220	0,09	2,999	100	113,001	76,639
15	19,020	6,330	0,09	2,999	100	119,475	72,486
20	25,360	8,440	0,09	2,999	100	125,970	68,748
25	31,700	10,550	0,09	2,999	100	132,485	65,368
30	38,040	12,660	0,09	2,999	100	139,015	62,297
35	44,380	14,770	0,09	2,999	100	145,559	59,497
40	50,720	16,880	0,09	2,999	100	152,115	56,932
45	57,060	18,990	0,09	2,999	100	158,681	54,577
50	63,400	21,100	0,09	2,999	100	165,257	52,405
55	69,740	23,210	0,09	2,999	100	171,840	50,397
60	76,080	25,320	0,09	2,999	100	178,432	48,535
65	82,420	27,430	0,09	2,999	100	185,029	46,805
70	88,760	29,540	0,09	2,999	100	191,633	45,192
75	95,100	31,650	0,09	2,999	100	198,241	43,685
80	101,440	33,760	0,09	2,999	100	204,855	42,275
85	107,780	35,870	0,09	2,999	100	211,473	40,952
90	114,120	37,980	0,09	2,999	100	218,094	39,709
95	120,460	40,090	0,09	2,999	100	224,720	38,538
100	126,800	42,200	0,09	2,999	100	231,348	37,434

Πίνακας 5.5.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	200	200,112	43,277
5	6,340	2,110	0,09	2,999	200	206,493	41,940
10	12,680	4,220	0,09	2,999	200	212,892	40,679
15	19,020	6,330	0,09	2,999	200	219,309	39,489
20	25,360	8,440	0,09	2,999	200	225,740	38,364
25	31,700	10,550	0,09	2,999	200	232,186	37,299
30	38,040	12,660	0,09	2,999	200	238,644	36,289
35	44,380	14,770	0,09	2,999	200	245,115	35,331
40	50,720	16,880	0,09	2,999	200	251,597	34,421
45	57,060	18,990	0,09	2,999	200	258,088	33,555
50	63,400	21,100	0,09	2,999	200	264,590	32,731
55	69,740	23,210	0,09	2,999	200	271,100	31,945
60	76,080	25,320	0,09	2,999	200	277,618	31,195
65	82,420	27,430	0,09	2,999	200	284,144	30,478
70	88,760	29,540	0,09	2,999	200	290,677	29,793
75	95,100	31,650	0,09	2,999	200	297,217	29,138
80	101,440	33,760	0,09	2,999	200	303,762	28,510
85	107,780	35,870	0,09	2,999	200	310,314	27,908
90	114,120	37,980	0,09	2,999	200	316,871	27,331
95	120,460	40,090	0,09	2,999	200	323,433	26,776
100	126,800	42,200	0,09	2,999	200	330,000	26,243

Πίνακας 5.5.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A=16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	500	500,099	17,317
5	6,340	2,110	0,09	2,999	500	506,456	17,100
10	12,680	4,220	0,09	2,999	500	512,821	16,887
15	19,020	6,330	0,09	2,999	500	519,194	16,680
20	25,360	8,440	0,09	2,999	500	525,574	16,478
25	31,700	10,550	0,09	2,999	500	531,963	16,280
30	38,040	12,660	0,09	2,999	500	538,358	16,086
35	44,380	14,770	0,09	2,999	500	544,760	15,897
40	50,720	16,880	0,09	2,999	500	551,169	15,713
45	57,060	18,990	0,09	2,999	500	557,584	15,532
50	63,400	21,100	0,09	2,999	500	564,005	15,355
55	69,740	23,210	0,09	2,999	500	570,432	15,182
60	76,080	25,320	0,09	2,999	500	576,866	15,013
65	82,420	27,430	0,09	2,999	500	583,304	14,847
70	88,760	29,540	0,09	2,999	500	589,748	14,685
75	95,100	31,650	0,09	2,999	500	596,198	14,526
80	101,440	33,760	0,09	2,999	500	602,652	14,370
85	107,780	35,870	0,09	2,999	500	609,111	14,218
90	114,120	37,980	0,09	2,999	500	615,576	14,069
95	120,460	40,090	0,09	2,999	500	622,044	13,922
100	126,800	42,200	0,09	2,999	500	628,517	13,779

Πίνακας 5.5.1-8: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	1000	1000,094	8,659
5	6,340	2,110	0,09	2,999	1000	1006,443	8,605
10	12,680	4,220	0,09	2,999	1000	1012,796	8,551
15	19,020	6,330	0,09	2,999	1000	1019,153	8,498
20	25,360	8,440	0,09	2,999	1000	1025,514	8,445
25	31,700	10,550	0,09	2,999	1000	1031,879	8,393
30	38,040	12,660	0,09	2,999	1000	1038,248	8,341
35	44,380	14,770	0,09	2,999	1000	1044,621	8,290
40	50,720	16,880	0,09	2,999	1000	1050,998	8,240
45	57,060	18,990	0,09	2,999	1000	1057,379	8,190
50	63,400	21,100	0,09	2,999	1000	1063,763	8,141
55	69,740	23,210	0,09	2,999	1000	1070,151	8,093
60	76,080	25,320	0,09	2,999	1000	1076,543	8,045
65	82,420	27,430	0,09	2,999	1000	1082,938	7,997
70	88,760	29,540	0,09	2,999	1000	1089,336	7,950
75	95,100	31,650	0,09	2,999	1000	1095,738	7,904
80	101,440	33,760	0,09	2,999	1000	1102,143	7,858
85	107,780	35,870	0,09	2,999	1000	1108,552	7,812
90	114,120	37,980	0,09	2,999	1000	1114,963	7,767
95	120,460	40,090	0,09	2,999	1000	1121,378	7,723
100	126,800	42,200	0,09	2,999	1000	1127,796	7,679

Πίνακας 5.5.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,090\Omega$, $X_{M\Sigma}=2,999\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

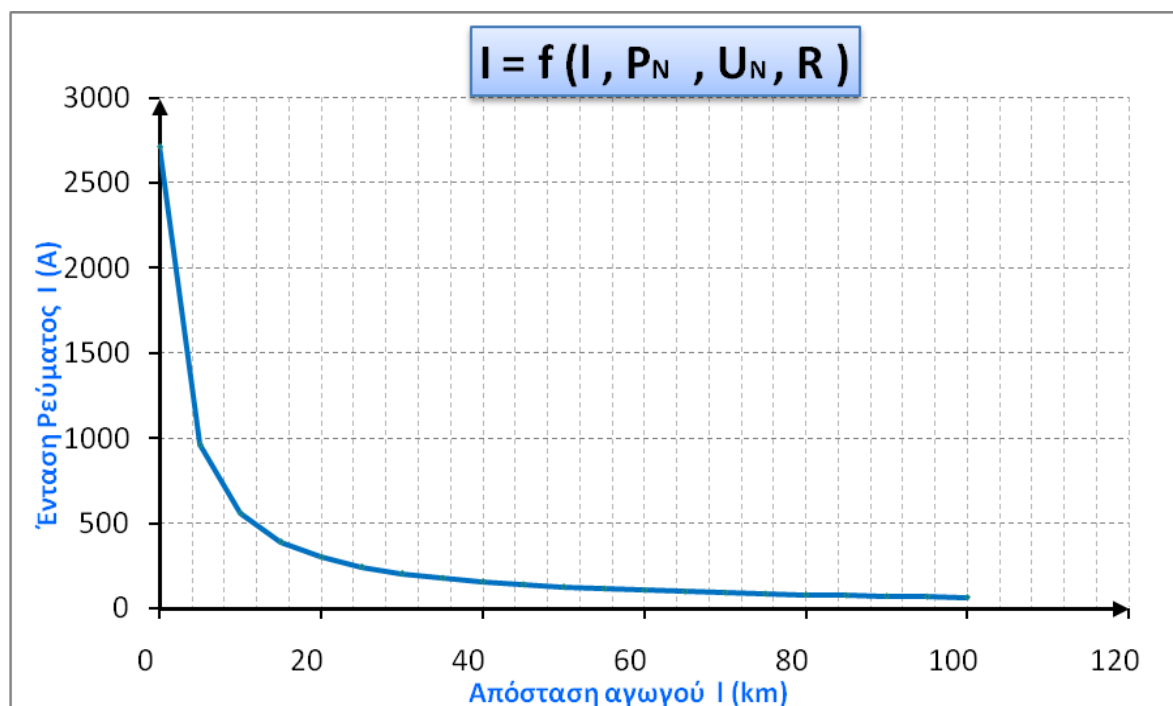
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	2000	2000,092	4,330
5	6,340	2,110	0,09	2,999	2000	2006,437	4,316
10	12,680	4,220	0,09	2,999	2000	2012,783	4,303
15	19,020	6,330	0,09	2,999	2000	2019,132	4,289
20	25,360	8,440	0,09	2,999	2000	2025,482	4,276
25	31,700	10,550	0,09	2,999	2000	2031,835	4,262
30	38,040	12,660	0,09	2,999	2000	2038,190	4,249
35	44,380	14,770	0,09	2,999	2000	2044,547	4,236
40	50,720	16,880	0,09	2,999	2000	2050,906	4,223
45	57,060	18,990	0,09	2,999	2000	2057,268	4,210
50	63,400	21,100	0,09	2,999	2000	2063,631	4,197
55	69,740	23,210	0,09	2,999	2000	2069,996	4,184
60	76,080	25,320	0,09	2,999	2000	2076,363	4,171
65	82,420	27,430	0,09	2,999	2000	2082,732	4,158
70	88,760	29,540	0,09	2,999	2000	2089,103	4,145
75	95,100	31,650	0,09	2,999	2000	2095,476	4,133
80	101,440	33,760	0,09	2,999	2000	2101,851	4,120
85	107,780	35,870	0,09	2,999	2000	2108,228	4,108
90	114,120	37,980	0,09	2,999	2000	2114,607	4,095
95	120,460	40,090	0,09	2,999	2000	2120,988	4,083
100	126,800	42,200	0,09	2,999	2000	2127,370	4,071

Πίνακας 5.5.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$

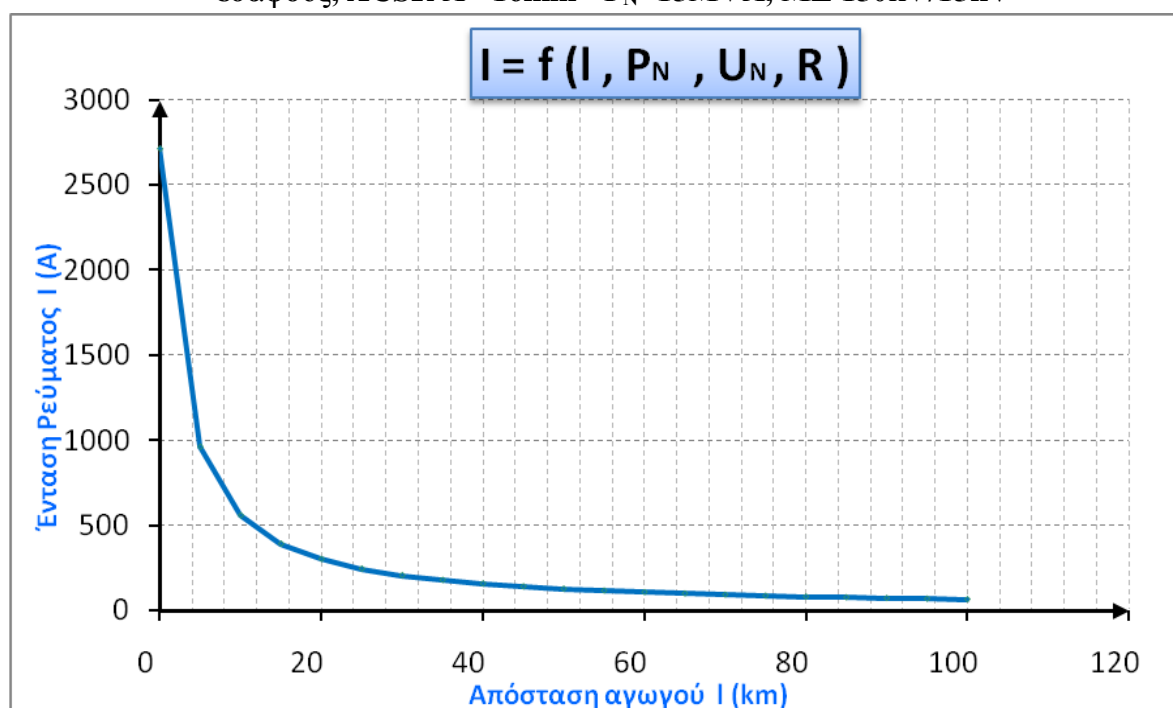
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,09	2,999	3000	3000,091	2,887
5	6,340	2,110	0,09	2,999	3000	3006,434	2,881
10	12,680	4,220	0,09	2,999	3000	3012,779	2,875
15	19,020	6,330	0,09	2,999	3000	3019,124	2,868
20	25,360	8,440	0,09	2,999	3000	3025,472	2,862
25	31,700	10,550	0,09	2,999	3000	3031,820	2,856
30	38,040	12,660	0,09	2,999	3000	3038,170	2,850
35	44,380	14,770	0,09	2,999	3000	3044,522	2,845
40	50,720	16,880	0,09	2,999	3000	3050,875	2,839
45	57,060	18,990	0,09	2,999	3000	3057,229	2,833
50	63,400	21,100	0,09	2,999	3000	3063,585	2,827
55	69,740	23,210	0,09	2,999	3000	3069,942	2,821
60	76,080	25,320	0,09	2,999	3000	3076,300	2,815
65	82,420	27,430	0,09	2,999	3000	3082,660	2,809
70	88,760	29,540	0,09	2,999	3000	3089,021	2,804
75	95,100	31,650	0,09	2,999	3000	3095,384	2,798
80	101,440	33,760	0,09	2,999	3000	3101,748	2,792
85	107,780	35,870	0,09	2,999	3000	3108,113	2,786
90	114,120	37,980	0,09	2,999	3000	3114,480	2,781
95	120,460	40,090	0,09	2,999	3000	3120,847	2,775
100	126,800	42,200	0,09	2,999	3000	3127,217	2,769

Πίνακας 5.5.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N=15\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,090\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=2,999\Omega$



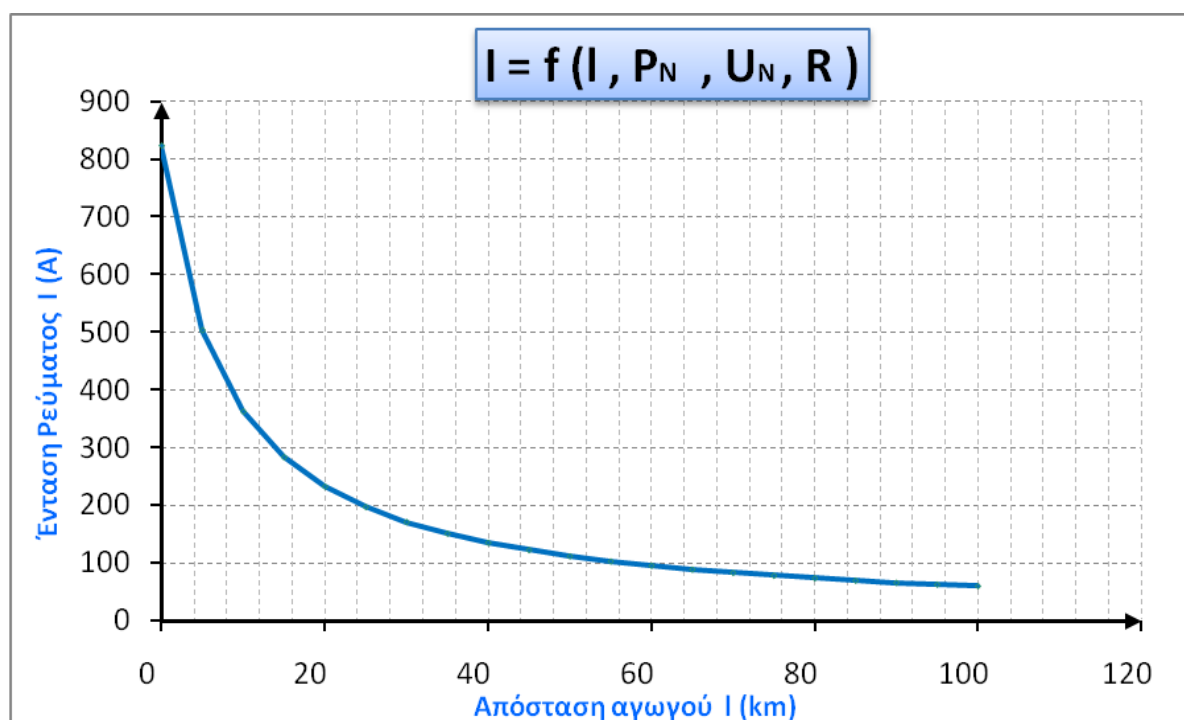
Σχήμα 5.5.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

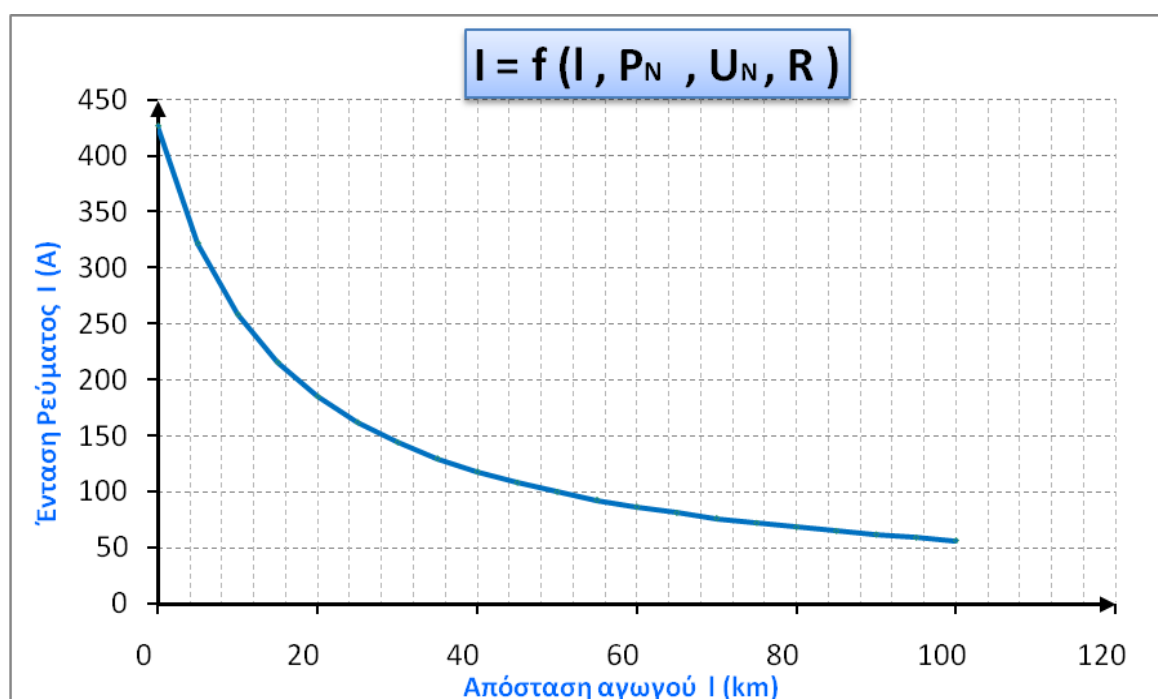


Σχήμα 5.5.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

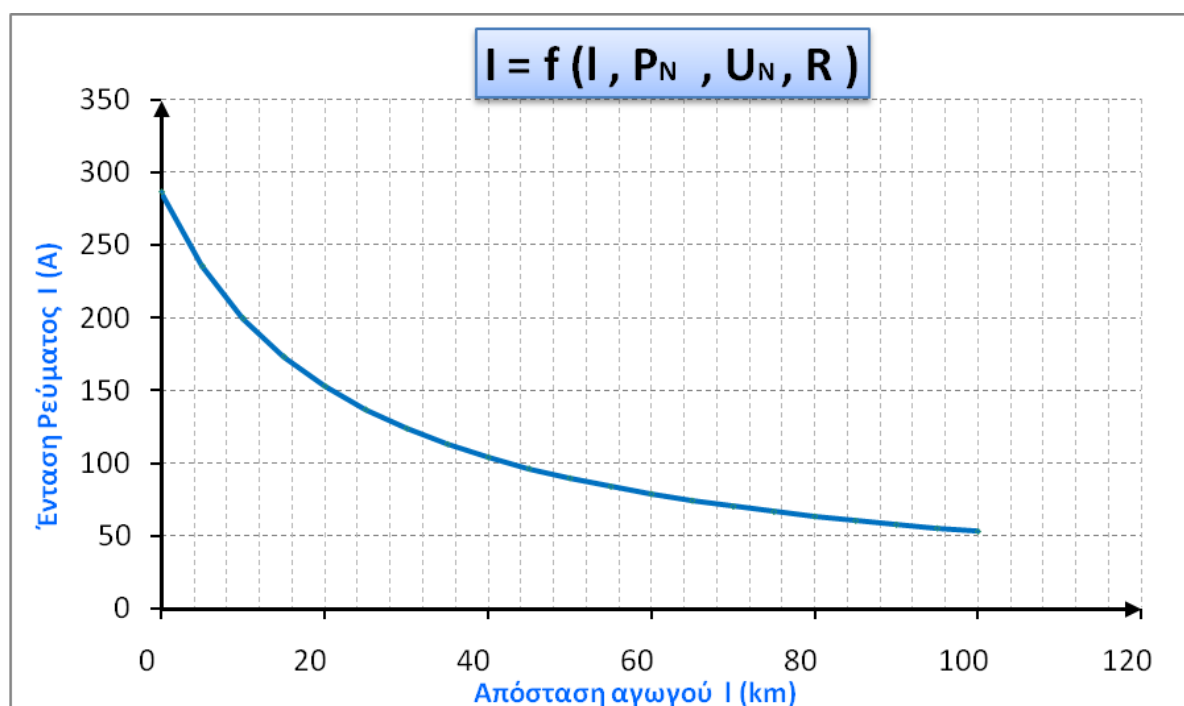
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.5.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/15kV

