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

Διερεύνηση του Αποτελέσματος της Πτώσης Δύο Αγωγών ACSR 50 mm^2 του Δικτύου Διανομής στο Έδαφος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελπινίκη Α. Αποστολάκη Ιωσηφίδου

Επιβλέπων : Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

Στους γονείς μου
και την αδελφή μου

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

Διερεύνηση του Αποτελέσματος της Πτώσης Δύο Αγωγών ACSR 50mm^2 του Δικτύου Διανομής στο Έδαφος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελπινίκη Α. Αποστολάκη Ιωσηφίδου

Επιβλέπων : Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή …Οκτωβρίου 2009.

.....	.....	.....
Περικλής Δ. Μπούρκας	Νικόλαος Ι. Θεοδώρου	Κωνσταντίνος Γ. Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

.....

Ελπινίκη Α. Αποστολάκη Ιωσηφίδου

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

Copyright © Ελπινίκη Α. Αποστολάκη Ιωσηφίδου, 2009
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη μελέτη σφάλματος μεταξύ δύο αγωγών 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 θερμική καταπόνηση των αγωγών σε περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος, το οποίο μπορεί να συμβεί, είτε στον αέρα είτε στο έδαφος. Επιπλέον, μελετάται η περίπτωση αποκοπής, πτώσης των αγωγών στο έδαφος και η ροή ρεύματος μέσω της γης.

Και για τις δυο περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως παράδειγμα μια γραμμή μέσης τάσης μήκους 100 km από αγωγούς αλουμινίου με χαλύβδινο πυρήνα (ACSR) ισοδύναμης διατομής χαλκού 50 mm^2. Στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος, εξετάζεται η επαναληπτική διακοπής (από διακόπτη αυτόματης επαναφοράς ΔΑΕ) και η επίδραση αυτής στην αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, επιβεβαιώνουν ότι σε μερικές περιπτώσεις, οι αγωγοί ACSR 50 mm^2 είναι ακατάλληλοι για χρήση στις γραμμές κορμού, καθώς υφίστανται υπερθέρμανση άνω των επιτρεπτών ορίων. Απαιτείται λοιπόν η χρήση αγωγού μεγαλύτερης διατομής. Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε περίπτωση αποκοπής των αγωγών και πτώσης τους στο έδαφος, μπορεί να δημιουργηθεί ρεύμα διαρροής και να μην ενεργοποιηθούν οι προστασίες, γεγονός επικίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή σε περίπτωση άμεσης επαφής. Σημαντικό είναι ότι σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προκληθεί και πυρκαγιά εάν υπάρχει στο έδαφος κάποια εύφλεκτη ουσία.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για τους εγκαταστάτες μηχανικούς και εμπειρογνώμονες.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μέση Τάση, Εναέριο Δίκτυο Διανομής, βραχυκύκλωμα, ρεύμα διαρροής, πτώση αγωγού στο έδαφος, θερμική καταπόνηση, γυμνοί αγωγοί ACSR, Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the study of fault between two phases of 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. Then, the thermal stress of bare conductors is examined in case of two-phase fault either in the air or on the ground. If the conductors are cut and fall on the ground there is a possibility of the leakage current, which is also examined in this thesis.

The study of a medium-voltage distribution line up to 100 km of ACSR 50mm^2 (Aluminum Conductor Steel Reinforced with equivalent cross section of copper conductor of 50mm^2) is taken as an example for the two cases. The presence of a reclosing circuit breaker or a recloser is investigated along with its impact on the thermal stress of the conductors.

The emerging results confirm that under some circumstances, ACSR 50 mm^2 conductors are inappropriate for the main line of overhead distribution networks due to excessive thermal stress. This makes the use of conductors with a larger cross section necessary for the overhead distribution networks. It is important that the leakage current in case of the cut of the two conductors can lead to the fail of the protection of the line, which is vary dangerous for the human life. In this case, there is also a possibility of fire breakout if there are flammable materials on the ground.

The results of this diploma thesis may seem useful for installation engineers and experts.

KEY WORDS

Medium-voltage, overhead distribution network, short-circuit, leakage current, fall of conductor on the ground, thermal stress, bare conductors ACSR, recloser, molten aluminum particles.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον κ. Περικλή Δ. Μπούρκα, καθηγητή του τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, για το άριστο κλίμα συνεργασίας και για τις πολύτιμες συμβουλές και επισημάνσεις του.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή 11

1.1 Γενικά 11

1.2 Το εναέριο δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας 12

1.3 Γενικά περί αγωγών δικτύου διανομής Μέσης Τάσης 22

2. Σκοπός της εργασίας 28

3. Θερμική καταπόνηση των αγωγών κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα 29

3.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις – Βασικοί ορισμοί 29

3.2 Μέθοδος υπολογισμού της θερμικής καταπόνησης δύο αγωγών του δικτύου διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στο έδαφος (ή στον αέρα) 32

3.2.1 Υπολογισμός της ολικής σύνθετης αντίστασης κατά το βραχυκύκλωμα 32

3.2.2 Υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης 34

3.2.3 Υπολογισμός του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης 34

3.2.4 Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης σε γυμνούς αγωγούς του δικτύου διανομής κατά το βραχυκύκλωμα 35

3.2.5 Υπολογισμός θερμοκρασίας σε αγωγούς κατά το βραχυκύκλωμα σύμφωνα με το σχετικό ευρωπαϊκό πρότυπο 37

3.3 Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης δύο αγωγών του δικτύου διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV κατά την εκδήλωση σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω γης 40

3.3.1 Υπολογισμός της ολικής σύνθετης αντίστασης 40

3.3.2 Υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης 41

3.3.3 Θερμική καταπόνηση σε γυμνούς αγωγούς του δικτύου διανομής στο σημείο του σφάλματος 41

4. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών 45

4.1 Περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος(ή στον αέρα) 45

4.1.1 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA 46

4.1.2 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA 55

4.1.3 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA 64

4.1.4 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA 73

4.1.5 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA 82

4.1.6 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA 91

4.2 Περίπτωση διφασικού σφάλματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος 100

4.2.1 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA 100

4.2.2 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA 104

4.2.3 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA 108

4.2.4 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA 112

4.2.5 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA 116

4.2.6 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA 120

5. Σχόλια επί των αποτελεσμάτων 124

5.1 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα από την περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος(ή στον αέρα) 124

5.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα από την περίπτωση διφασικού σφάλματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος 125

5.2.1 Προτάσεις επίλυσης του προβλήματος του ρεύματος διαρροής 126

6. Βιβλιογραφία 128

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός Σ.Η.Ε. είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης [1]. Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν στους σταθμούς παραγωγής και στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται η διαδικασία που απαιτείται για την μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως η μετατροπή κάποιας άλλης μορφής πρώτα σε μηχανική (κινητήριες μηχανές, στρόβιλοι) και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών [1].

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (στην Ελλάδα είναι 400 kV και 150 kV) εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς υψηλής/μέσης τάσης που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης, που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης, και είναι κυρίως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 10MW [1].

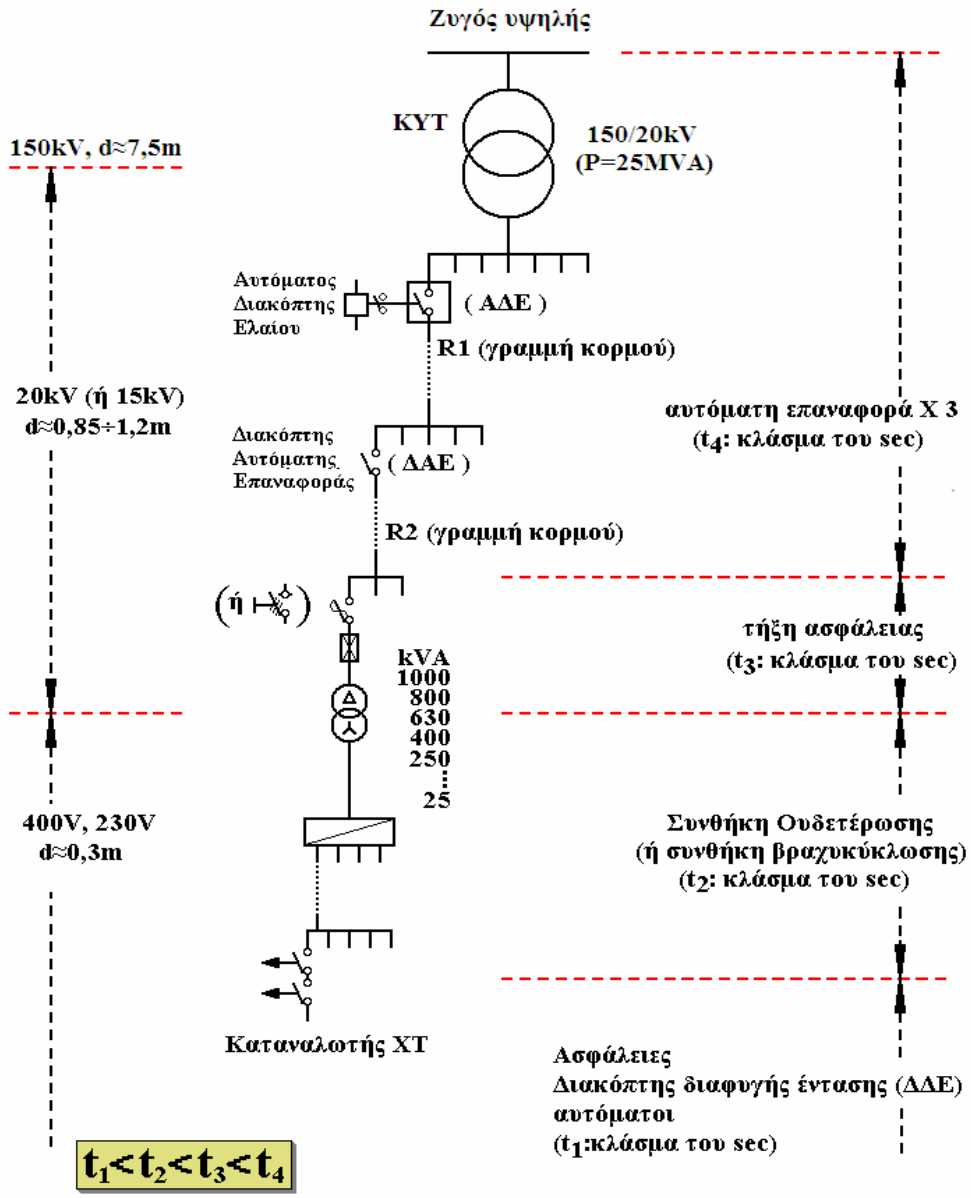
Ο όρος *διανομή ηλεκτρικής ενέργειας* περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης καθώς και τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει έως τους καταναλωτές [2]. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται, ανάλογα με την τάση (πολική τριφασικού συστήματος), σε δίκτυα ¨υψηλής τάσης¨ (35 – 150 kV), δίκτυα ¨μέσης τάσης¨ (1 – 35 kV) και δίκτυα ¨χαμηλής τάσης¨ (100 – 1000 V). Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση, τα δίκτυα διανομής

διακρίνονται σε εναέρια και σε υπόγεια [2, 3]. Στην Ελλάδα τα δίκτυα μέσης τάσης είναι 20kV και 15kV.

1.2 Το εναέριο δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας

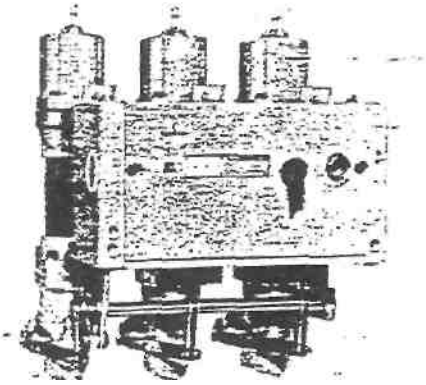
Τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης (ΜΤ) του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από μεγάλο πλήθος στοιχείων και έχουν κατά κανόνα δενδροειδή μορφή. Στο σχήμα 1.2-1 δίνεται απλοποιημένα ένα παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αυτό, από το μετασχηματιστή υψηλής τάσης (150 kV/20 kV, 25 MVA) του Κέντρου Υψηλής Τάσης (ΚΥΤ) αναχωρούν μέσω αυτόματων διακοπτών ελαίου (ΑΔΕ –βλ. σχήμα 1.2-2) διάφορες γραμμές μέσης τάσης (20 kV), που η καθεμία αφορά τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μία ευρύτερη περιοχή. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται «γραμμές κορμού» και κατασκευάζονται με αγωγούς μεγάλης διατομής, συνήθως 95mm^2 ισοδύναμου χαλκού, ενώ συμβολίζονται στα σχέδια με το γράμμα R και ένα αριθμό (π.χ. R 23) [1, 4, 5, 6, 7, 8]. Καθεμία από τις παραπάνω γραμμές διακλαδίζεται σε ορισμένες γραμμές, που αφορούν την ηλεκτροδότηση (τμημάτων της ευρύτερης περιοχής) μέσω διακοπτών αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ), οι οποίες ονομάζονται επίσης γραμμές κορμού [4, 6, 7, 8].

Δεδομένου ότι τα δίκτυα διανομής λειτουργούν ακτινικά η προστασία τους είναι δυνατή με απλές διατάξεις διαβαθμισμένες κατάλληλα. Κατά μήκος του δικτύου διανομής μέσης τάσης εγκαθίστανται μέσα ζεύξεως όπως αποζεύκτες (Σχήμα 1.2-3) και διακόπτες φορτίου και μέσα προστασίας όπως διακόπτες ισχύος (ΑΔΕ), διακόπτες απομονώσεως (Sectionalizers) και ασφάλειες. Τα μέσα ζεύξεως χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση ή απομόνωση των τμημάτων του δικτύου (π.χ. σε περιπτώσεις πυρκαγιών, εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών). Τα μέσα προστασίας χρησιμοποιούνται για την αυτόματη απομόνωση τμημάτων του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος.

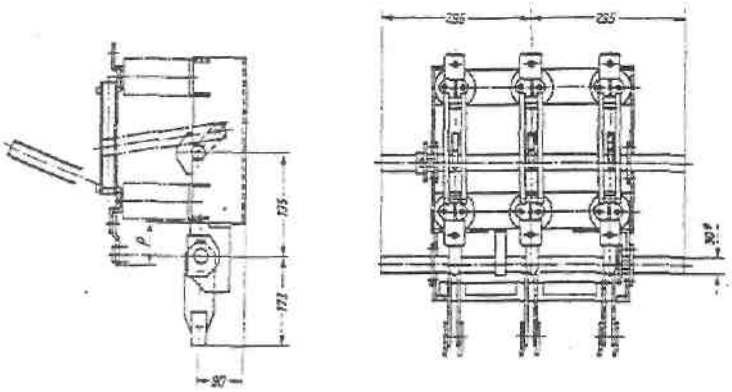


Σχήμα 1.2-1: Απλοποιημένο παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας

Λόγω του ότι τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι εκτεθειμένα, η συχνότητα εμφάνισης σφαλμάτων είναι αυξημένη. Τα σφάλματα μπορούν να εκδηλώθούν λόγω ακραίων περιβαλλοντικών φαινομένων (κεραυνοπληξία, χιονοπτώσεις, ανεμοθύελλες, κτλ.), λόγω άλλων απρόσμενων τυχαίων παραγόντων καθώς επίσης και λόγω ηλεκτρικών και διηλεκτρικών φαινομένων, όπως διαρροή, βραχυκύκλωμα, σπινθηρισμοί, τόξα, διάσπαση κτλ. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ποσοστό που υπερβαίνει το 80% του συνόλου, τα σφάλματα είναι παροδικά [1, 7].



Σχήμα 1.2-2: Αυτόματος διακόπτης ελαίου



Σχήμα 1.2-3: Τριπολικός αποζεύκτης μέσης τάσης με γείωση

Όταν συμβεί ένα σφάλμα σε μία γραμμή κορμού (π.χ. βραχυκύκλωμα λόγω πτώσης ενός κλαδιού στη γραμμή), τότε ο διακόπτης προστασίας (ΑΔΕ ή ο ΔΑΕ) θα διακόψει αυτομάτως την ηλεκτροδότηση της συγκεκριμένης γραμμής και θα τεθεί αμέσως αυτομάτως στη θέση εντός για να ηλεκτροδοτηθεί η γραμμή και αν υπάρχει ακόμα το σφάλμα θα γίνει και πάλι αυτόματη διακοπή και ακολούθως αυτόματη εκ νέου ηλεκτροδότηση. Αν και κατά την δεύτερη αυτή αυτόματη προσπάθεια του διακόπτη συνεχίζει να υπάρχει το σφάλμα, θα γίνει και μία τρίτη αυτόματη "διακόπτη - εκ νέου ηλεκτροδότησης" και μόνο αν εξακολουθεί να υπάρχει το σφάλμα θα συμβεί πλέον οριστική διακοπή ρεύματος της εν λόγω γραμμής κορμού. Είναι προφανές ότι η προαναφερθείσα σε "τρεις κύκλους λειτουργία" των ΑΔΕ και των ΔΑΕ αποσκοπεί, σε περιπτώσεις εμφάνισης παροδικών σφαλμάτων, τόσο στην προσπάθεια για απρόσκοπτη ηλεκτροδότηση μίας μεγάλης περιοχής, όσο και στην αποφυγή άσκοπων μετακινήσεων συνεργείων. Σημειώνεται ότι η διακοπή της ηλεκτροδότησης σε κάθε κύκλο λειτουργίας των ΑΔΕ και των ΔΑΕ συμβαίνει

πάντοτε σε κλάσμα του δευτερολέπτου (σχεδόν ακαριαία διακοπή, π.χ.: 0,15 sec, 0,35 sec, κ.λ.π.), που στην πράξη σημαίνει πως δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για την εκδήλωση αξιόλογων θερμικών φαινομένων (δεν προκαλείται υπερθέρμανση της γραμμής πάνω από τα ανεκτά όρια [4, 9, 10, 11], πολύ δε περισσότερο δεν δημιουργούνται τήγματα μετάλλου από τους αγωγούς).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2-1, οι γραμμές κορμού μέσω των ΔΑΕ διακλαδίζονται με την σειρά τους σε διάφορες γραμμές που καταλήγουν σε υποσταθμούς υποβιβασμού της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση (20 kV/400V, 230 V). Οι υποσταθμοί αυτοί διακρίνονται σε υπαίθριους επί στύλων ισχύος μέχρι 400 kVA και σε εσωτερικού χώρου (συνήθως σε υπόγεια πολυκατοικιών) μεγαλύτερης ισχύος από 400 kVA. Στους υπαίθριους υποσταθμούς η γραμμή μέσης τάσης ηλεκτροδοτεί τον μετασχηματιστή μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποζευκτών ή τριπολικών αποζευκτών (βλ. σχήμα 1.2-1), ενώ στους υποσταθμούς εσωτερικού χώρου η ηλεκτροδότηση του μετασχηματιστή γίνεται μέσω συγκροτήματος πινάκων. Σημειώνεται ότι για λόγους διασύνδεσης ή απομόνωσης γραμμών (σε περιπτώσεις π.χ. πυρκαγιών, εργασιών συντήρησης και εργασιών αποκατάστασης βλαβών) υπάρχουν στις γραμμές μέσης τάσης μονοπολικοί ασφαλειοαποζεύκτες και τριπολικοί αποζεύκτες μη εντασσόμενοι σε υπαίθριους υποσταθμούς.

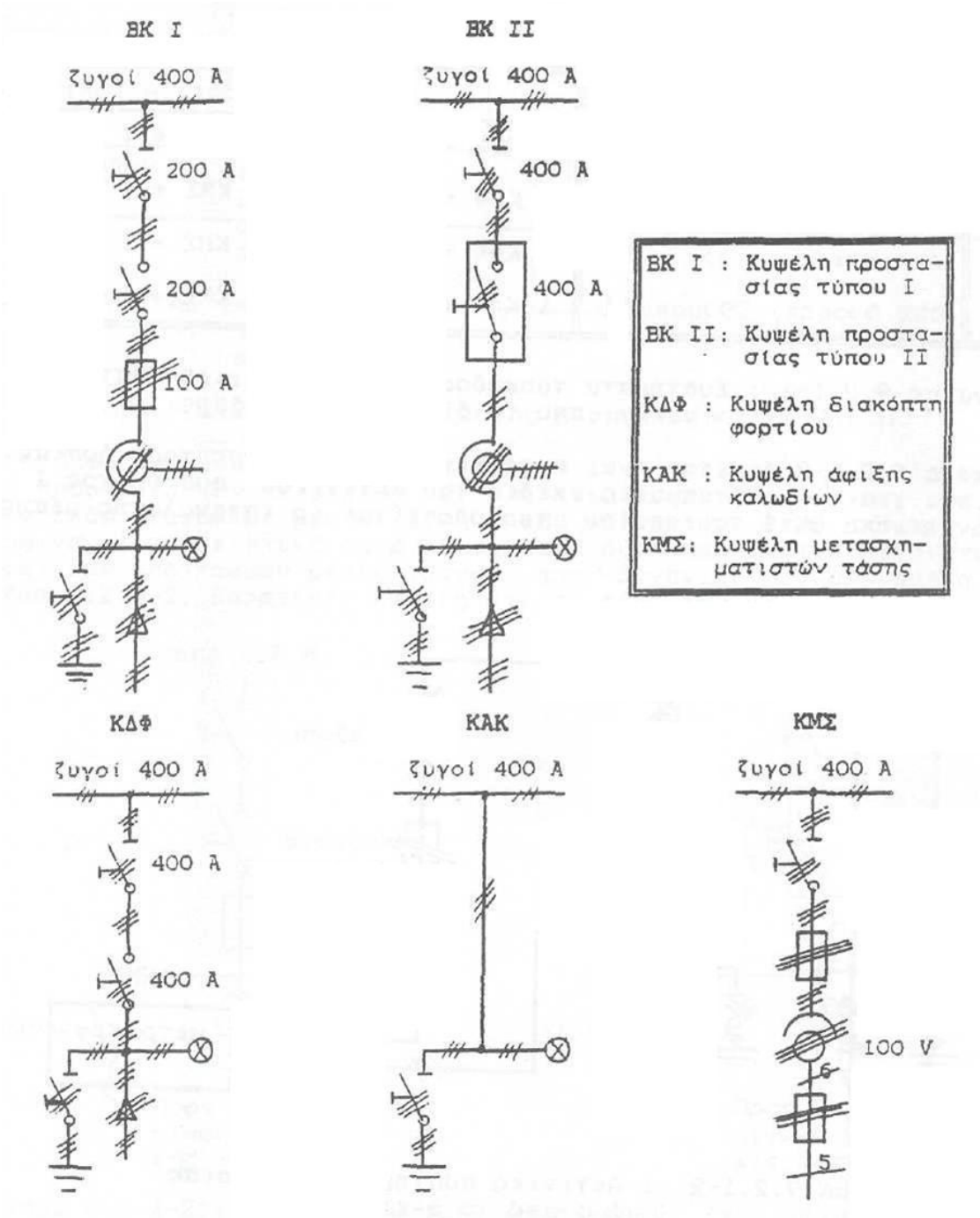
Στο σχήμα 1.2-5 δίνονται τα μονογραμμικά σχέδια των πινάκων (ή κυψελών) του δικτύου της Δ.Ε.Η.. Εκτός από τους πίνακες αυτούς υπάρχει και ένας πίνακας για τη μέτρηση και τη καταγραφή της ισχύος. Στους πίνακες αυτούς συναντώνται τα βασικά είδη διακοπτών καθώς και τους συνδυασμούς τους, που προαναφέρθηκαν. Οι πίνακες του σχήματος 1.2-4 και ο πίνακας για τη μέτρηση και καταγραφή της ισχύος (πίνακας ΚΜ) 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 1.2-5 δίνονται τα τέσσερα τυποποιημένα είδη συγκροτημάτων μέσης τάσης [9, 10].

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

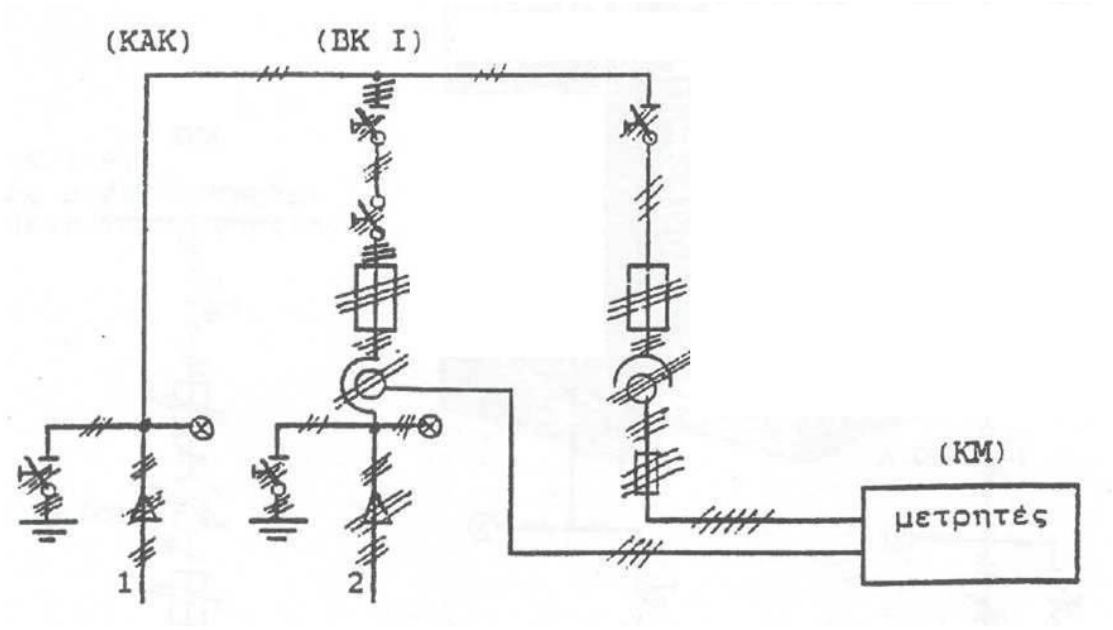
Πίνακας 1.2-4: Συστήματα τροφοδοσίας, μέσω συγκροτημάτων πινάκων, από το δίκτυο μέσης τάσης

Στο σχήμα 1.2-6 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 (σχήμα1.2-1). Τα συντεταγμένα 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 1.2-7), που αφορούν ένα πίνακα 6 διευθύνσεων (ή 5 αναχωρήσεων), ο οποίος αποτελείται από μία τριφασική είσοδο 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) [9, 10]. 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 1.2-5: Πίνακες (κυψέλες) της Δ.Ε.Η. στη μέση τάση



Σχήμα 1.2-6. Ακτινικό σύστημα τροφοδοσίας

Ένα απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα πέντε αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων), που διευκολύνει στη κατανόηση της λειτουργίας του, δίνεται στο σχήμα 1.2-8. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό (αλλά και από το σχήμα 1-7) 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) [9, 10].

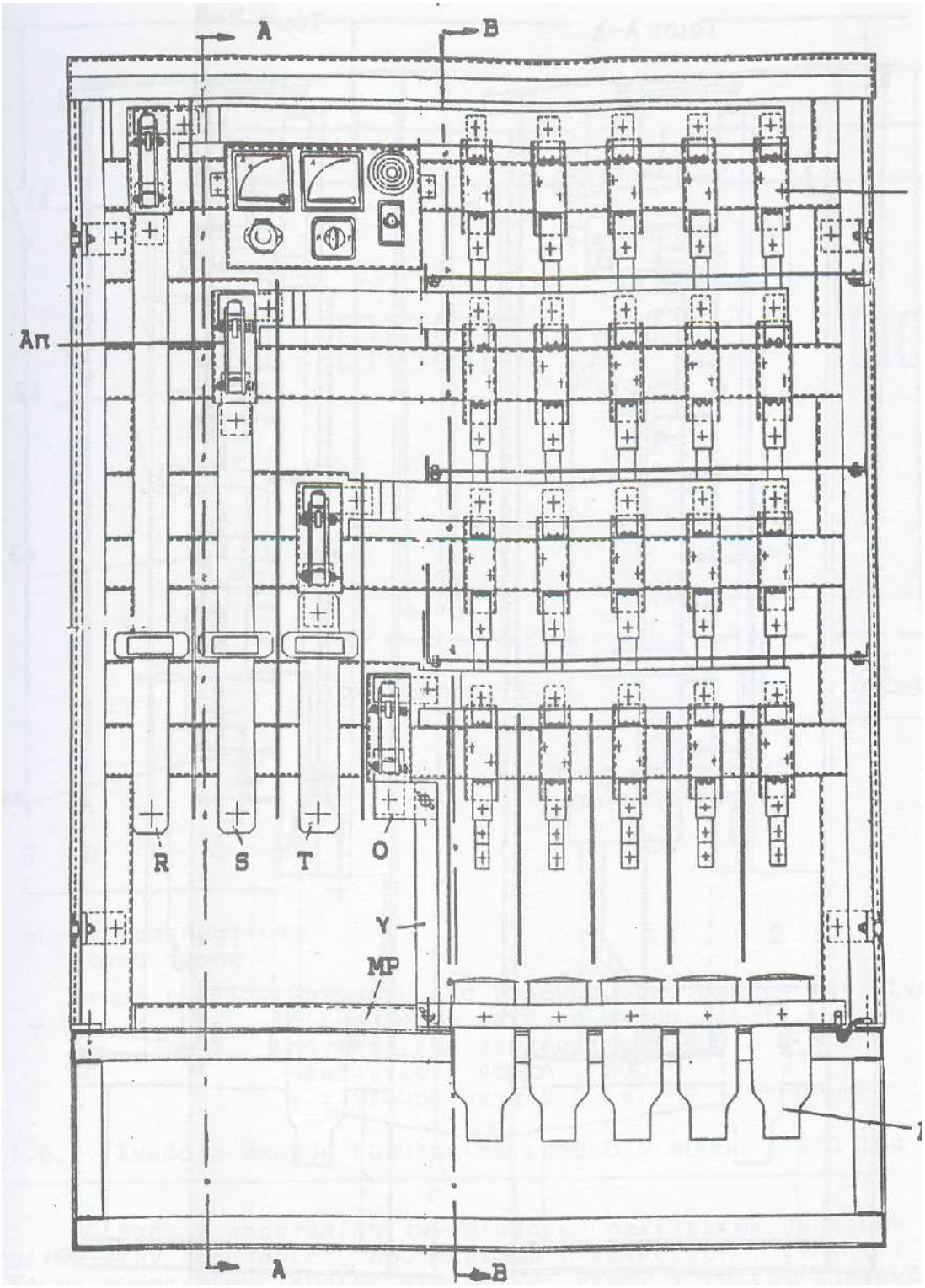
Οι πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. διακρίνονται γενικά σε δύο κατηγορίες [9, 10]:

1) πίνακες με τριφασική είσοδο μέσω μονοπολικών αποζευκτών :

α) πίνακες 5 αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων)

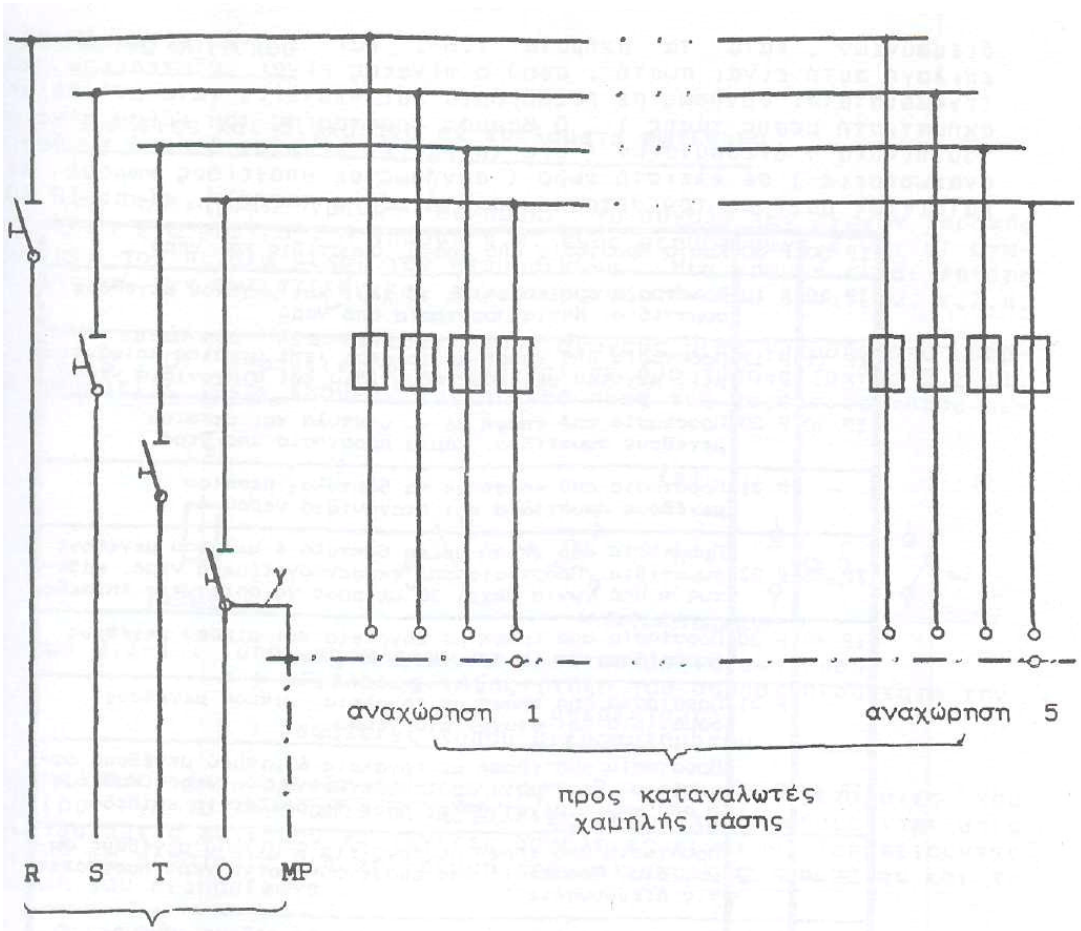
β) πίνακες 8 αναχωρήσεων (ή 9 διευθύνσεων) , που είναι εσωτερικού χώρου

2) τα ασφαλειοκιβώτια (τεσσάρων ή δύο ή μίας αναχώρησης), που είναι εξωτερικού χώρου και δεν έχουν στην είσοδο αποζεύκτες



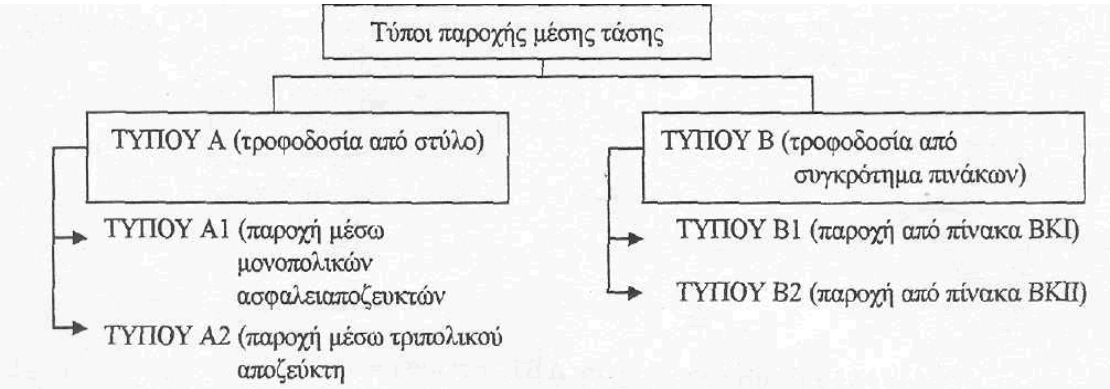
Σχήμα 1.2-7: **Πίνακας 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η. (6 διευθύνσεις: μία είσοδος και πέντε αναχωρήσεις).**
R, S, T, 0, MP: ζυγοί φάσεων (R, S & T), ουδετέρου (0) και γείωσης MP.
Ασ: ασφαλειοθήκη 400A/500V
Απ: μονοπολικός απαζεύκτης 800A/500V
Ακ: ακρακιβώτιο , γέφυρα μεταξύ 0 και MP

<u>Σημείωση:</u> Στον ουδέτερο δεν τοποθετείται ασφάλεια αλλά γεφυρώνεται η ασφαλειοθήκη.



Σχήμα 1.2-8: Απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα 6 διευθύνσεων κατά το σχήμα 1-7.
Μονοπολικός απαζεύκτης: 800A/500V
Ασφάλειες: 400A/500V,
γ: γέφυρα μεταξύ 0 και MP
<u>Σημείωση:</u> Στον ουδέτερο δεν τοποθετείται ασφάλεια αλλά γεφυρώνεται η ασφαλειοθήκη.

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, κ.λ.π. Οι τύποι παροχής μέσης τάσης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. προς τους καταναλωτές μέσης τάσης δίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 1.2-9.



Σχήμα 1.2-9: 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 ή στα 6,6kV, 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 ή στα 6,6kV και για 20kV.

Από τα παραπάνω, που πολύ περιληπτικά επεξηγήθηκαν, διακρίνονται ως προς την προστασία έναντι του βραχυκυκλώματος 7 περιοχές (ζώνες):

- Προστασία των γραμμών κορμού διανομής μέσης τάσης μέσω ΑΔΕ ή ΔΑΕ.
- Προστασία γραμμών διανομής μέσης (για λόγους διασύνδεσης ή απομόνωσης) μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποζευκτών και τριπολικών αποζευκτών.
- Προστασία υπαίθριων υποσταθμών μέσης τάσης μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποζευκτών.
- Προστασία υποσταθμών εσωτερικού χώρου μέσω ασφαλειών μέσης τάσης ή μέσω αυτόματων διακοπτών.
- Προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των καταναλωτών μέσης τάσης (κυρίως Βιομηχανίες, μεγάλα κτίρια γραφείων, μεγάλα ξενοδοχεία, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, κτίρια ΑΕΙ, κ.λ.π.) μέσω ασφαλειών μέσης τάσης ή μέσω αυτόματων διακοπτών στους ιδιωτικούς πίνακες τους.

- Προστασία των γραμμών διανομής χαμηλής τάσης μέσω των ασφαλειών στο ασφαλιοκιβώτιο των υποσταθμών μέσης τάσης
- Προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των καταναλωτών χαμηλής τάσης (κυρίως κατοικίες, γραφεία, βιοτεχνίες, κ.λ.π.) μέσω ΔΔΕ, ασφαλειών και αυτομάτων διακοπτών.

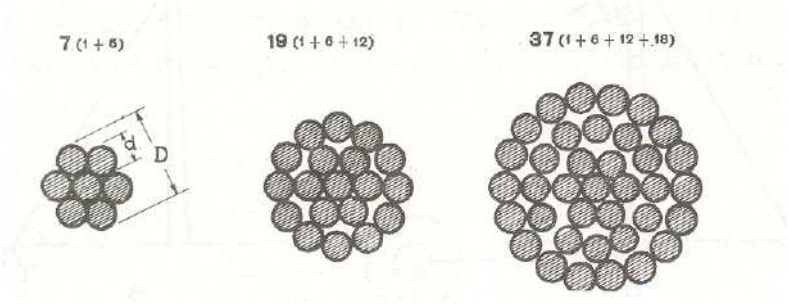
Στην αρχή κάθε ζώνης υπάρχει ένα μέσο προστασίας ώστε να απομονώνει το προστατευόμενο τμήμα του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Με κατάλληλη ρύθμιση (π.χ. ο χρόνος διακοπής t) επιτυγχάνεται η ιεράρχηση των προστασιών του δικτύου [1, 7, 9].

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 [4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] 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. Εκτός από το βραχυκύκλωμα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και η διηλεκτρική συμπεριφορά του εξοπλισμού μέσης και χαμηλής τάσης μίας εγκατάστασης διανομής, όπως, η αδυναμία εκδήλωσης σπινθηρισμών στους μονωτήρες μέσης τάσης, οι σωστές αποστάσεις μόνωσης, κ.λ.π.

1.3 Γενικά περί αγωγών δικτύου διανομής Μέσης Τάσης

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι χωρίς μόνωση και κατασκευάζονται από χαλκό, αλουμίνιο ή αλουμίνιο-χάλυβα (ACSR) [4, 6, 8, 9, 10, 15]. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί από άλλα υλικά και κράμματα π.χ. από γαλβανισμένο χάλυβα, φωσφορούχο ορείχαλκο κ.λ.π. [6].

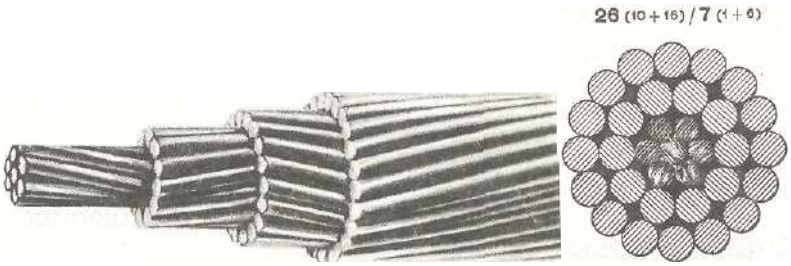
Οι αγωγοί κατασκευάζονται μονόκλωνοι ή πολύκλωνοι.. Στα εναέρια δίκτυα σπάνια χρησιμοποιούνται μονόκλωνοι αγωγοί, γιατί έχουν πολύ μικρότερη μηχανική αντοχή από τους πολύκλωνους. Επίσης οι μονόκλωνοι είναι δύσκαμπτοι. Η διατομή των μονόκλωνων αγωγών είναι μέχρι 16mm^2 [6]. Οι πολύκλωνοι αγωγοί έχουν τη μορφή του σχήματος 1.3-1.



Σχήμα 1.3-1: Γυμνός πολύκλωνος αγωγός αποτελούμενος από 7, 19 και 37 κλώνους [6].

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 ενδείκνυται να 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 1/2 της μηχανικής αντοχής και το 60% περίπου της αγωγιμότητας του χαλκού [6].

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 φθηνοί από τους αγωγούς χαλκού [6]. Οι αγωγοί αλουμινίου-χάλυβα έχουν τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 1.3-2.



Σχήμα 1.3-2: Διατομή αγωγού αλουμινίου-χάλυβα. (ACSR) [6].

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΜΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ				
Διατομή Αγωγών mm2	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 1.3-3: Χαρακτηριστικά γυμνών αγωγών εναέριου δικτύου [6]
<u>Σημείωση:</u>
Οι διατομές αγωγών ACSR, ACSR-R και Al είναι ισοδύναμου 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 1.3-3 φαίνονται τα χαρακτηριστικά αγωγών που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [9], οι κλώνοι αλουμινίου των αγωγών αλουμινίου και των αγωγών τύπου ACSR σχηματίζουν υπό την επίδραση του

ατμοσφαιρικού αέρα οξείδιο αλουμινίου, που τον 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 το υ αλουμινίου δεν καταστρέφεται αλλά παραμερίζεται στις θέσεις εξάτμισης. 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 [1].

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. Από την βιβλιογραφία [6, 14, 15] γνωρίζουμε οτι αν είναι γνωστή η ωμική αντίσταση ενός αγωγού R_{T1} σε θερμοκρασία T_1 και ζητείται να υπολογιστεί σε θερμοκρασία T_2 τότε ισχύει η σχέση:

$$R_{T_2} = R_{T_1}\left[1 + a\left(T_2 - T_1\right)\right] \qquad (1.3\text{-}1)$$

Όπου

α: 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 [6, 9, 10]: $a \approx 0,0037 \frac{1}{^oC}$

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα παρατηρείται αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών λόγω του επιδερμικού φαινομένου. Για την συχνότητα των 50 Hz όμως η αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών είναι πολύ μικρή (λιγότερη του 1%) για τις συνηθισμένες διατομές [6]. 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 [6, 14, 15]:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L \qquad (1.3\text{-}2)$$

Όπου
X_L σε Ω, f η κυκλική συχνότητα (Hz) και L ο συντελεστής αυτεπαγωγής (H)

Από την βιβλιογραφία [6, 8, 9, 10, 14, 15] δίνονται τιμές για την ωμική και επαγωγική αντίσταση των αγωγών ACSR (και ειδικότερα για τον ACSR 50mm^2 στην περίπτωση που εξετάζεται) οι οποίες όμως εμφανίζουν μικρές διαφορές. Στον πίνακα 1.3-2 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών μέσης τάσης έτσι όπως δίνονται από την Δ.Ε.Η.

Τέλος η χωρητικότητα των εναέριων γραμμών ΜΤ (όπως φαίνεται και στο πίνακα 1.3-2) είναι της τάξεως των 10nF/km [6, 9, 14, 15]. Όμως, λόγω του σχετικά μικρού μήκους των γραμμών αυτών δεν λαμβάνεται υπ' όψη η χωρητικότητα αυτή. Δεν λαμβάνεται επίσης υπ' όψη η αγωγιμότητα G (που βασικά εκφράζει τις απώλειες εξαιτίας του φαινομένου Korona) [4, 9, 10,]. Το ισοδύναμο δηλαδή κύκλωμα της εναέριας γραμμής ΜΤ είναι η σύνθετη αντίσταση: Z=R+jωL.

Οι τιμές των αντιστάσεων για τον αγωγό ACSR 50mm^2 που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι αυτές του πίνακα 1.3-2, δηλαδή **R_γ'=0,404Ω/km** και **X_γ'=0,386Ω/km**.

