



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

**Εκτίμηση των συνεπειών εξαιτίας ενός διαφασικού σφάλματος δύο
αγωγών ACSR 95mm² του Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης
Τάσης της ΔΕΗ, ηλεκτροδοτούμενο από Κέντρο Διανομής 15 ή 25 ή
50 MVA**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ν. Γεωργόπουλος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2009

*Στους γονείς μου
και τον αδελφό μου*



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

**Εκτίμηση των συνεπειών εξαιτίας ενός διφασικού σφάλματος δύο
αγωγών ACSR 95mm² του Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης
Τάσης της ΔΕΗ, ηλεκτροδοτούμενο από Κέντρο Διανομής 15 ή 25 ή
50 MVA**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Ν. Γεωργόπουλος

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...^η Ιουλίου 2009

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

.....
Νικόλαος Ι. Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Ιούλιος 2009

.....
Παναγιώτης Ν. Γεωργόπουλος

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

Copyright © Παναγιώτης Ν. Γεωργόπουλος, 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.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη του διφασικού σφάλματος μεταξύ δύο αγωγών $ACSR95mm^2$ μιας γραμμής Μέσης Τάσης του εναέριου δικτύου διανομής. Σε πρώτη φάση (Μέρος Α) μελετώνται οι θερμικές καταπονήσεις πάνω στους αγωγούς κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα εξαιτίας της επαφής των δύο αγωγών $ACSR95mm^2$ είτε στον αέρα είτε στο έδαφος. Εξετάζουμε την περίπτωση εκδήλωσης του σφάλματος σε κάποιο από τα 100 πρώτα χιλιόμετρα της γραμμής ($L=0-100km$). Σε αυτό το στάδιο λαμβάνουμε υπόψη μας τη λειτουργία των Διακόπτων Αυτόματης Επαναφοράς (ΔΑΕ) που επιδρά σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας των αγωγών.

Σε δεύτερη φάση (Μέρος Β) μελετάται η περίπτωση αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο αγωγών $ACSR95mm^2$. Και εδώ, εξετάζουμε την πιθανότητα το σφάλμα να συμβεί σε κάποιο από τα 100 πρώτα χιλιόμετρα της γραμμής ($L=0-100km$). Για αυτή την περίπτωση αρχικά υπολογίζεται το ρεύμα που διέρχεται μέσω της γης (I_g) ανάλογα με την τιμή της αντίστασης διάβασης (R_g) που θα συναντήσει στο έδαφος. Επίσης γίνεται υπολογισμός της ισχύος που καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_g . Εν συνεχεία, ερευνάται κατά πόσο είναι πιθανή η εκδήλωση πυρκαγιάς εξαιτίας της ύπαρξης κάποιου εύφλεκτου υλικού στην περιοχή του σφάλματος.

Η ανάλυση που πραγματοποιείται στο Μέρος Α (διφασικό βραχυκύκλωμα), μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υπερθέρμανση του αγωγού εξαιτίας της εκδήλωσης διφασικού βραχυκυκλώματος, δεν ξεπερνά σε καμία περίπτωση τα επιτρεπτά όρια. Επομένως συμπεραίνουμε πως οι αγωγοί $ACSR95mm^2$ είναι απόλυτα ασφαλείς για χρησιμοποίηση σε γραμμές κορμού.

Από την ανάλυση που πραγματοποιείται στο Μέρος Β οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η αποκοπή και πτώση στο έδαφος δύο αγωγών $ACSR95mm^2$ δημιουργεί σημαντικό κίνδυνο πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, τα ρεύματα που ρέουν μέσω της γης είναι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ικανά να προκαλέσουν ανάφλεξη κάποιου εύφλεκτου υλικού. Επομένως, απαιτείται μέριμνα για επιπλέον μέσα προστασίας προκειμένου να επιτύχουμε πλήρη προστασία έναντι πυρκαγιών, αλλά ταυτόχρονα και την απόλυτη προστασία της ανθρώπινης ζωής.

Λέξεις Κλειδιά

Διφασικό Βραχυκύκλωμα, Αποκοπή αγωγού, Εκδήλωση Πυρκαγιάς, Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς, Αγωγός $ACSR95mm^2$, Εναέριος Αγωγός MT

Abstract

In the present diploma thesis, we study the two-phase fault between two conductors ACSR95mm² (*Aluminum Conductor Steel Reinforced with equivalent cross section of copper conductor of 95mm²*) of Middle Voltage overhead distribution network. In the first step (*Section A*) we examine the thermal stress on the conductors during the two-phase short circuit, due to the contact of the conductors either in the air or in the ground. We examine the case the fault is occurring along the first 100km of the line. In this occasion we take into account the function of reclosers, which have a crucial impact in the raise of conductors' temperature.

In the second step, is investigated the cut and fall of two ACSR95mm² conductors on the ground. In the same way as previous, we study the case where the fault is occurring along the first 100km of the line. At first we calculate the current that flows through the ground depending on the value of the *Cross Resistance* (R_{δ}). In addition is calculated the power consumption on the Cross Resistance. Then, is investigated the possibility of a fire breakout because of a flammable material in the region, where the fault takes place.

The analysis of *Section A* (two-phase short circuit) leads us to the conclusion that conductor's overheat because of the short circuit, does not exceed the permitted limits. So, the results demonstrate that the materials are totally safe for usage in main lines of distribution network.

After the analysis in *Section B* we conclude that the cut and fall of two ACSR95mm² conductors on the ground is extremely dangerous to cause fire. Specifically, the currents that flows through the ground in the majority of the cases, are able to cause inflammation of a flammable material. In the conclusion it is necessary to install more specific protection equipment, in order to achieve total protection against fire as well as total protection of human life.

Key Words

Two-phase short circuit, Conductor's fall, Fire breakout, Recloser, ACSR95mm² Conductor, Aerial Middle Voltage Conductor

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον κ. Περικλή Μπούρκα Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π, για την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που βρίσκεται διαρκώς δίπλα μου στηρίζοντας κάθε μου βήμα όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή	10
1.1 Διανομή ηλεκτρικής Ενέργειας	10
1.2 Βραχυκύκλωμα και ζώνες προστασίας	20
1.3 Αγωγοί εναέριων δικτύων	22
1.3.1 Γενικά στοιχεία για τους αγωγούς του δικτύου διανομής Μέσης Τάσης	22
1.3.2 Το επιδερμικό φαινόμενο	24
1.3.3 Ωμική αντίσταση και επαγωγική αντίδραση της εναέριας γραμμής ΜΤ.....	25
1.4 Θερμική καταπόνηση αγωγών κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα	26
1.4.1 Βασικοί ορισμοί	26
1.4.2 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε εναέριο δίκτυο διανομής ...	28
1.4.3 Προσδιορισμός θερμικής καταπόνησης αγωγών κατά το βραχυκύκλωμα.....	30
1.5 Γενικά στοιχεία σχετικά με την πυρκαγιά	32
2. Σκοπός Εργασίας και Περιγραφή του προβλήματος	35
3. Μέρος Α – Διφασικό Βραχυκύκλωμα	37
3.1 Εισαγωγή Μέρους Α	37
3.2 Περιπτώσεις δικτύων	37
3.3 Βασικές σχέσεις και μεγέθη	38
3.4 Κυρίως μέρος υπολογισμών	41
3.4.1 Μετασχηματιστής 150kV/20kV, $S_N=15\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	42
3.4.2 Μετασχηματιστής 150kV/20kV, $S_N=25\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	51
3.4.3 Μετασχηματιστής 150kV/20kV, $S_N=50\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	60
3.4.4 Μετασχηματιστής 150kV/15kV, $S_N=15\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	69
3.4.5 Μετασχηματιστής 150kV/15kV, $S_N=25\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	78
3.4.6 Μετασχηματιστής 150kV/15kV, $S_N=50\text{MVA}$, αγωγοί ACSR95mm ²	87
3.5 Παρατηρήσεις και σχόλια Μέρους Α	96

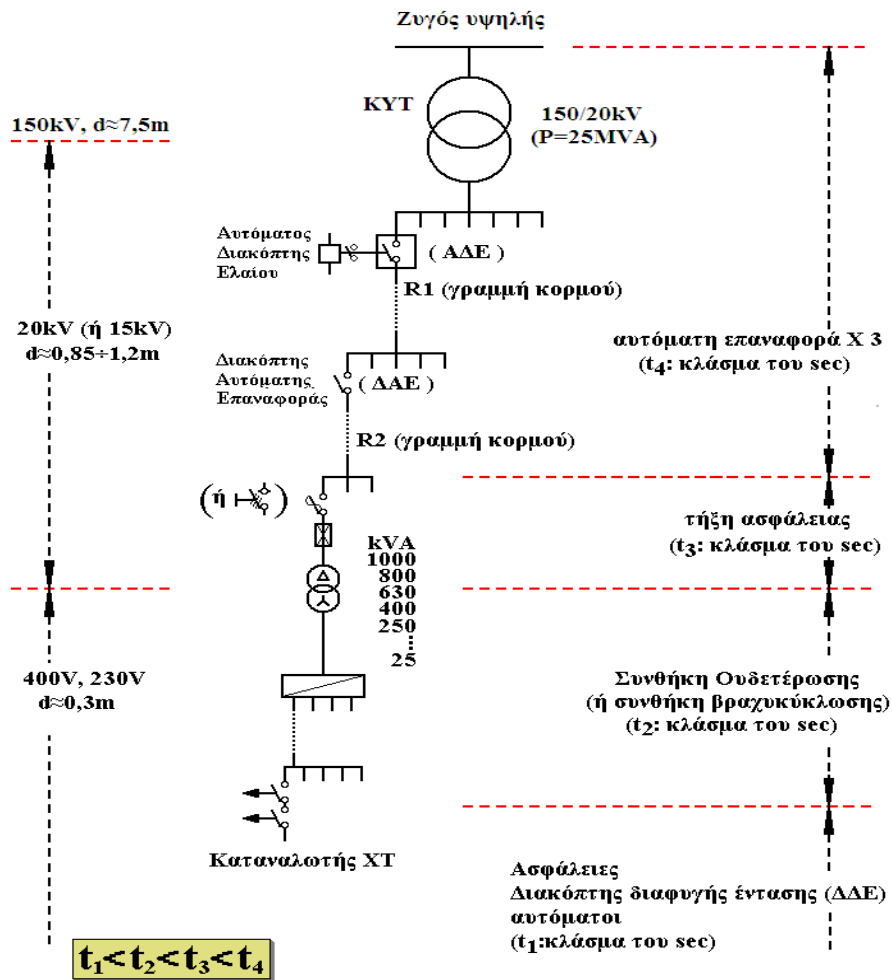
4. Μέρος Β – Εκδήλωση σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω γης	99
4.1 Εισαγωγή Μέρους Β	99
4.2 Περιπτώσεις δικτύων	99
4.3 Βασικές σχέσεις και μεγέθη	100
4.4 Κυρίως μέρους υπολογισμών	102
4.4.1 Μ/Σ 150kV/20kV, $S_N=15\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	103
4.4.2 Μ/Σ 150kV/20kV, $S_N=25\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	108
4.4.3 Μ/Σ 150kV/20kV, $S_N=50\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	113
4.4.4 Μ/Σ 150kV/15kV, $S_N=15\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	118
4.4.5 Μ/Σ 150kV/15kV, $S_N=25\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	123
4.4.6 Μ/Σ 150kV/15kV, $S_N=50\text{MVA}$, αποκοπή αγωγών ACSR95mm ²	128
4.5 Κίνδυνος Πυρκαγιάς	133
4.5.1 Αποκοπή δύο φάσεων προς την πλευρά του καταναλωτή	133
4.5.2 Αποκοπή δύο φάσεων προς την πλευρά του ΚΥΤ	133
4.5.3 Υπολογισμός χρόνων ανάφλεξης για ορισμένα υλικά.....	137
4.6 Μέθοδοι προστασίας γραμμών	142
4.6.1 Τεχνικές προστασίας με χρήση ηλεκτρονόμων	142
4.6.2 Τεχνικές «τηλεπροστασίας».....	145
4.6.3 Προτάσεις αντιμετώπισης των ρευμάτων διαρροής	146
4.7 Σχόλια Μέρους Β.....	149
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 152

1.1 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

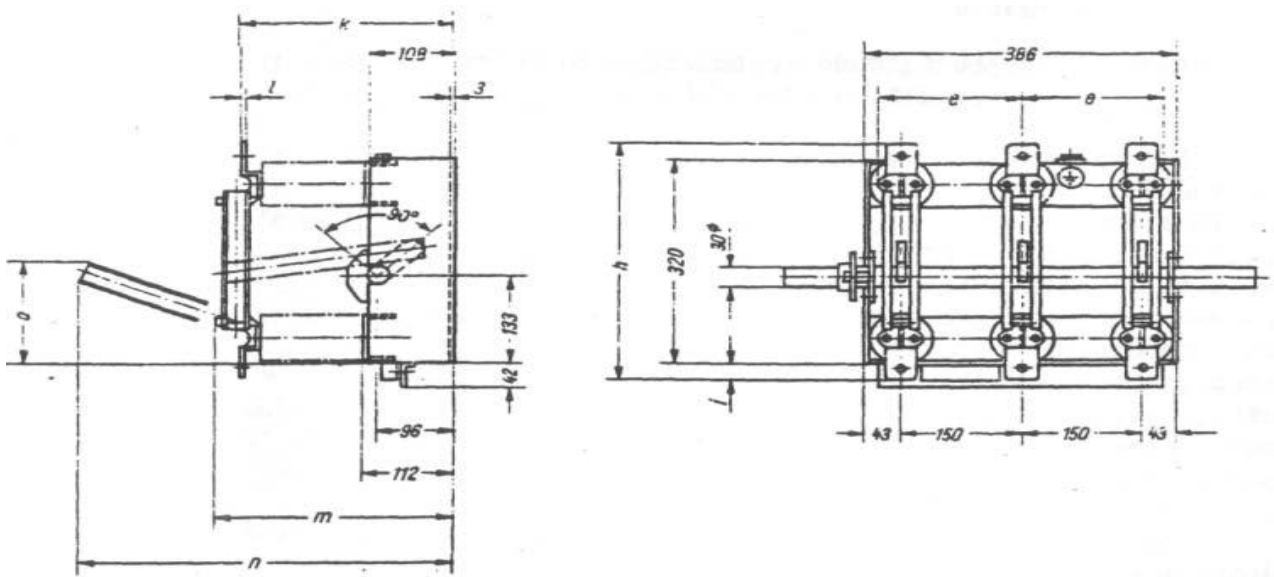
Ο όρος «διανομή ηλεκτρικής ενέργειας» περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης καθώς και τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει έως τους καταναλωτές [4]. 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 [4, 5]. Τα εναέρια δίκτυα πλεονεκτούν έναντι των υπογείων, εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους κατασκευής τους και της εύκολης και ταχείας αποκατάστασης των βλαβών τους. Συνήθως, τα υπόγεια δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων, διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος, ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτήρια, αλλά και για λόγους αισθητικής.

Τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης (MT) του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από μεγάλο πλήθος στοιχείων και έχουν κατά κανόνα δενδροειδή μορφή. Στο Σχήμα 1-1 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 διακοπών ελαίου (ΑΔΕ –βλ. Σχήμα 1-2) 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 95mm² ισοδύναμου χαλκού, ενώ συμβολίζονται στα σχέδια με το γράμμα R και ένα αριθμό (π.χ. R 23) [2, 6, 8, 10, 13, 14]. Καθεμία από τις παραπάνω γραμμές διακλαδίζεται σε ορισμένες γραμμές που αφορούν την ηλεκτροδότηση (τμημάτων της ευρύτερης περιοχής) μέσω διακοπών αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ), οι οποίες ονομάζονται επίσης γραμμές κορμού [2, 10, 13, 14].

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) 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. Λόγω του ότι τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι εκτεθειμένα, η συχνότητα εμφάνισης σφαλμάτων είναι αυξημένη. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε ποσοστό που υπερβαίνει το 80% του συνόλου, τα σφάλματα είναι παροδικά [8, 13].



Σχήμα 1-1: Απλοποιημένο παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 1-2 : Τριπολικός αποζεύκτης μέσης τάσης [1, 2]

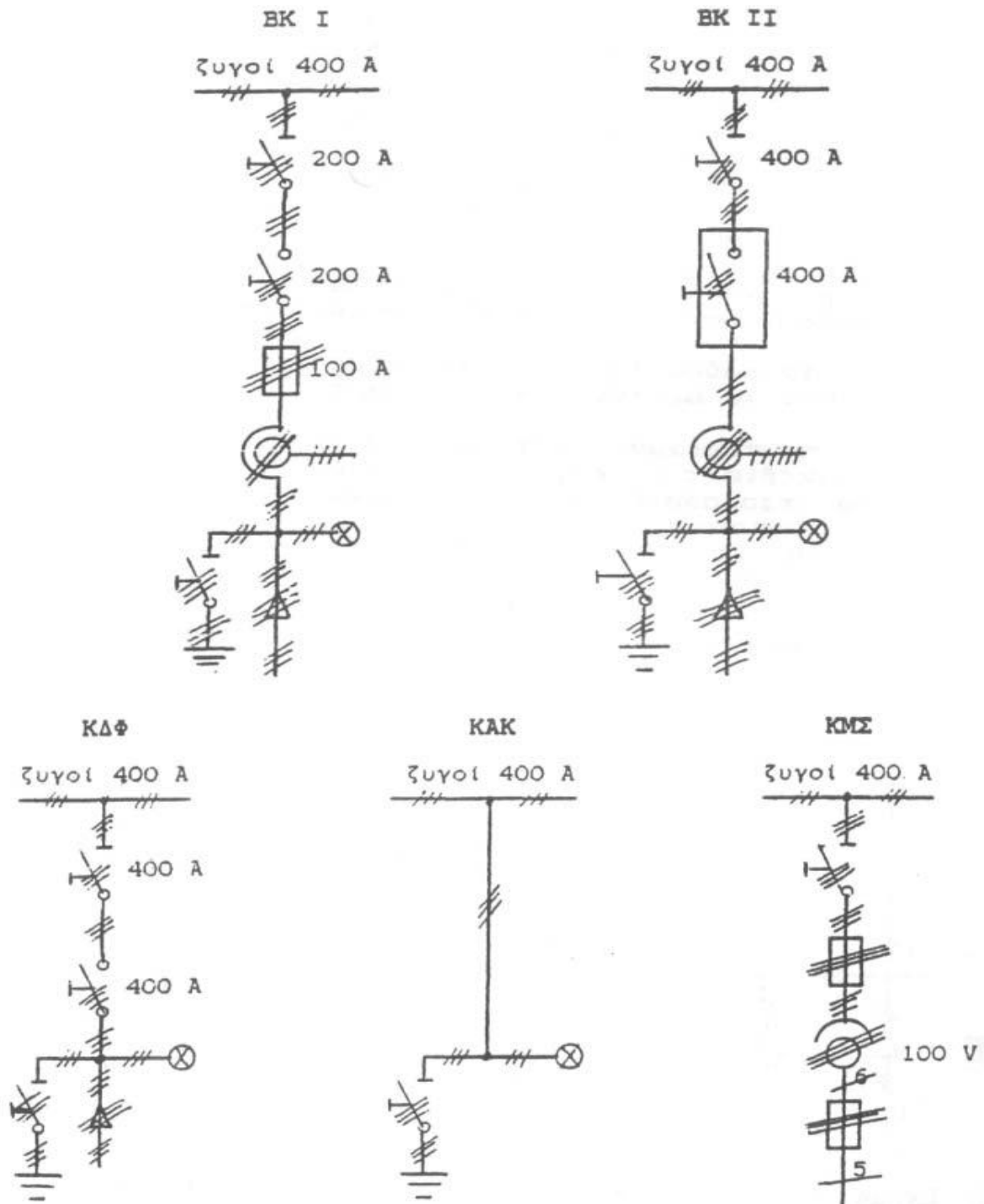
Όταν συμβεί ένα σφάλμα σε μία γραμμή κορμού (π.χ. βραχυκύκλωμα λόγω πτώσης ενός κλαδιού στη γραμμή), τότε ο διακόπτης προστασίας (ΑΔΕ ή ο ΔΑΕ) θα διακόψει αυτομάτως την ηλεκτροδότηση της συγκεκριμένης γραμμής και θα τεθεί αυτομάτως στη *θέση εντός* για να ηλεκτροδοτηθεί η γραμμή και αν υπάρχει ακόμα 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 ηλεκτροδότηση" 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 [1, 2, 3, 11, 12], πολύ δε περισσότερο δεν δημιουργούνται τήγματα μετάλλου από τους αγωγούς).

Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 1-1*, 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 1-1*), 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 1-4* 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 συναντάμε τα βασικά είδη διακοπών καθώς και τους συνδυασμούς τους, που προαναφέρθηκαν. Οι πίνακες του *Σχήματος 1-4* 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 1-1* δίνονται τα τέσσερα τυποποιημένα είδη συγκροτημάτων μέσης τάσης [1, 3].

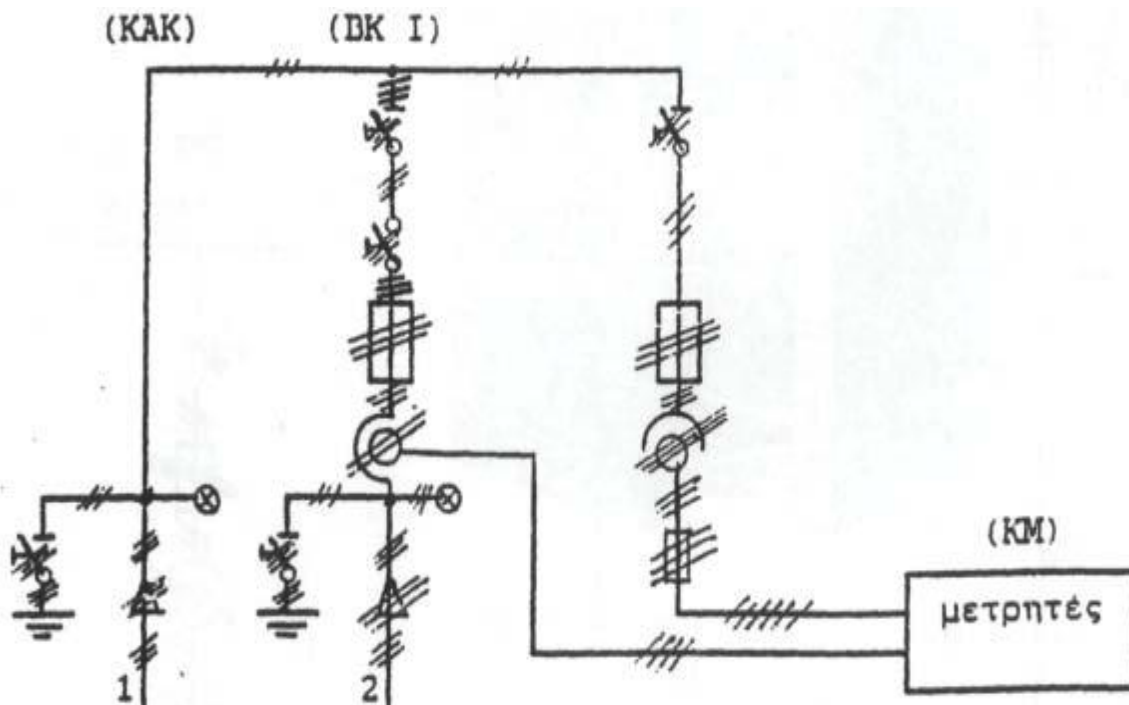
A/A	Σύστημα τροφοδοσίας	Περιλαμβάνει
1	Βροχοειδές σύστημα I	2 ΚΔΦ + 1 ΒΚ I + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
2	Βροχοειδές σύστημα II	2 ΚΔΦ + 1 ΒΚ II + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
3	Ακτινικό σύστημα I	1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ I + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ
4	Ακτινικό σύστημα II	1 ΚΑΚ + 1 ΒΚ II + 1 ΚΜΣ + 1 ΚΜ

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



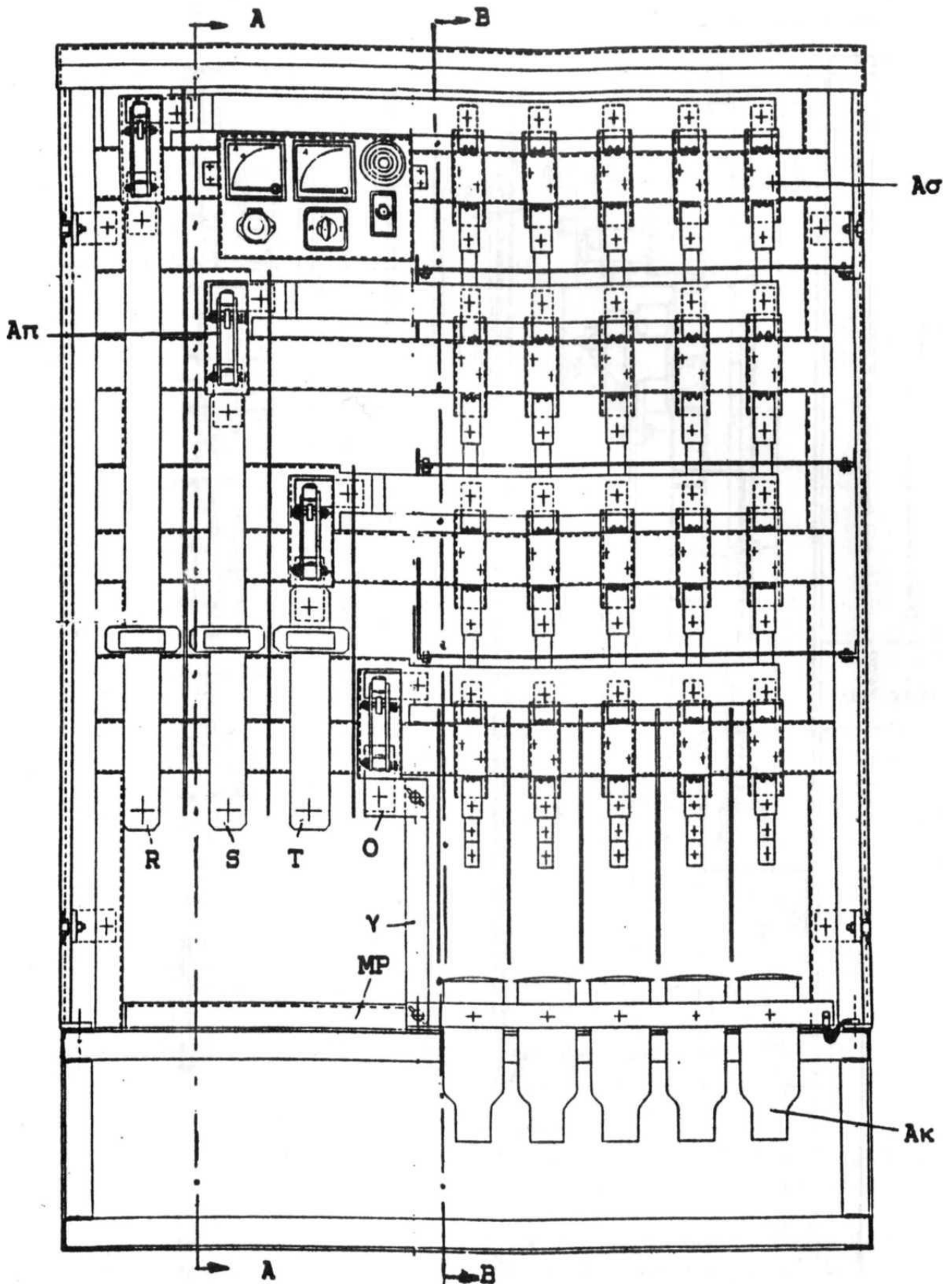
Σχήμα 1-4: Πίνακες (κυψέλες) της Δ.Ε.Η. στη μέση τάση

Στο Σχήμα 1-5 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.



Σχήμα 1-5: Ακτινικό σύστημα τροφοδοσίας (1): από το δίκτυο (2): Προς τον καταναλωτή

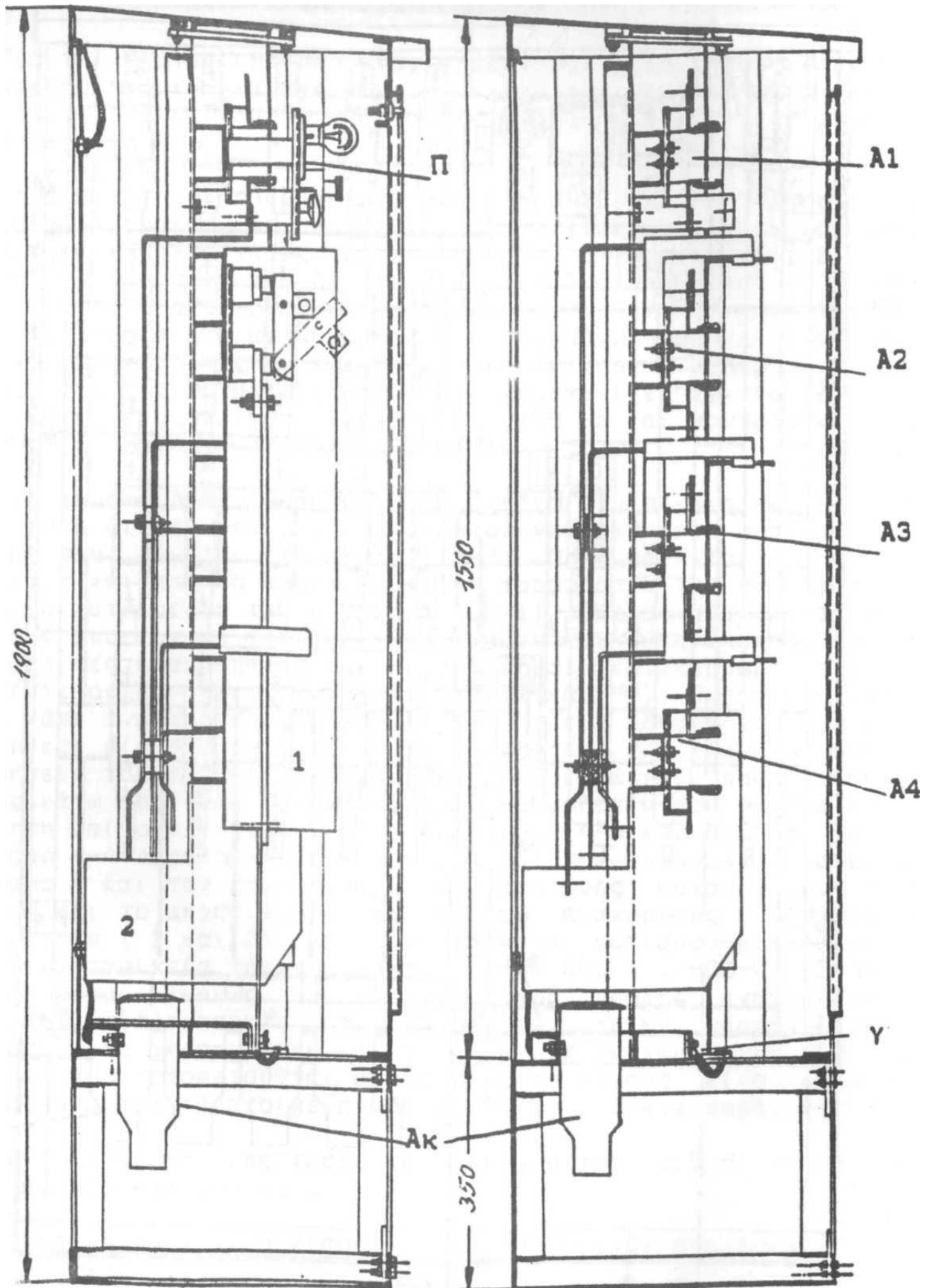
Η παροχή χαμηλής τάσης (400 V, 230 V) στους αντίστοιχους πελάτες Χ.Τ γίνεται μέσω γραμμών χαμηλής τάσης (από γυμνούς αγωγούς ή συνεστραμμένα καλώδια) που ξεκινούν από τον πίνακα χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο) του υποσταθμού (Σχήμα 1). Τα συντεταγμένα καλώδια αποτελούν τη σύγχρονη εξέλιξη των γραμμών διανομής χαμηλής τάσης. 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 1-6 & 1-7), που αφορούν ένα πίνακα 6 διευθύνσεων (ή 5 αναχωρήσεων) ο οποίος αποτελείται από μία τριφασική είσοδο μέσω μονοπολικών αποζευκτών και πέντε τριφασικές αναχωρήσεις. Ο συγκεκριμένος 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) [1, 3]. 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 την Κύπρο. Ακολουθώς παρουσιάζονται δύο μηχανολογικά σχέδια πίνακα 6 διευθύνσεων.