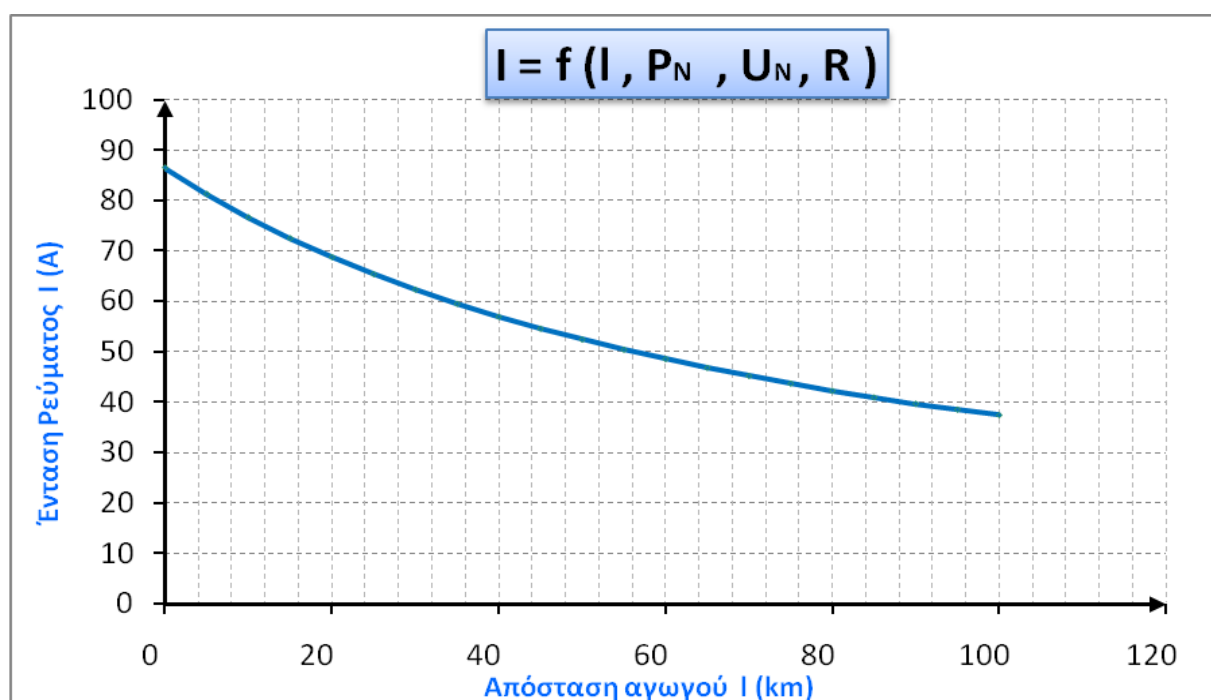


Σχήμα 5.5.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



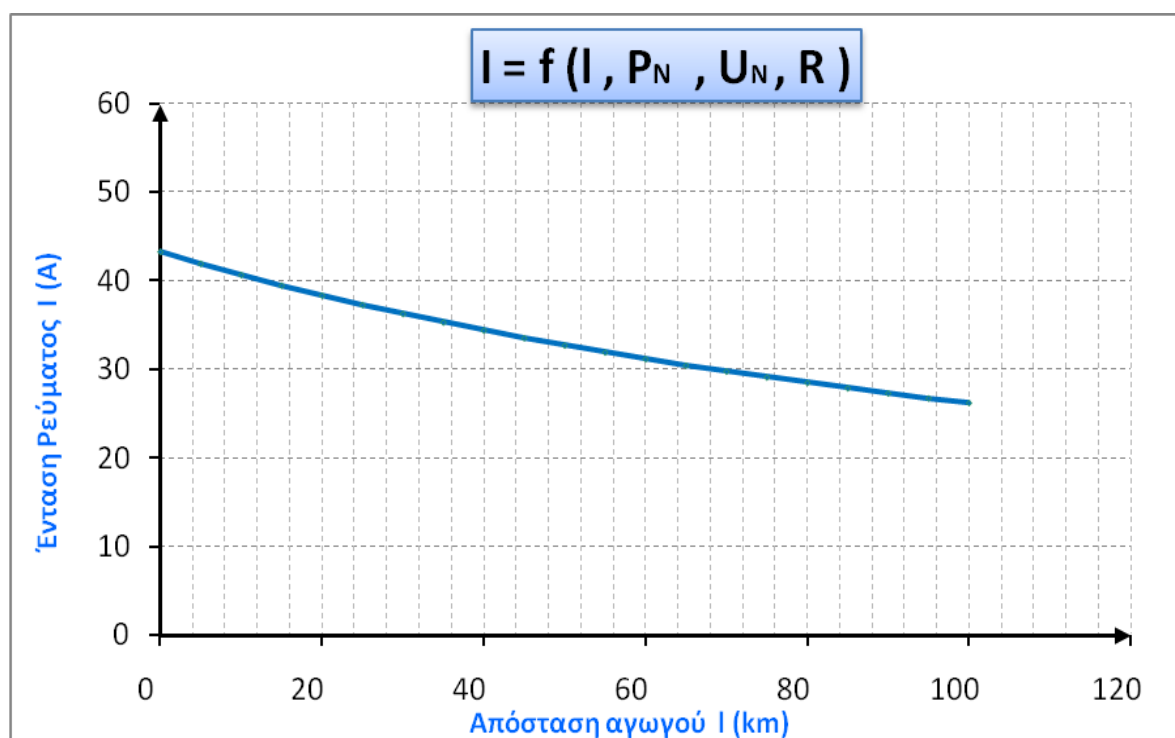
Σχήμα 5.5.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

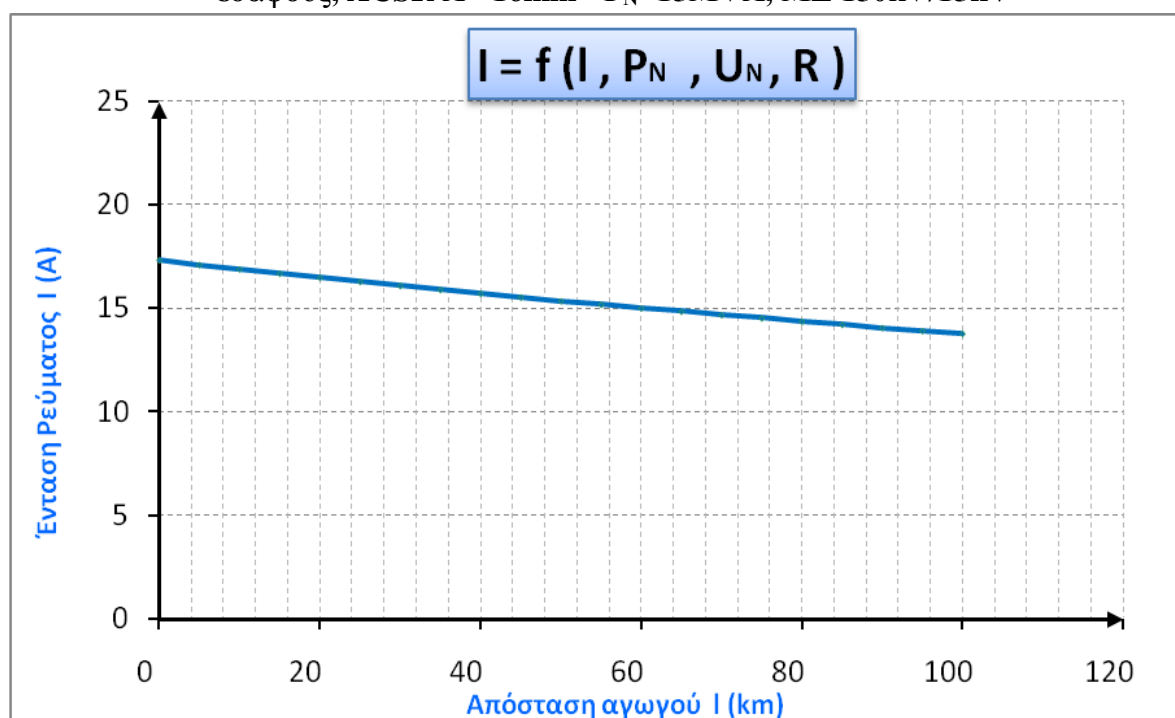


Σχήμα 5.5.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

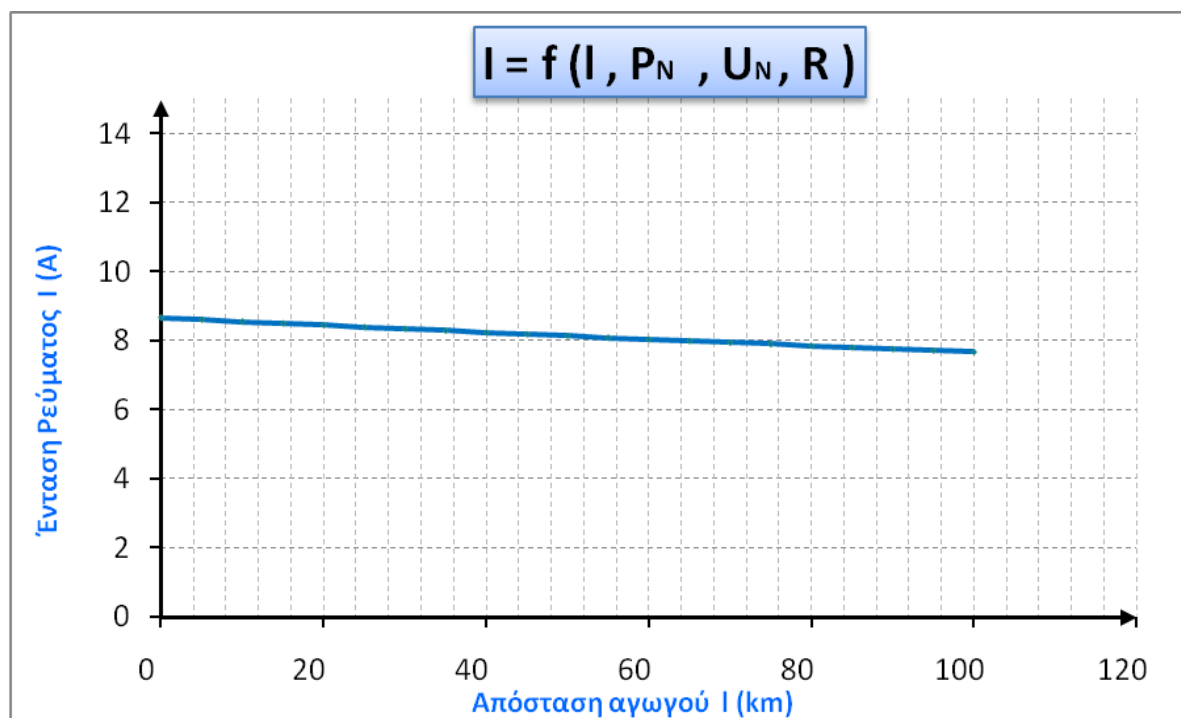
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV



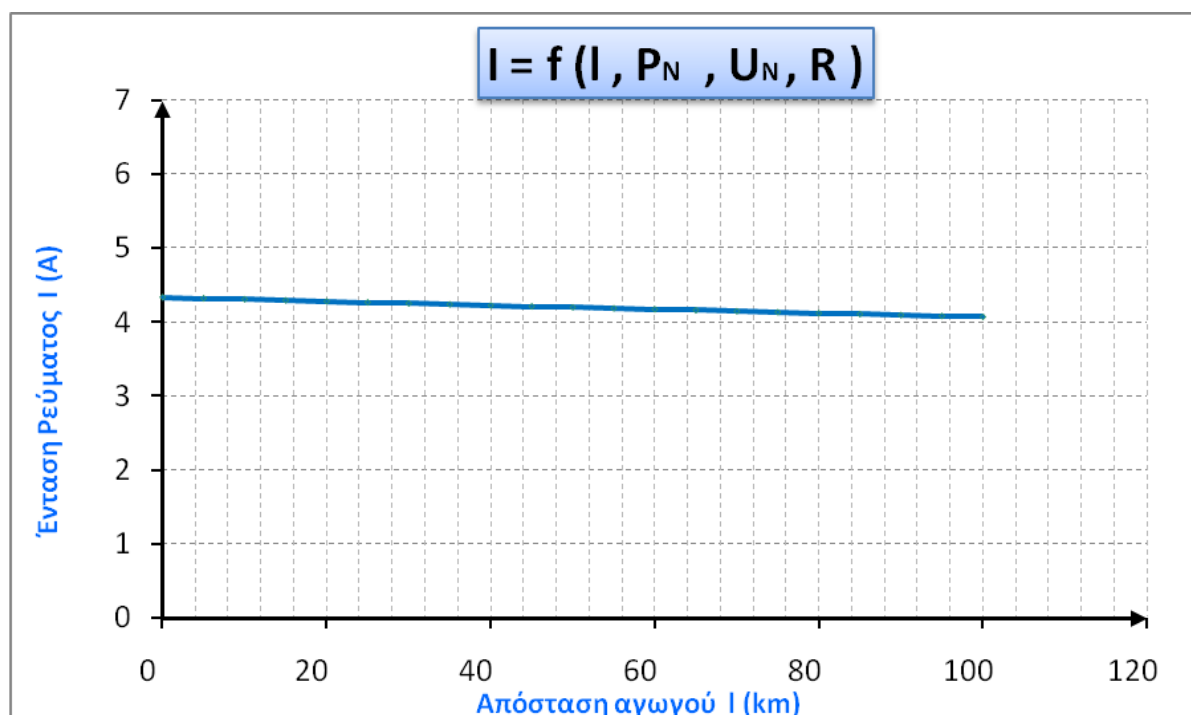
Σχήμα 5.5.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV



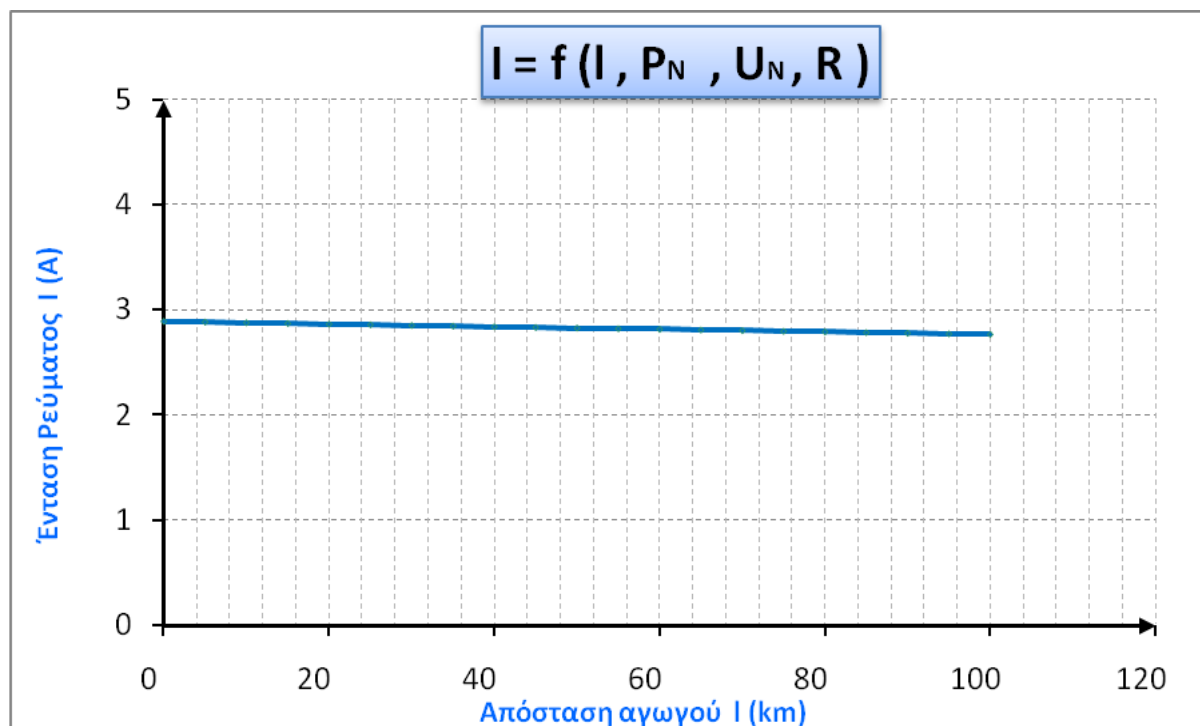
Σχήμα 5.5.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.5.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.5.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=15MVA$, ΜΣ 150kV/15kV

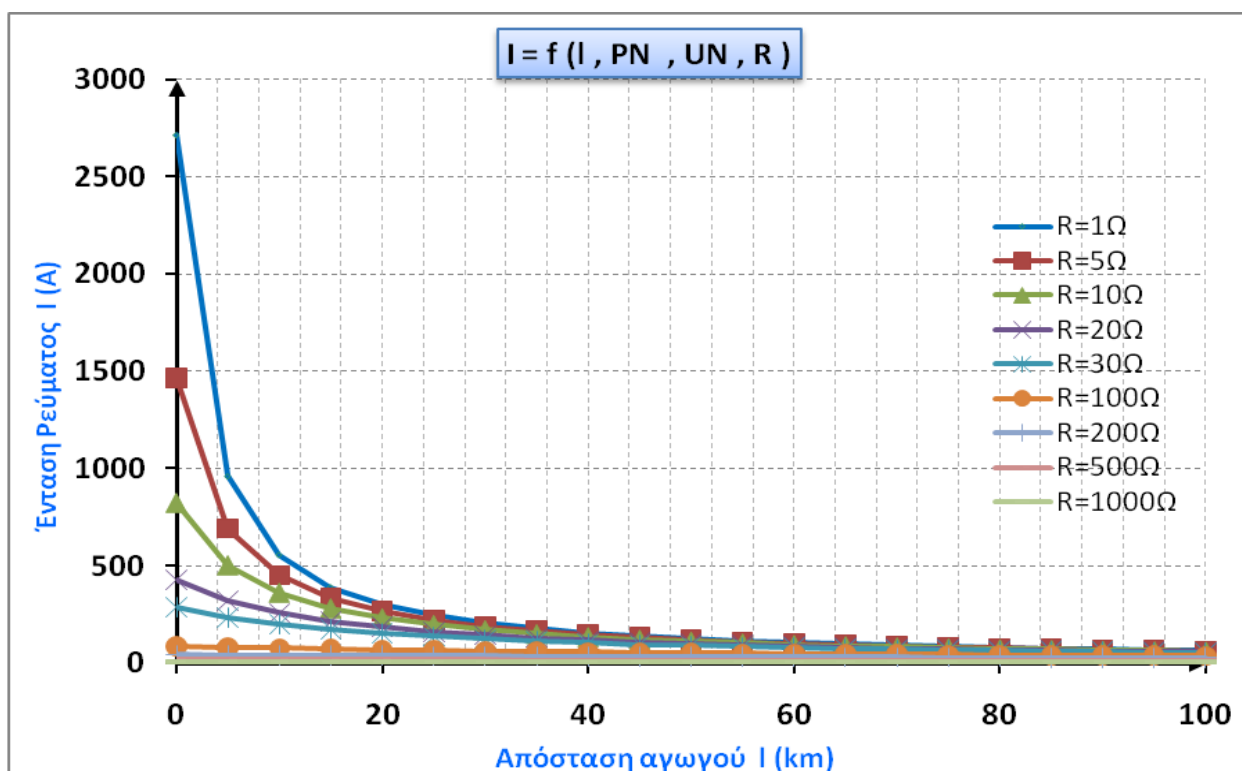


Σχήμα 5.5.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR $A=16\text{mm}^2$ $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.5.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} .
 $P_N=15\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

5.5.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000 Ω & 3000 Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=100\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

5.6 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm², $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

5.6.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 25 \text{ MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_\delta = 1 \Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	1	2,085	4153,555
5	6,340	2,110	0,054	1,799	1	8,364	1035,457
10	12,680	4,220	0,054	1,799	1	14,995	577,541
15	19,020	6,330	0,054	1,799	1	21,657	399,874
20	25,360	8,440	0,054	1,799	1	28,329	305,702
25	31,700	10,550	0,054	1,799	1	35,005	247,403
30	38,040	12,660	0,054	1,799	1	41,682	207,769
35	44,380	14,770	0,054	1,799	1	48,361	179,075
40	50,720	16,880	0,054	1,799	1	55,040	157,343
45	57,060	18,990	0,054	1,799	1	61,720	140,314
50	63,400	21,100	0,054	1,799	1	68,401	126,610
55	69,740	23,210	0,054	1,799	1	75,082	115,345
60	76,080	25,320	0,054	1,799	1	81,762	105,920
65	82,420	27,430	0,054	1,799	1	88,443	97,919
70	88,760	29,540	0,054	1,799	1	95,125	91,041
75	95,100	31,650	0,054	1,799	1	101,806	85,066
80	101,440	33,760	0,054	1,799	1	108,487	79,827
85	107,780	35,870	0,054	1,799	1	115,169	75,196
90	114,120	37,980	0,054	1,799	1	121,850	71,073
95	120,460	40,090	0,054	1,799	1	128,531	67,378
100	126,800	42,200	0,054	1,799	1	135,213	64,049

Πίνακας 5.6.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_\delta = 1 \Omega$ του εδάφους,
 $P_N = 25 \text{ MVA}$, $L =$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A = 16 mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km} = 1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} = 0,422 \Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma} = 0,054 \Omega$, $X_{M\Sigma} = 1,799 \Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	5	5,365	1614,323
5	6,340	2,110	0,054	1,799	5	12,046	718,938
10	12,680	4,220	0,054	1,799	5	18,728	462,433
15	19,020	6,330	0,054	1,799	5	25,409	340,829
20	25,360	8,440	0,054	1,799	5	32,091	269,863
25	31,700	10,550	0,054	1,799	5	38,773	223,357
30	38,040	12,660	0,054	1,799	5	45,455	190,524
35	44,380	14,770	0,054	1,799	5	52,137	166,106
40	50,720	16,880	0,054	1,799	5	58,819	147,236
45	57,060	18,990	0,054	1,799	5	65,501	132,216
50	63,400	21,100	0,054	1,799	5	72,183	119,977
55	69,740	23,210	0,054	1,799	5	78,864	109,812
60	76,080	25,320	0,054	1,799	5	85,546	101,235
65	82,420	27,430	0,054	1,799	5	92,228	93,900
70	88,760	29,540	0,054	1,799	5	98,910	87,557
75	95,100	31,650	0,054	1,799	5	105,592	82,016
80	101,440	33,760	0,054	1,799	5	112,274	77,135
85	107,780	35,870	0,054	1,799	5	118,956	72,802
90	114,120	37,980	0,054	1,799	5	125,638	68,930
95	120,460	40,090	0,054	1,799	5	132,320	65,450
100	126,800	42,200	0,054	1,799	5	139,001	62,303