ΑΓΩΓΟΙ	**$Z_1=Z_2=R+jX$**		**$Y_1=Y_2=j\omega C$**	**$Z_o=R_o+jX_o$**		**$Y_o=j\omega C_o$**	**$Z_e=(Z_1+Z_2+Z_o)/3$**	**Imax (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
95 ACSR (διπλή)	0,108	0,160	20,970	0,256	1,363	5,966	0,157+j0,561	896
35 AAAC	1,071	0,393	9,364	1,219	1,616	4,406	1,120+j0,801	160

70 AAAC	0,562	0,370	9,927	0,710	1,592	4,527	0,611+j0,777	240
185 AAAC	0,204	0,337	10,922	0,352	1,559	4,723	0,253+j0,744	462
16 Cu	1,274	0,417	8,802	1,422	1,639	4,292	1,323+j0,824	115
35 Cu	0,596	0,393	9,383	0,744	1,615	4,443	0,645+j0,800	185
50 Cu	0,426	0,377	9,698	0,574	1,600	4,510	0,475+j0,785	232
95 Cu	0,220	0,358	10,268	0,368	1,580	4,629	0,269+j0,765	352
95 Cu (διπλή)	0,110	0,172	19,817	0,258	1,375	5,922	0,159+j0,573	704
16 ACSR-R	1,150	0,397	9,896	1,298	1,600	4,507	1,199+j0,798	148
3x50 Al+50 St	0,823	0,150	146	1,689	1,589	146	1,112+j0,630	123
3x150Al+ 50 St	0,266	0,125	217	1,183	1,395	217	0,572+j0,548	241
3x150 Al NAEKBA	0,245	0,116		1,117	0,616		0,536+j0,283	233
3x240 Al NAEKBA	0,150	0,108	530	1,083	0,585	530	0,461+j0,267	310
3X240 Al+ 25 Al XLPE	0,162	0,115	270	1,092	0,800	270	0,472+j0,343	410
1x50 Al υποβρ.	0,739	0,619	235	3,695	1,857	235	1,724+j1,032	203
1x50Cu υποβρ.	0,388	0,645	247	1,940	1,935	247	0,905+j1,075	228
1x95 Cu υποβρ.	0,215	0,626	296	1,075	1,878	296	0,502+j1,043	300
3x35 Al υποβρ.	1,035	0,115	226	5,175	0,345	226	2,415+j0,192	145
3x35 CU υποβρ.	0,617	0,115	226	3,085	0,345	226	1,440+j0,192	190
3x50 Al υποβρ.	0,757	0,112	280	3,785	0,336	280	1,766+j0,187	170
3x150Al υποβρ.	0,243	0,079	373	1,215	0,237	373	0,567+j0,132	300
3x95 Cu υποβρ.	0,248	0,125	296	0,620	0,210	296	0,372+j0,153	350

Πίνακας 1.3-2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά γραμμών ΜΤ (*Πηγή: ΔΕΗ*)

1. Απόσταση 100m μεταξύ διαδοχικών πόλων μονοπολικών υποβρυχίων καλωδίων.
2. Όλες οι τιμές Imax αντιστοιχούν σε συνεχή φόρτιση (συντελεστής φορτίου 100%).
3. Οι τιμές Imax για τα υποβρύχια καλώδια αντιστοιχούν σε θερμοκρασία νερού 25°C.
4. Με σκίαση υποδηλώνεται η αναθεώρηση του Imax για τα ΣΚ ΜΤ με την επανέκδοση της ΟΔ Νο 46.
5. Για τις διπλές γραμμές θεωρείται παράλληλη λειτουργία των δύο κυκλωμάτων.
6. Οι ομοπολικές χωρητικότητες έχουν υπολογιστεί με βάση το ελάχιστο ύψος ανάρτησης των αγωγών, για κανονικό έδαφος, βασικό άνοιγμα 75m και θερμοκρασία περιβάλλοντος +16°C

2. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση του αποτελέσματος της πτώσης δύο αγωγών του Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης της ΔΕΗ, στο έδαφος. Συγκεκριμένα, εξετάζονται δύο περιπτώσεις, το διφασικό βραχυκύκλωμα στο έδαφος (ή στον αέρα) καθώς και η εκδήλωση σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω της γης, μετά από την πτώση των δύο αγωγών στο έδαφος.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στο Εναέριο Δίκτυο Διανομής Μέσης Τάσης της ηλεκτρικής ενέργειας και στους αγωγούς που αυτό περιλαμβάνει. Στη συνέχεια δίνονται τρόποι υπολογισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της αύξησης της θερμοκρασίας του αγωγού μέσης τάσης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλα τα είδη γραμμών μέσης τάσης και για τις δύο περιπτώσεις. Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται ως παράδειγμα μία γραμμή μέσης τάσης αποτελούμενη από αγωγούς τύπου ACSR 50mm^2.

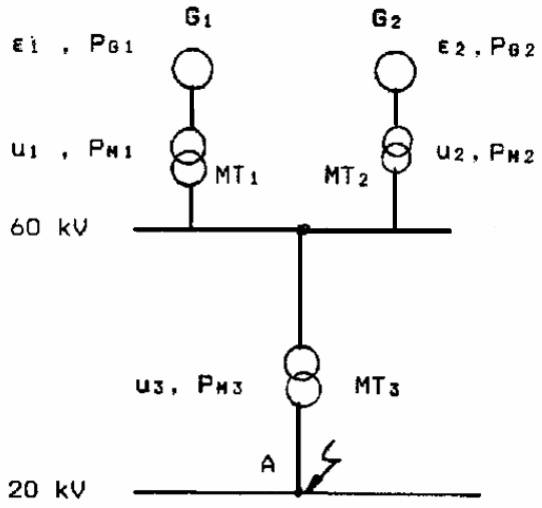
Για τους υπολογισμούς, θεωρείται σφάλμα σε αγωγό ACSR 50mm^2, σε απόσταση 0 έως 100 km από μετασχηματιστή 150kV/15kV ή 150kV/20kV, με ισχύ P_N =15MVA, 25MVA και 50MVA. Έτσι, στα αποτελέσματα των υπολογισμών περιλαμβάνονται πίνακες για έξι διαφορετικές περιπτώσεις ΚΥΤ και μάλιστα για τέσσερις διαφορετικές χρονικές διάρκειες του βραχυκυκλώματος, t= 0,15 0,25 0,4 και 1 sec. Επίσης παρουσιάζονται διαγράμματα και για όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται, από τα οποία προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα. Όσον αφορά στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή το διφασικό βραχυκύκλωμα στο έδαφος (ή στον αέρα), υπολογίζεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με αυτή του περιβάλλοντος και για τους τρεις κύκλους λειτουργίας των αυτόματων διακοπτών (ΑΔΕ και ΔΑΕ). Στη δεύτερη περίπτωση υπολογίζεται το ρεύμα ροής μέσω της γης για αντιστάσεις R_δ του εδάφους 10, 50, 200 και 3000 Ω και εξετάζεται η πιθανή περίπτωση διαρροής ρεύματος.

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

3. Θερμική καταπόνηση των αγωγών κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα

3.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις – Βασικοί ορισμοί

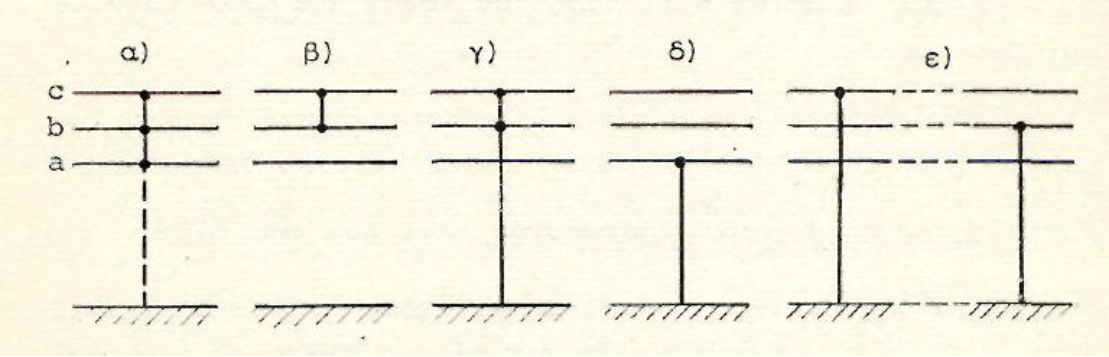
Για την θερμική καταπόνηση των ηλεκτρικών αγωγών μελετάται η δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας, η οποία θεωρείται ότι είναι το βραχυκύκλωμα [7, 8, 9, 10, 12, 13, 14]. Το βραχυκύκλωμα, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, προκαλεί στους αγωγούς, στις επαφές (λυόμενες ή μόνιμες) και στον εξοπλισμό γενικά μια επιπλέον θερμική καταπόνηση [9, 12, 14, 16, 17, 18]. Αν υποτεθεί ότι στο σημείο Α της εγκατάστασης του σχήματος 3.1-1 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 Α. Η τιμή αυτή εξαρτάται από την αντίσταση του δικτύου μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης [9, 10].



Σχήμα 3.1-1: **Παράδειγμα βραχυκυκλώματος**
ε1 και ε2: οι κρουστικές τάσεις διασποράς των γεννητριών G1 και G2
Pg1 & Pg2 ονομαστική ισχύς των γεννητριών G1 & G2 αντίστοιχα,
u1, u2 και u3: σχετική τάση βραχυκύκλωσης των μετασχηματιστών MT1, MT2 και MT3 αντίστοιχα.
PM1 , PM2 και PM3: ονομαστική ισχύς των μετασχηματιστών MT1, MT2 και MT3 αντίστοιχα.

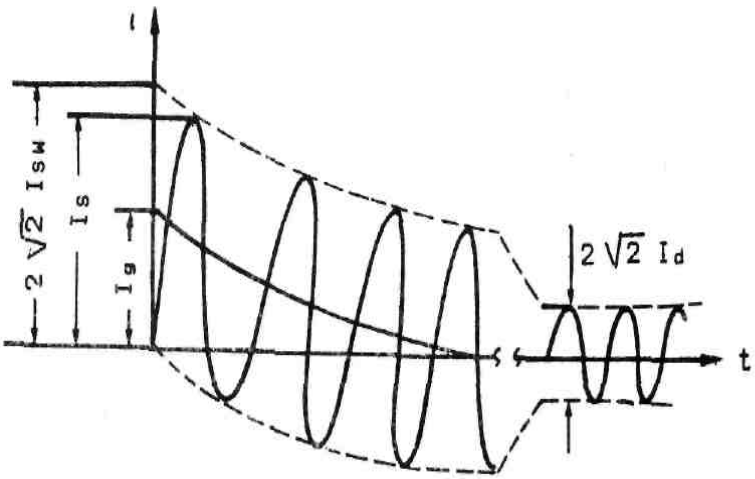
Το σχήμα 3.1-2 δείχνει τα σπουδαιότερα βραχυκυκλώματα [8, 14]. Το τριφασικό και το διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης ή με επαφή γης προκαλεί μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώσεως [4, 9, 10]. Επειδή το τριφασικό βραχυκύκλωμα είναι ένα συμμετρικό σφάλμα, τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως δεν επηρεάζονται από την ενδεχόμενη ύπαρξη επαφής προς γη, που συμβολίζεται με διακεκομμένη γραμμή

στο σχήμα 3.1-2.α. Σε αυτή την εργασία μελετάμε την περιπτωση διαφασικού βραχυκυκλωματος δύο αγωγών του δικτύου διανομής.



Σχήμα 3.1-2: Είδη βραχυκυκλωμάτων
α) Τριφασικό βραχυκύκλωμα
β) Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης
γ) Διφασικό βραχυκύκλωμα με επαφή γης
δ) Μονοφασικό βραχυκύκλωμα
ε) Διπλό βραχυκύκλωμα

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1-3 το ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται αρχικά κατά την υπομεταβατική και μεταβατική περίοδο ως ασύμμετρο και κατόπιν κατά την περίοδο μόνιμης κατάστασης ως συμμετρικό[9, 10, 13, 14, 19]. Το ασύμμετρο τμήμα περιλαμβάνει το εναλλασσόμενο ή αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{SW} ή I_k'') και το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης (Ig). 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 (Is).



Σχήμα 3.1-3: 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 εμφανίσεως του βραχυκυκλώματος.
- Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως Is 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 (Ig).
- 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.

Η μελέτη αντοχής στο βραχυκύκλωμα σε μια θέση του δικτύου (π.χ. στο άνοιγμα μεταξύ δύο στύλων μίας εναέριας γραμμής των 20kV με γυμνούς αγωγούς τύπου ACSR 50mm^2) περιλαμβάνει [4, 9, 10]:

1. Τον υπολογισμό της συνολικής σύνθετης αντίστασης ανά φάση, από τις επιμέρους αντιστάσεις των στοιχείων της εγκατάστασης μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης.
2. Τον υπολογισμό των I_{SW}, I_d, Is
3. Τον υπολογισμό του συμμετρικού ρεύματος διακοπής (Ια) και τις ισχύος διακοπής (Ρα)

Στη συγκεκριμένη εργασία, ιδιαίτερη σημασία για τη θερμική καταπόνηση των αγωγών κατά το βραχυκύκλωμα έχουν, όπως αναλύεται παρακάτω, η τιμή του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) και ο χρόνος (t) μέχρι την διακοπή του βραχυκυκλώματος.[9, 10]

3.2 Μέθοδος υπολογισμού της θερμικής καταπόνησης δύο αγωγών του δικτύου διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στο έδαφος (ή στον αέρα)

Στους υπολογισμούς αυτούς λαμβάνονται μόνο υπόψη οι αντιστάσεις από ΚΥΤ 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.

3.2.1 Υπολογισμός της ολικής σύνθετης αντίστασης κατά το βραχυκύκλωμα

Η συνισταμένη της ωμικής και επαγωγικής αντίστασης όλων των στοιχείων της εγκατάστασης μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης είναι η ολική σύνθετη αντίσταση ($Z_{o\lambda}$ σε Ω):

$$\boxed{Z_{o\lambda} = \sqrt{\left(R_{\gamma}^{'} \cdot L + R_{\text{ΜΣ}}\right)^2 + \left(X_{\gamma}^{'} \cdot L + X_{\text{ΜΣ}}\right)^2}} \qquad (3.2.1\text{-}1)$$

όπου:

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

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

R_{γ}': ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km,

X_{γ}' : ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km,

L: μήκος της γραμμής σε km μέχρι το σημείο του σφάλματος

- **Οι αντιστάσεις του μετασχηματιστή υψηλής τάσης προς μέση τάση**

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [9, 10] ο υπολογισμός των αντιστάσεων του μετασχηματιστή (Μ/Σ) υψηλής προς μέση τάση γίνεται με εφαρμογή των παρακάτω τύπων:

$$\boxed{R_{\text{ΜΣ}} = u_r \cdot \frac{U_2^{\,2}}{P_N}} \qquad (3.2.1\text{-}2)$$

$$X_{\text{MΣ}} = \sqrt{u_k^{\,2} - u_r^{\,2}} \cdot \frac{U_2^{\,2}}{P_N} \qquad (3.2.1\text{-}3)$$

όπου:

$R_{MΣ}$: η ωμική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ,

$X_{MΣ}$: επαγωγική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ,

u_r=0,6%, η ωμική συνιστώσα της σχετικής τάσης βραχυκύκλωσης,

u_k=20%, η σχετική τάση βραχυκύκλωσης,

U_2: η ονομαστική τάση σε kV του δευτερεύοντος του Μ/Σ (20kV ή 15kV),

P_N: η ονομαστική ισχύς σε MVA του Μ/Σ

Έτσι, για P_N =15MVA, 25MVA, 50MVA και U_2 =15kV, 20kV προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

P_N MVA	U_2 kV	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω
15	15	0,090	2,99865
25	15	0,054	1,79919
50	15	0,027	0,89960

Πίνακας 3.2.1-1: Αντιστάσεις του μετασχηματιστή 150 kV/ 15 kV

P_N MVA	U_2 kV	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω
15	20	0,160	5,33093
25	20	0,096	3,19856
50	20	0,048	1,59928

Πίνακας 3.2.1-2: Αντιστάσεις του μετασχηματιστή 150 kV/ 20 kV

- **Η ωμική και η επαγωγική αντίσταση της εναέριας γραμμής ΜΤ**

Οι τιμές $R_γ'$ και $X_γ'$ για τον αγωγό ACSR 50mm^2 είναι Rγ΄=0,404Ω/km και Xγ΄=0,386Ω/km. (Πίνακας 1.3-2)

3.2.2 Υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης

Για την τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{SW}) στην περίπτωση του διφασικού σφάλματος στον αέρα ισχύει η παρακάτω σχέσεις [4, 7, 8, 9, 10]:

$$I_{SW} \leq \frac{1{,}1 \cdot U_N}{2 \cdot Z_{o\lambda}} = \frac{1{,}1 \cdot U_N}{2\sqrt{(R_\gamma + R_{M\Sigma})^2 + (X_\gamma + X_{M\Sigma})^2}} \qquad (3.2.2\text{-}1)$$

όπου:

I_{SW} το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε kA κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα,

U_N: η ονομαστική τάση σε kV στη θέση του σφάλματος,

$Z_{o\lambda}$: η ολική αντίσταση σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

R_γ: η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

X_γ: η ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

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

$X_{M\Sigma}$: επαγωγική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ

Σημειώνεται, ότι η μέγιστη τιμή του Isw σε δίκτυα των 20kV της Δ.Ε.Η. είναι (σύμφωνα με τις προδιαγραφές προμηθειών της Δ.Ε.Η.) 7,2kA για διάρκεια του βραχυκυκλώματος t=1sec. Στα δίκτυα των 15kV και 6,6kV η μέγιστη τιμή του Isw είναι 10kA για t=1sec [9, 10].

3.2.3 Υπολογισμός του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης

Για την τιμή του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) ισχύει η παρακάτω σχέση [4, 9, 10] :

$$I_d = \mu_d \cdot I_{sw} \qquad (3.2.3\text{-}1)$$

όπου :

μ_d ένας συντελεστής του οποίου οι οριακές τιμές είναι 0,35 και 1, τις οποίες και θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της βέλτιστης και της χείριστης περίπτωσης.

Άρα:

$$\boxed{I_{d1} = 0,35 \cdot I_{sw}} \qquad (3.2.3\text{-}2)$$

και

$$\boxed{I_{d2} = I_{sw}} \qquad (3.2.3\text{-}3)$$

3.2.4 Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης σε γυμνούς αγωγούς του δικτύου διανομής κατά το βραχυκύκλωμα

Το βραχυκύκλωμα, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, προκαλεί στους αγωγούς, στις επαφές (λυόμενες ή μόνιμες) και στον εξοπλισμό γενικά μια επιπλέον θερμική καταπόνηση [9, 14, 16, 17, 18]. Για τη θερμική αυτή καταπόνηση έχουν ιδιαίτερη σημασία η τιμή του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) και ο χρόνος (t) μέχρι την διακοπή του βραχυκυκλώματος. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε αγωγούς υπολογίζεται αναλυτικά από τα γραφήματα κατά το πρότυπο IEC 60865-1 και -2 (Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1 and 2) [16]. Στην πράξη όμως για το υπολογισμό της θερμοκρασίας στους αγωγούς που καταπονούνται από τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, χρησιμοποιούνται συχνότερα εμπειρικές σχέσεις [9, 10, 16, 17, 18] αλλά και μαθηματικά μοντέλα [16, 18]. Μια εμπειρική σχέση που δίνει την αύξηση της θερμοκρασίας σε αγωγούς συναρτήσει του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) και του χρόνου μέχρι την διακοπή του βραχυκυκλώματος t είναι η ακόλουθη[9, 10, 12, 16, 18]:

$$\boxed{\Delta\Theta = \kappa \cdot \left(\frac{I_d}{A}\right)^2 \cdot \left[t + T \cdot \left(\frac{I_{sw}}{I_d}\right)^2\right]} \qquad (3.2.4\text{-}1)$$

όπου:

ΔΘ: η αύξηση της θερμοκρασίας σε ^oC,

I_{SW} και I_d ρεύματα βραχυκύκλωσης σε Α,

κ: σταθερά του υλικού:

- για χαλκό κ= 0,0058

- για αλουμίνιο κ= 0,0135

Α: η διατομή του αγωγού σε mm^2,

t: ο χρόνος σε sec από την εμφάνιση μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος,

Τ: ο συντελεστής χρόνου η τιμή του οποίου είναι:

- για διφασικό βραχυκύκλωμα Τ= 0,6 έως 0,25 sec

Η τιμή του Τ μειώνεται με την απόσταση από την θέση βραχυκύκλωσης.

Για διφασικό βραχυκύκλωμα λοιπόν, παίρνουμε μόνο τις 2 ακραίες τιμές για το Τ, 0,6 και 0,25 sec. Επίσης έχουμε όπως είπαμε στην παράγραφο 3.2.3, $\boxed{I_{d1} = 0,35 \cdot I_{sw}}$ και $\boxed{I_{d2} = I_{sw}}$.

Άρα προκύπτουν 4 διαφορετικές τιμές για το ΔΘ, οι οποίες υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\boxed{\Delta\Theta_1 = \kappa(0,35 I_{sw})^2[t + 0,25(1/0,35)^2]/A^2} \qquad (3.2.4\text{-}2)$$

$$\boxed{\Delta\Theta_2 = \kappa(0,35 I_{sw})^2[t + 0,6(1/0,35)^2]/A^2} \qquad (3.2.4\text{-}3)$$

$$\boxed{\Delta\Theta_3 = \kappa I_{sw}{}^2[t + 0,25]/A^2} \qquad (3.2.4\text{-}4)$$

$$\boxed{\Delta\Theta_3 = \kappa I_{sw}{}^2[t + 0,6]/A^2} \qquad (3.2.4\text{-}5)$$

Η συνολική θερμοκρασία των αγωγών εκφράζεται από την σχέση:

$$\boxed{\Theta = \Delta\Theta + \Theta_{\pi\varepsilon\rho.}} \qquad (3.2.4\text{-}6)$$

όπου:

$\Theta_{\pi\varepsilon\rho}$: η αρχική θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Για τους υπολογισμούς λαμβάνεται $\Theta_{\pi\varepsilon\rho}$ =40°C

Ως οριακή θερμοκρασία για γυμνούς αγωγούς αλουμινίου θεωρείται αυτή των 180°C ενώ για τους γυμνούς αγωγούς χαλκού αυτή των 200°C [9, 10, 16].

→ *Επομένως, για να είναι ασφαλής ο αγωγός ACSR (αλουμινίου) θα πρέπει να ισχύει:*

$$\boxed{\Delta\theta \leq 140\ ^oC} \qquad (3.2.4\text{-}7)$$

Σε περίπτωση ύπαρξης αυτόματου ελαιοδιακόπτη ή διακόπτη αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ) στην γραμμή μέσης τάσης γίνεται επαναφορά το συστήματος σε τρία στάδια, όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή. Αρχικά όταν συμβεί το σφάλμα ο ΔΑΕ ανοίγει σε t sec και αυτόματα κλείνει. Αν το σφάλμα εξακολουθεί να υπάρχει ανοίγει ξανά σε t΄ sec και έπειτα επιχειρείται δεύτερο κλείσιμο. Στην συνέχεια αν και εφόσον το βραχυκύκλωμα παραμένει ανοίγει μόνιμα μετά από t" sec. Λαμβάνεται ότι [20]:

1ο ON-OFF ΔΑΕ: $\Delta\theta$ ^{o}C

2ο ON-OFF ΔΑΕ: $\Delta\theta' = \sqrt{2}\Delta\theta$ ^{o}C (3.2.4-8)

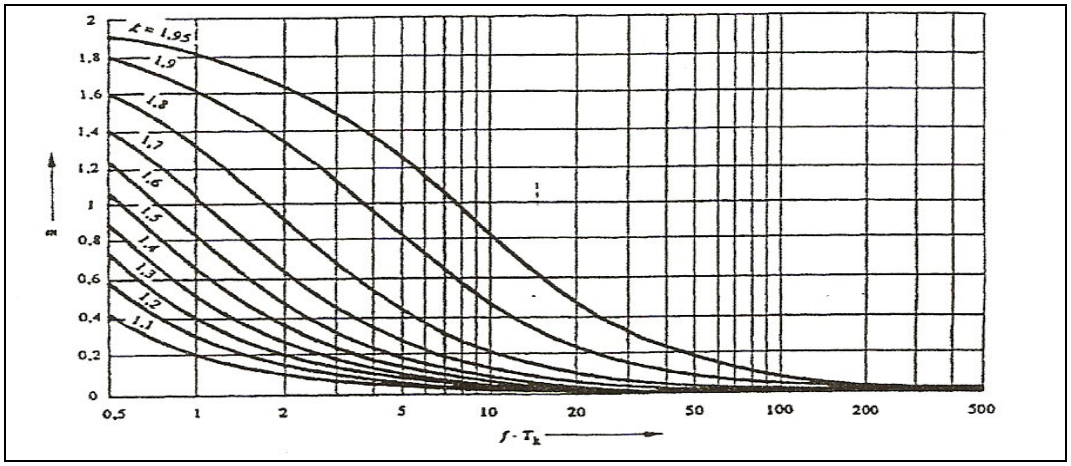
3ο ON-OFF ΔΑΕ: $\Delta\theta'' = \sqrt{2}\Delta\theta' = 2\Delta\theta$ ^{o}C (3.2.4-9)

3.2.5 Υπολογισμός θερμοκρασίας σε αγωγούς κατά το βραχυκύκλωμα σύμφωνα με το σχετικό ευρωπαϊκό πρότυπο

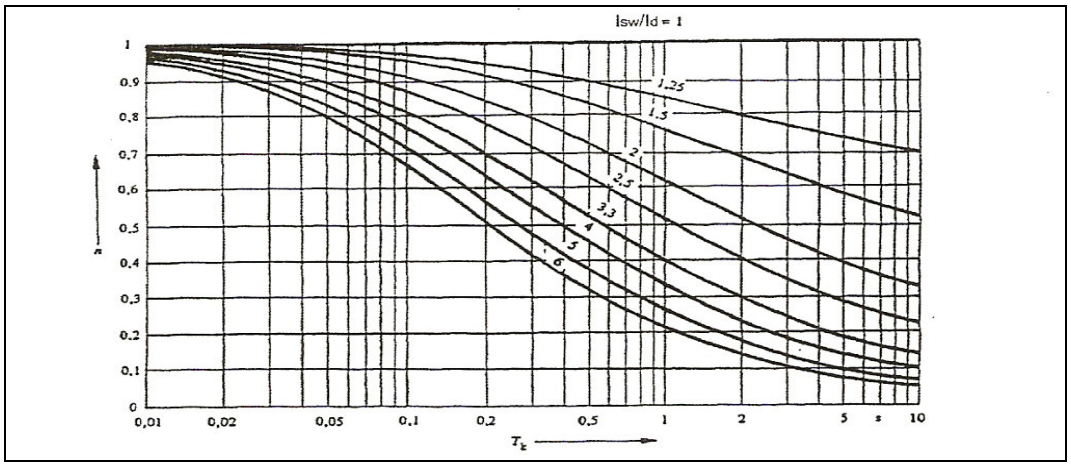
Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στους αγωγούς κατά το βραχυκύκλωμα υπολογίζεται από το θερμικά ισοδύναμο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{th}, από τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος και από συντελεστές που εξαρτώνται από το υλικό των αγωγών. Το θερμικά ισοδύναμο ρεύμα βραχυκύκλωσης δίνεται από τη σχέση [16]:

$$I_{th} = I_{sw} \cdot \sqrt{m+n} \qquad (3.2.5\text{-}1)$$

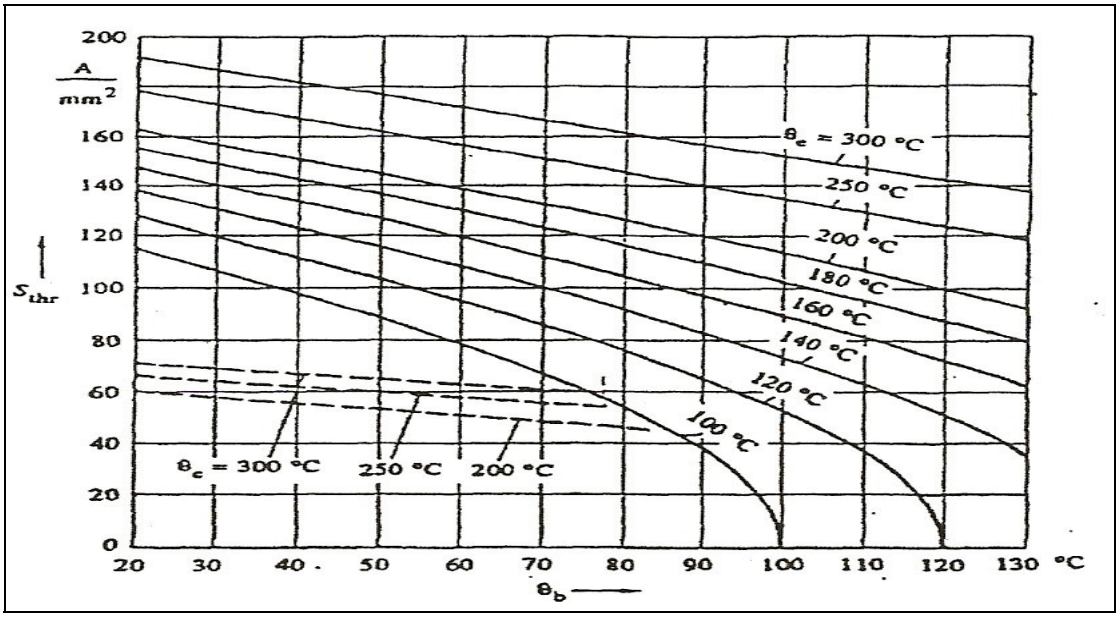
όπου I_{SW} είναι η ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης και m και n παράγοντες που υπολογίζονται είτε αναλυτικά από μαθηματικές σχέσεις που εξαρτώνται από τα στοιχεία του δικτύου και των ρευμάτων βραχυκύκλωσης είτε από διαγράμματα που δίνονται επίσης από το πρότυπο. Οι συντελεστές m και n αφορούν στην έκλυση της θερμότητας που οφείλεται στη συνεχή και στην εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος βραχυκύκλωσης αντίστοιχα. Τα σχήματα 3.2.5-1 και 3.2.5-2 δίνουν τους συντελεστές m και n. Η θερμοκρασία βάσει των προηγούμενων συντελεστών και της πυκνότητας του ρεύματος δίνεται για αγωγούς από χαλκό και κράμα χάλυβα (διακεκομμένες γραμμές) στο σχήμα 3.2.5-3, ενώ για αγωγούς από αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου στο σχήμα 3.2.5-4. Η μέγιστη προτεινόμενη θερμοκρασία για τους αγωγούς που δίνεται από το πρότυπο είναι 200°C για χαλκό και αλουμίνιο και 300° C για χάλυβα.



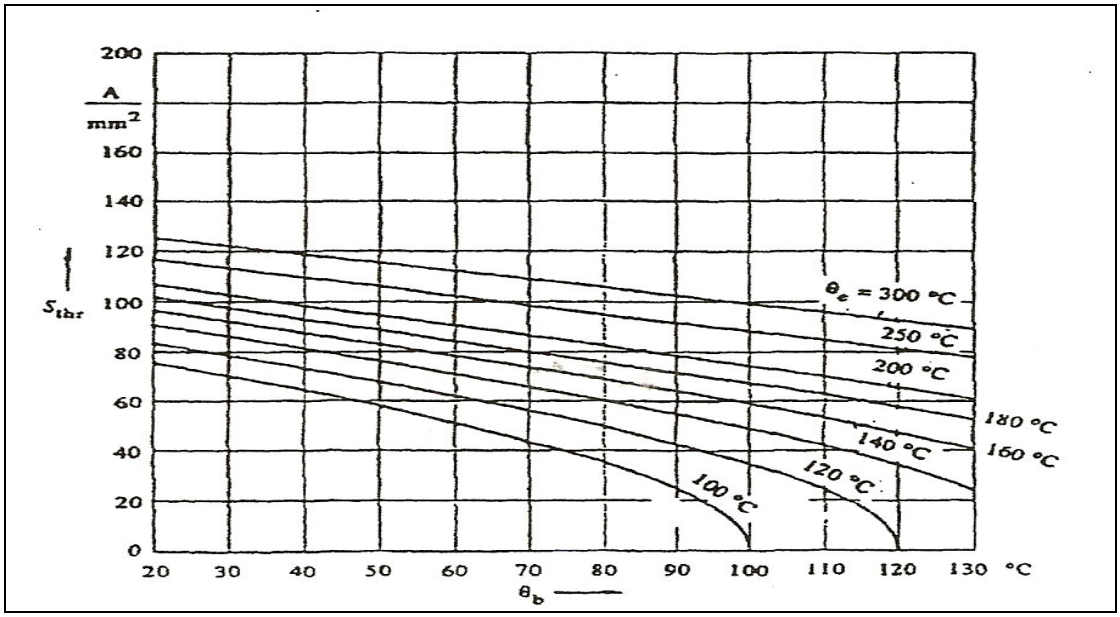
Σχήμα 3.2.5-1: Συντελεστής m συναρτήσει του χρόνου καταπόνησης (T_k) και της παραμέτρου κ, f η συχνότητα της πηγής.



Σχήμα 3.2.5-2: Συντελεστής n συναρτήσει του χρόνου καταπόνησης (T_k) και του λόγου I_{SW}/I_d



Σχήμα 3.2.5-3: Σχέση μεταξύ θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στους αγωγούς από χαλκό και κράμα χάλυβα (διακεκομμένες γραμμές) και της πυκνότητας του ρεύματος για διάρκεια βραχυκύκλωσης 1sec.



Σχήμα 3.2.5-4: Σχέση μεταξύ θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στους αγωγούς από αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου και της πυκνότητας του ρεύματος για διάρκεια βραχυκύκλωσης 1sec.

3.3 Προσδιορισμός της θερμικής καταπόνησης δύο αγωγών του δικτύου διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV κατά την εκδήλωση σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω γης

Και σε αυτή την περίπτωση λαμβάνονται μόνο υπόψη οι αντιστάσεις από ΚΥΤ μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης.

3.3.1 Υπολογισμός της ολικής σύνθετης αντίστασης

Η συνισταμένη της ωμικής και επαγωγικής αντίστασης όλων των στοιχείων της εγκατάστασης μέχρι το σημείο του σφάλματος είναι η ολική σύνθετη αντίσταση (Ζολ σε Ω):

$$Z_{ol} = \sqrt{(2R_{\gamma} + 2R_{\text{ΜΣ}} + R_{\delta})^2 + (2X_{\gamma} + 2X_{\text{ΜΣ}})^2} \qquad (3.3.1\text{-}1)$$

όπου:

$R_{\text{ΜΣ}}$: ωμική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ,

$X_{\text{ΜΣ}}$: επαγωγική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ,

R_{γ}: η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km,

X_{γ}: η ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km,

L: το μήκος της γραμμής σε km μέχρι το σημείο του σφάλματος και

Rδ: η αντίσταση διέλευσης η οποία μπορεί να πάρει τιμές 10, 50, 100, 200, 1000, 2000, 3000 Ω (στην περίπτωση της παραγράφου 3.2 η Rδ ήταν 0 Ω.)

- **Οι αντιστάσεις του μετασχηματιστή υψηλής τάσης προς μέση τάση**

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [9, 10] για τον υπολογισμό των αντιστάσεων του μετασχηματιστή (Μ/Σ) ισχύουν οι τύποι (3.2.1-2) και (3.2.1-3) και οι πίνακες 3.2.1-1 και 3.2.1-2.

- **Η ωμική και η επαγωγική αντίσταση της εναέριας γραμμής ΜΤ**

Όπως και στην παράγραφο 3.2.1 οι τιμές R_{γ} και X_{γ} για τον αγωγό ACSR 50mm^2 είναι Rγ=0,404Ω/km και Xγ=0,386Ω/km. (Πίνακας 1.3-2)

Στον πίνακα 3.3.1-1 παρουσιάζονται διάφορες τιμές για την αντίσταση R_δ για διάφορα είδη εδάφους.

Είδος εδάφους	**R_δ (Ω.m)**
πετρώδες έδαφος	3000
στεγνή άμμος ή στεγνό χαλίκι	1000
υγρό χαλίκι	500
υγρή άμμος	200
χώμα αγρού (φυτική γη)	100
βαλτώδες έδαφος	30

Πίνακας 3.3.1-2: Αντιστάσεις R_δ για διάφορα είδη εδάφους [9]

Στους υπολογισμούς έχουν ληφθεί υπόψη τέσσερις τιμές R_δ, δύο ακραίες (10 και 3000 Ω και δύο με ενδιάμεση τιμή από τα άκρα (200 και 3000 Ω).

3.3.2 Υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης

Για την τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{SW}) στις περιπτώσεις τριφασικού και διφασικού σφάλματος στον αέρα ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις [2, 4, 7, 8, 9,10]:

$$I_{SW} \leq \frac{U_N}{Z_{o\lambda}} = \frac{1{,}1 \cdot U_N}{\sqrt{(2R_\gamma + 2R_{\text{ΜΣ}} + R_\delta)^2 + (2\text{X}_\gamma + 2\text{X}_{\text{ΜΣ}})^2}} \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

όπου:

I_{SW}: το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε kA κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα,

U_N: η ονομαστική τάση σε kV στη θέση του σφάλματος,

$Z_{ολ}$: η ολική αντίσταση σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

R_γ: η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

X_γ: η ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής σε Ω μέχρι το σημείο του σφάλματος,

$R_{ΜΣ}$: ωμική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ,

$X_{ΜΣ}$: επαγωγική αντίσταση σε Ω του Μ/Σ

3.3.3 Θερμική καταπόνηση σε γυμνούς αγωγούς του δικτύου διανομής στο σημείο του σφάλματος

Σε περίπτωση που η αποκοπή των αγωγών γίνει προς την πλευρά του καταναλωτή, δε θα υπάρξει ροή ρεύματος και η αύξηση της θερμοκρασίας των

αγωγών θα είναι μικρότερη από 55°C, σύμφωνα με τη δοκιμή υπερθέρμανσης [9], και συνεπώς δε συντρέχει κανένας κίνδυνος πυρκαγιάς.

Εδώ εξετάζουμε την περίπτωση κατά την οποία τμήμα του αγωγού έχει πέσει στο έδαφος από την μεριά του υποσταθμού. Δεν εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία τμήμα του αγωγού πέφτει από την μεριά του καταναλωτή, γιατί κόβεται η τροφοδοσία και η διαφορά θερμοκρασίας είναι μικρότερη.

Η ισχύς είναι:

$P = I^2 R_\delta$ (3.3.3-1),

αλλά ισχύει ότι:

$$I^2 R_\delta \approx mc\frac{d\Delta\theta}{dt} \rightarrow I^2 R_\delta \cdot t_1 \approx mcd\Delta\theta$$

Για $t>t_1$, όπου t_1 είναι χρόνος ανάφλεξης ισχύει:

$I^2 R_\delta \approx \mathrm{K\,B}\,\Delta\Theta$ (3.3.3-2)

Για

$K = 7W/m^2\ {}^0C$ (3.3.3-3)

και

$B \approx \pi D(L-10) = \pi\sqrt{4\mathrm{A}/\pi}(L-10) = 3{,}54(L-10)\sqrt{A}$ (3.2.3-4)

προκύπτει από την (3.2.3-2) ότι:

$$\Delta\Theta = \frac{\mathrm{I}^2 R_\delta}{24{,}8(L-10)\sqrt{A}} \qquad (3.3.3\text{-}5)$$

[20, 21, 22, 23]

L-10 : είναι το μήκος του αγωγού που εφάπτεται με το έδαφος

Για $t<t_1$ με την παρακάτω μεθοδολογία προκύπτει ένας τύπος για τον χρόνο ανάφλεξης διαφόρων υλικών.

Από το Ισοζύγιο Ενέργειας για το Θερμοδυναμικό Σύστημα υλικού-αγωγού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του συστήματος κατά

$\Delta\theta=\theta_{\text{ανάφλεξης}}-\theta_{\text{περιβάλλοντος}}=\theta_{\text{ανάφλεξης}}-40^o$C προκύπτει:

$$\frac{d}{dt}E_{in} - \frac{d}{dt}E_{out} = \frac{d}{dt}\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma o\acute{\upsilon}} + \frac{d}{dt}\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa o\acute{\upsilon}} \qquad (3.3.3\text{-}6)$$

Για το Ein, ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα από τις ωμικές απώλειες της αντίστασης Rδ του εδάφους και της αντίστασης του αγωγού με ειδική αντίσταση ρ (m·Ω), πυκνότητα d(kg/m3), ειδική θερμότητα c ($\frac{joule}{kg\cdot^{o}C}$), ακτίνα r (m), μήκος ℓ (m), που διαρρέεται από ρεύμα ενεργού τιμής I (A) για χρονικό διάστημα t (sec), ισχύει:

$$\frac{d}{dt}E_{in} = I^2(R_\delta + p\frac{\ell}{\pi r^2}) \quad \text{(Watt)} \quad (3.3.3\text{-}7)$$

Και για Eout, ενέργεια που απάγεται στο περιβάλλον μέσω του αέρα, ισχύει:

$$\frac{d}{dt}Eout = h(2\pi r\ell)\Delta\theta \ \text{(Watt)} \quad (3.3.3\text{-}8)$$

όπου

h: συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για τον αέρα και ισχύει:

h=7+400·v $\frac{Watt}{m^2\,^{o}C}$ όπου v η ταχύτητα του αέρα σε m/s [23, 24]

Δθ: η αύξηση της θερμοκρασίας σε ^{o}C

Επίσης ισχύει ότι:

$$\frac{d}{dt}\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma o\acute{\upsilon}} = (d\cdot\pi r^2\ell)\cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma o\acute{\upsilon}}\cdot\frac{d}{dt}\Delta\theta \ \text{(Watt)} \quad (3.3.3\text{-}9)$$

$$\frac{d}{dt}\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa o\acute{\upsilon}} = m_{\upsilon\lambda\iota\kappa o\acute{\upsilon}}\cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma o\acute{\upsilon}}\cdot\frac{d}{dt}\Delta\theta \ \text{(Watt)} \quad (3.3.3\text{-}10)$$

όπου:

$\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma o\acute{\upsilon}}$: η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αγωγού

$\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa o\acute{\upsilon}}$: η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του υλικού

Από τις σχέσεις (3.3.3-6) εως (3.3.3-10) καταλήγουμε σε μία γραμμική διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης:

$$\frac{d}{dt}\Delta\theta + A \cdot \Delta\theta = B$$

Όπου $A = \dfrac{h(2\pi r\ell)}{(d\pi r^2\ell)\cdot c_{αγωγού} + m_{υλικού}\cdot c_{υλικού}}$ και

$$\mathrm{B} = \frac{\mathrm{I}^2 \cdot (R_\delta + p \cdot \frac{\ell}{\pi r^2})}{(d\pi r^2\ell)\cdot c_{αγωγού} + m_{υλικού}\cdot c_{υλικού}}$$

Λύνοντας την παραπάνω διαφορική ως προς τον χρόνο καταλήγουμε στον παρακάτω τύπο, (3.3.3-11), που τον χρησιμοποιούμε αν θέλουμε να υπολογίσουμε το χρόνο ανάφλεξης διαφόρων υλικών, όπου Δθ ισούται με τη θερμοκρασία ανάφλεξης του συγκεκριμένου υλικού μείον τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

$$t = -\frac{\ln(1 - \frac{A}{B}\Delta\theta)}{\mathrm{A}} \qquad (3.3.3\text{-}11)$$

4. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών

4.1 Περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος(ή στον αέρα)

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται σε πίνακες οι τιμές της θερμικής καταπόνησης μίας γραμμής μέσης τάσης, τύπου ACSR 50 mm^2, κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος) για τους τρεις κύκλους λειτουργίας των αυτόματων διακοπτών. Τα αποτελέσματα προκύπτουν βάσει της μεθόδου που παρουσιάστηκε αναλυτικά στην παράγραφο 3.2. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για τιμές της χρονικής διάρκειας του βραχυκυκλώματος t= 0,15 0,25 0,4 και 1 sec. Ο μετασχηματιστής υψηλής τάσης, από τον οποίο τροφοδοτείται η γραμμή, μπορεί να είναι Μ/Σ 150 kV/15 kV με P_N = 15 MVA, 25 MVA και 50 MVA ή Μ/Σ 150 kV/20 kV με P_N = 15 MVA, 25 MVA και 50 MVA.

Στους πίνακες που ακολουθούν χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί :

L, απόσταση του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή

R_γ, ωμική αντίσταση της γραμμής (σε Ω)

X_γ, επαγωγική αντίσταση της γραμμής (σε Ω)

$R_{M\Sigma}$, ωμική αντίσταση του μετασχηματιστή (σε Ω)

$X_{M\Sigma}$, επαγωγική αντίσταση του μετασχηματιστή (σε Ω)

$Z_{o\lambda}$, ολική σύνθετη αντίσταση (σε Ω) από το μετασχηματιστή μέχρι το σημείο του σφάλματος

I_{SW}, εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (σε kA) κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα.