Σχήμα 1-6 : Πίνακας 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η (μία είσοδος και πέντε αναχωρήσεις) [1]. *R, S, T*: ζυγοί φάσεων, *O*: φάση ουδετέρου, *MP*: φάση γείωσης, *Ασ*: ασφαλειοθήκη 400 A – 500 V, *Απ*: μονοπολικός αποζεύκτης 800 A – 500 V, *Ακ*: ακροκυβώτιο, *γ*: γέφυρα μεταξύ *O* και *MP*.

Τομή Α-Α

Τομή Β-Β



Σχήμα 1-7 : Τομή Α – Α και Τομή Β – Β του πίνακα 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η.
A1, A2, A3, A4 : ασφαλειωθήκες 400 Α – 500 V, 1 & 2 : μονωτικά διαχωριστικά, ΑΠ : μονοπολικός αποζεύκτης 800 Α – 500 V, Ακ : ακροκυβώτιο, γ : γέφυρα γείωσης, Π : πίνακας φωτισμού – μετρήσεων.

Η τροφοδοσία του πίνακα και μία αναχώρηση, φαίνονται αναλυτικά στις *Τομές Α-Α και Β-Β* αντίστοιχα. Στην *Τομή Α-Α* παρατηρεί κανείς κυρίως : τον μονοπολικό αποζεύκτη της φάσης R και τον ζυγό (μπάρα) εισόδου προς αυτόν, τους ζυγούς (μπάρες) και το ακροκιβώτιο της πρώτης αναχώρησης, δύο μονωτικά διαχωριστικά (1 και 2) και έναν πίνακα φωτισμού-μετρήσεων. Τα ονομαστικά στοιχεία του απαζεύκτη είναι 800A/500V. Στην *Τομή Β-Β* φαίνονται κυρίως τα στοιχεία της πρώτης αναχώρησης: οι τέσσερις ασφαλειοθήκες, οι ζυγοί των τριών φάσεων και του ουδέτερου, το ακροκιβώτιο και το μονωτικό διαχωριστικό (2). Οι ασφάλειες που τοποθετούνται στους πίνακες αυτούς είναι μαχαιρωτού τύπου και το ονομαστικό ρεύμα τους εξαρτάται από το μέγεθος του μετασχηματιστή, το είδος του αγωγού και το μήκος της γραμμής.

Οι πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. διακρίνονται γενικά σε *δύο κατηγορίες* [1, 3]:

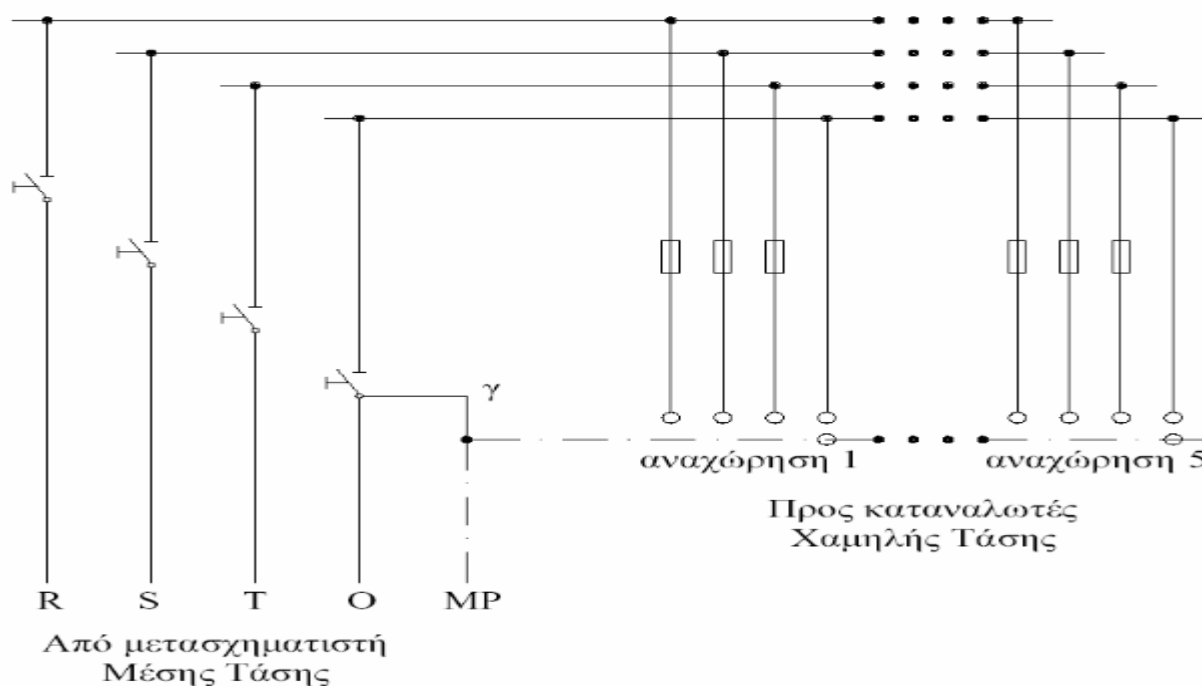
1) πίνακες με τριφασική είσοδο μέσω μονοπολικών αποζευκτών :

α) πίνακες 5 αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων) κατά τα *σχήματα 1-6 έως 1-8*

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

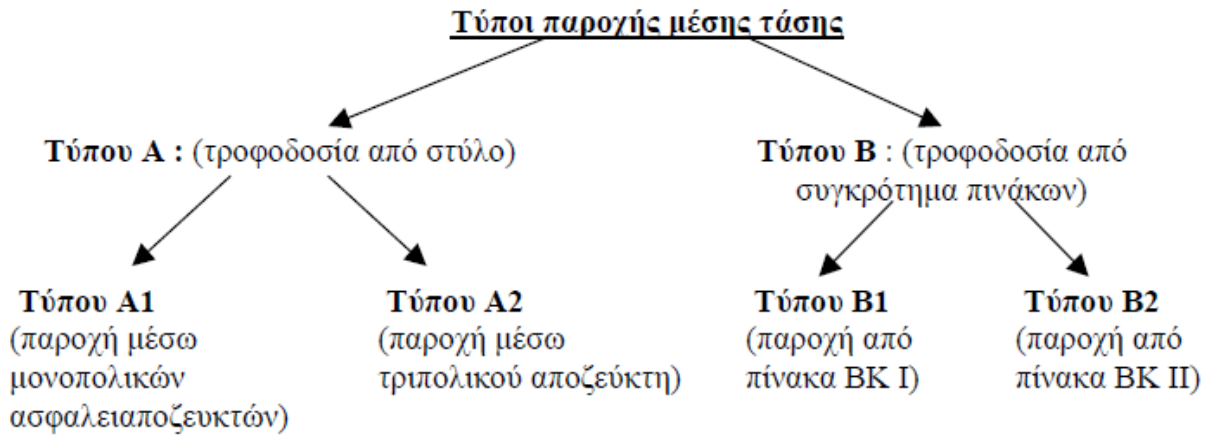
2) τα ασφαλειοκιβώτια (τεσσάρων ή δύο ή μίας αναχώρησης), που είναι εξωτερικού χώρου και δεν έχουν στην είσοδο αποζεύκτες

Ένα απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα πέντε αναχωρήσεων (ή 6 διευθύνσεων), που διευκολύνει στη κατανόηση της λειτουργίας του, δίνεται στο *Σχήμα 1-8*. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό (αλλά και από το *σχήμα 1-6*) 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, O και MP) [1, 3].



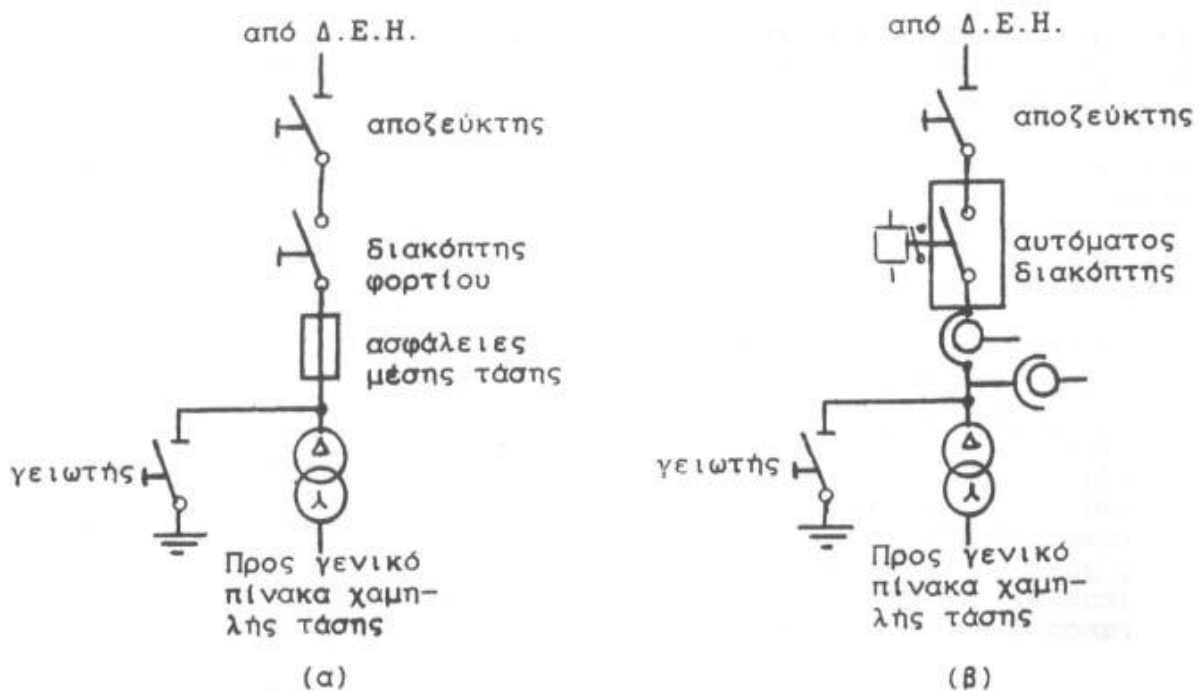
Σχήμα 1-8 : Απλοποιημένο πολυγραμμικό σχέδιο του πίνακα 6 διευθύνσεων του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η. Μονοπολικός αποζεύκτης: 800 A – 500 V, Ασφάλειες: 400 A – 500 V, γ: γέφυρα μεταξύ O και MP

Η παροχή μέσης τάσης σε καταναλωτές, αφορά απορροφώμενες εντάσεις ρεύματος άνω των 200Α 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 δίνονται στο διάγραμμα του Σχήματος 1-9.



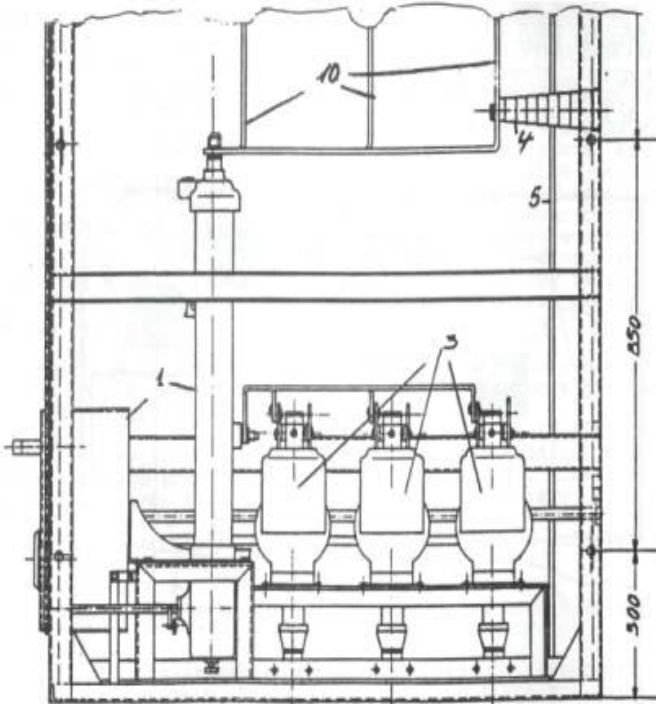
Σχήμα 1-9: Τύποι παροχής μέσης τάσης της Δ.Ε.Η

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα ιδιωτικών υποσταθμών μέσης τάσης, ανάλογα με τον τύπο παροχής, την ονομαστική τάση του δικτύου και την ισχύος του μετασχηματιστή :



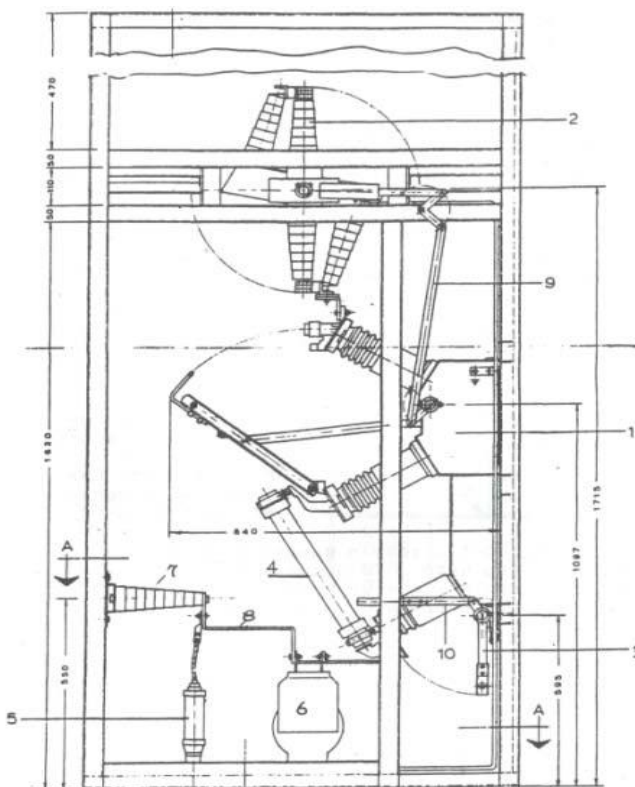
Σχήμα 1-10: Τύποι ιδιωτικών υποσταθμών [2, 3]
(α) μέσω διακόπτη φορτίου και ασφαλειών μέσης τάσης
(β) μέσω αυτόματου διακόπτη

Στη περίπτωση (α) ο χειρισμός της εγκατάστασης γίνεται μέσω έως διακόπτη φορτίου, ενώ στη περίπτωση (β) μέσω ενός αυτόματου διακόπτη. Η προστασία από το βραχυκύκλωμα, στη περίπτωση (α) γίνεται μέσω των ασφαλειών μέσης τάσης, ενώ στη περίπτωση (β) με ηλεκτρονόμους προστασίας, που ενεργούν στο χειριστήριο του αυτόματου διακόπτη. Τέλος, και στις δύο περιπτώσεις, η απομόνωση της εγκατάστασης από το δίκτυο γίνεται μέσω αποζεύκτη και η γείωση της μέσω γειωτή. [3]



Σχήμα 1-10.1: Μέρος της πλάγιας όψης (χωρίς τα εξωτερικά καλύμματα) ενός πίνακα μέσης τάσης με αυτόματο διακόπτη [3].

1. αυτόματος διακόπτης
3. μετασχηματιστές έντασης
4. μονωτήρας στήριξης των ζυγών
5. ζυγός γείωσης
10. ζυγοί προς τον αποζεύκτη



Σχήμα 1-10.2: Πρόοψη (χωρίς εξωτερικά καλύμματα) ενός πίνακα με διακόπτη φορτίου [3].

1. διακόπτης φορτίου
2. αποζεύκτης
3. γειωτής
4. ασφάλειες μέσης τάσης
5. ακροκιβώτιο (3 τεμάχια)
6. μετασχηματιστές έντασης (3 τεμάχια)
7. μονωτήρας στήριξης (3 τεμάχια)
8. ζυγός (3 τεμάχια)
9. μηχανισμός μανδάλωσης (ή αλληλασφάλισης) από τον διακόπτη φορτίου προς τον αποζεύκτη

Όπως είναι γνωστό, 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.

1.2 Βραχυκύκλωμα και Ζώνες προστασίας

“Βραχυκύκλωμα” (ή απλώς σφάλμα) ορίζεται, η επαφή οποιουδήποτε υπό τάση τμήματος του δικτύου προς γη, ή προς γειωμένα μεταλλικά μέρη των εγκαταστάσεων, όπως επίσης και η επαφή δύο διαφορετικών υπό τάση τμημάτων, με διαφορετικές τάσεις μεταξύ τους. Τα βραχυκυκλώματα εκδηλώνονται ως απότομες υπερεντάσεις πολλαπλάσιας τιμής από τα κανονικά ρεύματα λειτουργίας του δικτύου. Όπως είναι φανερό, η διέλευση των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως από τους αγωγούς του συστήματος, προκαλεί δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις με επιβλαβείς συνέπειες [1, 2, 3, 21, 22].

Τα σφάλματα διακρίνονται σε μονοφασικά προς γη, διφασικά, διφασικά προς γη και τριφασικά. Η συνηθέστερη κατηγορία βραχυκυκλωμάτων είναι τα μονοφασικά. Η μόνωση στον αέρα είναι περισσότερο ευπρόσβλητη από την υγρή ή στερεά μόνωση, η οποία χρησιμοποιείται στις συσκευές ισχύος, ή στα καλώδια και ως εκ τούτου, οι εναέριες γραμμές υφίστανται τα περισσότερα βραχυκυκλώματα, ενώ τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, οι διακόπτες, κλπ μικρότερο μέρος. Τα κυριότερα αίτια των σφαλμάτων για τα εναέρια δίκτυα, είναι οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις, τα ξένα αντικείμενα, η ρύπανση των μονωτήρων (θαλάσσια ή βιομηχανική), η γήρανση του καλωδίου και η πέραν των προβλέψεων επιφόρτιση των γραμμών από άνεμο ή χιόνι κλπ [21, 22].

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προστατεύεται από τις ανωμαλίες που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του και κυρίως από τα κάθε είδους βραχυκυκλώματα, από ένα ειδικό “σύστημα προστασίας” [21, 22]. Το σύστημα προστασίας διεγείρεται αυτόματα κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος και προκαλεί άνοιγμα των πλησιέστερων προς αυτό διακοπών ισχύος, οι οποίοι απομονώνουν το στοιχείο που υπέστη τη βλάβη (γραμμή, μετασχηματιστής, κλπ.) εξουδετερώνοντας τα βραχυκύκλωμα με διακοπή της τροφοδοσίας του.

Προστασία έναντι των βραχυκυκλωμάτων έχουν όλες οι σημαντικές μονάδες του συστήματος, δηλαδή οι μονάδες παραγωγής, οι μετασχηματιστές, οι εναέριες και υπόγειες γραμμές και οι ζυγοί υψηλής τάσεως. Κυριότεροι τύποι προστασίας είναι η προστασία υπερεντάσεως, η προστασία αποστάσεως για τις γραμμές μεταφοράς και η διαφορική προστασία, για τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα καλώδια. Το σύστημα προστασίας περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους (relay), οι οποίοι ανιχνεύουν το σφάλμα και ενεργοποιούν εξ αποστάσεως τους διακόπτες ισχύος [21, 22].

Γενικά για ένα δίκτυο διανομής υπάρχουν οι εξής περιοχές (ζώνες) προστασίας έναντι των βραχυκυκλωμάτων:

- Προστασία των γραμμών κορμού διανομής μέσης τάσης μέσω ΑΔΕ ή ΔΑΕ.
- Προστασία γραμμών διανομής μέσης τάσης (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 διακοπών.
- 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 διακοπών 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 ασφαλειών και αυτομάτων διακοπών.

Στην αρχή κάθε ζώνης υπάρχει ένα μέσο προστασίας ώστε να απομονώνει το προστατευόμενο τμήμα του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Με κατάλληλη ρύθμιση (π.χ. ο χρόνος διακοπής t) επιτυγχάνεται η ιεράρχηση των προστασιών του δικτύου [1, 8, 13].

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 [1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 19] 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 Αγωγοί εναέριων δικτύων

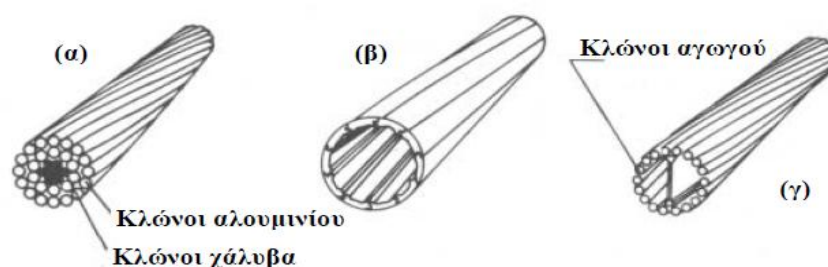
1.3.1 Γενικά στοιχεία για τους αγωγούς του δικτύου διανομής ΜΤ

Τα κύρια υλικά των αγωγών των εναέριων γραμμών μεταφοράς είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής ολκήσεως εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή. Το βασικό του μειονέκτημα είναι το βάρος του. Αντίθετα, το αλουμίνιο είναι κατώτερο του χαλκού σε αγωγιμότητα και αντοχή, αλλά είναι ελαφρύτερο και έχει μικρότερο κόστος. Ο αγωγός από αλουμίνιο δέχεται μεγαλύτερες επιφορτίσεις από τον άνεμο και τον πάγο λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειάς του, αλλά συγχρόνως περιορίζονται σε αυτόν οι απώλειες από το φαινόμενο Corona.

Το αλουμίνιο σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες οξειδώνεται επιφανειακά. Το στρώμα της οξείδωσης είναι πολύ λεπτό και προστατεύει τον αγωγό από την παραπέρα οξείδωση. Κοντά στη θάλασσα όμως (σε απόσταση μέχρι 1 Km περίπου) διαβρώνεται από το αλάτι που περιέχεται στον αέρα, σε βάθος μέχρι 3 mm. Οι αγωγοί αλουμινίου χρησιμοποιούνται κυρίως στις γραμμές χαμηλής τάσης και μακριά από τη θάλασσα. Στις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης δεν χρησιμοποιούνται γιατί έχουν μικρή μηχανική αντοχή (οι πυλώνες απέχουν πολύ μεταξύ τους και οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις στους αγωγούς είναι πολύ μεγάλες) [6].

Το αλουμίνιο συνδυαζόμενο με το χάλυβα, για την απόκτηση της απαιτούμενης μηχανικής αντοχής, είναι δυνατόν να συναγωνιστεί αποτελεσματικά το χαλκό. Οι αγωγοί των γραμμών δεν είναι συμπαγείς, αλλά αποτελούνται από πλήθος συνεστραμμένων κλώνων για λόγους ευκαμψίας.

Η τεχνική των συνεστραμμένων κλώνων διευκολύνει την ενσωμάτωση μέσα στον αγωγό αλουμινίου συρμάτων χάλυβα, τα οποία προσδίδουν σ' αυτόν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή. Κατά αυτό τον τρόπο προκύπτει ο "αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα" (ACSR, Aluminum Conductor Steel Reinforced), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα. Ο ACSR έχει στο κέντρο του κλώνου από χάλυβα, οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε στρώματα που αποτελούν τον "πυρήνα" [5]. Γύρω από τον πυρήνα είναι διατεταγμένα τα στρώματα των κλώνων του αλουμινίου (Σχήματα 3.1-1 και 3.1-2).



Σχήμα 3.1-1 : Αγωγοί γραμμών μεταφοράς. (α) τυπικός αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα (ACSR), (β) κοίλος αγωγός χαλκού, (γ) κοίλος αγωγός χαλκού με διαμήκη αγώγιμη δοκό [5].

Η επιλογή σε κάθε περίπτωση της κατάλληλης συνθέσεως του αγωγού βασίζεται στις μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις της γραμμής. Τα αγωγίμα υλικά θα πρέπει να διαθέτουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, υψηλή μηχανική αντοχή, μικρό ειδικό βάρος, χαμηλή οξείδωση στον αέρα και ευχέρεια συνδέσεως των αγωγών.



Σχήμα 3.1-2: Μορφή αγωγού Αλουμινίου-Χάλιβα (ACSR)

Συνήθως, στον χαρακτηρισμό των αγωγών ACSR ή αλουμινίου, δίνεται και η ισοδύναμη διατομή χαλκού. Αυτή είναι η διατομή που θα είχε ένας αγωγός ίσης αντίστασης, αν κατασκευαζόταν από χαλκό. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται για διάφορους τύπους αγωγών, ο αριθμός των κλώνων και η πραγματική τους διατομή:

A/A	Είδος αγωγού	Αριθμός κλώνων N	D _{κλώνου} (mm)	Πραγματική διατομή A (mm ²)
1	ACSR ισοδύναμος με Cu 16 mm ² (μόνο για MT)	6 Al 1 St	2,32 2,32	26
2	ACSR ισοδύναμος με Cu 35 mm ² (μόνο για MT)	6 Al 1 St	3,44 3,44	58
3	ACSR ισοδύναμος με Cu 50 mm ² (μόνο για MT)	6 Al 1 St	4,11 4,11	82

A/A	Είδος αγωγού	Αριθμός κλώνων N	D _{κλώνου} (mm)	Πραγματική διατομή A (mm ²)
4	ACSR ισοδύναμος με Cu 70 mm ² (μόνο για MT)	26 Al 7 St	2,33 1,81	115
5	ACSR ισοδύναμος με Cu 95 mm ² (μόνο για MT)	26 Al 7 St	2,72 2,12	156
6	Cu 16 mm ² (για XT & MT)	7	1,71	16
7	Cu 35 mm ² (για XT & MT)	7	2,35	30
8	Cu 50 mm ² (για XT & MT)	19	1,83	50
9	Cu 70 mm ² (για XT & MT)	19	2,17	70
10	Cu 95 mm ² (για XT & MT)	19	2,52	95
11	Al ισοδύναμος με Cu 16 mm ² (μόνο για XT)	7	2,21	27
12	Al ισοδύναμος με Cu 35 mm ² (μόνο για XT)	7	3,22	57
13	Al ισοδύναμος με Cu 50 mm ² (μόνο για XT)	19	2,35	82
14	Al ισοδύναμος με Cu 70 mm ² (μόνο για XT)	19	2,78	115

Πίνακας 3.1-1: Πραγματική διατομή των αγωγών του δικτύου διανομής [1,2,3]

1.3.2 Το Επιδερμικό Φαινόμενο

Η αντίσταση ενός αγωγού που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση του ίδιου αγωγού όταν αυτός διαρρέεται από συνεχές ρεύμα. Η διαφορά αυτή της τιμής της αντίστασης ενός αγωγού οφείλεται αποκλειστικά στην διαφορετική κατανομή της πυκνότητας του ρεύματος επί της διατομής του αγωγού. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα παρατηρείται μεγαλύτερη πυκνότητα ρεύματος στην επιφάνεια των αγωγών από ότι στο κέντρο τους. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται με τον όρο επιδερμικό φαινόμενο (skin effect) [10, 12, 16]. Το επιδερμικό φαινόμενο οφείλεται σε επαγωγικά φαινόμενα που προκαλούνται από το χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Όπως γίνεται σαφές λόγω του επιδερμικού φαινομένου το ρεύμα δε διαρρέει ολόκληρη την διατομή ενός αγωγού. Ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει το μέγεθος του επιδερμικού φαινομένου ορίζεται από το βάθος διείσδυσης (επιδερμικό βάθος) δ . Σε απόσταση δ από την επιφάνεια του αγωγού η πυκνότητα ρεύματος έχει το $1/e$ της αρχικής της τιμής S_0 στη επιφάνεια του αγωγού. Το **βάθος διείσδυσης** δίνεται από τον τύπο [12, 16, 18]:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu}} \quad (3.2-1)$$

όπου ρ η ειδική αντίσταση του υλικού, μ η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και f η συχνότητα.

Για συχνότητα 50 Hz έχουμε:

- $\delta_{Cu} = 9,44\text{mm}$ στο χαλκό
- $\delta_{Al} = 12,3\text{mm}$ στο αλουμίνιο
- $\delta_{Fe} = 1,8\text{mm}$ στο σίδηρο (ατσάλι) όταν η σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r έχει τιμή 200

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της πραγματικής διατομής για ένα είδος αγωγού (Επιλέχθηκε ο ACSR 95mm² καθώς αυτός ο τύπος θα μας απασχολήσει στην παρούσα διπλωματική εργασία). Λόγω του επιδερμικού φαινομένου, το βάθος διείσδυσης δ για το αλουμίνιο είναι 12,3 mm και για το ατσάλι 1,8 mm [1, 3]. Συνεπώς, στον αγωγό ACSR 95 mm² γίνεται πλήρης εκμετάλλευση τόσο των κλώνων Al όσο και των κλώνων St.