Πίνακας 5.6.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,054\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	10	10,214	847,907
5	6,340	2,110	0,054	1,799	10	16,854	513,852
10	12,680	4,220	0,054	1,799	10	23,517	368,250
15	19,020	6,330	0,054	1,799	10	30,189	286,867
20	25,360	8,440	0,054	1,799	10	36,864	234,921
25	31,700	10,550	0,054	1,799	10	43,542	198,895
30	38,040	12,660	0,054	1,799	10	50,220	172,445
35	44,380	14,770	0,054	1,799	10	56,900	152,202
40	50,720	16,880	0,054	1,799	10	63,580	136,211
45	57,060	18,990	0,054	1,799	10	70,260	123,260
50	63,400	21,100	0,054	1,799	10	76,941	112,558
55	69,740	23,210	0,054	1,799	10	83,621	103,565
60	76,080	25,320	0,054	1,799	10	90,302	95,903
65	82,420	27,430	0,054	1,799	10	96,983	89,296
70	88,760	29,540	0,054	1,799	10	103,665	83,541
75	95,100	31,650	0,054	1,799	10	110,346	78,483
80	101,440	33,760	0,054	1,799	10	117,027	74,002
85	107,780	35,870	0,054	1,799	10	123,709	70,005
90	114,120	37,980	0,054	1,799	10	130,390	66,418
95	120,460	40,090	0,054	1,799	10	137,071	63,181
100	126,800	42,200	0,054	1,799	10	143,753	60,244

Πίνακας 5.6.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,054\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	20	20,135	430,119
5	6,340	2,110	0,054	1,799	20	26,682	324,574
10	12,680	4,220	0,054	1,799	20	33,283	260,202
15	19,020	6,330	0,054	1,799	20	39,911	216,991
20	25,360	8,440	0,054	1,799	20	46,554	186,026
25	31,700	10,550	0,054	1,799	20	53,207	162,766
30	38,040	12,660	0,054	1,799	20	59,866	144,660
35	44,380	14,770	0,054	1,799	20	66,530	130,170
40	50,720	16,880	0,054	1,799	20	73,197	118,314
45	57,060	18,990	0,054	1,799	20	79,867	108,433
50	63,400	21,100	0,054	1,799	20	86,539	100,074
55	69,740	23,210	0,054	1,799	20	93,212	92,910
60	76,080	25,320	0,054	1,799	20	99,886	86,701
65	82,420	27,430	0,054	1,799	20	106,561	81,270
70	88,760	29,540	0,054	1,799	20	113,237	76,479
75	95,100	31,650	0,054	1,799	20	119,914	72,221
80	101,440	33,760	0,054	1,799	20	126,591	68,411
85	107,780	35,870	0,054	1,799	20	133,268	64,984
90	114,120	37,980	0,054	1,799	20	139,947	61,883
95	120,460	40,090	0,054	1,799	20	146,625	59,064
100	126,800	42,200	0,054	1,799	20	153,304	56,491

Πίνακας 5.6.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,054\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	30	30,108	287,642
5	6,340	2,110	0,054	1,799	30	36,603	236,597
10	12,680	4,220	0,054	1,799	30	43,156	200,674
15	19,020	6,330	0,054	1,799	30	49,743	174,101
20	25,360	8,440	0,054	1,799	30	56,352	153,681
25	31,700	10,550	0,054	1,799	30	62,977	137,515
30	38,040	12,660	0,054	1,799	30	69,612	124,407
35	44,380	14,770	0,054	1,799	30	76,256	113,568
40	50,720	16,880	0,054	1,799	30	82,906	104,459
45	57,060	18,990	0,054	1,799	30	89,560	96,698
50	63,400	21,100	0,054	1,799	30	96,219	90,006
55	69,740	23,210	0,054	1,799	30	102,880	84,178
60	76,080	25,320	0,054	1,799	30	109,544	79,057
65	82,420	27,430	0,054	1,799	30	116,210	74,523
70	88,760	29,540	0,054	1,799	30	122,878	70,479
75	95,100	31,650	0,054	1,799	30	129,547	66,850
80	101,440	33,760	0,054	1,799	30	136,217	63,577
85	107,780	35,870	0,054	1,799	30	142,889	60,608
90	114,120	37,980	0,054	1,799	30	149,561	57,904
95	120,460	40,090	0,054	1,799	30	156,234	55,431
100	126,800	42,200	0,054	1,799	30	162,908	53,160

Πίνακας 5.6.1-5: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,054\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	100	100,070	86,542
5	6,340	2,110	0,054	1,799	100	106,466	81,343
10	12,680	4,220	0,054	1,799	100	112,895	76,711
15	19,020	6,330	0,054	1,799	100	119,351	72,561
20	25,360	8,440	0,054	1,799	100	125,831	68,824
25	31,700	10,550	0,054	1,799	100	132,331	65,444
30	38,040	12,660	0,054	1,799	100	138,849	62,372
35	44,380	14,770	0,054	1,799	100	145,381	59,569
40	50,720	16,880	0,054	1,799	100	151,927	57,003
45	57,060	18,990	0,054	1,799	100	158,483	54,645
50	63,400	21,100	0,054	1,799	100	165,050	52,470
55	69,740	23,210	0,054	1,799	100	171,626	50,460
60	76,080	25,320	0,054	1,799	100	178,210	48,596
65	82,420	27,430	0,054	1,799	100	184,800	46,863
70	88,760	29,540	0,054	1,799	100	191,397	45,248
75	95,100	31,650	0,054	1,799	100	198,000	43,739
80	101,440	33,760	0,054	1,799	100	204,608	42,326
85	107,780	35,870	0,054	1,799	100	211,220	41,001
90	114,120	37,980	0,054	1,799	100	217,837	39,756
95	120,460	40,090	0,054	1,799	100	224,457	38,583
100	126,800	42,200	0,054	1,799	100	231,081	37,477

Πίνακας 5.6.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,054\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	200	200,062	43,288
5	6,340	2,110	0,054	1,799	200	206,431	41,952
10	12,680	4,220	0,054	1,799	200	212,819	40,693
15	19,020	6,330	0,054	1,799	200	219,225	39,504
20	25,360	8,440	0,054	1,799	200	225,646	38,380
25	31,700	10,550	0,054	1,799	200	232,083	37,315
30	38,040	12,660	0,054	1,799	200	238,533	36,306
35	44,380	14,770	0,054	1,799	200	244,995	35,349
40	50,720	16,880	0,054	1,799	200	251,469	34,439
45	57,060	18,990	0,054	1,799	200	257,953	33,573
50	63,400	21,100	0,054	1,799	200	264,447	32,749
55	69,740	23,210	0,054	1,799	200	270,951	31,962
60	76,080	25,320	0,054	1,799	200	277,462	31,212
65	82,420	27,430	0,054	1,799	200	283,982	30,496
70	88,760	29,540	0,054	1,799	200	290,509	29,811
75	95,100	31,650	0,054	1,799	200	297,043	29,155
80	101,440	33,760	0,054	1,799	200	303,584	28,527
85	107,780	35,870	0,054	1,799	200	310,130	27,925
90	114,120	37,980	0,054	1,799	200	316,682	27,347
95	120,460	40,090	0,054	1,799	200	323,240	26,792
100	126,800	42,200	0,054	1,799	200	329,802	26,259

Πίνακας 5.6.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,054\Omega$, $X_{M\Sigma}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	500	500,057	17,319
5	6,340	2,110	0,054	1,799	500	506,409	17,101
10	12,680	4,220	0,054	1,799	500	512,769	16,889
15	19,020	6,330	0,054	1,799	500	519,138	16,682
20	25,360	8,440	0,054	1,799	500	525,514	16,480
25	31,700	10,550	0,054	1,799	500	531,897	16,282
30	38,040	12,660	0,054	1,799	500	538,288	16,089
35	44,380	14,770	0,054	1,799	500	544,686	15,900
40	50,720	16,880	0,054	1,799	500	551,091	15,715
45	57,060	18,990	0,054	1,799	500	557,502	15,534
50	63,400	21,100	0,054	1,799	500	563,919	15,357
55	69,740	23,210	0,054	1,799	500	570,343	15,184
60	76,080	25,320	0,054	1,799	500	576,772	15,015
65	82,420	27,430	0,054	1,799	500	583,207	14,849
70	88,760	29,540	0,054	1,799	500	589,647	14,687
75	95,100	31,650	0,054	1,799	500	596,093	14,528
80	101,440	33,760	0,054	1,799	500	602,544	14,373
85	107,780	35,870	0,054	1,799	500	609,000	14,220
90	114,120	37,980	0,054	1,799	500	615,461	14,071
95	120,460	40,090	0,054	1,799	500	621,926	13,925
100	126,800	42,200	0,054	1,799	500	628,396	13,782

Πίνακας 5.6.1-8: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,054\Omega$, $X_{ΜΣ}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	1000	1000,056	8,660
5	6,340	2,110	0,054	1,799	1000	1006,402	8,605
10	12,680	4,220	0,054	1,799	1000	1012,752	8,551
15	19,020	6,330	0,054	1,799	1000	1019,106	8,498
20	25,360	8,440	0,054	1,799	1000	1025,465	8,445
25	31,700	10,550	0,054	1,799	1000	1031,828	8,393
30	38,040	12,660	0,054	1,799	1000	1038,195	8,342
35	44,380	14,770	0,054	1,799	1000	1044,565	8,291
40	50,720	16,880	0,054	1,799	1000	1050,940	8,240
45	57,060	18,990	0,054	1,799	1000	1057,318	8,191
50	63,400	21,100	0,054	1,799	1000	1063,701	8,142
55	69,740	23,210	0,054	1,799	1000	1070,086	8,093
60	76,080	25,320	0,054	1,799	1000	1076,476	8,045
65	82,420	27,430	0,054	1,799	1000	1082,869	7,998
70	88,760	29,540	0,054	1,799	1000	1089,265	7,951
75	95,100	31,650	0,054	1,799	1000	1095,665	7,904
80	101,440	33,760	0,054	1,799	1000	1102,068	7,858
85	107,780	35,870	0,054	1,799	1000	1108,474	7,813
90	114,120	37,980	0,054	1,799	1000	1114,884	7,768
95	120,460	40,090	0,054	1,799	1000	1121,297	7,723
100	126,800	42,200	0,054	1,799	1000	1127,713	7,679

Πίνακας 5.6.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,054\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=1,799\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

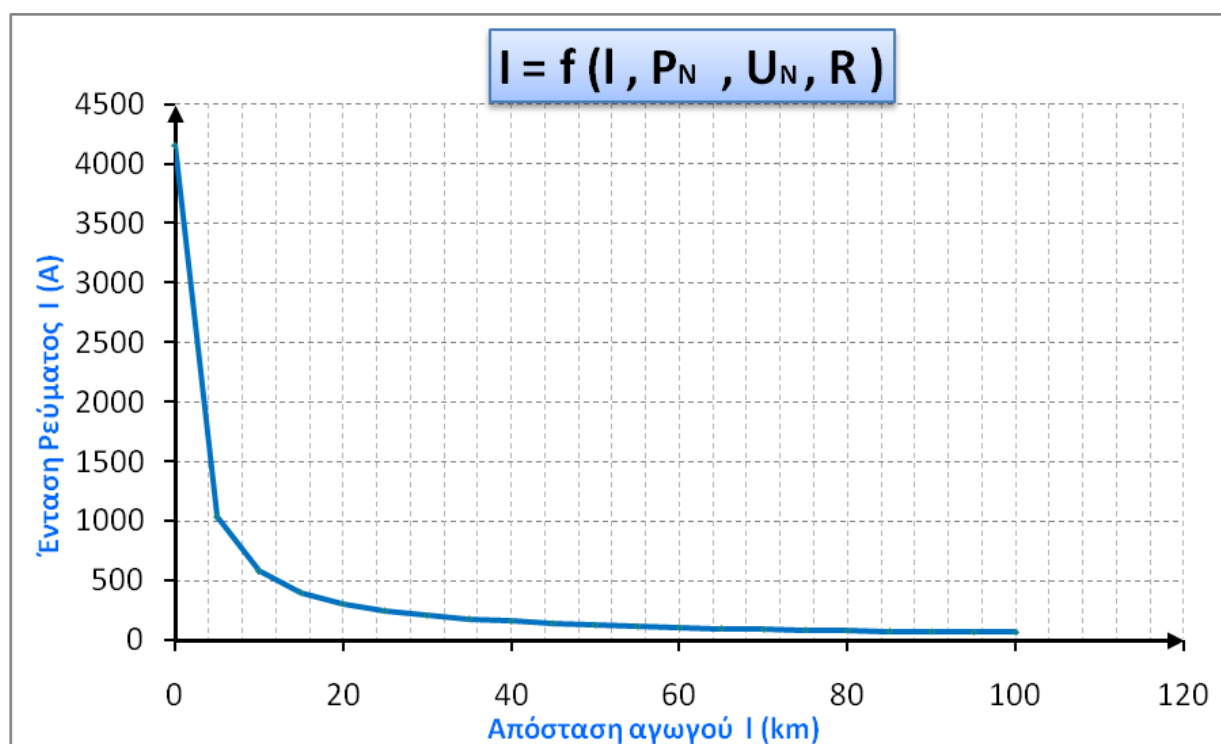
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	2000	2000,055	4,330
5	6,340	2,110	0,054	1,799	2000	2006,398	4,316
10	12,680	4,220	0,054	1,799	2000	2012,743	4,303
15	19,020	6,330	0,054	1,799	2000	2019,090	4,289
20	25,360	8,440	0,054	1,799	2000	2025,440	4,276
25	31,700	10,550	0,054	1,799	2000	2031,792	4,262
30	38,040	12,660	0,054	1,799	2000	2038,145	4,249
35	44,380	14,770	0,054	1,799	2000	2044,501	4,236
40	50,720	16,880	0,054	1,799	2000	2050,859	4,223
45	57,060	18,990	0,054	1,799	2000	2057,219	4,210
50	63,400	21,100	0,054	1,799	2000	2063,581	4,197
55	69,740	23,210	0,054	1,799	2000	2069,945	4,184
60	76,080	25,320	0,054	1,799	2000	2076,311	4,171
65	82,420	27,430	0,054	1,799	2000	2082,679	4,158
70	88,760	29,540	0,054	1,799	2000	2089,049	4,146
75	95,100	31,650	0,054	1,799	2000	2095,421	4,133
80	101,440	33,760	0,054	1,799	2000	2101,795	4,120
85	107,780	35,870	0,054	1,799	2000	2108,171	4,108
90	114,120	37,980	0,054	1,799	2000	2114,548	4,096
95	120,460	40,090	0,054	1,799	2000	2120,928	4,083
100	126,800	42,200	0,054	1,799	2000	2127,309	4,071

Πίνακας 5.6.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,054\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=1,799\Omega$

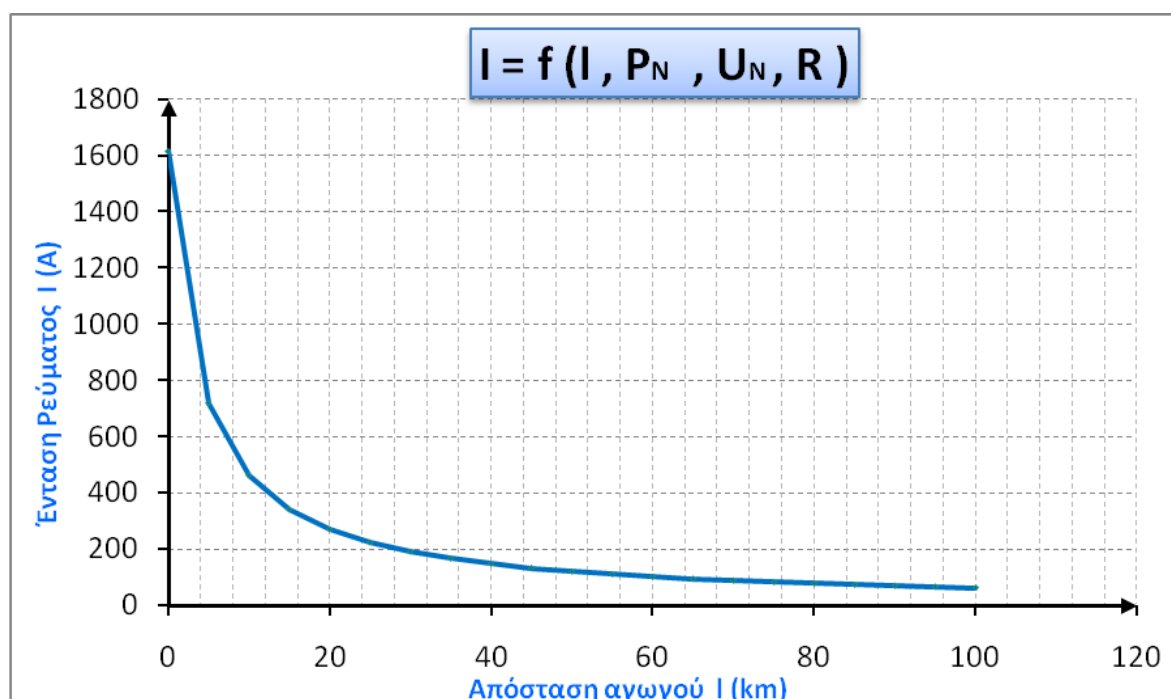
■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,054	1,799	3000	3000,055	2,887
5	6,340	2,110	0,054	1,799	3000	3006,397	2,881
10	12,680	4,220	0,054	1,799	3000	3012,740	2,875
15	19,020	6,330	0,054	1,799	3000	3019,085	2,869
20	25,360	8,440	0,054	1,799	3000	3025,431	2,862
25	31,700	10,550	0,054	1,799	3000	3031,779	2,856
30	38,040	12,660	0,054	1,799	3000	3038,128	2,851
35	44,380	14,770	0,054	1,799	3000	3044,479	2,845
40	50,720	16,880	0,054	1,799	3000	3050,831	2,839
45	57,060	18,990	0,054	1,799	3000	3057,185	2,833
50	63,400	21,100	0,054	1,799	3000	3063,540	2,827
55	69,740	23,210	0,054	1,799	3000	3069,896	2,821
60	76,080	25,320	0,054	1,799	3000	3076,254	2,815
65	82,420	27,430	0,054	1,799	3000	3082,613	2,809
70	88,760	29,540	0,054	1,799	3000	3088,973	2,804
75	95,100	31,650	0,054	1,799	3000	3095,335	2,798
80	101,440	33,760	0,054	1,799	3000	3101,698	2,792
85	107,780	35,870	0,054	1,799	3000	3108,062	2,786
90	114,120	37,980	0,054	1,799	3000	3114,428	2,781
95	120,460	40,090	0,054	1,799	3000	3120,795	2,775
100	126,800	42,200	0,054	1,799	3000	3127,164	2,769

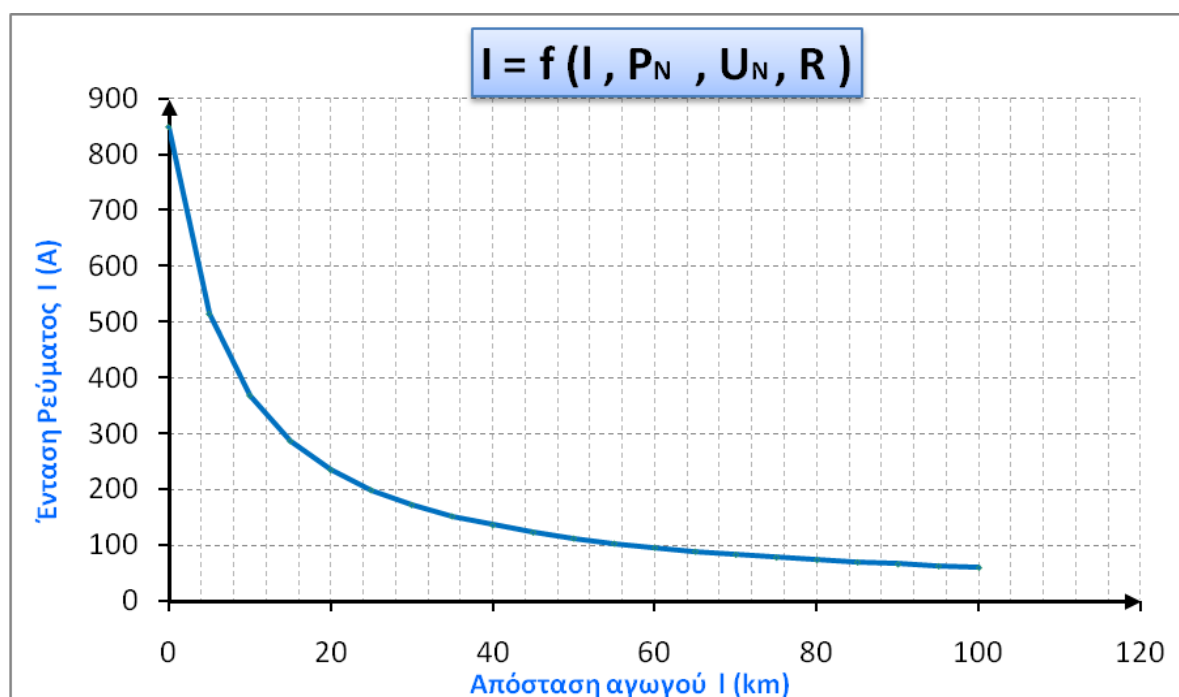
Πίνακας 5.6.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 25\text{MVA}$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= 16mm^2 $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km} =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{\text{ΜΣ}}=0,054\Omega$, $X_{\text{ΜΣ}}=1,799\Omega$