I_{d1}, I_{d2}, διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης (σε kA) κατά το βραχυκύκλωμα, όταν ο συντελεστής μ_d είναι ίσος με 0,35 και 1 αντίστοιχα

$\theta_{4on\text{-}off1}$, $\theta_{4on\text{-}off2}$, $\theta_{4on\text{-}off3}$, αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού για τους τρεις κύκλους λειτουργίας των ΑΔΕ και ΔΑΕ (σε ^oC), εξαιτίας διφασικού βραχυκυκλώματος

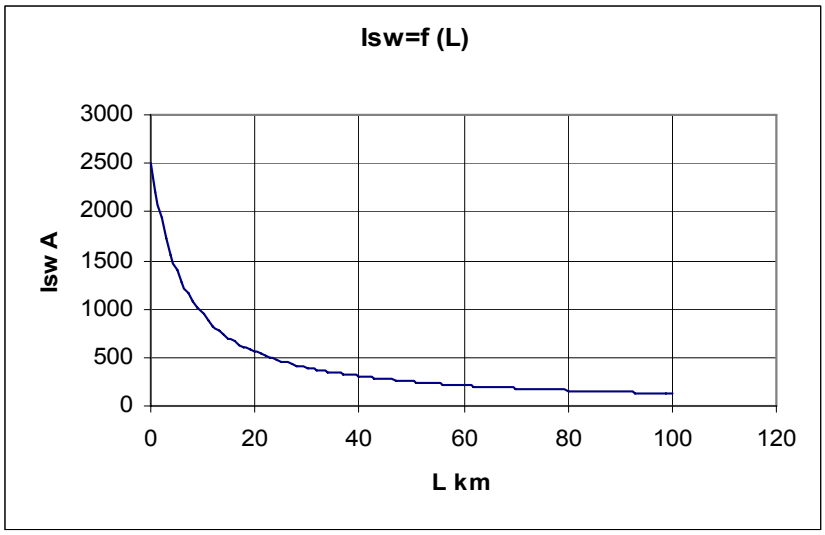
t, η χρονική διάρκεια του βραχυκυκλώματος (σε sec)

4.1.1 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA

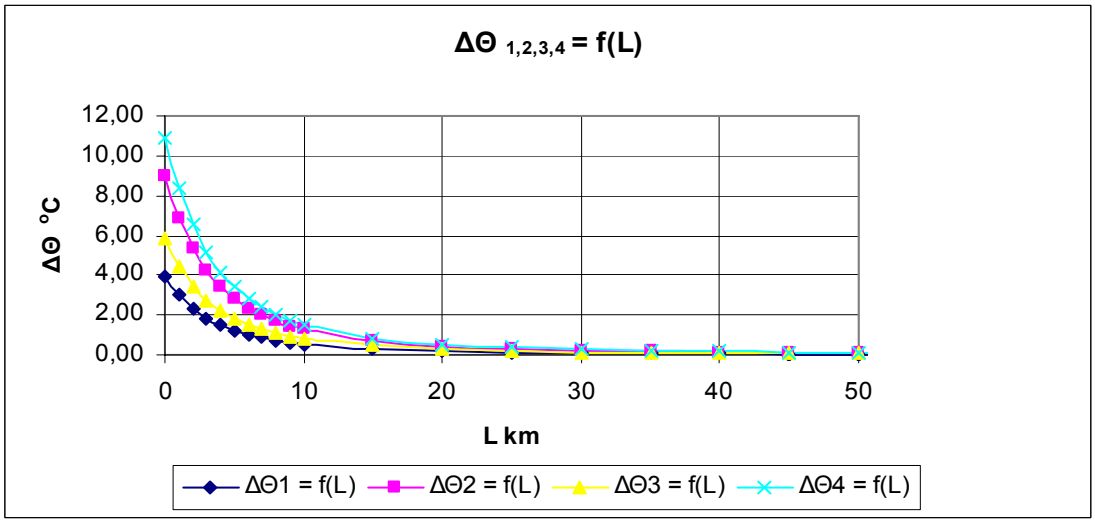
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2500,00	875,00	2500,00	3,89	8,97	5,80	10,88
1	0,40	0,39	0,09	3,00	6,84	2193,02	767,56	2193,02	2,99	6,90	4,46	8,37
2	0,80	0,77	0,09	3,00	7,75	1935,85	677,55	1935,85	2,33	5,38	3,48	6,52
3	1,20	1,16	0,09	3,00	8,70	1723,26	603,14	1723,26	1,85	4,26	2,76	5,17
4	1,60	1,54	0,09	3,00	9,69	1547,40	541,59	1547,40	1,49	3,44	2,22	4,17
5	2,00	1,93	0,09	3,00	10,71	1400,96	490,34	1400,96	1,22	2,82	1,82	3,42
6	2,40	2,32	0,09	3,00	11,74	1277,89	447,26	1277,89	1,02	2,34	1,52	2,84
7	2,80	2,70	0,09	3,00	12,78	1173,46	410,71	1173,46	0,86	1,98	1,28	2,40
8	3,20	3,09	0,09	3,00	13,84	1083,98	379,39	1083,98	0,73	1,69	1,09	2,04
9	3,60	3,47	0,09	3,00	14,90	1006,63	352,32	1006,63	0,63	1,45	0,94	1,76
10	4,00	3,86	0,09	3,00	15,97	939,20	328,72	939,20	0,55	1,27	0,82	1,53
15	6,00	5,79	0,09	3,00	21,38	701,43	245,50	701,43	0,31	0,71	0,46	0,86
20	8,00	7,72	0,09	3,00	26,86	558,49	195,47	558,49	0,19	0,45	0,29	0,54
25	10,00	9,65	0,09	3,00	32,36	463,53	162,24	463,53	0,13	0,31	0,20	0,37
30	12,00	11,58	0,09	3,00	37,88	396,00	138,60	396,00	0,10	0,22	0,15	0,27
35	14,00	13,51	0,09	3,00	43,41	345,56	120,95	345,56	0,07	0,17	0,11	0,21
40	16,00	15,44	0,09	3,00	48,94	306,47	107,27	306,47	0,06	0,13	0,09	0,16
45	18,00	17,37	0,09	3,00	54,48	275,31	96,36	275,31	0,05	0,11	0,07	0,13
50	20,00	19,30	0,09	3,00	60,03	249,88	87,46	249,88	0,04	0,09	0,06	0,11
55	22,00	21,23	0,09	3,00	65,57	228,75	80,06	228,75	0,03	0,08	0,05	0,09
60	24,00	23,16	0,09	3,00	71,12	210,90	73,82	210,90	0,03	0,06	0,04	0,08
65	26,00	25,09	0,09	3,00	76,67	195,64	68,47	195,64	0,02	0,05	0,04	0,07
70	28,00	27,02	0,09	3,00	82,22	182,43	63,85	182,43	0,02	0,05	0,03	0,06
75	30,00	28,95	0,09	3,00	87,78	170,89	59,81	170,89	0,02	0,04	0,03	0,05
80	32,00	30,88	0,09	3,00	93,33	160,72	56,25	160,72	0,02	0,04	0,02	0,04
85	34,00	32,81	0,09	3,00	98,88	151,70	53,09	151,70	0,01	0,03	0,02	0,04
90	36,00	34,74	0,09	3,00	104,44	143,63	50,27	143,63	0,01	0,03	0,02	0,04
95	38,00	36,67	0,09	3,00	109,99	136,38	47,73	136,38	0,01	0,03	0,02	0,03
100	40,00	38,60	0,09	3,00	115,54	129,82	45,44	129,82	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 4.1.1-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15sec



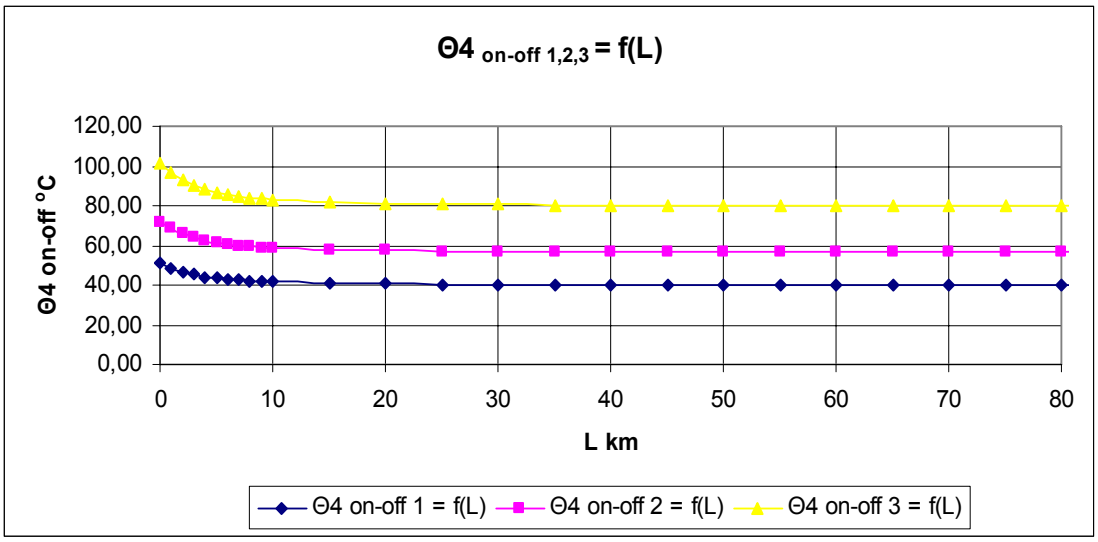
Σχήμα 4.1.1-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV (P_N=15MVA)



Σχήμα 4.1.1-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	50,88	71,95	101,75
1	48,37	68,40	96,74
2	46,52	65,79	93,04
3	45,17	63,88	90,33
4	44,17	62,46	88,33
5	43,42	61,40	86,83
6	42,84	60,59	85,68
7	42,40	59,96	84,79
8	42,04	59,46	84,09
9	41,76	59,06	83,53
10	41,53	58,74	83,07
15	40,86	57,78	81,71
20	40,54	57,34	81,09
25	40,37	57,10	80,75
30	40,27	56,95	80,55
35	40,21	56,86	80,42
40	40,16	56,80	80,33
45	40,13	56,76	80,26
50	40,11	56,72	80,22
55	40,09	56,70	80,18
60	40,08	56,68	80,15
65	40,07	56,66	80,13
70	40,06	56,65	80,12
75	40,05	56,64	80,10
80	40,04	56,63	80,09
85	40,04	56,63	80,08
90	40,04	56,62	80,07
95	40,03	56,61	80,06
100	40,03	56,61	80,06

Πίνακας 4.1.1-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=15MVA)

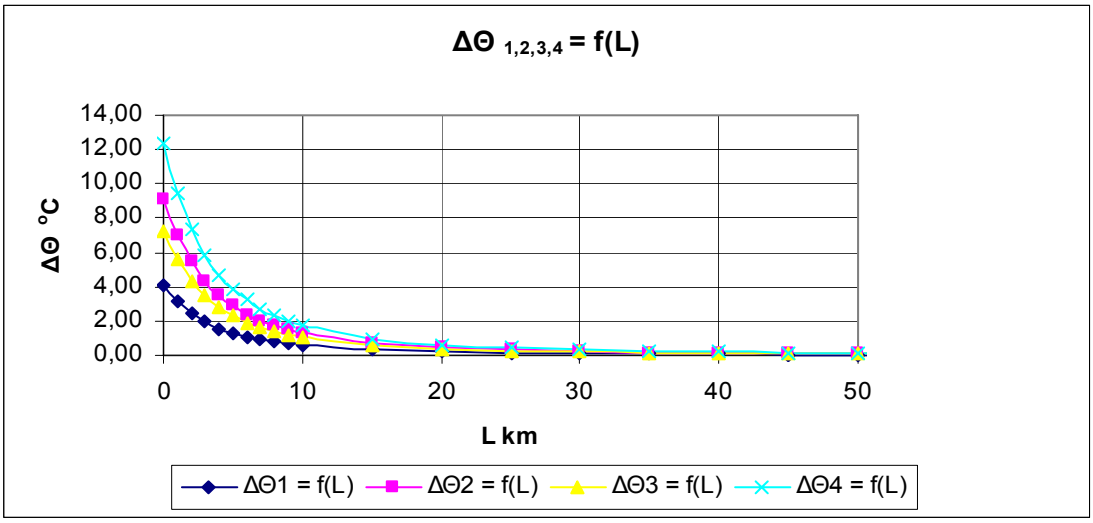


Σχήμα 4.1.1-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec (P_N=15MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2500,00	875,00	2500,00	4,07	9,14	7,25	12,33
1	0,40	0,39	0,09	3,00	6,84	2193,02	767,56	2193,02	3,13	7,04	5,58	9,48
2	0,80	0,77	0,09	3,00	7,75	1935,85	677,55	1935,85	2,44	5,48	4,35	7,39
3	1,20	1,16	0,09	3,00	8,70	1723,26	603,14	1723,26	1,93	4,34	3,44	5,86
4	1,60	1,54	0,09	3,00	9,69	1547,40	541,59	1547,40	1,56	3,50	2,78	4,72
5	2,00	1,93	0,09	3,00	10,71	1400,96	490,34	1400,96	1,28	2,87	2,28	3,87
6	2,40	2,32	0,09	3,00	11,74	1277,89	447,26	1277,89	1,06	2,39	1,89	3,22
7	2,80	2,70	0,09	3,00	12,78	1173,46	410,71	1173,46	0,90	2,01	1,60	2,72
8	3,20	3,09	0,09	3,00	13,84	1083,98	379,39	1083,98	0,76	1,72	1,36	2,32
9	3,60	3,47	0,09	3,00	14,90	1006,63	352,32	1006,63	0,66	1,48	1,18	2,00
10	4,00	3,86	0,09	3,00	15,97	939,20	328,72	939,20	0,57	1,29	1,02	1,74
15	6,00	5,79	0,09	3,00	21,38	701,43	245,50	701,43	0,32	0,72	0,57	0,97
20	8,00	7,72	0,09	3,00	26,86	558,49	195,47	558,49	0,20	0,46	0,36	0,62
25	10,00	9,65	0,09	3,00	32,36	463,53	162,24	463,53	0,14	0,31	0,25	0,42
30	12,00	11,58	0,09	3,00	37,88	396,00	138,60	396,00	0,10	0,23	0,18	0,31
35	14,00	13,51	0,09	3,00	43,41	345,56	120,95	345,56	0,08	0,17	0,14	0,24
40	16,00	15,44	0,09	3,00	48,94	306,47	107,27	306,47	0,06	0,14	0,11	0,19
45	18,00	17,37	0,09	3,00	54,48	275,31	96,36	275,31	0,05	0,11	0,09	0,15
50	20,00	19,30	0,09	3,00	60,03	249,88	87,46	249,88	0,04	0,09	0,07	0,12
55	22,00	21,23	0,09	3,00	65,57	228,75	80,06	228,75	0,03	0,08	0,06	0,10
60	24,00	23,16	0,09	3,00	71,12	210,90	73,82	210,90	0,03	0,07	0,05	0,09
65	26,00	25,09	0,09	3,00	76,67	195,64	68,47	195,64	0,02	0,06	0,04	0,08
70	28,00	27,02	0,09	3,00	82,22	182,43	63,85	182,43	0,02	0,05	0,04	0,07
75	30,00	28,95	0,09	3,00	87,78	170,89	59,81	170,89	0,02	0,04	0,03	0,06
80	32,00	30,88	0,09	3,00	93,33	160,72	56,25	160,72	0,02	0,04	0,03	0,05
85	34,00	32,81	0,09	3,00	98,88	151,70	53,09	151,70	0,01	0,03	0,03	0,05
90	36,00	34,74	0,09	3,00	104,44	143,63	50,27	143,63	0,01	0,03	0,02	0,04
95	38,00	36,67	0,09	3,00	109,99	136,38	47,73	136,38	0,01	0,03	0,02	0,04
100	40,00	38,60	0,09	3,00	115,54	129,82	45,44	129,82	0,01	0,02	0,02	0,03

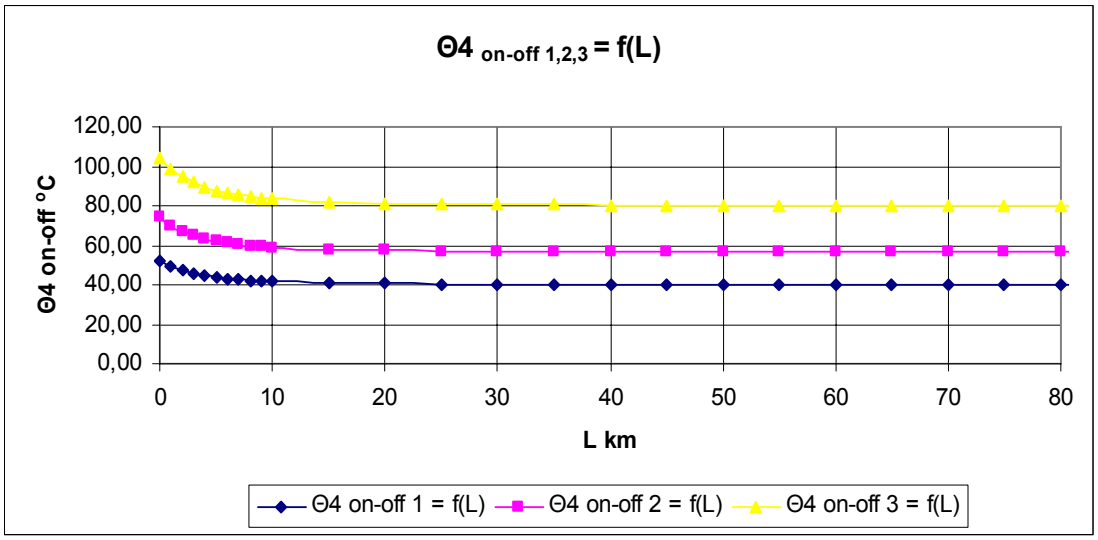
Πίνακας 4.2.1-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25sec



Σχήμα 4.1.1-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	52,33	74,00	104,65
1	49,48	69,98	98,97
2	47,39	67,02	94,78
3	45,86	64,85	91,71
4	44,72	63,25	89,44
5	43,87	62,04	87,74
6	43,22	61,12	86,44
7	42,72	60,41	85,43
8	42,32	59,85	84,63
9	42,00	59,39	84,00
10	41,74	59,03	83,48
15	40,97	57,94	81,94
20	40,62	57,44	81,23
25	40,42	57,17	80,85
30	40,31	57,01	80,62
35	40,24	56,90	80,47
40	40,19	56,83	80,37
45	40,15	56,78	80,30
50	40,12	56,74	80,25
55	40,10	56,71	80,21
60	40,09	56,69	80,18
65	40,08	56,68	80,15
70	40,07	56,66	80,13
75	40,06	56,65	80,12
80	40,05	56,64	80,10
85	40,05	56,63	80,09
90	40,04	56,63	80,08
95	40,04	56,62	80,07
100	40,03	56,62	80,07

Πίνακας 4.1.1-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=15MVA)

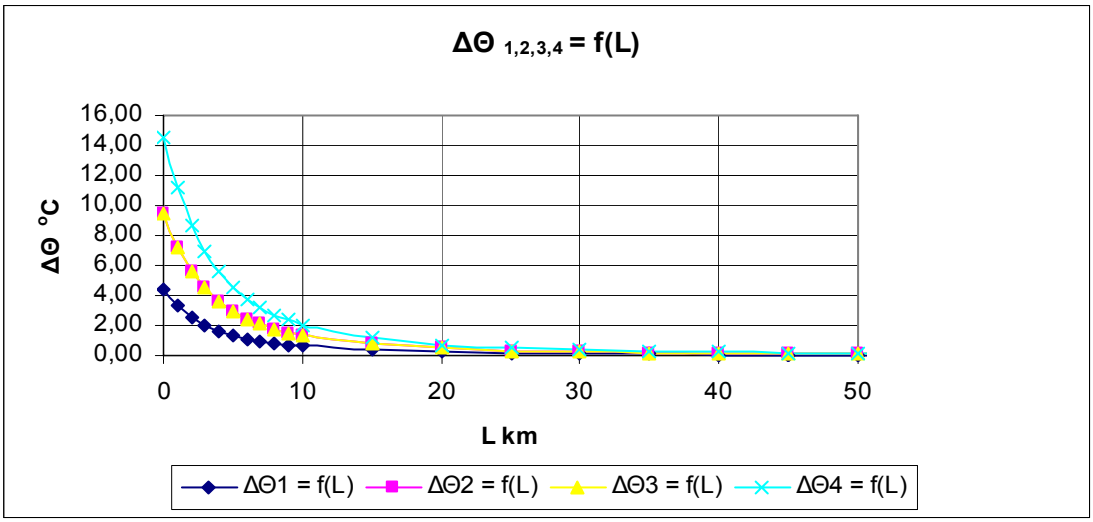


Σχήμα 4.1.1-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec (P_N=15MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2500,00	875,00	2500,00	4,34	9,41	9,43	14,50
1	0,40	0,39	0,09	3,00	6,84	2193,02	767,56	2193,02	3,34	7,24	7,25	11,16
2	0,80	0,77	0,09	3,00	7,75	1935,85	677,55	1935,85	2,60	5,64	5,65	8,69
3	1,20	1,16	0,09	3,00	8,70	1723,26	603,14	1723,26	2,06	4,47	4,48	6,89
4	1,60	1,54	0,09	3,00	9,69	1547,40	541,59	1547,40	1,66	3,61	3,61	5,56
5	2,00	1,93	0,09	3,00	10,71	1400,96	490,34	1400,96	1,36	2,96	2,96	4,55
6	2,40	2,32	0,09	3,00	11,74	1277,89	447,26	1277,89	1,13	2,46	2,46	3,79
7	2,80	2,70	0,09	3,00	12,78	1173,46	410,71	1173,46	0,96	2,07	2,08	3,19
8	3,20	3,09	0,09	3,00	13,84	1083,98	379,39	1083,98	0,82	1,77	1,77	2,73
9	3,60	3,47	0,09	3,00	14,90	1006,63	352,32	1006,63	0,70	1,53	1,53	2,35
10	4,00	3,86	0,09	3,00	15,97	939,20	328,72	939,20	0,61	1,33	1,33	2,05
15	6,00	5,79	0,09	3,00	21,38	701,43	245,50	701,43	0,34	0,74	0,74	1,14
20	8,00	7,72	0,09	3,00	26,86	558,49	195,47	558,49	0,22	0,47	0,47	0,72
25	10,00	9,65	0,09	3,00	32,36	463,53	162,24	463,53	0,15	0,32	0,32	0,50
30	12,00	11,58	0,09	3,00	37,88	396,00	138,60	396,00	0,11	0,24	0,24	0,36
35	14,00	13,51	0,09	3,00	43,41	345,56	120,95	345,56	0,08	0,18	0,18	0,28
40	16,00	15,44	0,09	3,00	48,94	306,47	107,27	306,47	0,07	0,14	0,14	0,22
45	18,00	17,37	0,09	3,00	54,48	275,31	96,36	275,31	0,05	0,11	0,11	0,18
50	20,00	19,30	0,09	3,00	60,03	249,88	87,46	249,88	0,04	0,09	0,09	0,14
55	22,00	21,23	0,09	3,00	65,57	228,75	80,06	228,75	0,04	0,08	0,08	0,12
60	24,00	23,16	0,09	3,00	71,12	210,90	73,82	210,90	0,03	0,07	0,07	0,10
65	26,00	25,09	0,09	3,00	76,67	195,64	68,47	195,64	0,03	0,06	0,06	0,09
70	28,00	27,02	0,09	3,00	82,22	182,43	63,85	182,43	0,02	0,05	0,05	0,08
75	30,00	28,95	0,09	3,00	87,78	170,89	59,81	170,89	0,02	0,04	0,04	0,07
80	32,00	30,88	0,09	3,00	93,33	160,72	56,25	160,72	0,02	0,04	0,04	0,06
85	34,00	32,81	0,09	3,00	98,88	151,70	53,09	151,70	0,02	0,03	0,03	0,05
90	36,00	34,74	0,09	3,00	104,44	143,63	50,27	143,63	0,01	0,03	0,03	0,05
95	38,00	36,67	0,09	3,00	109,99	136,38	47,73	136,38	0,01	0,03	0,03	0,04
100	40,00	38,60	0,09	3,00	115,54	129,82	45,44	129,82	0,01	0,03	0,03	0,04

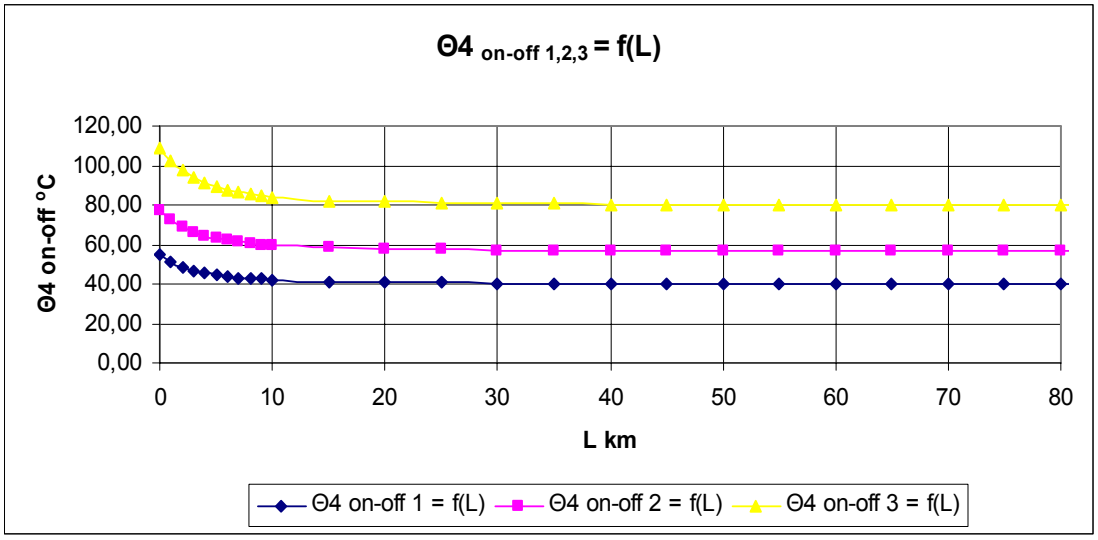
Πίνακας 4.1.1-5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4sec



Σχήμα4.1.1-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	54,50	77,07	109,00
1	51,16	72,35	102,32
2	48,69	68,86	97,39
3	46,89	66,31	93,78
4	45,56	64,42	91,11
5	44,55	63,01	89,11
6	43,79	61,93	87,58
7	43,19	61,09	86,39
8	42,73	60,42	85,45
9	42,35	59,89	84,70
10	42,05	59,46	84,09
15	41,14	58,18	82,28
20	40,72	57,59	81,45
25	40,50	57,27	81,00
30	40,36	57,08	80,73
35	40,28	56,96	80,55
40	40,22	56,88	80,44
45	40,18	56,82	80,35
50	40,14	56,77	80,29
55	40,12	56,74	80,24
60	40,10	56,71	80,21
65	40,09	56,69	80,18
70	40,08	56,68	80,15
75	40,07	56,66	80,14
80	40,06	56,65	80,12
85	40,05	56,64	80,11
90	40,05	56,64	80,10
95	40,04	56,63	80,09
100	40,04	56,62	80,08

Πίνακας 4.1.1-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=15MVA)

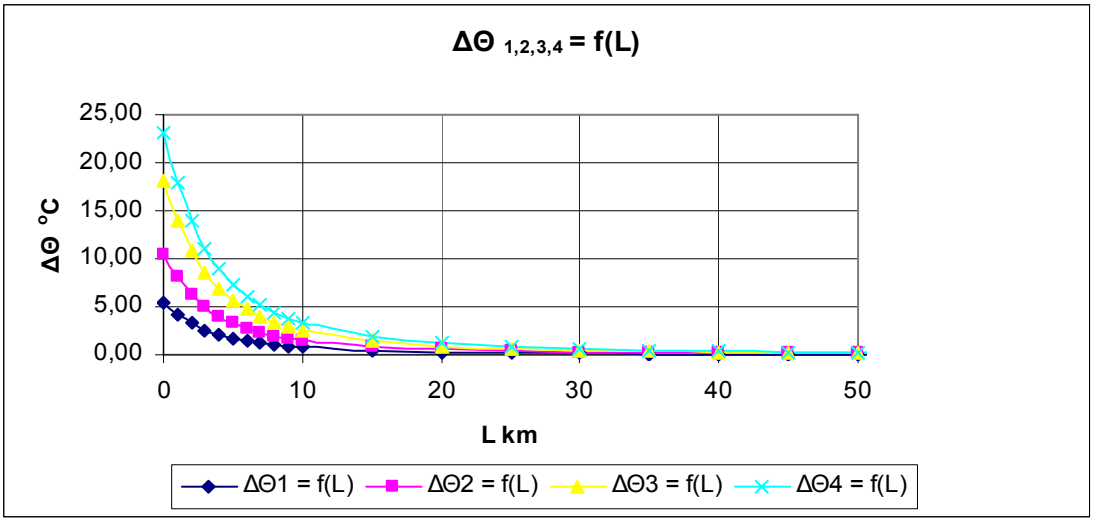


Σχήμα 4.1.1-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec, (P_N=15MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2500,00	875,00	2500,00	5,40	10,48	18,13	23,20
1	0,40	0,39	0,09	3,00	6,84	2193,02	767,56	2193,02	4,16	8,06	13,95	17,85
2	0,80	0,77	0,09	3,00	7,75	1935,85	677,55	1935,85	3,24	6,28	10,87	13,91
3	1,20	1,16	0,09	3,00	8,70	1723,26	603,14	1723,26	2,57	4,98	8,61	11,02
4	1,60	1,54	0,09	3,00	9,69	1547,40	541,59	1547,40	2,07	4,01	6,94	8,89
5	2,00	1,93	0,09	3,00	10,71	1400,96	490,34	1400,96	1,70	3,29	5,69	7,29
6	2,40	2,32	0,09	3,00	11,74	1277,89	447,26	1277,89	1,41	2,74	4,74	6,06
7	2,80	2,70	0,09	3,00	12,78	1173,46	410,71	1173,46	1,19	2,31	3,99	5,11
8	3,20	3,09	0,09	3,00	13,84	1083,98	379,39	1083,98	1,02	1,97	3,41	4,36
9	3,60	3,47	0,09	3,00	14,90	1006,63	352,32	1006,63	0,88	1,70	2,94	3,76
10	4,00	3,86	0,09	3,00	15,97	939,20	328,72	939,20	0,76	1,48	2,56	3,27
15	6,00	5,79	0,09	3,00	21,38	701,43	245,50	701,43	0,43	0,82	1,43	1,83
20	8,00	7,72	0,09	3,00	26,86	558,49	195,47	558,49	0,27	0,52	0,90	1,16
25	10,00	9,65	0,09	3,00	32,36	463,53	162,24	463,53	0,19	0,36	0,62	0,80
30	12,00	11,58	0,09	3,00	37,88	396,00	138,60	396,00	0,14	0,26	0,45	0,58
35	14,00	13,51	0,09	3,00	43,41	345,56	120,95	345,56	0,10	0,20	0,35	0,44
40	16,00	15,44	0,09	3,00	48,94	306,47	107,27	306,47	0,08	0,16	0,27	0,35
45	18,00	17,37	0,09	3,00	54,48	275,31	96,36	275,31	0,07	0,13	0,22	0,28
50	20,00	19,30	0,09	3,00	60,03	249,88	87,46	249,88	0,05	0,10	0,18	0,23
55	22,00	21,23	0,09	3,00	65,57	228,75	80,06	228,75	0,05	0,09	0,15	0,19
60	24,00	23,16	0,09	3,00	71,12	210,90	73,82	210,90	0,04	0,07	0,13	0,17
65	26,00	25,09	0,09	3,00	76,67	195,64	68,47	195,64	0,03	0,06	0,11	0,14
70	28,00	27,02	0,09	3,00	82,22	182,43	63,85	182,43	0,03	0,06	0,10	0,12
75	30,00	28,95	0,09	3,00	87,78	170,89	59,81	170,89	0,03	0,05	0,08	0,11
80	32,00	30,88	0,09	3,00	93,33	160,72	56,25	160,72	0,02	0,04	0,07	0,10
85	34,00	32,81	0,09	3,00	98,88	151,70	53,09	151,70	0,02	0,04	0,07	0,09
90	36,00	34,74	0,09	3,00	104,44	143,63	50,27	143,63	0,02	0,03	0,06	0,08
95	38,00	36,67	0,09	3,00	109,99	136,38	47,73	136,38	0,02	0,03	0,05	0,07
100	40,00	38,60	0,09	3,00	115,54	129,82	45,44	129,82	0,01	0,03	0,05	0,06

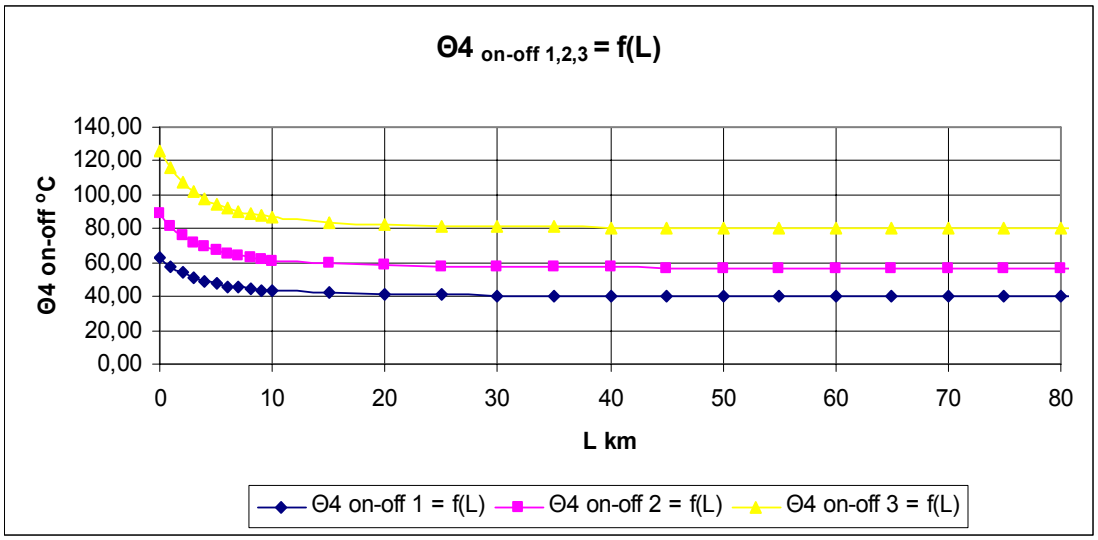
Πίνακας 4.1.1-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1sec



Σχήμα4.1.1.8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=1 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	63,20	89,38	126,40
1	57,85	81,82	115,70
2	53,91	76,24	107,82
3	51,02	72,16	102,05
4	48,89	69,14	97,78
5	47,29	66,87	94,57
6	46,06	65,14	92,12
7	45,11	63,80	90,22
8	44,36	62,74	88,72
9	43,76	61,89	87,52
10	43,27	61,20	86,55
15	41,83	59,15	83,65
20	41,16	58,21	82,32
25	40,80	57,70	81,60
30	40,58	57,39	81,16
35	40,44	57,20	80,89
40	40,35	57,06	80,70
45	40,28	56,97	80,56
50	40,23	56,90	80,46
55	40,19	56,84	80,39
60	40,17	56,80	80,33
65	40,14	56,77	80,28
70	40,12	56,74	80,25
75	40,11	56,72	80,22
80	40,10	56,70	80,19
85	40,09	56,69	80,17
90	40,08	56,68	80,15
95	40,07	56,67	80,14
100	40,06	56,66	80,13

Πίνακας 4.1.1-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=15MVA



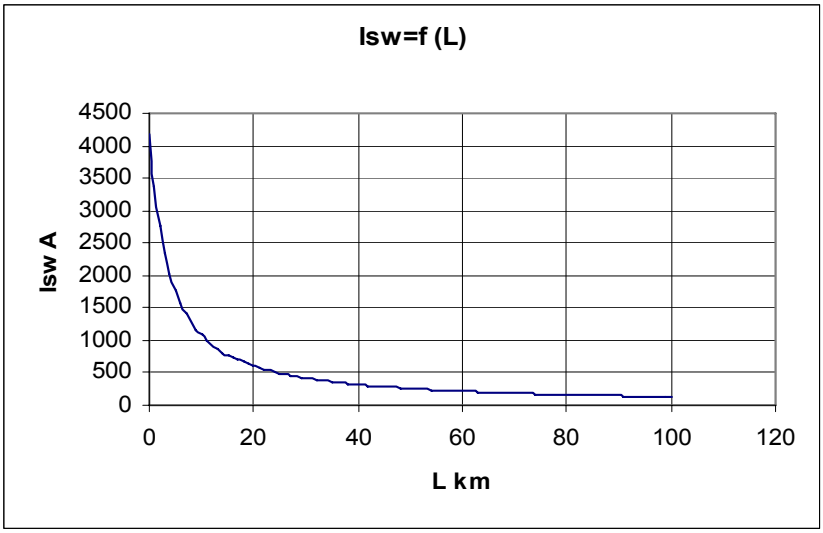
Σχήμα 4.1.1-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=1 sec, (P_N=15MVA)

4.1.2 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA

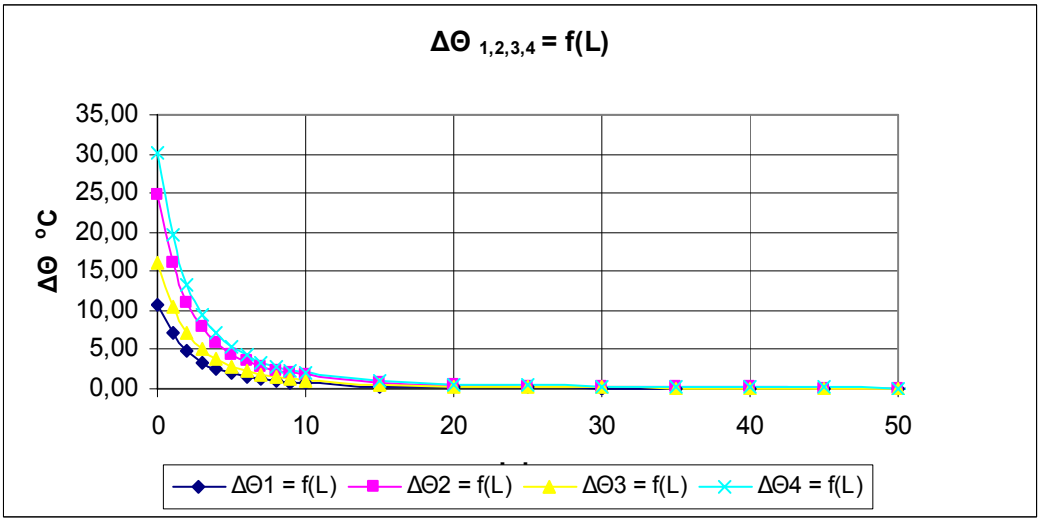
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,05	1,80	3,60	4166,67	1458,33	4166,67	10,81	24,91	16,11	30,21
1	0,40	0,39	0,05	1,80	4,46	3360,44	1176,15	3360,44	7,03	16,20	10,48	19,65
2	0,80	0,77	0,05	1,80	5,42	2768,24	968,88	2768,24	4,77	10,99	7,11	13,33
3	1,20	1,16	0,05	1,80	6,42	2334,93	817,23	2334,93	3,39	7,82	5,06	9,49
4	1,60	1,54	0,05	1,80	7,46	2010,74	703,76	2010,74	2,52	5,80	3,75	7,03
5	2,00	1,93	0,05	1,80	8,51	1761,62	616,57	1761,62	1,93	4,45	2,88	5,40
6	2,40	2,32	0,05	1,80	9,58	1565,33	547,86	1565,33	1,53	3,52	2,27	4,26
7	2,80	2,70	0,05	1,80	10,66	1407,20	492,52	1407,20	1,23	2,84	1,84	3,45
8	3,20	3,09	0,05	1,80	11,74	1277,38	447,08	1277,38	1,02	2,34	1,51	2,84
9	3,60	3,47	0,05	1,80	12,83	1169,05	409,17	1169,05	0,85	1,96	1,27	2,38
10	4,00	3,86	0,05	1,80	13,92	1077,37	377,08	1077,37	0,72	1,67	1,08	2,02
15	6,00	5,79	0,05	1,80	19,42	772,55	270,39	772,55	0,37	0,86	0,55	1,04
20	8,00	7,72	0,05	1,80	24,94	601,48	210,52	601,48	0,23	0,52	0,34	0,63
25	10,00	9,65	0,05	1,80	30,47	492,22	172,28	492,22	0,15	0,35	0,22	0,42
30	12,00	11,58	0,05	1,80	36,02	416,47	145,77	416,47	0,11	0,25	0,16	0,30
35	14,00	13,51	0,05	1,80	41,56	360,89	126,31	360,89	0,08	0,19	0,12	0,23
40	16,00	15,44	0,05	1,80	47,11	318,38	111,43	318,38	0,06	0,15	0,09	0,18
45	18,00	17,37	0,05	1,80	52,67	284,82	99,69	284,82	0,05	0,12	0,08	0,14
50	20,00	19,30	0,05	1,80	58,22	257,65	90,18	257,65	0,04	0,10	0,06	0,12
55	22,00	21,23	0,05	1,80	63,77	235,21	82,32	235,21	0,03	0,08	0,05	0,10
60	24,00	23,16	0,05	1,80	69,33	216,37	75,73	216,37	0,03	0,07	0,04	0,08
65	26,00	25,09	0,05	1,80	74,88	200,31	70,11	200,31	0,02	0,06	0,04	0,07
70	28,00	27,02	0,05	1,80	80,44	186,48	65,27	186,48	0,02	0,05	0,03	0,06
75	30,00	28,95	0,05	1,80	85,99	174,43	61,05	174,43	0,02	0,04	0,03	0,05
80	32,00	30,88	0,05	1,80	91,55	163,84	57,35	163,84	0,02	0,04	0,02	0,05
85	34,00	32,81	0,05	1,80	97,11	154,47	54,06	154,47	0,01	0,03	0,02	0,04
90	36,00	34,74	0,05	1,80	102,66	146,11	51,14	146,11	0,01	0,03	0,02	0,04
95	38,00	36,67	0,05	1,80	108,22	138,60	48,51	138,60	0,01	0,03	0,02	0,03
100	40,00	38,60	0,05	1,80	113,78	131,83	46,14	131,83	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 4.1.2-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15 sec



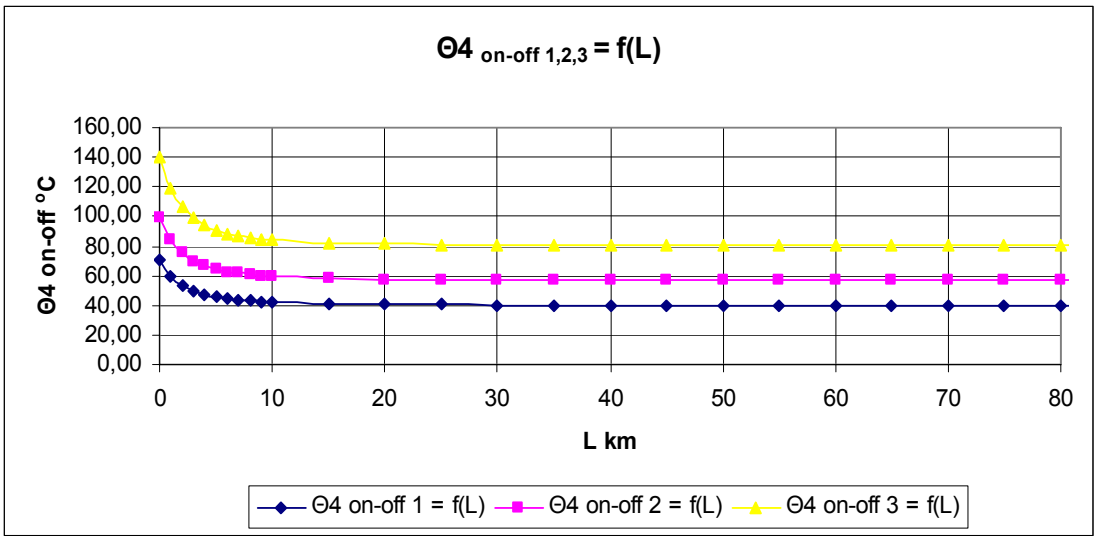
Σχήμα 4.1.2-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV (P_N=25MVA)



Σχήμα4.1.2-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	70,21	99,29	140,42
1	59,65	84,36	119,30
2	53,33	75,43	106,67
3	49,49	69,98	98,97
4	47,03	66,52	94,07
5	45,40	64,20	90,80
6	44,26	62,60	88,53
7	43,45	61,44	86,89
8	42,84	60,58	85,68
9	42,38	59,93	84,76
10	42,02	59,42	84,04
15	41,04	58,04	82,08
20	40,63	57,46	81,26
25	40,42	57,16	80,84
30	40,30	57,00	80,60
35	40,23	56,89	80,45
40	40,18	56,82	80,35
45	40,14	56,77	80,28
50	40,12	56,73	80,23
55	40,10	56,70	80,19
60	40,08	56,68	80,16
65	40,07	56,67	80,14
70	40,06	56,65	80,12
75	40,05	56,64	80,11
80	40,05	56,63	80,09
85	40,04	56,63	80,08
90	40,04	56,62	80,07
95	40,03	56,62	80,07
100	40,03	56,61	80,06

Πίνακας 4.1.2-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=25MVA)

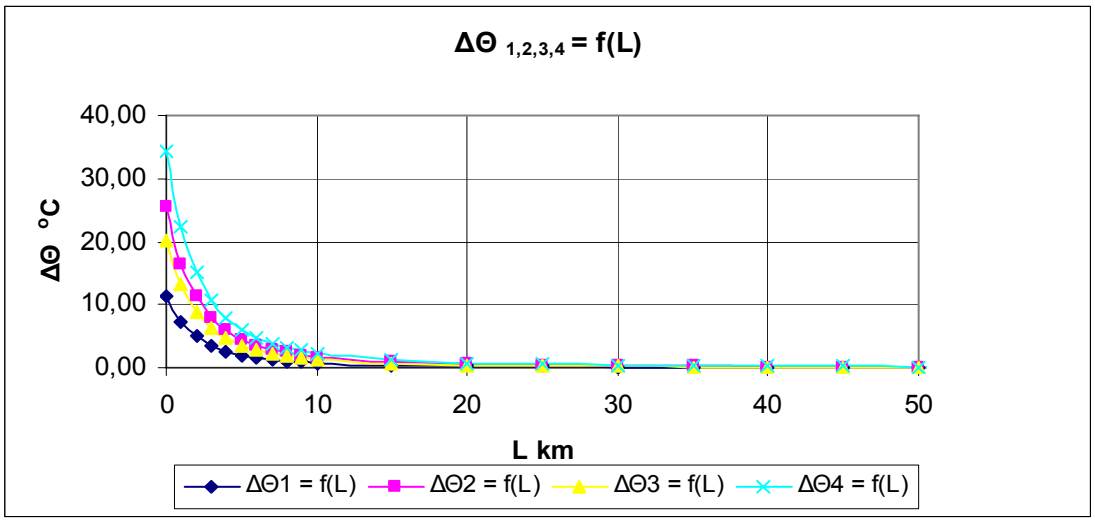


Σχήμα 4.1.2-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,05	1,80	3,60	4166,67	1458,33	4166,67	11,30	25,40	20,14	34,24
1	0,40	0,39	0,05	1,80	4,46	3360,44	1176,15	3360,44	7,35	16,52	13,10	22,27
2	0,80	0,77	0,05	1,80	5,42	2768,24	968,88	2768,24	4,99	11,21	8,89	15,11
3	1,20	1,16	0,05	1,80	6,42	2334,93	817,23	2334,93	3,55	7,98	6,32	10,75
4	1,60	1,54	0,05	1,80	7,46	2010,74	703,76	2010,74	2,63	5,92	4,69	7,97
5	2,00	1,93	0,05	1,80	8,51	1761,62	616,57	1761,62	2,02	4,54	3,60	6,12
6	2,40	2,32	0,05	1,80	9,58	1565,33	547,86	1565,33	1,60	3,58	2,84	4,83
7	2,80	2,70	0,05	1,80	10,66	1407,20	492,52	1407,20	1,29	2,90	2,30	3,90
8	3,20	3,09	0,05	1,80	11,74	1277,38	447,08	1277,38	1,06	2,39	1,89	3,22
9	3,60	3,47	0,05	1,80	12,83	1169,05	409,17	1169,05	0,89	2,00	1,59	2,70
10	4,00	3,86	0,05	1,80	13,92	1077,37	377,08	1077,37	0,76	1,70	1,35	2,29
15	6,00	5,79	0,05	1,80	19,42	772,55	270,39	772,55	0,39	0,87	0,69	1,18
20	8,00	7,72	0,05	1,80	24,94	601,48	210,52	601,48	0,24	0,53	0,42	0,71
25	10,00	9,65	0,05	1,80	30,47	492,22	172,28	492,22	0,16	0,35	0,28	0,48
30	12,00	11,58	0,05	1,80	36,02	416,47	145,77	416,47	0,11	0,25	0,20	0,34
35	14,00	13,51	0,05	1,80	41,56	360,89	126,31	360,89	0,08	0,19	0,15	0,26
40	16,00	15,44	0,05	1,80	47,11	318,38	111,43	318,38	0,07	0,15	0,12	0,20
45	18,00	17,37	0,05	1,80	52,67	284,82	99,69	284,82	0,05	0,12	0,09	0,16
50	20,00	19,30	0,05	1,80	58,22	257,65	90,18	257,65	0,04	0,10	0,08	0,13
55	22,00	21,23	0,05	1,80	63,77	235,21	82,32	235,21	0,04	0,08	0,06	0,11
60	24,00	23,16	0,05	1,80	69,33	216,37	75,73	216,37	0,03	0,07	0,05	0,09
65	26,00	25,09	0,05	1,80	74,88	200,31	70,11	200,31	0,03	0,06	0,05	0,08
70	28,00	27,02	0,05	1,80	80,44	186,48	65,27	186,48	0,02	0,05	0,04	0,07
75	30,00	28,95	0,05	1,80	85,99	174,43	61,05	174,43	0,02	0,04	0,04	0,06
80	32,00	30,88	0,05	1,80	91,55	163,84	57,35	163,84	0,02	0,04	0,03	0,05
85	34,00	32,81	0,05	1,80	97,11	154,47	54,06	154,47	0,02	0,03	0,03	0,05
90	36,00	34,74	0,05	1,80	102,66	146,11	51,14	146,11	0,01	0,03	0,02	0,04
95	38,00	36,67	0,05	1,80	108,22	138,60	48,51	138,60	0,01	0,03	0,02	0,04
100	40,00	38,60	0,05	1,80	113,78	131,83	46,14	131,83	0,01	0,03	0,02	0,03