Η διατομή του κλώνου Al είναι :

$$A_{Al} = \pi \cdot \left(\frac{D_{Al}}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{2,72^2}{4} = 5,81 \text{ mm}^2$$

Η διατομή του κλώνου St είναι:

$$A_{St} = \pi \cdot \left(\frac{D_{St}}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{2,12^2}{4} = 3,53 \text{ mm}^2$$

Η διατομή του κλώνου St μετατρέπεται σε ισοδύναμη διατομή αλουμινίου :

$$A_{Al} = A_{St} \cdot \frac{\rho_{Al}}{\rho_{St}} = 3,53 \cdot \frac{0,03}{0,15} = 0,71 \text{ mm}^2$$

Επομένως, η πραγματική διατομή του αγωγού ACSR 95mm² θα είναι :

$$A_{ACSR95} = 26 \cdot 5,81 + 7 \cdot 0,71 = 156 \text{ mm}^2$$

1.3.3 Ωμική αντίσταση και Επαγωγική αντίδραση της εναέρια γραμμής MT

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 [5, 9, 10] γνωρίζουμε ότι αν είναι γνωστή η ωμική αντίσταση ενός αγωγού R_{T_1} σε θερμοκρασία T_1 και ζητείται να υπολογιστεί σε θερμοκρασία T_2 τότε ισχύει η σχέση:

$$R_{T_2} = R_{T_1} \cdot [1 + a(T_2 - T_1)] \quad (3.3-1)$$

Όπου a : ο συντελεστής θερμοκρασίας του αγωγού, ο οποίος μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία που όμως για τις θερμοκρασίες -20°C έως 80°C η μεταβολή του είναι ελάχιστη. Για το αλουμίνιο [1, 2, 10]: $a \approx 0,0037 \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα παρατηρείται αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών λόγω του επιδερμικού φαινομένου το οποίο αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Για την συχνότητα των 50 Hz όμως, η αύξηση της ωμικής αντίστασης των αγωγών είναι πολύ μικρή (λιγότερη του 1%) για τις συνηθισμένες διατομές [10]. 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 αντίδραση των γραμμών, η οποία δίνεται από τον τύπο [5, 9, 10]:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L \quad (3.3-2)$$

Από την βιβλιογραφία [1, 2, 5, 9, 10, 14] δίνονται τιμές για την ωμική και επαγωγική αντίσταση των αγωγών ACSR (και ειδικότερα για τον ACSR 95mm² στην περίπτωση που εξετάζεται) οι οποίες όμως εμφανίζουν μικρές διαφορές. Στον Πίνακα 3.3-1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των γραμμών μέσης τάσης έτσι όπως δίνονται από την Δ.Ε.Η

ΑΓΩΓΟΙ	Z=R+jX		Y=jωC	I _{max} (A)
	R (Ω/km)	X (Ω/km)	C (nF/km)	
16 ACSR	1,268	0,422	9,248	136
35 ACSR	0,576	0,397	9,896	224
50 ACSR	0,404	0,386	10,22	295
95 ACSR	0,215	0,334	10,89	448

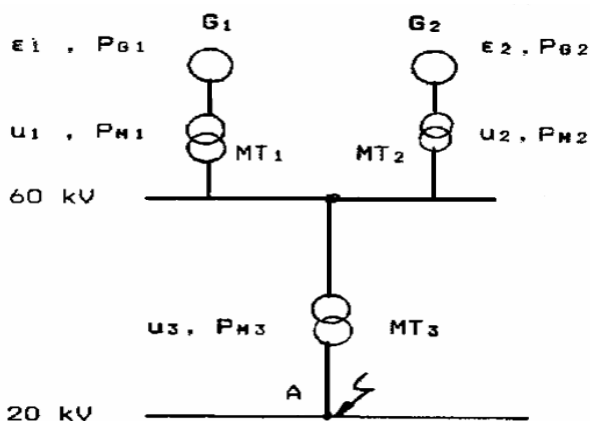
Πίνακας 3.3-1: Τιμές Ωμικής αντίστασης (R), Επαγωγικής αντίδρασης (X), Χωρητικότητας (Y) και μέγιστης τιμής ρεύματος σε καθεστώς συνεχούς φόρτισης (I_{max}) για διάφορες διατομές αγωγών ACSR. (Πηγή ΔΕΗ)

Η χωρητικότητα των εναέριων γραμμών MT (όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3-1) είναι της τάξεως των 11nF/km [1, 5, 9, 10]. Όμως, λόγω του σχετικά μικρού μήκους των γραμμών αυτών δεν λαμβάνεται υπ' όψη η χωρητικότητα αυτή. Έτσι το ισοδύναμο κύκλωμα της εναέριας γραμμής MT είναι η σύνθετη αντίσταση $Z=R+j\omega L$. Επομένως οι τιμές των αντιστάσεων για τον αγωγό ACSR95mm² που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι αυτές του Πίνακα 3.3-1, δηλαδή $R_{γρ}=0,215\Omega/\text{km}$ και $X_{γρ}=0,334\Omega/\text{km}$.

1.4 Θερμική καταπόνηση αγωγών κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα

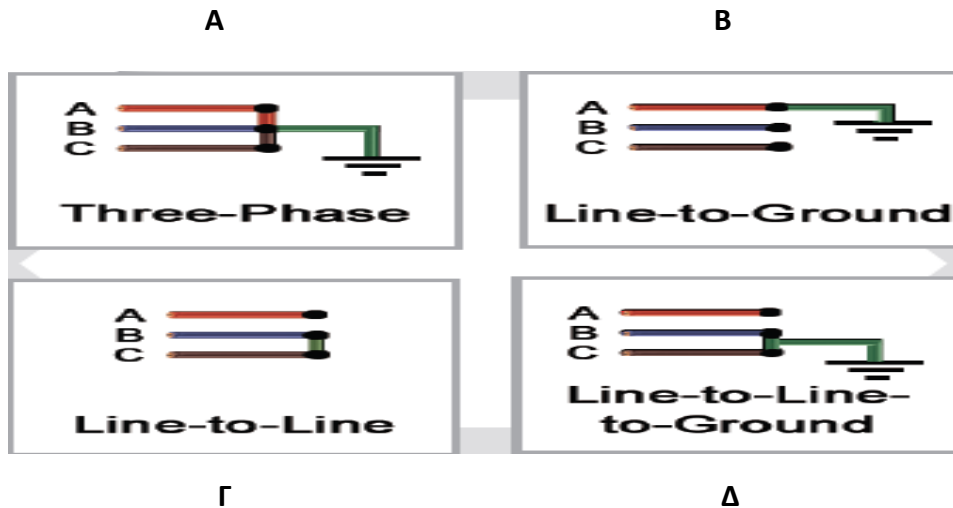
1.4.1 Βασικοί Ορισμοί

Για την θερμική καταπόνηση των ηλεκτρικών αγωγών μελετάται η δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας, η οποία θεωρείται ότι είναι το βραχυκύκλωμα [1, 3, 4, 5, 13, 14, 19]. Το βραχυκύκλωμα, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, προκαλεί στους αγωγούς, στις επαφές (λυόμενες ή μόνιμες) και στον εξοπλισμό γενικά, μια επιπλέον θερμική καταπόνηση [1, 5, 11, 15, 16, 17, 19]. Αν υποθεθεί ότι στο σημείο A της εγκατάστασης του Σχήματος 4.1-1 εκδηλώνεται κάποιο βραχυκύκλωμα, τότε η συνολική ισχύς του δικτύου θα οδεύσει προς το σημείο αυτό. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι η τιμή του ρεύματος στο σημείο A. Η τιμή αυτή εξαρτάται από την αντίσταση του δικτύου μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης [1, 3].



Σχήμα 4.1-1: Παράδειγμα Βραχυκυκλώματος

1. $\underline{\varepsilon}_1$ και $\underline{\varepsilon}_2$: οι κρουστικές τάσεις διασποράς των γεννητριών G1 και G2
2. \underline{P}_{G1} & \underline{P}_{G2} : η ονομαστική ισχύς των γεννητριών
3. \underline{u}_1 , \underline{u}_2 και \underline{u}_3 : η σχετική τάση βραχυκύκλωσης των μετασχηματιστών MT₁, MT₂ και MT₃ αντίστοιχα
4. \underline{P}_{M1} , \underline{P}_{M2} και \underline{P}_{M3} : η ονομαστική ισχύς των μετασχηματιστών

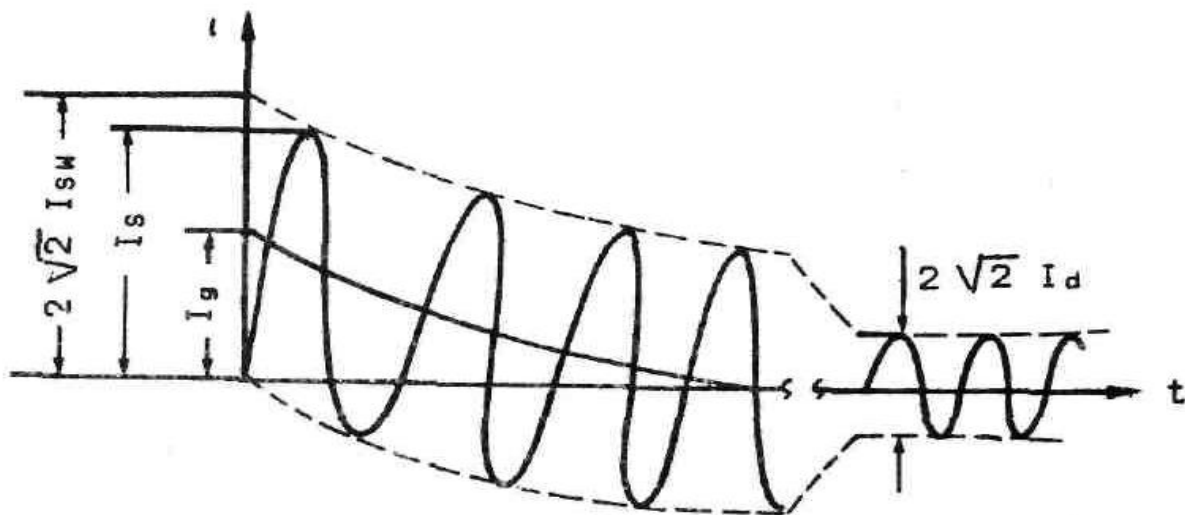


Σχήμα 4.1-2: Βασικά είδη βραχυκυκλωμάτων

(Α): Τριφασικό Βραχυκύκλωμα με επαφή γης **(Β):** Μονοφασικό Βραχυκύκλωμα **(Γ):** Διφασικό Βραχυκύκλωμα **(Δ):** Διφασικό Βραχυκύκλωμα με επαφή γης

Το Σχήμα 4.1-2 δείχνει τα σπουδαιότερα βραχυκυκλώματα [5, 14]. Το τριφασικό και το διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης ή με επαφή γης προκαλεί μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώσεως [1, 2, 3, 5]. Επειδή το τριφασικό βραχυκύκλωμα είναι ένα συμμετρικό σφάλμα, τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως δεν επηρεάζονται από την ενδεχόμενη ύπαρξη επαφής προς γη.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1-3 το ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται αρχικά κατά την υπομεταβατική και μεταβατική περίοδο ως ασύμμετρο και κατόπιν κατά την περίοδο μόνιμης κατάστασης ως συμμετρικό [1, 3, 4, 5, 7]. Το ασύμμετρο τμήμα περιλαμβάνει το εναλλασσόμενο ή αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sw} ή I_k'') και το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_g). Το συμμετρικό τμήμα αποτελείται από το διαρκές ή μόνιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_d ή I_k). Η μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης ονομάζεται κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_s).



Σχήμα 4.1-3: Μορφή του ρεύματος κατά το βραχυκύκλωμα

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί βασικών μεγεθών:

- Ρεύμα βραχυκυκλώσεως $i_k(t)$ είναι το ρεύμα που ρέει κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος στη θέση του σφάλματος.
- Εναλλασσόμενη συνιστώσα $i_{k,ac}(t)$ είναι η συνιστώσα του $i_k(t)$ με τη συχνότητα του δικτύου.
- Αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{SW} ή I_k'' ή υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως είναι η ενδεικνυμένη τιμή του $i_{k,ac}(t)$ κατά τη στιγμή εμφάνισης του βραχυκυκλώματος.
- Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_s είναι η μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως $i_k(t)$. Το ρεύμα $i_k(t)$ αποκτά τη μέγιστη τιμή του όταν και η συνεχής συνιστώσα αποκτά τη μέγιστη τιμή της (I_g).
- Ρεύμα διακοπής I_d 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 95mm²) περιλαμβάνει [1, 2, 3]:

- i. Τον υπολογισμό της συνολικής σύνθετης αντίστασης ανά φάση, από τις επιμέρους αντιστάσεις των στοιχείων της εγκατάστασης μέχρι το σημείο βραχυκύκλωσης.
- ii. Τον υπολογισμό των I_{SW} , I_d , I_s
- iii. Τον υπολογισμό του συμμετρικού ρεύματος διακοπής (I_d) και τις ισχύος διακοπής (P_d)

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.[1, 2]

1.4.2 Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε εναέρια δίκτυα διανομής μέσης τάσης 15kV και 20kV από τις αντιστάσεις

Στους υπολογισμούς αυτούς λαμβάνονται υπόψη μόνο 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.

1.4.2.1 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 ($Z_{ολ}$ σε Ω):

$$Z = \sqrt{(R_{\gamma\rho} + R_{M\Sigma})^2 + (X_{\gamma\rho} + X_{M\Sigma})^2} \quad (4.2.1-1)$$

όπου:

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

$R_{\gamma\rho}$ η ολική ωμική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km , $X_{\gamma\rho}$ η ολική επαγωγική αντίσταση της γραμμής σε Ω/km ,

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

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τον υπολογισμό του ρεύματος στο διφασικό βραχυκύκλωμα, ως συνολική σύνθετη αντίσταση λαμβάνουμε το $Z_{o\lambda}=2\cdot Z$

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

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1, 2, 5] ο υπολογισμός των αντιστάσεων του μετασχηματιστή (Μ/Σ) υψηλής προς μέση τάση γίνεται με εφαρμογή των παρακάτω τύπων:

$$R_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 u_r}{P_N} \quad \text{και} \quad X_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 \sqrt{(u_k^2 - u_r^2)}}{P_N}$$

όπου:

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

$X_{M/\Sigma}$ 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_N η ονομαστική τάση σε kV του δευτερεύοντος του Μ/Σ (20kV ή 15kV),

P_N η ονομαστική ισχύς σε MVA του Μ/Σ

✓ **Η ωμική και η επαγωγική αντίδραση της εναέριας γραμμής ΜΤ**

Σύμφωνα με όσα αναλύσαμε στην *Παράγραφο 1.3.3* οι τιμές για την ωμική αντίσταση και την επαγωγική αντίδραση της εναέριας γραμμής ACSR95mm^2 είναι $R_{\gamma\rho}=0,215\Omega/\text{km}$ και $X_{\gamma\rho}=0,334\Omega/\text{km}$.

1.4.2.2 Υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα

Για την τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) στην περίπτωση του διφασικού βραχυκυκλώματος στον αέρα ισχύει η παρακάτω σχέση [1, 2, 3, 5, 7, 13, 14]:

$$I_{sw} \leq \frac{V_N}{2 \cdot \sqrt{(R_{\gamma} + R_{M\Sigma})^2 + (X_{\gamma} + X_{M\Sigma})^2}} \quad (4.2.2 - 2)$$

I_{sw} το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε A κατά το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα,

V_N η ονομαστική τάση σε V στη θέση 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 M/Σ ,

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

1.4.2.3 Υπολογισμός του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d)

Για την τιμή του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) ισχύει η παρακάτω σχέση [1, 2, 3] :

$$I_d = \mu_d \cdot I_{sw} \quad (4.2.3-1)$$

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 χειρίστης περίπτωσης.

Οι περιπτώσεις αυτές είναι:

$$I_{d1} = 0,35 \cdot I_{sw} \quad \text{και} \quad I_{d2} = 1 \cdot I_{sw} \quad (4.2.3-2)$$

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

Το βραχυκύκλωμα, προκαλεί στους αγωγούς, στις επαφές (λυόμενες ή μόνιμες) και στον εξοπλισμό γενικά μια επιπλέον θερμική καταπόνηση [1, 5, 11, 15, 16, 17]. 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) [15]. Στην πράξη όμως για το υπολογισμό της θερμοκρασίας στους αγωγούς που καταπονούνται από τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, χρησιμοποιούνται συχνότερα εμπειρικές σχέσεις [1, 2, 15, 16, 17] αλλά και μαθηματικά μοντέλα [15, 17]. 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 [1, 2, 15, 17, 19]:

$$\Delta\theta = \frac{\kappa \cdot (I_d)^2 [t + 0,25 \cdot \left(\frac{I_{sw}}{I_d}\right)^2]}{A^2} \quad (4.3-1)$$

Όπου:

$\Delta\theta$ η αύξηση της θερμοκρασίας σε $^{\circ}\text{C}$,

A η διατομή του αγωγού σε mm^2

κ σταθερά του υλικού:

για χαλκό $\kappa = 0,0058$ (αφού αναφερόμαστε σε ισοδύναμη διατομή χαλκού)

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

T ο συντελεστής χρόνου η τιμή του οποίου είναι, για διφασικό βραχυκύκλωμα $T= 0,6$ έως $0,25$ sec

Η συνολική θερμοκρασία των αγωγών εκφράζεται από την σχέση:

$$\theta = \Delta\theta + \theta_{περ.}$$

όπου:

$\theta_{περ}$ η αρχική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για τους υπολογισμούς λαμβάνεται $\theta_{περ} = 40^{\circ}\text{C}$

Ως οριακή θερμοκρασία για γυμνούς αγωγούς αλουμινίου θεωρείται αυτή των 180°C ενώ για τους γυμνούς αγωγούς χαλκού αυτή των 200°C [1, 3, 15].

✓ Επιπρόσθετη θερμική καταπόνηση κατά τη λειτουργία του ΔΑΕ

Η λειτουργία του ΔΑΕ προκαλεί περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας κατά μήκος του αγωγού στην προσπάθεια του να αποκαταστήσει το βραχυκύκλωμα (εάν αυτό είναι παροδικό). Έτσι, η υπερθέρμανση εξαιτίας του ΔΑΕ δίνεται από τη σχέση[20]:

- Κατά το πρώτο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο t sec

$$\theta_{1ON-OFF} = 40^{\circ}\text{C} + \Delta\theta$$

Όπου οι 40°C είναι μια ακραία θερμοκρασία περιβάλλοντος, που μπορεί όμως να εμφανιστεί στην ελληνική ύπαιθρο κατά τους θερινούς μήνες.

- Κατά το δεύτερο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο $t' = \sqrt{2} \cdot t$

$$\theta_{2ON-OFF} = \sqrt{2} \cdot \theta_{1ON-OFF}$$

- Κατά το τρίτο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο $t'' = 2 \cdot t$

$$\theta_{3OFF} = 2 \cdot \theta_{1ON-OFF}$$

1.5 Γενικά στοιχεία σχετικά με την πυρκαγιά

Τόσο η φωτιά, όσο και η πυρκαγιά ως διαδικασία συνδέονται με το φαινόμενο της καύσης. Μια πυρκαγιά ξεκινά από μικρή συνήθως εστία όταν συνυπάρχουν οι παρακάτω 4 παράγοντες[23]:

- ✓ **Καύσιμη Ύλη**
- ✓ **Θερμότητα** ικανή να διατηρήσει υψηλή θερμοκρασία (τη θερμοκρασία ανάφλεξης που εξαρτάται από το είδος της καύσιμης ύλης, βλέπε τον Πίνακα 5-1 που ακολουθεί στο τέλος αυτής της παραγράφου)
- ✓ **Οξυγόνο** (ή γενικότερα οξειδωτικό μέσο). Το οξυγόνο συναντάται στον ατμοσφαιρικό αέρα σε ποσοστό 21% κατ' όγκον.
- ✓ Η **διαδικασία αυτοσυντήρησης** της φωτιάς.

Η **αυτανάφλεξη** είναι μια ειδική περίπτωση αιφνίδιας ανάφλεξης καύσιμου υλικού, χωρίς εξωτερικό αίτιο. Δηλαδή που δεν απαιτείται φλόγα ή σπινθήρας για την ανάφλεξη του μίγματος.

Στην περίπτωση της αυτανάφλεξης η θερμοκρασία του υλικού φτάνει σε μια ειδική τιμή που λέγεται **θερμοκρασία αυτανάφλεξης**, πάνω από την οποία το μίγμα αναφλέγεται αυτόματα (χωρίς την ανάγκη φλόγας ή σπινθήρα). Ορισμένες θερμοκρασίες αυτανάφλεξης υλικών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1.

Εν συνεχεία, επιχειρείται μια περεταίρω ανάλυση ορισμένων όρων που αναφέρθηκαν ήδη:

- **Καύσιμη Ύλη:**

Η καύσιμη ύλη χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- 1) Στερεά καύσιμα
- 2) Υγρά καύσιμα
- 3) Αέρια καύσιμα

Ως **στερεά καύσιμα** ορίζουμε τα στερεά υλικά όπως ξύλα, υφάσματα, χόρτα, βαμβάκι, νήματα, άνθρακες, ελαστικά, πλαστικά κ.α.

Ως **υγρά καύσιμα** ορίζουμε υγρά όπως πετρέλαιο, βενζίνη, νέφτι, οινόπνευμα, έλαια, παραφίνη κ.α.

Ως **αέρια καύσιμα** ορίζουμε τα αέρια όπως υδρογόνο, ασετιλίνη, φωταέριο, υγραέριο, προπάνιο, βουτάνιο, αιθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα (CO) κ.α.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα στερεά και τα υγρά καύσιμα δεν καίγονται στη μάζα τους αλλά στην ελεύθερη επιφάνεια τους, σε αντίθεση με τα αέρια καύσιμα που καίγονται εξ' ολοκλήρου στη μάζα τους. Αυτό συμβαίνει διότι μόνο στην ελεύθερη επιφάνεια των στερεών και των υγρών καυσίμων συνυπάρχουν οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν (οξυγόνο, καύσιμη ύλη και θερμότητα).

- **Θερμότητα**

Με τον όρο θερμότητα στην καθημερινότητα μας εννοούμε το αίτιο που προκαλεί το αίσθημα του ψυχρού ή του θερμού αντίστοιχα. Για παράδειγμα όταν κάθεται κανείς μπροστά σε ένα τζάκι αισθάνεται τη θερμότητα που παράγεται από την καύση των ξύλων, ενώ εισερχόμενος σε ένα μεγάλο ψυγείο αμέσως αισθάνεται το ψύχος μέσα σε αυτό.

Από τη φυσική επιστήμη είναι γνωστό ότι η ενέργεια που περικλείει ένα σώμα ονομάζεται εσωτερική ενέργεια του σώματος. Η εσωτερική ενέργεια είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας των δομικών στοιχείων του σώματος (δηλαδή των μορίων του). Η κινητική ενέργεια του σώματος ονομάζεται και **θερμική ενέργεια**. Όταν δύο σώματα έχουν διαφορετική θερμοκρασία και έρχονται σε επαφή μεταξύ τους τότε υπάρχει μεταφορά ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Η μεταφερόμενη αυτή ενέργεια ονομάζεται επιστημονικά **θερμότητα**.

Η διαφορά μεταξύ θερμότητα και θερμοκρασίας έγκειται στο ότι η θερμότητα είναι η μεταφερόμενη ενέργεια από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα, ενώ η θερμοκρασία είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει τη θερμική κατάσταση των σωμάτων. Η θερμότητα διαδίδεται, είτε από το ένα σώμα στο άλλο, είτε από έναν χώρο σε έναν άλλο, είτε αποβάλλεται ελεύθερα στο χώρο με συνέπειες και αποτελέσματα πολλές φορές δυσάρεστα.

- **Οξυγόνο**

Το **οξυγόνο** που υπάρχει παντού, με εξαίρεση τους κλειστούς αεροστεγείς χώρους, είναι το περισσότερο διαδεδομένο στοιχείο της φύσης και αποτελεί υπό τη μορφή διαφόρων ενώσεων το 47% περίπου του βάρους του στερεού φλοιού της γης, 86% περίπου του βάρους του θαλάσσιου ύδατος και τα 8/9 του βάρους του ύδατος. Το οξυγόνο στον ατμοσφαιρικό αέρα βρίσκεται σε ποσοστό 21% κατ' όγκο και 23% κατά βάρος., γεγονός που επιτρέπει της διατήρηση της πυρκαγιάς ακόμα και με ελάχιστα καύσιμα υλικά. Ο ατμοσφαιρικός αέρας εκτός τους οξυγόνου περιέχει περίπου 78% άζωτο ενώ το υπόλοιπο 1% μοιράζονται το διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια. Συνέπεια των παραπάνω είναι το γεγονός ότι εφόσον το οξυγόνο βρίσκεται ελεύθερο μόνο στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε κάθε αναφορά του όρου «αέρα» εννοούμε το οξυγόνο που περιέχεται σε αυτόν. Πολύ σημαντικό είναι να επισημάνουμε ότι σε πιθανή μείωση της περιεκτικότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε οξυγόνο σε ποσοστό κάτω του 15%, τότε αυτός δε συντηρεί την καύση και επομένως επέρχεται κατάσβεση της πυρκαγιάς.

Πολλές φορές υπό περιορισμένη ποσότητα οξυγόνου μπορεί να υπάρξει καύση χωρίς ύπαρξη φλόγας που ονομάζεται αργή καύση και εμφανίζεται όταν μια στερεά επιφάνεια υφίσταται ταυτόχρονα πυράκτωση και αποτέφρωση. Αυτή η πυράκτωση είναι μια ένδειξη ότι η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 1000 °C [24] Περιπτώσεις αργής καύσης είναι η καύση στο τσιγάρο και η καύση στα κάρβουνα. Αλλάζοντας τις συνθήκες καύσης, αυξάνοντας τη ροή του αέρα (άρα και του οξυγόνου στην καιγόμενη επιφάνεια) μπορεί η αργή καύση να μετατραπεί σε φλεγόμενη καύση με ύπαρξη φλόγας. Μια φωτιά μπορεί να σβήσει με την απομάκρυνση ενός από τα τέσσερα απαραίτητα στοιχεία για την ύπαρξη της, δηλαδή ή την καύσιμη ύλη ή το οξυγόνο ή τη θερμότητα ή την αυτοσυντήρηση της. Η πυρόσβεση με νερό προκαλεί την ελάττωση της θερμότητας ενώ με διοξείδιο του άνθρακα τη μείωση του ποσοστού οξυγόνου [23].

Στη συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακα 5-1 με τις θερμοκρασίες ανάφλεξης ορισμένων στερεών υλικών που αποτελούν συνήθως καύσιμη ύλη σε πυρκαγιές που αναπτύσσονται στην υπαίθρο.

Υλικό	Θερμοκρασία ανάφλεξης (°C)	Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (°C)
Στάχυα, άχυρα	175	~75
βαμβάκι	180-220	254-260
εφημερίδα	185	180-220
χαρτί	~220	180-220
μαλλί	200-240	-
ροκανίδια	200-220	200-220
πευκόξυλο	228-264	260
PVC	391	454
πίσσα - ασφαλτος	350	-

Πίνακας 5-1: Θερμοκρασίες ανάφλεξης και αυτανάφλεξης ορισμένων στερεών υλικών που αποτελούν συνήθως καύσιμη ύλη σε πυρκαγιές της υπαίθρου.

2.1 Σκοπός της εργασίας

Η διπλωματική αυτή εργασία εξετάζει δύο διαφορετικές περιπτώσεις σφαλμάτων. Πρώτη περίπτωση σφάλματος είναι το **διφασικό βραχυκύκλωμα κατά την επαφή δύο αγωγών ACSR95mm²** είτε στο έδαφος είτε στον αέρα. Για αυτό το σφάλμα, εξετάζουμε τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στα 100 πρώτα χιλιόμετρα του αγωγού ACSR95mm². Επιπλέον προσδιορίζουμε τις πιθανές συνέπειες που μπορεί να προκύψουν από τις υπερθερμάνσεις αυτές.

Η δεύτερη περίπτωση, αφορά την εκδήλωση **σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω γης από την αποκοπή και πτώση στο έδαφος δυο αγωγών ACSR95mm²**(στα πρώτα 100km της γραμμής). Στην προκειμένη περίπτωση, υπολογίζουμε τα ρεύματα που ρέουν μέσω της γης για διάφορες πιθανές τιμές αντιστάσεων που μεσολαβούν ανάμεσα στους δύο ρευματοφόρους αγωγούς. Επιπροσθέτως, προσδιορίζουμε σε πόσο χρόνο τα ρεύματα αυτά είναι ικανά να προκαλέσουν ανάφλεξη, αν στο έδαφος βρίσκονται κάποια εύφλεκτα υλικά (π.χ ξύλο, χαρτί, PVC). Επίσης, διερευνούμε αν οι χρόνοι αυτοί είναι μεγαλύτεροι ή μικρότεροι των χρόνων απόκρισης των διακοπών προστασίας (0,4sec). Με τον τρόπο αυτό συμπεραίνουμε κατά πόσο τα μέσα προστασίας είναι ικανά να αποτρέψουν πιθανή εκδήλωση πυρκαγιάς. Τέλος, μελετάμε την περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς εξαιτίας ρευμάτων που δεν ενεργοποιούν τα μέσα προστασίας (ρεύματα διαρροής).

Επειδή στο δίκτυο διανομής της Ελλάδας τόσο η τάση, όσο και οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται σε αυτό δεν έχουν μια μόνο τιμή, στους υπολογισμούς μας θεωρούμε μετασχηματιστές ονομαστικής ισχύος **15, 25 και 50 MVA** και ονομαστική τάση δικτύου **15kV και 20kV**.

2.2 Περιγραφή του Προβλήματος

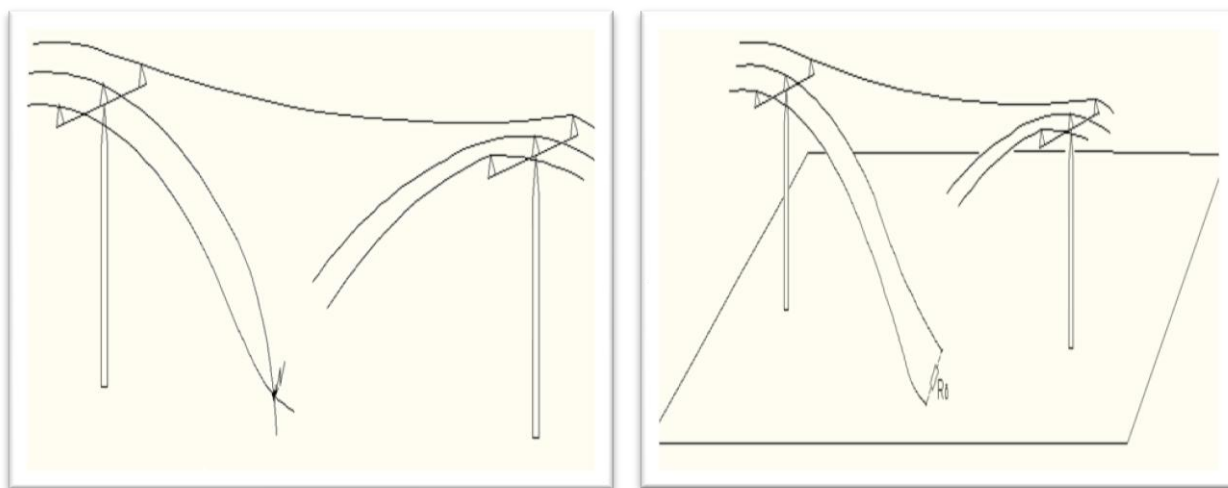
✓ Μέρος Α

Στο πρώτο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζεται η περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος κατά την επαφή δύο αγωγών ACSR95mm². Ένα σφάλμα τέτοιου είδους, μπορεί να προκύψει στην πράξη με την αποκοπή δύο φάσεων και την άμεση επαφή τους όπως απεικονίζεται στο *Σχήμα 3-1(α)*. Γενικά οι αγωγοί μπορεί να έρχονται σε επαφή είτε στον αέρα είτε στο έδαφος. Τα ρεύματα που διαρρέουν τους αγωγούς σε αυτή την περίπτωση είναι ιδιαίτερα μεγάλα και ιδίως αν το σφάλμα αυτό παρουσιαστεί στα πρώτα χιλιόμετρα της γραμμής. Αυτός είναι και ο λόγος που οι υπολογισμοί έγιναν για τα πρώτα 100 χιλιόμετρα γραμμής. Η τιμή αυτών των ρευμάτων θα καθορίσει και τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά μήκος των αγωγών. Η οριακή θερμοκρασία για γυμνούς αγωγούς αλουμινίου είναι οι 180°C. Στόχος μας ύστερα από τους υπολογισμούς, είναι να καταλήξουμε στο αν υπερβαίνουμε τη θερμοκρασία αυτή για κάποια εκ των περιπτώσεων δικτύων που θα εξεταστούν, γεγονός που επιφέρει δυσμενείς συνέπειες για τους αγωγούς και το δίκτυο γενικότερα.