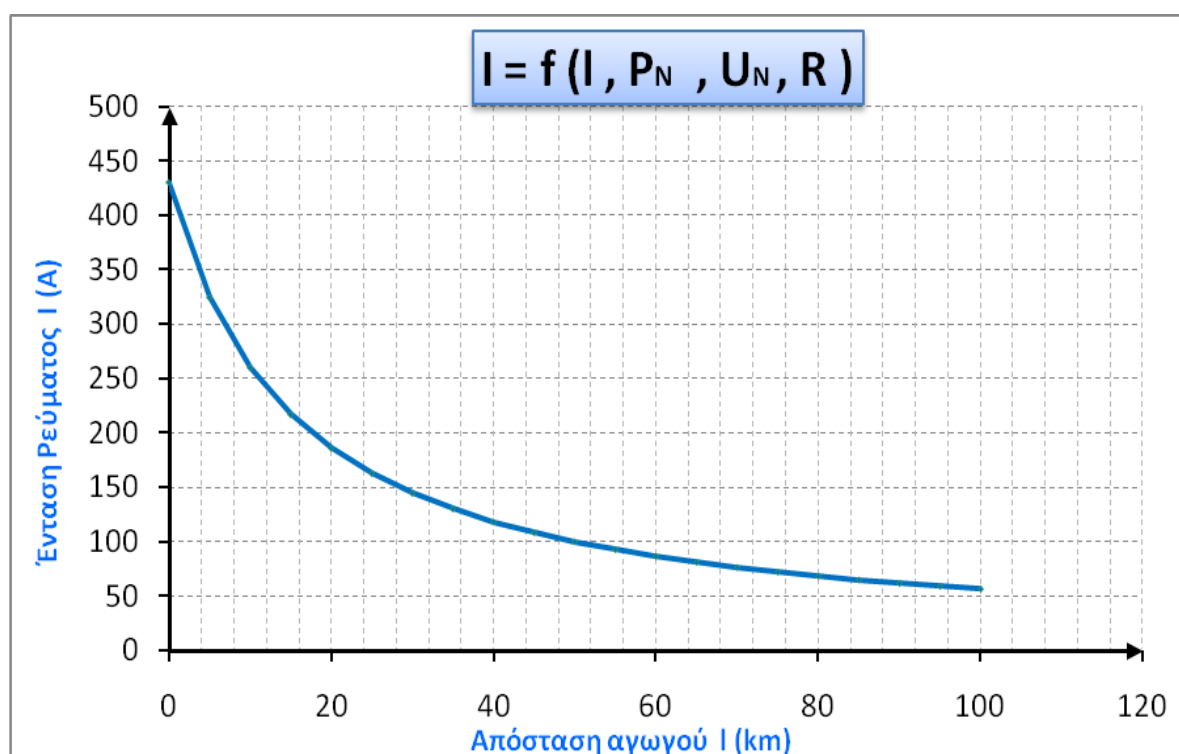
Σχήμα 5.6.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



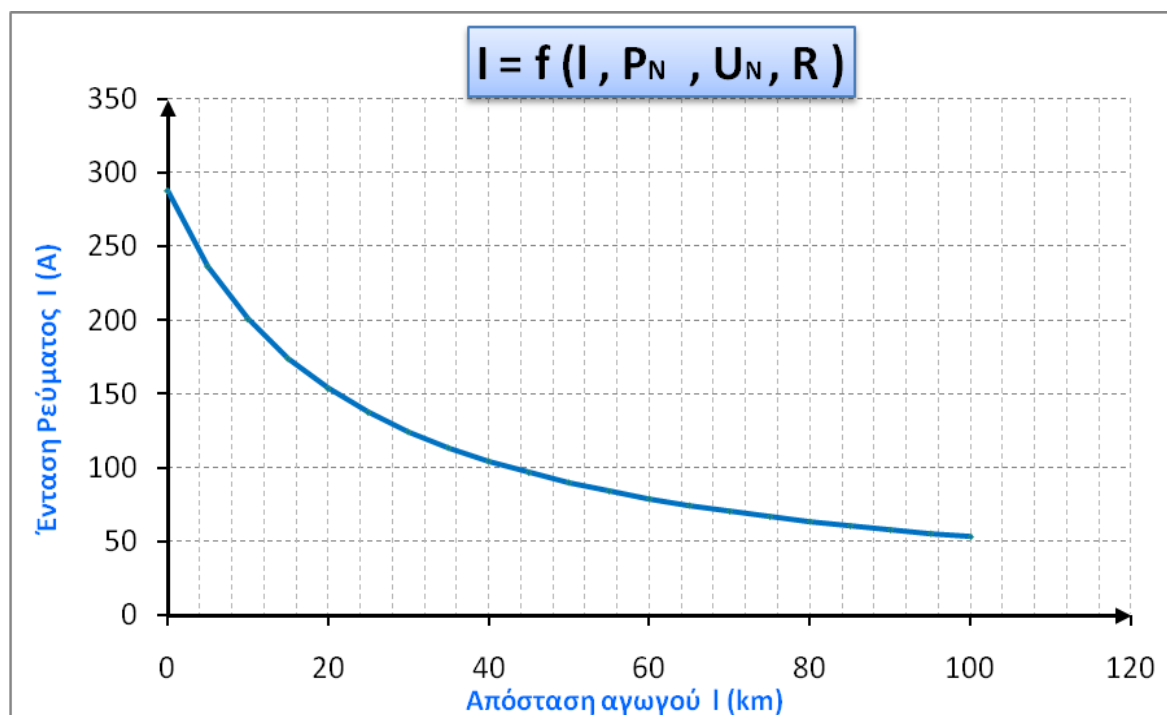
Σχήμα 5.6.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



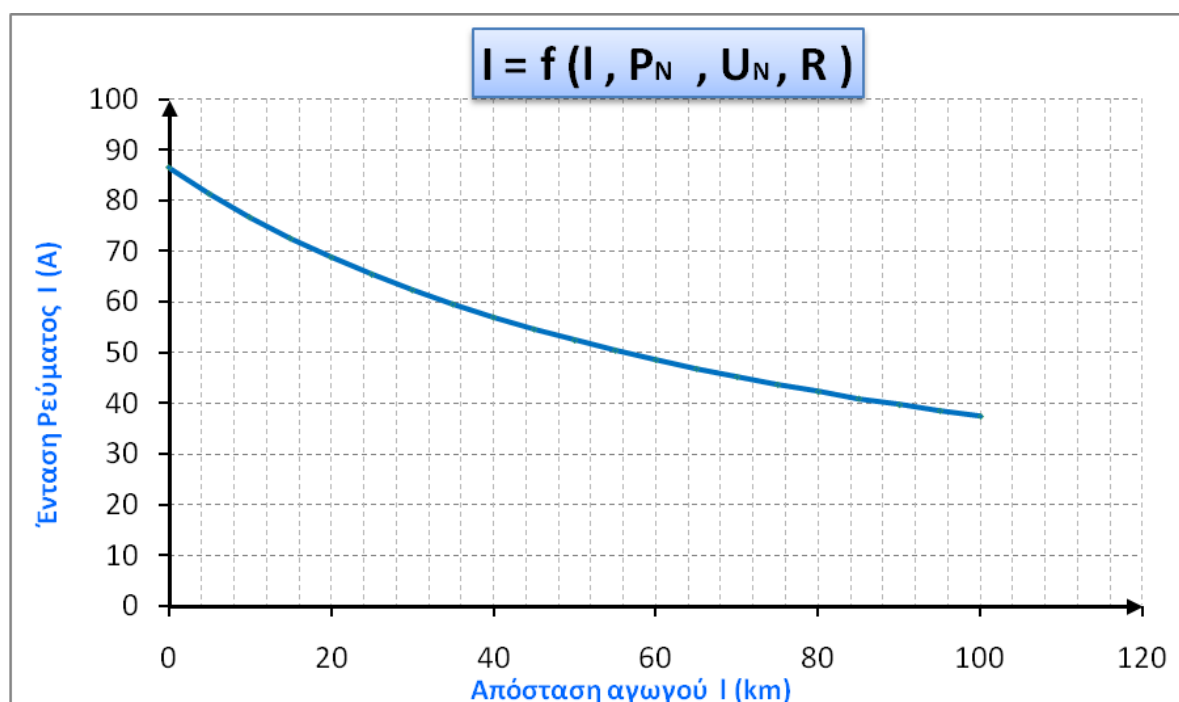
Σχήμα 5.6.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=25MVA, ΜΣ 150kV/15kV



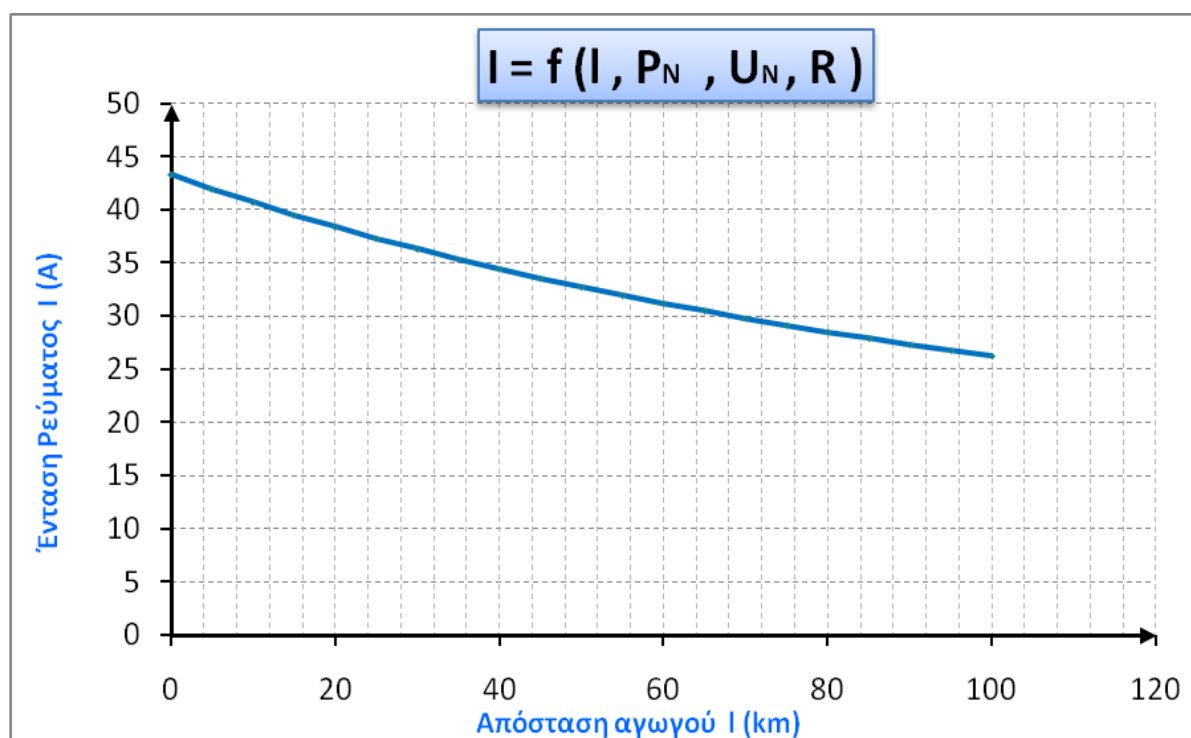
Σχήμα 5.6.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=25MVA, ΜΣ 150kV/15kV



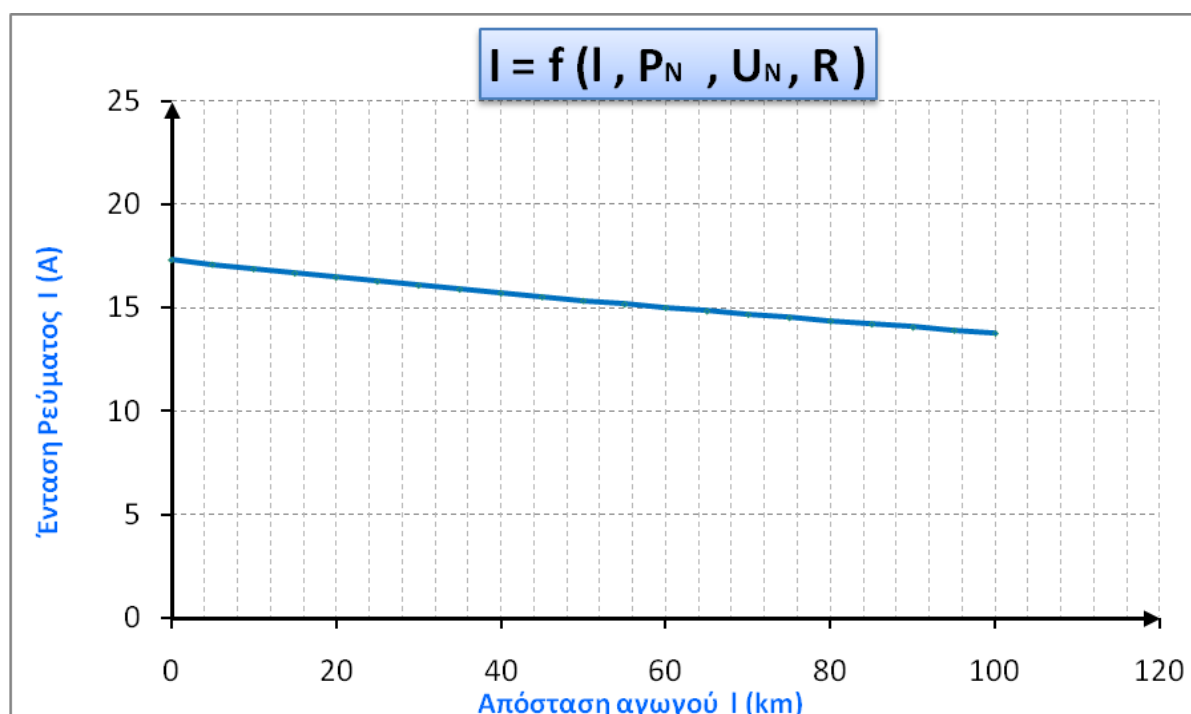
Σχήμα 5.6.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



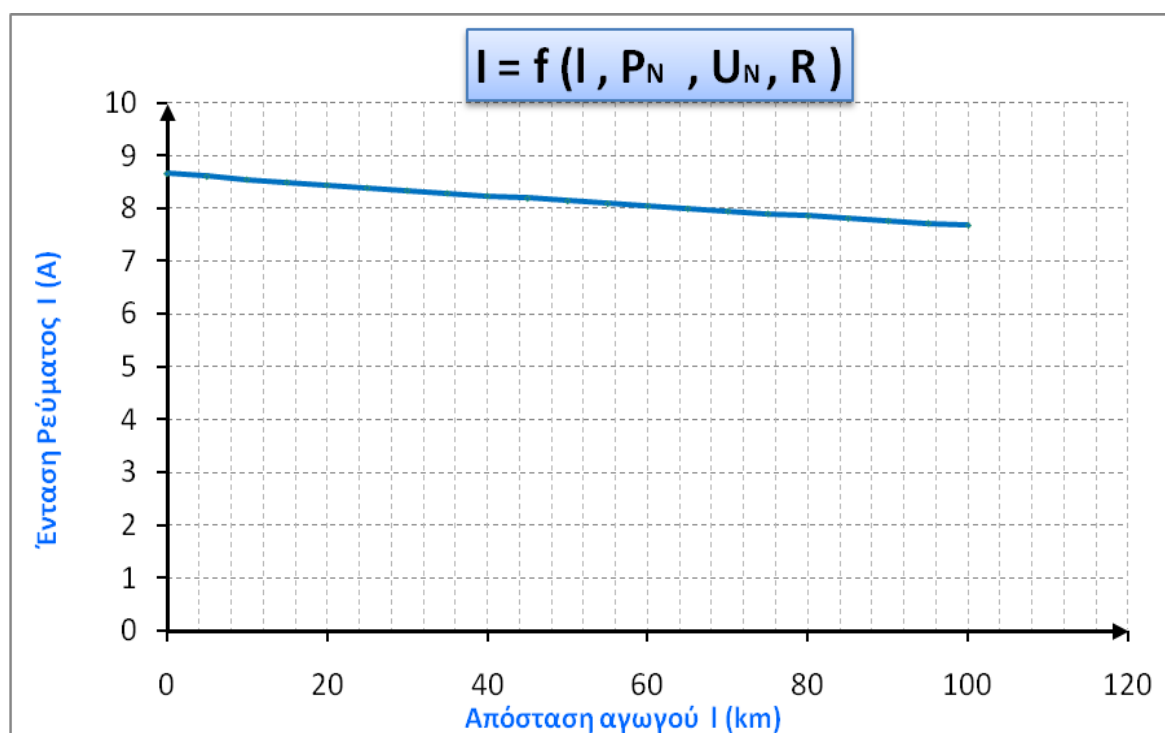
Σχήμα 5.6.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.6.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

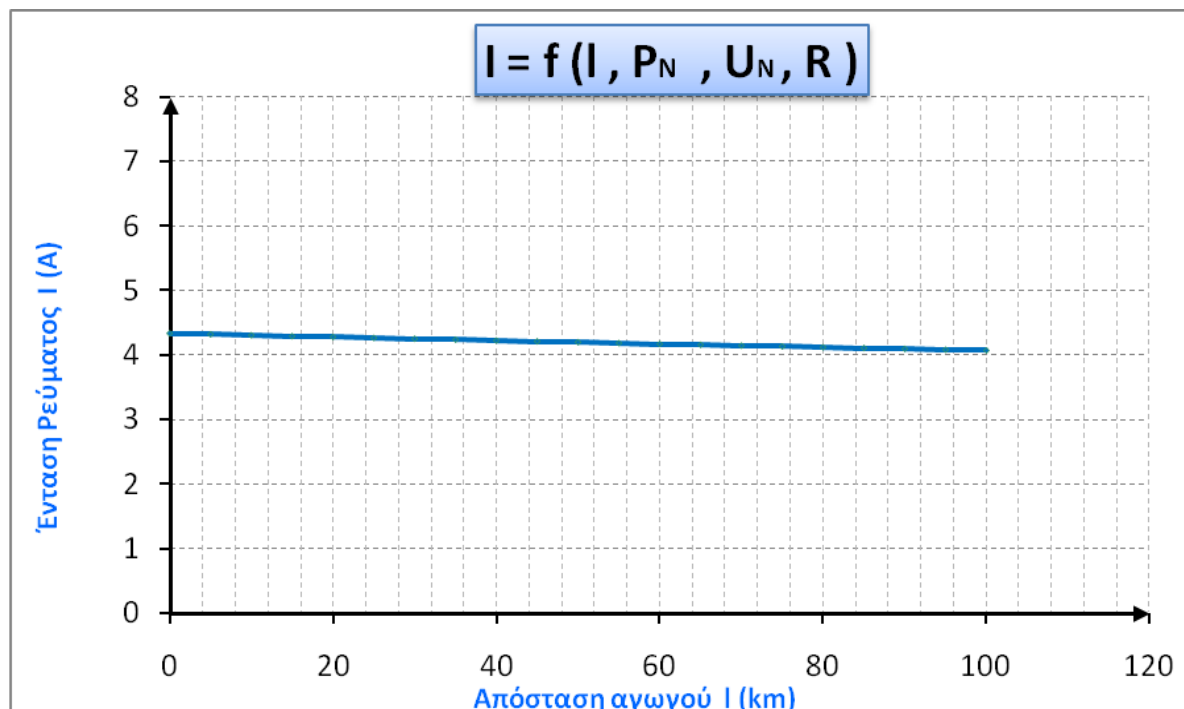


Σχήμα 5.6.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=25\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV



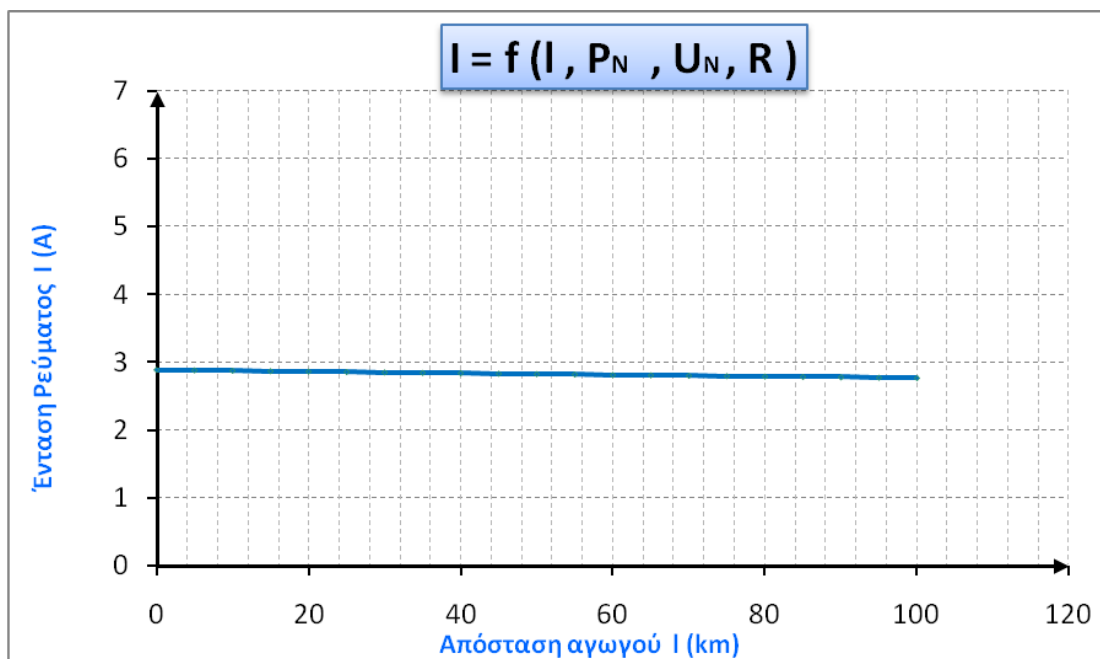
Σχήμα 5.6.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=25MVA, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.6.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=25MVA, ΜΣ 150kV/15kV

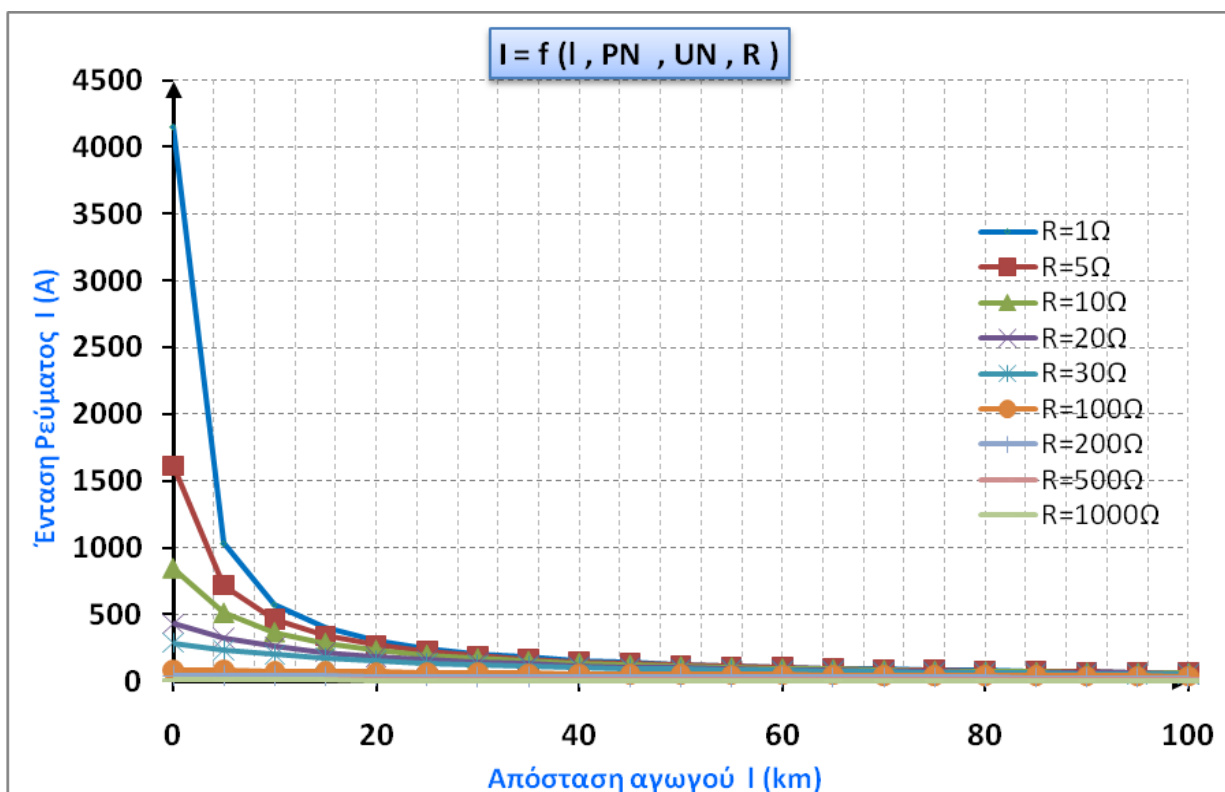


Σχήμα 5.6.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος

Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=25MVA, ΜΣ 150kV/15kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.6.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} .