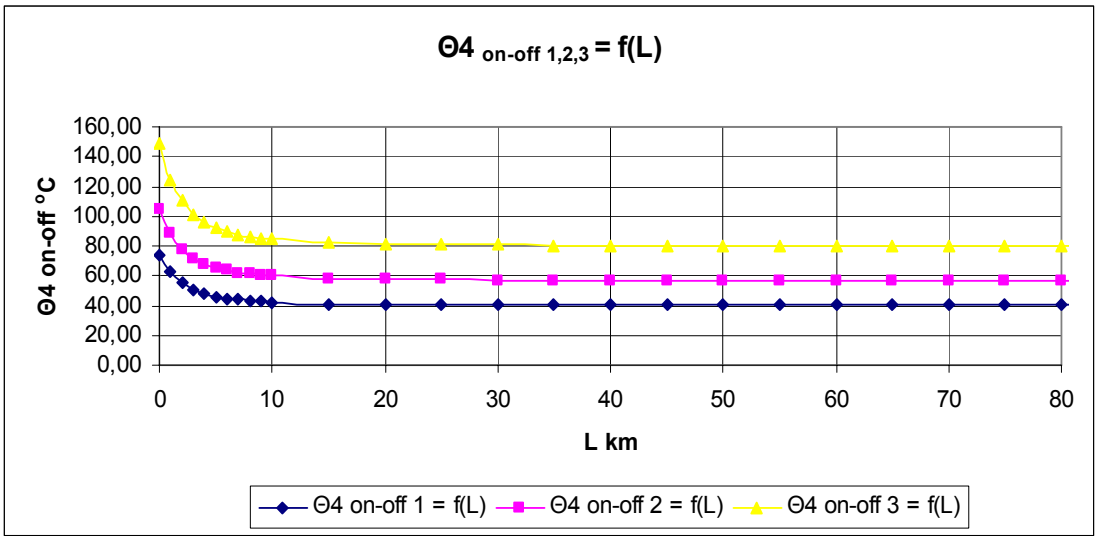
Πίνακας 4.3.2-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25 sec



Σχήμα4.1.2-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	74,24	104,99	148,47
1	62,27	88,06	124,54
2	55,11	77,94	110,22
3	50,75	71,77	101,50
4	47,97	67,84	95,95
5	46,12	65,22	92,24
6	44,83	63,40	89,66
7	43,90	62,09	87,81
8	43,22	61,12	86,44
9	42,70	60,38	85,39
10	42,29	59,81	84,58
15	41,18	58,23	82,35
20	40,71	57,58	81,43
25	40,48	57,24	80,96
30	40,34	57,05	80,68
35	40,26	56,93	80,51
40	40,20	56,85	80,40
45	40,16	56,79	80,32
50	40,13	56,75	80,26
55	40,11	56,72	80,22
60	40,09	56,70	80,18
65	40,08	56,68	80,16
70	40,07	56,67	80,14
75	40,06	56,65	80,12
80	40,05	56,64	80,11
85	40,05	56,64	80,09
90	40,04	56,63	80,08
95	40,04	56,62	80,08
100	40,03	56,62	80,07

Πίνακας 4.1.2-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=25MVA)

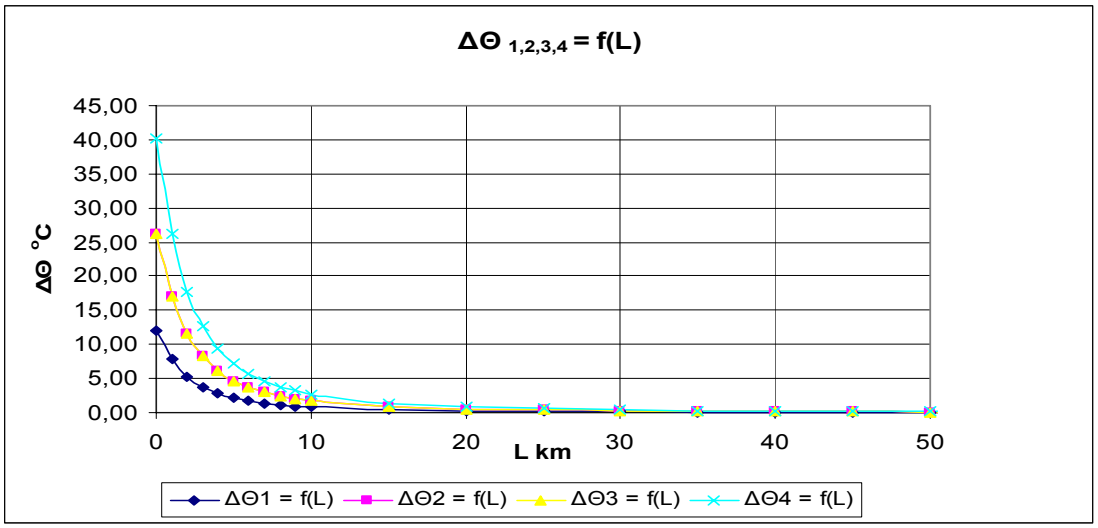


Σχήμα 4.1.2-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,05	1,80	3,60	4166,67	1458,33	4166,67	12,04	26,14	26,18	40,28
1	0,40	0,39	0,05	1,80	4,46	3360,44	1176,15	3360,44	7,83	17,00	17,03	26,20
2	0,80	0,77	0,05	1,80	5,42	2768,24	968,88	2768,24	5,32	11,54	11,56	17,78
3	1,20	1,16	0,05	1,80	6,42	2334,93	817,23	2334,93	3,78	8,21	8,22	12,65
4	1,60	1,54	0,05	1,80	7,46	2010,74	703,76	2010,74	2,80	6,09	6,10	9,38
5	2,00	1,93	0,05	1,80	8,51	1761,62	616,57	1761,62	2,15	4,67	4,68	7,20
6	2,40	2,32	0,05	1,80	9,58	1565,33	547,86	1565,33	1,70	3,69	3,69	5,68
7	2,80	2,70	0,05	1,80	10,66	1407,20	492,52	1407,20	1,37	2,98	2,99	4,59
8	3,20	3,09	0,05	1,80	11,74	1277,38	447,08	1277,38	1,13	2,46	2,46	3,79
9	3,60	3,47	0,05	1,80	12,83	1169,05	409,17	1169,05	0,95	2,06	2,06	3,17
10	4,00	3,86	0,05	1,80	13,92	1077,37	377,08	1077,37	0,81	1,75	1,75	2,69
15	6,00	5,79	0,05	1,80	19,42	772,55	270,39	772,55	0,41	0,90	0,90	1,38
20	8,00	7,72	0,05	1,80	24,94	601,48	210,52	601,48	0,25	0,54	0,55	0,84
25	10,00	9,65	0,05	1,80	30,47	492,22	172,28	492,22	0,17	0,36	0,37	0,56
30	12,00	11,58	0,05	1,80	36,02	416,47	145,77	416,47	0,12	0,26	0,26	0,40
35	14,00	13,51	0,05	1,80	41,56	360,89	126,31	360,89	0,09	0,20	0,20	0,30
40	16,00	15,44	0,05	1,80	47,11	318,38	111,43	318,38	0,07	0,15	0,15	0,24
45	18,00	17,37	0,05	1,80	52,67	284,82	99,69	284,82	0,06	0,12	0,12	0,19
50	20,00	19,30	0,05	1,80	58,22	257,65	90,18	257,65	0,05	0,10	0,10	0,15
55	22,00	21,23	0,05	1,80	63,77	235,21	82,32	235,21	0,04	0,08	0,08	0,13
60	24,00	23,16	0,05	1,80	69,33	216,37	75,73	216,37	0,03	0,07	0,07	0,11
65	26,00	25,09	0,05	1,80	74,88	200,31	70,11	200,31	0,03	0,06	0,06	0,09
70	28,00	27,02	0,05	1,80	80,44	186,48	65,27	186,48	0,02	0,05	0,05	0,08
75	30,00	28,95	0,05	1,80	85,99	174,43	61,05	174,43	0,02	0,05	0,05	0,07
80	32,00	30,88	0,05	1,80	91,55	163,84	57,35	163,84	0,02	0,04	0,04	0,06
85	34,00	32,81	0,05	1,80	97,11	154,47	54,06	154,47	0,02	0,04	0,04	0,06
90	36,00	34,74	0,05	1,80	102,66	146,11	51,14	146,11	0,01	0,03	0,03	0,05
95	38,00	36,67	0,05	1,80	108,22	138,60	48,51	138,60	0,01	0,03	0,03	0,04
100	40,00	38,60	0,05	1,80	113,78	131,83	46,14	131,83	0,01	0,03	0,03	0,04

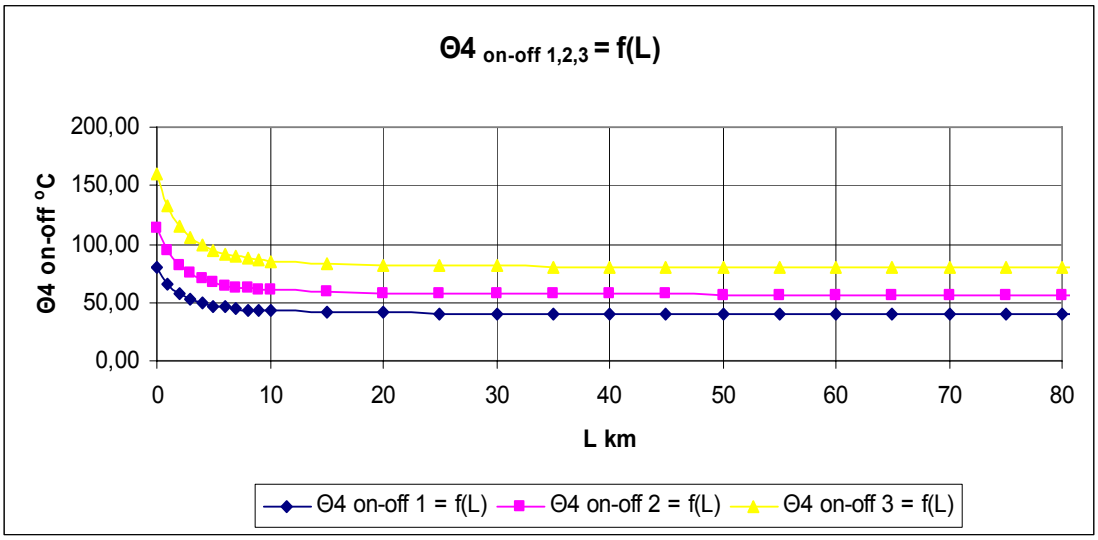
Πίνακας 4.1.2-5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4 sec



Σχήμα4.1.2-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	80,28	113,53	160,56
1	66,20	93,62	132,40
2	57,78	81,71	115,56
3	52,65	74,46	105,30
4	49,38	69,83	98,76
5	47,20	66,75	94,40
6	45,68	64,61	91,37
7	44,59	63,07	89,19
8	43,79	61,92	87,57
9	43,17	61,05	86,34
10	42,69	60,38	85,39
15	41,38	58,53	82,77
20	40,84	57,76	81,68
25	40,56	57,36	81,12
30	40,40	57,14	80,80
35	40,30	57,00	80,60
40	40,24	56,90	80,47
45	40,19	56,83	80,38
50	40,15	56,79	80,31
55	40,13	56,75	80,26
60	40,11	56,72	80,22
65	40,09	56,70	80,19
70	40,08	56,68	80,16
75	40,07	56,67	80,14
80	40,06	56,66	80,12
85	40,06	56,65	80,11
90	40,05	56,64	80,10
95	40,04	56,63	80,09
100	40,04	56,63	80,08

Πίνακας 4.1.2-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=25MVA)

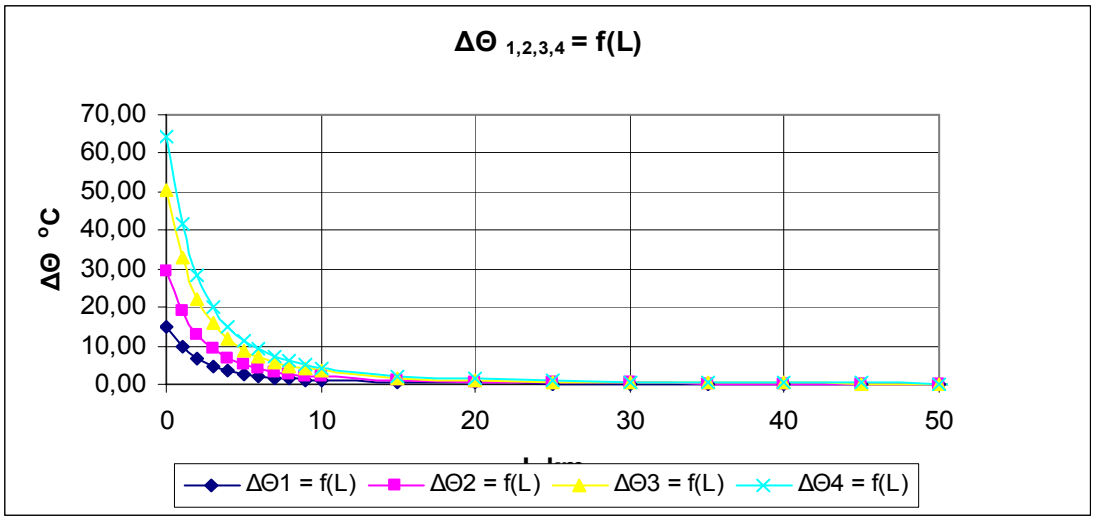


Σχήμα 4.1.2-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,05	1,80	3,60	4166,67	1458,33	4166,67	15,00	29,10	50,35	64,44
1	0,40	0,39	0,05	1,80	4,46	3360,44	1176,15	3360,44	9,76	18,93	32,75	41,92
2	0,80	0,77	0,05	1,80	5,42	2768,24	968,88	2768,24	6,62	12,84	22,22	28,45
3	1,20	1,16	0,05	1,80	6,42	2334,93	817,23	2334,93	4,71	9,14	15,81	20,24
4	1,60	1,54	0,05	1,80	7,46	2010,74	703,76	2010,74	3,49	6,78	11,72	15,01
5	2,00	1,93	0,05	1,80	8,51	1761,62	616,57	1761,62	2,68	5,20	9,00	11,52
6	2,40	2,32	0,05	1,80	9,58	1565,33	547,86	1565,33	2,12	4,11	7,11	9,10
7	2,80	2,70	0,05	1,80	10,66	1407,20	492,52	1407,20	1,71	3,32	5,74	7,35
8	3,20	3,09	0,05	1,80	11,74	1277,38	447,08	1277,38	1,41	2,74	4,73	6,06
9	3,60	3,47	0,05	1,80	12,83	1169,05	409,17	1169,05	1,18	2,29	3,96	5,07
10	4,00	3,86	0,05	1,80	13,92	1077,37	377,08	1077,37	1,00	1,95	3,37	4,31
15	6,00	5,79	0,05	1,80	19,42	772,55	270,39	772,55	0,52	1,00	1,73	2,22
20	8,00	7,72	0,05	1,80	24,94	601,48	210,52	601,48	0,31	0,61	1,05	1,34
25	10,00	9,65	0,05	1,80	30,47	492,22	172,28	492,22	0,21	0,41	0,70	0,90
30	12,00	11,58	0,05	1,80	36,02	416,47	145,77	416,47	0,15	0,29	0,50	0,64
35	14,00	13,51	0,05	1,80	41,56	360,89	126,31	360,89	0,11	0,22	0,38	0,48
40	16,00	15,44	0,05	1,80	47,11	318,38	111,43	318,38	0,09	0,17	0,29	0,38
45	18,00	17,37	0,05	1,80	52,67	284,82	99,69	284,82	0,07	0,14	0,24	0,30
50	20,00	19,30	0,05	1,80	58,22	257,65	90,18	257,65	0,06	0,11	0,19	0,25
55	22,00	21,23	0,05	1,80	63,77	235,21	82,32	235,21	0,05	0,09	0,16	0,21
60	24,00	23,16	0,05	1,80	69,33	216,37	75,73	216,37	0,04	0,08	0,14	0,17
65	26,00	25,09	0,05	1,80	74,88	200,31	70,11	200,31	0,03	0,07	0,12	0,15
70	28,00	27,02	0,05	1,80	80,44	186,48	65,27	186,48	0,03	0,06	0,10	0,13
75	30,00	28,95	0,05	1,80	85,99	174,43	61,05	174,43	0,03	0,05	0,09	0,11
80	32,00	30,88	0,05	1,80	91,55	163,84	57,35	163,84	0,02	0,04	0,08	0,10
85	34,00	32,81	0,05	1,80	97,11	154,47	54,06	154,47	0,02	0,04	0,07	0,09
90	36,00	34,74	0,05	1,80	102,66	146,11	51,14	146,11	0,02	0,04	0,06	0,08
95	38,00	36,67	0,05	1,80	108,22	138,60	48,51	138,60	0,02	0,03	0,06	0,07
100	40,00	38,60	0,05	1,80	113,78	131,83	46,14	131,83	0,02	0,03	0,05	0,06

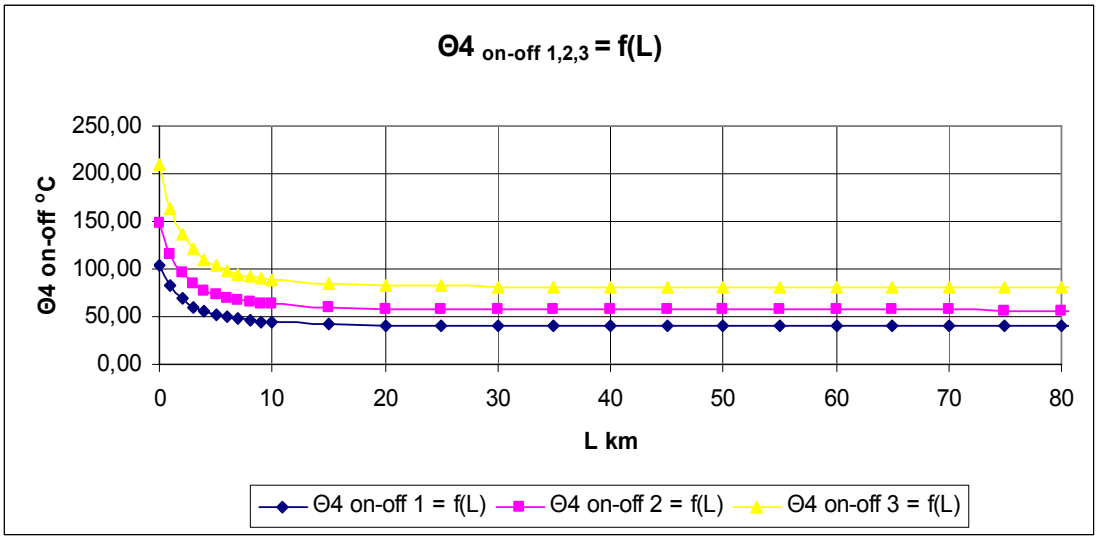
Πίνακας 4.1.2-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1 sec



Σχήμα 4.1.2-8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 15 kV, για t=1 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	104,44	147,71	208,89
1	81,92	115,85	163,84
2	68,45	96,80	136,89
3	60,24	85,19	120,47
4	55,01	77,79	110,02
5	51,52	72,86	103,04
6	49,10	69,43	98,19
7	47,35	66,96	94,70
8	46,06	65,13	92,11
9	45,07	63,74	90,15
10	44,31	62,66	88,62
15	42,22	59,70	84,43
20	41,34	58,47	82,69
25	40,90	57,84	81,80
30	40,64	57,48	81,29
35	40,48	57,25	80,97
40	40,38	57,10	80,75
45	40,30	56,99	80,60
50	40,25	56,92	80,49
55	40,21	56,86	80,41
60	40,17	56,81	80,35
65	40,15	56,78	80,30
70	40,13	56,75	80,26
75	40,11	56,73	80,23
80	40,10	56,71	80,20
85	40,09	56,69	80,18
90	40,08	56,68	80,16
95	40,07	56,67	80,14
100	40,06	56,66	80,13

Πίνακας 4.1.2-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=25MVA)



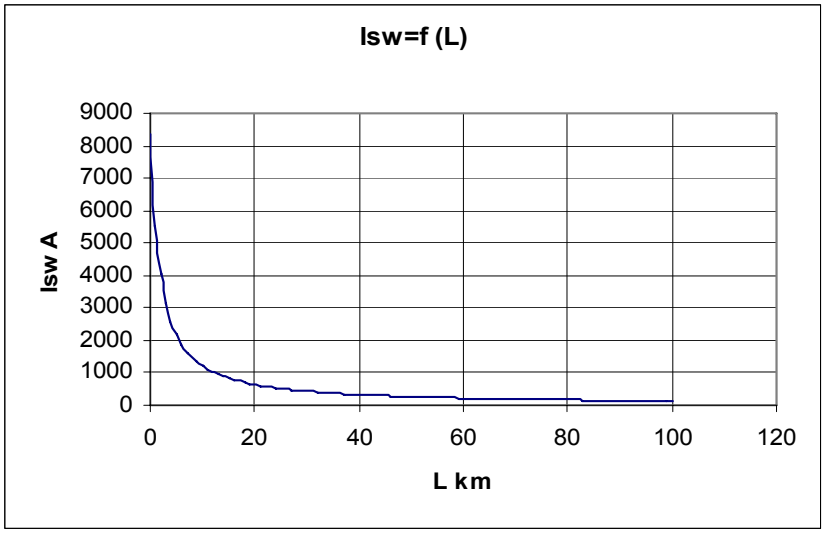
Σχήμα 4.1.2-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=1 sec, (P_N=25MVA)

4.1.3 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA

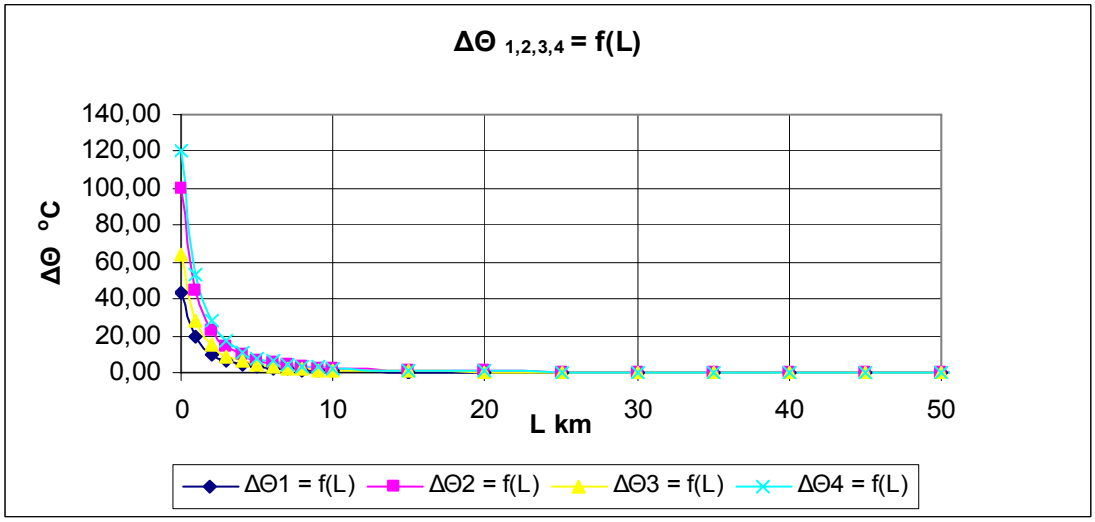
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,03	0,90	1,80	8333,33	2916,67	8333,33	43,24	99,63	64,44	120,83
1	0,40	0,39	0,03	0,90	2,71	5536,48	1937,77	5536,48	19,09	43,98	28,45	53,34
2	0,80	0,77	0,03	0,90	3,73	4021,49	1407,52	4021,49	10,07	23,20	15,01	28,14
3	1,20	1,16	0,03	0,90	4,79	3130,65	1095,73	3130,65	6,10	14,06	9,10	17,05
4	1,60	1,54	0,03	0,90	5,87	2554,76	894,17	2554,76	4,06	9,36	6,06	11,36
5	2,00	1,93	0,03	0,90	6,96	2154,73	754,16	2154,73	2,89	6,66	4,31	8,08
6	2,40	2,32	0,03	0,90	8,06	1861,65	651,58	1861,65	2,16	4,97	3,22	6,03
7	2,80	2,70	0,03	0,90	9,16	1638,06	573,32	1638,06	1,67	3,85	2,49	4,67
8	3,20	3,09	0,03	0,90	10,26	1462,06	511,72	1462,06	1,33	3,07	1,98	3,72
9	3,60	3,47	0,03	0,90	11,36	1319,99	462,00	1319,99	1,08	2,50	1,62	3,03
10	4,00	3,86	0,03	0,90	12,47	1202,96	421,04	1202,96	0,90	2,08	1,34	2,52
15	6,00	5,79	0,03	0,90	18,01	832,95	291,53	832,95	0,43	1,00	0,64	1,21
20	8,00	7,72	0,03	0,90	23,56	636,76	222,87	636,76	0,25	0,58	0,38	0,71
25	10,00	9,65	0,03	0,90	29,11	515,30	180,36	515,30	0,17	0,38	0,25	0,46
30	12,00	11,58	0,03	0,90	34,66	432,73	151,46	432,73	0,12	0,27	0,17	0,33
35	14,00	13,51	0,03	0,90	40,22	372,96	130,54	372,96	0,09	0,20	0,13	0,24
40	16,00	15,44	0,03	0,90	45,78	327,69	114,69	327,69	0,07	0,15	0,10	0,19
45	18,00	17,37	0,03	0,90	51,33	292,21	102,27	292,21	0,05	0,12	0,08	0,15
50	20,00	19,30	0,03	0,90	56,89	263,67	92,28	263,67	0,04	0,10	0,06	0,12
55	22,00	21,23	0,03	0,90	62,45	240,20	84,07	240,20	0,04	0,08	0,05	0,10
60	24,00	23,16	0,03	0,90	68,00	220,57	77,20	220,57	0,03	0,07	0,05	0,08
65	26,00	25,09	0,03	0,90	73,56	203,91	71,37	203,91	0,03	0,06	0,04	0,07
70	28,00	27,02	0,03	0,90	79,12	189,58	66,35	189,58	0,02	0,05	0,03	0,06
75	30,00	28,95	0,03	0,90	84,68	177,14	62,00	177,14	0,02	0,05	0,03	0,05
80	32,00	30,88	0,03	0,90	90,24	166,23	58,18	166,23	0,02	0,04	0,03	0,05
85	34,00	32,81	0,03	0,90	95,80	156,58	54,80	156,58	0,02	0,04	0,02	0,04
90	36,00	34,74	0,03	0,90	101,35	148,00	51,80	148,00	0,01	0,03	0,02	0,04
95	38,00	36,67	0,03	0,90	106,91	140,30	49,11	140,30	0,01	0,03	0,02	0,03
100	40,00	38,60	0,03	0,90	112,47	133,37	46,68	133,37	0,01	0,03	0,02	0,03

Πίνακας 4.1.3-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15sec



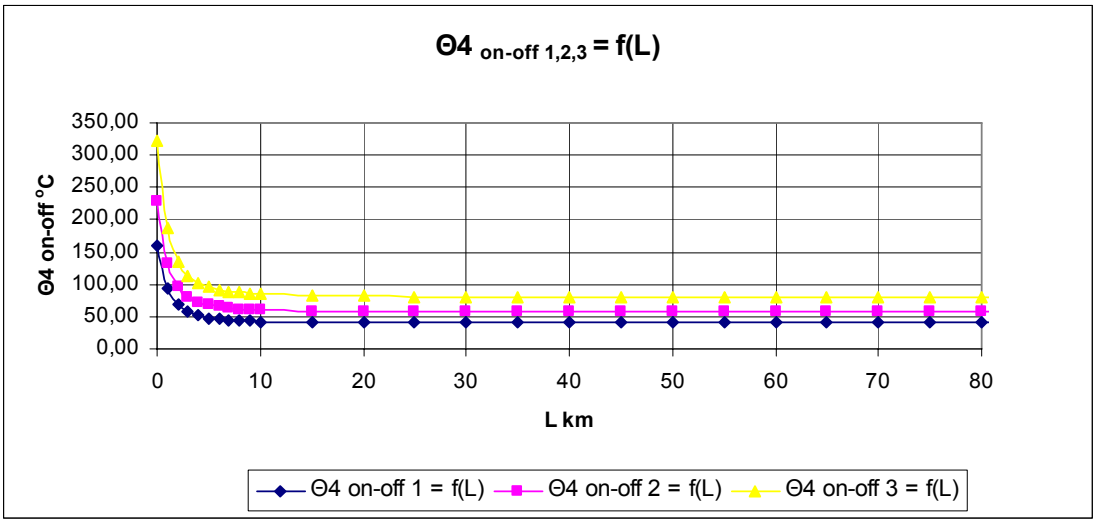
Σχήμα 4.1.3-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV (P_N=50MVA)



Σχήμα 4.1.3-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	160,83	227,45	321,67
1	93,34	132,00	186,67
2	68,14	96,36	136,28
3	57,05	80,69	114,11
4	51,36	72,63	102,71
5	48,08	67,99	96,16
6	46,03	65,10	92,06
7	44,67	63,17	89,34
8	43,72	61,83	87,44
9	43,03	60,86	86,06
10	42,52	60,13	85,04
15	41,21	58,28	82,41
20	40,71	57,57	81,41
25	40,46	57,22	80,92
30	40,33	57,03	80,65
35	40,24	56,91	80,48
40	40,19	56,83	80,37
45	40,15	56,78	80,30
50	40,12	56,74	80,24
55	40,10	56,71	80,20
60	40,08	56,69	80,17
65	40,07	56,67	80,14
70	40,06	56,66	80,13
75	40,05	56,65	80,11
80	40,05	56,64	80,10
85	40,04	56,63	80,09
90	40,04	56,62	80,08
95	40,03	56,62	80,07
100	40,03	56,61	80,06

Πίνακας 4.1.3-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=50MVA)

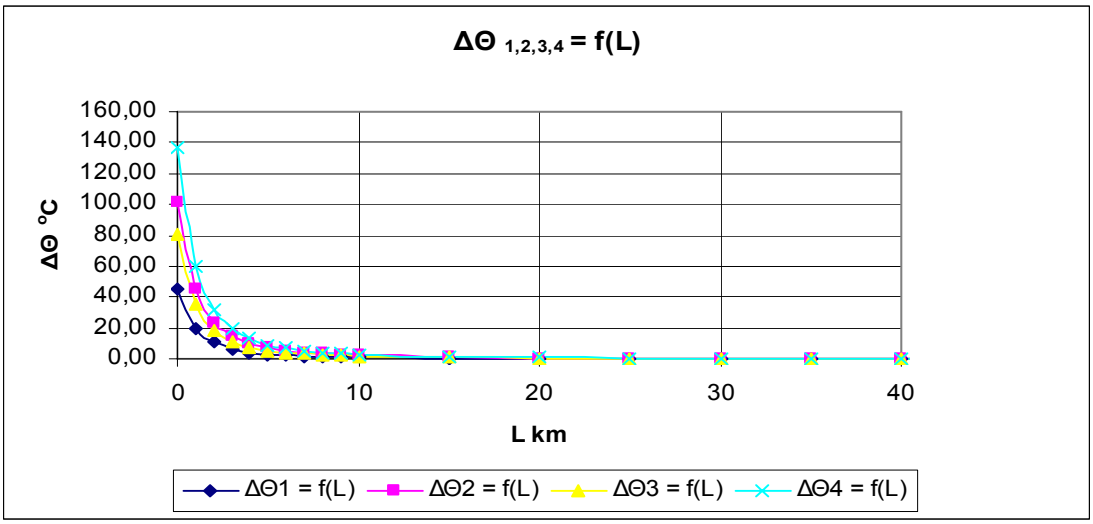


Σχήμα 4.1.3-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,15 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,03	0,90	1,80	8333,33	2916,67	8333,33	45,21	101,60	80,56	136,94
1	0,40	0,39	0,03	0,90	2,71	5536,48	1937,77	5536,48	19,96	44,85	35,56	60,45
2	0,80	0,77	0,03	0,90	3,73	4021,49	1407,52	4021,49	10,53	23,66	18,76	31,89
3	1,20	1,16	0,03	0,90	4,79	3130,65	1095,73	3130,65	6,38	14,34	11,37	19,33
4	1,60	1,54	0,03	0,90	5,87	2554,76	894,17	2554,76	4,25	9,55	7,57	12,87
5	2,00	1,93	0,03	0,90	6,96	2154,73	754,16	2154,73	3,02	6,79	5,39	9,16
6	2,40	2,32	0,03	0,90	8,06	1861,65	651,58	1861,65	2,26	5,07	4,02	6,83
7	2,80	2,70	0,03	0,90	9,16	1638,06	573,32	1638,06	1,75	3,93	3,11	5,29
8	3,20	3,09	0,03	0,90	10,26	1462,06	511,72	1462,06	1,39	3,13	2,48	4,22
9	3,60	3,47	0,03	0,90	11,36	1319,99	462,00	1319,99	1,13	2,55	2,02	3,44
10	4,00	3,86	0,03	0,90	12,47	1202,96	421,04	1202,96	0,94	2,12	1,68	2,85
15	6,00	5,79	0,03	0,90	18,01	832,95	291,53	832,95	0,45	1,02	0,80	1,37
20	8,00	7,72	0,03	0,90	23,56	636,76	222,87	636,76	0,26	0,59	0,47	0,80
25	10,00	9,65	0,03	0,90	29,11	515,30	180,36	515,30	0,17	0,39	0,31	0,52
30	12,00	11,58	0,03	0,90	34,66	432,73	151,46	432,73	0,12	0,27	0,22	0,37
35	14,00	13,51	0,03	0,90	40,22	372,96	130,54	372,96	0,09	0,20	0,16	0,27
40	16,00	15,44	0,03	0,90	45,78	327,69	114,69	327,69	0,07	0,16	0,12	0,21
45	18,00	17,37	0,03	0,90	51,33	292,21	102,27	292,21	0,06	0,12	0,10	0,17
50	20,00	19,30	0,03	0,90	56,89	263,67	92,28	263,67	0,05	0,10	0,08	0,14
55	22,00	21,23	0,03	0,90	62,45	240,20	84,07	240,20	0,04	0,08	0,07	0,11
60	24,00	23,16	0,03	0,90	68,00	220,57	77,20	220,57	0,03	0,07	0,06	0,10
65	26,00	25,09	0,03	0,90	73,56	203,91	71,37	203,91	0,03	0,06	0,05	0,08
70	28,00	27,02	0,03	0,90	79,12	189,58	66,35	189,58	0,02	0,05	0,04	0,07
75	30,00	28,95	0,03	0,90	84,68	177,14	62,00	177,14	0,02	0,05	0,04	0,06
80	32,00	30,88	0,03	0,90	90,24	166,23	58,18	166,23	0,02	0,04	0,03	0,05
85	34,00	32,81	0,03	0,90	95,80	156,58	54,80	156,58	0,02	0,04	0,03	0,05
90	36,00	34,74	0,03	0,90	101,35	148,00	51,80	148,00	0,01	0,03	0,03	0,04
95	38,00	36,67	0,03	0,90	106,91	140,30	49,11	140,30	0,01	0,03	0,02	0,04
100	40,00	38,60	0,03	0,90	112,47	133,37	46,68	133,37	0,01	0,03	0,02	0,04

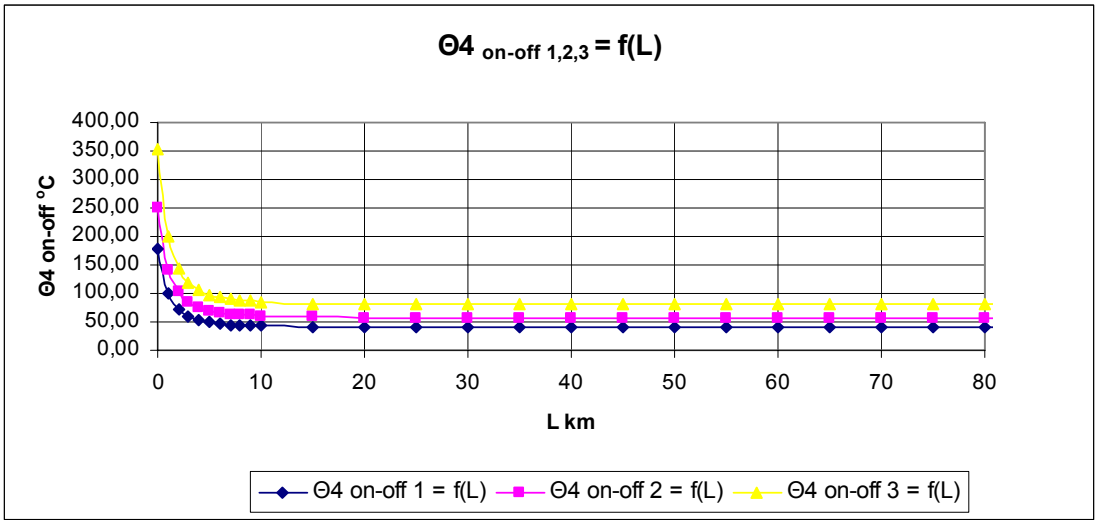
Πίνακας 4.1.3-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25sec



Σχήμα 4.1.3-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	176,94	250,24	353,89
1	100,45	142,05	200,89
2	71,89	101,67	143,78
3	59,33	83,90	118,66
4	52,87	74,77	105,74
5	49,16	69,52	98,31
6	46,83	66,23	93,67
7	45,29	64,05	90,58
8	44,22	62,53	88,43
9	43,44	61,43	86,87
10	42,85	60,60	85,71
15	41,37	58,50	82,74
20	40,80	57,70	81,60
25	40,52	57,31	81,05
30	40,37	57,09	80,74
35	40,27	56,96	80,55
40	40,21	56,87	80,42
45	40,17	56,81	80,34
50	40,14	56,76	80,27
55	40,11	56,73	80,23
60	40,10	56,70	80,19
65	40,08	56,68	80,16
70	40,07	56,67	80,14
75	40,06	56,66	80,12
80	40,05	56,65	80,11
85	40,05	56,64	80,10
90	40,04	56,63	80,09
95	40,04	56,62	80,08
100	40,04	56,62	80,07

Πίνακας 4.1.3-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=50MVA)

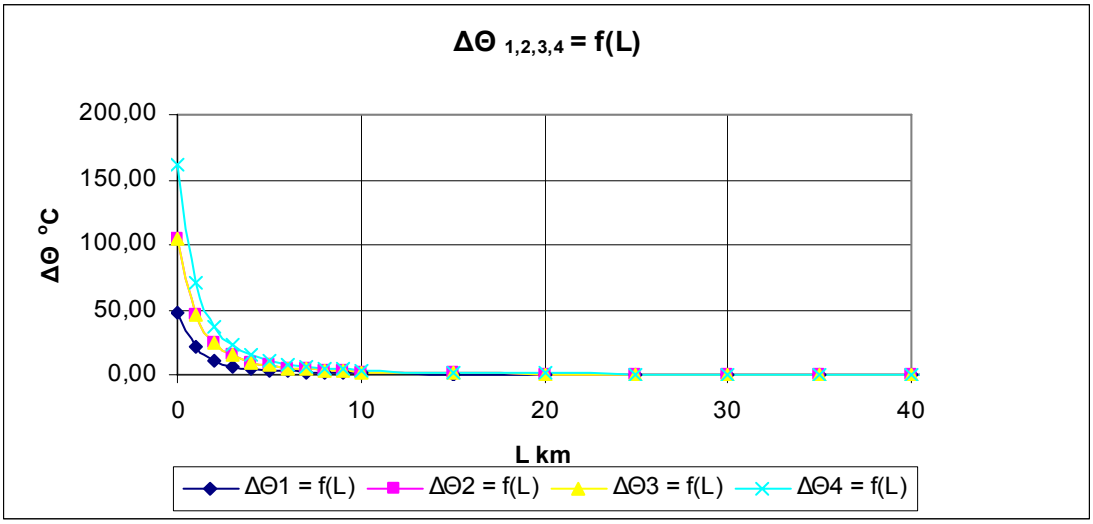


Σχήμα 4.1.3-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,25 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,03	0,90	1,80	8333,33	2916,67	8333,33	48,17	104,56	104,72	161,11
1	0,40	0,39	0,03	0,90	2,71	5536,48	1937,77	5536,48	21,26	46,15	46,22	71,11
2	0,80	0,77	0,03	0,90	3,73	4021,49	1407,52	4021,49	11,22	24,35	24,39	37,52
3	1,20	1,16	0,03	0,90	4,79	3130,65	1095,73	3130,65	6,80	14,76	14,78	22,74
4	1,60	1,54	0,03	0,90	5,87	2554,76	894,17	2554,76	4,53	9,83	9,84	15,14
5	2,00	1,93	0,03	0,90	6,96	2154,73	754,16	2154,73	3,22	6,99	7,00	10,77
6	2,40	2,32	0,03	0,90	8,06	1861,65	651,58	1861,65	2,40	5,22	5,23	8,04
7	2,80	2,70	0,03	0,90	9,16	1638,06	573,32	1638,06	1,86	4,04	4,05	6,23
8	3,20	3,09	0,03	0,90	10,26	1462,06	511,72	1462,06	1,48	3,22	3,22	4,96
9	3,60	3,47	0,03	0,90	11,36	1319,99	462,00	1319,99	1,21	2,62	2,63	4,04
10	4,00	3,86	0,03	0,90	12,47	1202,96	421,04	1202,96	1,00	2,18	2,18	3,36
15	6,00	5,79	0,03	0,90	18,01	832,95	291,53	832,95	0,48	1,04	1,05	1,61
20	8,00	7,72	0,03	0,90	23,56	636,76	222,87	636,76	0,28	0,61	0,61	0,94
25	10,00	9,65	0,03	0,90	29,11	515,30	180,36	515,30	0,18	0,40	0,40	0,62
30	12,00	11,58	0,03	0,90	34,66	432,73	151,46	432,73	0,13	0,28	0,28	0,43
35	14,00	13,51	0,03	0,90	40,22	372,96	130,54	372,96	0,10	0,21	0,21	0,32
40	16,00	15,44	0,03	0,90	45,78	327,69	114,69	327,69	0,07	0,16	0,16	0,25
45	18,00	17,37	0,03	0,90	51,33	292,21	102,27	292,21	0,06	0,13	0,13	0,20
50	20,00	19,30	0,03	0,90	56,89	263,67	92,28	263,67	0,05	0,10	0,10	0,16
55	22,00	21,23	0,03	0,90	62,45	240,20	84,07	240,20	0,04	0,09	0,09	0,13
60	24,00	23,16	0,03	0,90	68,00	220,57	77,20	220,57	0,03	0,07	0,07	0,11
65	26,00	25,09	0,03	0,90	73,56	203,91	71,37	203,91	0,03	0,06	0,06	0,10
70	28,00	27,02	0,03	0,90	79,12	189,58	66,35	189,58	0,02	0,05	0,05	0,08
75	30,00	28,95	0,03	0,90	84,68	177,14	62,00	177,14	0,02	0,05	0,05	0,07
80	32,00	30,88	0,03	0,90	90,24	166,23	58,18	166,23	0,02	0,04	0,04	0,06
85	34,00	32,81	0,03	0,90	95,80	156,58	54,80	156,58	0,02	0,04	0,04	0,06
90	36,00	34,74	0,03	0,90	101,35	148,00	51,80	148,00	0,02	0,03	0,03	0,05
95	38,00	36,67	0,03	0,90	106,91	140,30	49,11	140,30	0,01	0,03	0,03	0,05
100	40,00	38,60	0,03	0,90	112,47	133,37	46,68	133,37	0,01	0,03	0,03	0,04

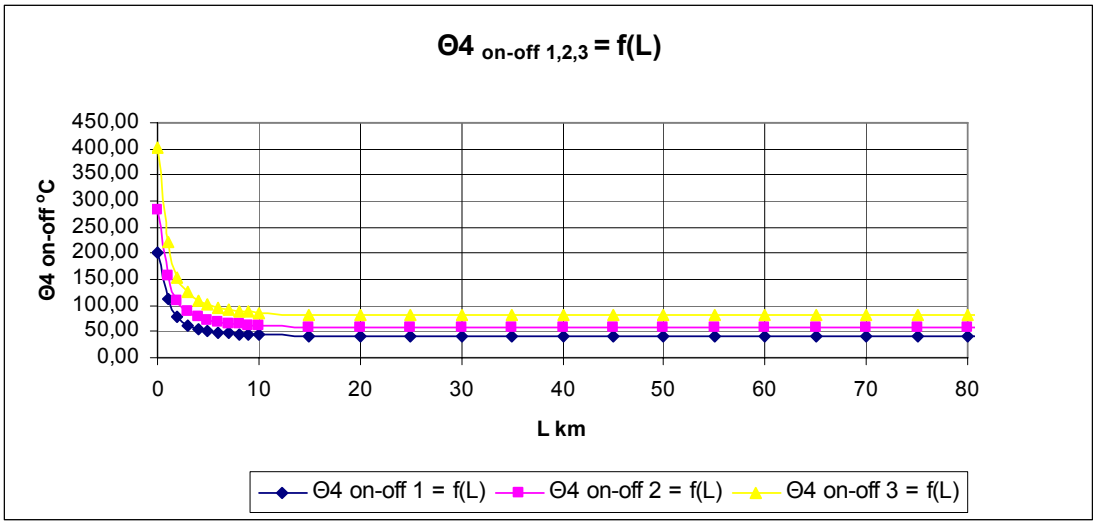
Πίνακας 4.1.3.5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4sec



Σχήμα 4.1.3-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	201,11	284,41	402,22
1	111,11	157,14	222,23
2	77,52	109,63	155,04
3	62,74	88,73	125,48
4	55,14	77,98	110,28
5	50,77	71,80	101,54
6	48,04	67,94	96,08
7	46,23	65,37	92,45
8	44,96	63,58	89,92
9	44,04	62,29	88,08
10	43,36	61,32	86,71
15	41,61	58,84	83,22
20	40,94	57,90	81,88
25	40,62	57,44	81,23
30	40,43	57,18	80,87
35	40,32	57,02	80,65
40	40,25	56,92	80,50
45	40,20	56,85	80,40
50	40,16	56,80	80,32
55	40,13	56,76	80,27
60	40,11	56,73	80,23
65	40,10	56,70	80,19
70	40,08	56,69	80,17
75	40,07	56,67	80,15
80	40,06	56,66	80,13
85	40,06	56,65	80,11
90	40,05	56,64	80,10
95	40,05	56,63	80,09
100	40,04	56,63	80,08

Πίνακας 4.1.3-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=50MVA)