✓ **Μέρος Β**

Στο δεύτερο μέρος της διπλωματικής, εξετάζουμε την περίπτωση εκδήλωσης σφάλματος λόγω ροής ρεύματος μέσω γης. Τέτοιο σφάλμα προκύπτει αν αποκοπούν δύο φάσεις του δικτύου διανομής μέσης τάσης και πέσουν στο έδαφος σε κάποια απόσταση ο ένας από τον άλλο. Το τμήμα εδάφους που μεσολαβεί ανάμεσα τους έχει κάποια **αντίσταση διάβασης R_{δ}** η οποία εξαρτάται τόσο από το είδος του εδάφους (πετρώδες, φυτική γη κλπ), όσο και από διάφορα υλικά που πιθανόν έχουν αποτεθεί πάνω στο έδαφος (ξύλα, χαρτιά, απορρίμματα κλπ). Ένα σφάλμα όπως αυτό που περιγράψαμε απεικονίζεται στο *Σχήμα 3-1(β)*.

Η τιμή της αντίστασης R_{δ} , θα είναι αυτή που θα καθορίσει και την τιμή του **ρεύματος διάβασης (I_{δ})** που θα διέλθει μέσω του εδάφους. Στο *Μέρος Β* της εργασίας, υπολογίζουμε τα ρεύματα διάβασης για διάφορες τιμές αντιστάσεων R_{δ} . Η ροή ρεύματος μέσω της γης (δηλαδή της αντίστασης R_{δ}) έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ισχύος P_{δ} , η οποία καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_{δ} προκαλώντας ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας. Με χρήση των κατάλληλων σχέσεων, βρίσκουμε το χρόνο που απαιτείται ώστε αυτή η θερμοκρασία να φτάσει την θερμοκρασία ανάφλεξης κάποιου εύφλεκτου υλικού (που πιθανόν να βρίσκεται πάνω στο έδαφος). Με τον τρόπο αυτό ελέγχουμε το χρονικό περιθώριο που έχουν τα μέσα προστασίας προκειμένου να δράσουν προτού εκδηλωθεί πυρκαγιά. Στον αντίποδα, για μικρά ρεύματα (που δεν ενεργοποιούν τις προστασίες του δικτύου) ελέγχουμε αν η αναπτυσσόμενη ισχύς είναι ικανή να οδηγήσει σε πυρκαγιά.



(α)

(β)

Σχήμα 3-1: Σχηματική αναπαράσταση:

(α) διφασικού βραχυκυκλώματος από την επαφή δύο αγωγών (είτε στον αέρα είτε στο έδαφος)

(β) σφάλματος λόγω αποκοπής δύο φάσεων και ροής ρεύματος μέσω γης

3.1 Εισαγωγή

Στο μέρος αυτό, θα μελετήσουμε το διφασικό βραχυκύκλωμα που εμφανίζεται κατά μήκος αγωγών ACSR 95mm² μέσης τάσης (MT). Εκεί όπου θα εστιάσουμε κατά κύριο λόγο, είναι στα ρεύματα βραχυκύκλωσης που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου βραχυκυκλώματος, καθώς επίσης και στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά μήκος του αγωγούς εξαιτίας των ρευμάτων αυτών.

3.2 Περιπτώσεις Δικτύων

Γενικά το δίκτυο μέσης τάσης παρουσιάζει διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή. Οι διαφοροποιήσεις αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την **Ονομαστική Τάση** του δικτύου MT (U_N) και την εκάστοτε **Ονομαστική Ισχύ του μετασχηματιστή** μέσης τάσης (P_N). Θέλοντας να καταλήξουμε σε ολοκληρωμένα συμπεράσματα οφείλουμε να λάβουμε υπόψη μας όλες τις πιθανές περιπτώσεις.

Οι συνηθέστερα εμφανιζόμενοι συνδυασμοί U_N , P_N είναι αυτοί που παρατίθενται στους Πίνακες A.1 και A.2 που ακολουθούν. Εκτός των ονομαστικών τιμών τάσης και ισχύος οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν και τις αντίστοιχες τιμές αντίστασης του μετασχηματιστή ($R_{M/\Sigma}$) και επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή ($X_{M/\Sigma}$).

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των $R_{M/\Sigma}$ και $X_{M/\Sigma}$ είναι οι εξής:

$$R_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 u_r}{P_N} \quad \text{και} \quad X_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 \sqrt{(u_k^2 - u_r^2)}}{P_N}$$

Για τους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στον ελληνικό χώρο, τυπικές τιμές για την τάση βραχυκύκλωσης είναι: $u_k=20\%$ και για την ωμική της συνιστώσα, $u_r=0,6\%$.*

Πίνακας A.1

P_n (MVA)	U_n (KV)	$R_{M/\Sigma}$	$X_{M/\Sigma}$
15	20	0,160	5,33
25	20	0,096	3,20
50	20	0,048	1,60

Τιμές της αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή (150KV/20KV) για διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος (P_N) σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου $U_N=20$ KV

*Σημειώνεται ότι αναλυτική περιγραφή των σχέσεων καθώς και των μεγεθών που αυτές περιλαμβάνουν υπάρχει στην εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής.

Πίνακας Α.2

P_n (MVA)	U_n (KV)	$R_{M/\Sigma}$	$X_{M/\Sigma}$
15	15	0,090	3,00
25	15	0,054	1,80
50	15	0,027	0,90

Τιμές της αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή μέσης τάσης (150KV/15KV) για διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος (P_N) σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου $U_N=15$ KV

3.3 Βασικές σχέσεις & Βασικά Μεγέθη

✓ Αντιστάσεις και Επαγωγικές Αντιδράσεις

Τα ήδη των αντιστάσεων που μας απασχολούν στο Μέρος Α είναι οι αντιστάσεις της γραμμής και του μετασχηματιστή καθώς και οι αντίστοιχες επαγωγικές αντιδράσεις ($R_{\gamma\rho}$, $X_{\gamma\rho}$, $R_{M/\Sigma}$, $X_{M/\Sigma}$). Πιο συγκεκριμένα τα μεγέθη αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Αντίσταση Γραμμής ($R_{\gamma\rho}$):** Πρόκειται για την ωμική αντίσταση που οφείλεται στον αγωγό ACSR95mm². Είναι εμφανές πως η τιμή αυτής της αντίστασης εξαρτάται άμεσα από το **μήκος της γραμμής** μέχρι το σημείο που συμβαίνει στο σφάλμα (**L**). Μια αντιπροσωπευτική τιμή που χρησιμοποιήσαμε εμείς για τους αγωγούς ACSR95mm² είναι $R_{\gamma\rho/km} = 0,215 \frac{\Omega}{Km}$.

Τελικά
$$R_{\gamma\rho} = (R_{\gamma\rho/km} \cdot L) \Omega \quad (\text{A-3.1})$$

- **Επαγωγική αντίδραση Γραμμής ($X_{\gamma\rho}$):** Πρόκειται για το επαγωγικό μέρος της αντίστασης που οφείλεται στον αγωγό ACSR95mm². Η τιμή της εξαρτάται από το μήκος του αγωγού μέχρι το σημείο εκδήλωσης του σφάλματος. Και σε αυτή την περίπτωση έγινε χρήση μιας αντιπροσωπευτικής τιμής σε $\frac{\Omega}{Km}$, $X_{\gamma\rho/km}=0,334 \frac{\Omega}{Km}$

Τελικά
$$X_{\gamma\rho} = (X_{\gamma\rho/km} \cdot L) \Omega \quad (\text{A-3.2})$$

- **Ωμική Αντίσταση Μετασχηματιστή ($R_{M/\Sigma}$):** Είναι τιμή που εξαρτάται από τον μετασχηματιστή που χρησιμοποιείται για τον υποβιβασμό της υψηλής τάσης σε μέση. Ανάλογα με την ονομαστική ισχύ του Μ/Σ (P_N) αλλά και την ονομαστική τάση του δικτύου (U_N) οι τιμές της ωμικής αντίστασης του Μ/Σ υπολογίστηκαν στους Πίνακες Α.1 & Α.2.
- **Επαγωγική Αντίδραση Μετασχηματιστή ($X_{M/\Sigma}$):** Και εδώ οι τιμές ποικίλλουν και έχουν ήδη υπολογιστεί στους Πίνακες Α.1 & Α.2.
- **Σύνθετη Αντίσταση (Z):** Είναι η συνισταμένη όλων των παραπάνω συνιστωσών. Συνδυάζει επαγωγικά και ωμικά μέρη δίνοντας μας τη συνολική αντίσταση σε Ω που θα καθορίσει τελικά και το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sw}). Η Σχέση που μα δίνει τη Z είναι:

$$Z = 2 \cdot \sqrt{(R_{\gamma\rho} + R_{M\Sigma})^2 + (X_{\gamma\rho} + X_{M\Sigma})^2} \quad (\text{A-3.3})$$

✓ Ρεύματα Βραχυκύκλωσης

Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που θα μας απασχολήσουν στην ενότητα αυτή είναι το εναλλασσόμενο (I_{sw}) και το διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_d). Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας (Παράγραφος 1.4.2.3) για τις δύο ακραίες τιμές του συντελεστή μ_d προκύπτουν αντίστοιχα το I_{d1} και το I_{d2} όπου:

$$I_{d1} = 0,35 I_{sw} \quad (\text{4.2.3-2}) \quad \text{και} \quad I_{d2} = I_{sw} \quad (\text{4.2.3-3})$$

Σε ότι αφορά το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sw}), οι υπολογισμοί βασίζονται στη σχέση 4.2.2-2 της εισαγωγής η οποία για ευκολία επαναλαμβάνεται:

$$I_{sw} \leq \frac{V_N}{2 \cdot \sqrt{(R_{\gamma} + R_{M\Sigma})^2 + (X_{\gamma} + X_{M\Sigma})^2}} \quad (\text{4.2.2 - 2})$$

Το σύμβολο \leq υποδηλώνει πως η τιμή που υπολογίζεται με την παραπάνω σχέση είναι μια μέγιστη τιμή που θα μπορούσε να πάρει το I_{sw} . Πρακτικά η πραγματική του τιμή είναι αρκετά μικρότερη μιας και η συνολική αντίσταση ενός ολόκληρου δικτύου είναι προφανώς μεγαλύτερη από αυτή της γραμμής και του Μ/Σ που εμείς λαμβάνουμε υπόψη.

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

✓ Θερμικές καταπονήσεις

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό αυτών των μεγεθών, είναι αυτές που αναφέρονται στην ενότητα 1.4.3 της εισαγωγής. Συνοπτικά αναφέρουμε:

Την εμπειρική σχέση που δίνει την αύξηση της θερμοκρασίας σε αγωγούς συναρτήσει του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_d) και του χρόνου (t) μέχρι την διακοπή του βραχυκυκλώματος:

$$\Delta\theta = \frac{\kappa \cdot (I_d)^2 [t + T \cdot \left(\frac{I_{sw}}{I_d}\right)^2]}{A^2} \quad (\text{4.3-1})$$

Όπου:

$\Delta\theta$ η αύξηση της θερμοκρασίας σε $^{\circ}\text{C}$,

A η διατομή του αγωγού σε mm^2

κ σταθερά του υλικού:

T ένας συντελεστής χρόνου η τιμή του οποίου στο διφασικό βραχυκύκλωμα κυμαίνεται από t ;

- για χαλκό $\kappa = 0,0058$ (αφού αναφερόμαστε σε ισοδύναμη διατομή χαλκού)

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

T ο συντελεστής χρόνου η τιμή του οποίου είναι, για διφασικό βραχυκύκλωμα $T = 0,6$ έως $0,25$ sec

Στην περίπτωση του αγωγού ACSR 95mm^2 που εξετάζουμε, η διατομή που πρέπει να βάλουμε κατά τους υπολογισμούς με την παραπάνω σχέση είναι $A=95\text{mm}^2$. Παρά το γεγονός ότι οι αγωγοί αυτού του τύπου δεν είναι χάλκινοι, η διατομή των 95mm^2 είναι ισοδύναμη διατομή χαλκού. Αυτό σημαίνει πως ο αγωγός αλουμινίου που εμείς εξετάζουμε ισοδυναμεί στην πράξη με ένα χάλκινο διατομής 95mm^2 . Αποτέλεσμα των όσων προαναφέραμε είναι η χρησιμοποίηση ως σταθεράς υλικού αυτή του χαλκού, ώστε να καταλήξουμε σε ορθά αποτελέσματα.

Παρατηρώντας τη σχέση **(4.3-1)** συμπεραίνουμε πως ο χρόνος διακοπής, ο συντελεστής χρόνου αλλά ακόμα και το I_d , είναι τιμές που μεταβάλλονται. Επομένως και η **αύξηση της θερμοκρασίας ενός αγωγού** ο οποίος διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I_{sw} εξαρτάται από αυτές τις μεταβολές. Για το λόγο αυτό για κάθε τιμή χρόνου διακοπής t θα ορίσουμε τέσσερα διαφορετικά $\Delta\theta_i$ τα οποία θα υπολογίζουμε. Με τον τρόπο αυτό θα είμαστε σε θέση να ελέγξουμε εκ των υστέρων αν κάποια από τις υπερθερμάνσεις αυτές είναι επικίνδυνη για τον αγωγό ACSR 95mm^2 .

Αναλυτικά οι σχέσεις αυτές είναι:

$$\Delta\theta_1 = \frac{\kappa(0,35 \cdot I_{sw})^2 [t + 0,25 \cdot (\frac{1}{0,35})^2]}{A^2} \quad (\text{A.3.4}) \quad \Delta\theta_2 = \frac{\kappa(0,35 \cdot I_{sw})^2 [t + 0,6 \cdot (\frac{1}{0,35})^2]}{A^2} \quad (\text{A.3.5})$$

$$\Delta\theta_3 = \frac{\kappa(I_{sw})^2 [t + 0,25]}{A^2} \quad (\text{A.3.6})$$

$$\Delta\theta_4 = \frac{\kappa(I_{sw})^2 [t + 0,6]}{A^2} \quad (\text{A.3.7})$$

✓ Επιπρόσθετη θερμική καταπόνηση κατά τη λειτουργία του ΔΑΕ

Όπως έχει αναφερθεί ήδη και στην παράγραφο 1.4.3 της εισαγωγής, η λειτουργία του ΔΑΕ προκαλεί περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας κατά μήκος του αγωγού στην προσπάθεια του να αποκαταστήσει το βραχυκύκλωμα (εάν αυτό είναι παροδικό). Έτσι, η υπερθέρμανση εξαιτίας του ΔΑΕ δίνεται από τη σχέση:

- Κατά το πρώτο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο t sec

$$\theta_{1ON-OFF} = 40^\circ\text{C} + \max \{ \Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4 \} \quad (\text{A-3.8})$$

Όπου οι 40°C είναι μια ακραία θερμοκρασία περιβάλλοντος, που μπορεί όμως να εμφανιστεί στην ελληνική ύπαιθρο κατά τους θερινούς μήνες.

- Κατά το δεύτερο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο $t' = \sqrt{2} \cdot t$

$$\theta_{2ON-OFF} = \sqrt{2} \cdot \theta_{1ON-OFF} \quad (\text{A-3.9})$$

- Κατά το τρίτο άνοιγμα του ΔΑΕ ύστερα από χρόνο $t'' = 2 \cdot t$

$$\theta_{3OFF} = 2 \cdot \theta_{1ON-OFF} \quad (A-3.10)$$

3.4 Κυρίως μέρος Υπολογισμών

Το κομμάτι των κυρίως υπολογισμών περιλαμβάνει την μελέτη και τους αναλυτικούς υπολογισμούς για τις **6 διαφορετικές περιπτώσεις** δικτύων όπως αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες A.1 και A.2 της παρούσας ενότητας. Με άλλα λόγια κάθε ζεύγος τιμών ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N) και ονομαστικής ισχύος μετασχηματιστή (P_N), αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση για την οποία εφαρμόζοντας τις σχέσεις του προηγούμενου κομματιού υπολογίζουμε ρεύματα βραχυκύκλωσης αλλά και υπερθερμάνσεις κατά μήκος ενός αγωγού ACSR 95mm².

✓ **Υπολογισμοί Πινάκων**

Σε κάθε μια από τις έξι περιπτώσεις, γίνονται υπολογισμοί για τέσσερις ενδεχόμενους χρόνους διακοπής ($t=0,15s$, $t=0,25s$, $t=0,4s$ και $t=1s$). Οι χρόνοι αυτοί αφορούν το διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την πρώτη διακοπή από τον ΔΑΕ. Είναι προφανές πως ένας χρόνος της τάξης του 1sec, είναι ακραία περίπτωση καθώς στην πράξη οι χρόνοι διακοπής δεν ξεπερνούν τα 0,4sec. Παρόλα αυτά η μελέτη αυτής της περίπτωσης θα μας δώσει μια εικόνα για το κατά πόσο θα ήταν πιθανό να βρεθούμε εν δυνάμει κοντά (ή ακόμα και να ξεπεράσουμε) τα θερμοκρασιακά όρια (180°C) που ορίζει ο κατασκευαστής του αγωγού ACSR 95mm².

Αρχικά υπολογίζονται τα ρεύματα I_{sw} , I_{d1} και I_{d1} τα οποία μάλιστα παραμένουν σταθερά για κάθε χρόνο διακοπής αφού εξαρτώνται αποκλειστικά από τα P_N , U_N . Εν συνεχεία για κάθε χρόνο διακοπής (t) ξεχωριστά υπολογίζω:

- Τις υπερθερμάνσεις ($\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$, $\Delta\theta_3$, $\Delta\theta_4$) μέσω των σχέσεων A-3.4 έως A-3.8
- Τις θερμοκρασίες κατά μήκος του αγωγού σε κάθε ένα από τα τρία ανοίγματα του ΔΑΕ ($\theta_{1OFF-ON}$, $\theta_{2OFF-ON}$, θ_{3OFF}) μέσω των A-3.8, A.3.9 και A-3.10

✓ **Διαγράμματα**

Για κάθε μια εκ των έξι περιπτώσεων, σχεδιάζεται αρχικά ένα διάγραμμα των $I_{sw}, I_{d1}=f(L)$ το οποίο είναι χαρακτηριστικό της εκάστοτε περίπτωσης που εξετάζουμε, ανεξαρτήτως της τιμής του χρόνου διακοπής (**t**) του ΔΑΕ.

Επιπλέον, για κάθε ξεχωριστή τιμή του χρόνου διακοπής, σχεδιάζονται δύο διαγράμματα $\Delta\theta=f(L)$ και $\theta_{ION-OFF}=f(L)$ τα οποία μας δείχνουν τις μεταβολές των αντίστοιχων θερμοκρασιακών μεγεθών κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²

Στις σελίδες που ακολουθούν αναπτύσσεται λεπτομερώς το υπολογιστικό κομμάτι κάθε μιας εκ των έξι περιπτώσεων που αναφέρθηκαν.

1^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=15\text{MVA}$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20\text{kV}$

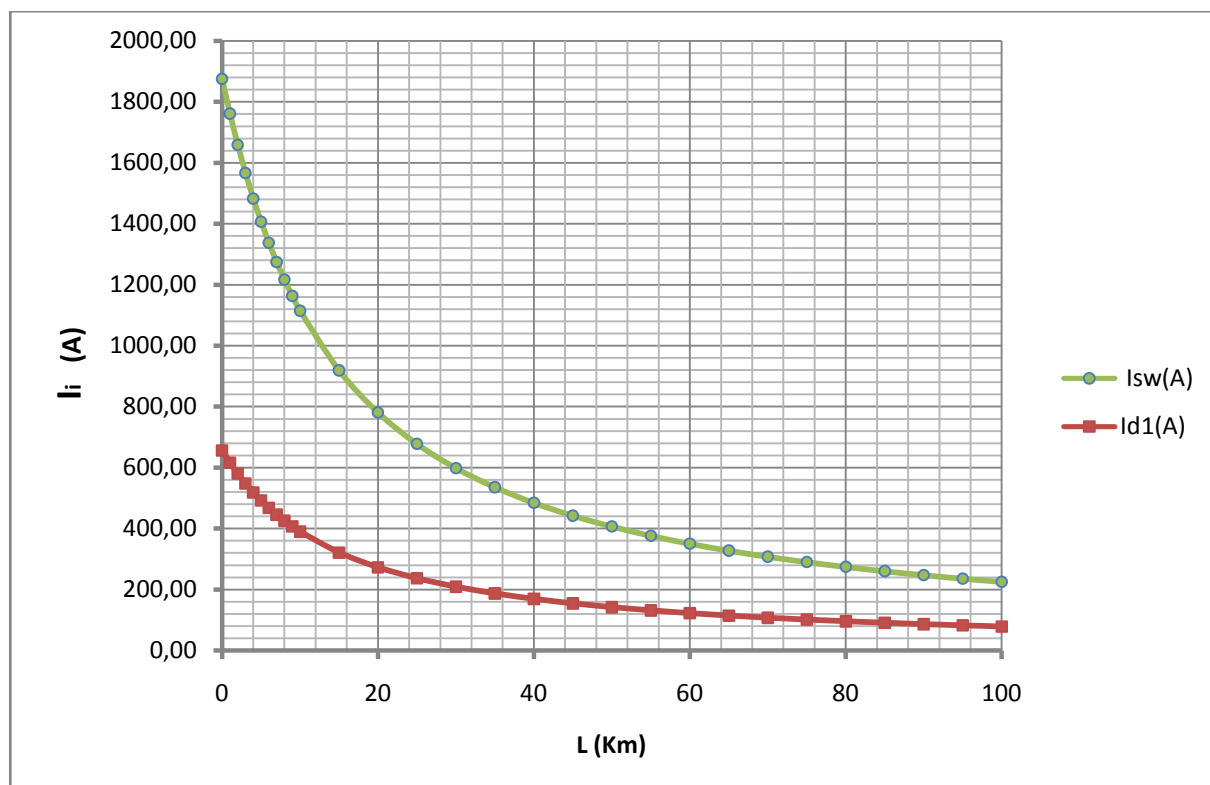
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$) που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 1.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,66	1875,33	656,36	1875,33	0,61	1,40	0,90	1,70
1	0,22	0,33	0,16	5,33	11,35	1761,68	616,59	1761,68	0,54	1,23	0,80	1,50
2	0,43	0,67	0,16	5,33	12,05	1659,21	580,73	1659,21	0,47	1,09	0,71	1,33
3	0,65	1,00	0,16	5,33	12,77	1566,67	548,33	1566,67	0,42	0,98	0,63	1,18
4	0,86	1,34	0,16	5,33	13,49	1482,89	519,01	1482,89	0,38	0,87	0,57	1,06
5	1,08	1,67	0,16	5,33	14,22	1406,84	492,40	1406,84	0,34	0,79	0,51	0,95
6	1,29	2,00	0,16	5,33	14,95	1337,62	468,17	1337,62	0,31	0,71	0,46	0,86
7	1,51	2,34	0,16	5,33	15,69	1274,42	446,05	1274,42	0,28	0,65	0,42	0,78
8	1,72	2,67	0,16	5,33	16,44	1216,56	425,80	1216,56	0,26	0,59	0,38	0,71
9	1,94	3,01	0,16	5,33	17,19	1163,44	407,20	1163,44	0,23	0,54	0,35	0,65
10	2,15	3,34	0,16	5,33	17,94	1114,52	390,08	1114,52	0,21	0,49	0,32	0,60
15	3,23	5,01	0,16	5,33	21,76	919,12	321,69	919,12	0,15	0,34	0,22	0,41
20	4,30	6,68	0,16	5,33	25,62	780,56	273,19	780,56	0,11	0,24	0,16	0,29
30	6,45	10,02	0,16	5,33	33,43	598,35	209,42	598,35	0,06	0,14	0,09	0,17
40	8,60	13,36	0,16	5,33	41,28	484,47	169,56	484,47	0,04	0,09	0,06	0,11
60	12,90	20,04	0,16	5,33	57,07	350,46	122,66	350,46	0,02	0,05	0,03	0,06
80	17,20	26,72	0,16	5,33	72,90	274,35	96,02	274,35	0,01	0,03	0,02	0,04
100	21,50	33,40	0,16	5,33	88,75	225,35	78,87	225,35	0,01	0,02	0,01	0,02

Πίνακας 1.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

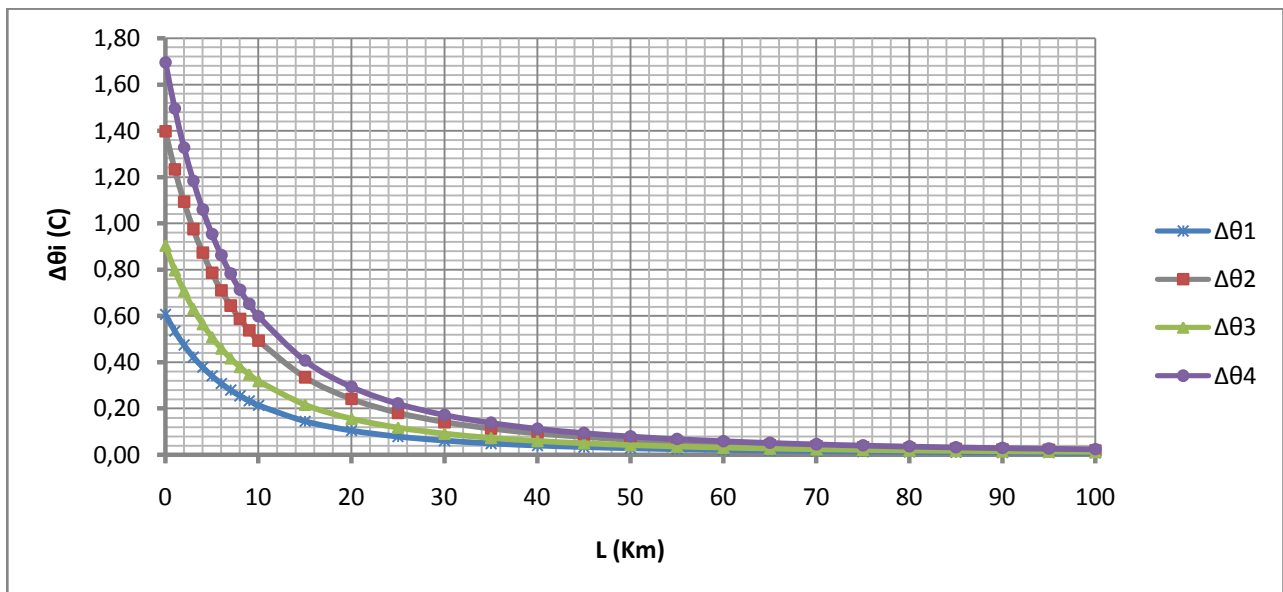
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 1.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	1,70	41,70	58,97	83,39
1	1,50	41,50	58,68	82,99
2	1,33	41,33	58,45	82,65
3	1,18	41,18	58,24	82,37
4	1,06	41,06	58,07	82,12
5	0,95	40,95	57,92	81,91
6	0,86	40,86	57,79	81,72
7	0,78	40,78	57,68	81,57
8	0,71	40,71	57,58	81,43
9	0,65	40,65	57,49	81,30
10	0,60	40,60	57,42	81,20
15	0,41	40,41	57,14	80,81
20	0,29	40,29	56,98	80,59
40	0,11	40,11	56,73	80,23
60	0,06	40,06	56,65	80,12
80	0,04	40,04	56,62	80,07
100	0,02	40,02	56,60	80,05

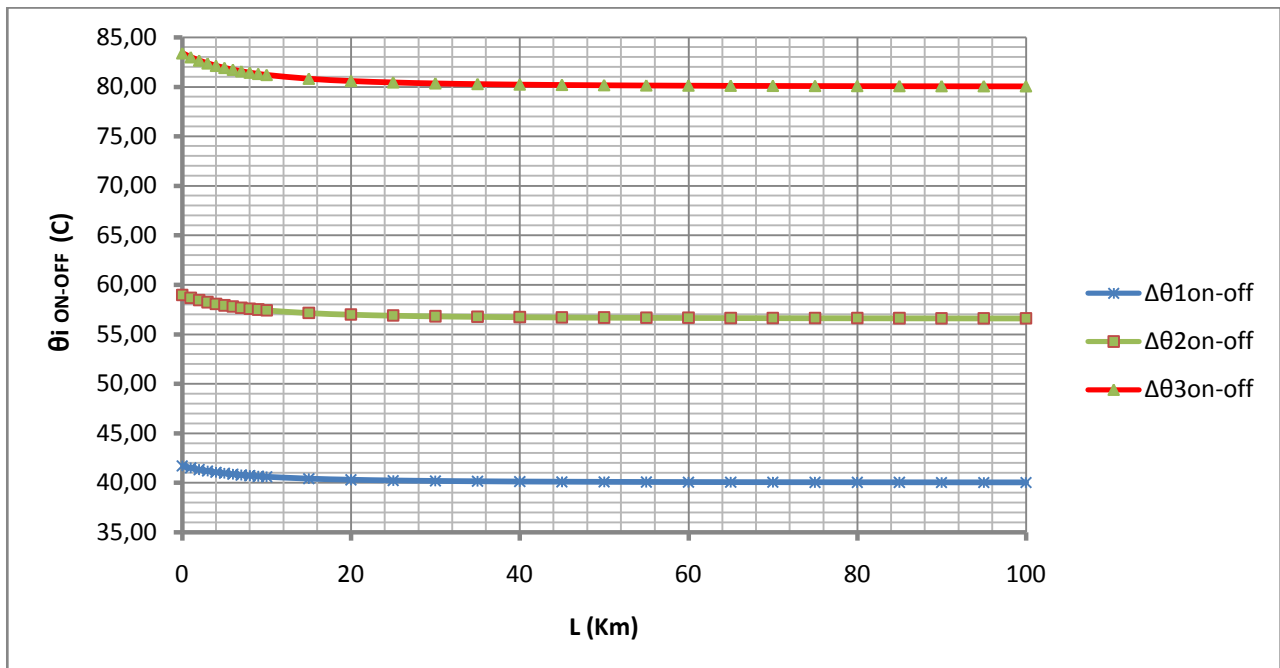
Πίνακας 1.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 1.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	I_{sw} (A)	I_{d1} (A)	I_{d2} (A)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,66	1875,33	656,36	1875,33	0,63	1,43	1,13	1,92
1	0,22	0,33	0,16	5,33	11,35	1761,68	616,59	1761,68	0,56	1,26	1,00	1,70
2	0,43	0,67	0,16	5,33	12,05	1659,21	580,73	1659,21	0,50	1,12	0,88	1,50
3	0,65	1,00	0,16	5,33	12,77	1566,67	548,33	1566,67	0,44	0,99	0,79	1,34
4	0,86	1,34	0,16	5,33	13,49	1482,89	519,01	1482,89	0,40	0,89	0,71	1,20
5	1,08	1,67	0,16	5,33	14,22	1406,84	492,40	1406,84	0,36	0,80	0,64	1,08
6	1,29	2,00	0,16	5,33	14,95	1337,62	468,17	1337,62	0,32	0,73	0,57	0,98
7	1,51	2,34	0,16	5,33	15,69	1274,42	446,05	1274,42	0,29	0,66	0,52	0,89
8	1,72	2,67	0,16	5,33	16,44	1216,56	425,80	1216,56	0,27	0,60	0,48	0,81
9	1,94	3,01	0,16	5,33	17,19	1163,44	407,20	1163,44	0,24	0,55	0,43	0,74
10	2,15	3,34	0,16	5,33	17,94	1114,52	390,08	1114,52	0,22	0,50	0,40	0,68
15	3,23	5,01	0,16	5,33	21,76	919,12	321,69	919,12	0,15	0,34	0,27	0,46
20	4,30	6,68	0,16	5,33	25,62	780,56	273,19	780,56	0,11	0,25	0,20	0,33
30	6,45	10,02	0,16	5,33	33,43	598,35	209,42	598,35	0,06	0,15	0,12	0,20
40	8,60	13,36	0,16	5,33	41,28	484,47	169,56	484,47	0,04	0,10	0,08	0,13
45	9,68	15,03	0,16	5,33	45,22	442,26	154,79	442,26	0,04	0,08	0,06	0,11
60	12,90	20,04	0,16	5,33	57,07	350,46	122,66	350,46	0,02	0,05	0,04	0,07
80	17,20	26,72	0,16	5,33	72,90	274,35	96,02	274,35	0,01	0,03	0,02	0,04
100	21,50	33,40	0,16	5,33	88,75	225,35	78,87	225,35	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 1.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