$P_N=25\text{MVA}$, $M\Sigma 150\text{kV}/15\text{kV}$

5.6.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=100\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

5.7 Σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_{δ} του εδάφους κατά την αποκοπή ενός αγωγού και πτώση του στο έδαφος, ACSR 16mm^2 , $P_N=50\text{MVA}$, $M\Sigma 150\text{kV}/15\text{kV}$

5.7.1 Πίνακες & Διαγράμματα ΜΣ 150kV/15kV με ονομαστική ισχύ $P_N = 50 \text{ MVA}$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_\delta = 1\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	1	1,366	6341,949
5	6,340	2,110	0,027	0,90	1	7,958	1088,219
10	12,680	4,220	0,027	0,90	1	14,632	591,870
15	19,020	6,330	0,027	0,90	1	21,311	406,376
20	25,360	8,440	0,027	0,90	1	27,991	309,392
25	31,700	10,550	0,027	0,90	1	34,672	249,775
30	38,040	12,660	0,027	0,90	1	41,353	209,421
35	44,380	14,770	0,027	0,90	1	48,035	180,291
40	50,720	16,880	0,027	0,90	1	54,716	158,275
45	57,060	18,990	0,027	0,90	1	61,398	141,051
50	63,400	21,100	0,027	0,90	1	68,080	127,208
55	69,740	23,210	0,027	0,90	1	74,761	115,839
60	76,080	25,320	0,027	0,90	1	81,443	106,335
65	82,420	27,430	0,027	0,90	1	88,125	98,273
70	88,760	29,540	0,027	0,90	1	94,807	91,346
75	95,100	31,650	0,027	0,90	1	101,488	85,332
80	101,440	33,760	0,027	0,90	1	108,170	80,061
85	107,780	35,870	0,027	0,90	1	114,852	75,404
90	114,120	37,980	0,027	0,90	1	121,534	71,258
95	120,460	40,090	0,027	0,90	1	128,216	67,544
100	126,800	42,200	0,027	0,90	1	134,898	64,199

Πίνακας 5.7.1-1: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_\delta = 1\Omega$ του εδάφους, $P_N = 50 \text{ MVA}$, L= το μήκος της γραμμής σε km
Γραμμή ACSR A= 16mm² $R_{\gamma\rho}/\text{km}=1,268$, $X_{\gamma\rho}/\text{km}=0,422\Omega$
ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,027\Omega$, $X_{M\Sigma}=0,90\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=5\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	5	5,107	1695,785
5	6,340	2,110	0,027	0,90	5	11,759	736,493
10	12,680	4,220	0,027	0,90	5	18,432	469,839
15	19,020	6,330	0,027	0,90	5	25,110	344,887
20	25,360	8,440	0,027	0,90	5	31,790	272,421
25	31,700	10,550	0,027	0,90	5	38,470	225,114
30	38,040	12,660	0,027	0,90	5	45,151	191,805
35	44,380	14,770	0,027	0,90	5	51,832	167,082
40	50,720	16,880	0,027	0,90	5	58,514	148,004
45	57,060	18,990	0,027	0,90	5	65,195	132,836
50	63,400	21,100	0,027	0,90	5	71,877	120,488
55	69,740	23,210	0,027	0,90	5	78,558	110,240
60	76,080	25,320	0,027	0,90	5	85,240	101,599
65	82,420	27,430	0,027	0,90	5	91,922	94,214
70	88,760	29,540	0,027	0,90	5	98,603	87,829
75	95,100	31,650	0,027	0,90	5	105,285	82,255
80	101,440	33,760	0,027	0,90	5	111,967	77,347
85	107,780	35,870	0,027	0,90	5	118,648	72,991
90	114,120	37,980	0,027	0,90	5	125,330	69,099
95	120,460	40,090	0,027	0,90	5	132,012	65,602
100	126,800	42,200	0,027	0,90	5	138,694	62,442

Πίνακας 5.7.1-2: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,027\Omega$, $X_{M\Sigma}=0,90\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=10\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	10	10,067	860,235
5	6,340	2,110	0,027	0,90	10	16,641	520,402
10	12,680	4,220	0,027	0,90	10	23,277	372,051
15	19,020	6,330	0,027	0,90	10	29,933	289,319
20	25,360	8,440	0,027	0,90	10	36,599	236,626
25	31,700	10,550	0,027	0,90	10	43,269	200,147
30	38,040	12,660	0,027	0,90	10	49,943	173,403
35	44,380	14,770	0,027	0,90	10	56,619	152,958
40	50,720	16,880	0,027	0,90	10	63,296	136,822
45	57,060	18,990	0,027	0,90	10	69,973	123,765
50	63,400	21,100	0,027	0,90	10	76,652	112,981
55	69,740	23,210	0,027	0,90	10	83,331	103,926
60	76,080	25,320	0,027	0,90	10	90,011	96,214
65	82,420	27,430	0,027	0,90	10	96,690	89,567
70	88,760	29,540	0,027	0,90	10	103,371	83,779
75	95,100	31,650	0,027	0,90	10	110,051	78,693
80	101,440	33,760	0,027	0,90	10	116,731	74,190
85	107,780	35,870	0,027	0,90	10	123,412	70,174
90	114,120	37,980	0,027	0,90	10	130,093	66,570
95	120,460	40,090	0,027	0,90	10	136,774	63,318
100	126,800	42,200	0,027	0,90	10	143,455	60,369

Πίνακας 5.7.1-3: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=20\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	20	20,047	431,993
5	6,340	2,110	0,027	0,90	20	26,538	326,331
10	12,680	4,220	0,027	0,90	20	33,105	261,597
15	19,020	6,330	0,027	0,90	20	39,711	218,084
20	25,360	8,440	0,027	0,90	20	46,338	186,893
25	31,700	10,550	0,027	0,90	20	52,979	163,465
30	38,040	12,660	0,027	0,90	20	59,629	145,235
35	44,380	14,770	0,027	0,90	20	66,286	130,650
40	50,720	16,880	0,027	0,90	20	72,947	118,720
45	57,060	18,990	0,027	0,90	20	79,612	108,781
50	63,400	21,100	0,027	0,90	20	86,279	100,375
55	69,740	23,210	0,027	0,90	20	92,948	93,173
60	76,080	25,320	0,027	0,90	20	99,619	86,933
65	82,420	27,430	0,027	0,90	20	106,292	81,476
70	88,760	29,540	0,027	0,90	20	112,966	76,663
75	95,100	31,650	0,027	0,90	20	119,640	72,386
80	101,440	33,760	0,027	0,90	20	126,315	68,561
85	107,780	35,870	0,027	0,90	20	132,991	65,119
90	114,120	37,980	0,027	0,90	20	139,668	62,006
95	120,460	40,090	0,027	0,90	20	146,345	59,177
100	126,800	42,200	0,027	0,90	20	153,022	56,595

Πίνακας 5.7.1-4: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,027\Omega$, $X_{M\Sigma}=0,90\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=30\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	30	30,040	288,286
5	6,340	2,110	0,027	0,90	30	36,491	237,323
10	12,680	4,220	0,027	0,90	30	43,013	201,341
15	19,020	6,330	0,027	0,90	30	49,577	174,683
20	25,360	8,440	0,027	0,90	30	56,169	154,182
25	31,700	10,550	0,027	0,90	30	62,780	137,946
30	38,040	12,660	0,027	0,90	30	69,405	124,779
35	44,380	14,770	0,027	0,90	30	76,039	113,892
40	50,720	16,880	0,027	0,90	30	82,681	104,743
45	57,060	18,990	0,027	0,90	30	89,329	96,947
50	63,400	21,100	0,027	0,90	30	95,982	90,228
55	69,740	23,210	0,027	0,90	30	102,639	84,376
60	76,080	25,320	0,027	0,90	30	109,299	79,235
65	82,420	27,430	0,027	0,90	30	115,961	74,683
70	88,760	29,540	0,027	0,90	30	122,625	70,624
75	95,100	31,650	0,027	0,90	30	129,291	66,982
80	101,440	33,760	0,027	0,90	30	135,959	63,697
85	107,780	35,870	0,027	0,90	30	142,628	60,719
90	114,120	37,980	0,027	0,90	30	149,298	58,006
95	120,460	40,090	0,027	0,90	30	155,970	55,525
100	126,800	42,200	0,027	0,90	30	162,642	53,247

Πίνακας 5.7.1-5: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, L= το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,027\Omega$, $X_{M\Sigma}=0,90\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=100\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	100	100,031	86,576
5	6,340	2,110	0,027	0,90	100	106,410	81,386
10	12,680	4,220	0,027	0,90	100	112,823	76,759
15	19,020	6,330	0,027	0,90	100	119,266	72,613
20	25,360	8,440	0,027	0,90	100	125,734	68,877
25	31,700	10,550	0,027	0,90	100	132,224	65,497
30	38,040	12,660	0,027	0,90	100	138,731	62,425
35	44,380	14,770	0,027	0,90	100	145,255	59,621
40	50,720	16,880	0,027	0,90	100	151,792	57,053
45	57,060	18,990	0,027	0,90	100	158,341	54,694
50	63,400	21,100	0,027	0,90	100	164,901	52,518
55	69,740	23,210	0,027	0,90	100	171,470	50,506
60	76,080	25,320	0,027	0,90	100	178,048	48,640
65	82,420	27,430	0,027	0,90	100	184,633	46,905
70	88,760	29,540	0,027	0,90	100	191,225	45,288
75	95,100	31,650	0,027	0,90	100	197,823	43,778
80	101,440	33,760	0,027	0,90	100	204,427	42,364
85	107,780	35,870	0,027	0,90	100	211,035	41,037
90	114,120	37,980	0,027	0,90	100	217,648	39,790
95	120,460	40,090	0,027	0,90	100	224,265	38,616
100	126,800	42,200	0,027	0,90	100	230,885	37,509

Πίνακας 5.7.1-6: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=200\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	200	200,029	43,295
5	6,340	2,110	0,027	0,90	200	206,389	41,961
10	12,680	4,220	0,027	0,90	200	212,769	40,703
15	19,020	6,330	0,027	0,90	200	219,166	39,515
20	25,360	8,440	0,027	0,90	200	225,580	38,391
25	31,700	10,550	0,027	0,90	200	232,010	37,327
30	38,040	12,660	0,027	0,90	200	238,453	36,319
35	44,380	14,770	0,027	0,90	200	244,909	35,361
40	50,720	16,880	0,027	0,90	200	251,377	34,451
45	57,060	18,990	0,027	0,90	200	257,855	33,586
50	63,400	21,100	0,027	0,90	200	264,344	32,761
55	69,740	23,210	0,027	0,90	200	270,842	31,975
60	76,080	25,320	0,027	0,90	200	277,349	31,225
65	82,420	27,430	0,027	0,90	200	283,864	30,508
70	88,760	29,540	0,027	0,90	200	290,387	29,823
75	95,100	31,650	0,027	0,90	200	296,917	29,167
80	101,440	33,760	0,027	0,90	200	303,453	28,539
85	107,780	35,870	0,027	0,90	200	309,995	27,937
90	114,120	37,980	0,027	0,90	200	316,544	27,359
95	120,460	40,090	0,027	0,90	200	323,098	26,804
100	126,800	42,200	0,027	0,90	200	329,657	26,271

Πίνακας 5.7.1-7: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=500\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	500	500,028	17,320
5	6,340	2,110	0,027	0,90	500	506,376	17,102
10	12,680	4,220	0,027	0,90	500	512,733	16,890
15	19,020	6,330	0,027	0,90	500	519,097	16,683
20	25,360	8,440	0,027	0,90	500	525,470	16,481
25	31,700	10,550	0,027	0,90	500	531,850	16,283
30	38,040	12,660	0,027	0,90	500	538,238	16,090
35	44,380	14,770	0,027	0,90	500	544,632	15,901
40	50,720	16,880	0,027	0,90	500	551,034	15,716
45	57,060	18,990	0,027	0,90	500	557,442	15,536
50	63,400	21,100	0,027	0,90	500	563,856	15,359
55	69,740	23,210	0,027	0,90	500	570,277	15,186
60	76,080	25,320	0,027	0,90	500	576,703	15,017
65	82,420	27,430	0,027	0,90	500	583,136	14,851
70	88,760	29,540	0,027	0,90	500	589,573	14,689
75	95,100	31,650	0,027	0,90	500	596,016	14,530
80	101,440	33,760	0,027	0,90	500	602,465	14,375
85	107,780	35,870	0,027	0,90	500	608,918	14,222
90	114,120	37,980	0,027	0,90	500	615,376	14,073
95	120,460	40,090	0,027	0,90	500	621,839	13,927
100	126,800	42,200	0,027	0,90	500	628,307	13,783

Πίνακας 5.7.1-8: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$

■ Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=1000\Omega$

L km	$R_{\gamma\rho}$ (Ω)	$X_{\gamma\rho}$ (Ω)	$R_{M\Sigma}$ (Ω)	$X_{M\Sigma}$ (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	1000	1000,027	8,660
5	6,340	2,110	0,027	0,90	1000	1006,372	8,605
10	12,680	4,220	0,027	0,90	1000	1012,720	8,551
15	19,020	6,330	0,027	0,90	1000	1019,073	8,498
20	25,360	8,440	0,027	0,90	1000	1025,430	8,445
25	31,700	10,550	0,027	0,90	1000	1031,791	8,393
30	38,040	12,660	0,027	0,90	1000	1038,156	8,342
35	44,380	14,770	0,027	0,90	1000	1044,525	8,291
40	50,720	16,880	0,027	0,90	1000	1050,897	8,241
45	57,060	18,990	0,027	0,90	1000	1057,274	8,191
50	63,400	21,100	0,027	0,90	1000	1063,655	8,142
55	69,740	23,210	0,027	0,90	1000	1070,039	8,093
60	76,080	25,320	0,027	0,90	1000	1076,426	8,045
65	82,420	27,430	0,027	0,90	1000	1082,818	7,998
70	88,760	29,540	0,027	0,90	1000	1089,212	7,951
75	95,100	31,650	0,027	0,90	1000	1095,611	7,904
80	101,440	33,760	0,027	0,90	1000	1102,012	7,859
85	107,780	35,870	0,027	0,90	1000	1108,417	7,813
90	114,120	37,980	0,027	0,90	1000	1114,825	7,768
95	120,460	40,090	0,027	0,90	1000	1121,237	7,724
100	126,800	42,200	0,027	0,90	1000	1127,651	7,680

Πίνακας 5.7.1-9: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{M\Sigma}=0,027\Omega$, $X_{M\Sigma}=0,90\Omega$

■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=2000\Omega$**

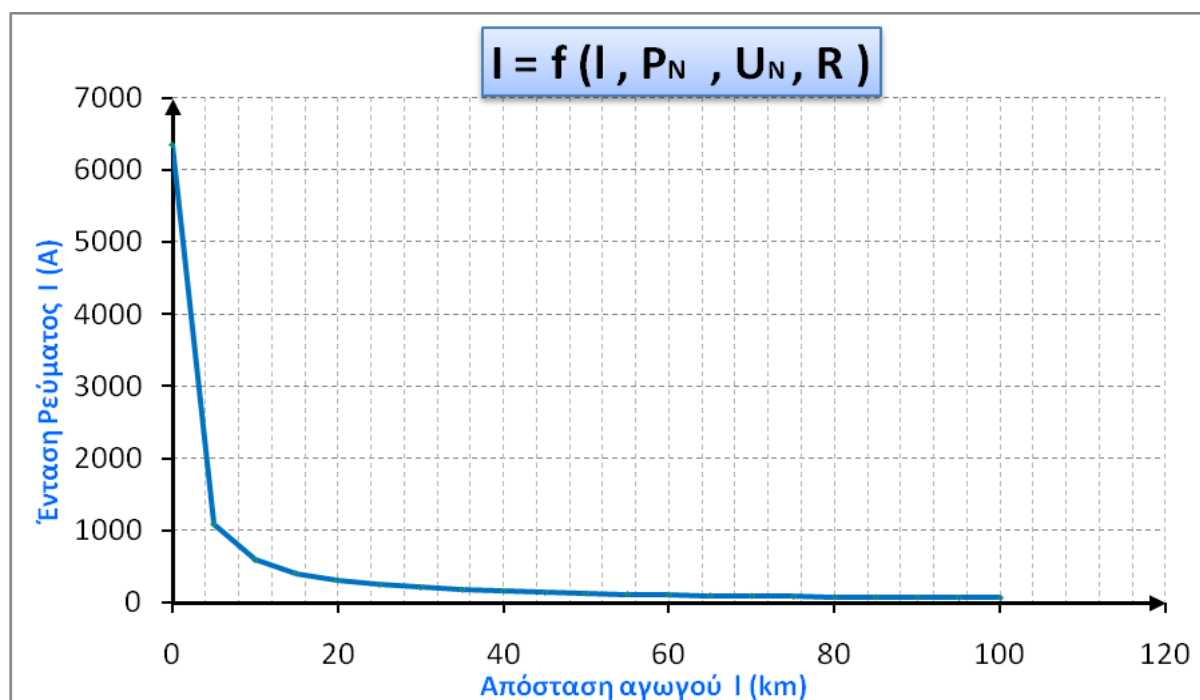
L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	2000	2000,027	4,330
5	6,340	2,110	0,027	0,90	2000	2006,369	4,316
10	12,680	4,220	0,027	0,90	2000	2012,714	4,303
15	19,020	6,330	0,027	0,90	2000	2019,060	4,289
20	25,360	8,440	0,027	0,90	2000	2025,409	4,276
25	31,700	10,550	0,027	0,90	2000	2031,759	4,262
30	38,040	12,660	0,027	0,90	2000	2038,112	4,249
35	44,380	14,770	0,027	0,90	2000	2044,467	4,236
40	50,720	16,880	0,027	0,90	2000	2050,824	4,223
45	57,060	18,990	0,027	0,90	2000	2057,183	4,210
50	63,400	21,100	0,027	0,90	2000	2063,544	4,197
55	69,740	23,210	0,027	0,90	2000	2069,907	4,184
60	76,080	25,320	0,027	0,90	2000	2076,273	4,171
65	82,420	27,430	0,027	0,90	2000	2082,640	4,158
70	88,760	29,540	0,027	0,90	2000	2089,009	4,146
75	95,100	31,650	0,027	0,90	2000	2095,380	4,133
80	101,440	33,760	0,027	0,90	2000	2101,753	4,120
85	107,780	35,870	0,027	0,90	2000	2108,128	4,108
90	114,120	37,980	0,027	0,90	2000	2114,504	4,096
95	120,460	40,090	0,027	0,90	2000	2120,883	4,083
100	126,800	42,200	0,027	0,90	2000	2127,264	4,071