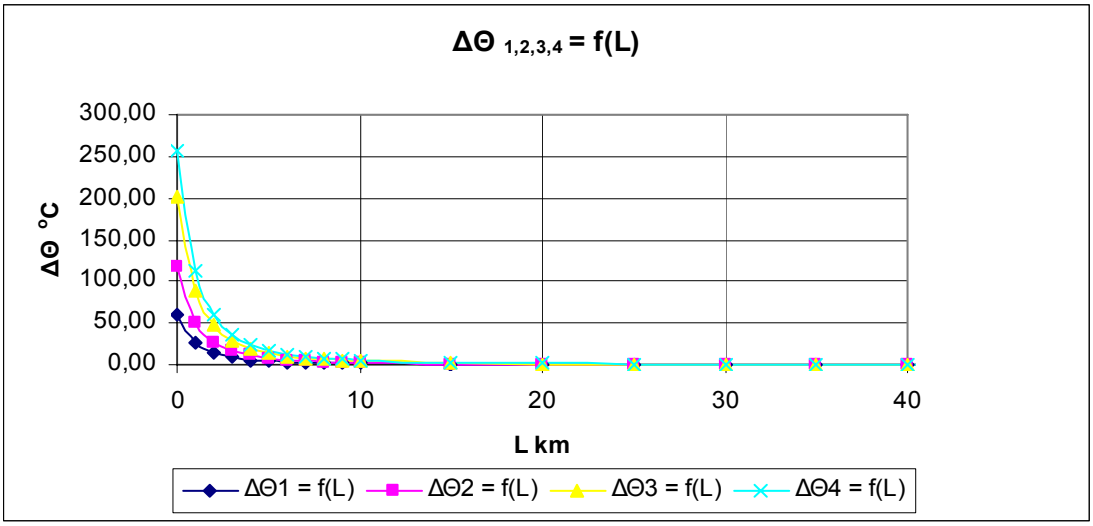


Σχήμα 4.1.3-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=0,4 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,03	0,90	1,80	8333,33	2916,67	8333,33	60,01	116,40	201,39	257,78
1	0,40	0,39	0,03	0,90	2,71	5536,48	1937,77	5536,48	26,49	51,38	88,89	113,78
2	0,80	0,77	0,03	0,90	3,73	4021,49	1407,52	4021,49	13,98	27,11	46,90	60,03
3	1,20	1,16	0,03	0,90	4,79	3130,65	1095,73	3130,65	8,47	16,43	28,42	36,38
4	1,60	1,54	0,03	0,90	5,87	2554,76	894,17	2554,76	5,64	10,94	18,93	24,23
5	2,00	1,93	0,03	0,90	6,96	2154,73	754,16	2154,73	4,01	7,78	13,46	17,23
6	2,40	2,32	0,03	0,90	8,06	1861,65	651,58	1861,65	3,00	5,81	10,05	12,86
7	2,80	2,70	0,03	0,90	9,16	1638,06	573,32	1638,06	2,32	4,50	7,78	9,96
8	3,20	3,09	0,03	0,90	10,26	1462,06	511,72	1462,06	1,85	3,58	6,20	7,93
9	3,60	3,47	0,03	0,90	11,36	1319,99	462,00	1319,99	1,51	2,92	5,05	6,47
10	4,00	3,86	0,03	0,90	12,47	1202,96	421,04	1202,96	1,25	2,43	4,20	5,37
15	6,00	5,79	0,03	0,90	18,01	832,95	291,53	832,95	0,60	1,16	2,01	2,58
20	8,00	7,72	0,03	0,90	23,56	636,76	222,87	636,76	0,35	0,68	1,18	1,51
25	10,00	9,65	0,03	0,90	29,11	515,30	180,36	515,30	0,23	0,45	0,77	0,99
30	12,00	11,58	0,03	0,90	34,66	432,73	151,46	432,73	0,16	0,31	0,54	0,70
35	14,00	13,51	0,03	0,90	40,22	372,96	130,54	372,96	0,12	0,23	0,40	0,52
40	16,00	15,44	0,03	0,90	45,78	327,69	114,69	327,69	0,09	0,18	0,31	0,40
45	18,00	17,37	0,03	0,90	51,33	292,21	102,27	292,21	0,07	0,14	0,25	0,32
50	20,00	19,30	0,03	0,90	56,89	263,67	92,28	263,67	0,06	0,12	0,20	0,26
55	22,00	21,23	0,03	0,90	62,45	240,20	84,07	240,20	0,05	0,10	0,17	0,21
60	24,00	23,16	0,03	0,90	68,00	220,57	77,20	220,57	0,04	0,08	0,14	0,18
65	26,00	25,09	0,03	0,90	73,56	203,91	71,37	203,91	0,04	0,07	0,12	0,15
70	28,00	27,02	0,03	0,90	79,12	189,58	66,35	189,58	0,03	0,06	0,10	0,13
75	30,00	28,95	0,03	0,90	84,68	177,14	62,00	177,14	0,03	0,05	0,09	0,12
80	32,00	30,88	0,03	0,90	90,24	166,23	58,18	166,23	0,02	0,05	0,08	0,10
85	34,00	32,81	0,03	0,90	95,80	156,58	54,80	156,58	0,02	0,04	0,07	0,09
90	36,00	34,74	0,03	0,90	101,35	148,00	51,80	148,00	0,02	0,04	0,06	0,08
95	38,00	36,67	0,03	0,90	106,91	140,30	49,11	140,30	0,02	0,03	0,06	0,07
100	40,00	38,60	0,03	0,90	112,47	133,37	46,68	133,37	0,02	0,03	0,05	0,07

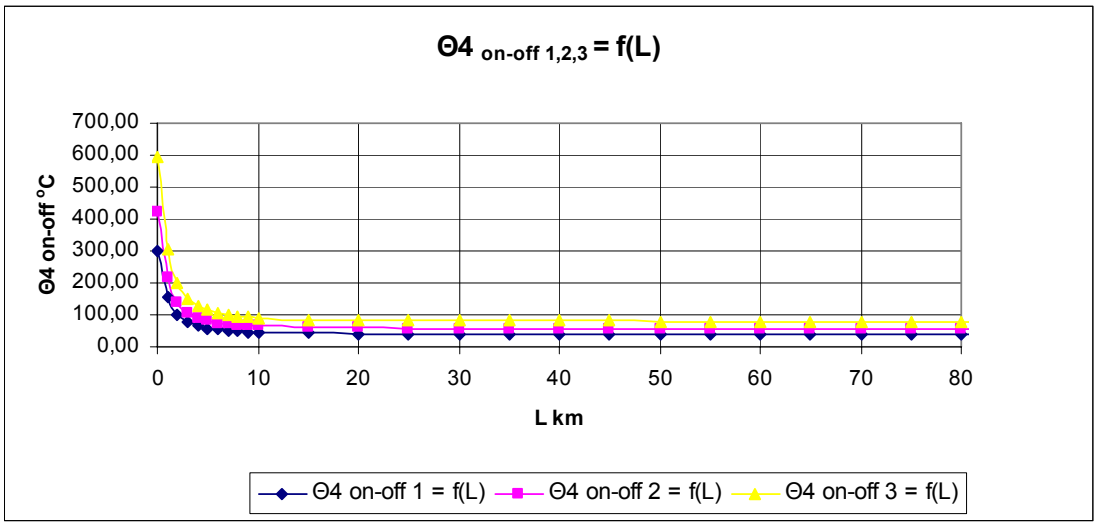
Πίνακας 4.1.3-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1 sec



Σχήμα 4.1.3-8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 15 kV, για t=1 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	297,78	421,12	595,56
1	153,78	217,48	307,56
2	100,03	141,47	200,06
3	76,38	108,02	152,76
4	64,23	90,83	128,46
5	57,23	80,94	114,47
6	52,86	74,76	105,73
7	49,96	70,65	99,92
8	47,93	67,79	95,87
9	46,47	65,72	92,94
10	45,37	64,17	90,74
15	42,58	60,21	85,15
20	41,51	58,70	83,01
25	40,99	57,96	81,97
30	40,70	57,55	81,39
35	40,52	57,30	81,03
40	40,40	57,13	80,80
45	40,32	57,02	80,63
50	40,26	56,93	80,52
55	40,21	56,87	80,43
60	40,18	56,82	80,36
65	40,15	56,79	80,31
70	40,13	56,76	80,27
75	40,12	56,73	80,23
80	40,10	56,71	80,21
85	40,09	56,70	80,18
90	40,08	56,68	80,16
95	40,07	56,67	80,15
100	40,07	56,66	80,13

Πίνακας 4.1.3-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 15 kV και P_N=50MVA)



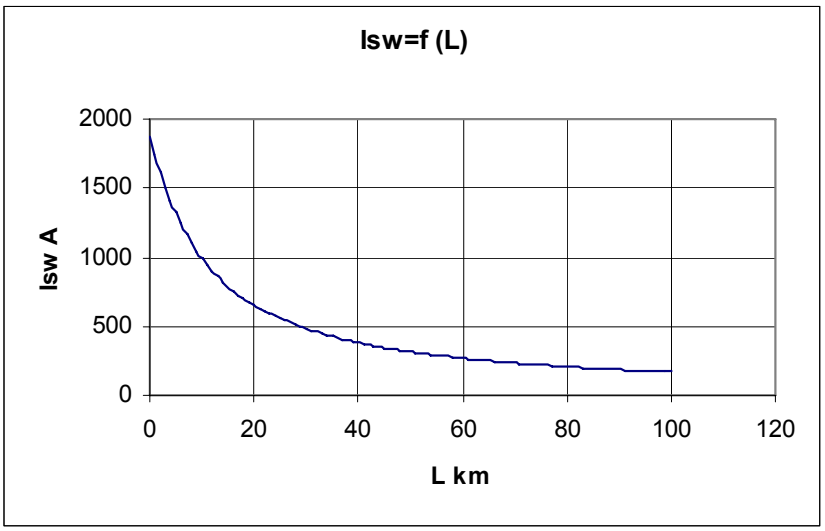
Σχήμα 4.1.3-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, για t=1 sec, (P_N=50MVA)

4.1.4 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA

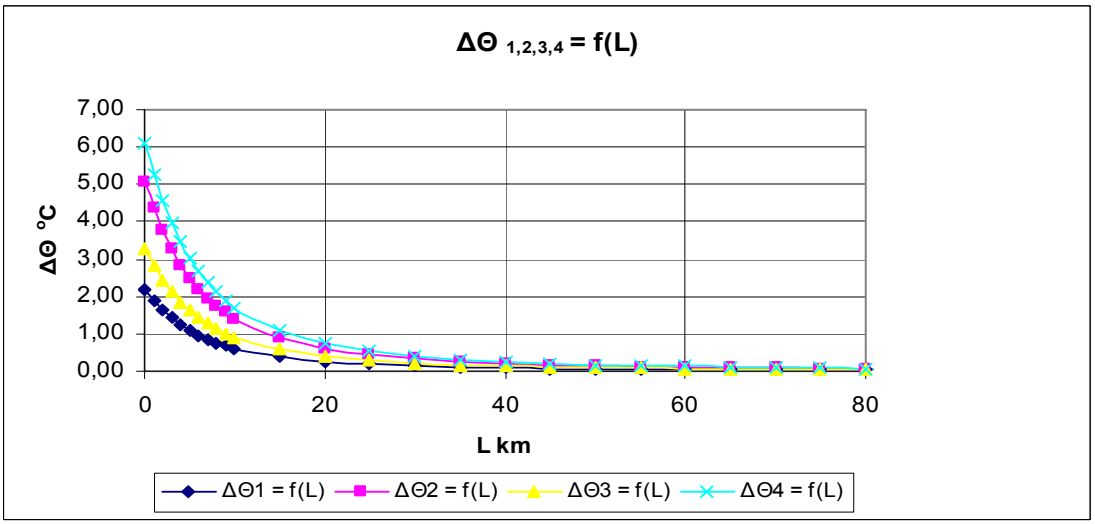
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,67	1875,00	656,25	1875,00	2,19	5,04	3,26	6,12
1	0,40	0,39	0,16	5,33	11,49	1740,86	609,30	1740,86	1,89	4,35	2,81	5,27
2	0,80	0,77	0,16	5,33	12,36	1618,65	566,53	1618,65	1,63	3,76	2,43	4,56
3	1,20	1,16	0,16	5,33	13,26	1508,31	527,91	1508,31	1,42	3,26	2,11	3,96
4	1,60	1,54	0,16	5,33	14,19	1409,12	493,19	1409,12	1,24	2,85	1,84	3,45
5	2,00	1,93	0,16	5,33	15,15	1320,06	462,02	1320,06	1,08	2,50	1,62	3,03
6	2,40	2,32	0,16	5,33	16,13	1240,07	434,02	1240,07	0,96	2,21	1,43	2,68
7	2,80	2,70	0,16	5,33	17,12	1168,10	408,83	1168,10	0,85	1,96	1,27	2,37
8	3,20	3,09	0,16	5,33	18,13	1103,19	386,11	1103,19	0,76	1,75	1,13	2,12
9	3,60	3,47	0,16	5,33	19,15	1044,48	365,57	1044,48	0,68	1,57	1,01	1,90
10	4,00	3,86	0,16	5,33	20,18	991,22	346,93	991,22	0,61	1,41	0,91	1,71
15	6,00	5,79	0,16	5,33	25,43	786,60	275,31	786,60	0,39	0,89	0,57	1,08
20	8,00	7,72	0,16	5,33	30,78	649,69	227,39	649,69	0,26	0,61	0,39	0,73
25	10,00	9,65	0,16	5,33	36,20	552,45	193,36	552,45	0,19	0,44	0,28	0,53
30	12,00	11,58	0,16	5,33	41,66	480,10	168,04	480,10	0,14	0,33	0,21	0,40
35	14,00	13,51	0,16	5,33	47,14	424,29	148,50	424,29	0,11	0,26	0,17	0,31
40	16,00	15,44	0,16	5,33	52,63	379,98	132,99	379,98	0,09	0,21	0,13	0,25
45	18,00	17,37	0,16	5,33	58,14	343,99	120,40	343,99	0,07	0,17	0,11	0,21
50	20,00	19,30	0,16	5,33	63,66	314,18	109,96	314,18	0,06	0,14	0,09	0,17
55	22,00	21,23	0,16	5,33	69,18	289,09	101,18	289,09	0,05	0,12	0,08	0,15
60	24,00	23,16	0,16	5,33	74,71	267,70	93,69	267,70	0,04	0,10	0,07	0,12
65	26,00	25,09	0,16	5,33	80,24	249,24	87,23	249,24	0,04	0,09	0,06	0,11
70	28,00	27,02	0,16	5,33	85,78	233,15	81,60	233,15	0,03	0,08	0,05	0,09
75	30,00	28,95	0,16	5,33	91,32	219,01	76,65	219,01	0,03	0,07	0,04	0,08
80	32,00	30,88	0,16	5,33	96,86	206,48	72,27	206,48	0,03	0,06	0,04	0,07
85	34,00	32,81	0,16	5,33	102,40	195,31	68,36	195,31	0,02	0,05	0,04	0,07
90	36,00	34,74	0,16	5,33	107,95	185,27	64,85	185,27	0,02	0,05	0,03	0,06
95	38,00	36,67	0,16	5,33	113,49	176,22	61,68	176,22	0,02	0,04	0,03	0,05
100	40,00	38,60	0,16	5,33	119,04	168,01	58,80	168,01	0,02	0,04	0,03	0,05

Πίνακας 4.1.4-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15sec



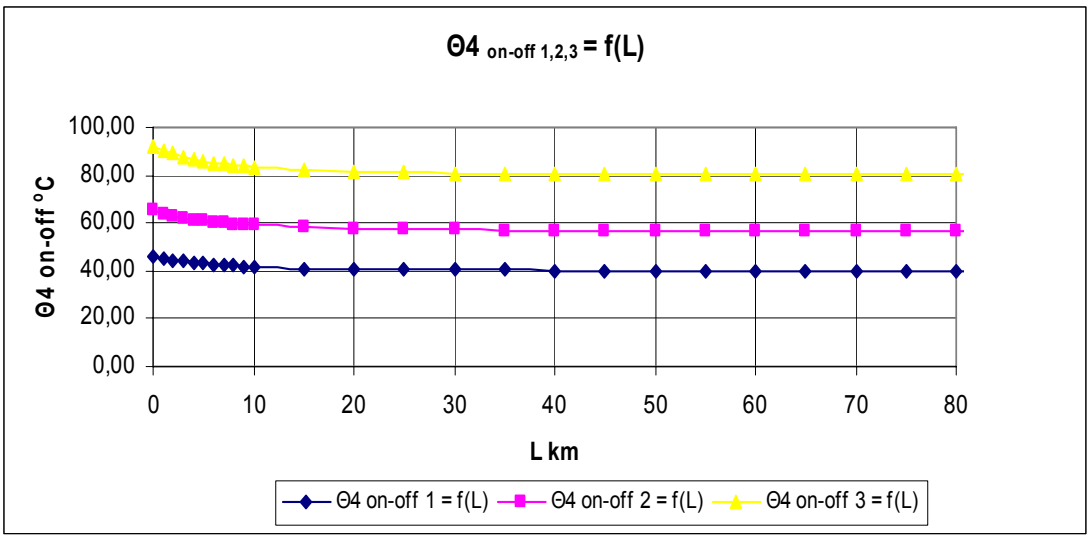
Σχήμα 4.1.4-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV (P_N=15MVA)



Σχήμα 4.1.4-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	46,12	65,22	92,23
1	45,27	64,03	90,55
2	44,56	63,02	89,12
3	43,96	62,17	87,92
4	43,45	61,45	86,91
5	43,03	60,86	86,06
6	42,68	60,35	85,35
7	42,37	59,93	84,75
8	42,12	59,56	84,24
9	41,90	59,25	83,80
10	41,71	58,99	83,42
15	41,08	58,09	82,15
20	40,73	57,61	81,47
25	40,53	57,32	81,06
30	40,40	57,14	80,80
35	40,31	57,01	80,63
40	40,25	56,92	80,50
45	40,21	56,86	80,41
50	40,17	56,81	80,34
55	40,15	56,77	80,29
60	40,12	56,74	80,25
65	40,11	56,72	80,22
70	40,09	56,70	80,19
75	40,08	56,69	80,17
80	40,07	56,67	80,15
85	40,07	56,66	80,13
90	40,06	56,65	80,12
95	40,05	56,64	80,11
100	40,05	56,64	80,10

Πίνακας 4.1.4-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=15MVA)

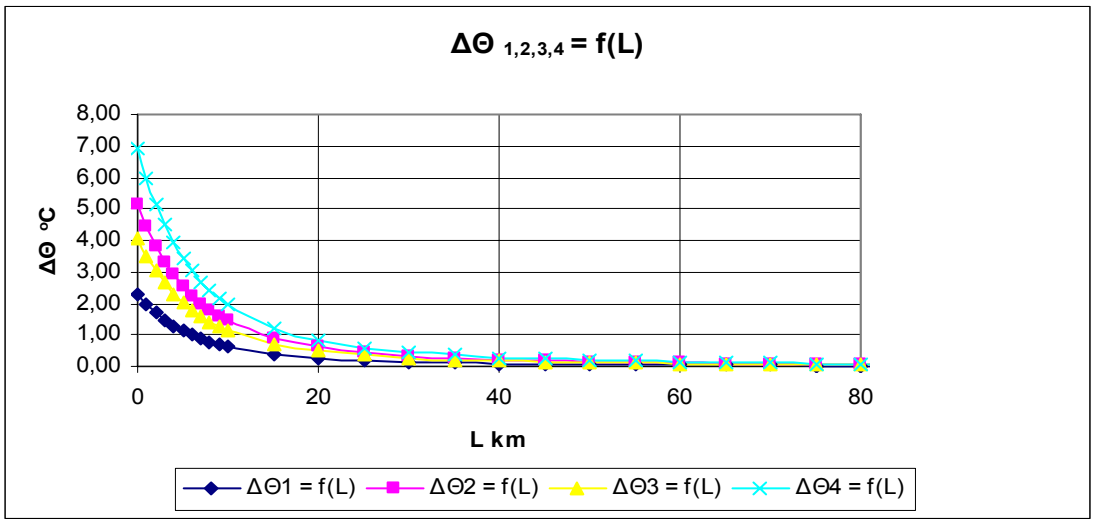


Σχήμα 4.1.4-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec, (P_N=15MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,67	1875,00	656,25	1875,00	2,29	5,14	4,08	6,93
1	0,40	0,39	0,16	5,33	11,49	1740,86	609,30	1740,86	1,97	4,43	3,52	5,98
2	0,80	0,77	0,16	5,33	12,36	1618,65	566,53	1618,65	1,71	3,83	3,04	5,17
3	1,20	1,16	0,16	5,33	13,26	1508,31	527,91	1508,31	1,48	3,33	2,64	4,49
4	1,60	1,54	0,16	5,33	14,19	1409,12	493,19	1409,12	1,29	2,91	2,30	3,92
5	2,00	1,93	0,16	5,33	15,15	1320,06	462,02	1320,06	1,13	2,55	2,02	3,44
6	2,40	2,32	0,16	5,33	16,13	1240,07	434,02	1240,07	1,00	2,25	1,78	3,03
7	2,80	2,70	0,16	5,33	17,12	1168,10	408,83	1168,10	0,89	2,00	1,58	2,69
8	3,20	3,09	0,16	5,33	18,13	1103,19	386,11	1103,19	0,79	1,78	1,41	2,40
9	3,60	3,47	0,16	5,33	19,15	1044,48	365,57	1044,48	0,71	1,60	1,27	2,15
10	4,00	3,86	0,16	5,33	20,18	991,22	346,93	991,22	0,64	1,44	1,14	1,94
15	6,00	5,79	0,16	5,33	25,43	786,60	275,31	786,60	0,40	0,91	0,72	1,22
20	8,00	7,72	0,16	5,33	30,78	649,69	227,39	649,69	0,27	0,62	0,49	0,83
25	10,00	9,65	0,16	5,33	36,20	552,45	193,36	552,45	0,20	0,45	0,35	0,60
30	12,00	11,58	0,16	5,33	41,66	480,10	168,04	480,10	0,15	0,34	0,27	0,45
35	14,00	13,51	0,16	5,33	47,14	424,29	148,50	424,29	0,12	0,26	0,21	0,36
40	16,00	15,44	0,16	5,33	52,63	379,98	132,99	379,98	0,09	0,21	0,17	0,28
45	18,00	17,37	0,16	5,33	58,14	343,99	120,40	343,99	0,08	0,17	0,14	0,23
50	20,00	19,30	0,16	5,33	63,66	314,18	109,96	314,18	0,06	0,14	0,11	0,19
55	22,00	21,23	0,16	5,33	69,18	289,09	101,18	289,09	0,05	0,12	0,10	0,16
60	24,00	23,16	0,16	5,33	74,71	267,70	93,69	267,70	0,05	0,10	0,08	0,14
65	26,00	25,09	0,16	5,33	80,24	249,24	87,23	249,24	0,04	0,09	0,07	0,12
70	28,00	27,02	0,16	5,33	85,78	233,15	81,60	233,15	0,04	0,08	0,06	0,11
75	30,00	28,95	0,16	5,33	91,32	219,01	76,65	219,01	0,03	0,07	0,06	0,09
80	32,00	30,88	0,16	5,33	96,86	206,48	72,27	206,48	0,03	0,06	0,05	0,08
85	34,00	32,81	0,16	5,33	102,40	195,31	68,36	195,31	0,02	0,06	0,04	0,08
90	36,00	34,74	0,16	5,33	107,95	185,27	64,85	185,27	0,02	0,05	0,04	0,07
95	38,00	36,67	0,16	5,33	113,49	176,22	61,68	176,22	0,02	0,05	0,04	0,06
100	40,00	38,60	0,16	5,33	119,04	168,01	58,80	168,01	0,02	0,04	0,03	0,06

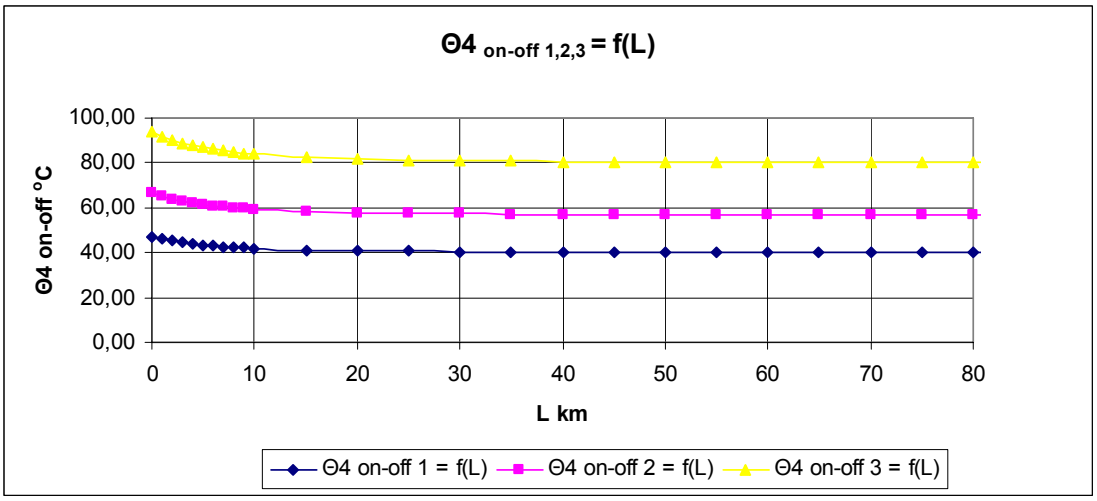
Πίνακας 4.1.4-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25sec



Σχήμα 4.1.4-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	46,93	66,37	93,87
1	45,98	65,02	91,95
2	45,17	63,88	90,33
3	44,49	62,91	88,97
4	43,92	62,11	87,83
5	43,44	61,43	86,87
6	43,03	60,86	86,06
7	42,69	60,37	85,38
8	42,40	59,96	84,80
9	42,15	59,61	84,30
10	41,94	59,31	83,88
15	41,22	58,29	82,44
20	40,83	57,75	81,66
25	40,60	57,42	81,20
30	40,45	57,21	80,91
35	40,36	57,07	80,71
40	40,28	56,97	80,57
45	40,23	56,90	80,47
50	40,19	56,84	80,39
55	40,16	56,80	80,33
60	40,14	56,77	80,28
65	40,12	56,74	80,25
70	40,11	56,72	80,21
75	40,09	56,70	80,19
80	40,08	56,69	80,17
85	40,08	56,67	80,15
90	40,07	56,66	80,14
95	40,06	56,66	80,12
100	40,06	56,65	80,11

Πίνακας 4.1.4-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=15MVA)

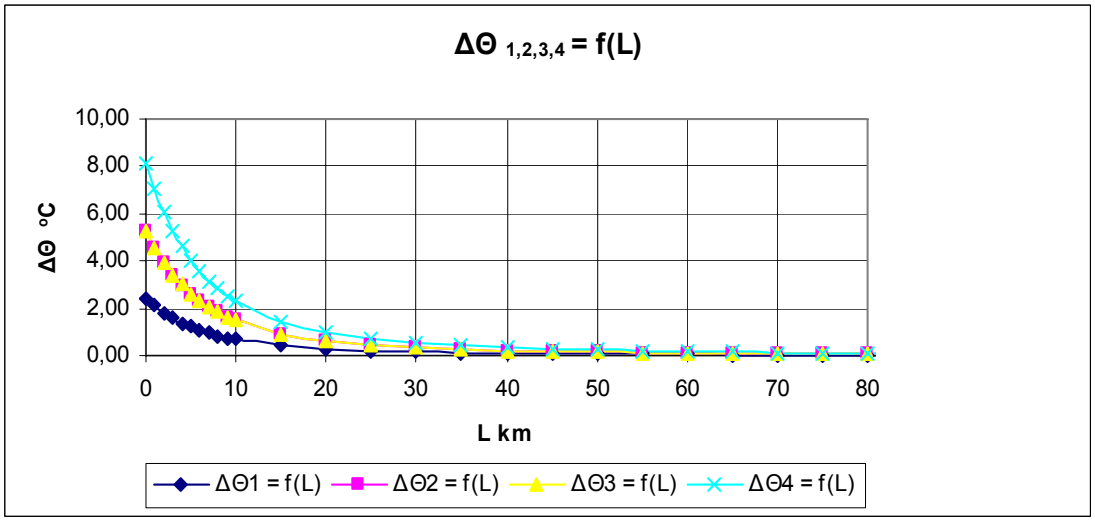


Σχήμα 4.1.4-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec, (P_N=15MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,67	1875,00	656,25	1875,00	2,44	5,29	5,30	8,16
1	0,40	0,39	0,16	5,33	11,49	1740,86	609,30	1740,86	2,10	4,56	4,57	7,03
2	0,80	0,77	0,16	5,33	12,36	1618,65	566,53	1618,65	1,82	3,94	3,95	6,08
3	1,20	1,16	0,16	5,33	13,26	1508,31	527,91	1508,31	1,58	3,43	3,43	5,28
4	1,60	1,54	0,16	5,33	14,19	1409,12	493,19	1409,12	1,38	2,99	2,99	4,61
5	2,00	1,93	0,16	5,33	15,15	1320,06	462,02	1320,06	1,21	2,62	2,63	4,04
6	2,40	2,32	0,16	5,33	16,13	1240,07	434,02	1240,07	1,07	2,32	2,32	3,57
7	2,80	2,70	0,16	5,33	17,12	1168,10	408,83	1168,10	0,95	2,05	2,06	3,17
8	3,20	3,09	0,16	5,33	18,13	1103,19	386,11	1103,19	0,84	1,83	1,84	2,82
9	3,60	3,47	0,16	5,33	19,15	1044,48	365,57	1044,48	0,76	1,64	1,65	2,53
10	4,00	3,86	0,16	5,33	20,18	991,22	346,93	991,22	0,68	1,48	1,48	2,28
15	6,00	5,79	0,16	5,33	25,43	786,60	275,31	786,60	0,43	0,93	0,93	1,44
20	8,00	7,72	0,16	5,33	30,78	649,69	227,39	649,69	0,29	0,64	0,64	0,98
25	10,00	9,65	0,16	5,33	36,20	552,45	193,36	552,45	0,21	0,46	0,46	0,71
30	12,00	11,58	0,16	5,33	41,66	480,10	168,04	480,10	0,16	0,35	0,35	0,53
35	14,00	13,51	0,16	5,33	47,14	424,29	148,50	424,29	0,12	0,27	0,27	0,42
40	16,00	15,44	0,16	5,33	52,63	379,98	132,99	379,98	0,10	0,22	0,22	0,33
45	18,00	17,37	0,16	5,33	58,14	343,99	120,40	343,99	0,08	0,18	0,18	0,27
50	20,00	19,30	0,16	5,33	63,66	314,18	109,96	314,18	0,07	0,15	0,15	0,23
55	22,00	21,23	0,16	5,33	69,18	289,09	101,18	289,09	0,06	0,13	0,13	0,19
60	24,00	23,16	0,16	5,33	74,71	267,70	93,69	267,70	0,05	0,11	0,11	0,17
65	26,00	25,09	0,16	5,33	80,24	249,24	87,23	249,24	0,04	0,09	0,09	0,14
70	28,00	27,02	0,16	5,33	85,78	233,15	81,60	233,15	0,04	0,08	0,08	0,13
75	30,00	28,95	0,16	5,33	91,32	219,01	76,65	219,01	0,03	0,07	0,07	0,11
80	32,00	30,88	0,16	5,33	96,86	206,48	72,27	206,48	0,03	0,06	0,06	0,10
85	34,00	32,81	0,16	5,33	102,40	195,31	68,36	195,31	0,03	0,06	0,06	0,09
90	36,00	34,74	0,16	5,33	107,95	185,27	64,85	185,27	0,02	0,05	0,05	0,08
95	38,00	36,67	0,16	5,33	113,49	176,22	61,68	176,22	0,02	0,05	0,05	0,07
100	40,00	38,60	0,16	5,33	119,04	168,01	58,80	168,01	0,02	0,04	0,04	0,07

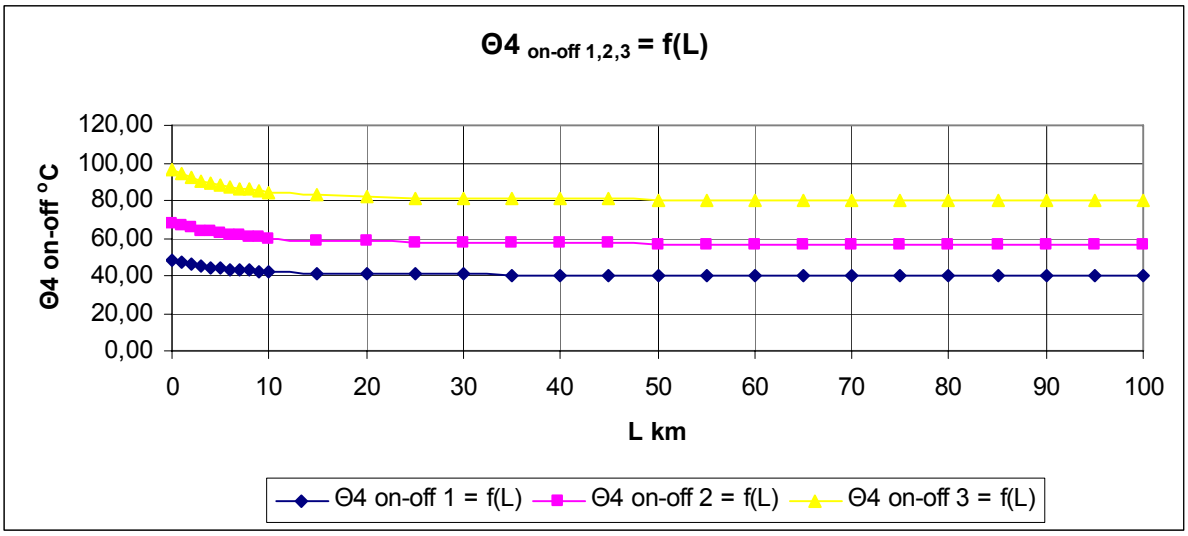
Πίνακας 4.1.4-5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4sec



Σχήμα 4.1.4-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	48,16	68,10	96,31
1	47,03	66,51	94,06
2	46,08	65,16	92,16
3	45,28	64,03	90,56
4	44,61	63,08	89,21
5	44,04	62,29	88,09
6	43,57	61,61	87,14
7	43,17	61,05	86,33
8	42,82	60,56	85,65
9	42,53	60,15	85,06
10	42,28	59,79	84,56
15	41,44	58,60	82,87
20	40,98	57,95	81,96
25	40,71	57,57	81,42
30	40,53	57,32	81,07
35	40,42	57,16	80,84
40	40,33	57,04	80,67
45	40,27	56,96	80,55
50	40,23	56,89	80,46
55	40,19	56,84	80,39
60	40,17	56,80	80,33
65	40,14	56,77	80,29
70	40,13	56,75	80,25
75	40,11	56,73	80,22
80	40,10	56,71	80,20
85	40,09	56,69	80,18
90	40,08	56,68	80,16
95	40,07	56,67	80,14
100	40,07	56,66	80,13

Πίνακας 4.1.4-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=15MVA)

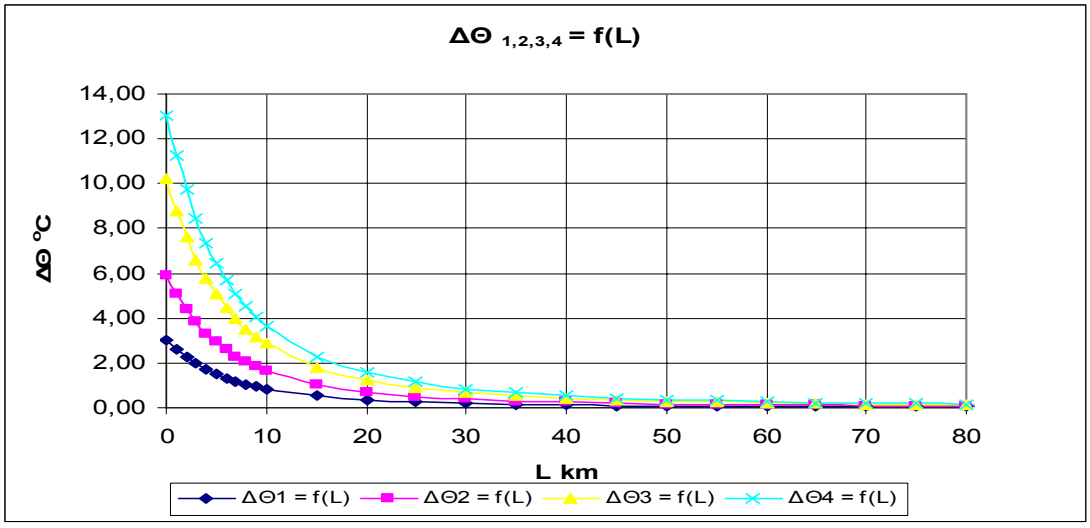


Σχήμα 4.1.4-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec, (P_N=15MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,67	1875,00	656,25	1875,00	3,04	5,89	10,20	13,05
1	0,40	0,39	0,16	5,33	11,49	1740,86	609,30	1740,86	2,62	5,08	8,79	11,25
2	0,80	0,77	0,16	5,33	12,36	1618,65	566,53	1618,65	2,26	4,39	7,60	9,73
3	1,20	1,16	0,16	5,33	13,26	1508,31	527,91	1508,31	1,97	3,81	6,60	8,44
4	1,60	1,54	0,16	5,33	14,19	1409,12	493,19	1409,12	1,72	3,33	5,76	7,37
5	2,00	1,93	0,16	5,33	15,15	1320,06	462,02	1320,06	1,51	2,92	5,05	6,47
6	2,40	2,32	0,16	5,33	16,13	1240,07	434,02	1240,07	1,33	2,58	4,46	5,71
7	2,80	2,70	0,16	5,33	17,12	1168,10	408,83	1168,10	1,18	2,29	3,96	5,06
8	3,20	3,09	0,16	5,33	18,13	1103,19	386,11	1103,19	1,05	2,04	3,53	4,52
9	3,60	3,47	0,16	5,33	19,15	1044,48	365,57	1044,48	0,94	1,83	3,16	4,05
10	4,00	3,86	0,16	5,33	20,18	991,22	346,93	991,22	0,85	1,65	2,85	3,65
15	6,00	5,79	0,16	5,33	25,43	786,60	275,31	786,60	0,53	1,04	1,79	2,30
20	8,00	7,72	0,16	5,33	30,78	649,69	227,39	649,69	0,36	0,71	1,22	1,57
25	10,00	9,65	0,16	5,33	36,20	552,45	193,36	552,45	0,26	0,51	0,89	1,13
30	12,00	11,58	0,16	5,33	41,66	480,10	168,04	480,10	0,20	0,39	0,67	0,86
35	14,00	13,51	0,16	5,33	47,14	424,29	148,50	424,29	0,16	0,30	0,52	0,67
40	16,00	15,44	0,16	5,33	52,63	379,98	132,99	379,98	0,12	0,24	0,42	0,54
45	18,00	17,37	0,16	5,33	58,14	343,99	120,40	343,99	0,10	0,20	0,34	0,44
50	20,00	19,30	0,16	5,33	63,66	314,18	109,96	314,18	0,09	0,17	0,29	0,37
55	22,00	21,23	0,16	5,33	69,18	289,09	101,18	289,09	0,07	0,14	0,24	0,31
60	24,00	23,16	0,16	5,33	74,71	267,70	93,69	267,70	0,06	0,12	0,21	0,27
65	26,00	25,09	0,16	5,33	80,24	249,24	87,23	249,24	0,05	0,10	0,18	0,23
70	28,00	27,02	0,16	5,33	85,78	233,15	81,60	233,15	0,05	0,09	0,16	0,20
75	30,00	28,95	0,16	5,33	91,32	219,01	76,65	219,01	0,04	0,08	0,14	0,18
80	32,00	30,88	0,16	5,33	96,86	206,48	72,27	206,48	0,04	0,07	0,12	0,16
85	34,00	32,81	0,16	5,33	102,40	195,31	68,36	195,31	0,03	0,06	0,11	0,14
90	36,00	34,74	0,16	5,33	107,95	185,27	64,85	185,27	0,03	0,06	0,10	0,13
95	38,00	36,67	0,16	5,33	113,49	176,22	61,68	176,22	0,03	0,05	0,09	0,12
100	40,00	38,60	0,16	5,33	119,04	168,01	58,80	168,01	0,02	0,05	0,08	0,10

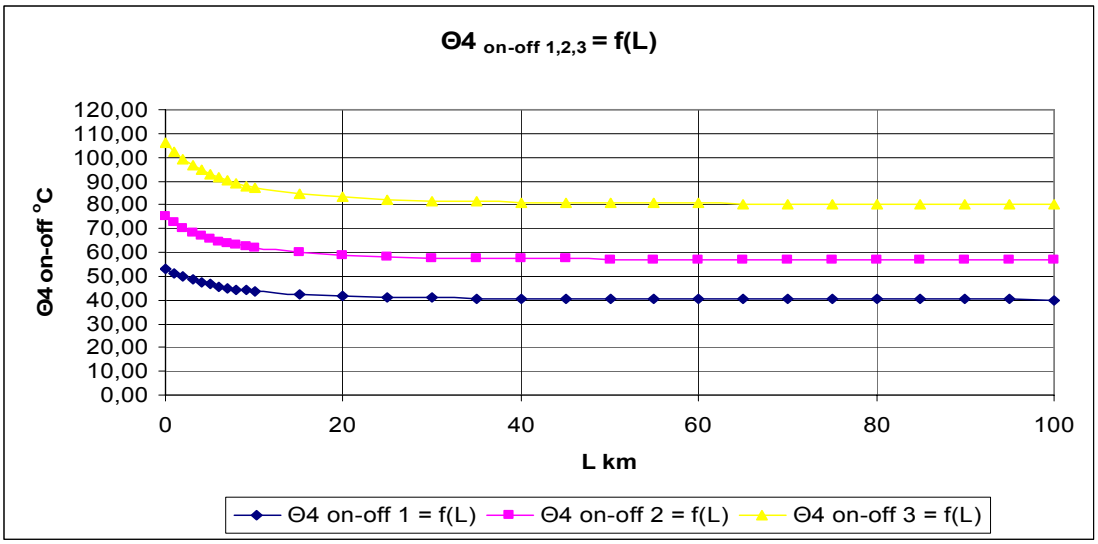
Πίνακας 4.1.4-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1 sec



Σχήμα 4.1.4-8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή150 kV / 20 kV, για t=1 sec (P_N=15MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	53,05	75,02	106,10
1	51,25	72,48	102,50
2	49,73	70,32	99,45
3	48,44	68,51	96,89
4	47,37	66,99	94,74
5	46,47	65,72	92,94
6	45,71	64,64	91,42
7	45,06	63,73	90,13
8	44,52	62,96	89,04
9	44,05	62,30	88,10
10	43,65	61,73	87,29
15	42,30	59,82	84,59
20	41,57	58,78	83,13
25	41,13	58,17	82,27
30	40,86	57,78	81,71
35	40,67	57,51	81,34
40	40,54	57,33	81,07
45	40,44	57,19	80,88
50	40,37	57,09	80,73
55	40,31	57,01	80,62
60	40,27	56,94	80,53
65	40,23	56,89	80,46
70	40,20	56,85	80,40
75	40,18	56,82	80,36
80	40,16	56,79	80,32
85	40,14	56,77	80,28
90	40,13	56,75	80,25
95	40,12	56,73	80,23
100	40,10	56,72	80,21

Πίνακας 4.1.4-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=15MVA)



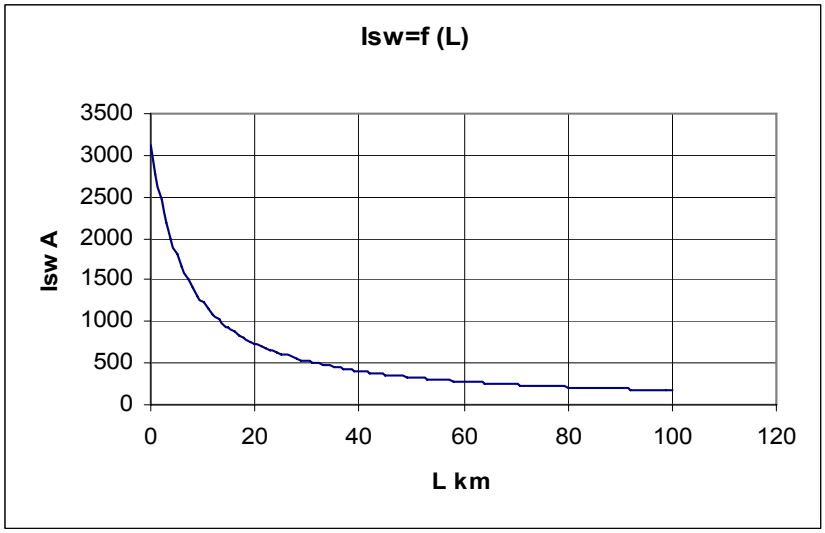
Σχήμα 4.1.4-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=1 sec, (P_N=15MVA)