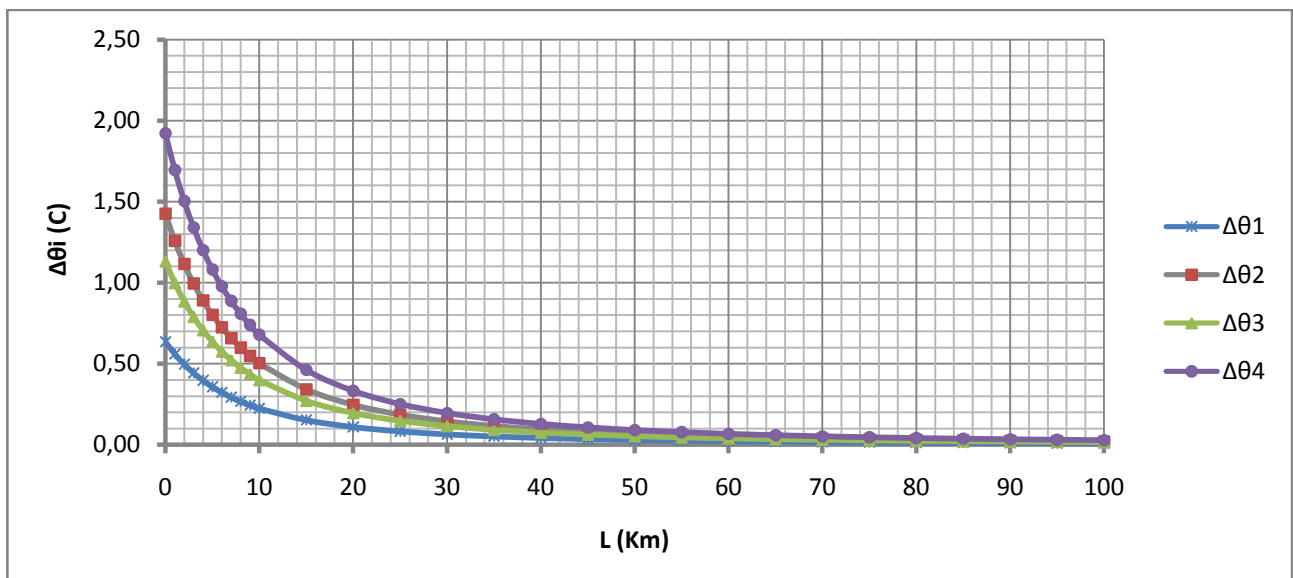
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\underline{\Delta\theta_1} \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\underline{\Delta\theta_2} \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\underline{\Delta\theta_3} \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\underline{\Delta\theta_4} \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 1.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	1,92	41,92	59,29	83,84
1	1,70	41,70	58,97	83,39
2	1,50	41,50	58,70	83,01
3	1,34	41,34	58,46	82,68
4	1,20	41,20	58,27	82,40
5	1,08	41,08	58,10	82,16
6	0,98	40,98	57,95	81,95
7	0,89	40,89	57,82	81,77
8	0,81	40,81	57,71	81,62
9	0,74	40,74	57,61	81,48
10	0,68	40,68	57,53	81,36
15	0,46	40,46	57,22	80,92
20	0,33	40,33	57,04	80,67
30	0,20	40,20	56,85	80,39
40	0,13	40,13	56,75	80,26
60	0,07	40,07	56,66	80,13
80	0,04	40,04	56,63	80,08
100	0,03	40,03	56,61	80,06

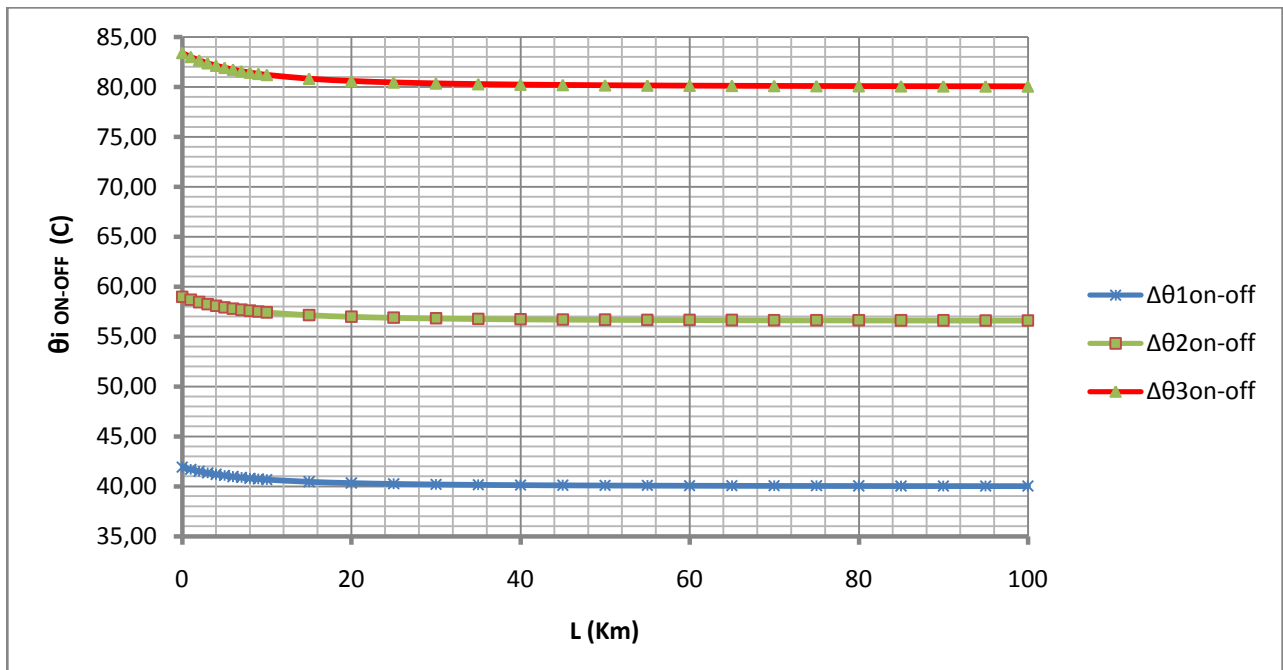
Πίνακας 1.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 1.2.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,66	1875,33	656,36	1875,33	0,68	1,47	1,47	2,26
1	0,22	0,33	0,16	5,33	11,35	1761,68	616,59	1761,68	0,60	1,29	1,30	1,99
2	0,43	0,67	0,16	5,33	12,05	1659,21	580,73	1659,21	0,53	1,15	1,15	1,77
3	0,65	1,00	0,16	5,33	12,77	1566,67	548,33	1566,67	0,47	1,02	1,03	1,58
4	0,86	1,34	0,16	5,33	13,49	1482,89	519,01	1482,89	0,42	0,92	0,92	1,41
5	1,08	1,67	0,16	5,33	14,22	1406,84	492,40	1406,84	0,38	0,83	0,83	1,27
6	1,29	2,00	0,16	5,33	14,95	1337,62	468,17	1337,62	0,34	0,75	0,75	1,15
7	1,51	2,34	0,16	5,33	15,69	1274,42	446,05	1274,42	0,31	0,68	0,68	1,04
8	1,72	2,67	0,16	5,33	16,44	1216,56	425,80	1216,56	0,28	0,62	0,62	0,95
9	1,94	3,01	0,16	5,33	17,19	1163,44	407,20	1163,44	0,26	0,56	0,57	0,87
10	2,15	3,34	0,16	5,33	17,94	1114,52	390,08	1114,52	0,24	0,52	0,52	0,80
15	3,23	5,01	0,16	5,33	21,76	919,12	321,69	919,12	0,16	0,35	0,35	0,54
20	4,30	6,68	0,16	5,33	25,62	780,56	273,19	780,56	0,12	0,25	0,25	0,39
30	6,45	10,02	0,16	5,33	33,43	598,35	209,42	598,35	0,07	0,15	0,15	0,23
35	7,53	11,69	0,16	5,33	37,35	535,49	187,42	535,49	0,06	0,12	0,12	0,18
40	8,60	13,36	0,16	5,33	41,28	484,47	169,56	484,47	0,05	0,10	0,10	0,15
45	9,68	15,03	0,16	5,33	45,22	442,26	154,79	442,26	0,04	0,08	0,08	0,13
60	12,90	20,04	0,16	5,33	57,07	350,46	122,66	350,46	0,02	0,05	0,05	0,08
80	17,20	26,72	0,16	5,33	72,90	274,35	96,02	274,35	0,01	0,03	0,03	0,05
100	21,50	33,40	0,16	5,33	88,75	225,35	78,87	225,35	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 1.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

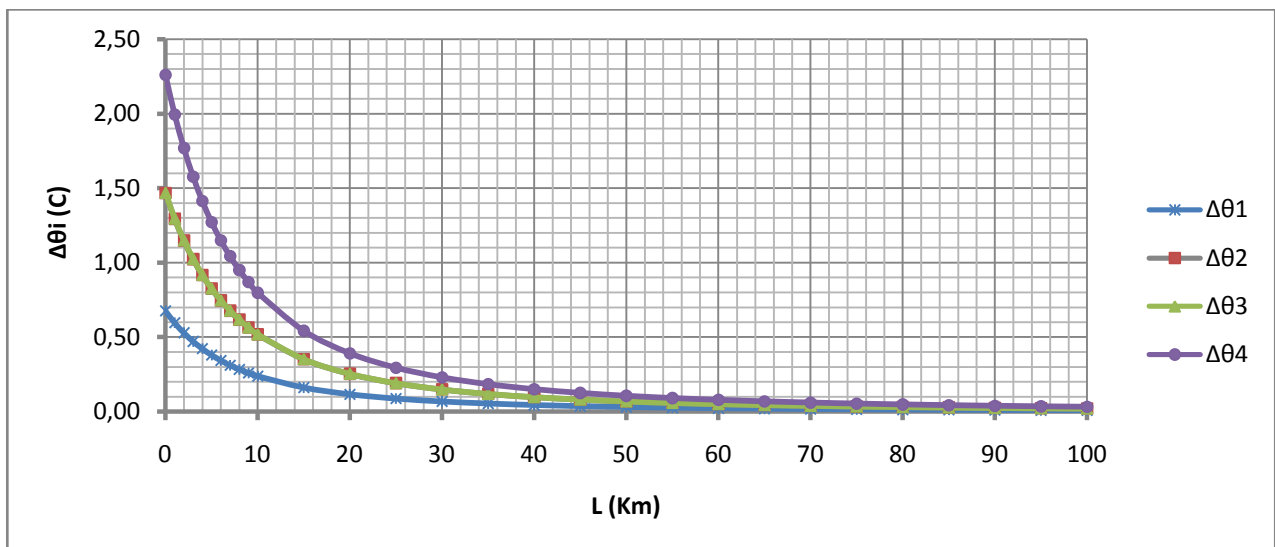
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 1.3.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	2,26	42,26	59,76	84,52
1	1,99	41,99	59,39	83,99
2	1,77	41,77	59,07	83,54
3	1,58	41,58	58,80	83,15
4	1,41	41,41	58,57	82,83
5	1,27	41,27	58,37	82,54
6	1,15	41,15	58,19	82,30
7	1,04	41,04	58,04	82,09
8	0,95	40,95	57,91	81,90
9	0,87	40,87	57,80	81,74
10	0,80	40,80	57,70	81,60
15	0,54	40,54	57,34	81,09
20	0,39	40,39	57,12	80,78
30	0,23	40,23	56,89	80,46
40	0,15	40,15	56,78	80,30
60	0,08	40,08	56,68	80,16
80	0,05	40,05	56,64	80,10
100	0,03	40,03	56,61	80,07

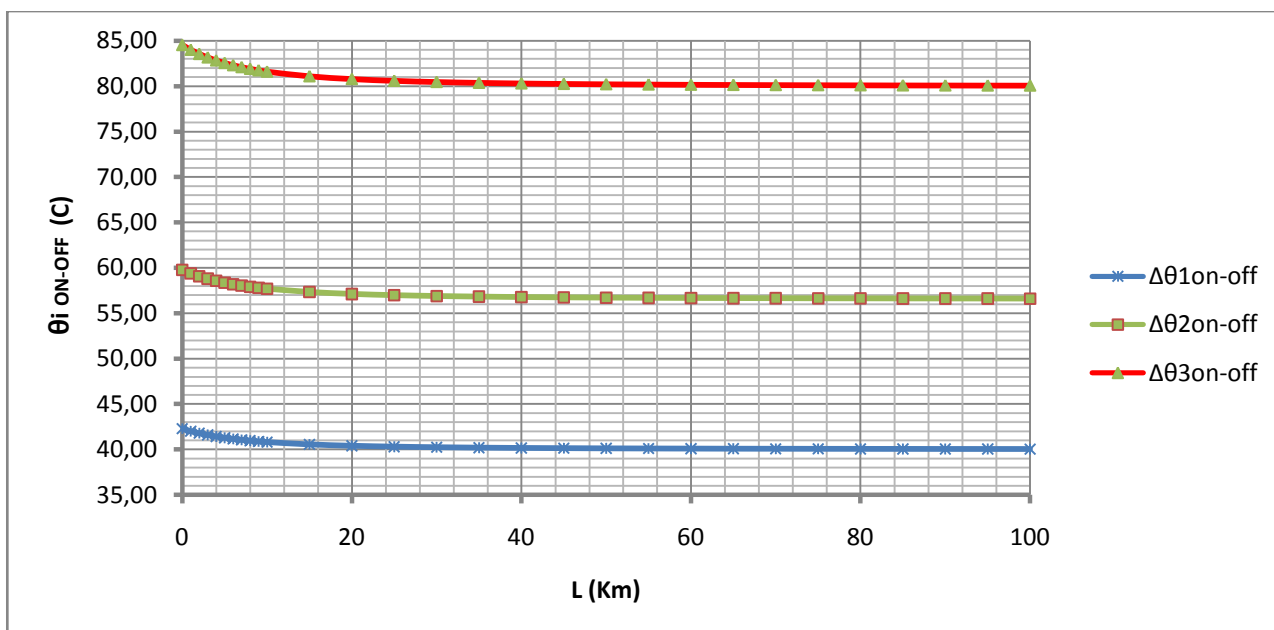
Πίνακας 1.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 1.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10,66	1875,33	656,36	1875,33	0,84	1,63	2,83	3,62
1	0,22	0,33	0,16	5,33	11,35	1761,68	616,59	1761,68	0,74	1,44	2,49	3,19
2	0,43	0,67	0,16	5,33	12,05	1659,21	580,73	1659,21	0,66	1,28	2,21	2,83
3	0,65	1,00	0,16	5,33	12,77	1566,67	548,33	1566,67	0,59	1,14	1,97	2,52
4	0,86	1,34	0,16	5,33	13,49	1482,89	519,01	1482,89	0,53	1,02	1,77	2,26
5	1,08	1,67	0,16	5,33	14,22	1406,84	492,40	1406,84	0,47	0,92	1,59	2,04
6	1,29	2,00	0,16	5,33	14,95	1337,62	468,17	1337,62	0,43	0,83	1,44	1,84
7	1,51	2,34	0,16	5,33	15,69	1274,42	446,05	1274,42	0,39	0,75	1,30	1,67
8	1,72	2,67	0,16	5,33	16,44	1216,56	425,80	1216,56	0,35	0,69	1,19	1,52
9	1,94	3,01	0,16	5,33	17,19	1163,44	407,20	1163,44	0,32	0,63	1,09	1,39
10	2,15	3,34	0,16	5,33	17,94	1114,52	390,08	1114,52	0,30	0,58	1,00	1,28
15	3,23	5,01	0,16	5,33	21,76	919,12	321,69	919,12	0,20	0,39	0,68	0,87
20	4,30	6,68	0,16	5,33	25,62	780,56	273,19	780,56	0,15	0,28	0,49	0,63
30	6,45	10,02	0,16	5,33	33,43	598,35	209,42	598,35	0,09	0,17	0,29	0,37
40	8,60	13,36	0,16	5,33	41,28	484,47	169,56	484,47	0,06	0,11	0,19	0,24
60	12,90	20,04	0,16	5,33	57,07	350,46	122,66	350,46	0,03	0,06	0,10	0,13
80	17,20	26,72	0,16	5,33	72,90	274,35	96,02	274,35	0,02	0,03	0,06	0,08
100	21,50	33,40	0,16	5,33	88,75	225,35	78,87	225,35	0,01	0,02	0,04	0,05

Πίνακας 1.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

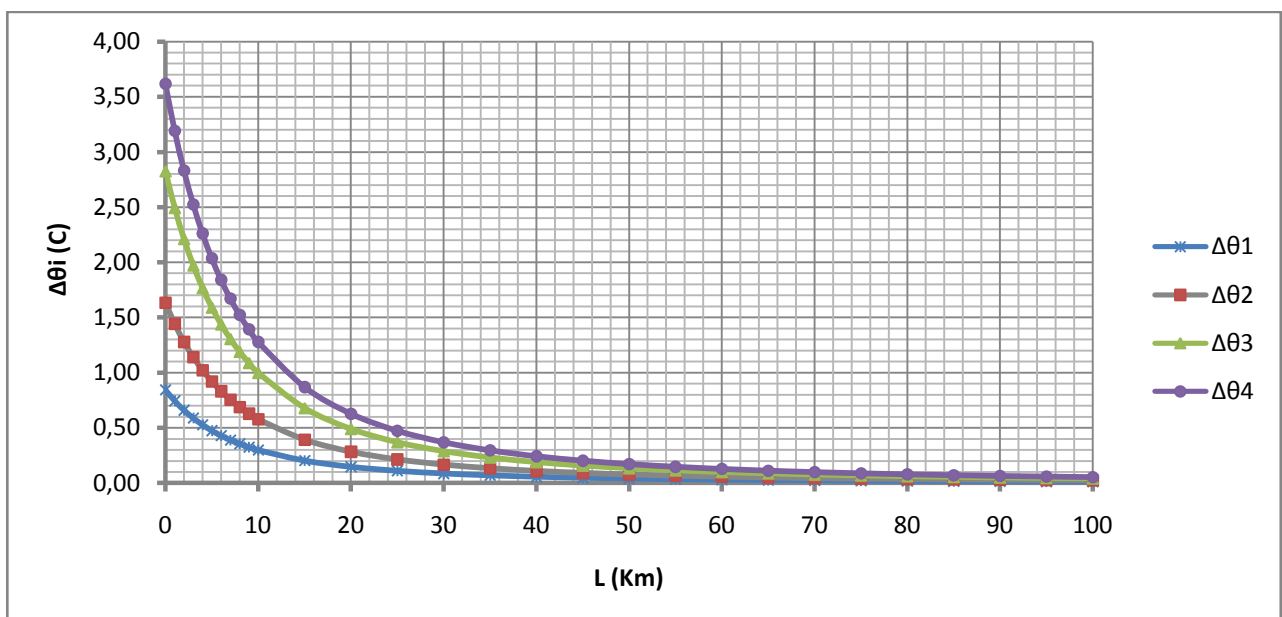
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\underline{\Delta\theta_1} \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\underline{\Delta\theta_2} \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\underline{\Delta\theta_3} \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\underline{\Delta\theta_4} \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 1.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	3,62	43,62	61,68	87,23
1	3,19	43,19	61,08	86,38
2	2,83	42,83	60,57	85,66
3	2,52	42,52	60,14	85,05
4	2,26	42,26	59,77	84,52
5	2,04	42,04	59,45	84,07
6	1,84	41,84	59,17	83,68
7	1,67	41,67	58,93	83,34
8	1,52	41,52	58,72	83,04
9	1,39	41,39	58,54	82,78
10	1,28	41,28	58,37	82,55
15	0,87	40,87	57,80	81,74
20	0,63	40,63	57,45	81,25
30	0,37	40,37	57,09	80,74
40	0,24	40,24	56,91	80,48
60	0,13	40,13	56,75	80,25
80	0,08	40,08	56,68	80,15
100	0,05	40,05	56,64	80,10

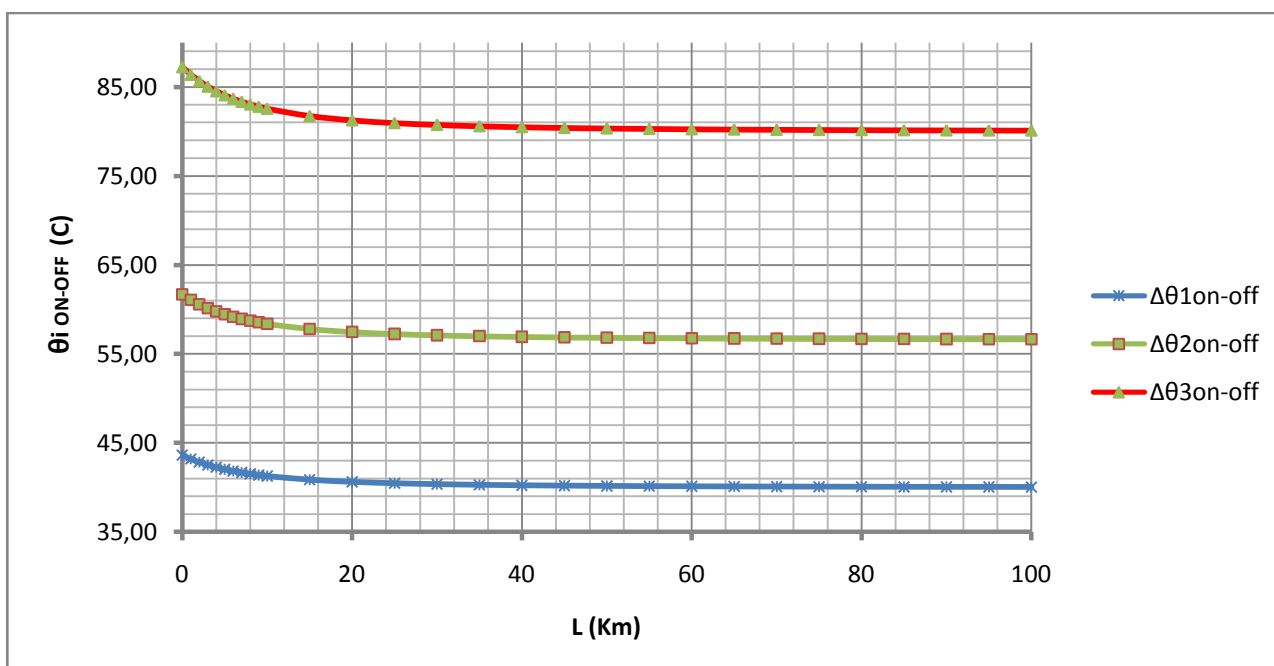
Πίνακας 1.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 1.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

2^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=25\text{MVA}$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20\text{kV}$

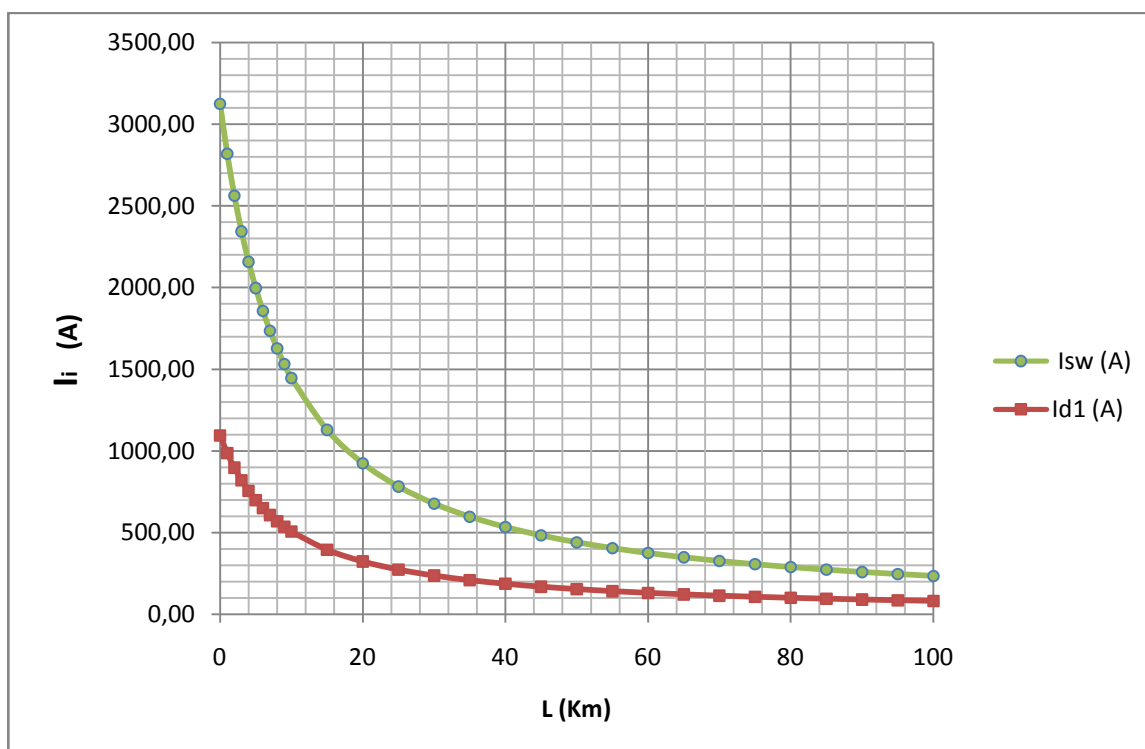
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$), που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 2.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	6,40	3123,59	1093,26	3123,59	1,68	3,88	2,51	4,70
1	0,22	0,33	0,096	3,20	7,10	2818,76	986,57	2818,76	1,37	3,16	2,04	3,83
2	0,43	0,67	0,096	3,20	7,81	2561,74	896,61	2561,74	1,13	2,61	1,69	3,16
3	0,65	1,00	0,096	3,20	8,53	2343,66	820,28	2343,66	0,95	2,18	1,41	2,65
4	0,86	1,34	0,096	3,20	9,27	2157,20	755,02	2157,20	0,80	1,85	1,20	2,24
5	1,08	1,67	0,096	3,20	10,02	1996,48	698,77	1996,48	0,69	1,58	1,02	1,92
6	1,29	2,00	0,096	3,20	10,77	1856,87	649,90	1856,87	0,59	1,37	0,89	1,66
7	1,51	2,34	0,096	3,20	11,53	1734,67	607,14	1734,67	0,52	1,20	0,77	1,45
8	1,72	2,67	0,096	3,20	12,29	1626,97	569,44	1626,97	0,46	1,05	0,68	1,28
9	1,94	3,01	0,096	3,20	13,06	1531,42	536,00	1531,42	0,40	0,93	0,60	1,13
10	2,15	3,34	0,096	3,20	13,83	1446,15	506,15	1446,15	0,36	0,83	0,54	1,01
15	3,23	5,01	0,096	3,20	17,71	1129,15	395,20	1129,15	0,22	0,51	0,33	0,61
20	4,30	6,68	0,096	3,20	21,63	924,74	323,66	924,74	0,15	0,34	0,22	0,41
30	6,45	10,02	0,096	3,20	29,50	677,88	237,26	677,88	0,08	0,18	0,12	0,22
40	8,60	13,36	0,096	3,20	37,41	534,63	187,12	534,63	0,05	0,11	0,07	0,14
60	12,90	20,04	0,096	3,20	53,25	375,56	131,45	375,56	0,02	0,06	0,04	0,07
80	17,20	26,72	0,096	3,20	69,12	289,36	101,27	289,36	0,01	0,03	0,02	0,04
100	21,50	33,40	0,096	3,20	84,99	235,31	82,36	235,31	0,01	0,02	0,01	0,03

Πίνακας 2.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

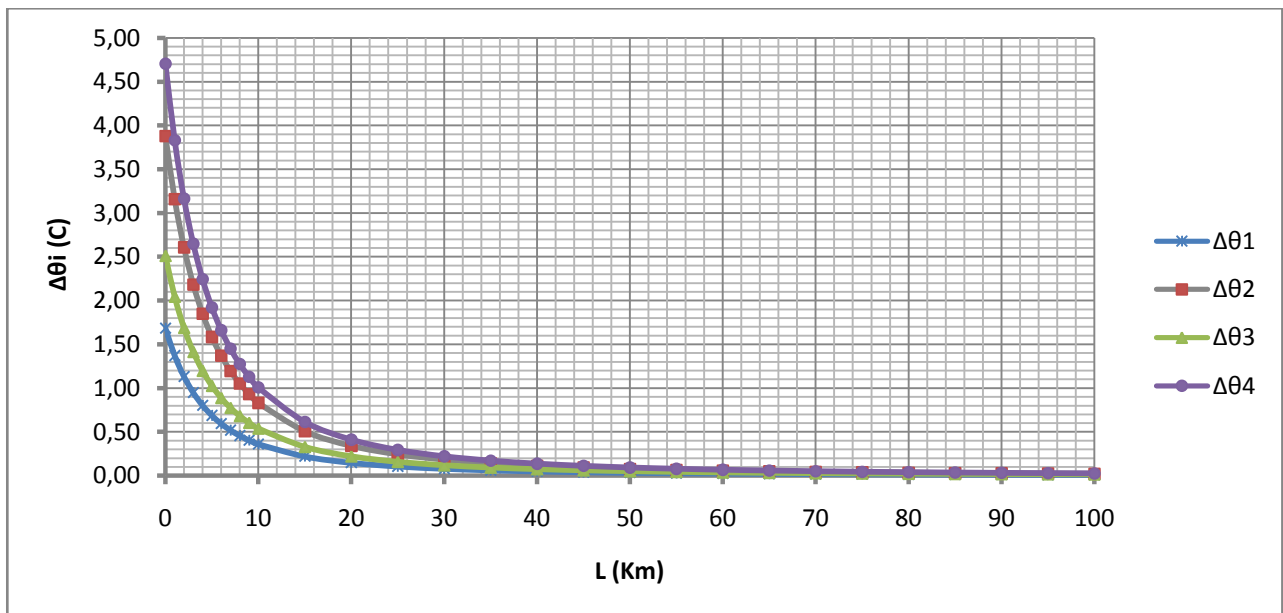
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}, \Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}, \Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}, \Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 2.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	4,70	44,70	63,22	89,41
1	3,83	43,83	61,98	87,66
2	3,16	43,16	61,04	86,33
3	2,65	42,65	60,31	85,29
4	2,24	42,24	59,74	84,49
5	1,92	41,92	59,29	83,84
6	1,66	41,66	58,92	83,32
7	1,45	41,45	58,62	82,90
8	1,28	41,28	58,37	82,55
9	1,13	41,13	58,17	82,26
10	1,01	41,01	57,99	82,02
15	0,61	40,61	57,44	81,23
20	0,41	40,41	57,15	80,82
30	0,22	40,22	56,88	80,44
40	0,14	40,14	56,76	80,28
60	0,07	40,07	56,66	80,14
80	0,04	40,04	56,63	80,08
100	0,03	40,03	56,61	80,05