Πίνακας 5.7.1-10: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$

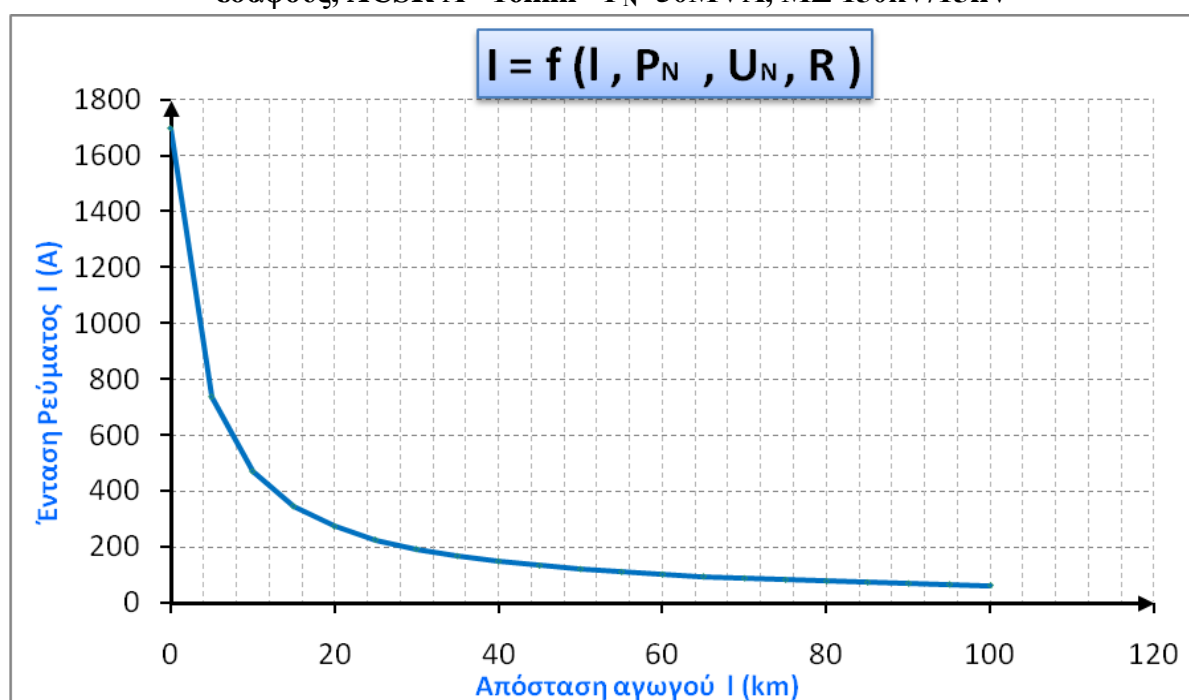
■ **Αντίσταση Εδάφους $R_{\delta}=3000\Omega$**

L km	R_{γρ} (Ω)	X_{γρ} (Ω)	R_{ΜΣ} (Ω)	X_{ΜΣ} (Ω)	R (Ω)	Z (Ω)	I (A)
0	0,000	0,000	0,027	0,90	3000	3000,027	2,887
5	6,340	2,110	0,027	0,90	3000	3006,369	2,881
10	12,680	4,220	0,027	0,90	3000	3012,711	2,875
15	19,020	6,330	0,027	0,90	3000	3019,056	2,869
20	25,360	8,440	0,027	0,90	3000	3025,401	2,863
25	31,700	10,550	0,027	0,90	3000	3031,749	2,857
30	38,040	12,660	0,027	0,90	3000	3038,097	2,851
35	44,380	14,770	0,027	0,90	3000	3044,447	2,845
40	50,720	16,880	0,027	0,90	3000	3050,799	2,839
45	57,060	18,990	0,027	0,90	3000	3057,152	2,833
50	63,400	21,100	0,027	0,90	3000	3063,506	2,827
55	69,740	23,210	0,027	0,90	3000	3069,862	2,821
60	76,080	25,320	0,027	0,90	3000	3076,219	2,815
65	82,420	27,430	0,027	0,90	3000	3082,577	2,809
70	88,760	29,540	0,027	0,90	3000	3088,937	2,804
75	95,100	31,650	0,027	0,90	3000	3095,298	2,798
80	101,440	33,760	0,027	0,90	3000	3101,661	2,792
85	107,780	35,870	0,027	0,90	3000	3108,025	2,786
90	114,120	37,980	0,027	0,90	3000	3114,390	2,781
95	120,460	40,090	0,027	0,90	3000	3120,756	2,775
100	126,800	42,200	0,027	0,90	3000	3127,124	2,769

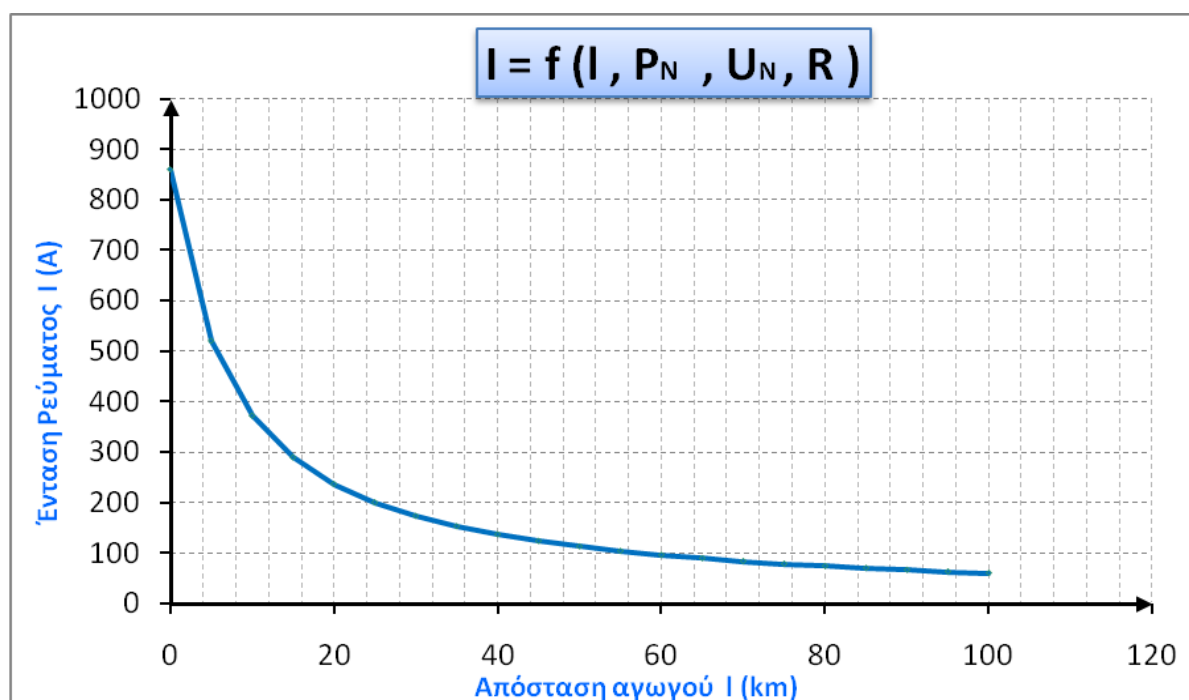
Πίνακας 5.7.1-11: Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους,
 $P_N= 50MVA$, $L=$ το μήκος της γραμμής σε km
 Γραμμή ACSR A= $16mm^2$ $R_{\gamma\rho}/km=1,268$, $X_{\gamma\rho}/km =0,422\Omega$
 ΜΣ 150kV/15kV: $R_{ΜΣ}=0,027\Omega$, $X_{ΜΣ}=0,90\Omega$



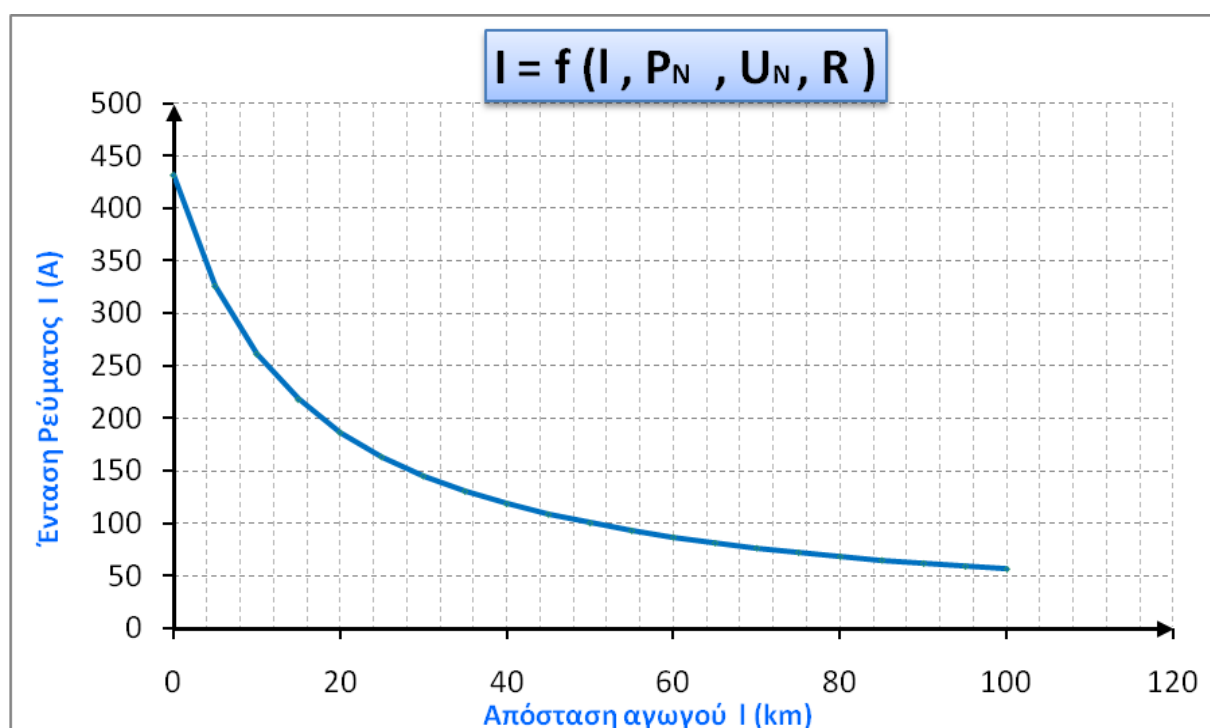
Σχήμα 5.7.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/15kV



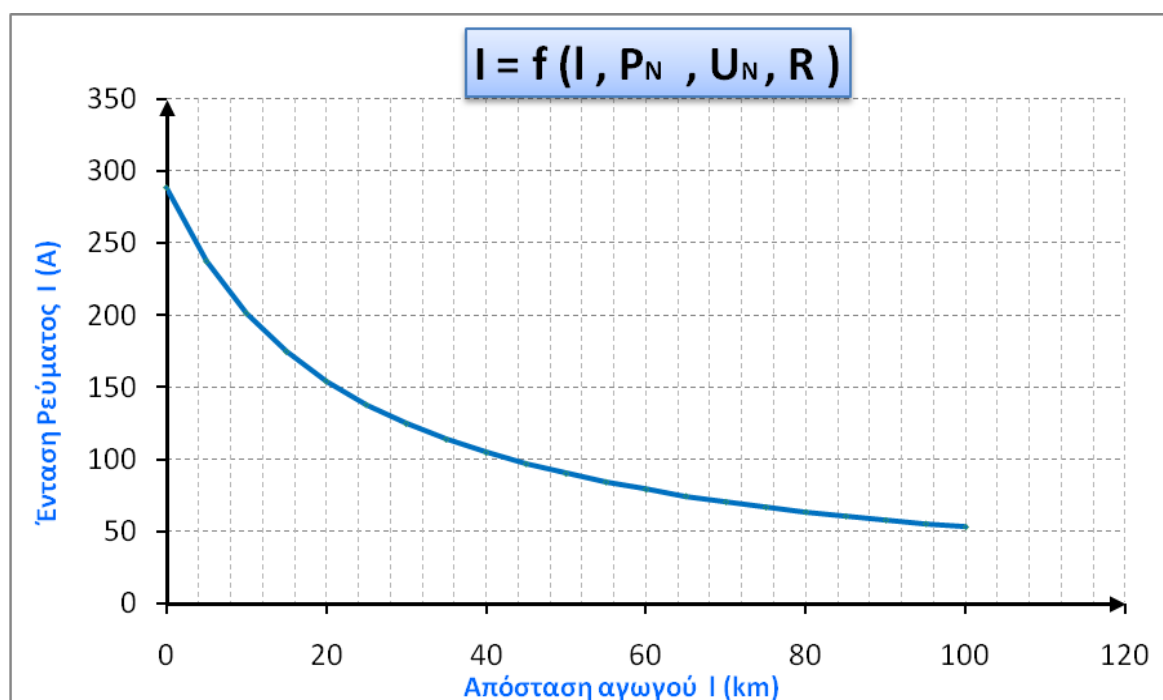
Σχήμα 5.7.1-2: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=5\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/15kV



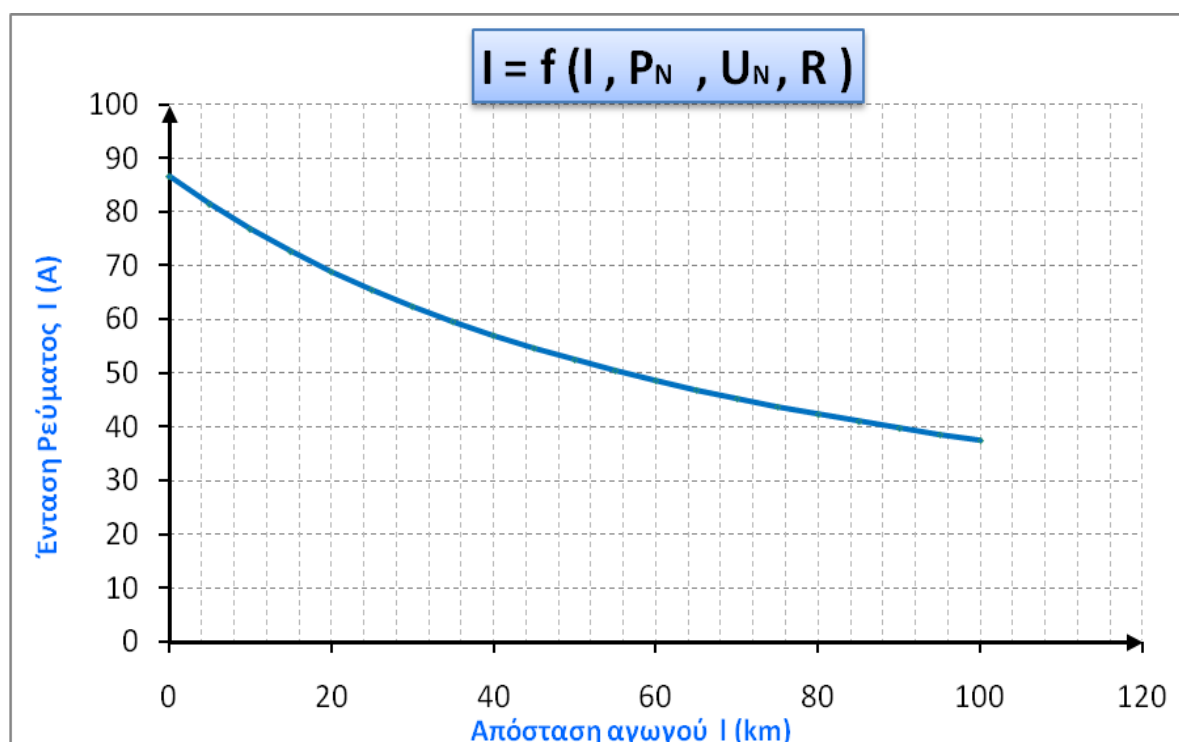
Σχήμα 5.7.1-3: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=10\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/15kV



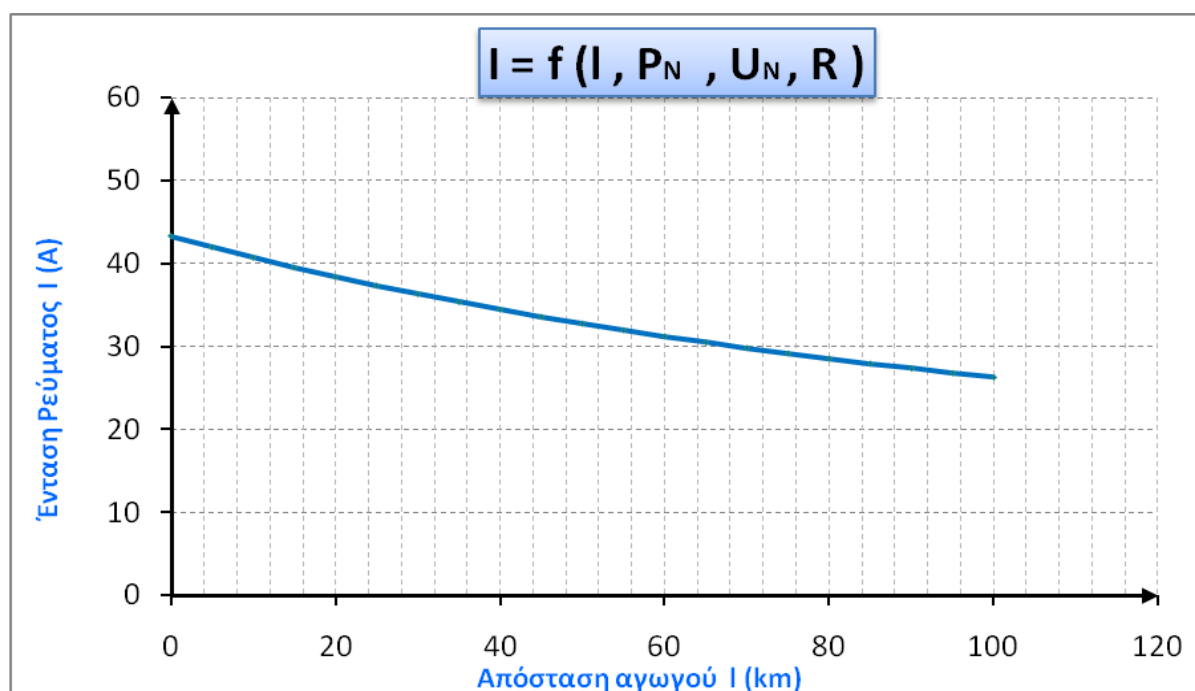
Σχήμα 5.7.1-4: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=20\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² P_N=50MVA, ΜΣ 150kV/15kV



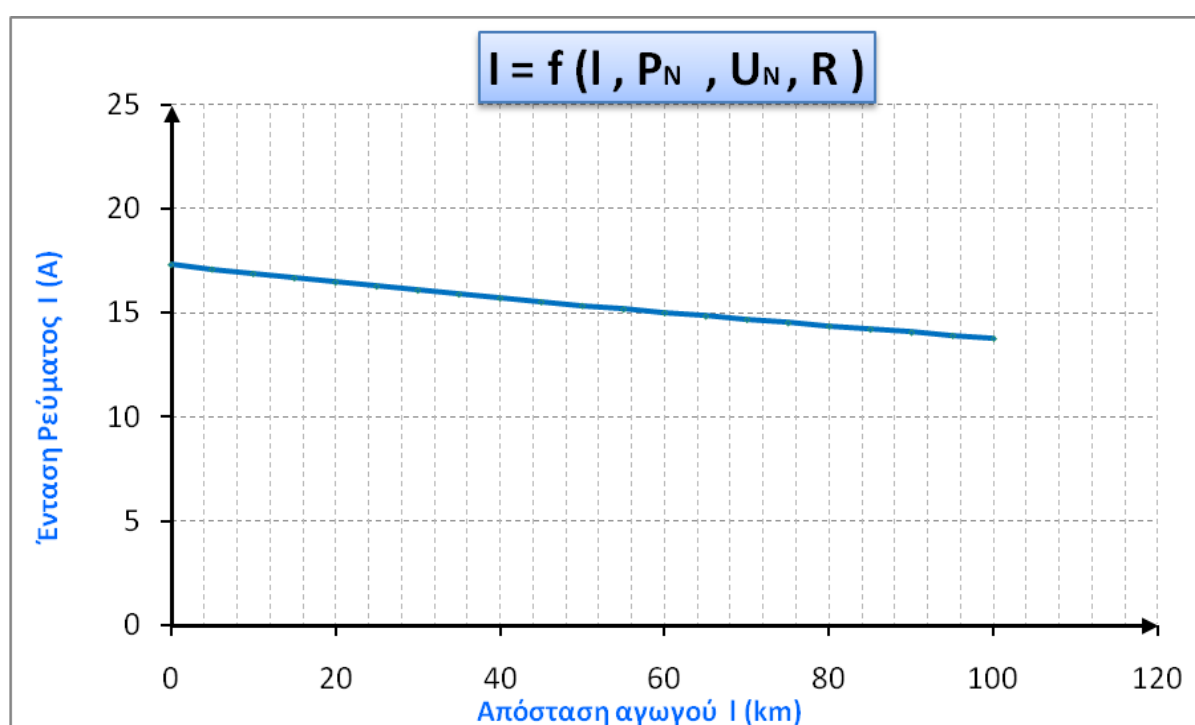
Σχήμα 5.7.1-5: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=30\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



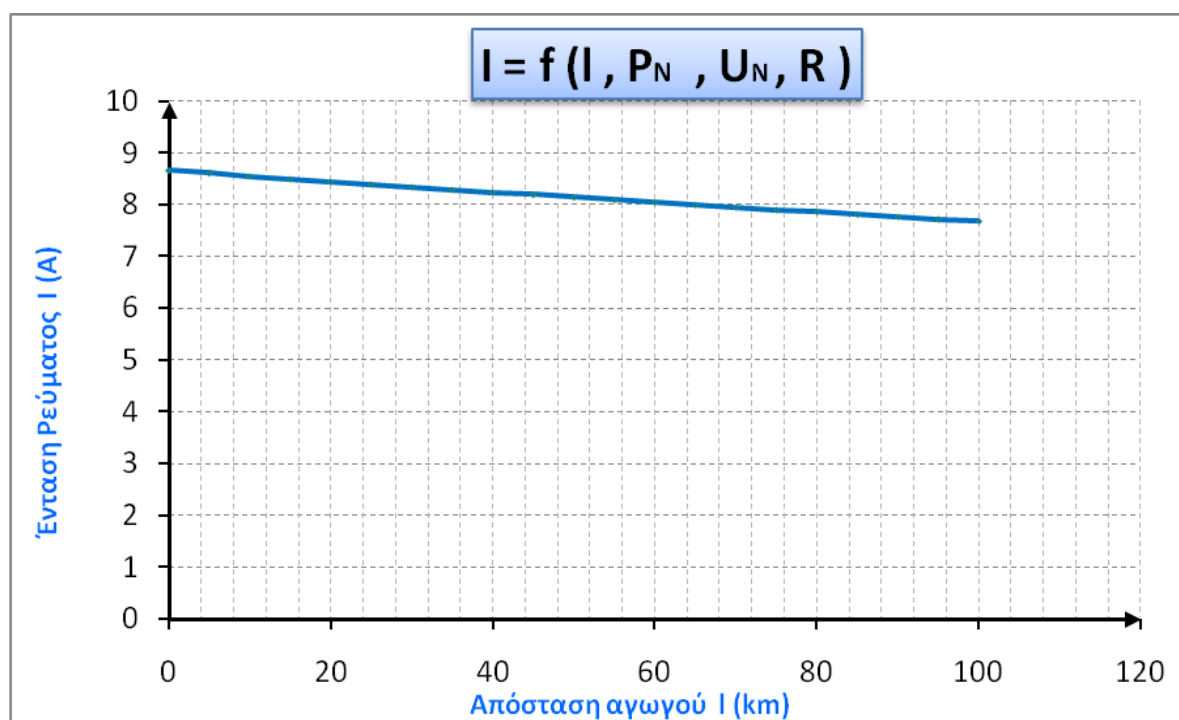
Σχήμα 5.7.1-6: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=100\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