4.1.5 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA

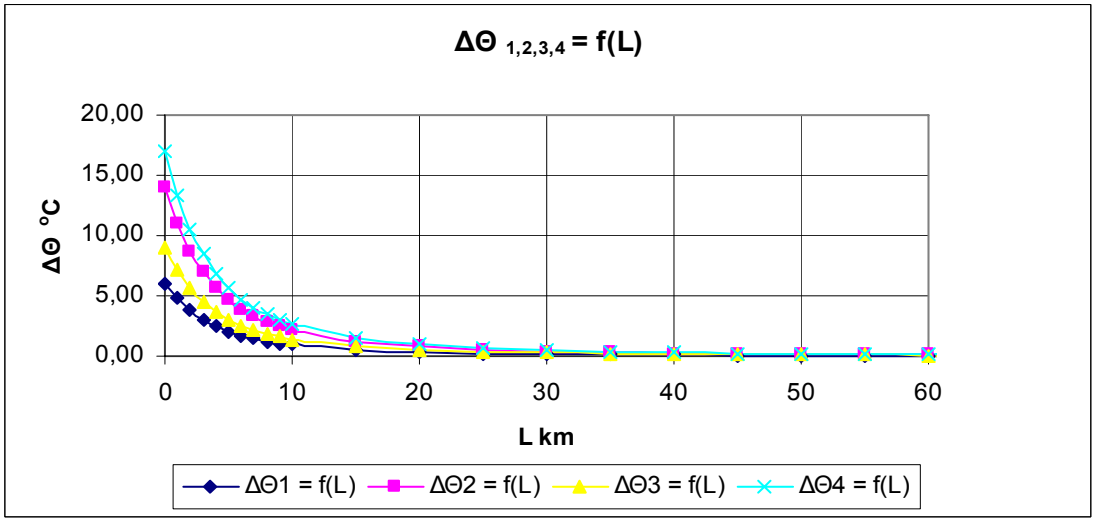
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,10	3,20	6,40	3125,00	1093,75	3125,00	6,08	14,01	9,06	16,99
1	0,40	0,39	0,10	3,20	7,24	2763,41	967,19	2763,41	4,75	10,96	7,09	13,29
2	0,80	0,77	0,10	3,20	8,14	2456,76	859,87	2456,76	3,76	8,66	5,60	10,50
3	1,20	1,16	0,10	3,20	9,09	2200,10	770,04	2200,10	3,01	6,94	4,49	8,42
4	1,60	1,54	0,10	3,20	10,07	1985,43	694,90	1985,43	2,45	5,66	3,66	6,86
5	2,00	1,93	0,10	3,20	11,08	1804,94	631,73	1804,94	2,03	4,67	3,02	5,67
6	2,40	2,32	0,10	3,20	12,11	1652,04	578,21	1652,04	1,70	3,92	2,53	4,75
7	2,80	2,70	0,10	3,20	13,15	1521,39	532,49	1521,39	1,44	3,32	2,15	4,03
8	3,20	3,09	0,10	3,20	14,20	1408,81	493,08	1408,81	1,24	2,85	1,84	3,45
9	3,60	3,47	0,10	3,20	15,26	1310,99	458,85	1310,99	1,07	2,47	1,59	2,99
10	4,00	3,86	0,10	3,20	16,32	1225,35	428,87	1225,35	0,93	2,15	1,39	2,61
15	6,00	5,79	0,10	3,20	21,72	920,75	322,26	920,75	0,53	1,22	0,79	1,48
20	8,00	7,72	0,10	3,20	27,19	735,69	257,49	735,69	0,34	0,78	0,50	0,94
25	10,00	9,65	0,10	3,20	32,68	611,97	214,19	611,97	0,23	0,54	0,35	0,65
30	12,00	11,58	0,10	3,20	38,20	523,63	183,27	523,63	0,17	0,39	0,25	0,48
35	14,00	13,51	0,10	3,20	43,72	457,45	160,11	457,45	0,13	0,30	0,19	0,36
40	16,00	15,44	0,10	3,20	49,25	406,06	142,12	406,06	0,10	0,24	0,15	0,29
45	18,00	17,37	0,10	3,20	54,79	365,02	127,76	365,02	0,08	0,19	0,12	0,23
50	20,00	19,30	0,10	3,20	60,33	331,49	116,02	331,49	0,07	0,16	0,10	0,19
55	22,00	21,23	0,10	3,20	65,88	303,59	106,26	303,59	0,06	0,13	0,09	0,16
60	24,00	23,16	0,10	3,20	71,43	280,01	98,00	280,01	0,05	0,11	0,07	0,14
65	26,00	25,09	0,10	3,20	76,97	259,83	90,94	259,83	0,04	0,10	0,06	0,12
70	28,00	27,02	0,10	3,20	82,52	242,35	84,82	242,35	0,04	0,08	0,05	0,10
75	30,00	28,95	0,10	3,20	88,07	227,08	79,48	227,08	0,03	0,07	0,05	0,09
80	32,00	30,88	0,10	3,20	93,63	213,61	74,76	213,61	0,03	0,07	0,04	0,08
85	34,00	32,81	0,10	3,20	99,18	201,65	70,58	201,65	0,03	0,06	0,04	0,07
90	36,00	34,74	0,10	3,20	104,73	190,96	66,84	190,96	0,02	0,05	0,03	0,06
95	38,00	36,67	0,10	3,20	110,29	181,34	63,47	181,34	0,02	0,05	0,03	0,06
100	40,00	38,60	0,10	3,20	115,84	172,65	60,43	172,65	0,02	0,04	0,03	0,05

Πίνακας 4.1.5-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15 sec



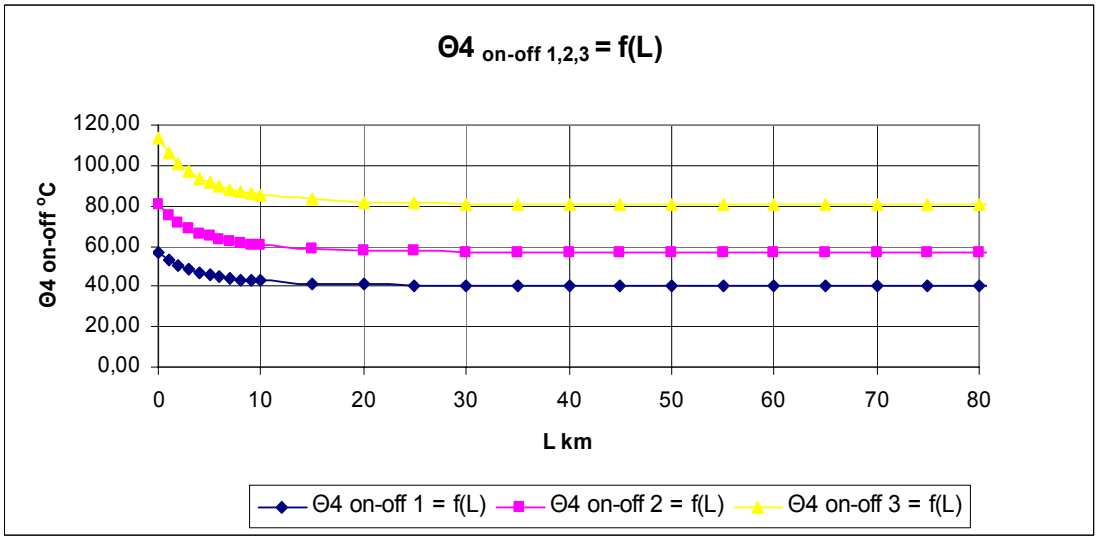
Σχήμα 4.1.5-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV (P_N=25MVA)



Σχήμα 4.1.5-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	56,99	80,60	113,98
1	53,29	75,36	106,57
2	50,50	71,42	101,00
3	48,42	68,48	96,84
4	46,86	66,27	93,72
5	45,67	64,59	91,34
6	44,75	63,28	89,50
7	44,03	62,26	88,05
8	43,45	61,45	86,91
9	42,99	60,80	85,98
10	42,61	60,26	85,23
15	41,48	58,65	82,95
20	40,94	57,90	81,88
25	40,65	57,49	81,30
30	40,48	57,24	80,95
35	40,36	57,08	80,73
40	40,29	56,97	80,57
45	40,23	56,90	80,46
50	40,19	56,84	80,38
55	40,16	56,80	80,32
60	40,14	56,76	80,27
65	40,12	56,73	80,23
70	40,10	56,71	80,20
75	40,09	56,70	80,18
80	40,08	56,68	80,16
85	40,07	56,67	80,14
90	40,06	56,66	80,13
95	40,06	56,65	80,11
100	40,05	56,64	80,10

Πίνακας 4.1.5-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=25MVA)

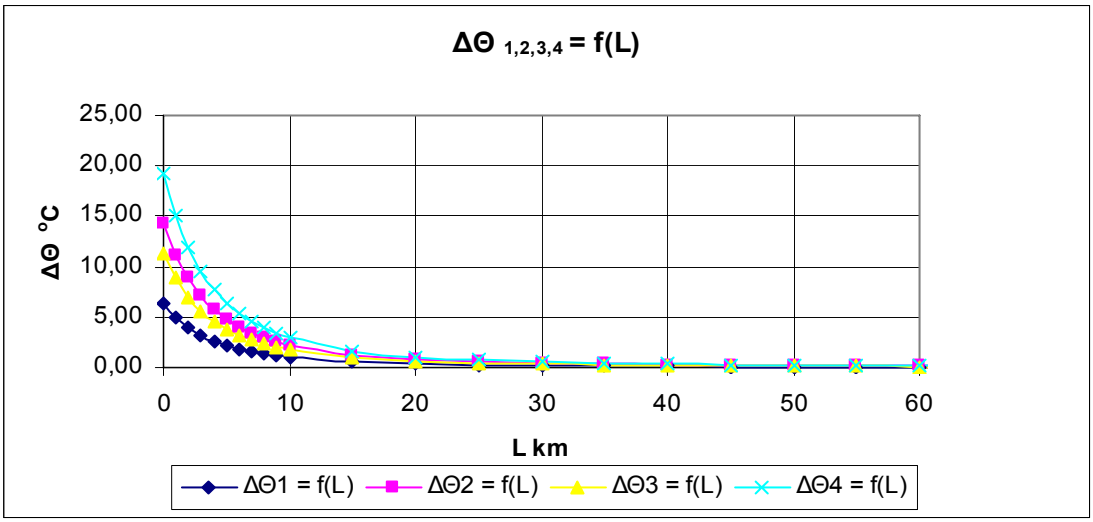


Σχήμα 4.1.5-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,10	3,20	6,40	3125,00	1093,75	3125,00	6,36	14,29	11,33	19,26
1	0,40	0,39	0,10	3,20	7,24	2763,41	967,19	2763,41	4,97	11,17	8,86	15,06
2	0,80	0,77	0,10	3,20	8,14	2456,76	859,87	2456,76	3,93	8,83	7,00	11,90
3	1,20	1,16	0,10	3,20	9,09	2200,10	770,04	2200,10	3,15	7,08	5,61	9,55
4	1,60	1,54	0,10	3,20	10,07	1985,43	694,90	1985,43	2,57	5,77	4,57	7,77
5	2,00	1,93	0,10	3,20	11,08	1804,94	631,73	1804,94	2,12	4,77	3,78	6,42
6	2,40	2,32	0,10	3,20	12,11	1652,04	578,21	1652,04	1,78	3,99	3,17	5,38
7	2,80	2,70	0,10	3,20	13,15	1521,39	532,49	1521,39	1,51	3,39	2,68	4,56
8	3,20	3,09	0,10	3,20	14,20	1408,81	493,08	1408,81	1,29	2,90	2,30	3,91
9	3,60	3,47	0,10	3,20	15,26	1310,99	458,85	1310,99	1,12	2,51	1,99	3,39
10	4,00	3,86	0,10	3,20	16,32	1225,35	428,87	1225,35	0,98	2,20	1,74	2,96
15	6,00	5,79	0,10	3,20	21,72	920,75	322,26	920,75	0,55	1,24	0,98	1,67
20	8,00	7,72	0,10	3,20	27,19	735,69	257,49	735,69	0,35	0,79	0,63	1,07
25	10,00	9,65	0,10	3,20	32,68	611,97	214,19	611,97	0,24	0,55	0,43	0,74
30	12,00	11,58	0,10	3,20	38,20	523,63	183,27	523,63	0,18	0,40	0,32	0,54
35	14,00	13,51	0,10	3,20	43,72	457,45	160,11	457,45	0,14	0,31	0,24	0,41
40	16,00	15,44	0,10	3,20	49,25	406,06	142,12	406,06	0,11	0,24	0,19	0,33
45	18,00	17,37	0,10	3,20	54,79	365,02	127,76	365,02	0,09	0,19	0,15	0,26
50	20,00	19,30	0,10	3,20	60,33	331,49	116,02	331,49	0,07	0,16	0,13	0,22
55	22,00	21,23	0,10	3,20	65,88	303,59	106,26	303,59	0,06	0,13	0,11	0,18
60	24,00	23,16	0,10	3,20	71,43	280,01	98,00	280,01	0,05	0,11	0,09	0,15
65	26,00	25,09	0,10	3,20	76,97	259,83	90,94	259,83	0,04	0,10	0,08	0,13
70	28,00	27,02	0,10	3,20	82,52	242,35	84,82	242,35	0,04	0,09	0,07	0,12
75	30,00	28,95	0,10	3,20	88,07	227,08	79,48	227,08	0,03	0,08	0,06	0,10
80	32,00	30,88	0,10	3,20	93,63	213,61	74,76	213,61	0,03	0,07	0,05	0,09
85	34,00	32,81	0,10	3,20	99,18	201,65	70,58	201,65	0,03	0,06	0,05	0,08
90	36,00	34,74	0,10	3,20	104,73	190,96	66,84	190,96	0,02	0,05	0,04	0,07
95	38,00	36,67	0,10	3,20	110,29	181,34	63,47	181,34	0,02	0,05	0,04	0,06
100	40,00	38,60	0,10	3,20	115,84	172,65	60,43	172,65	0,02	0,04	0,03	0,06

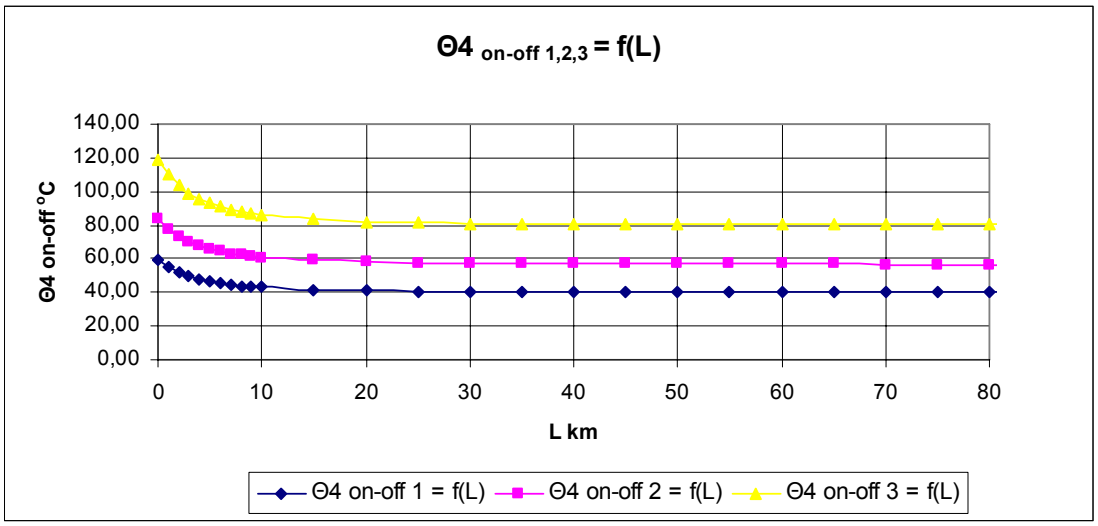
Πίνακας 4.1.5-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25 sec



Σχήμα 4.1.5-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	59,26	83,80	118,52
1	55,06	77,87	110,12
2	51,90	73,40	103,80
3	49,55	70,07	99,09
4	47,77	67,56	95,55
5	46,42	65,65	92,85
6	45,38	64,18	90,76
7	44,56	63,02	89,13
8	43,91	62,10	87,83
9	43,39	61,36	86,78
10	42,96	60,76	85,92
15	41,67	58,93	83,34
20	41,07	58,08	82,13
25	40,74	57,61	81,48
30	40,54	57,33	81,08
35	40,41	57,15	80,83
40	40,33	57,03	80,65
45	40,26	56,94	80,53
50	40,22	56,87	80,43
55	40,18	56,83	80,36
60	40,15	56,79	80,31
65	40,13	56,76	80,27
70	40,12	56,73	80,23
75	40,10	56,71	80,20
80	40,09	56,70	80,18
85	40,08	56,68	80,16
90	40,07	56,67	80,14
95	40,06	56,66	80,13
100	40,06	56,65	80,12

Πίνακας 4.1.5-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=25MVA)

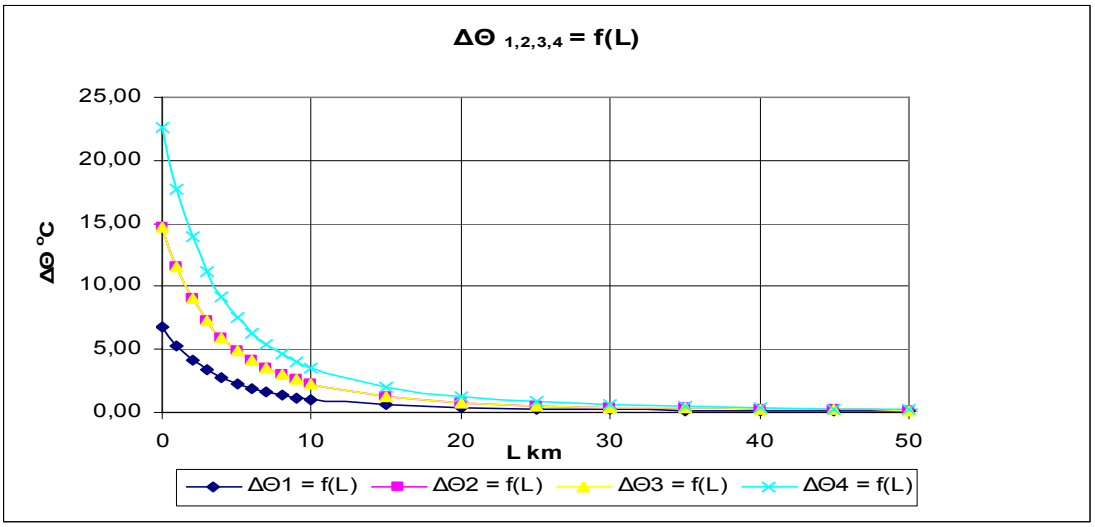


Σχήμα 4.1.5-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,10	3,20	6,40	3125,00	1093,75	3125,00	6,77	14,70	14,73	22,66
1	0,40	0,39	0,10	3,20	7,24	2763,41	967,19	2763,41	5,30	11,50	11,52	17,72
2	0,80	0,77	0,10	3,20	8,14	2456,76	859,87	2456,76	4,19	9,09	9,10	14,00
3	1,20	1,16	0,10	3,20	9,09	2200,10	770,04	2200,10	3,36	7,29	7,30	11,23
4	1,60	1,54	0,10	3,20	10,07	1985,43	694,90	1985,43	2,73	5,94	5,94	9,15
5	2,00	1,93	0,10	3,20	11,08	1804,94	631,73	1804,94	2,26	4,91	4,91	7,56
6	2,40	2,32	0,10	3,20	12,11	1652,04	578,21	1652,04	1,89	4,11	4,12	6,33
7	2,80	2,70	0,10	3,20	13,15	1521,39	532,49	1521,39	1,61	3,49	3,49	5,37
8	3,20	3,09	0,10	3,20	14,20	1408,81	493,08	1408,81	1,38	2,99	2,99	4,60
9	3,60	3,47	0,10	3,20	15,26	1310,99	458,85	1310,99	1,19	2,59	2,59	3,99
10	4,00	3,86	0,10	3,20	16,32	1225,35	428,87	1225,35	1,04	2,26	2,26	3,48
15	6,00	5,79	0,10	3,20	21,72	920,75	322,26	920,75	0,59	1,28	1,28	1,97
20	8,00	7,72	0,10	3,20	27,19	735,69	257,49	735,69	0,38	0,81	0,82	1,26
25	10,00	9,65	0,10	3,20	32,68	611,97	214,19	611,97	0,26	0,56	0,56	0,87
30	12,00	11,58	0,10	3,20	38,20	523,63	183,27	523,63	0,19	0,41	0,41	0,64
35	14,00	13,51	0,10	3,20	43,72	457,45	160,11	457,45	0,15	0,32	0,32	0,49
40	16,00	15,44	0,10	3,20	49,25	406,06	142,12	406,06	0,11	0,25	0,25	0,38
45	18,00	17,37	0,10	3,20	54,79	365,02	127,76	365,02	0,09	0,20	0,20	0,31
50	20,00	19,30	0,10	3,20	60,33	331,49	116,02	331,49	0,08	0,17	0,17	0,25
55	22,00	21,23	0,10	3,20	65,88	303,59	106,26	303,59	0,06	0,14	0,14	0,21
60	24,00	23,16	0,10	3,20	71,43	280,01	98,00	280,01	0,05	0,12	0,12	0,18
65	26,00	25,09	0,10	3,20	76,97	259,83	90,94	259,83	0,05	0,10	0,10	0,16
70	28,00	27,02	0,10	3,20	82,52	242,35	84,82	242,35	0,04	0,09	0,09	0,14
75	30,00	28,95	0,10	3,20	88,07	227,08	79,48	227,08	0,04	0,08	0,08	0,12
80	32,00	30,88	0,10	3,20	93,63	213,61	74,76	213,61	0,03	0,07	0,07	0,11
85	34,00	32,81	0,10	3,20	99,18	201,65	70,58	201,65	0,03	0,06	0,06	0,09
90	36,00	34,74	0,10	3,20	104,73	190,96	66,84	190,96	0,03	0,05	0,05	0,08
95	38,00	36,67	0,10	3,20	110,29	181,34	63,47	181,34	0,02	0,05	0,05	0,08
100	40,00	38,60	0,10	3,20	115,84	172,65	60,43	172,65	0,02	0,04	0,04	0,07

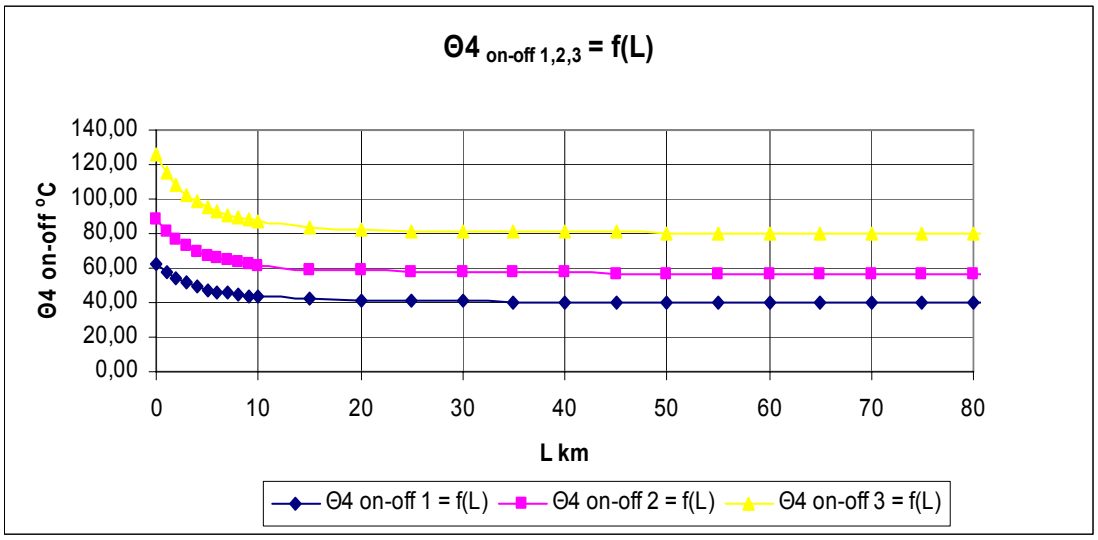
Πίνακας 4.1.5-5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4 sec



Σχήμα 4.1.5-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	62,66	88,61	125,31
1	57,72	81,62	115,43
2	54,00	76,37	108,01
3	51,23	72,45	102,46
4	49,15	69,50	98,29
5	47,56	67,26	95,12
6	46,33	65,52	92,66
7	45,37	64,16	90,74
8	44,60	63,08	89,21
9	43,99	62,21	87,97
10	43,48	61,49	86,97
15	41,97	59,35	83,93
20	41,26	58,34	82,51
25	40,87	57,80	81,74
30	40,64	57,47	81,27
35	40,49	57,26	80,97
40	40,38	57,11	80,77
45	40,31	57,01	80,62
50	40,25	56,93	80,51
55	40,21	56,87	80,43
60	40,18	56,83	80,36
65	40,16	56,79	80,31
70	40,14	56,76	80,27
75	40,12	56,74	80,24
80	40,11	56,72	80,21
85	40,09	56,70	80,19
90	40,08	56,69	80,17
95	40,08	56,68	80,15
100	40,07	56,67	80,14

Πίνακας 4.1.5-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=25MVA)

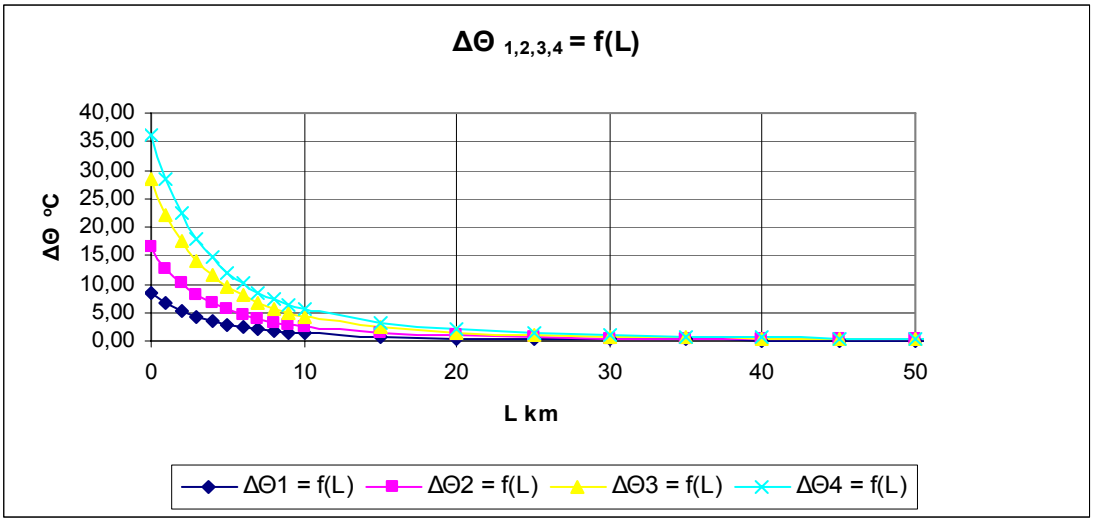


Σχήμα 4.1.5-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec, (P_N=25MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,10	3,20	6,40	3125,00	1093,75	3125,00	8,44	16,37	28,32	36,25
1	0,40	0,39	0,10	3,20	7,24	2763,41	967,19	2763,41	6,60	12,80	22,15	28,35
2	0,80	0,77	0,10	3,20	8,14	2456,76	859,87	2456,76	5,22	10,12	17,50	22,40
3	1,20	1,16	0,10	3,20	9,09	2200,10	770,04	2200,10	4,18	8,11	14,04	17,97
4	1,60	1,54	0,10	3,20	10,07	1985,43	694,90	1985,43	3,41	6,61	11,43	14,63
5	2,00	1,93	0,10	3,20	11,08	1804,94	631,73	1804,94	2,82	5,46	9,45	12,09
6	2,40	2,32	0,10	3,20	12,11	1652,04	578,21	1652,04	2,36	4,57	7,91	10,13
7	2,80	2,70	0,10	3,20	13,15	1521,39	532,49	1521,39	2,00	3,88	6,71	8,59
8	3,20	3,09	0,10	3,20	14,20	1408,81	493,08	1408,81	1,72	3,33	5,76	7,37
9	3,60	3,47	0,10	3,20	15,26	1310,99	458,85	1310,99	1,49	2,88	4,98	6,38
10	4,00	3,86	0,10	3,20	16,32	1225,35	428,87	1225,35	1,30	2,52	4,35	5,57
15	6,00	5,79	0,10	3,20	21,72	920,75	322,26	920,75	0,73	1,42	2,46	3,15
20	8,00	7,72	0,10	3,20	27,19	735,69	257,49	735,69	0,47	0,91	1,57	2,01
25	10,00	9,65	0,10	3,20	32,68	611,97	214,19	611,97	0,32	0,63	1,09	1,39
30	12,00	11,58	0,10	3,20	38,20	523,63	183,27	523,63	0,24	0,46	0,80	1,02
35	14,00	13,51	0,10	3,20	43,72	457,45	160,11	457,45	0,18	0,35	0,61	0,78
40	16,00	15,44	0,10	3,20	49,25	406,06	142,12	406,06	0,14	0,28	0,48	0,61
45	18,00	17,37	0,10	3,20	54,79	365,02	127,76	365,02	0,12	0,22	0,39	0,49
50	20,00	19,30	0,10	3,20	60,33	331,49	116,02	331,49	0,09	0,18	0,32	0,41
55	22,00	21,23	0,10	3,20	65,88	303,59	106,26	303,59	0,08	0,15	0,27	0,34
60	24,00	23,16	0,10	3,20	71,43	280,01	98,00	280,01	0,07	0,13	0,23	0,29
65	26,00	25,09	0,10	3,20	76,97	259,83	90,94	259,83	0,06	0,11	0,20	0,25
70	28,00	27,02	0,10	3,20	82,52	242,35	84,82	242,35	0,05	0,10	0,17	0,22
75	30,00	28,95	0,10	3,20	88,07	227,08	79,48	227,08	0,04	0,09	0,15	0,19
80	32,00	30,88	0,10	3,20	93,63	213,61	74,76	213,61	0,04	0,08	0,13	0,17
85	34,00	32,81	0,10	3,20	99,18	201,65	70,58	201,65	0,04	0,07	0,12	0,15
90	36,00	34,74	0,10	3,20	104,73	190,96	66,84	190,96	0,03	0,06	0,11	0,14
95	38,00	36,67	0,10	3,20	110,29	181,34	63,47	181,34	0,03	0,06	0,10	0,12
100	40,00	38,60	0,10	3,20	115,84	172,65	60,43	172,65	0,03	0,05	0,09	0,11

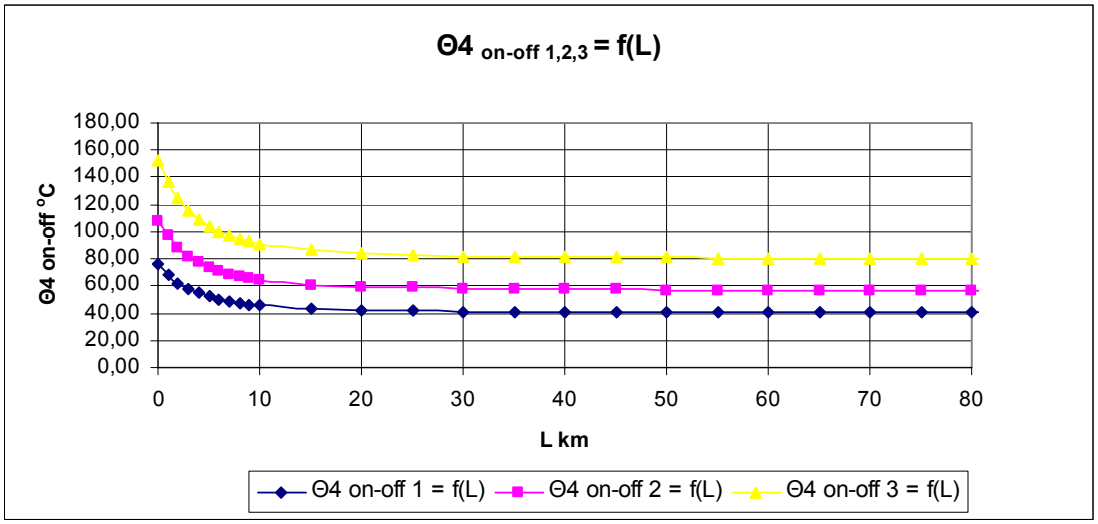
Πίνακας 4.1.5-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1 sec



Σχήμα 4.1.5-8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=1 sec (P_N=25MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	76,25	107,83	152,50
1	68,35	96,66	136,69
2	62,40	88,25	124,81
3	57,97	81,98	115,94
4	54,63	77,26	109,26
5	52,09	73,67	104,19
6	50,13	70,90	100,26
7	48,59	68,72	97,18
8	47,37	66,99	94,73
9	46,38	65,59	92,76
10	45,57	64,45	91,15
15	43,15	61,02	86,29
20	42,01	59,41	84,02
25	41,39	58,53	82,78
30	41,02	58,01	82,04
35	40,78	57,67	81,55
40	40,61	57,43	81,22
45	40,49	57,27	80,99
50	40,41	57,15	80,82
55	40,34	57,05	80,68
60	40,29	56,98	80,58
65	40,25	56,92	80,50
70	40,22	56,88	80,44
75	40,19	56,84	80,38
80	40,17	56,81	80,34
85	40,15	56,78	80,30
90	40,14	56,76	80,27
95	40,12	56,74	80,24
100	40,11	56,73	80,22

Πίνακας 4.1.5-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=25MVA)



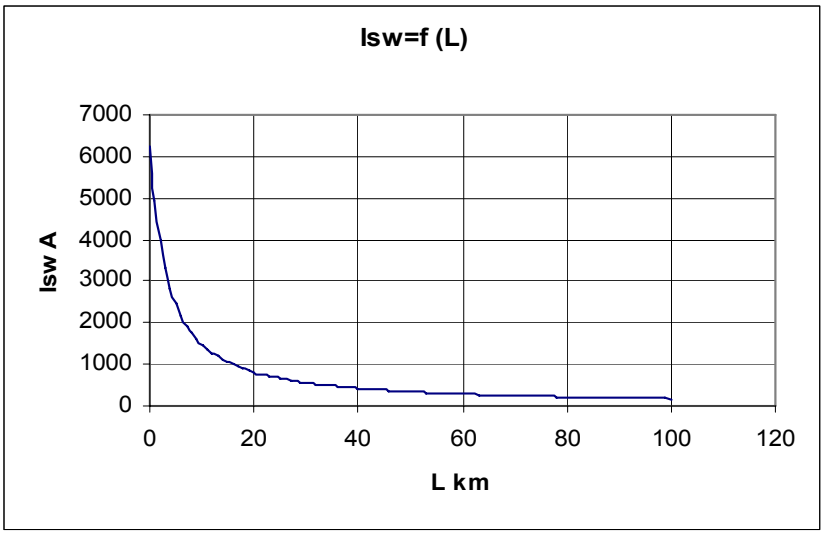
Σχήμα 4.1.5-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=1 sec, (P_N=25MVA)

4.1.6 Διφασικό βραχυκύκλωμα από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος (ή στον αέρα), μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA

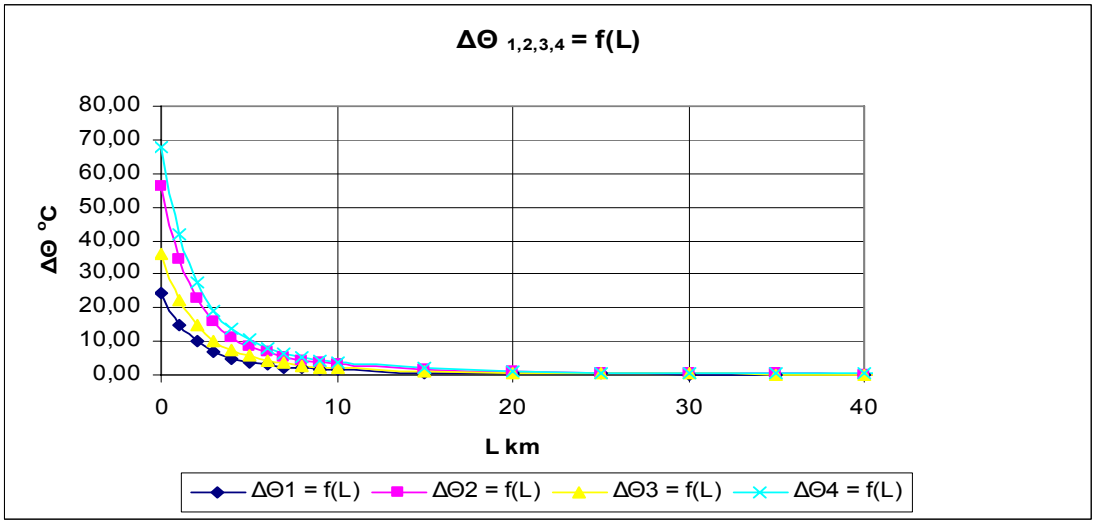
- **για t=0,15 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0,00	0,00	0,05	1,60	3,20	6250,00	2187,50	6250,00	24,32	56,04	36,25	67,97
1	0,40	0,39	0,05	1,60	4,07	4913,52	1719,73	4913,52	15,03	34,64	22,40	42,01
2	0,80	0,77	0,05	1,60	5,04	3970,86	1389,80	3970,86	9,82	22,62	14,63	27,44
3	1,20	1,16	0,05	1,60	6,05	3304,08	1156,43	3304,08	6,80	15,66	10,13	19,00
4	1,60	1,54	0,05	1,60	7,10	2817,62	986,17	2817,62	4,94	11,39	7,37	13,81
5	2,00	1,93	0,05	1,60	8,16	2450,71	857,75	2450,71	3,74	8,62	5,57	10,45
6	2,40	2,32	0,05	1,60	9,24	2165,63	757,97	2165,63	2,92	6,73	4,35	8,16
7	2,80	2,70	0,05	1,60	10,32	1938,48	678,47	1938,48	2,34	5,39	3,49	6,54
8	3,20	3,09	0,05	1,60	11,41	1753,57	613,75	1753,57	1,91	4,41	2,85	5,35
9	3,60	3,47	0,05	1,60	12,50	1600,34	560,12	1600,34	1,59	3,67	2,38	4,46
10	4,00	3,86	0,05	1,60	13,59	1471,38	514,98	1471,38	1,35	3,11	2,01	3,77
15	6,00	5,79	0,05	1,60	19,10	1047,25	366,54	1047,25	0,68	1,57	1,02	1,91
20	8,00	7,72	0,05	1,60	24,63	812,12	284,24	812,12	0,41	0,95	0,61	1,15
25	10,00	9,65	0,05	1,60	30,17	662,98	232,04	662,98	0,27	0,63	0,41	0,76
30	12,00	11,58	0,05	1,60	35,71	560,03	196,01	560,03	0,20	0,45	0,29	0,55
35	14,00	13,51	0,05	1,60	41,26	484,71	169,65	484,71	0,15	0,34	0,22	0,41
40	16,00	15,44	0,05	1,60	46,81	427,23	149,53	427,23	0,11	0,26	0,17	0,32
45	18,00	17,37	0,05	1,60	52,37	381,92	133,67	381,92	0,09	0,21	0,14	0,25
50	20,00	19,30	0,05	1,60	57,92	345,30	120,85	345,30	0,07	0,17	0,11	0,21
55	22,00	21,23	0,05	1,60	63,48	315,08	110,28	315,08	0,06	0,14	0,09	0,17
60	24,00	23,16	0,05	1,60	69,03	289,72	101,40	289,72	0,05	0,12	0,08	0,15
65	26,00	25,09	0,05	1,60	74,59	268,14	93,85	268,14	0,04	0,10	0,07	0,13
70	28,00	27,02	0,05	1,60	80,14	249,55	87,34	249,55	0,04	0,09	0,06	0,11
75	30,00	28,95	0,05	1,60	85,70	233,37	81,68	233,37	0,03	0,08	0,05	0,09
80	32,00	30,88	0,05	1,60	91,26	219,16	76,71	219,16	0,03	0,07	0,04	0,08
85	34,00	32,81	0,05	1,60	96,81	206,58	72,30	206,58	0,03	0,06	0,04	0,07
90	36,00	34,74	0,05	1,60	102,37	195,37	68,38	195,37	0,02	0,05	0,04	0,07
95	38,00	36,67	0,05	1,60	107,93	185,31	64,86	185,31	0,02	0,05	0,03	0,06
100	40,00	38,60	0,05	1,60	113,49	176,23	61,68	176,23	0,02	0,04	0,03	0,05

Πίνακας 4.1.6-1: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,15 sec



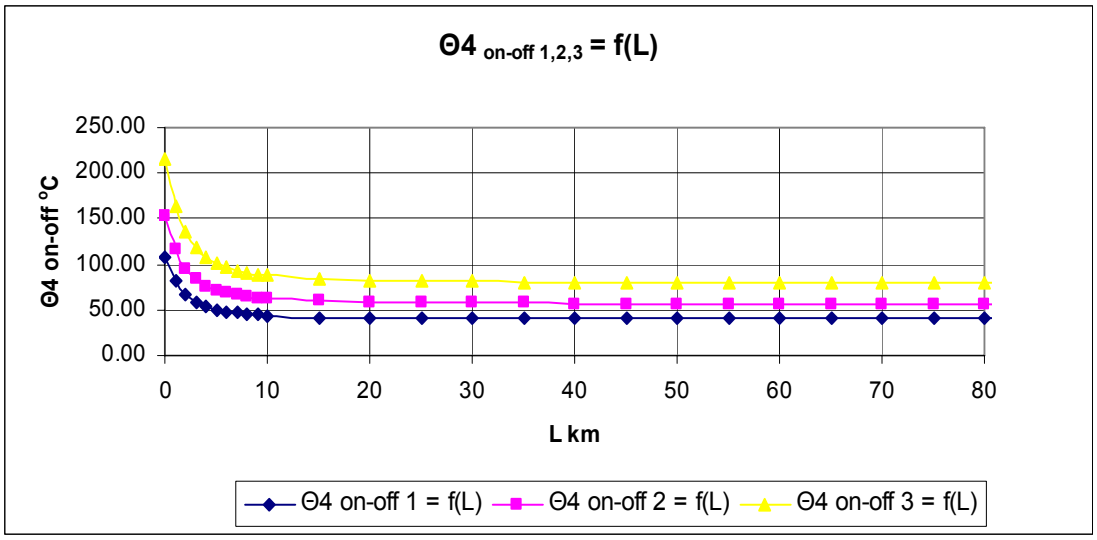
Σχήμα 4.1.6-1: Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV (P_N=50MVA)



Σχήμα 4.1.6-2: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	107,97	152,69	215,94
1	82,01	115,98	164,02
2	67,44	95,37	134,87
3	59,00	83,43	117,99
4	53,81	76,10	107,63
5	50,45	71,35	100,90
6	48,16	68,11	96,32
7	46,54	65,82	93,08
8	45,35	64,14	90,70
9	44,46	62,87	88,91
10	43,77	61,90	87,53
15	41,91	59,27	83,82
20	41,15	58,19	82,30
25	40,76	57,65	81,53
30	40,55	57,34	81,09
35	40,41	57,15	80,82
40	40,32	57,02	80,64
45	40,25	56,93	80,51
50	40,21	56,86	80,41
55	40,17	56,81	80,35
60	40,15	56,78	80,29
65	40,13	56,75	80,25
70	40,11	56,72	80,22
75	40,09	56,70	80,19
80	40,08	56,69	80,17
85	40,07	56,67	80,15
90	40,07	56,66	80,13
95	40,06	56,65	80,12
100	40,05	56,64	80,11

Πίνακας 4.1.6-2: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,15 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=50MVA)

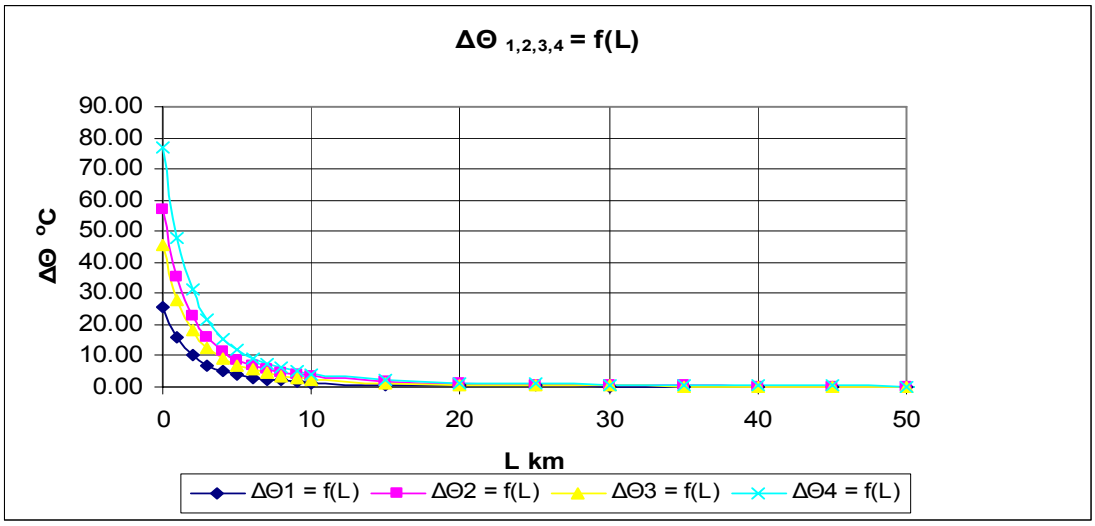


Σχήμα 4.1.6-3: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,15 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=0,25 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0.00	0.00	0.05	1.60	3.20	6250.00	2187.50	6250.00	25.43	57.15	45.31	77.03
1	0.40	0.39	0.05	1.60	4.07	4913.52	1719.73	4913.52	15.72	35.32	28.01	47.61
2	0.80	0.77	0.05	1.60	5.04	3970.86	1389.80	3970.86	10.27	23.07	18.29	31.09
3	1.20	1.16	0.05	1.60	6.05	3304.08	1156.43	3304.08	7.11	15.97	12.66	21.53
4	1.60	1.54	0.05	1.60	7.10	2817.62	986.17	2817.62	5.17	11.62	9.21	15.66
5	2.00	1.93	0.05	1.60	8.16	2450.71	857.75	2450.71	3.91	8.79	6.97	11.84
6	2.40	2.32	0.05	1.60	9.24	2165.63	757.97	2165.63	3.05	6.86	5.44	9.25
7	2.80	2.70	0.05	1.60	10.32	1938.48	678.47	1938.48	2.45	5.50	4.36	7.41
8	3.20	3.09	0.05	1.60	11.41	1753.57	613.75	1753.57	2.00	4.50	3.57	6.06
9	3.60	3.47	0.05	1.60	12.50	1600.34	560.12	1600.34	1.67	3.75	2.97	5.05
10	4.00	3.86	0.05	1.60	13.59	1471.38	514.98	1471.38	1.41	3.17	2.51	4.27
15	6.00	5.79	0.05	1.60	19.10	1047.25	366.54	1047.25	0.71	1.60	1.27	2.16
20	8.00	7.72	0.05	1.60	24.63	812.12	284.24	812.12	0.43	0.96	0.77	1.30
25	10.00	9.65	0.05	1.60	30.17	662.98	232.04	662.98	0.29	0.64	0.51	0.87
30	12.00	11.58	0.05	1.60	35.71	560.03	196.01	560.03	0.20	0.46	0.36	0.62
35	14.00	13.51	0.05	1.60	41.26	484.71	169.65	484.71	0.15	0.34	0.27	0.46
40	16.00	15.44	0.05	1.60	46.81	427.23	149.53	427.23	0.12	0.27	0.21	0.36
45	18.00	17.37	0.05	1.60	52.37	381.92	133.67	381.92	0.09	0.21	0.17	0.29
50	20.00	19.30	0.05	1.60	57.92	345.30	120.85	345.30	0.08	0.17	0.14	0.24
55	22.00	21.23	0.05	1.60	63.48	315.08	110.28	315.08	0.06	0.15	0.12	0.20
60	24.00	23.16	0.05	1.60	69.03	289.72	101.40	289.72	0.05	0.12	0.10	0.17
65	26.00	25.09	0.05	1.60	74.59	268.14	93.85	268.14	0.05	0.11	0.08	0.14
70	28.00	27.02	0.05	1.60	80.14	249.55	87.34	249.55	0.04	0.09	0.07	0.12
75	30.00	28.95	0.05	1.60	85.70	233.37	81.68	233.37	0.04	0.08	0.06	0.11
80	32.00	30.88	0.05	1.60	91.26	219.16	76.71	219.16	0.03	0.07	0.06	0.09
85	34.00	32.81	0.05	1.60	96.81	206.58	72.30	206.58	0.03	0.06	0.05	0.08
90	36.00	34.74	0.05	1.60	102.37	195.37	68.38	195.37	0.02	0.06	0.04	0.08
95	38.00	36.67	0.05	1.60	107.93	185.31	64.86	185.31	0.02	0.05	0.04	0.07
100	40.00	38.60	0.05	1.60	113.49	176.23	61.68	176.23	0.02	0.05	0.04	0.06