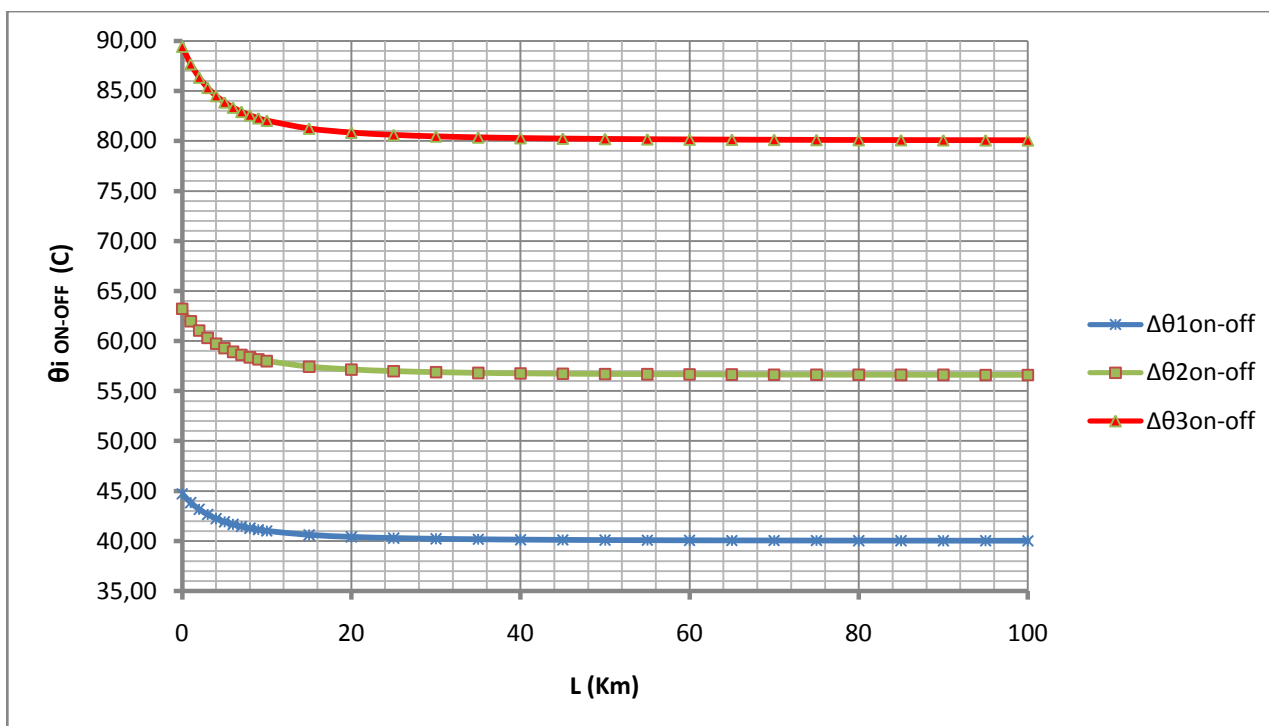
Πίνακας 2.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 2.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	6,40	3123,59	1093,26	3123,59	1,76	3,95	3,14	5,33
1	0,22	0,33	0,096	3,20	7,10	2818,76	986,57	2818,76	1,43	3,22	2,55	4,34
2	0,43	0,67	0,096	3,20	7,81	2561,74	896,61	2561,74	1,18	2,66	2,11	3,58
3	0,65	1,00	0,096	3,20	8,53	2343,66	820,28	2343,66	0,99	2,23	1,76	3,00
4	0,86	1,34	0,096	3,20	9,27	2157,20	755,02	2157,20	0,84	1,89	1,50	2,54
5	1,08	1,67	0,096	3,20	10,02	1996,48	698,77	1996,48	0,72	1,62	1,28	2,18
6	1,29	2,00	0,096	3,20	10,77	1856,87	649,90	1856,87	0,62	1,40	1,11	1,88
7	1,51	2,34	0,096	3,20	11,53	1734,67	607,14	1734,67	0,54	1,22	0,97	1,64
8	1,72	2,67	0,096	3,20	12,29	1626,97	569,44	1626,97	0,48	1,07	0,85	1,45
9	1,94	3,01	0,096	3,20	13,06	1531,42	536,00	1531,42	0,42	0,95	0,75	1,28
10	2,15	3,34	0,096	3,20	13,83	1446,15	506,15	1446,15	0,38	0,85	0,67	1,14
15	3,23	5,01	0,096	3,20	17,71	1129,15	395,20	1129,15	0,23	0,52	0,41	0,70
20	4,30	6,68	0,096	3,20	21,63	924,74	323,66	924,74	0,15	0,35	0,27	0,47
30	6,45	10,02	0,096	3,20	29,50	677,88	237,26	677,88	0,08	0,19	0,15	0,25
40	8,60	13,36	0,096	3,20	37,41	534,63	187,12	534,63	0,05	0,12	0,09	0,16
60	12,90	20,04	0,096	3,20	53,25	375,56	131,45	375,56	0,03	0,06	0,05	0,08
80	17,20	26,72	0,096	3,20	69,12	289,36	101,27	289,36	0,02	0,03	0,03	0,05
100	21,50	33,40	0,096	3,20	84,99	235,31	82,36	235,31	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 2.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

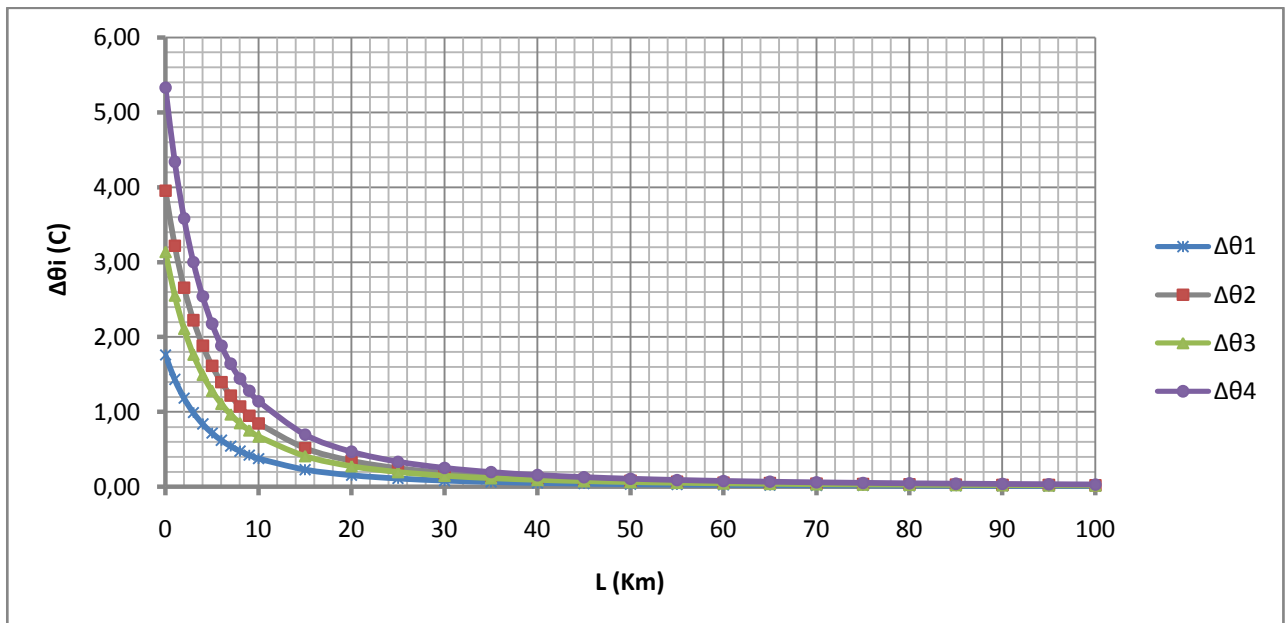
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T= 0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d= I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d1}, \Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d1}, \Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d2}, \Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d2}$



Διάγραμμα 2.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	5,33	45,33	64,11	90,66
1	4,34	44,34	62,71	88,68
2	3,58	43,58	61,64	87,17
3	3,00	43,00	60,81	86,00
4	2,54	42,54	60,16	85,08
5	2,18	42,18	59,65	84,35
6	1,88	41,88	59,23	83,77
7	1,64	41,64	58,89	83,29
8	1,45	41,45	58,61	82,89
9	1,28	41,28	58,38	82,56
10	1,14	41,14	58,18	82,28
15	0,70	40,70	57,55	81,39
20	0,47	40,47	57,23	80,93
30	0,25	40,25	56,92	80,50
40	0,16	40,16	56,79	80,31
60	0,08	40,08	56,68	80,15
80	0,05	40,05	56,63	80,09
100	0,03	40,03	56,61	80,06

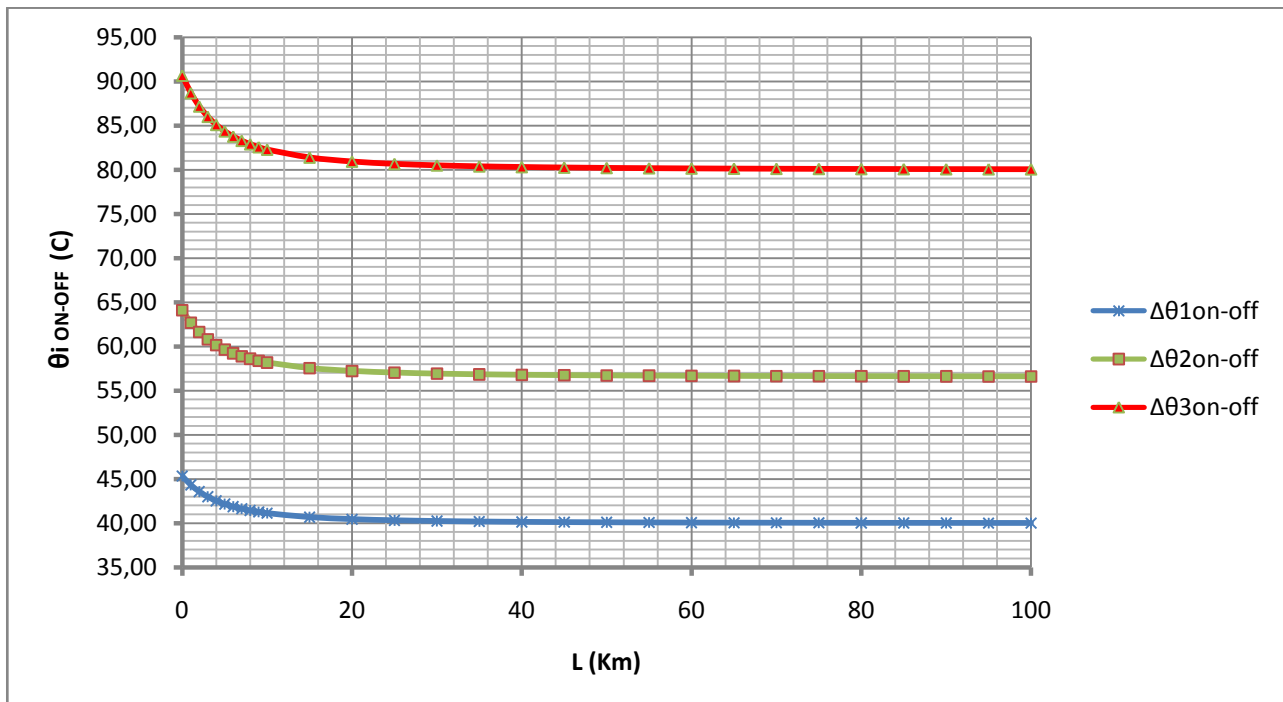
Πίνακας 2.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 2.2.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\gamma\beta}(\Omega)$	$X_{\gamma\beta}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	6,40	3123,59	1093,26	3123,59	1,87	4,07	4,08	6,27
1	0,22	0,33	0,096	3,20	7,10	2818,76	986,57	2818,76	1,53	3,31	3,32	5,11
2	0,43	0,67	0,096	3,20	7,81	2561,74	896,61	2561,74	1,26	2,74	2,74	4,22
3	0,65	1,00	0,096	3,20	8,53	2343,66	820,28	2343,66	1,06	2,29	2,29	3,53
4	0,86	1,34	0,096	3,20	9,27	2157,20	755,02	2157,20	0,89	1,94	1,94	2,99
5	1,08	1,67	0,096	3,20	10,02	1996,48	698,77	1996,48	0,77	1,66	1,67	2,56
6	1,29	2,00	0,096	3,20	10,77	1856,87	649,90	1856,87	0,66	1,44	1,44	2,22
7	1,51	2,34	0,096	3,20	11,53	1734,67	607,14	1734,67	0,58	1,26	1,26	1,93
8	1,72	2,67	0,096	3,20	12,29	1626,97	569,44	1626,97	0,51	1,10	1,11	1,70
9	1,94	3,01	0,096	3,20	13,06	1531,42	536,00	1531,42	0,45	0,98	0,98	1,51
10	2,15	3,34	0,096	3,20	13,83	1446,15	506,15	1446,15	0,40	0,87	0,87	1,34
15	3,23	5,01	0,096	3,20	17,71	1129,15	395,20	1129,15	0,24	0,53	0,53	0,82
20	4,30	6,68	0,096	3,20	21,63	924,74	323,66	924,74	0,16	0,36	0,36	0,55
30	6,45	10,02	0,096	3,20	29,50	677,88	237,26	677,88	0,09	0,19	0,19	0,30
40	8,60	13,36	0,096	3,20	37,41	534,63	187,12	534,63	0,05	0,12	0,12	0,18
60	12,90	20,04	0,096	3,20	53,25	375,56	131,45	375,56	0,03	0,06	0,06	0,09
80	17,20	26,72	0,096	3,20	69,12	289,36	101,27	289,36	0,02	0,03	0,03	0,05
100	21,50	33,40	0,096	3,20	84,99	235,31	82,36	235,31	0,01	0,02	0,02	0,04

Πίνακας 2.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

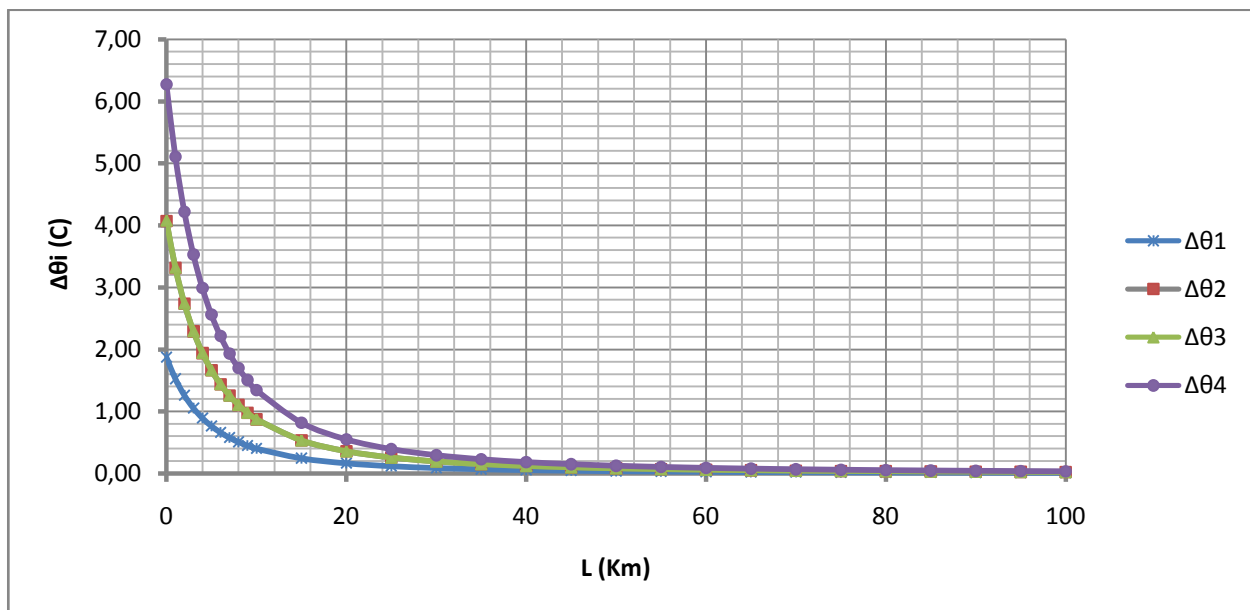
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 2.3.1 (Δθ_i=f(L))

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	6,27	46,27	65,44	92,54
1	5,11	45,11	63,79	90,21
2	4,22	44,22	62,53	88,43
3	3,53	43,53	61,56	87,06
4	2,99	42,99	60,80	85,98
5	2,56	42,56	60,19	85,12
6	2,22	42,22	59,70	84,43
7	1,93	41,93	59,30	83,87
8	1,70	41,70	58,97	83,40
9	1,51	41,51	58,70	83,01
10	1,34	41,34	58,47	82,69
15	0,82	40,82	57,73	81,64
20	0,55	40,55	57,35	81,10
30	0,30	40,30	56,99	80,59
35	0,23	40,23	56,89	80,46
40	0,18	40,18	56,83	80,37
60	0,09	40,09	56,70	80,18
80	0,05	40,05	56,64	80,11
100	0,04	40,04	56,62	80,07

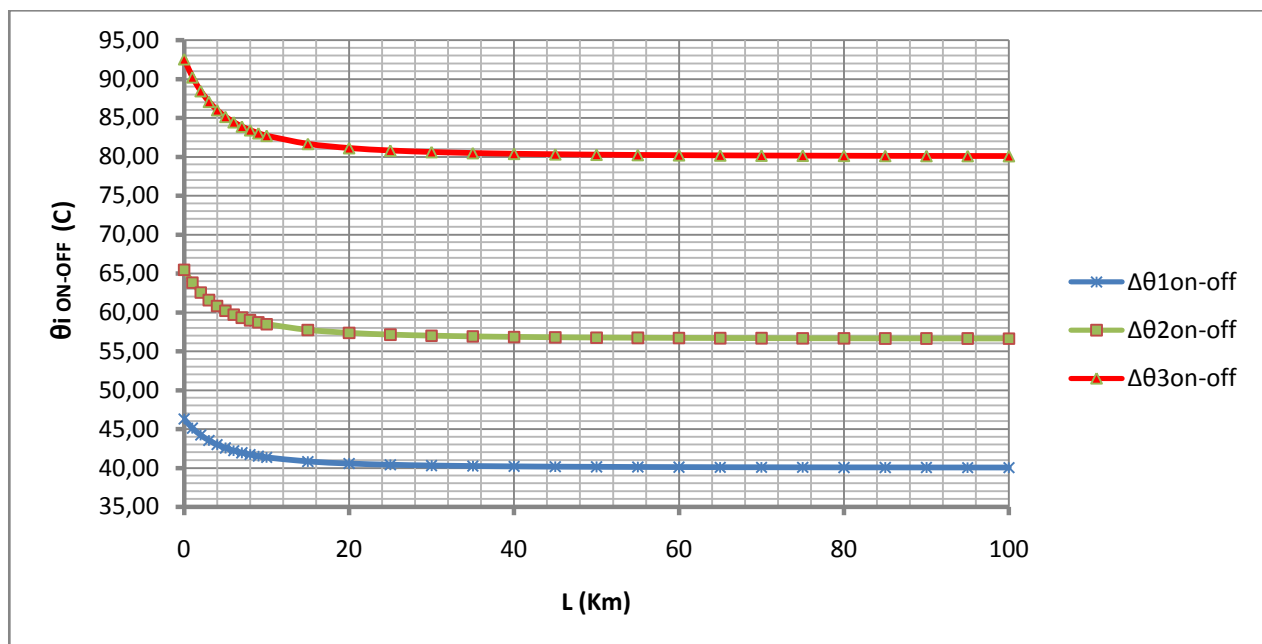
Πίνακας 2.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 2.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	$I_{d2}(A)$	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	6,40	3123,59	1093,26	3123,59	2,34	4,53	7,84	10,03
1	0,22	0,33	0,096	3,20	7,10	2818,76	986,57	2818,76	1,90	3,69	6,38	8,17
2	0,43	0,67	0,096	3,20	7,81	2561,74	896,61	2561,74	1,57	3,05	5,27	6,75
3	0,65	1,00	0,096	3,20	8,53	2343,66	820,28	2343,66	1,31	2,55	4,41	5,65
4	0,86	1,34	0,096	3,20	9,27	2157,20	755,02	2157,20	1,11	2,16	3,74	4,78
5	1,08	1,67	0,096	3,20	10,02	1996,48	698,77	1996,48	0,95	1,85	3,20	4,10
6	1,29	2,00	0,096	3,20	10,77	1856,87	649,90	1856,87	0,83	1,60	2,77	3,55
7	1,51	2,34	0,096	3,20	11,53	1734,67	607,14	1734,67	0,72	1,40	2,42	3,09
8	1,72	2,67	0,096	3,20	12,29	1626,97	569,44	1626,97	0,63	1,23	2,13	2,72
9	1,94	3,01	0,096	3,20	13,06	1531,42	536,00	1531,42	0,56	1,09	1,88	2,41
10	2,15	3,34	0,096	3,20	13,83	1446,15	506,15	1446,15	0,50	0,97	1,68	2,15
15	3,23	5,01	0,096	3,20	17,71	1129,15	395,20	1129,15	0,31	0,59	1,02	1,31
20	4,30	6,68	0,096	3,20	21,63	924,74	323,66	924,74	0,20	0,40	0,69	0,88
30	6,45	10,02	0,096	3,20	29,50	677,88	237,26	677,88	0,11	0,21	0,37	0,47
40	8,60	13,36	0,096	3,20	37,41	534,63	187,12	534,63	0,07	0,13	0,23	0,29
60	12,90	20,04	0,096	3,20	53,25	375,56	131,45	375,56	0,03	0,07	0,11	0,15
80	17,20	26,72	0,096	3,20	69,12	289,36	101,27	289,36	0,02	0,04	0,07	0,09
100	21,50	33,40	0,096	3,20	84,99	235,31	82,36	235,31	0,01	0,03	0,04	0,06

Πίνακας 2.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

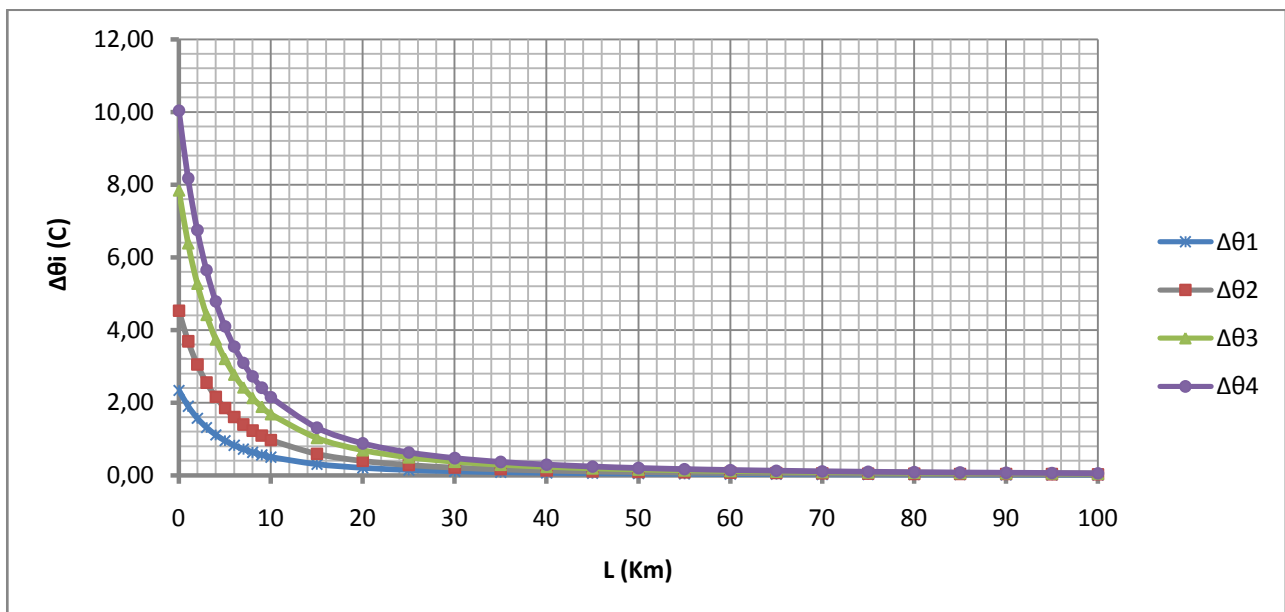
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 2.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	10,03	50,03	70,76	100,07
1	8,17	48,17	68,12	96,34
2	6,75	46,75	66,11	93,50
3	5,65	45,65	64,56	91,30
4	4,78	44,78	63,34	89,57
5	4,10	44,10	62,36	88,20
6	3,55	43,55	61,58	87,09
7	3,09	43,09	60,94	86,19
8	2,72	42,72	60,42	85,44
9	2,41	42,41	59,98	84,82
10	2,15	42,15	59,61	84,30
15	1,31	41,31	58,42	82,62
20	0,88	40,88	57,81	81,76
30	0,47	40,47	57,24	80,95
40	0,29	40,29	56,98	80,59
60	0,15	40,15	56,77	80,29
80	0,09	40,09	56,69	80,17
100	0,06	40,06	56,65	80,11

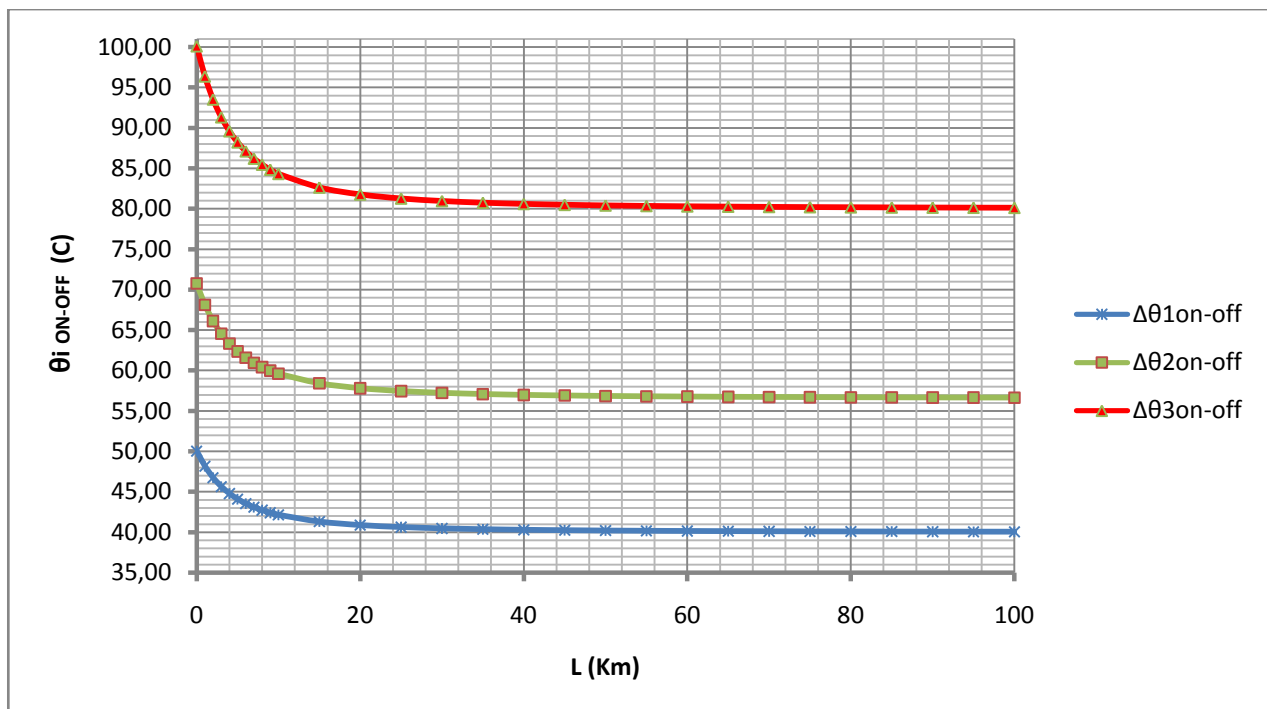
Πίνακας 2.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 2.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

3^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=50\text{MVA}$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20\text{kV}$

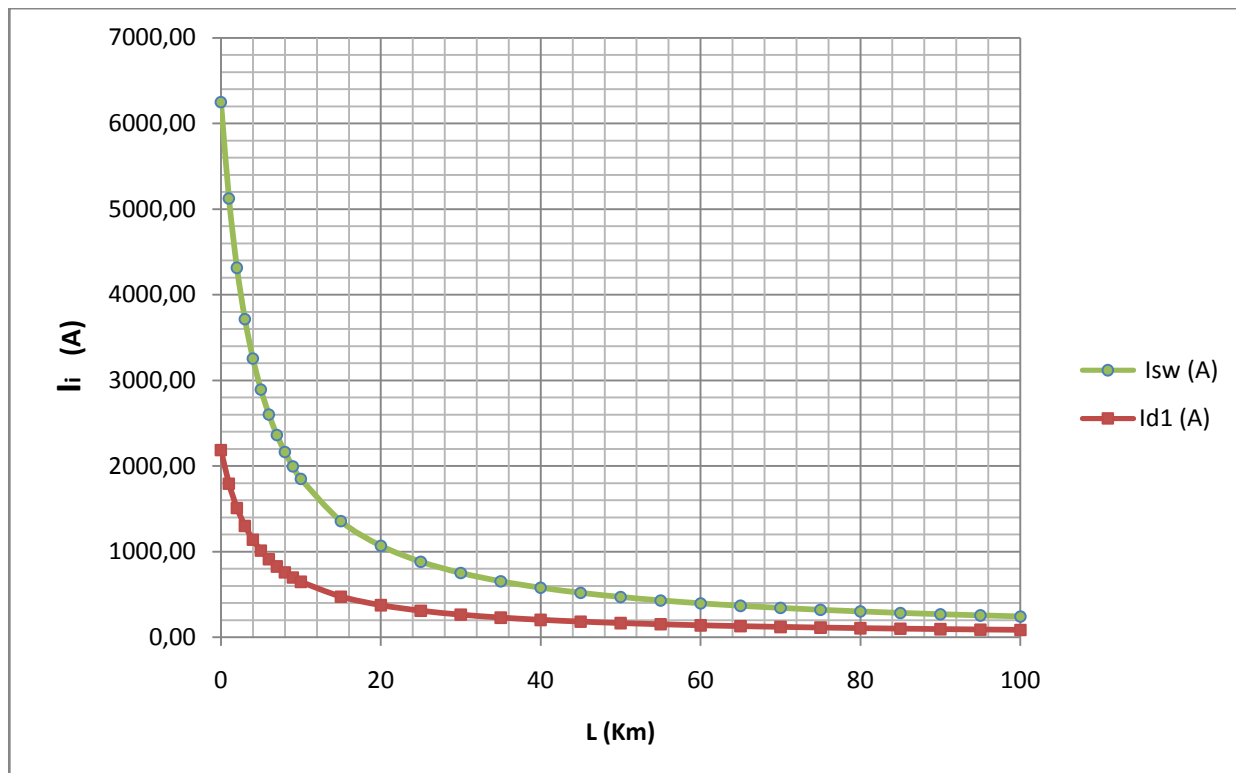
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$), που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 3.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	I_{sw} (A)	I_{d1} (A)	I_{d2} (A)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	3,20	6247,19	2186,52	6247,19	6,73	15,51	10,03	18,81
1	0,22	0,33	0,048	1,60	3,90	5123,47	1793,22	5123,47	4,53	10,43	6,75	12,65
2	0,43	0,67	0,048	1,60	4,64	4314,39	1510,04	4314,39	3,21	7,40	4,78	8,97
3	0,65	1,00	0,048	1,60	5,39	3713,74	1299,81	3713,74	2,38	5,48	3,55	6,65
4	0,86	1,34	0,048	1,60	6,15	3253,94	1138,88	3253,94	1,83	4,21	2,72	5,10
5	1,08	1,67	0,048	1,60	6,91	2892,30	1012,30	2892,30	1,44	3,32	2,15	4,03
6	1,29	2,00	0,048	1,60	7,69	2601,22	910,43	2601,22	1,17	2,69	1,74	3,26
7	1,51	2,34	0,048	1,60	8,47	2362,30	826,81	2362,30	0,96	2,22	1,43	2,69
8	1,72	2,67	0,048	1,60	9,25	2162,91	757,02	2162,91	0,81	1,86	1,20	2,25
9	1,94	3,01	0,048	1,60	10,03	1994,12	697,94	1994,12	0,69	1,58	1,02	1,92
10	2,15	3,34	0,048	1,60	10,81	1849,48	647,32	1849,48	0,59	1,36	0,88	1,65
15	3,23	5,01	0,048	1,60	14,75	1355,76	474,52	1355,76	0,32	0,73	0,47	0,89
20	4,30	6,68	0,048	1,60	18,70	1069,27	374,24	1069,27	0,20	0,45	0,29	0,55
30	6,45	10,02	0,048	1,60	26,63	751,12	262,89	751,12	0,10	0,22	0,15	0,27
40	8,60	13,36	0,048	1,60	34,56	578,71	202,55	578,71	0,06	0,13	0,09	0,16
60	12,90	20,04	0,048	1,60	50,44	396,54	138,79	396,54	0,03	0,06	0,04	0,08
80	17,20	26,72	0,048	1,60	66,32	301,58	105,55	301,58	0,02	0,04	0,02	0,04
100	21,50	33,40	0,048	1,60	82,20	243,30	85,16	243,30	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 3.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