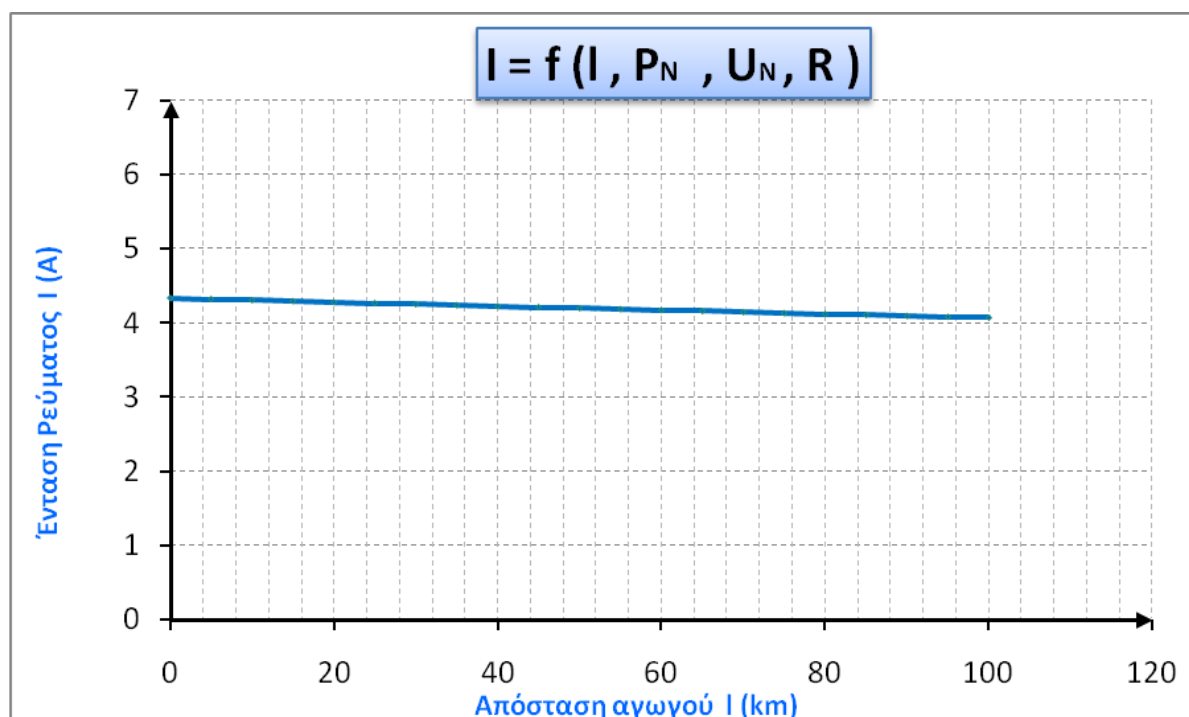
Σχήμα 5.7.1-7: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=200\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



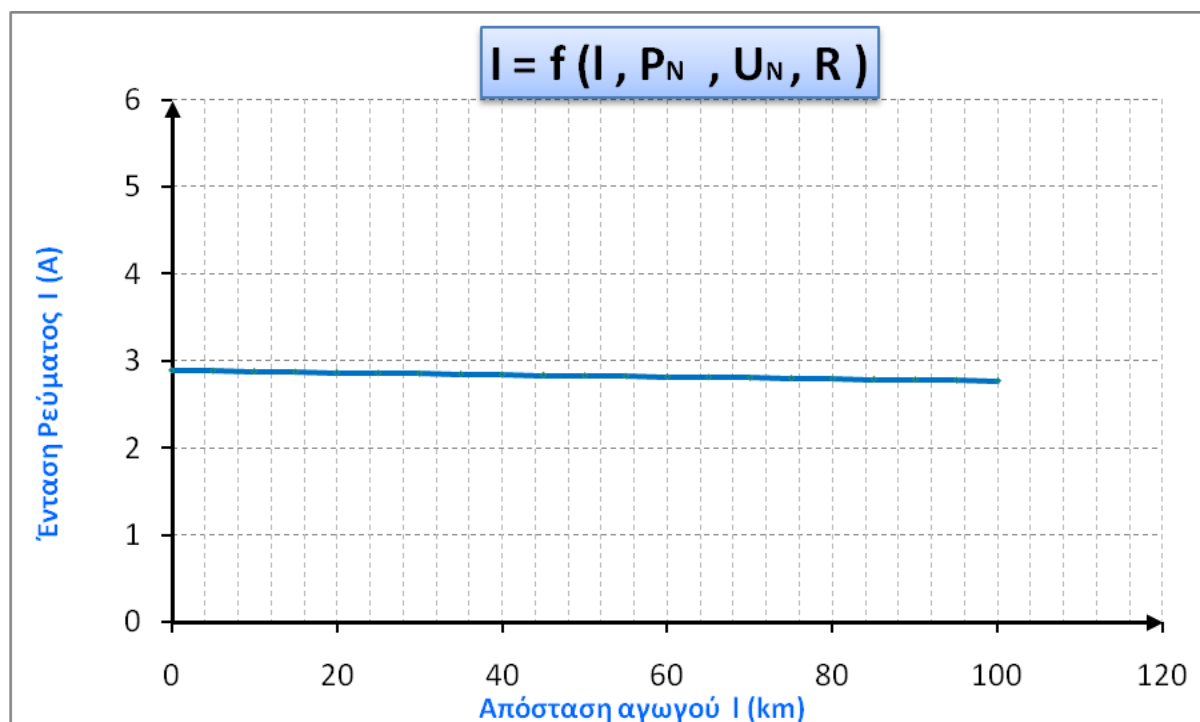
Σχήμα 5.7.1-8: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=500\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.7.1-9: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=1000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



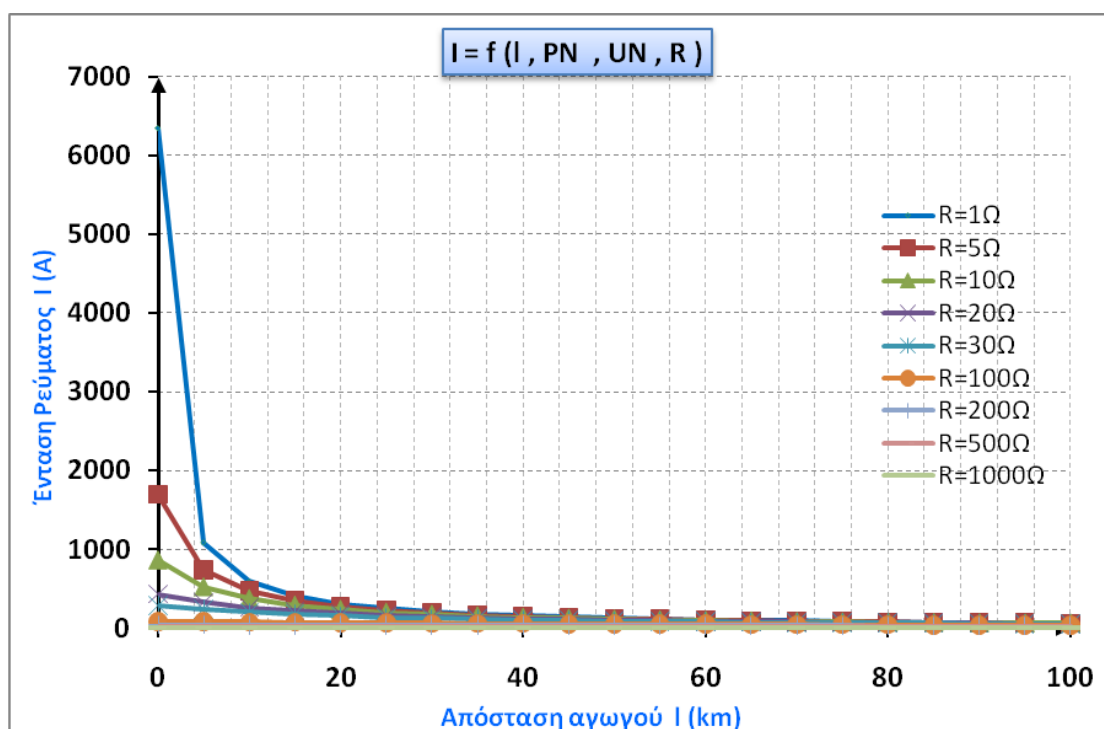
Σχήμα 5.7.1-10: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
 Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=2000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50MVA$, ΜΣ 150kV/15kV



Σχήμα 5.7.1-11: Τιμή ρεύματος ροής προς γη σε συνάρτηση με την απόσταση του σφάλματος
Σφάλμα ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης $R_{\delta}=3000\Omega$ του εδάφους, ACSR A= 16mm² $P_N=50\text{MVA}$, ΜΣ 150kV/15kV

■ Συγκεντρωτικό Διάγραμμα $I=f(L)$ για τις διάφορες τιμές του R_{δ}

Με βάση τα στοιχεία που λάβαμε από τους παραπάνω πίνακες, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Σχήμα 5.7.1-12: Γραφική παράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR $A=16\text{mm}^2$ για τις διάφορες τιμές της R_{δ} .

$P_N=50\text{MVA}$, $M\Sigma 150\text{kV}/15\text{kV}$

5.7.2 Παρατηρήσεις

Στην παραπάνω γραφική παράσταση δεν συμπεριλήφθηκαν διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές της R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτή η παραδοχή έγινε ώστε η γραφική παράσταση να είναι πιο ευανάγνωστη. Παρατηρούμε ότι από τις τιμές $R_{\delta}=100\Omega$ σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τιμή του ρεύματος διαρροής I_{δ} να μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή).

Κεφάλαιο 6^ο

6. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι ΑΔΕ και ΔΑΕ του δικτύου μέσης τάσης της Δ.Ε.Η, που είναι τοποθετημένοι σε γραμμή ACSR-16mm², σε περίπτωση που συμβεί σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης διάβασης (R_s) του εδάφους, στα πρώτα 100km από τον μετασχηματιστή υψηλής προς μέση τάση, δεν “αντιλαμβάνονται” το σφάλμα για: $R_s=100\Omega, 200\Omega, 500\Omega, 1000\Omega, 2000\Omega, 3000\Omega$ και συνεπώς η λειτουργία του δικτύου είναι προβληματική, με ότι αυτό συνεπάγεται. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν ($R_s=1\Omega, 5\Omega, 10\Omega, 20\Omega, 30\Omega, 50\Omega$), δεν υπάρχει πρόβλημα, οι διακόπτες λειτουργούν κανονικά και το κύκλωμα διακόπτεται.

6.1 Τεχνικές και εξοπλισμός προστασίας γραμμών μεταφοράς με ηλεκτρονόμους.

Οι τεχνικές προστασίας με ηλεκτρονόμους που χρησιμοποιούνται σε γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι Υπερέντασης (instantaneous overcurrent relays)**

Η κύρια εφαρμογή των ηλεκτρονόμων υπερέντασης είναι στα ακτινικά συστήματα όπου παρέχουν προστασία για σφάλματα φάσεων αλλά και γης. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά συστήματα και σε δευτερεύουσες γραμμές μεταφοράς, όπου δε συμφέρουν οικονομικά άλλα είδη προστασίας, όπως ηλεκτρονόμοι απόστασης και τηλεπροστασίας (distance or pilot relays).

- **Ηλεκτρονόμοι Υπερέντασης, Αντιστρόφου χρόνου, Χρονικής καθυστέρησης (inverse, time delay overcurrent relays)**

Η χρονική καθυστέρηση εισάγεται ώστε να είναι δυνατός ο συντονισμός και η συνεργασία μεταξύ διαφόρων ηλεκτρονόμων. Για παράδειγμα, ένας ηλεκτρονόμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοηθητική προστασία (back-up) σε περίπτωση που ο κύριος ηλεκτρονόμος που επιβλέπει μια ζώνη προστασίας δεν ανταποκριθεί μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

- **Ηλεκτρονόμοι Υπερέντασης, Κατεύθυνσης (directional overcurrent relays)**

Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης και κατεύθυνσης είναι απαραίτητοι για δίκτυα με πολλαπλές πηγές ενέργειας, όταν είναι σκόπιμο να απομονώνονται σφάλματα προς μια μόνο κατεύθυνση. Προσδίδεται το χαρακτηριστικό της κατεύθυνσης στους ηλεκτρονόμους υπερέντασης, ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία και ο συντονισμός μεταξύ όλων των ηλεκτρονόμων που βλέπουν ένα σφάλμα. Έτσι, ένας ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης μπορεί να ξεχωρίσει αν ένα σφάλμα είναι εσωτερικό ή εξωτερικό της ζώνης προστασίας του. Απαιτούνται δυο είσοδοι, το ρεύμα λειτουργίας και μια

είσοδος αναφοράς (τάση ή ρεύμα), γνωστή ως πόλωση, που μένει αμετάβλητη σε περίπτωση σφάλματος.

- **Ηλεκτρονόμοι αποστάσεως (distance relays)**

Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί μετρούν τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής από τη θέση που είναι εγκατεστημένοι μέχρι τη θέση του σφάλματος και ανάλογα με την προκαθορισμένη τους ρύθμιση (στη R-X χαρακτηριστική που εκφράζει τη ζώνη προστασίας τους) επενεργούν στον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος. Καθώς η αντίσταση ανά χιλιόμετρο μιας γραμμής είναι σχετικά σταθερή ποσότητα, οι ηλεκτρονόμοι αποστάσεως ουσιαστικά ανταποκρίνονται στην απόσταση που συμβαίνει το σφάλμα.

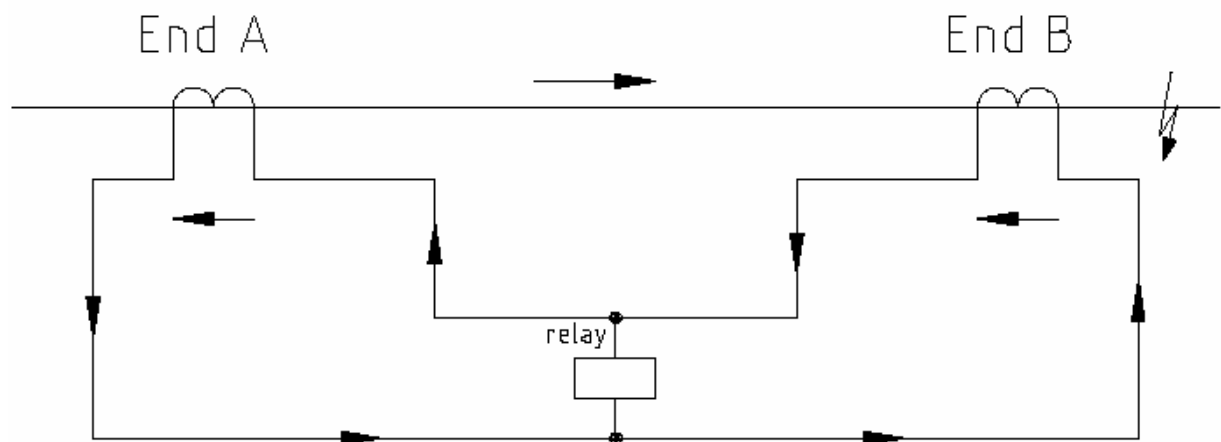
- **Σύστημα «τηλεπροστασίας» (pilot protection system)**

Στα συστήματα τηλεμέτρησης και τηλεπροστασίας, τα διάφορα μεγέθη του συστήματος μετρούνται σε κάθε άκρο μιας γραμμής και οι πληροφορίες αυτές είναι διαθέσιμες και στα υπόλοιπα τερματικά άκρα της γραμμής μέσω ενός συστήματος τηλεπικοινωνίας. Έτσι, είναι δυνατή η συνεργασία και ο συντονισμός των μονάδων προστασίας σε μεγάλες αποστάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα.

- **Διαφορικοί ηλεκτρονόμοι εντάσεως (Current balance)**

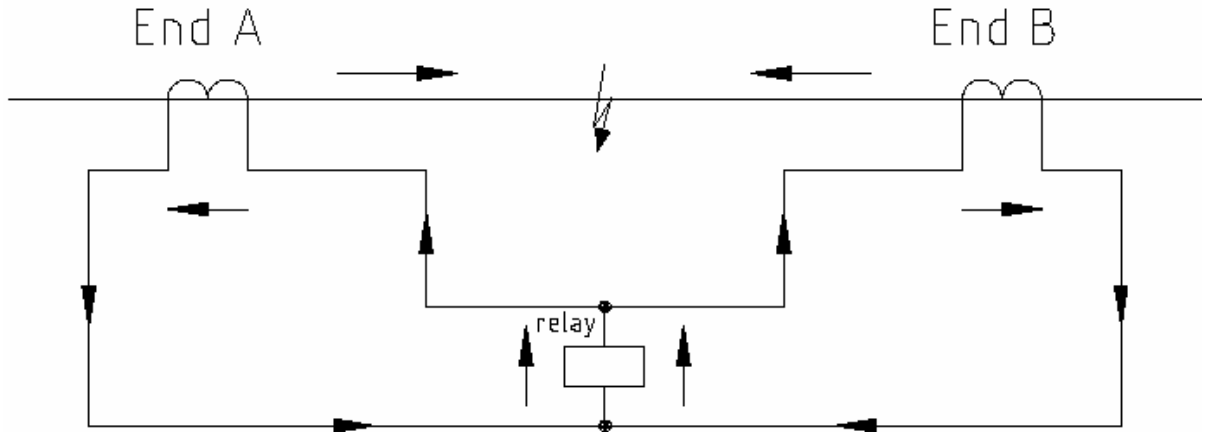
Η Διαφορική Προστασία, όπως υποδηλώνει και η ονομασία, συγκρίνει τα ρεύματα που εισέρχονται και εξέρχονται από τη ζώνη προστασίας και λειτουργεί όταν η διαφορά τους υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή.

Η αρχή λειτουργίας του *συστήματος ισορροπίας εντάσεως* (balanced circulating current system) παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1-1. Οι μετασχηματιστές εντάσεως συνδέονται εν σειρά και ο ηλεκτρονόμος προστασίας συνδέεται στη μέση του κυκλώματος ελέγχου. Σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας ή σε περίπτωση σφάλματος εκτός της ζώνης προστασίας A-B, τα ρεύματα στο δευτερεύον και των δυο μετασχηματιστών εντάσεως είναι ίσα, οπότε σύμφωνα με το Νόμο Εντάσεως του Kirchhoff δεν κυκλοφορεί ρεύμα από το πηνίο του ηλεκτρονόμου και μένει ανενεργός (ισορροπία εντάσεως).



Σχήμα 6.1-1: Σύστημα ισορροπίας εντάσεως Κατάσταση κανονικής λειτουργίας ή σφάλμα εκτός της ζώνης προστασίας A-B

Αντίθετα, σε περίπτωση σφάλματος εντός της ζώνης προστασίας A-B, η ροή ισχύος και ρεύματος είναι προς το σημείο βραχυκύκλωσης, οπότε παύει να ισχύει η ισορροπία εντάσεως στο κύκλωμα ελέγχου, δηλαδή κυκλοφορεί ρεύμα από το πηνίο του ηλεκτρονόμου και αυτός ενεργοποιείται (σχήμα 6.1-2).



Σχήμα 6.1-2: Σύστημα ισορροπίας εντάσεως
Σφάλμα εντός της ζώνης προστασίας A-B και ενεργοποίηση ηλεκτρονόμου

Η διαφορική προστασία εντάσεως (current balance) χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς για να συγκρίνει τα ρεύματα δυο παράλληλων αγωγών για τον εντοπισμό σφάλματος σε έναν αγωγό από αυτούς.

Η ιδανική λύση για την προστασία μιας γραμμής μεταφοράς θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η αρχή της διαφορικής προστασίας για κάθε αγωγό της γραμμής. Η τεχνική *pilot wire relaying* έχει αυτή την αρχή λειτουργίας και η σύγκριση των ρευμάτων γίνεται μέσω δυο μεταλλικών καλωδίων. Μέχρι πρόσφατα αυτή η λύση δεν ήταν πρακτική λόγω των μεγάλων αποστάσεων των γραμμών. Για μια τριφασική γραμμή θα απαιτούνταν 6 αγωγοί: ένας για κάθε φάση, ένας για τον ουδέτερο και δυο για το κύκλωμα ελέγχου του ηλεκτρονόμου. Σήμερα όμως, με τη χρήση *ψηφιακών ηλεκτρονόμων* που συνεργάζονται μέσω *τηλεπικοινωνιακών συστημάτων*, η διαφορική προστασία των γραμμών μεταφοράς έχει γίνει δημοφιλής.