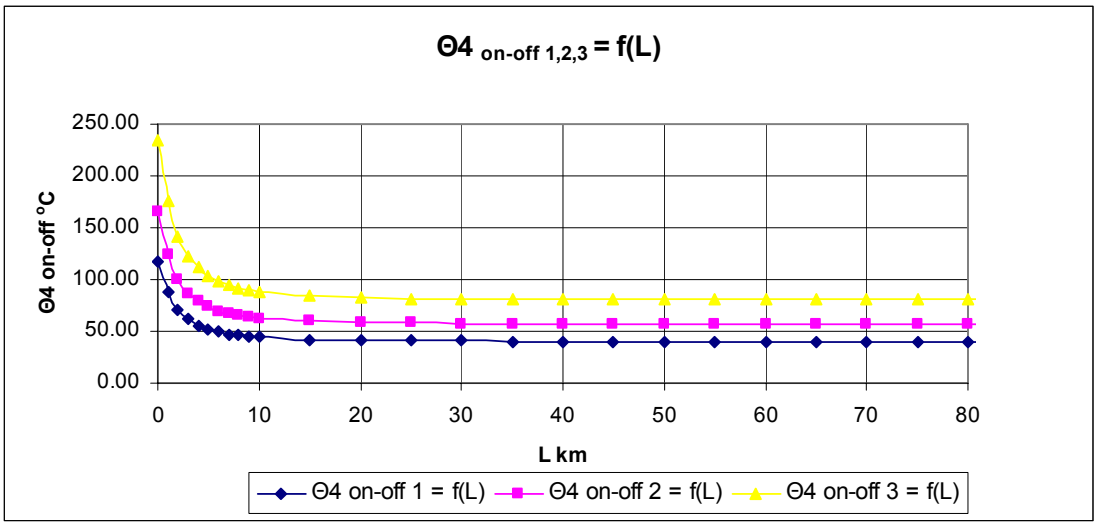
Πίνακας 4.1.6-3: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,25 sec



Σχήμα 4.1.6-4: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	117.03	165.51	234.06
1	87.61	123.90	175.22
2	71.09	100.54	142.19
3	61.53	87.01	123.06
4	55.66	78.71	111.31
5	51.84	73.32	103.69
6	49.25	69.65	98.50
7	47.41	67.05	94.82
8	46.06	65.14	92.13
9	45.05	63.71	90.10
10	44.27	62.61	88.54
15	42.16	59.63	84.33
20	41.30	58.41	82.60
25	40.87	57.79	81.73
30	40.62	57.44	81.24
35	40.46	57.22	80.93
40	40.36	57.08	80.72
45	40.29	56.98	80.58
50	40.24	56.90	80.47
55	40.20	56.85	80.39
60	40.17	56.80	80.33
65	40.14	56.77	80.28
70	40.12	56.74	80.25
75	40.11	56.72	80.21
80	40.09	56.70	80.19
85	40.08	56.69	80.17
90	40.08	56.67	80.15
95	40.07	56.66	80.14
100	40.06	56.66	80.12

Πίνακας 4.1.6-4: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,25 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=50MVA)

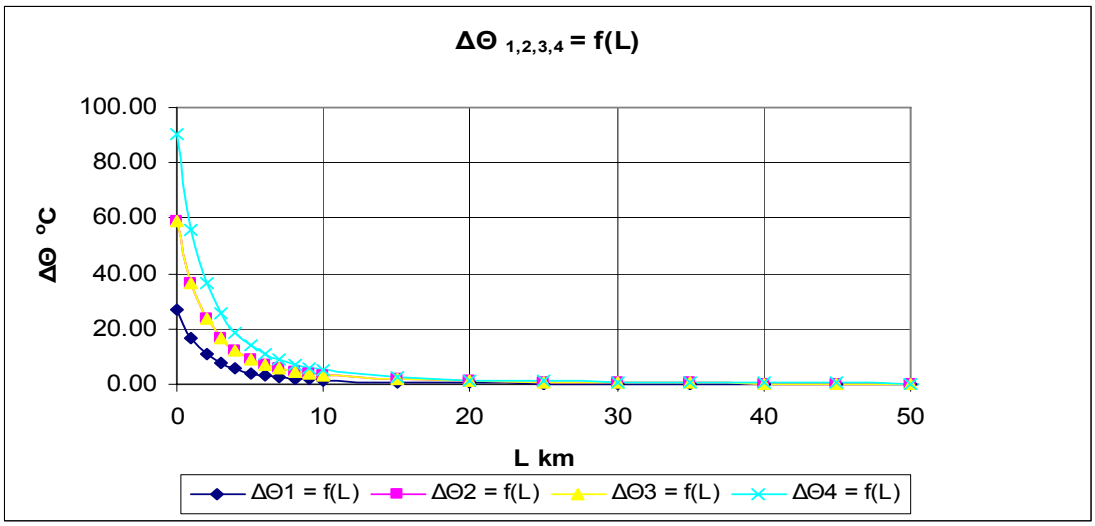


Σχήμα 4.1.6-5: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,25 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=0,4 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0.00	0.00	0.05	1.60	3.20	6250.00	2187.50	6250.00	27.10	58.82	58.91	90.62
1	0.40	0.39	0.05	1.60	4.07	4913.52	1719.73	4913.52	16.75	36.35	36.41	56.01
2	0.80	0.77	0.05	1.60	5.04	3970.86	1389.80	3970.86	10.94	23.74	23.78	36.58
3	1.20	1.16	0.05	1.60	6.05	3304.08	1156.43	3304.08	7.57	16.44	16.46	25.33
4	1.60	1.54	0.05	1.60	7.10	2817.62	986.17	2817.62	5.51	11.95	11.97	18.42
5	2.00	1.93	0.05	1.60	8.16	2450.71	857.75	2450.71	4.17	9.04	9.06	13.93
6	2.40	2.32	0.05	1.60	9.24	2165.63	757.97	2165.63	3.25	7.06	7.07	10.88
7	2.80	2.70	0.05	1.60	10.32	1938.48	678.47	1938.48	2.61	5.66	5.67	8.72
8	3.20	3.09	0.05	1.60	11.41	1753.57	613.75	1753.57	2.13	4.63	4.64	7.13
9	3.60	3.47	0.05	1.60	12.50	1600.34	560.12	1600.34	1.78	3.86	3.86	5.94
10	4.00	3.86	0.05	1.60	13.59	1471.38	514.98	1471.38	1.50	3.26	3.26	5.02
15	6.00	5.79	0.05	1.60	19.10	1047.25	366.54	1047.25	0.76	1.65	1.65	2.54
20	8.00	7.72	0.05	1.60	24.63	812.12	284.24	812.12	0.46	0.99	0.99	1.53
25	10.00	9.65	0.05	1.60	30.17	662.98	232.04	662.98	0.30	0.66	0.66	1.02
30	12.00	11.58	0.05	1.60	35.71	560.03	196.01	560.03	0.22	0.47	0.47	0.73
35	14.00	13.51	0.05	1.60	41.26	484.71	169.65	484.71	0.16	0.35	0.35	0.55
40	16.00	15.44	0.05	1.60	46.81	427.23	149.53	427.23	0.13	0.27	0.28	0.42
45	18.00	17.37	0.05	1.60	52.37	381.92	133.67	381.92	0.10	0.22	0.22	0.34
50	20.00	19.30	0.05	1.60	57.92	345.30	120.85	345.30	0.08	0.18	0.18	0.28
55	22.00	21.23	0.05	1.60	63.48	315.08	110.28	315.08	0.07	0.15	0.15	0.23
60	24.00	23.16	0.05	1.60	69.03	289.72	101.40	289.72	0.06	0.13	0.13	0.19
65	26.00	25.09	0.05	1.60	74.59	268.14	93.85	268.14	0.05	0.11	0.11	0.17
70	28.00	27.02	0.05	1.60	80.14	249.55	87.34	249.55	0.04	0.09	0.09	0.14
75	30.00	28.95	0.05	1.60	85.70	233.37	81.68	233.37	0.04	0.08	0.08	0.13
80	32.00	30.88	0.05	1.60	91.26	219.16	76.71	219.16	0.03	0.07	0.07	0.11
85	34.00	32.81	0.05	1.60	96.81	206.58	72.30	206.58	0.03	0.06	0.06	0.10
90	36.00	34.74	0.05	1.60	102.37	195.37	68.38	195.37	0.03	0.06	0.06	0.09
95	38.00	36.67	0.05	1.60	107.93	185.31	64.86	185.31	0.02	0.05	0.05	0.08
100	40.00	38.60	0.05	1.60	113.49	176.23	61.68	176.23	0.02	0.05	0.05	0.07

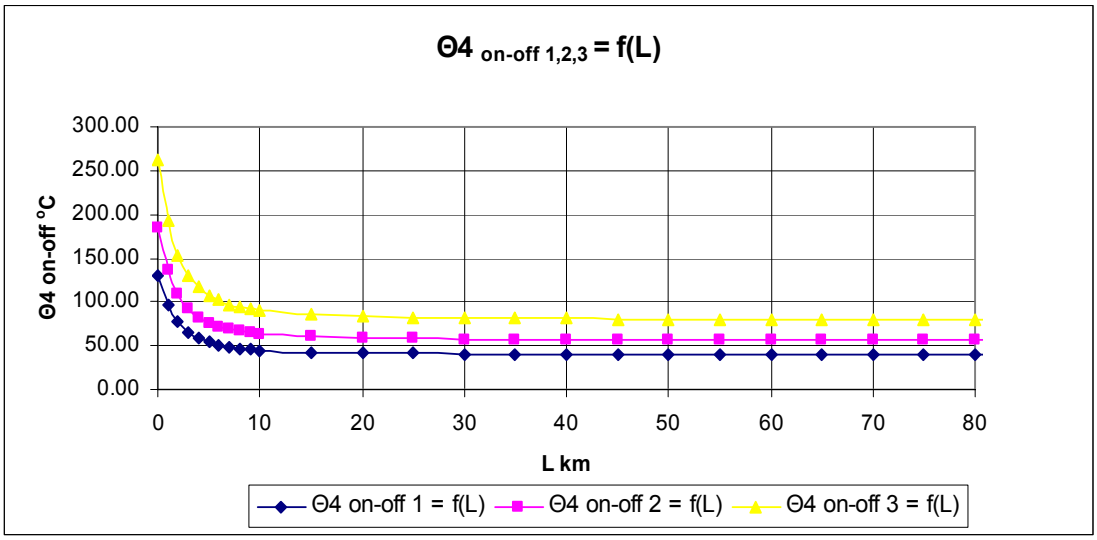
Πίνακας 4.1.6-5: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=0,4 sec



Σχήμα 4.1.6-6: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	130.63	184.73	261.25
1	96.01	135.78	192.02
2	76.58	108.30	153.16
3	65.33	92.39	130.65
4	58.42	82.62	116.84
5	53.93	76.27	107.87
6	50.88	71.96	101.76
7	48.72	68.90	97.44
8	47.13	66.66	94.27
9	45.94	64.97	91.88
10	45.02	63.67	90.05
15	42.54	60.17	85.09
20	41.53	58.73	83.06
25	41.02	58.01	82.04
30	40.73	57.60	81.46
35	40.55	57.34	81.09
40	40.42	57.17	80.85
45	40.34	57.05	80.68
50	40.28	56.96	80.55
55	40.23	56.89	80.46
60	40.19	56.84	80.39
65	40.17	56.80	80.33
70	40.14	56.77	80.29
75	40.13	56.75	80.25
80	40.11	56.73	80.22
85	40.10	56.71	80.20
90	40.09	56.69	80.18
95	40.08	56.68	80.16
100	40.07	56.67	80.14

Πίνακας 4.1.6-6: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=0,4 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=50MVA)

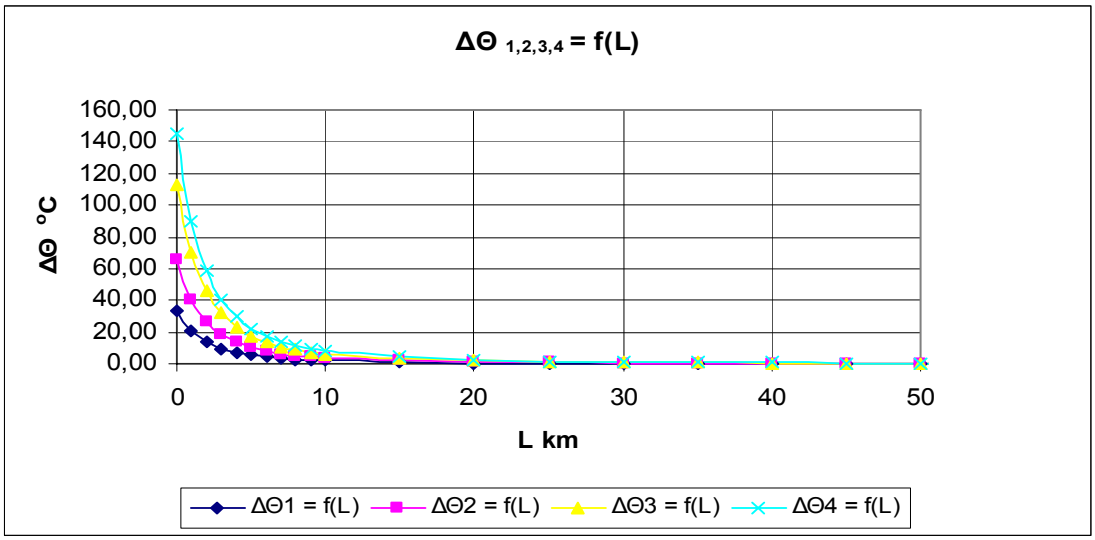


Σχήμα 4.1.6-7: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=0,4 sec, (P_N=50MVA)

- **για t=1 sec**

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	Z Ω	I_{sw} A	I_{d1} A	I_{d2} A	$\Delta\Theta_1$ °C	$\Delta\Theta_2$ °C	$\Delta\Theta_3$ °C	$\Delta\Theta_4$ °C
0	0.00	0.00	0.05	1.60	3.20	6250.00	2187.50	6250.00	33.76	65.48	113.28	145.00
1	0.40	0.39	0.05	1.60	4.07	4913.52	1719.73	4913.52	20.86	40.47	70.01	89.62
2	0.80	0.77	0.05	1.60	5.04	3970.86	1389.80	3970.86	13.63	26.43	45.73	58.53
3	1.20	1.16	0.05	1.60	6.05	3304.08	1156.43	3304.08	9.43	18.30	31.66	40.52
4	1.60	1.54	0.05	1.60	7.10	2817.62	986.17	2817.62	6.86	13.31	23.02	29.47
5	2.00	1.93	0.05	1.60	8.16	2450.71	857.75	2450.71	5.19	10.07	17.42	22.29
6	2.40	2.32	0.05	1.60	9.24	2165.63	757.97	2165.63	4.05	7.86	13.60	17.41
7	2.80	2.70	0.05	1.60	10.32	1938.48	678.47	1938.48	3.25	6.30	10.90	13.95
8	3.20	3.09	0.05	1.60	11.41	1753.57	613.75	1753.57	2.66	5.15	8.92	11.41
9	3.60	3.47	0.05	1.60	12.50	1600.34	560.12	1600.34	2.21	4.29	7.43	9.51
10	4.00	3.86	0.05	1.60	13.59	1471.38	514.98	1471.38	1.87	3.63	6.28	8.04
15	6.00	5.79	0.05	1.60	19.10	1047.25	366.54	1047.25	0.95	1.84	3.18	4.07
20	8.00	7.72	0.05	1.60	24.63	812.12	284.24	812.12	0.57	1.11	1.91	2.45
25	10.00	9.65	0.05	1.60	30.17	662.98	232.04	662.98	0.38	0.74	1.27	1.63
30	12.00	11.58	0.05	1.60	35.71	560.03	196.01	560.03	0.27	0.53	0.91	1.16
35	14.00	13.51	0.05	1.60	41.26	484.71	169.65	484.71	0.20	0.39	0.68	0.87
40	16.00	15.44	0.05	1.60	46.81	427.23	149.53	427.23	0.16	0.31	0.53	0.68
45	18.00	17.37	0.05	1.60	52.37	381.92	133.67	381.92	0.13	0.24	0.42	0.54
50	20.00	19.30	0.05	1.60	57.92	345.30	120.85	345.30	0.10	0.20	0.35	0.44
55	22.00	21.23	0.05	1.60	63.48	315.08	110.28	315.08	0.09	0.17	0.29	0.37
60	24.00	23.16	0.05	1.60	69.03	289.72	101.40	289.72	0.07	0.14	0.24	0.31
65	26.00	25.09	0.05	1.60	74.59	268.14	93.85	268.14	0.06	0.12	0.21	0.27
70	28.00	27.02	0.05	1.60	80.14	249.55	87.34	249.55	0.05	0.10	0.18	0.23
75	30.00	28.95	0.05	1.60	85.70	233.37	81.68	233.37	0.05	0.09	0.16	0.20
80	32.00	30.88	0.05	1.60	91.26	219.16	76.71	219.16	0.04	0.08	0.14	0.18
85	34.00	32.81	0.05	1.60	96.81	206.58	72.30	206.58	0.04	0.07	0.12	0.16
90	36.00	34.74	0.05	1.60	102.37	195.37	68.38	195.37	0.03	0.06	0.11	0.14
95	38.00	36.67	0.05	1.60	107.93	185.31	64.86	185.31	0.03	0.06	0.10	0.13
100	40.00	38.60	0.05	1.60	113.49	176.23	61.68	176.23	0.03	0.05	0.09	0.12

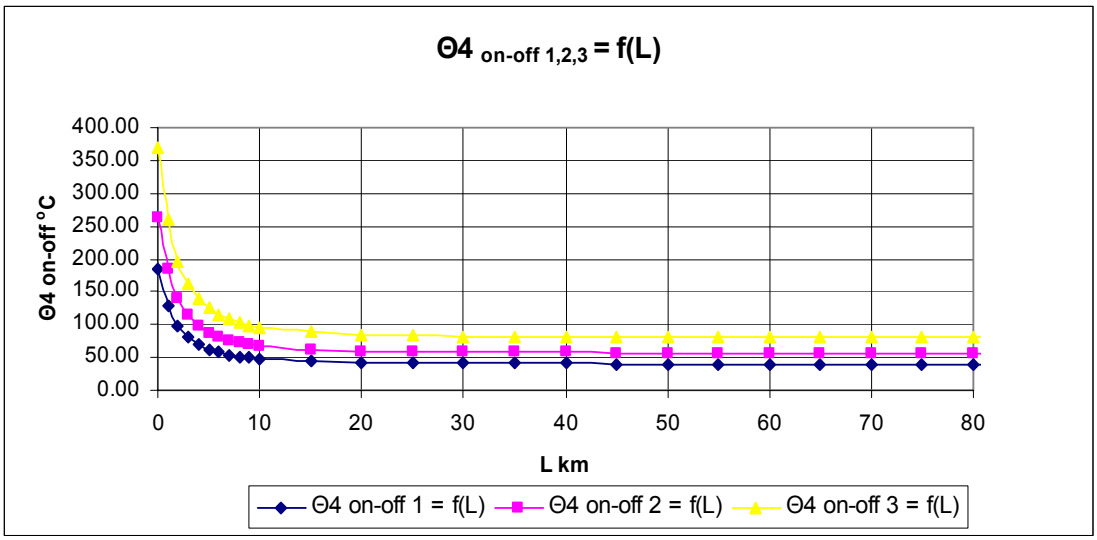
Πίνακας 4.1.6-7: Διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα ή στο έδαφος χωρίς γη. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km t=1 sec



Σχήμα 4.1.6-8: Αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=1 sec (P_N=50MVA)

L km	$\theta_{4on\text{-}off1}$ °C	$\Theta_{4on\text{-}off2}$ °C	$\theta_{4on\text{-}off3}$ °C
0	185.00	261.63	370.00
1	129.62	183.31	259.24
2	98.53	139.34	197.06
3	80.52	113.88	161.05
4	69.47	98.24	138.94
5	62.29	88.10	124.59
6	57.41	81.19	114.82
7	53.95	76.29	107.90
8	51.41	72.71	102.83
9	49.51	70.01	99.01
10	48.04	67.93	96.07
15	44.07	62.33	88.14
20	42.45	60.03	84.90
25	41.63	58.88	83.26
30	41.16	58.21	82.33
35	40.87	57.80	81.74
40	40.68	57.53	81.36
45	40.54	57.33	81.08
50	40.44	57.19	80.89
55	40.37	57.09	80.74
60	40.31	57.01	80.62
65	40.27	56.95	80.53
70	40.23	56.90	80.46
75	40.20	56.85	80.40
80	40.18	56.82	80.36
85	40.16	56.79	80.32
90	40.14	56.77	80.28
95	40.13	56.75	80.25
100	40.12	56.73	80.23

Πίνακας 4.1.6-8: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ για t=1 sec, (ΜΣ 150 kV / 20 kV και P_N=50MVA)



Σχήμα 4.1.6-9: Αύξηση της θερμοκρασίας μετά από διαδοχικά ON-OFF των ΔΑΕ (σε ^{0}C) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, για t=1 sec, (P_N=50MVA)

4.2 Περίπτωση διφασικού σφάλματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος

Σε αυτήν την περίπτωση οι δυο αγωγοί δε βρίσκονται σε άμεση επαφή, αλλά κλείνουν κύκλωμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους. Για χαρακτηριστικές τιμές R_δ=10, 50, 200, 3000 Ω υπολογίζεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης I (A) από τον τύπο (3.3.2-1).

4.2.1 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,09	3,00	10	11,82	1269,5
1	0,40	0,39	0,09	3,00	10	12,90	1162,9
2	0,80	0,77	0,09	3,00	10	13,99	1072,4
3	1,20	1,16	0,09	3,00	10	15,08	994,8
4	1,60	1,54	0,09	3,00	10	16,17	927,5
5	2,00	1,93	0,09	3,00	10	17,27	868,6
6	2,40	2,32	0,09	3,00	10	18,37	816,6
7	2,80	2,70	0,09	3,00	10	19,47	770,5
8	3,20	3,09	0,09	3,00	10	20,57	729,3
9	3,60	3,47	0,09	3,00	10	21,67	692,2
10	4,00	3,86	0,09	3,00	10	22,77	658,6
15	6,00	5,79	0,09	3,00	10	28,30	530,0
20	8,00	7,72	0,09	3,00	10	33,84	443,3
25	10,00	9,65	0,09	3,00	10	39,38	380,9
30	12,00	11,58	0,09	3,00	10	44,93	333,9
35	14,00	13,51	0,09	3,00	10	50,48	297,2
40	16,00	15,44	0,09	3,00	10	56,03	267,7
45	18,00	17,37	0,09	3,00	10	61,58	243,6
50	20,00	19,30	0,09	3,00	10	67,13	223,4
55	22,00	21,23	0,09	3,00	10	72,69	206,4
60	24,00	23,16	0,09	3,00	10	78,24	191,7
65	26,00	25,09	0,09	3,00	10	83,80	179,0
70	28,00	27,02	0,09	3,00	10	89,35	167,9
75	30,00	28,95	0,09	3,00	10	94,91	158,0
80	32,00	30,88	0,09	3,00	10	100,47	149,3
85	34,00	32,81	0,09	3,00	10	106,02	141,5
90	36,00	34,74	0,09	3,00	10	111,58	134,4
95	38,00	36,67	0,09	3,00	10	117,14	128,1
100	40,00	38,60	0,09	3,00	10	122,70	122,3

Πίνακας 4.2.1-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,09	3,00	50	50,54	296,81
1	0,40	0,39	0,09	3,00	50	51,43	291,67
2	0,80	0,77	0,09	3,00	50	52,33	286,66
3	1,20	1,16	0,09	3,00	50	53,23	281,78
4	1,60	1,54	0,09	3,00	50	54,15	277,02
5	2,00	1,93	0,09	3,00	50	55,07	272,38
6	2,40	2,32	0,09	3,00	50	56,00	267,87
7	2,80	2,70	0,09	3,00	50	56,93	263,47
8	3,20	3,09	0,09	3,00	50	57,87	259,18
9	3,60	3,47	0,09	3,00	50	58,82	255,01
10	4,00	3,86	0,09	3,00	50	59,78	250,94
15	6,00	5,79	0,09	3,00	50	64,62	232,14
20	8,00	7,72	0,09	3,00	50	69,57	215,62
25	10,00	9,65	0,09	3,00	50	74,60	201,07
30	12,00	11,58	0,09	3,00	50	79,70	188,19
35	14,00	13,51	0,09	3,00	50	84,87	176,75
40	16,00	15,44	0,09	3,00	50	90,07	166,53
45	18,00	17,37	0,09	3,00	50	95,32	157,36
50	20,00	19,30	0,09	3,00	50	100,60	149,10
55	22,00	21,23	0,09	3,00	50	105,91	141,62
60	24,00	23,16	0,09	3,00	50	111,25	134,83
65	26,00	25,09	0,09	3,00	50	116,60	128,64
70	28,00	27,02	0,09	3,00	50	121,98	122,97
75	30,00	28,95	0,09	3,00	50	127,37	117,77
80	32,00	30,88	0,09	3,00	50	132,77	112,98
85	34,00	32,81	0,09	3,00	50	138,19	108,55
90	36,00	34,74	0,09	3,00	50	143,61	104,45
95	38,00	36,67	0,09	3,00	50	149,05	100,64
100	40,00	38,60	0,09	3,00	50	154,49	97,09

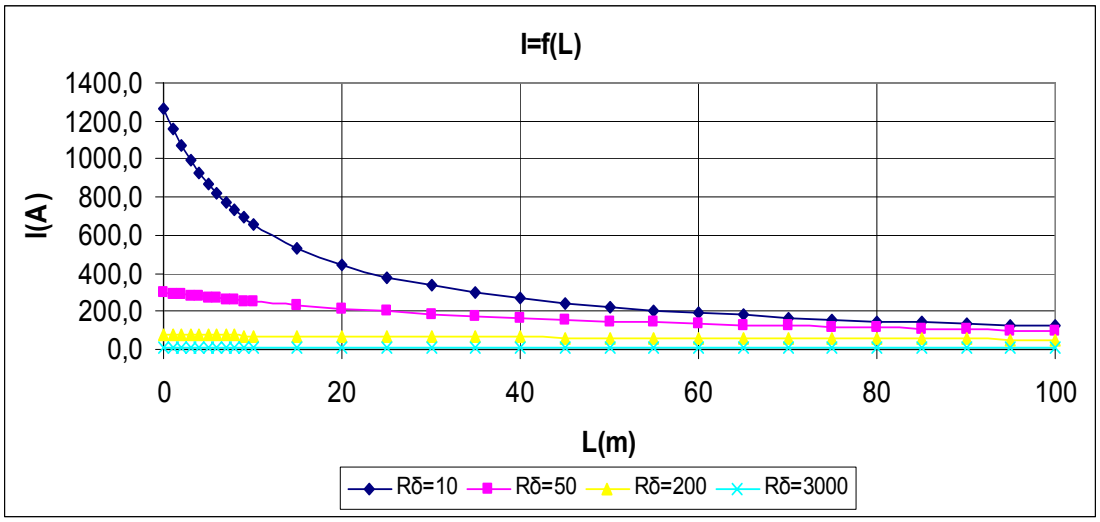
Πίνακας 4.2.1-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,09	3,00	200	200,27	74,90
1	0,40	0,39	0,09	3,00	200	201,09	74,59
2	0,80	0,77	0,09	3,00	200	201,92	74,29
3	1,20	1,16	0,09	3,00	200	202,75	73,98
4	1,60	1,54	0,09	3,00	200	203,58	73,68
5	2,00	1,93	0,09	3,00	200	204,42	73,38
6	2,40	2,32	0,09	3,00	200	205,26	73,08
7	2,80	2,70	0,09	3,00	200	206,10	72,78
8	3,20	3,09	0,09	3,00	200	206,94	72,49
9	3,60	3,47	0,09	3,00	200	207,78	72,19
10	4,00	3,86	0,09	3,00	200	208,63	71,90
15	6,00	5,79	0,09	3,00	200	212,91	70,45
20	8,00	7,72	0,09	3,00	200	217,24	69,05
25	10,00	9,65	0,09	3,00	200	221,63	67,68
30	12,00	11,58	0,09	3,00	200	226,07	66,35
35	14,00	13,51	0,09	3,00	200	230,56	65,06
40	16,00	15,44	0,09	3,00	200	235,09	63,81
45	18,00	17,37	0,09	3,00	200	239,67	62,59
50	20,00	19,30	0,09	3,00	200	244,29	61,40
55	22,00	21,23	0,09	3,00	200	248,94	60,26
60	24,00	23,16	0,09	3,00	200	253,63	59,14
65	26,00	25,09	0,09	3,00	200	258,36	58,06
70	28,00	27,02	0,09	3,00	200	263,12	57,01
75	30,00	28,95	0,09	3,00	200	267,91	55,99
80	32,00	30,88	0,09	3,00	200	272,73	55,00
85	34,00	32,81	0,09	3,00	200	277,58	54,04
90	36,00	34,74	0,09	3,00	200	282,45	53,11
95	38,00	36,67	0,09	3,00	200	287,35	52,20
100	40,00	38,60	0,09	3,00	200	292,27	51,32

Πίνακας 4.2.1-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{MΣ}$ = 0,027Ω, $X_{MΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,09	3,00	3000	3000,19	5,00
1	0,40	0,39	0,09	3,00	3000	3000,99	5,00
2	0,80	0,77	0,09	3,00	3000	3001,79	5,00
3	1,20	1,16	0,09	3,00	3000	3002,59	5,00
4	1,60	1,54	0,09	3,00	3000	3003,39	4,99
5	2,00	1,93	0,09	3,00	3000	3004,20	4,99
6	2,40	2,32	0,09	3,00	3000	3005,00	4,99
7	2,80	2,70	0,09	3,00	3000	3005,80	4,99
8	3,20	3,09	0,09	3,00	3000	3006,60	4,99
9	3,60	3,47	0,09	3,00	3000	3007,41	4,99
10	4,00	3,86	0,09	3,00	3000	3008,21	4,99
15	6,00	5,79	0,09	3,00	3000	3012,23	4,98
20	8,00	7,72	0,09	3,00	3000	3016,26	4,97
25	10,00	9,65	0,09	3,00	3000	3020,29	4,97
30	12,00	11,58	0,09	3,00	3000	3024,32	4,96
35	14,00	13,51	0,09	3,00	3000	3028,36	4,95
40	16,00	15,44	0,09	3,00	3000	3032,40	4,95
45	18,00	17,37	0,09	3,00	3000	3036,45	4,94
50	20,00	19,30	0,09	3,00	3000	3040,51	4,93
55	22,00	21,23	0,09	3,00	3000	3044,57	4,93
60	24,00	23,16	0,09	3,00	3000	3048,63	4,92
65	26,00	25,09	0,09	3,00	3000	3052,70	4,91
70	28,00	27,02	0,09	3,00	3000	3056,77	4,91
75	30,00	28,95	0,09	3,00	3000	3060,85	4,90
80	32,00	30,88	0,09	3,00	3000	3064,93	4,89
85	34,00	32,81	0,09	3,00	3000	3069,02	4,89
90	36,00	34,74	0,09	3,00	3000	3073,11	4,88
95	38,00	36,67	0,09	3,00	3000	3077,20	4,87
100	40,00	38,60	0,09	3,00	3000	3081,30	4,87

Πίνακας 4.2.1-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.1-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε A) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος (σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, P_N=15MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

4.2.2 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,80	10	10,73	1398,0
1	0,40	0,39	0,05	1,80	10	11,75	1276,5
2	0,80	0,77	0,05	1,80	10	12,79	1173,0
3	1,20	1,16	0,05	1,80	10	13,84	1084,1
4	1,60	1,54	0,05	1,80	10	14,89	1007,2
5	2,00	1,93	0,05	1,80	10	15,96	940,0
6	2,40	2,32	0,05	1,80	10	17,03	880,8
7	2,80	2,70	0,05	1,80	10	18,10	828,5
8	3,20	3,09	0,05	1,80	10	19,18	781,9
9	3,60	3,47	0,05	1,80	10	20,27	740,1
10	4,00	3,86	0,05	1,80	10	21,35	702,4
15	6,00	5,79	0,05	1,80	10	26,82	559,3
20	8,00	7,72	0,05	1,80	10	32,31	464,2
25	10,00	9,65	0,05	1,80	10	37,83	396,5
30	12,00	11,58	0,05	1,80	10	43,35	346,0
35	14,00	13,51	0,05	1,80	10	48,88	306,8
40	16,00	15,44	0,05	1,80	10	54,42	275,6
45	18,00	17,37	0,05	1,80	10	59,96	250,1
50	20,00	19,30	0,05	1,80	10	65,51	229,0
55	22,00	21,23	0,05	1,80	10	71,06	211,1
60	24,00	23,16	0,05	1,80	10	76,61	195,8
65	26,00	25,09	0,05	1,80	10	82,16	182,6
70	28,00	27,02	0,05	1,80	10	87,71	171,0
75	30,00	28,95	0,05	1,80	10	93,26	160,8
80	32,00	30,88	0,05	1,80	10	98,81	151,8
85	34,00	32,81	0,05	1,80	10	104,36	143,7
90	36,00	34,74	0,05	1,80	10	109,92	136,5
95	38,00	36,67	0,05	1,80	10	115,47	129,9
100	40,00	38,60	0,05	1,80	10	121,03	123,9

Πίνακας 4.2.2-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,80	50	50,24	298,6
1	0,40	0,39	0,05	1,80	50	51,10	293,6
2	0,80	0,77	0,05	1,80	50	51,96	288,7
3	1,20	1,16	0,05	1,80	50	52,84	283,9
4	1,60	1,54	0,05	1,80	50	53,73	279,2
5	2,00	1,93	0,05	1,80	50	54,62	274,6
6	2,40	2,32	0,05	1,80	50	55,52	270,2
7	2,80	2,70	0,05	1,80	50	56,43	265,8
8	3,20	3,09	0,05	1,80	50	57,35	261,6
9	3,60	3,47	0,05	1,80	50	58,27	257,4
10	4,00	3,86	0,05	1,80	50	59,20	253,4
15	6,00	5,79	0,05	1,80	50	63,94	234,6
20	8,00	7,72	0,05	1,80	50	68,79	218,0
25	10,00	9,65	0,05	1,80	50	73,75	203,4
30	12,00	11,58	0,05	1,80	50	78,79	190,4
35	14,00	13,51	0,05	1,80	50	83,89	178,8
40	16,00	15,44	0,05	1,80	50	89,05	168,4
45	18,00	17,37	0,05	1,80	50	94,26	159,1
50	20,00	19,30	0,05	1,80	50	99,50	150,8
55	22,00	21,23	0,05	1,80	50	104,77	143,2
60	24,00	23,16	0,05	1,80	50	110,08	136,3
65	26,00	25,09	0,05	1,80	50	115,40	130,0
70	28,00	27,02	0,05	1,80	50	120,75	124,2
75	30,00	28,95	0,05	1,80	50	126,12	118,9
80	32,00	30,88	0,05	1,80	50	131,50	114,1
85	34,00	32,81	0,05	1,80	50	136,90	109,6
90	36,00	34,74	0,05	1,80	50	142,31	105,4
95	38,00	36,67	0,05	1,80	50	147,73	101,5
100	40,00	38,60	0,05	1,80	50	153,16	97,9

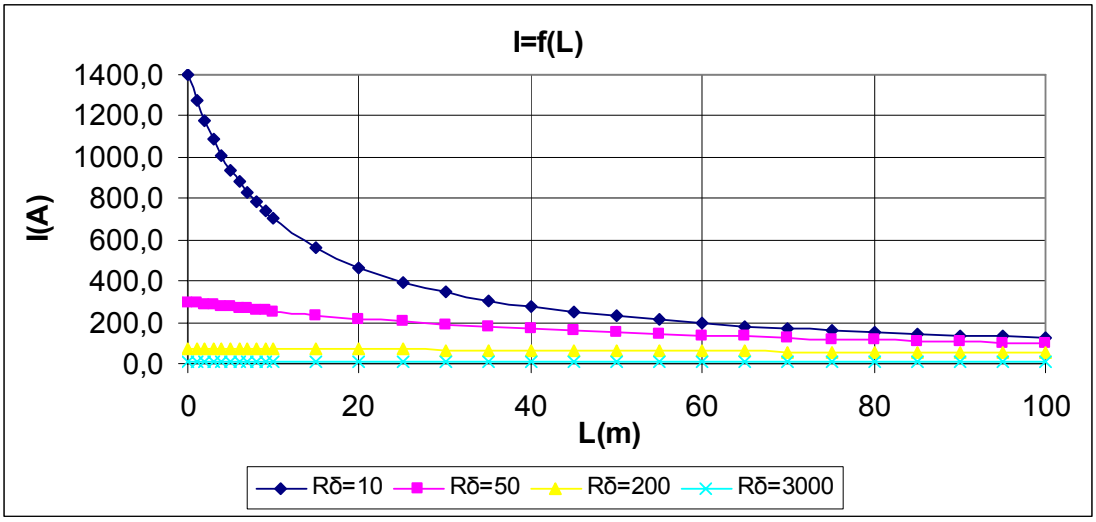
Πίνακας 4.2.2-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,80	200	200,14	74,95
1	0,40	0,39	0,05	1,80	200	200,96	74,64
2	0,80	0,77	0,05	1,80	200	201,77	74,34
3	1,20	1,16	0,05	1,80	200	202,59	74,04
4	1,60	1,54	0,05	1,80	200	203,42	73,74
5	2,00	1,93	0,05	1,80	200	204,24	73,44
6	2,40	2,32	0,05	1,80	200	205,07	73,14
7	2,80	2,70	0,05	1,80	200	205,90	72,85
8	3,20	3,09	0,05	1,80	200	206,74	72,56
9	3,60	3,47	0,05	1,80	200	207,58	72,26
10	4,00	3,86	0,05	1,80	200	208,42	71,97
15	6,00	5,79	0,05	1,80	200	212,65	70,54
20	8,00	7,72	0,05	1,80	200	216,94	69,14
25	10,00	9,65	0,05	1,80	200	221,30	67,78
30	12,00	11,58	0,05	1,80	200	225,70	66,46
35	14,00	13,51	0,05	1,80	200	230,15	65,17
40	16,00	15,44	0,05	1,80	200	234,65	63,92
45	18,00	17,37	0,05	1,80	200	239,20	62,71
50	20,00	19,30	0,05	1,80	200	243,79	61,53
55	22,00	21,23	0,05	1,80	200	248,42	60,38
60	24,00	23,16	0,05	1,80	200	253,08	59,27
65	26,00	25,09	0,05	1,80	200	257,78	58,19
70	28,00	27,02	0,05	1,80	200	262,51	57,14
75	30,00	28,95	0,05	1,80	200	267,28	56,12
80	32,00	30,88	0,05	1,80	200	272,07	55,13
85	34,00	32,81	0,05	1,80	200	276,90	54,17
90	36,00	34,74	0,05	1,80	200	281,75	53,24
95	38,00	36,67	0,05	1,80	200	286,63	52,33
100	40,00	38,60	0,05	1,80	200	291,53	51,45

Πίνακας 4.2.2-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,80	3000	3000,11	5,00
1	0,40	0,39	0,05	1,80	3000	3000,91	5,00
2	0,80	0,77	0,05	1,80	3000	3001,71	5,00
3	1,20	1,16	0,05	1,80	3000	3002,51	5,00
4	1,60	1,54	0,05	1,80	3000	3003,32	4,99
5	2,00	1,93	0,05	1,80	3000	3004,12	4,99
6	2,40	2,32	0,05	1,80	3000	3004,92	4,99
7	2,80	2,70	0,05	1,80	3000	3005,72	4,99
8	3,20	3,09	0,05	1,80	3000	3006,52	4,99
9	3,60	3,47	0,05	1,80	3000	3007,33	4,99
10	4,00	3,86	0,05	1,80	3000	3008,13	4,99
15	6,00	5,79	0,05	1,80	3000	3012,15	4,98
20	8,00	7,72	0,05	1,80	3000	3016,17	4,97
25	10,00	9,65	0,05	1,80	3000	3020,19	4,97
30	12,00	11,58	0,05	1,80	3000	3024,23	4,96
35	14,00	13,51	0,05	1,80	3000	3028,26	4,95
40	16,00	15,44	0,05	1,80	3000	3032,30	4,95
45	18,00	17,37	0,05	1,80	3000	3036,35	4,94
50	20,00	19,30	0,05	1,80	3000	3040,40	4,93
55	22,00	21,23	0,05	1,80	3000	3044,46	4,93
60	24,00	23,16	0,05	1,80	3000	3048,52	4,92
65	26,00	25,09	0,05	1,80	3000	3052,58	4,91
70	28,00	27,02	0,05	1,80	3000	3056,65	4,91
75	30,00	28,95	0,05	1,80	3000	3060,73	4,90
80	32,00	30,88	0,05	1,80	3000	3064,80	4,89
85	34,00	32,81	0,05	1,80	3000	3068,89	4,89
90	36,00	34,74	0,05	1,80	3000	3072,98	4,88
95	38,00	36,67	0,05	1,80	3000	3077,07	4,87
100	40,00	38,60	0,05	1,80	3000	3081,17	4,87

Πίνακας 4.2.2-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.2-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε Α) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος(σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, P_N=25MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

4.2.3 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 15 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,03	0,90	10	10,21	1468,6
1	0,40	0,39	0,03	0,90	10	11,15	1344,8
2	0,80	0,77	0,03	0,90	10	12,12	1237,2
3	1,20	1,16	0,03	0,90	10	13,12	1143,6
4	1,60	1,54	0,03	0,90	10	14,13	1061,8
5	2,00	1,93	0,03	0,90	10	15,15	990,1
6	2,40	2,32	0,03	0,90	10	16,19	926,7
7	2,80	2,70	0,03	0,90	10	17,23	870,5
8	3,20	3,09	0,03	0,90	10	18,28	820,3
9	3,60	3,47	0,03	0,90	10	19,34	775,4
10	4,00	3,86	0,03	0,90	10	20,41	734,9
15	6,00	5,79	0,03	0,90	10	25,79	581,5
20	8,00	7,72	0,03	0,90	10	31,24	480,1
25	10,00	9,65	0,03	0,90	10	36,72	408,5
30	12,00	11,58	0,03	0,90	10	42,22	355,3
35	14,00	13,51	0,03	0,90	10	47,74	314,2
40	16,00	15,44	0,03	0,90	10	53,26	281,6
45	18,00	17,37	0,03	0,90	10	58,79	255,2
50	20,00	19,30	0,03	0,90	10	64,32	233,2
55	22,00	21,23	0,03	0,90	10	69,86	214,7
60	24,00	23,16	0,03	0,90	10	75,40	198,9
65	26,00	25,09	0,03	0,90	10	80,95	185,3
70	28,00	27,02	0,03	0,90	10	86,49	173,4
75	30,00	28,95	0,03	0,90	10	92,04	163,0
80	32,00	30,88	0,03	0,90	10	97,59	153,7
85	34,00	32,81	0,03	0,90	10	103,14	145,4
90	36,00	34,74	0,03	0,90	10	108,69	138,0
95	38,00	36,67	0,03	0,90	10	114,24	131,3
100	40,00	38,60	0,03	0,90	10	119,79	125,2

Πίνακας 4.2.3-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{MΣ}$ = 0,027Ω, $X_{MΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,03	0,90	50	50,09	299,5
1	0,40	0,39	0,03	0,90	50	50,92	294,6
2	0,80	0,77	0,03	0,90	50	51,76	289,8
3	1,20	1,16	0,03	0,90	50	52,62	285,1
4	1,60	1,54	0,03	0,90	50	53,48	280,5
5	2,00	1,93	0,03	0,90	50	54,35	276,0
6	2,40	2,32	0,03	0,90	50	55,23	271,6
7	2,80	2,70	0,03	0,90	50	56,12	267,3
8	3,20	3,09	0,03	0,90	50	57,01	263,1
9	3,60	3,47	0,03	0,90	50	57,92	259,0
10	4,00	3,86	0,03	0,90	50	58,83	255,0
15	6,00	5,79	0,03	0,90	50	63,48	236,3
20	8,00	7,72	0,03	0,90	50	68,27	219,7
25	10,00	9,65	0,03	0,90	50	73,16	205,0
30	12,00	11,58	0,03	0,90	50	78,15	191,9
35	14,00	13,51	0,03	0,90	50	83,20	180,3
40	16,00	15,44	0,03	0,90	50	88,32	169,8
45	18,00	17,37	0,03	0,90	50	93,49	160,4
50	20,00	19,30	0,03	0,90	50	98,70	152,0
55	22,00	21,23	0,03	0,90	50	103,95	144,3
60	24,00	23,16	0,03	0,90	50	109,22	137,3
65	26,00	25,09	0,03	0,90	50	114,53	131,0
70	28,00	27,02	0,03	0,90	50	119,86	125,2
75	30,00	28,95	0,03	0,90	50	125,20	119,8
80	32,00	30,88	0,03	0,90	50	130,57	114,9
85	34,00	32,81	0,03	0,90	50	135,95	110,3
90	36,00	34,74	0,03	0,90	50	141,34	106,1
95	38,00	36,67	0,03	0,90	50	146,75	102,2
100	40,00	38,60	0,03	0,90	50	152,17	98,6