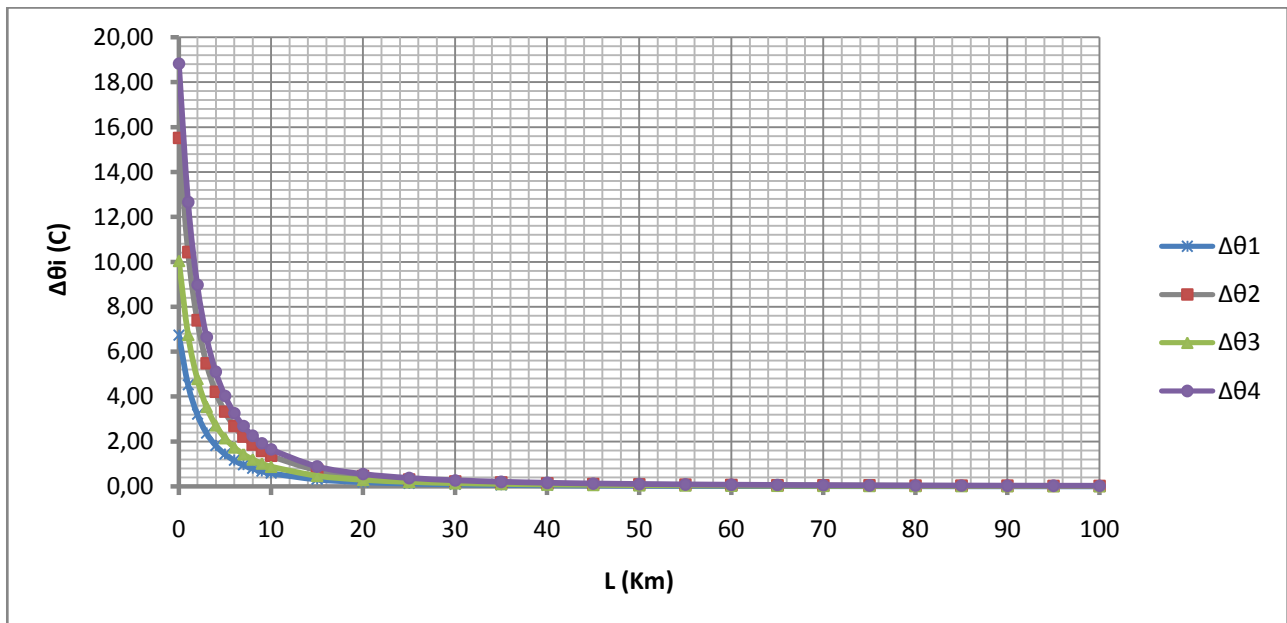
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}, \Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}, \Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}, \Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 3.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	18,81	58,81	83,17	117,62
1	12,65	52,65	74,46	105,30
2	8,97	48,97	69,26	97,94
3	6,65	46,65	65,97	93,30
4	5,10	45,10	63,79	90,21
5	4,03	44,03	62,27	88,06
6	3,26	43,26	61,18	86,52
7	2,69	42,69	60,37	85,38
8	2,25	42,25	59,76	84,51
9	1,92	41,92	59,28	83,83
10	1,65	41,65	58,90	83,30
15	0,89	40,89	57,82	81,77
20	0,55	40,55	57,35	81,10
30	0,27	40,27	56,95	80,54
40	0,16	40,16	56,80	80,32
60	0,08	40,08	56,68	80,15
80	0,04	40,04	56,63	80,09
100	0,03	40,03	56,61	80,06

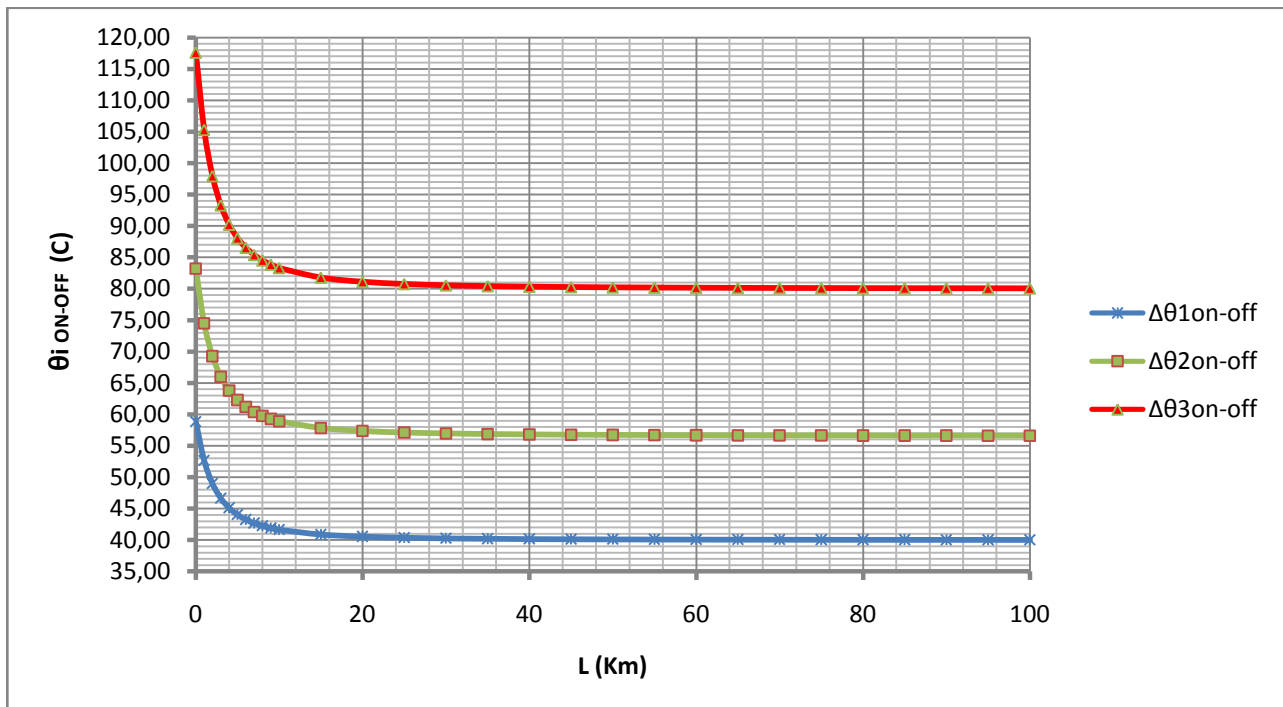
Πίνακας 3.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 3.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	I_{sw} (A)	I_{d1} (A)	I_{d2} (A)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	3,20	6247,19	2186,52	6247,19	7,04	15,82	12,54	21,32
1	0,22	0,33	0,048	1,60	3,90	5123,47	1793,22	5123,47	4,73	10,64	8,43	14,34
2	0,43	0,67	0,048	1,60	4,64	4314,39	1510,04	4314,39	3,36	7,54	5,98	10,17
3	0,65	1,00	0,048	1,60	5,39	3713,74	1299,81	3713,74	2,49	5,59	4,43	7,53
4	0,86	1,34	0,048	1,60	6,15	3253,94	1138,88	3253,94	1,91	4,29	3,40	5,78
5	1,08	1,67	0,048	1,60	6,91	2892,30	1012,30	2892,30	1,51	3,39	2,69	4,57
6	1,29	2,00	0,048	1,60	7,69	2601,22	910,43	2601,22	1,22	2,74	2,17	3,70
7	1,51	2,34	0,048	1,60	8,47	2362,30	826,81	2362,30	1,01	2,26	1,79	3,05
8	1,72	2,67	0,048	1,60	9,25	2162,91	757,02	2162,91	0,84	1,90	1,50	2,56
9	1,94	3,01	0,048	1,60	10,03	1994,12	697,94	1994,12	0,72	1,61	1,28	2,17
10	2,15	3,34	0,048	1,60	10,81	1849,48	647,32	1849,48	0,62	1,39	1,10	1,87
15	3,23	5,01	0,048	1,60	14,75	1355,76	474,52	1355,76	0,33	0,74	0,59	1,00
20	4,30	6,68	0,048	1,60	18,70	1069,27	374,24	1069,27	0,21	0,46	0,37	0,62
30	6,45	10,02	0,048	1,60	26,63	751,12	262,89	751,12	0,10	0,23	0,18	0,31
40	8,60	13,36	0,048	1,60	34,56	578,71	202,55	578,71	0,06	0,14	0,11	0,18
45	9,68	15,03	0,048	1,60	38,53	519,11	181,69	519,11	0,05	0,11	0,09	0,15
60	12,90	20,04	0,048	1,60	50,44	396,54	138,79	396,54	0,03	0,06	0,05	0,09
80	17,20	26,72	0,048	1,60	66,32	301,58	105,55	301,58	0,02	0,04	0,03	0,05
100	21,50	33,40	0,048	1,60	82,20	243,30	85,16	243,30	0,01	0,02	0,02	0,03

Πίνακας 3.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

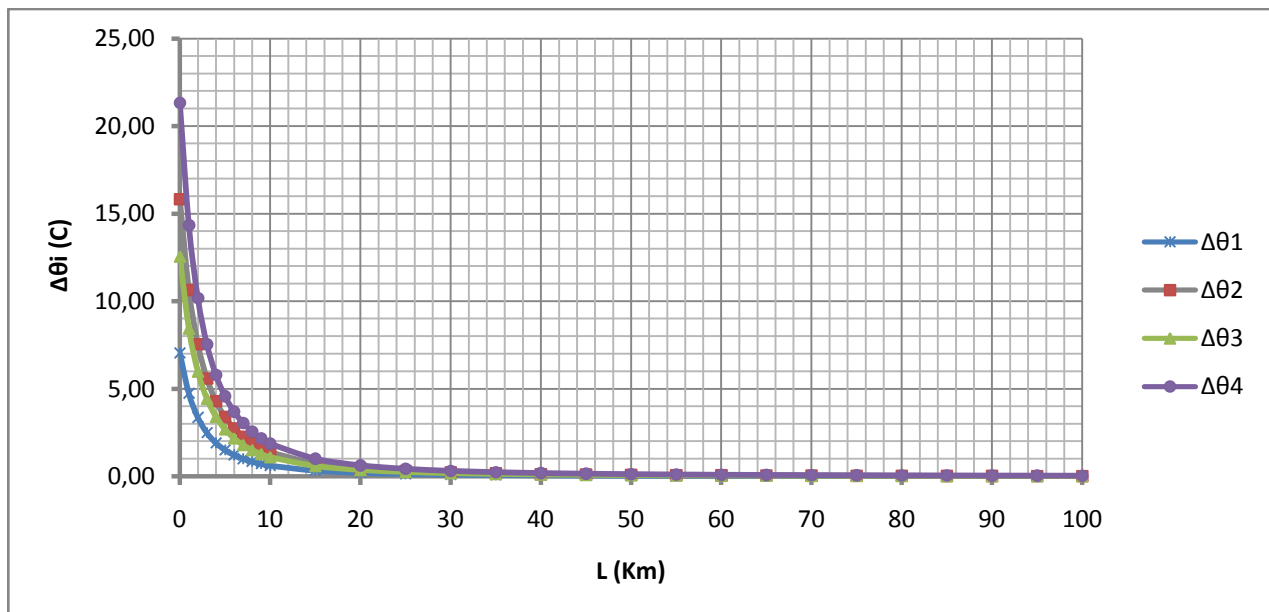
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 3.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	21,32	61,32	86,72	122,64
1	14,34	54,34	76,85	108,68
2	10,17	50,17	70,95	100,34
3	7,53	47,53	67,22	95,07
4	5,78	45,78	64,75	91,57
5	4,57	44,57	63,03	89,14
6	3,70	43,70	61,80	87,39
7	3,05	43,05	60,88	86,10
8	2,56	42,56	60,18	85,11
9	2,17	42,17	59,64	84,34
10	1,87	41,87	59,21	83,74
15	1,00	41,00	57,99	82,01
20	0,62	40,62	57,45	81,25
30	0,31	40,31	57,00	80,62
40	0,18	40,18	56,83	80,37
60	0,09	40,09	56,69	80,17
80	0,05	40,05	56,64	80,10
100	0,03	40,03	56,61	80,06

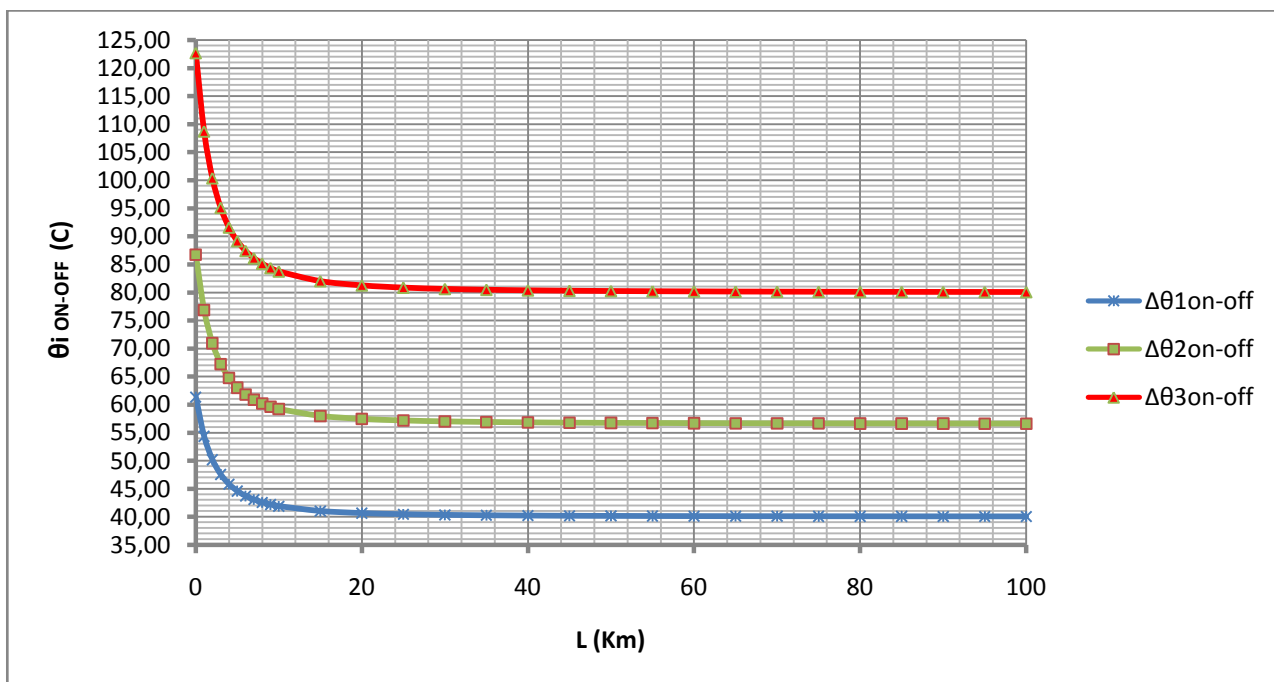
Πίνακας 3.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 3.2.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	I_{sw} (A)	I_{d1} (A)	I_{d2} (A)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	3,20	6247,19	2186,52	6247,19	7,50	16,28	16,30	25,08
1	0,22	0,33	0,048	1,60	3,90	5123,47	1793,22	5123,47	5,04	10,95	10,97	16,87
2	0,43	0,67	0,048	1,60	4,64	4314,39	1510,04	4314,39	3,58	7,76	7,78	11,96
3	0,65	1,00	0,048	1,60	5,39	3713,74	1299,81	3713,74	2,65	5,75	5,76	8,86
4	0,86	1,34	0,048	1,60	6,15	3253,94	1138,88	3253,94	2,03	4,42	4,42	6,80
5	1,08	1,67	0,048	1,60	6,91	2892,30	1012,30	2892,30	1,61	3,49	3,49	5,38
6	1,29	2,00	0,048	1,60	7,69	2601,22	910,43	2601,22	1,30	2,82	2,83	4,35
7	1,51	2,34	0,048	1,60	8,47	2362,30	826,81	2362,30	1,07	2,33	2,33	3,59
8	1,72	2,67	0,048	1,60	9,25	2162,91	757,02	2162,91	0,90	1,95	1,95	3,01
9	1,94	3,01	0,048	1,60	10,03	1994,12	697,94	1994,12	0,76	1,66	1,66	2,56
10	2,15	3,34	0,048	1,60	10,81	1849,48	647,32	1849,48	0,66	1,43	1,43	2,20
15	3,23	5,01	0,048	1,60	14,75	1355,76	474,52	1355,76	0,35	0,77	0,77	1,18
20	4,30	6,68	0,048	1,60	18,70	1069,27	374,24	1069,27	0,22	0,48	0,48	0,73
30	6,45	10,02	0,048	1,60	26,63	751,12	262,89	751,12	0,11	0,24	0,24	0,36
40	8,60	13,36	0,048	1,60	34,56	578,71	202,55	578,71	0,06	0,14	0,14	0,22
60	12,90	20,04	0,048	1,60	50,44	396,54	138,79	396,54	0,03	0,07	0,07	0,10
80	17,20	26,72	0,048	1,60	66,32	301,58	105,55	301,58	0,02	0,04	0,04	0,06
100	21,50	33,40	0,048	1,60	82,20	243,30	85,16	243,30	0,01	0,02	0,02	0,04

Πίνακας 3.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

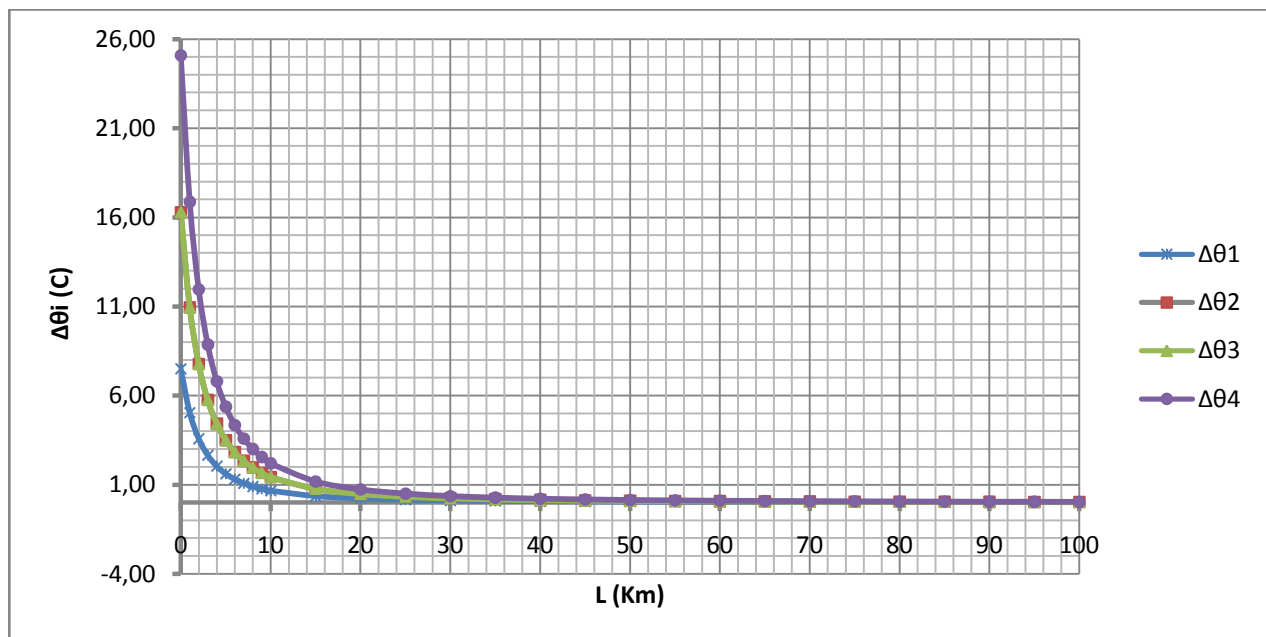
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 3.3.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	25,08	65,08	92,04	130,16
1	16,87	56,87	80,43	113,74
2	11,96	51,96	73,49	103,92
3	8,86	48,86	69,10	97,73
4	6,80	46,80	66,19	93,61
5	5,38	45,38	64,17	90,75
6	4,35	44,35	62,72	88,70
7	3,59	43,59	61,64	87,17
8	3,01	43,01	60,82	86,01
9	2,56	42,56	60,18	85,11
10	2,20	42,20	59,68	84,40
15	1,18	41,18	58,24	82,36
20	0,73	40,73	57,61	81,47
30	0,36	40,36	57,08	80,73
40	0,22	40,22	56,87	80,43
60	0,10	40,10	56,71	80,20
80	0,06	40,06	56,65	80,12
100	0,04	40,04	56,62	80,08

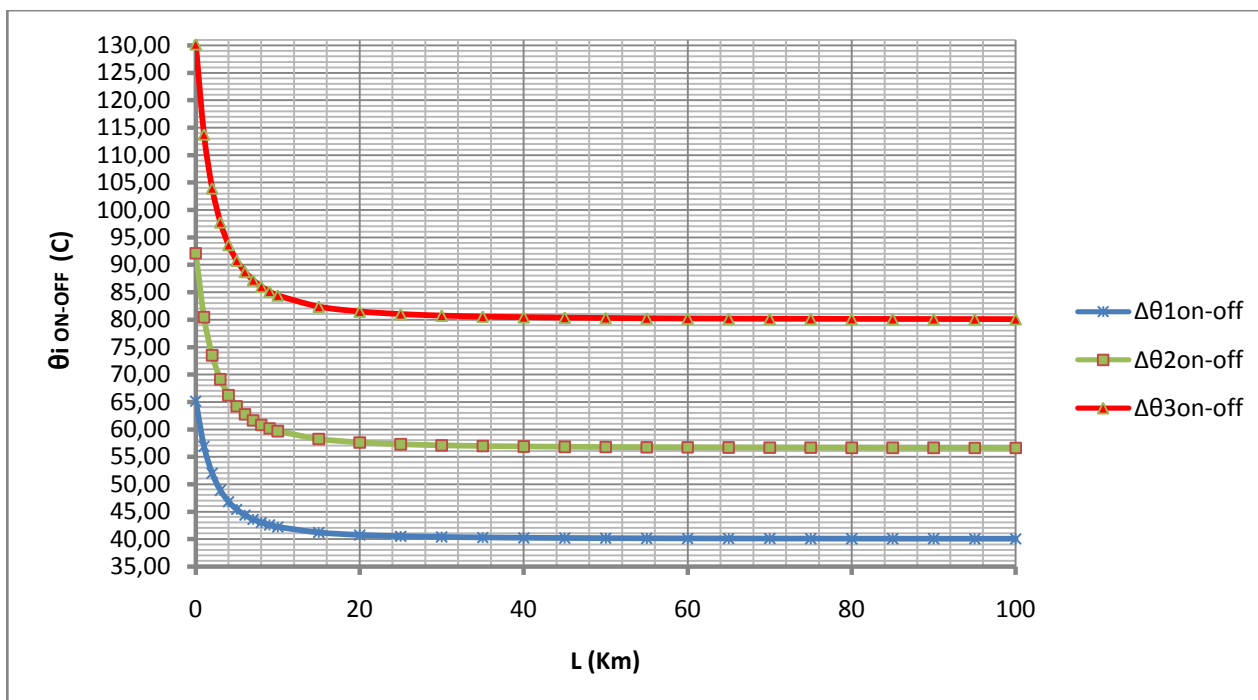
Πίνακας 3.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 3.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	I_{sw} (A)	I_{d1} (A)	I_{d2} (A)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	3,20	6247,19	2186,52	6247,19	9,34	18,12	31,35	40,13
1	0,22	0,33	0,048	1,60	3,90	5123,47	1793,22	5123,47	6,28	12,19	21,09	26,99
2	0,43	0,67	0,048	1,60	4,64	4314,39	1510,04	4314,39	4,46	8,64	14,95	19,14
3	0,65	1,00	0,048	1,60	5,39	3713,74	1299,81	3713,74	3,30	6,40	11,08	14,18
4	0,86	1,34	0,048	1,60	6,15	3253,94	1138,88	3253,94	2,53	4,92	8,51	10,89
5	1,08	1,67	0,048	1,60	6,91	2892,30	1012,30	2892,30	2,00	3,88	6,72	8,60
6	1,29	2,00	0,048	1,60	7,69	2601,22	910,43	2601,22	1,62	3,14	5,44	6,96
7	1,51	2,34	0,048	1,60	8,47	2362,30	826,81	2362,30	1,34	2,59	4,48	5,74
8	1,72	2,67	0,048	1,60	9,25	2162,91	757,02	2162,91	1,12	2,17	3,76	4,81
9	1,94	3,01	0,048	1,60	10,03	1994,12	697,94	1994,12	0,95	1,85	3,19	4,09
10	2,15	3,34	0,048	1,60	10,81	1849,48	647,32	1849,48	0,82	1,59	2,75	3,52
15	3,23	5,01	0,048	1,60	14,75	1355,76	474,52	1355,76	0,44	0,85	1,48	1,89
20	4,30	6,68	0,048	1,60	18,70	1069,27	374,24	1069,27	0,27	0,53	0,92	1,18
30	6,45	10,02	0,048	1,60	26,63	751,12	262,89	751,12	0,14	0,26	0,45	0,58
40	8,60	13,36	0,048	1,60	34,56	578,71	202,55	578,71	0,08	0,16	0,27	0,34
60	12,90	20,04	0,048	1,60	50,44	396,54	138,79	396,54	0,04	0,07	0,13	0,16
80	17,20	26,72	0,048	1,60	66,32	301,58	105,55	301,58	0,02	0,04	0,07	0,09
100	21,50	33,40	0,048	1,60	82,20	243,30	85,16	243,30	0,01	0,03	0,05	0,06

Πίνακας 3.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

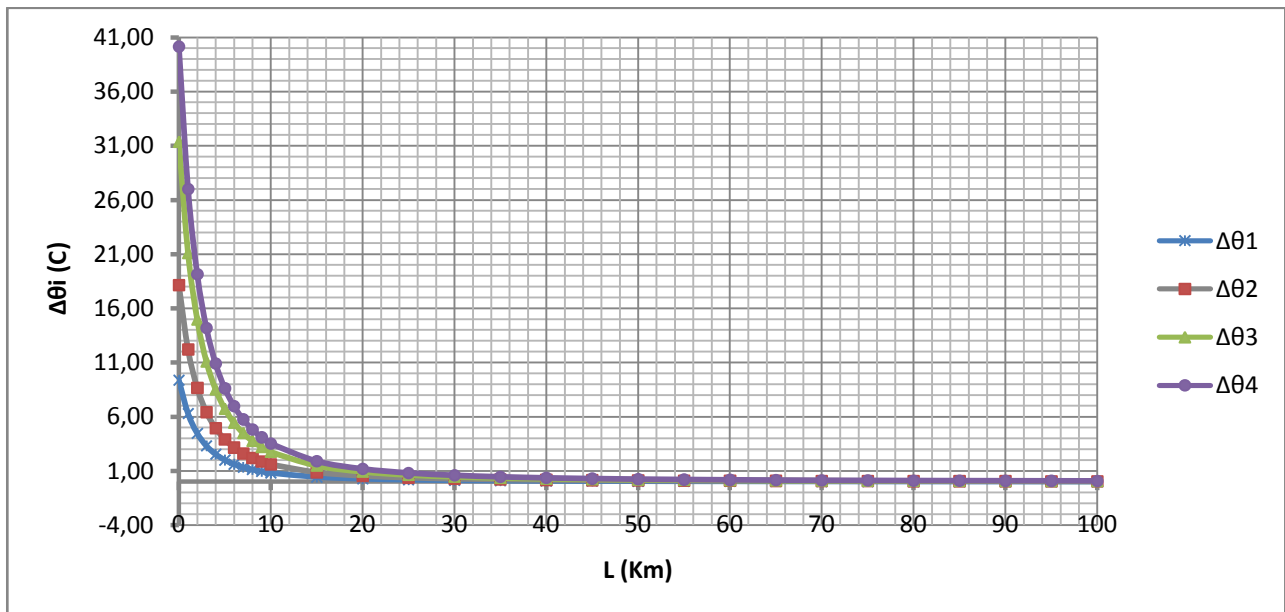
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 3.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	40,13	80,13	113,32	160,26
1	26,99	66,99	94,74	133,98
2	19,14	59,14	83,64	118,28
3	14,18	54,18	76,62	108,36
4	10,89	50,89	71,97	101,77
5	8,60	48,60	68,73	97,20
6	6,96	46,96	66,41	93,92
7	5,74	45,74	64,68	91,48
8	4,81	44,81	63,37	89,62
9	4,09	44,09	62,35	88,18
10	3,52	43,52	61,54	87,03
15	1,89	41,89	59,24	83,78
20	1,18	41,18	58,23	82,35
30	0,58	40,58	57,39	81,16
40	0,34	40,34	57,06	80,69
60	0,16	40,16	56,80	80,32
80	0,09	40,09	56,70	80,19
100	0,06	40,06	56,65	80,12