Με την εισαγωγή ενός διαύλου μετάδοσης πληροφορίας ανάμεσα στα δυο άκρα της γραμμής είναι εφικτή η εφαρμογή της αρχής της διαφορικής προστασίας χωρίς τη χρήση καλωδίων ελέγχου (*pilot protection*). Στα δυο άκρα είναι τοποθετημένοι οι ηλεκτρονόμοι προστασίας οι οποίοι ανταλλάσσουν πληροφορίες και, συγκρίνοντας την τοπική κατάσταση με αυτή του απομακρυσμένου άκρου της γραμμής, εντοπίζουν αν έχει συμβεί κάποιο σφάλμα ενδιάμεσα. Κάθε ηλεκτρονόμος επενεργεί στον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος και έτσι είναι δυνατή η άμεση απομόνωση ενός σφάλματος εντός της γραμμής και από τα δυο άκρα της. Αυτό δεν είναι δυνατόν στις απλές προστασίες υπερέντασης και απόστασης επειδή ένα σφάλμα ανιχνεύεται μόνο

από πληροφορίες στο ένα άκρο της γραμμής και επομένως η απομόνωση ενός σφάλματος που θα συμβεί στο μακρινό άκρο απαιτεί κάποια χρονική καθυστέρηση.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται συνήθως ως κανάλια επικοινωνίας είναι τηλεφωνικά καλώδια από χαλκό, οπτικές ίνες, μικροκύματα.

Μια άλλη κοινή μέθοδος για την εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακής ζεύξης μεταξύ των δυο άκρων της γραμμής είναι μέσω της ίδιας της γραμμής ισχύος (power line carrier, plc). Το υψίσυχο σήμα διαβιβάζεται από το ένα άκρο της γραμμής ισχύος μέσω χωρητικού μετασχηματιστή τάσης και συλλέγεται στο άλλο άκρο με παρόμοια συσκευή. Ειδικοί μηχανισμοί, που είναι εγκατεστημένοι και στα δυο άκρα, εμποδίζουν τη διάδοση του σήματος προς άλλες γραμμές του δικτύου.

Συνήθεις τεχνικές «τηλεπροστασίας» είναι οι εξής:

➤ Σύγκριση κατεύθυνσης (Directional comparison)

Ένας ηλεκτρονόμος κατεύθυνσης μπορεί να διακρίνει ένα εσωτερικό ή ένα εξωτερικό σφάλμα στη ζώνη προστασίας του. Αποστέλλοντας την πληροφορία αυτή στο απομακρυσμένο άκρο της γραμμής και με κατάλληλη λογική και ψηφιακή σχεδίαση, οι ηλεκτρονόμοι και των δυο άκρων είναι σε θέση να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις.

➤ Σύγκριση φάσεως (Phase comparison relaying)

Η προστασία μέσω σύγκρισης φάσεως είναι ένα είδος διαφορικής προστασίας που συγκρίνει τις φάσεις των ρευμάτων της γραμμής και στα δυο άκρα. Αν τα δυο ρεύματα είναι σε φάση, δεν υπάρχει σφάλμα στην περιοχή προστασίας, ενώ αν έχουν διαφορά φάσης 180° τότε υπάρχει σφάλμα στη γραμμή.

➤ Διαφορική προστασία εντάσεως (Current differential)

Πρόκειται για πραγματική διαφορική μέτρηση των ρευμάτων της γραμμής και στα δυο άκρα. Ιδανικά, η διαφορά θα έπρεπε να ήταν μηδενική, αλλά αυτό είναι πρακτικά αδύνατο εξαιτίας σφαλμάτων μέτρησης των μετασχηματιστών έντασης, μη πανομοιότυπων λόγων μετασχηματισμού ή λόγω χωρητικών και επαγωγικών ρευμάτων της γραμμής. Οι πληροφορίες από τη μέτρηση αφορούν τη φάση και το πλάτος του ρεύματος σε κάθε άκρο και αποστέλλονται σε όλα τα άκρα της γραμμής για το σωστό συντονισμό των προστασιών.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για την υλοποίηση της διαφορικής προστασίας εντάσεως. Η πρώτη μέθοδος συνδυάζει τις πληροφορίες από το κάθε άκρο σε ένα σύνθετο σήμα και στη συνέχεια συγκρίνει τα σύνθετα αυτά σήματα μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Η δεύτερη μέθοδος κάνει δειγματοληψία σε κάθε φασικό ρεύμα ξεχωριστά και μέσω ψηφιακής επεξεργασίας σήματος το μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα και το αποστέλλει στα άκρα της γραμμής.

Ως μέσα επικοινωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταλλικά τηλεφωνικά καλώδια, μικροκύματα ή οπτικές ίνες, αλλά όχι η μέθοδος PLC (power line carrier) λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης (bandwidth) που απαιτεί αυτή η τεχνική.

6.2 Προτάσεις επίλυσης του προβλήματος του ρεύματος διαρροής.

Οι ηλεκτρονόμοι (relays) σε συνδυασμό με τους διακόπτες ισχύος (circuit breakers) χρησιμοποιούνται καθολικά στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά στα συστήματα διανομής έχουν κυρίως εφαρμογή οι ασφάλειες (fuses), οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (reclosers) και οι διακόπτες απομονώσεως (sectionalizers), όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή.

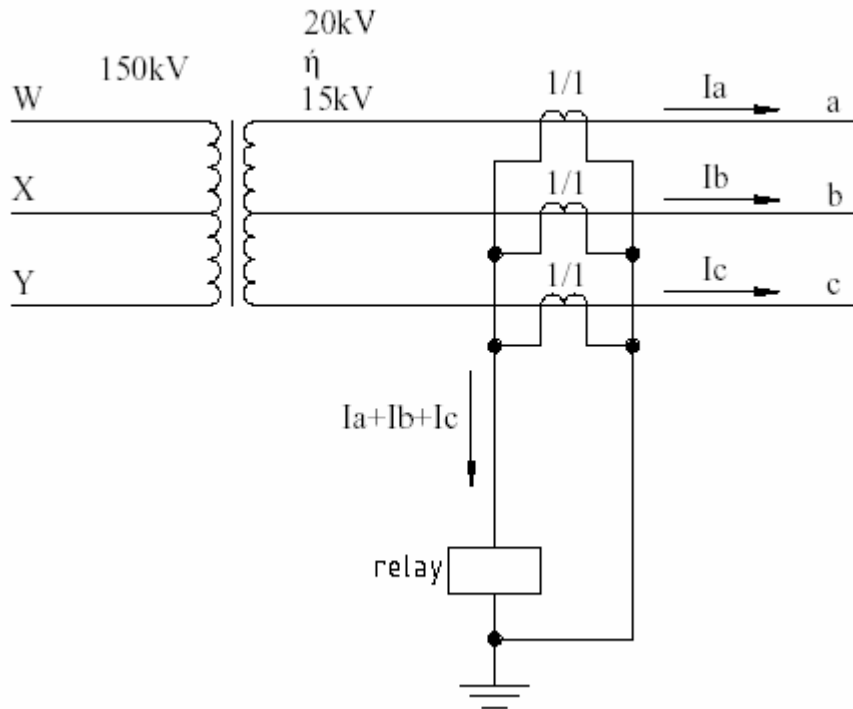
Γνωρίζουμε ότι οι διακόπτες ή οι ασφάλειες προστασίας ενεργοποιούνται ή τήκονται αντίστοιχα κάθε φορά που το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sw,max}$ ξεπερνά το ρεύμα ονομαστικής τιμής I_N των προστασιών όπου δύο τυπικές τιμές για το δίκτυο διανομής τάσης είναι $I_N = 50A$ και $80A$. Αν όμως κάποιος αγωγός της γραμμής μεταφοράς κοπεί και έρθει σε επαφή με το έδαφος, εάν η αντίσταση του εδάφους είναι υψηλή, παρατηρείται ότι $I < I_N$, οπότε δεν πρόκειται για ρεύμα βραχυκύκλωσης, αλλά για ρεύμα διαρροής προς γη. Στην περίπτωση αυτή οι προστασίες δε θα λειτουργήσουν και υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή σε περίπτωση άμεσης επαφής με τον αγωγό.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, λοιπόν, θα πρέπει να κάνουμε χρήση των τεχνικών προστασίας που περιγράφονται στην Παράγραφο 6.1.

1. Μια λύση, η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι η διαφορική προστασία εντάσεως (current balance) για τη σύγκριση των ρευμάτων σε δυο παράλληλους αγωγούς και τον εντοπισμό σφάλματος σε έναν αγωγό από αυτούς.

Τα μειονεκτήματα ωστόσο αυτής της μεθόδου προστασίας είναι ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την προστασία ενός μόνο αγωγού, πρέπει να τεθεί εκτός για τη λειτουργία του ενός μόνο, απαιτεί διασυνδέσεις στα κυκλώματα ελέγχου και των δυο αγωγών και μπορεί να μη λειτουργήσει σωστά σε περίπτωση σφάλματος και των δυο υπό προστασία αγωγών.

Μια παραλλαγή αυτής της λύσης, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2-1.



Σχήμα 6.2-1: Σύγκριση ρευμάτων στους 3 παράλληλους αγωγούς της γραμμής.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, λόγω των συμμετρικών ρευμάτων I_a , I_b και I_c ισχύει $I_a + I_b + I_c = 0$, οπότε ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Σε περίπτωση που κοπούν ένας ή δυο αγωγοί από τις φάσεις a, b, c δεν υπάρχει συμμετρία και ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται. Ο ηλεκτρονόμος και οι διακόπτες ισχύος τοποθετούνται στην αρχή της γραμμής Μέσης Τάσης και έτσι απομονώνεται το ρεύμα διαρροής.

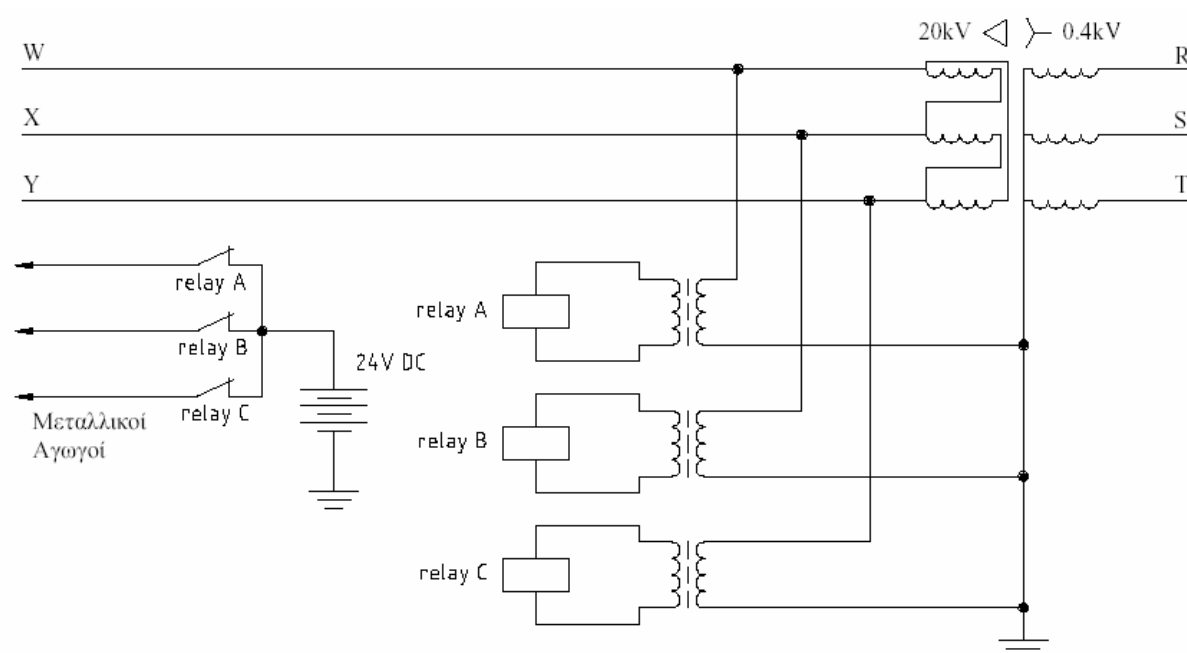
Ένα σοβαρό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι ότι σε περίπτωση βλάβης μίας ή δύο φάσεων της γραμμής, τίθεται όλη η γραμμή εκτός και διακόπτεται έτσι η ηλεκτροδότηση όλης της ευρύτερης περιοχής. Ο ηλεκτρονόμος και οι ΑΔΕ ή ΔΑΕ στη μέθοδο αυτή, τοποθετούνται στην αρχή της γραμμής μέσης τάσης και έτσι απομονώνεται το ρεύμα που ρέει μέσω της αντίστασης διάβασης (R_δ) του εδάφους, για σφάλμα λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους.

2. Μία δεύτερη λύση είναι η εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακής ζεύξης μεταξύ των δύο άκρων της γραμμής Μέσης Τάσης, μέσω της ίδιας της γραμμής ισχύος (power line carrier, plc). Τρία υψίσυχνα σήματα αποστέλλονται μέσω των τριών φάσεων από το τέλος προς την αρχή της γραμμής, όπου είναι εγκατεστημένος ένας ψηφιακός ηλεκτρονόμος και τρεις ΑΔΕ ή ΔΑΕ σε κάθε φάση. Σε περίπτωση που κοπεί ένας αγωγός της γραμμής, σταματάει η λήψη των αντίστοιχων σημάτων από τον ψηφιακό ηλεκτρονόμο, οπότε δίνει εντολή στους αντίστοιχους ΑΔΕ ή ΔΑΕ στην αρχή της γραμμής να ανοίξουν. Έτσι, αποτρέπεται ο κίνδυνος από τη μη ανίχνευση ή σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω της αντίστασης διάβασης (R_δ) του εδάφους, εξαιτίας της μικρής τιμής του ρέοντος ρεύματος (όπως είπαμε και παραπάνω, οι ΑΔΕ

και ΔΑΕ, την εμφάνιση ρεύματος μικρότερου των 50A, δεν την “αντιλαμβάνονται” ως σφάλμα και δεν ανοίγουν).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, απομονώνονται οι δύο φάσεις στις οποίες συνέβη το σφάλμα και η άλλη λειτουργεί κανονικά. Τα συστήματα PLC με ισχύ εξόδου των 0W είναι αξιόπιστα μέχρι 100 μίλια, ενώ με ισχύ εξόδου των 100W για πάνω από 150 μίλια. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου προστασίας είναι το υψηλό κόστος, καθώς και πιθανά προβλήματα θορύβου στα μεταδιδόμενα σήματα λόγω κεραυνών, σφαλμάτων, διακοπτικών και άλλων φαινομένων που δημιουργούν τόξο.

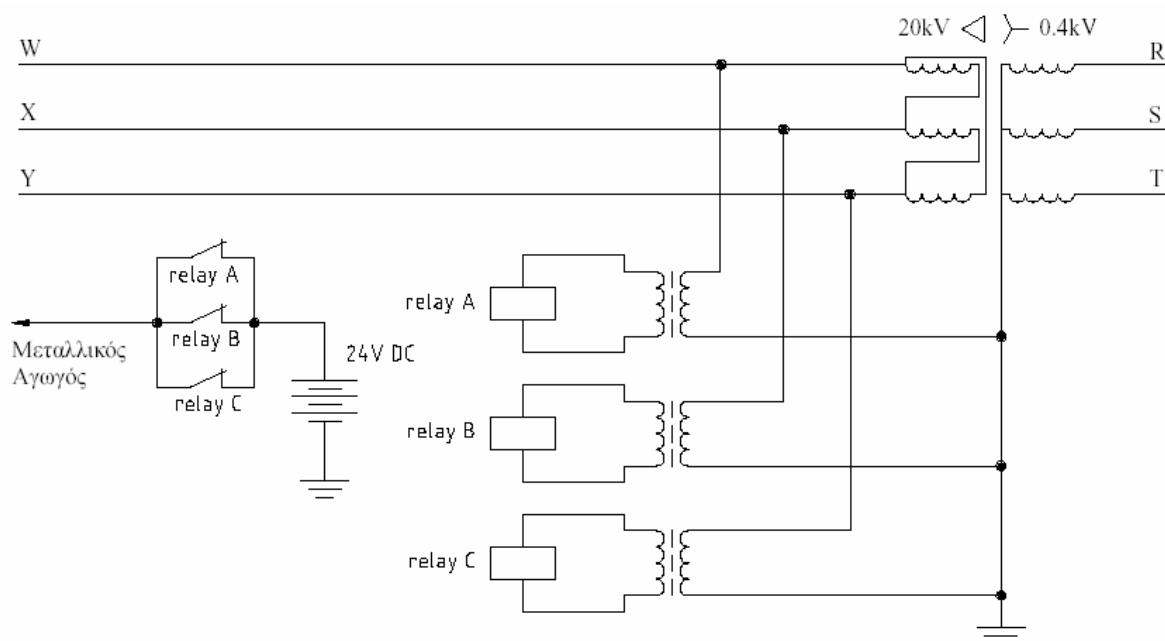
3. Μια τρίτη λύση για την ανίχνευση κομμένου αγωγού στη γραμμή είναι η τοποθέτηση στο τέλος της γραμμής Μέσης Τάσης ενός μετασχηματιστή τάσεως μεταξύ κάθε φάσεως και ουδετέρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2-2.



Σχήμα 6.2-2: Έλεγχος ύπαρξης τάσης στο τέλος της γραμμής. Κύκλωμα ελέγχου με 3 μεταλλικούς αγωγούς.

Σε περίπτωση που κοπεί κάποιος αγωγός, στο τέλος της γραμμής δε θα υπάρχει τάση στην αντίστοιχη φάση, οπότε ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος θα απενεργοποιηθεί και η NC επαφή του που βρίσκεται στο κύκλωμα ελέγχου θα κλείσει. Τότε η τάση από την μπαταρία του κυκλώματος ελέγχου θα μεταφερθεί μέσω μεταλλικών καλωδίων στον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος στην αρχή της γραμμής Μέσης Τάσης ώστε αυτός να ανοίξει και να αποτρέψει κάθε κίνδυνο δημιουργίας ρεύματος διαρροής. Στην περίπτωση αυτή απομονώνεται μόνο η φάση που υπέστη το σφάλμα και οι άλλες φάσεις λειτουργούν κανονικά. Όμως χρειάζονται συνολικά τρία μεταλλικά καλώδια για το κύκλωμα ελέγχου, μήκους ίσο με το μήκος της γραμμής. Το κόστος θα

μπορούσε να μειωθεί χρησιμοποιώντας μόνο ένα μεταλλικό αγωγό, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2-3, αλλά σε περίπτωση σφάλματος σε μια φάση θα βγουν εκτός λειτουργίας και οι τρεις φάσεις της γραμμής.



Σχήμα 6.2-3 : Έλεγχος ύπαρξης τάσης στο τέλος της γραμμής. Κύκλωμα ελέγχου με 1 μεταλλικό αγωγό.

Κεφάλαιο 7^ο

7. Βιβλιογραφία

- [1] Βουρνάς Κ, Κονταξής Γ, ‘Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας’, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2001
- [2] Παπαδόπουλος Μιχ. Π., ‘Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας’, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [3] Μπούρκας Π., ‘Ασκήσεις Κτηριακών - Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων (Υποσταθμός Μέσης Τάσης, Βραχυκύκλωμα – Γειώσεις)’, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008
- [4] Μπούρκας Π., Καραγιαννόπουλος Κ., ‘Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά’, Εκδόσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου 2003
- [5] Μπούρκας Π., ‘Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων’, ΕΜΠ, Αθήνα 2004
- [6] ΔΕΗ, ‘Κανονισμός ΟΔ-22/ΔΕΔ-ΤΤΕ Δ-4/4-7-88’, 1988
- [7] ΔΕΗ, ‘Προγραμματισμός και παρακολούθηση των εργασιών συντήρησης των εγκαταστάσεων διανομής’, Οδηγία διανομής Νο 9, Διεύθυνση Κατασκευών και Συντηρήσεων Δικτύων (ΔΚΣΔ-ΤΕΣΔ) Έκδοση 3η, 1-7-2003, 2003
- [8] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), ‘Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου’, Αθήνα 2008
- [9] Μπούρκας Π., ‘Εφαρμογές Υψηλών Τάσεων, Εκδόσεις’, ΕΜΠ, 1996
- [10] Σελλούντος, Β., Παπαϊωάννου, Γ., Πέρδιος, Στ., Χουσιανάκος, Κ. ‘Πυρασφάλεια, Εφαρμογές πυροπροστασίας και στοιχεία πυρόσβεσης’, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα, 1988
- [11] Κατσούλου Α. ‘Έλεγχος Συνθήκης Ουδετέρωσης σε Δίκτυα Διανομής Χαμηλής Τάσης’, ΕΜΠ, Αθήνα, 2008
- [12] Χατζηιωάννου Χ. ‘Κίνδυνοι από το Ηλεκτρικό Ρεύμα’, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. Παράρτημα Θεσσαλονίκης
- [13] Hutte, Taschenbuch fur Betriebsingenieure, Band 2

- [14] Walter M. Kurzschlußströme in Drehstromnetzen, Munchen Oldenbourg – Verlag
- [15] Holm R. Electric contacts. Theory and Applications, Springer – Verlag Berlin
- [16] Philippov H. Taschenbuch Electrotechnik, 2nd ed. Starkstromtechnik, Berlin 1966
- [17] Μπούρκας Π.Δ. ‘Κτηριακές Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις’ ΕΜΠ, Αθήνα 1999
- [18] Μπούρκας Π.Δ. Καραγιαννόπουλος Κ.Γ. ‘Μετρήσεις σε Βιομηχανικές Διατάξεις και Υλικά’ ΕΜΠ, Αθήνα 2004
- [19] Βίλλιας Γ.Α., Μέρμιγκας Α. Χ., Πυργιώτη Ε. Χ., Μπουρκας Π. δ.: Θερμική Συμπεριφορά Γραμμών Κορμού Διανομής Μέσης Τάσης κατά το Βραχυκύκλωμα στον Αέρα, 3ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη, 2009.
- [20] Yunus A. Cengel: Heat Transfer : A Practical Approach - McGraw-Hill, 1998
- [21] J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin : Protective Relaying Principles and Applications, Third Edition - 2006 by Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press
- [22] Les Hewitson, Mark Brown, Ben Ramesh : Practical Power Systems Protection - 2004, IDC Technologies, Newnes Publications
- [23] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke : Power System Relaying, Third Edition - 2008 Research Studies Press Limited and John Wiley & Sons, Ltd.