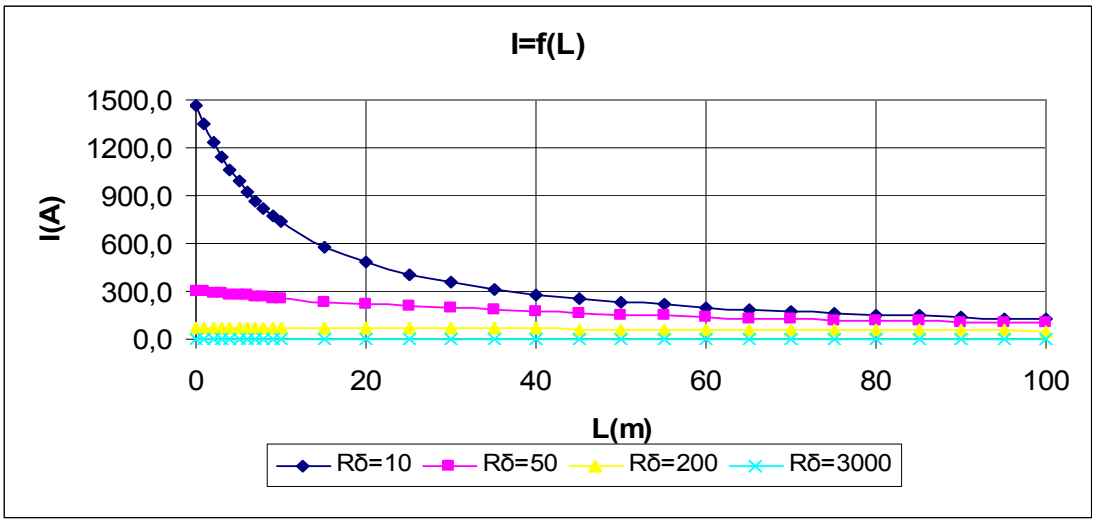
Πίνακας 4.2.3-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,03	0,90	200	200,06	74,98
1	0,40	0,39	0,03	0,90	200	200,87	74,67
2	0,80	0,77	0,03	0,90	200	201,68	74,37
3	1,20	1,16	0,03	0,90	200	202,50	74,08
4	1,60	1,54	0,03	0,90	200	203,31	73,78
5	2,00	1,93	0,03	0,90	200	204,13	73,48
6	2,40	2,32	0,03	0,90	200	204,95	73,19
7	2,80	2,70	0,03	0,90	200	205,78	72,89
8	3,20	3,09	0,03	0,90	200	206,61	72,60
9	3,60	3,47	0,03	0,90	200	207,44	72,31
10	4,00	3,86	0,03	0,90	200	208,27	72,02
15	6,00	5,79	0,03	0,90	200	212,48	70,60
20	8,00	7,72	0,03	0,90	200	216,74	69,21
25	10,00	9,65	0,03	0,90	200	221,06	67,85
30	12,00	11,58	0,03	0,90	200	225,44	66,54
35	14,00	13,51	0,03	0,90	200	229,87	65,25
40	16,00	15,44	0,03	0,90	200	234,34	64,01
45	18,00	17,37	0,03	0,90	200	238,87	62,80
50	20,00	19,30	0,03	0,90	200	243,43	61,62
55	22,00	21,23	0,03	0,90	200	248,03	60,48
60	24,00	23,16	0,03	0,90	200	252,68	59,36
65	26,00	25,09	0,03	0,90	200	257,36	58,28
70	28,00	27,02	0,03	0,90	200	262,07	57,24
75	30,00	28,95	0,03	0,90	200	266,82	56,22
80	32,00	30,88	0,03	0,90	200	271,60	55,23
85	34,00	32,81	0,03	0,90	200	276,40	54,27
90	36,00	34,74	0,03	0,90	200	281,24	53,34
95	38,00	36,67	0,03	0,90	200	286,10	52,43
100	40,00	38,60	0,03	0,90	200	290,98	51,55

Πίνακας 4.2.3-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,03	0,90	3000	3000,05	5,00
1	0,40	0,39	0,03	0,90	3000	3000,86	5,00
2	0,80	0,77	0,03	0,90	3000	3001,66	5,00
3	1,20	1,16	0,03	0,90	3000	3002,46	5,00
4	1,60	1,54	0,03	0,90	3000	3003,26	4,99
5	2,00	1,93	0,03	0,90	3000	3004,06	4,99
6	2,40	2,32	0,03	0,90	3000	3004,86	4,99
7	2,80	2,70	0,03	0,90	3000	3005,66	4,99
8	3,20	3,09	0,03	0,90	3000	3006,46	4,99
9	3,60	3,47	0,03	0,90	3000	3007,27	4,99
10	4,00	3,86	0,03	0,90	3000	3008,07	4,99
15	6,00	5,79	0,03	0,90	3000	3012,08	4,98
20	8,00	7,72	0,03	0,90	3000	3016,10	4,97
25	10,00	9,65	0,03	0,90	3000	3020,13	4,97
30	12,00	11,58	0,03	0,90	3000	3024,16	4,96
35	14,00	13,51	0,03	0,90	3000	3028,19	4,95
40	16,00	15,44	0,03	0,90	3000	3032,23	4,95
45	18,00	17,37	0,03	0,90	3000	3036,27	4,94
50	20,00	19,30	0,03	0,90	3000	3040,32	4,93
55	22,00	21,23	0,03	0,90	3000	3044,38	4,93
60	24,00	23,16	0,03	0,90	3000	3048,43	4,92
65	26,00	25,09	0,03	0,90	3000	3052,50	4,91
70	28,00	27,02	0,03	0,90	3000	3056,56	4,91
75	30,00	28,95	0,03	0,90	3000	3060,64	4,90
80	32,00	30,88	0,03	0,90	3000	3064,71	4,89
85	34,00	32,81	0,03	0,90	3000	3068,79	4,89
90	36,00	34,74	0,03	0,90	3000	3072,88	4,88
95	38,00	36,67	0,03	0,90	3000	3076,97	4,87
100	40,00	38,60	0,03	0,90	3000	3081,07	4,87

Πίνακας 4.2.3-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 15 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.3-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε Α) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος(σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 15 kV, P_N=25MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

4.2.4 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 15 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0	0,00	0,16	5,33	10	14,84	1347,9
1	0,40	0,39	0,16	5,33	10	15,95	1254,0
2	0,80	0,77	0,16	5,33	10	17,06	1172,3
3	1,20	1,16	0,16	5,33	10	18,17	1100,6
4	1,60	1,54	0,16	5,33	10	19,28	1037,2
5	2,00	1,93	0,16	5,33	10	20,39	980,6
6	2,40	2,32	0,16	5,33	10	21,51	930,0
7	2,80	2,70	0,16	5,33	10	22,62	884,3
8	3,20	3,09	0,16	5,33	10	23,73	842,8
9	3,60	3,47	0,16	5,33	10	24,84	805,1
10	4,00	3,86	0,16	5,33	10	25,95	770,6
15	6,00	5,79	0,16	5,33	10	31,51	634,7
20	8,00	7,72	0,16	5,33	10	37,07	539,5
25	10,00	9,65	0,16	5,33	10	42,63	469,2
30	12,00	11,58	0,16	5,33	10	48,18	415,1
35	14,00	13,51	0,16	5,33	10	53,74	372,1
40	16,00	15,44	0,16	5,33	10	59,30	337,3
45	18,00	17,37	0,16	5,33	10	64,86	308,4
50	20,00	19,30	0,16	5,33	10	70,42	284,0
55	22,00	21,23	0,16	5,33	10	75,98	263,2
60	24,00	23,16	0,16	5,33	10	81,54	245,3
65	26,00	25,09	0,16	5,33	10	87,09	229,6
70	28,00	27,02	0,16	5,33	10	92,65	215,9
75	30,00	28,95	0,16	5,33	10	98,21	203,6
80	32,00	30,88	0,16	5,33	10	103,77	192,7
85	34,00	32,81	0,16	5,33	10	109,33	182,9
90	36,00	34,74	0,16	5,33	10	114,89	174,1
95	38,00	36,67	0,16	5,33	10	120,45	166,0
100	40,00	38,60	0,16	5,33	10	126,01	158,7

Πίνακας 4.2.4-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 Ω του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{MΣ}$ = 0,027Ω, $X_{MΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,16	5,33	50	51,44	388,8
1	0,40	0,39	0,16	5,33	50	52,38	381,8
2	0,80	0,77	0,16	5,33	50	53,34	375,0
3	1,20	1,16	0,16	5,33	50	54,29	368,4
4	1,60	1,54	0,16	5,33	50	55,26	361,9
5	2,00	1,93	0,16	5,33	50	56,23	355,7
6	2,40	2,32	0,16	5,33	50	57,20	349,6
7	2,80	2,70	0,16	5,33	50	58,18	343,7
8	3,20	3,09	0,16	5,33	50	59,17	338,0
9	3,60	3,47	0,16	5,33	50	60,16	332,5
10	4,00	3,86	0,16	5,33	50	61,15	327,1
15	6,00	5,79	0,16	5,33	50	66,17	302,3
20	8,00	7,72	0,16	5,33	50	71,27	280,6
25	10,00	9,65	0,16	5,33	50	76,44	261,7
30	12,00	11,58	0,16	5,33	50	81,65	244,9
35	14,00	13,51	0,16	5,33	50	86,91	230,1
40	16,00	15,44	0,16	5,33	50	92,21	216,9
45	18,00	17,37	0,16	5,33	50	97,53	205,1
50	20,00	19,30	0,16	5,33	50	102,88	194,4
55	22,00	21,23	0,16	5,33	50	108,25	184,8
60	24,00	23,16	0,16	5,33	50	113,64	176,0
65	26,00	25,09	0,16	5,33	50	119,04	168,0
70	28,00	27,02	0,16	5,33	50	124,46	160,7
75	30,00	28,95	0,16	5,33	50	129,89	154,0
80	32,00	30,88	0,16	5,33	50	135,33	147,8
85	34,00	32,81	0,16	5,33	50	140,78	142,1
90	36,00	34,74	0,16	5,33	50	146,24	136,8
95	38,00	36,67	0,16	5,33	50	151,70	131,8
100	40,00	38,60	0,16	5,33	50	157,17	127,2

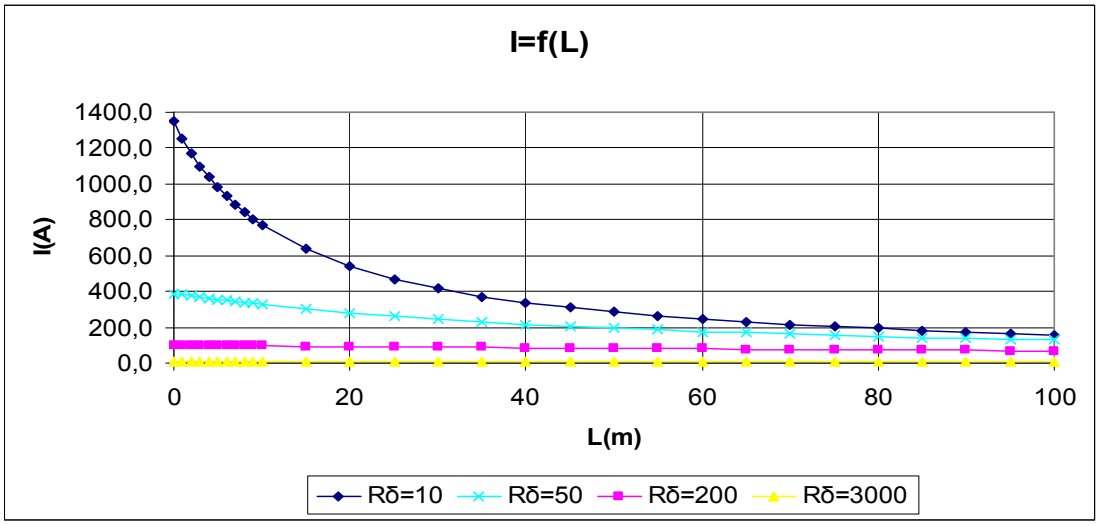
Πίνακας 4.2.4-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 Ω του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,16	5,33	200	200,60	99,70
1	0,40	0,39	0,16	5,33	200	201,44	99,28
2	0,80	0,77	0,16	5,33	200	202,29	98,87
3	1,20	1,16	0,16	5,33	200	203,13	98,46
4	1,60	1,54	0,16	5,33	200	203,98	98,05
5	2,00	1,93	0,16	5,33	200	204,84	97,64
6	2,40	2,32	0,16	5,33	200	205,69	97,23
7	2,80	2,70	0,16	5,33	200	206,55	96,83
8	3,20	3,09	0,16	5,33	200	207,40	96,43
9	3,60	3,47	0,16	5,33	200	208,27	96,03
10	4,00	3,86	0,16	5,33	200	209,13	95,63
15	6,00	5,79	0,16	5,33	200	213,48	93,68
20	8,00	7,72	0,16	5,33	200	217,89	91,79
25	10,00	9,65	0,16	5,33	200	222,35	89,95
30	12,00	11,58	0,16	5,33	200	226,86	88,16
35	14,00	13,51	0,16	5,33	200	231,41	86,43
40	16,00	15,44	0,16	5,33	200	236,00	84,74
45	18,00	17,37	0,16	5,33	200	240,64	83,11
50	20,00	19,30	0,16	5,33	200	245,32	81,53
55	22,00	21,23	0,16	5,33	200	250,03	79,99
60	24,00	23,16	0,16	5,33	200	254,77	78,50
65	26,00	25,09	0,16	5,33	200	259,55	77,06
70	28,00	27,02	0,16	5,33	200	264,36	75,65
75	30,00	28,95	0,16	5,33	200	269,20	74,29
80	32,00	30,88	0,16	5,33	200	274,06	72,98
85	34,00	32,81	0,16	5,33	200	278,95	71,70
90	36,00	34,74	0,16	5,33	200	283,87	70,46
95	38,00	36,67	0,16	5,33	200	288,81	69,25
100	40,00	38,60	0,16	5,33	200	293,77	68,08

Πίνακας 4.2.4-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 Ω του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,16	5,33	3000	3000,34	6,67
1	0,40	0,39	0,16	5,33	3000	3001,14	6,66
2	0,80	0,77	0,16	5,33	3000	3001,94	6,66
3	1,20	1,16	0,16	5,33	3000	3002,75	6,66
4	1,60	1,54	0,16	5,33	3000	3003,55	6,66
5	2,00	1,93	0,16	5,33	3000	3004,36	6,66
6	2,40	2,32	0,16	5,33	3000	3005,16	6,66
7	2,80	2,70	0,16	5,33	3000	3005,96	6,65
8	3,20	3,09	0,16	5,33	3000	3006,77	6,65
9	3,60	3,47	0,16	5,33	3000	3007,57	6,65
10	4,00	3,86	0,16	5,33	3000	3008,38	6,65
15	6,00	5,79	0,16	5,33	3000	3012,40	6,64
20	8,00	7,72	0,16	5,33	3000	3016,43	6,63
25	10,00	9,65	0,16	5,33	3000	3020,47	6,62
30	12,00	11,58	0,16	5,33	3000	3024,51	6,61
35	14,00	13,51	0,16	5,33	3000	3028,55	6,60
40	16,00	15,44	0,16	5,33	3000	3032,60	6,59
45	18,00	17,37	0,16	5,33	3000	3036,66	6,59
50	20,00	19,30	0,16	5,33	3000	3040,72	6,58
55	22,00	21,23	0,16	5,33	3000	3044,78	6,57
60	24,00	23,16	0,16	5,33	3000	3048,85	6,56
65	26,00	25,09	0,16	5,33	3000	3052,93	6,55
70	28,00	27,02	0,16	5,33	3000	3057,00	6,54
75	30,00	28,95	0,16	5,33	3000	3061,09	6,53
80	32,00	30,88	0,16	5,33	3000	3065,18	6,52
85	34,00	32,81	0,16	5,33	3000	3069,27	6,52
90	36,00	34,74	0,16	5,33	3000	3073,37	6,51
95	38,00	36,67	0,16	5,33	3000	3077,47	6,50
100	40,00	38,60	0,16	5,33	3000	3081,57	6,49

Πίνακας 4.2.4-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 Ω του εδάφους. P_N=15MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.4-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε Α) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος(σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, P_N=15MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

4.2.5 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 25 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{MΣ}$ Ω	$X_{MΣ}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,10	3,20	10	12,03	1662,1
1	0,40	0,39	0,10	3,20	10	13,12	1524,0
2	0,80	0,77	0,10	3,20	10	14,22	1406,8
3	1,20	1,16	0,10	3,20	10	15,31	1306,1
4	1,60	1,54	0,10	3,20	10	16,41	1218,7
5	2,00	1,93	0,10	3,20	10	17,51	1142,2
6	2,40	2,32	0,10	3,20	10	18,61	1074,6
7	2,80	2,70	0,10	3,20	10	19,71	1014,5
8	3,20	3,09	0,10	3,20	10	20,82	960,7
9	3,60	3,47	0,10	3,20	10	21,92	912,3
10	4,00	3,86	0,10	3,20	10	23,03	868,5
15	6,00	5,79	0,10	3,20	10	28,56	700,3
20	8,00	7,72	0,10	3,20	10	34,10	586,5
25	10,00	9,65	0,10	3,20	10	39,65	504,4
30	12,00	11,58	0,10	3,20	10	45,20	442,5
35	14,00	13,51	0,10	3,20	10	50,75	394,1
40	16,00	15,44	0,10	3,20	10	56,30	355,2
45	18,00	17,37	0,10	3,20	10	61,85	323,3
50	20,00	19,30	0,10	3,20	10	67,41	296,7
55	22,00	21,23	0,10	3,20	10	72,96	274,1
60	24,00	23,16	0,10	3,20	10	78,52	254,7
65	26,00	25,09	0,10	3,20	10	84,08	237,9
70	28,00	27,02	0,10	3,20	10	89,63	223,1
75	30,00	28,95	0,10	3,20	10	95,19	210,1
80	32,00	30,88	0,10	3,20	10	100,75	198,5
85	34,00	32,81	0,10	3,20	10	106,30	188,1
90	36,00	34,74	0,10	3,20	10	111,86	178,8
95	38,00	36,67	0,10	3,20	10	117,42	170,3
100	40,00	38,60	0,10	3,20	10	122,98	162,6

Πίνακας 4.2.5-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{MΣ}$ = 0,027Ω, $X_{MΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,10	3,20	50	50,60	395,3
1	0,40	0,39	0,10	3,20	50	51,49	388,4
2	0,80	0,77	0,10	3,20	50	52,40	381,7
3	1,20	1,16	0,10	3,20	50	53,31	375,2
4	1,60	1,54	0,10	3,20	50	54,23	368,8
5	2,00	1,93	0,10	3,20	50	55,15	362,6
6	2,40	2,32	0,10	3,20	50	56,09	356,6
7	2,80	2,70	0,10	3,20	50	57,03	350,7
8	3,20	3,09	0,10	3,20	50	57,97	345,0
9	3,60	3,47	0,10	3,20	50	58,92	339,4
10	4,00	3,86	0,10	3,20	50	59,88	334,0
15	6,00	5,79	0,10	3,20	50	64,74	308,9
20	8,00	7,72	0,10	3,20	50	69,70	286,9
25	10,00	9,65	0,10	3,20	50	74,75	267,6
30	12,00	11,58	0,10	3,20	50	79,86	250,4
35	14,00	13,51	0,10	3,20	50	85,03	235,2
40	16,00	15,44	0,10	3,20	50	90,25	221,6
45	18,00	17,37	0,10	3,20	50	95,51	209,4
50	20,00	19,30	0,10	3,20	50	100,79	198,4
55	22,00	21,23	0,10	3,20	50	106,11	188,5
60	24,00	23,16	0,10	3,20	50	111,45	179,5
65	26,00	25,09	0,10	3,20	50	116,81	171,2
70	28,00	27,02	0,10	3,20	50	122,19	163,7
75	30,00	28,95	0,10	3,20	50	127,58	156,8
80	32,00	30,88	0,10	3,20	50	132,99	150,4
85	34,00	32,81	0,10	3,20	50	138,40	144,5
90	36,00	34,74	0,10	3,20	50	143,83	139,0
95	38,00	36,67	0,10	3,20	50	149,27	134,0
100	40,00	38,60	0,10	3,20	50	154,72	129,3

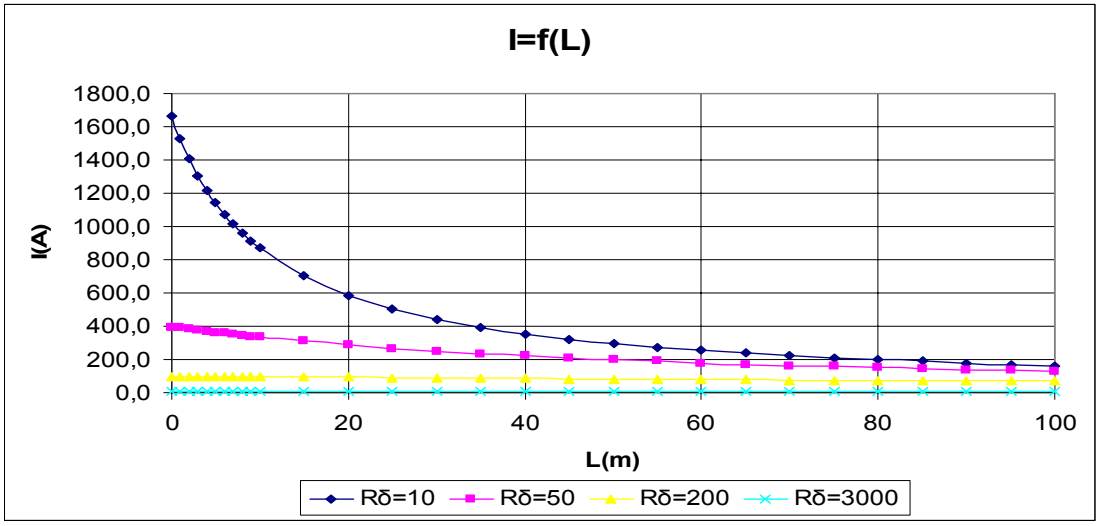
Πίνακας 4.2.5-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{ΜΣ}$ Ω	$X_{ΜΣ}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,10	3,20	200	200,29	99,85
1	0,40	0,39	0,10	3,20	200	201,12	99,44
2	0,80	0,77	0,10	3,20	200	201,95	99,04
3	1,20	1,16	0,10	3,20	200	202,78	98,63
4	1,60	1,54	0,10	3,20	200	203,61	98,23
5	2,00	1,93	0,10	3,20	200	204,45	97,82
6	2,40	2,32	0,10	3,20	200	205,29	97,42
7	2,80	2,70	0,10	3,20	200	206,13	97,03
8	3,20	3,09	0,10	3,20	200	206,97	96,63
9	3,60	3,47	0,10	3,20	200	207,82	96,24
10	4,00	3,86	0,10	3,20	200	208,67	95,85
15	6,00	5,79	0,10	3,20	200	212,95	93,92
20	8,00	7,72	0,10	3,20	200	217,29	92,04
25	10,00	9,65	0,10	3,20	200	221,69	90,22
30	12,00	11,58	0,10	3,20	200	226,13	88,44
35	14,00	13,51	0,10	3,20	200	230,63	86,72
40	16,00	15,44	0,10	3,20	200	235,17	85,05
45	18,00	17,37	0,10	3,20	200	239,75	83,42
50	20,00	19,30	0,10	3,20	200	244,37	81,84
55	22,00	21,23	0,10	3,20	200	249,03	80,31
60	24,00	23,16	0,10	3,20	200	253,73	78,82
65	26,00	25,09	0,10	3,20	200	258,46	77,38
70	28,00	27,02	0,10	3,20	200	263,22	75,98
75	30,00	28,95	0,10	3,20	200	268,02	74,62
80	32,00	30,88	0,10	3,20	200	272,84	73,30
85	34,00	32,81	0,10	3,20	200	277,69	72,02
90	36,00	34,74	0,10	3,20	200	282,57	70,78
95	38,00	36,67	0,10	3,20	200	287,47	69,57
100	40,00	38,60	0,10	3,20	200	292,40	68,40

Πίνακας 4.2.5-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{ΜΣ}$ = 0,027Ω, $X_{ΜΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,10	3,20	3000	3000,20	6,67
1	0,40	0,39	0,10	3,20	3000	3001,00	6,66
2	0,80	0,77	0,10	3,20	3000	3001,80	6,66
3	1,20	1,16	0,10	3,20	3000	3002,60	6,66
4	1,60	1,54	0,10	3,20	3000	3003,41	6,66
5	2,00	1,93	0,10	3,20	3000	3004,21	6,66
6	2,40	2,32	0,10	3,20	3000	3005,01	6,66
7	2,80	2,70	0,10	3,20	3000	3005,82	6,65
8	3,20	3,09	0,10	3,20	3000	3006,62	6,65
9	3,60	3,47	0,10	3,20	3000	3007,42	6,65
10	4,00	3,86	0,10	3,20	3000	3008,23	6,65
15	6,00	5,79	0,10	3,20	3000	3012,25	6,64
20	8,00	7,72	0,10	3,20	3000	3016,27	6,63
25	10,00	9,65	0,10	3,20	3000	3020,30	6,62
30	12,00	11,58	0,10	3,20	3000	3024,34	6,61
35	14,00	13,51	0,10	3,20	3000	3028,38	6,60
40	16,00	15,44	0,10	3,20	3000	3032,42	6,60
45	18,00	17,37	0,10	3,20	3000	3036,47	6,59
50	20,00	19,30	0,10	3,20	3000	3040,52	6,58
55	22,00	21,23	0,10	3,20	3000	3044,58	6,57
60	24,00	23,16	0,10	3,20	3000	3048,65	6,56
65	26,00	25,09	0,10	3,20	3000	3052,72	6,55
70	28,00	27,02	0,10	3,20	3000	3056,79	6,54
75	30,00	28,95	0,10	3,20	3000	3060,87	6,53
80	32,00	30,88	0,10	3,20	3000	3064,95	6,53
85	34,00	32,81	0,10	3,20	3000	3069,04	6,52
90	36,00	34,74	0,10	3,20	3000	3073,13	6,51
95	38,00	36,67	0,10	3,20	3000	3077,23	6,50
100	40,00	38,60	0,10	3,20	3000	3081,33	6,49

Πίνακας 4.2.5-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 Ω του εδάφους. P_N=25MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.5-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε Α) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος(σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, P_N=25MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

4.2.6 Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος, μετασχηματιστής 150 kV/ 20 kV, ονομαστικής ισχύος P_N = 50 MVA

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,60	10	10,59	1888,5
1	0,40	0,39	0,05	1,60	10	11,60	1724,6
2	0,80	0,77	0,05	1,60	10	12,62	1584,7
3	1,20	1,16	0,05	1,60	10	13,66	1464,3
4	1,60	1,54	0,05	1,60	10	14,71	1359,9
5	2,00	1,93	0,05	1,60	10	15,76	1268,7
6	2,40	2,32	0,05	1,60	10	16,83	1188,4
7	2,80	2,70	0,05	1,60	10	17,90	1117,4
8	3,20	3,09	0,05	1,60	10	18,97	1054,1
9	3,60	3,47	0,05	1,60	10	20,05	997,4
10	4,00	3,86	0,05	1,60	10	21,13	946,3
15	6,00	5,79	0,05	1,60	10	26,58	752,4
20	8,00	7,72	0,05	1,60	10	32,07	623,7
25	10,00	9,65	0,05	1,60	10	37,58	532,3
30	12,00	11,58	0,05	1,60	10	43,10	464,1
35	14,00	13,51	0,05	1,60	10	48,63	411,3
40	16,00	15,44	0,05	1,60	10	54,16	369,3
45	18,00	17,37	0,05	1,60	10	59,70	335,0
50	20,00	19,30	0,05	1,60	10	65,24	306,5
55	22,00	21,23	0,05	1,60	10	70,79	282,5
60	24,00	23,16	0,05	1,60	10	76,34	262,0
65	26,00	25,09	0,05	1,60	10	81,89	244,2
70	28,00	27,02	0,05	1,60	10	87,44	228,7
75	30,00	28,95	0,05	1,60	10	92,99	215,1
80	32,00	30,88	0,05	1,60	10	98,54	203,0
85	34,00	32,81	0,05	1,60	10	104,09	192,1
90	36,00	34,74	0,05	1,60	10	109,64	182,4
95	38,00	36,67	0,05	1,60	10	115,20	173,6
100	40,00	38,60	0,05	1,60	10	120,75	165,6

Πίνακας 4.2.6-1: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=10 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,60	50	50,20	398,4
1	0,40	0,39	0,05	1,60	50	51,05	391,8
2	0,80	0,77	0,05	1,60	50	51,91	385,3
3	1,20	1,16	0,05	1,60	50	52,78	378,9
4	1,60	1,54	0,05	1,60	50	53,67	372,7
5	2,00	1,93	0,05	1,60	50	54,55	366,6
6	2,40	2,32	0,05	1,60	50	55,45	360,7
7	2,80	2,70	0,05	1,60	50	56,36	354,9
8	3,20	3,09	0,05	1,60	50	57,27	349,2
9	3,60	3,47	0,05	1,60	50	58,19	343,7
10	4,00	3,86	0,05	1,60	50	59,11	338,3
15	6,00	5,79	0,05	1,60	50	63,83	313,3
20	8,00	7,72	0,05	1,60	50	68,67	291,2
25	10,00	9,65	0,05	1,60	50	73,62	271,7
30	12,00	11,58	0,05	1,60	50	78,64	254,3
35	14,00	13,51	0,05	1,60	50	83,74	238,8
40	16,00	15,44	0,05	1,60	50	88,89	225,0
45	18,00	17,37	0,05	1,60	50	94,08	212,6
50	20,00	19,30	0,05	1,60	50	99,32	201,4
55	22,00	21,23	0,05	1,60	50	104,59	191,2
60	24,00	23,16	0,05	1,60	50	109,89	182,0
65	26,00	25,09	0,05	1,60	50	115,21	173,6
70	28,00	27,02	0,05	1,60	50	120,55	165,9
75	30,00	28,95	0,05	1,60	50	125,91	158,8
80	32,00	30,88	0,05	1,60	50	131,29	152,3
85	34,00	32,81	0,05	1,60	50	136,68	146,3
90	36,00	34,74	0,05	1,60	50	142,09	140,8
95	38,00	36,67	0,05	1,60	50	147,51	135,6
100	40,00	38,60	0,05	1,60	50	152,93	130,8

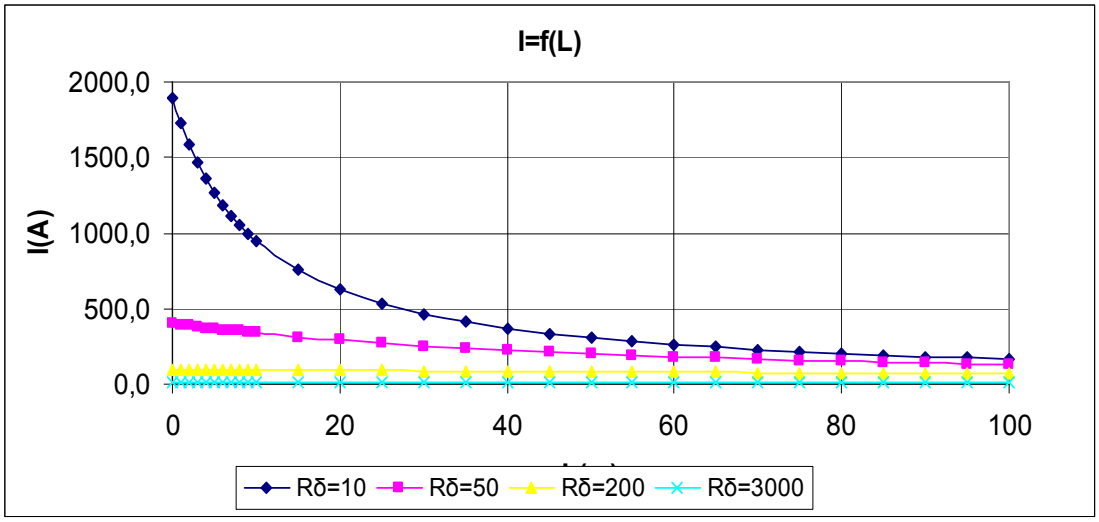
Πίνακας 4.2.6-2: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=50 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km

L km	Rγρ Ω	Χγρ Ω	RΜΣ Ω	ΧΜΣ Ω	Rδ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,60	200	200,12	99,94
1	0,40	0,39	0,05	1,60	200	200,94	99,53
2	0,80	0,77	0,05	1,60	200	201,75	99,13
3	1,20	1,16	0,05	1,60	200	202,57	98,73
4	1,60	1,54	0,05	1,60	200	203,39	98,33
5	2,00	1,93	0,05	1,60	200	204,22	97,93
6	2,40	2,32	0,05	1,60	200	205,05	97,54
7	2,80	2,70	0,05	1,60	200	205,88	97,15
8	3,20	3,09	0,05	1,60	200	206,71	96,75
9	3,60	3,47	0,05	1,60	200	207,54	96,37
10	4,00	3,86	0,05	1,60	200	208,38	95,98
15	6,00	5,79	0,05	1,60	200	212,61	94,07
20	8,00	7,72	0,05	1,60	200	216,90	92,21
25	10,00	9,65	0,05	1,60	200	221,24	90,40
30	12,00	11,58	0,05	1,60	200	225,64	88,64
35	14,00	13,51	0,05	1,60	200	230,09	86,92
40	16,00	15,44	0,05	1,60	200	234,58	85,26
45	18,00	17,37	0,05	1,60	200	239,12	83,64
50	20,00	19,30	0,05	1,60	200	243,71	82,07
55	22,00	21,23	0,05	1,60	200	248,33	80,54
60	24,00	23,16	0,05	1,60	200	252,99	79,05
65	26,00	25,09	0,05	1,60	200	257,69	77,61
70	28,00	27,02	0,05	1,60	200	262,41	76,22
75	30,00	28,95	0,05	1,60	200	267,18	74,86
80	32,00	30,88	0,05	1,60	200	271,97	73,54
85	34,00	32,81	0,05	1,60	200	276,79	72,26
90	36,00	34,74	0,05	1,60	200	281,64	71,01
95	38,00	36,67	0,05	1,60	200	286,51	69,81
100	40,00	38,60	0,05	1,60	200	291,41	68,63

Πίνακας 4.2.6-3: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=200 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{ΜΣ}$ = 0,027Ω, $X_{ΜΣ}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², $R_γ$/km = 0,400 Ω/km, $X_γ$/km= 0,386 Ω/km

L km	R_γ Ω	X_γ Ω	$R_{M\Sigma}$ Ω	$X_{M\Sigma}$ Ω	R_δ Ω	Z Ω	I A
0	0,00	0,00	0,05	1,60	3000	3000,10	6,67
1	0,40	0,39	0,05	1,60	3000	3000,90	6,66
2	0,80	0,77	0,05	1,60	3000	3001,70	6,66
3	1,20	1,16	0,05	1,60	3000	3002,50	6,66
4	1,60	1,54	0,05	1,60	3000	3003,30	6,66
5	2,00	1,93	0,05	1,60	3000	3004,10	6,66
6	2,40	2,32	0,05	1,60	3000	3004,91	6,66
7	2,80	2,70	0,05	1,60	3000	3005,71	6,65
8	3,20	3,09	0,05	1,60	3000	3006,51	6,65
9	3,60	3,47	0,05	1,60	3000	3007,31	6,65
10	4,00	3,86	0,05	1,60	3000	3008,12	6,65
15	6,00	5,79	0,05	1,60	3000	3012,13	6,64
20	8,00	7,72	0,05	1,60	3000	3016,15	6,63
25	10,00	9,65	0,05	1,60	3000	3020,18	6,62
30	12,00	11,58	0,05	1,60	3000	3024,21	6,61
35	14,00	13,51	0,05	1,60	3000	3028,25	6,60
40	16,00	15,44	0,05	1,60	3000	3032,29	6,60
45	18,00	17,37	0,05	1,60	3000	3036,33	6,59
50	20,00	19,30	0,05	1,60	3000	3040,38	6,58
55	22,00	21,23	0,05	1,60	3000	3044,44	6,57
60	24,00	23,16	0,05	1,60	3000	3048,50	6,56
65	26,00	25,09	0,05	1,60	3000	3052,56	6,55
70	28,00	27,02	0,05	1,60	3000	3056,63	6,54
75	30,00	28,95	0,05	1,60	3000	3060,71	6,53
80	32,00	30,88	0,05	1,60	3000	3064,78	6,53
85	34,00	32,81	0,05	1,60	3000	3068,87	6,52
90	36,00	34,74	0,05	1,60	3000	3072,96	6,51
95	38,00	36,67	0,05	1,60	3000	3077,05	6,50
100	40,00	38,60	0,05	1,60	3000	3081,15	6,49

Πίνακας 4.2.6-4: Διφασικό σφάλμα μέσω της αντίστασης Rδ=3000 Ω του εδάφους. P_N=50MVA, ΜΣ 150 kV / 20 kV: $R_{M\Sigma}$ = 0,027Ω, $X_{M\Sigma}$= 0,900Ω, Γραμμή ACSR 50mm², R_γ/km = 0,400 Ω/km, X_γ/km= 0,386 Ω/km



Σχήμα 4.2.6-1: Τιμή ρεύματος ροής προς γη (σε Α) συναρτήσει της απόστασης του σφάλματος(σε km) από το μετασχηματιστή 150 kV / 20 kV, P_N=50MVA, για Rδ= 10, 50, 200, 3000 Ω

Παρατηρούμε ότι αν εφαρμόσουμε τον τύπο (3.3.3-5), η διαφορά θερμοκρασίας που προκύπτει είναι πολύ μεγάλη, στην περίπτωση του διφασικού σφάλματος μέσω της αντίστασης της γης. Οι προστασίες ίσως δεν απομονώσουν το σφάλμα έγκαιρα, γεγονός που θα προκαλέσει πυρκαγιά. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των υπολογισμών τόσο για αυτήν την περίπτωση όσο και για την περίπτωση βραχυκυκλώματος από την επαφή των δύο αγωγών.

5. Σχόλια επί των αποτελεσμάτων

5.1 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα από την περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος από επαφή δύο αγωγών στο έδαφος(ή στον αέρα)

Για να είναι ασφαλής ο αγωγός ACSR (αλουμινίου) θα πρέπει, σύμφωνα με τη σχέση $\Delta\Theta \leq 140\ ^{o}C$ (3.2.4-7), η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού κατά τη θερμική του καταπόνηση από το διφασικό βραχυκύκλωμα να μην υπερβαίνει τους 140 ^{o}C. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η θερμοκρασία τήξης του αλουμινίου είναι 660 ^{o}C, ενώ του χαλύβδινου πυρήνα του αγωγού ACSR είναι 1530 ^{o}C. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, λοιπόν, και από τους υπολογισμούς για τη μέγιστη θερμική καταπόνηση ($\Delta\theta 4$) των αγωγών ACSR 50mm^2 κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα (Παράγραφοι 4.1.1-4.1.6), προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Στις περιπτώσεις διφασικού βραχυκυκλώματος στο έδαφος (ή στον αέρα), για ΜΣ 150 kV/ 15 kV, P_N = 25 MVA και t=1, για ΜΣ 150 kV/ 15 kV, P_N = 50 MVA και ΜΣ 150 kV/ 15 kV, P_N =50 MVA για όλους τους χρόνους, (4.1.2 για t=1 sec, 4.1.3 και 4.1.6), οι αγωγοί ACSR 50mm^2 είναι ακατάλληλοι για χρήση στις γραμμές κορμού καθώς υφίστανται υπερθέρμανση άνω των επιτρεπτών ορίων. Παρατηρούμε δηλαδή ότι ο αγωγός διατομής 50mm^2, δεν είναι κατάλληλος για 50 MVA. Απαιτείται λοιπόν η χρήση αγωγού μεγαλύτερης διατομής τουλάχιστον στα 5 πρώτα χιλιόμετρα στις γραμμές κορμού.

5.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα από την περίπτωση διφασικού σφάλματος μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους κατά την αποκοπή δυο αγωγών και πτώση τους στο έδαφος

Όπως αναφέρθηκε στο διφασικό σφάλμα στο έδαφος οι δυο αγωγοί δε βρίσκονται σε άμεση επαφή, αλλά κλείνουν κύκλωμα μέσω της αντίστασης R_δ του εδάφους. Συνεπώς, η συνολική αντίσταση σε αυτήν την περίπτωση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αντίσταση στην περίπτωση άμεσης επαφής των δυο αγωγών, οπότε το ρεύμα που τους διαρρέει θα είναι μικρότερο. Η θερμική καταπόνηση των αγωγών κατά την αποκοπή και πτώση τους στο έδαφος είναι μικρότερη σε σχέση με το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα.

Στις εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης ο χρόνος που χρειάζονται οι διακόπτες για να απομονώσουν ένα βραχυκύκλωμα είναι από 0.15sec εώς1sec και η προσπάθεια από τους αυτόματους διακόπτες ελαίου (ΑΔΕ) ή διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ) να διακόψουν το βραχυκύκλωμα και να επαναηλεκτροδοτήσουν τη γραμμή γίνεται αυτομάτως κατ' επανάληψη και σε κλάσμα δευτερολέπτου κάθε φορά, μέχρι 3 φορές συνολικά.

Όμως ο χρόνος ανάφλεξης για διάφορα υλικά, είναι της τάξεως του msec και επομένως οι προστασίες ίσως δεν απομονώσουν το σφάλμα έγκαιρα και πιθανώς να υπάρξουν προϋποθέσεις πυρκαγιάς αν η υποκείμενη της γραμμής περιοχή έχει την απαιτούμενη προς τούτο καύσιμη ύλη. Σύμφωνα μάλιστα με τον τύπο (3.3.3-5) για t>t1 οι θερμοκρασίες που λαμβάνονται είναι πολύ υψηλές και έχουμε ανάφλεξη για οποιοδήποτε υλικό και ο αγωγός τήκεται.

Επιπλέον, οι διακόπτες ή οι ασφάλειες προστασίας ενεργοποιούνται ή τήκονται αντίστοιχα κάθε φορά που το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sw} ξεπερνά το ρεύμα ονομαστικής τιμής $I_{\alpha,ov}$ των προστασιών (I_{sw}> $I_{\alpha,ov}$). Δυο τυπικές τιμές π.χ. από το δίκτυο διανομής μέσης τάσης της Κεφαλλονιάς είναι $I_{\alpha,ov}$=50A και 80A. Είναι σαφές λοιπόν ότι όταν I < Iα,ον δεν πρόκειται για ρεύμα βραχυκύκλωσης, αλλά για ρεύμα διαρροής προς γη, οπότε οι προστασίες δε θα λειτουργήσουν και υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη ζωή σε περίπτωση άμεσης επαφής καθώς και κίνδυνος υπερθέρμανσης των αγωγών. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτό συμβαίνει όταν η αντίσταση του εδάφους είναι μεγάλη. Επομένως, σε περίπτωση αποκοπής και πτώσης δυο αγωγών στο έδαφος, θα δημιουργηθεί ρεύμα διαρροής στους δυο αγωγούς που είναι επικίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή.

Σε περίπτωση που η αποκοπή των αγωγών γίνει προς την πλευρά του καταναλωτή, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω δε θα υπάρξει ροή ρεύματος και η αύξηση της

θερμοκρασίας των αγωγών θα είναι μικρότερη από 55oC, σύμφωνα με τη δοκιμή υπερθέρμανσης [9], και συνεπώς δε συντρέχει κανένας κίνδυνος πυρκαγιάς.

5.2.1 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). [25] Οι διακόπτες ή οι ασφάλειες προστασίας ενεργοποιούνται ή τήκονται αντίστοιχα κάθε φορά που το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sw} ξεπερνά το ρεύμα ονομαστικής τιμής $I_{\alpha,ov}$ των προστασιών ($I_{sw}>I_{\alpha,ov}$). 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 < Iα,ον, 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.

Μια λύση 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. 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 διαφορική προστασία εντάσεως (current balance) χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς, όμως τα μειονεκτήματα 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 [25].

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. Σήμερα όμως, με τη χρήση ψηφιακών ηλεκτρονόμων που

συνεργάζονται μέσω τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, η διαφορική προστασία των γραμμών μεταφοράς έχει γίνει δημοφιλής [26].

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

Μια δεύτερη λύση είναι η εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακής ζεύξης μεταξύ των δυο 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 της γραμμής προς την αρχή της γραμμής, όπου είναι εγκατεστημένος ένας ψηφιακός ηλεκτρονόμος και τρεις διακόπτες ισχύος για κάθε φάση. Σε περίπτωση που κοπεί κάποιος αγωγός από τις φάσεις a, b, c σταματάει η λήψη του αντίστοιχου σήματος από τον ψηφιακό ηλεκτρονόμο οπότε στέλνει εντολή στον αντίστοιχο διακόπτη ισχύος στην αρχή της γραμμής 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. Τα συστήματα PLC με ισχύ εξόδου των 10 W είναι αξιόπιστα μέχρι 100 μίλια, ενώ με ισχύ εξόδου των 100 W είναι αποτελεσματικά για πάνω από 150 μίλια [26]. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου προστασίας είναι το υψηλότερο κόστος και πιθανά προβλήματα θορύβου στα μεταδιδόμενα σήματα λόγω κεραυνών, σφαλμάτων, διακοπτικών και άλλων φαινομένων που δημιουργούν τόξο [26].

6. Βιβλιογραφία

[1]. Παπαδόπουλος Π. Μ., «Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος Ι, Εκδόσεις ΕΜΠ , Αθήνα 1994

[2]. Βουρνάς Κ. και Κονταξής Γ., «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 2001

[3]. Παπαδιάς Κ. Β., «Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας», Αθήνα 1999

[4]. Μπούρκας Δ. Π., «Ασκήσεις Βιομηχανικών και Κτιριακών Εγκαταστάσεων», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2008

[5]. Βασίλειος Κ. Παπαδιάς., «Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος Ι, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1985

[6]. Δημόπουλος Φ. Ι. και Τσαραμιάδης Π., «Δίκτυα Σταθμοί», Εκδόσεις Ήβος.

[7]. GERS J.M., HOLMES E.J., Protection of Electricity Distribution Networks 2nd Edition, IEE Power & Energy Series 47

[8]. NASAR S.A., TRUTT F.C., Electric Power Systems, CRC Press

[9]. Μπούρκας Δ. Π., Καραγιαννόπουλος Κ. Γ., «Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Διατάξεις και Υλικά», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.

[10]. Μπούρκας Δ. Π., «Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1998

[11]. PHILLIPPOW E., Taschenbuch Elektrotechnik, Band 2 Starkstromtecnik, VEB Verlag Technik Berlin, 1966

[12]. Βίλλιας Γ. Α., Μερμιγκας Α. Χ., Πυργιώτη Ε. Χ., Μπούρκας Δ. Π. «Θερμική Συμπεριφορά Γραμμών Κορμού Διανομής Μέσης Τάσης κατά το Βραχυκύκλωμα στον Αέρα», 3ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη, 2009.

[13]. Ντοκόπουλος Π. «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2005.

[14]. Τσανάκας Κ. Δ., «Συμμετρικές Συνιστώσες και Ανάλυση Σφαλμάτων στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ξάνθη 1985

[15]. Τσακόπουλος Α. Α. «Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 1973

[16]. Πολυκράτη Α. Δ. «Συμπεριφορά Στατικών Ηλεκτρικών Συνδέσμων υπό Ταχέως Μεταβαλλόμενες Ηλεκτρικές Καταπονήσεις», PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 2005

[17]. Παΐσιος, «Θερμική Συμπεριφορά Στατικών Ηλεκτρικών Επαφών υπό Συνεχές ή Κεραυνικό Ρεύμα», PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 2007

[18]. Φιλιππάκου Μ. Π., Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων και πειραματική διερεύνηση θερμικών και ηλεκτρικοί φαινομένων καταπόνησης σε επαφές διακοπτών. PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 1999

[19]. Παπαδιάς Β.Κ., «Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1985

[20]. WALTER M., Kurtzschlußtröme in Drehstromnetzeu, Oldenburg Verlag, München

[21]. Β.Σέλουντος, Σ.Πέρδιος, Παπαϊωάννου Γ. και Χασιανός Κ., Πυρασφάλεια, εφαρμοσμένη πυροπροστασία και στοιχεία πυρόσβεσης, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1998

[22]. HUTTE, Taschenbuch fur Betriebsingeure, Band Ц

[23]. HOLM R, Electric contacts. Theory and applications, Springler-Verlag Berlin

[24]. YUNUS A. CENGEL: Heat Transfer : A Practical Approach - McGraw-Hill, 1998,

[25]. J. LEWIS BLACKBURN, THOMAS J. DOMIN : Protective Relaying Principles and Applications, Third Edition - 2006 by Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press

[26]. STANLEY H. HOROWITZ, ARUN G. PHADKE : Power System Relaying, Third Edition - 2008 Research Studies Press Limited and John Wiley & Sons, Ltd.