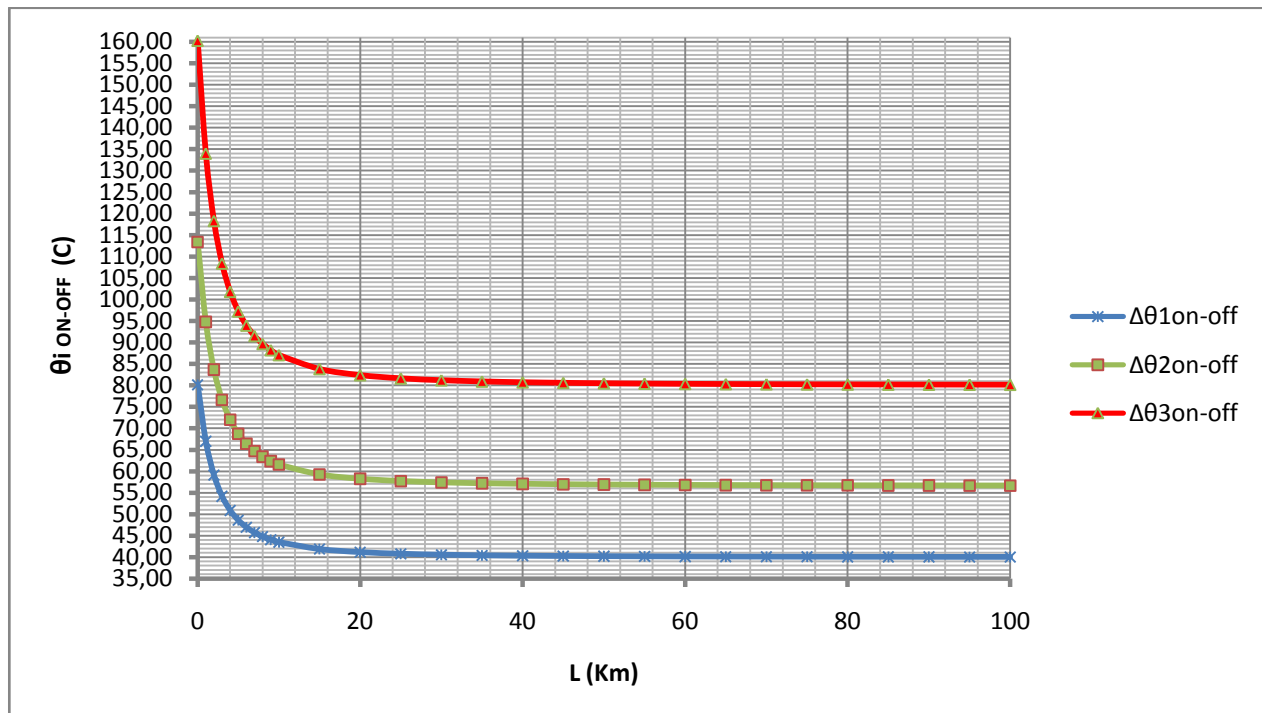
Πίνακας 3.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 3.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

4^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=15MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

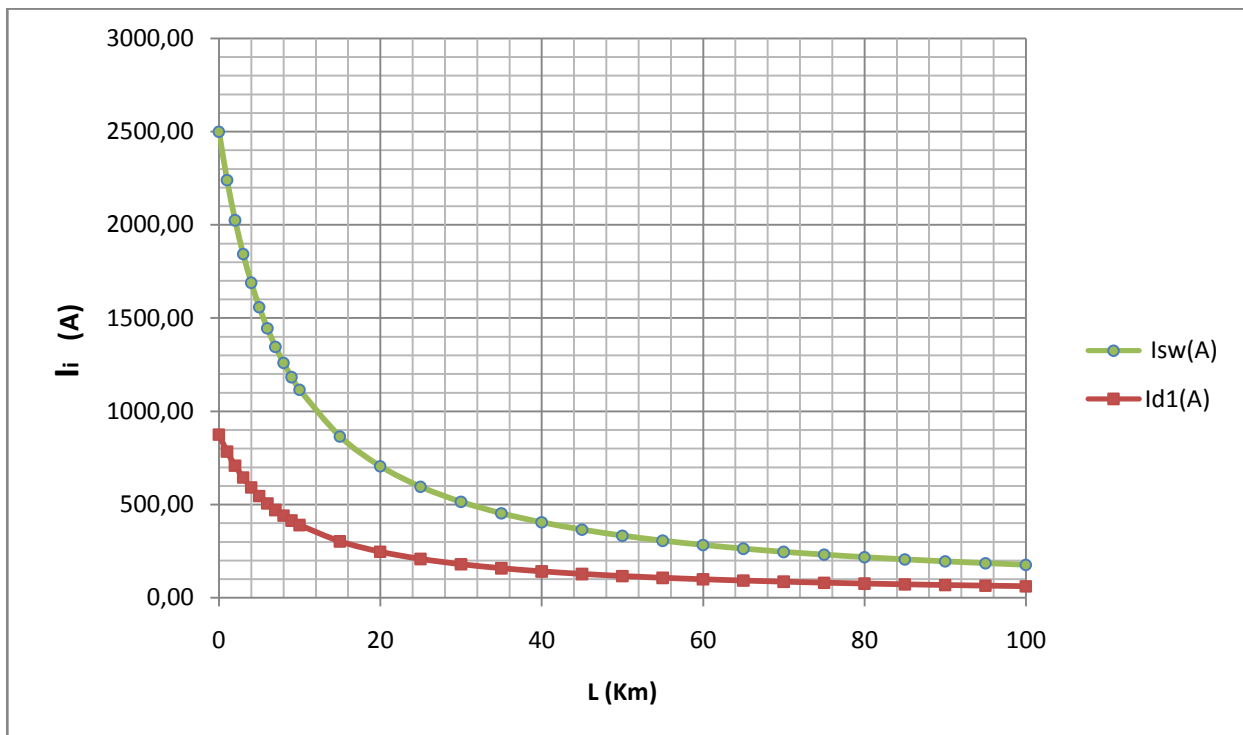
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$), που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 4.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2498,88	874,61	2498,88	1,08	2,48	1,61	3,01
1	0,22	0,33	0,09	3,00	6,70	2240,20	784,07	2240,20	0,87	1,99	1,29	2,42
2	0,43	0,67	0,09	3,00	7,41	2024,47	708,56	2024,47	0,71	1,63	1,05	1,98
3	0,65	1,00	0,09	3,00	8,14	1843,23	645,13	1843,23	0,59	1,35	0,87	1,64
4	0,86	1,34	0,09	3,00	8,88	1689,63	591,37	1689,63	0,49	1,13	0,73	1,38
5	1,08	1,67	0,09	3,00	9,63	1558,24	545,38	1558,24	0,42	0,96	0,62	1,17
6	1,29	2,00	0,09	3,00	10,38	1444,86	505,70	1444,86	0,36	0,83	0,54	1,01
7	1,51	2,34	0,09	3,00	11,14	1346,21	471,17	1346,21	0,31	0,72	0,47	0,87
8	1,72	2,67	0,09	3,00	11,91	1259,70	440,90	1259,70	0,27	0,63	0,41	0,76
9	1,94	3,01	0,09	3,00	12,68	1183,30	414,16	1183,30	0,24	0,56	0,36	0,67
10	2,15	3,34	0,09	3,00	13,45	1115,39	390,39	1115,39	0,21	0,49	0,32	0,60
15	3,23	5,01	0,09	3,00	17,34	865,16	302,81	865,16	0,13	0,30	0,19	0,36
20	4,30	6,68	0,09	3,00	21,26	705,62	246,97	705,62	0,09	0,20	0,13	0,24
30	6,45	10,02	0,09	3,00	29,14	514,75	180,16	514,75	0,05	0,11	0,07	0,13
40	8,60	13,36	0,09	3,00	37,05	404,86	141,70	404,86	0,03	0,07	0,04	0,08
60	12,90	20,04	0,09	3,00	52,90	283,56	99,25	283,56	0,01	0,03	0,02	0,04
65	13,98	21,71	0,09	3,00	56,87	263,78	92,32	263,78	0,01	0,03	0,02	0,03
80	17,20	26,72	0,09	3,00	68,77	218,13	76,34	218,13	0,01	0,02	0,01	0,02
100	21,50	33,40	0,09	3,00	84,64	177,22	62,03	177,22	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 4.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

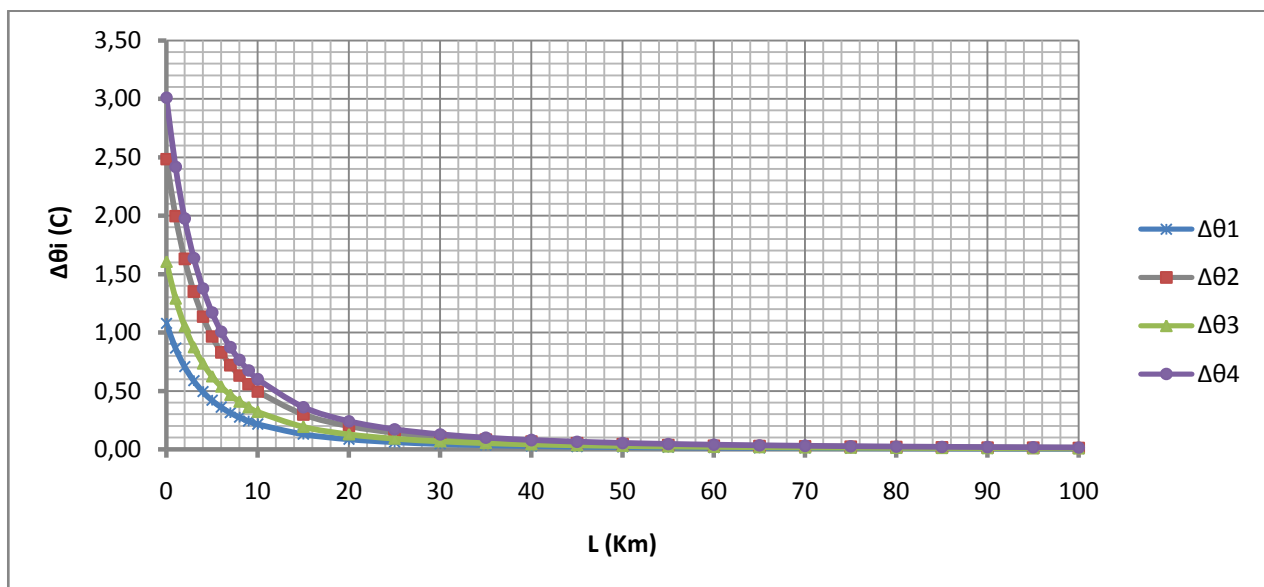
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T= 0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d= I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d2}$



Διάγραμμα 4.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	3,01	43,01	60,82	86,02
1	2,42	42,42	59,99	84,84
2	1,98	41,98	59,36	83,95
3	1,64	41,64	58,88	83,28
4	1,38	41,38	58,51	82,75
5	1,17	41,17	58,22	82,34
6	1,01	41,01	57,99	82,01
7	0,87	40,87	57,80	81,75
8	0,76	40,76	57,65	81,53
9	0,67	40,67	57,52	81,35
10	0,60	40,60	57,42	81,20
15	0,36	40,36	57,08	80,72
20	0,24	40,24	56,91	80,48
30	0,13	40,13	56,75	80,26
40	0,08	40,08	56,68	80,16
60	0,04	40,04	56,62	80,08
80	0,02	40,02	56,60	80,05
100	0,02	40,02	56,59	80,03

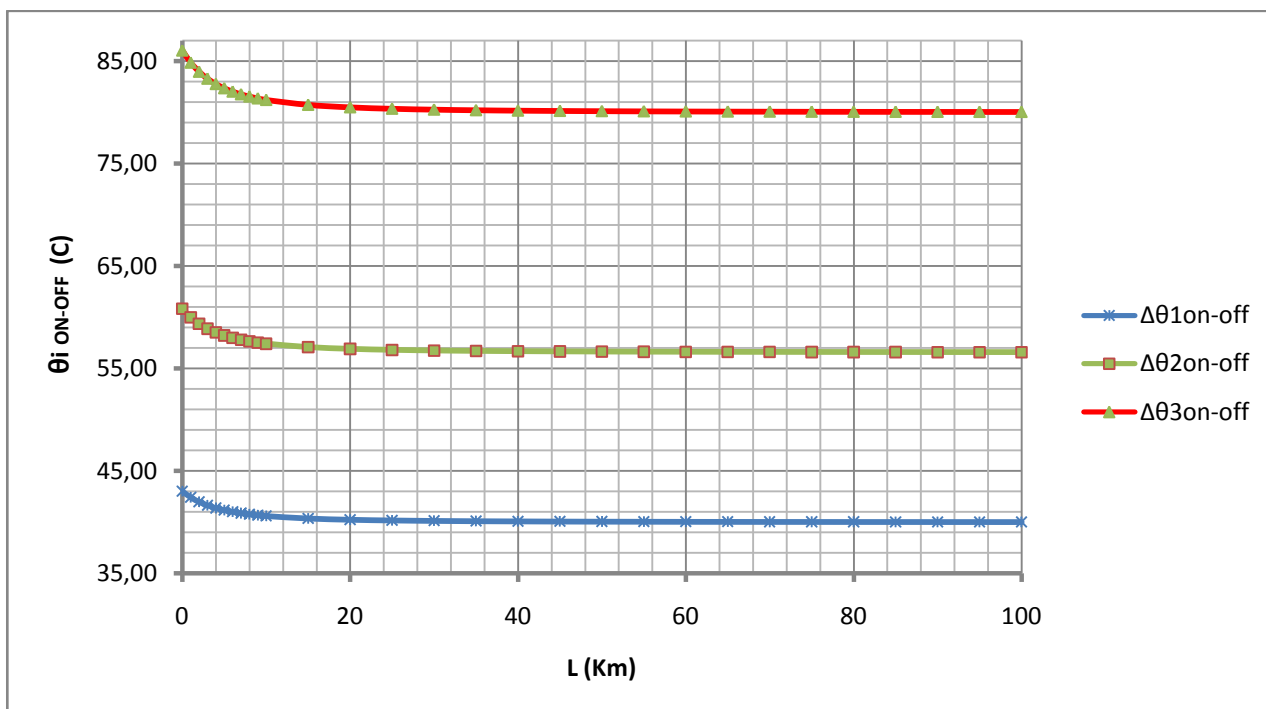
Πίνακας 4.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 4.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$**

L	$R_{vp}(\Omega)$	$X_{vp}(\Omega)$	$R_{μ/σ}(\Omega)$	$X_{μ/σ}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2498,88	874,61	2498,88	1,13	2,53	2,01	3,41
1	0,22	0,33	0,09	3,00	6,70	2240,20	784,07	2240,20	0,91	2,03	1,61	2,74
2	0,43	0,67	0,09	3,00	7,41	2024,47	708,56	2024,47	0,74	1,66	1,32	2,24
3	0,65	1,00	0,09	3,00	8,14	1843,23	645,13	1843,23	0,61	1,38	1,09	1,86
4	0,86	1,34	0,09	3,00	8,88	1689,63	591,37	1689,63	0,51	1,16	0,92	1,56
5	1,08	1,67	0,09	3,00	9,63	1558,24	545,38	1558,24	0,44	0,98	0,78	1,33
6	1,29	2,00	0,09	3,00	10,38	1444,86	505,70	1444,86	0,38	0,85	0,67	1,14
7	1,51	2,34	0,09	3,00	11,14	1346,21	471,17	1346,21	0,33	0,73	0,58	0,99
8	1,72	2,67	0,09	3,00	11,91	1259,70	440,90	1259,70	0,29	0,64	0,51	0,87
9	1,94	3,01	0,09	3,00	12,68	1183,30	414,16	1183,30	0,25	0,57	0,45	0,76
10	2,15	3,34	0,09	3,00	13,45	1115,39	390,39	1115,39	0,22	0,50	0,40	0,68
15	3,23	5,01	0,09	3,00	17,34	865,16	302,81	865,16	0,13	0,30	0,24	0,41
20	4,30	6,68	0,09	3,00	21,26	705,62	246,97	705,62	0,09	0,20	0,16	0,27
30	6,45	10,02	0,09	3,00	29,14	514,75	180,16	514,75	0,05	0,11	0,09	0,14
40	8,60	13,36	0,09	3,00	37,05	404,86	141,70	404,86	0,03	0,07	0,05	0,09
60	12,90	20,04	0,09	3,00	52,90	283,56	99,25	283,56	0,01	0,03	0,03	0,04
80	17,20	26,72	0,09	3,00	68,77	218,13	76,34	218,13	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,09	3,00	84,64	177,22	62,03	177,22	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 4.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

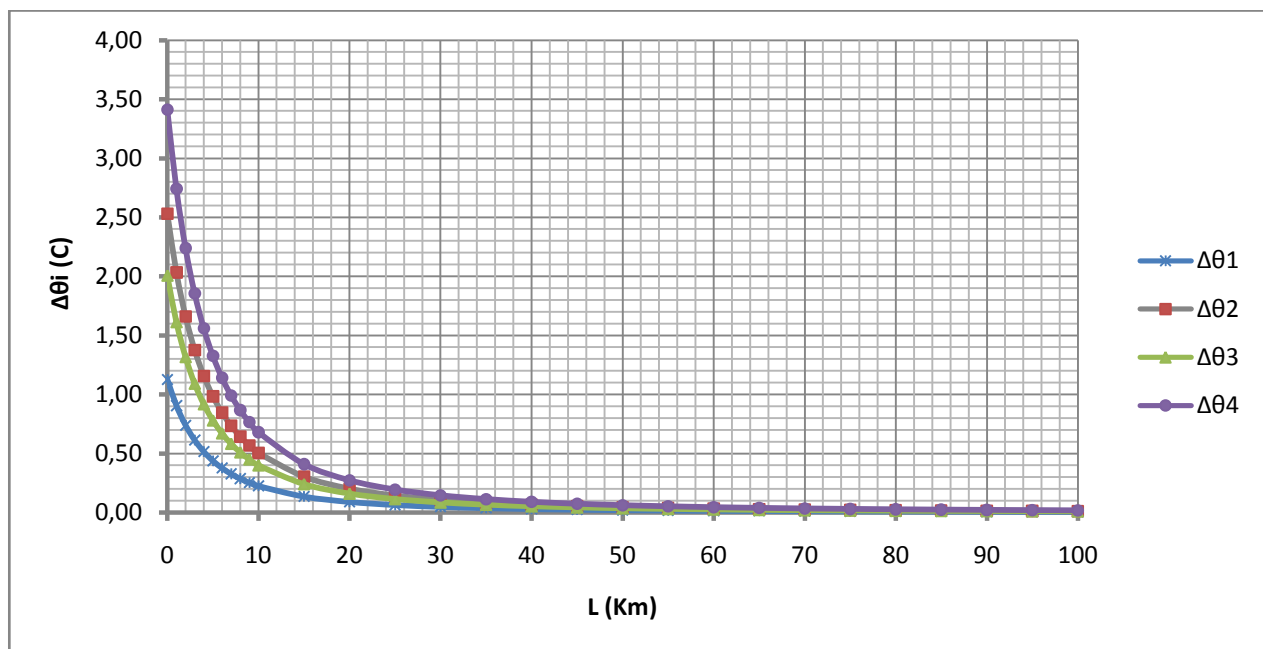
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 4.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	3,41	43,41	61,39	86,82
1	2,74	42,74	60,45	85,48
2	2,24	42,24	59,73	84,48
3	1,86	41,86	59,19	83,71
4	1,56	41,56	58,77	83,12
5	1,33	41,33	58,44	82,65
6	1,14	41,14	58,18	82,28
7	0,99	40,99	57,97	81,98
8	0,87	40,87	57,79	81,73
9	0,76	40,76	57,65	81,53
10	0,68	40,68	57,53	81,36
15	0,41	40,41	57,15	80,82
20	0,27	40,27	56,95	80,54
30	0,14	40,14	56,77	80,29
40	0,09	40,09	56,70	80,18
60	0,04	40,04	56,63	80,09
80	0,03	40,03	56,61	80,05
100	0,02	40,02	56,59	80,03

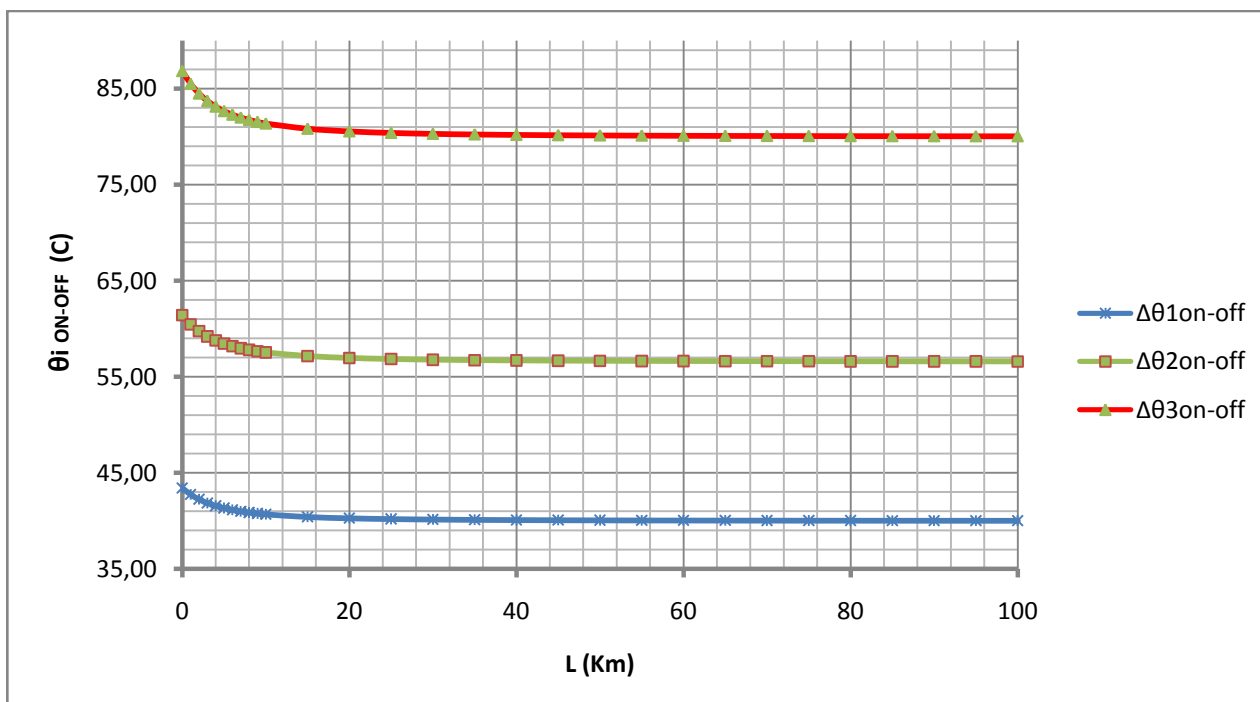
Πίνακας 4.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{i ON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 4.2.2 ($\theta_{i ON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2498,88	874,61	2498,88	1,20	2,60	2,61	4,01
1	0,22	0,33	0,09	3,00	6,70	2240,20	784,07	2240,20	0,96	2,09	2,10	3,23
2	0,43	0,67	0,09	3,00	7,41	2024,47	708,56	2024,47	0,79	1,71	1,71	2,63
3	0,65	1,00	0,09	3,00	8,14	1843,23	645,13	1843,23	0,65	1,42	1,42	2,18
4	0,86	1,34	0,09	3,00	8,88	1689,63	591,37	1689,63	0,55	1,19	1,19	1,83
5	1,08	1,67	0,09	3,00	9,63	1558,24	545,38	1558,24	0,47	1,01	1,01	1,56
6	1,29	2,00	0,09	3,00	10,38	1444,86	505,70	1444,86	0,40	0,87	0,87	1,34
7	1,51	2,34	0,09	3,00	11,14	1346,21	471,17	1346,21	0,35	0,76	0,76	1,16
8	1,72	2,67	0,09	3,00	11,91	1259,70	440,90	1259,70	0,30	0,66	0,66	1,02
9	1,94	3,01	0,09	3,00	12,68	1183,30	414,16	1183,30	0,27	0,58	0,58	0,90
10	2,15	3,34	0,09	3,00	13,45	1115,39	390,39	1115,39	0,24	0,52	0,52	0,80
15	3,23	5,01	0,09	3,00	17,34	865,16	302,81	865,16	0,14	0,31	0,31	0,48
20	4,30	6,68	0,09	3,00	21,26	705,62	246,97	705,62	0,10	0,21	0,21	0,32
30	6,45	10,02	0,09	3,00	29,14	514,75	180,16	514,75	0,05	0,11	0,11	0,17
40	8,60	13,36	0,09	3,00	37,05	404,86	141,70	404,86	0,03	0,07	0,07	0,11
60	12,90	20,04	0,09	3,00	52,90	283,56	99,25	283,56	0,02	0,03	0,03	0,05
80	17,20	26,72	0,09	3,00	68,77	218,13	76,34	218,13	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,09	3,00	84,64	177,22	62,03	177,22	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 4.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

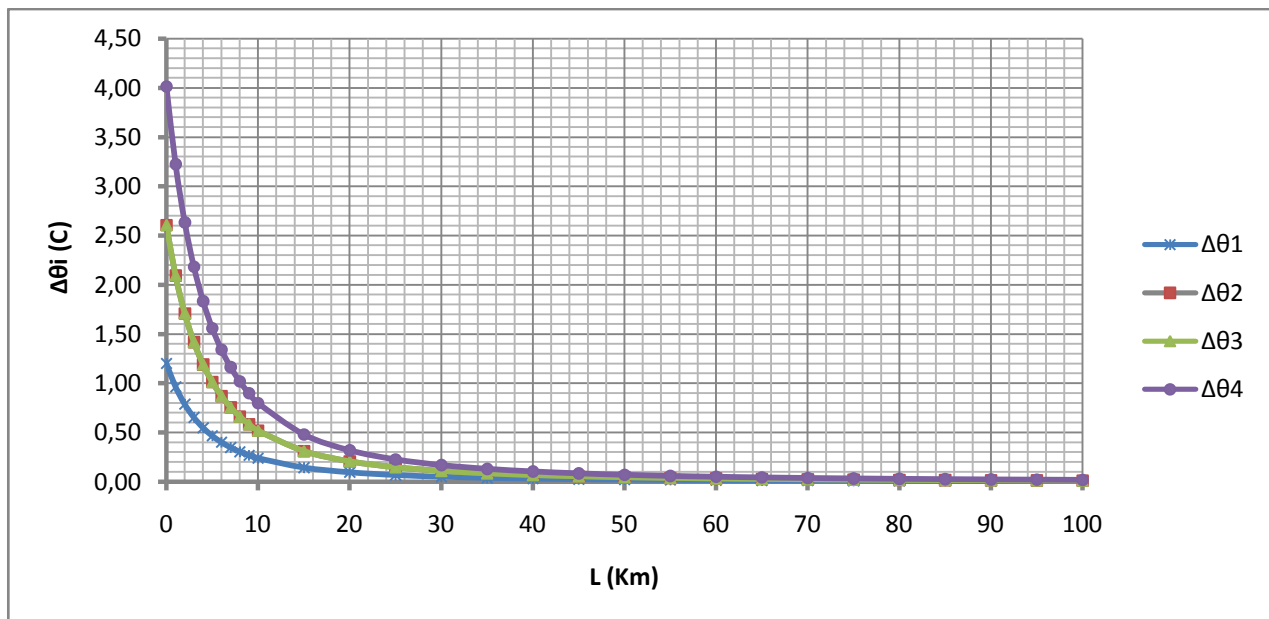
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 4.3.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	4,01	44,01	62,24	88,03
1	3,23	43,23	61,13	86,45
2	2,63	42,63	60,29	85,27
3	2,18	42,18	59,66	84,37
4	1,83	41,83	59,16	83,67
5	1,56	41,56	58,78	83,12
6	1,34	41,34	58,47	82,68
7	1,16	41,16	58,22	82,33
8	1,02	41,02	58,01	82,04
9	0,90	40,90	57,84	81,80
10	0,80	40,80	57,70	81,60
15	0,48	40,48	57,25	80,96
20	0,32	40,32	57,02	80,64
30	0,17	40,17	56,81	80,34
40	0,11	40,11	56,72	80,21
60	0,05	40,05	56,64	80,10
80	0,03	40,03	56,61	80,06
100	0,02	40,02	56,60	80,04

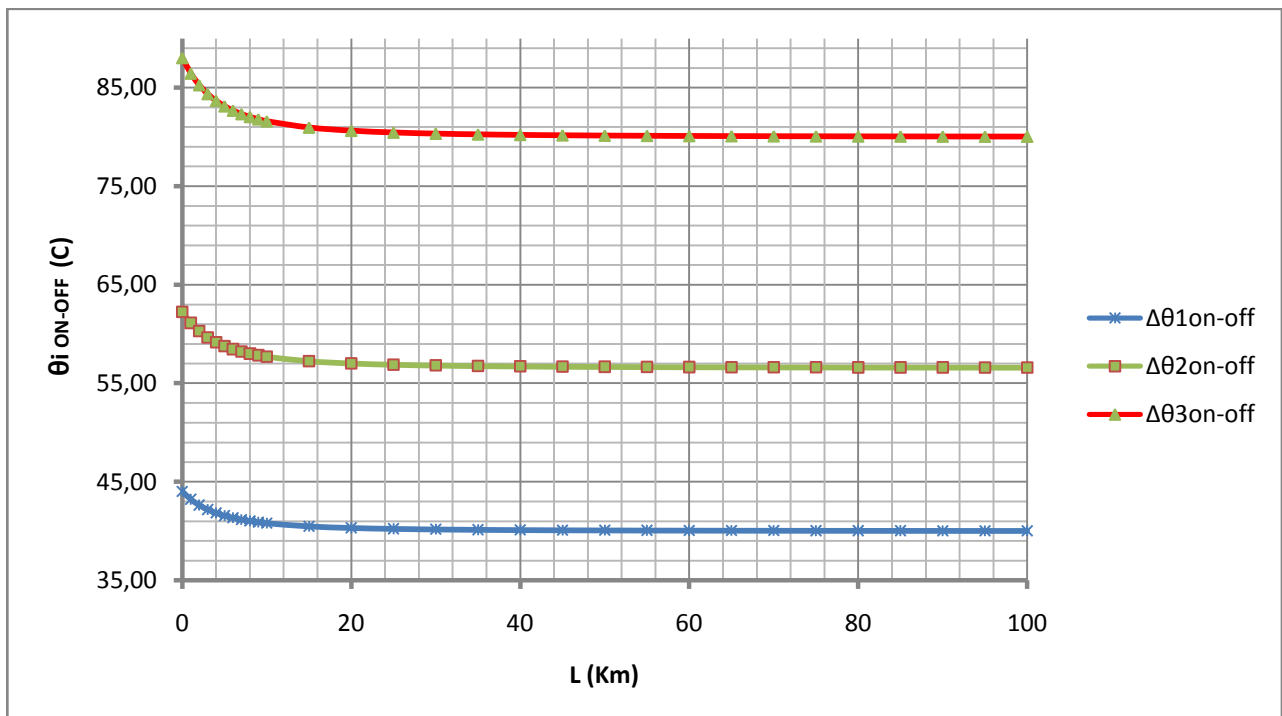
Πίνακας 4.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 4.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	6,00	2498,88	874,61	2498,88	1,49	2,90	5,02	6,42
1	0,22	0,33	0,09	3,00	6,70	2240,20	784,07	2240,20	1,20	2,33	4,03	5,16
2	0,43	0,67	0,09	3,00	7,41	2024,47	708,56	2024,47	0,98	1,90	3,29	4,21
3	0,65	1,00	0,09	3,00	8,14	1843,23	645,13	1843,23	0,81	1,58	2,73	3,49
4	0,86	1,34	0,09	3,00	8,88	1689,63	591,37	1689,63	0,68	1,33	2,29	2,94
5	1,08	1,67	0,09	3,00	9,63	1558,24	545,38	1558,24	0,58	1,13	1,95	2,50
6	1,29	2,00	0,09	3,00	10,38	1444,86	505,70	1444,86	0,50	0,97	1,68	2,15
7	1,51	2,34	0,09	3,00	11,14	1346,21	471,17	1346,21	0,43	0,84	1,46	1,86
8	1,72	2,67	0,09	3,00	11,91	1259,70	440,90	1259,70	0,38	0,74	1,27	1,63
9	1,94	3,01	0,09	3,00	12,68	1183,30	414,16	1183,30	0,34	0,65	1,12	1,44
10	2,15	3,34	0,09	3,00	13,45	1115,39	390,39	1115,39	0,30	0,58	1,00	1,28
15	3,23	5,01	0,09	3,00	17,34	865,16	302,81	865,16	0,18	0,35	0,60	0,77
20	4,30	6,68	0,09	3,00	21,26	705,62	246,97	705,62	0,12	0,23	0,40	0,51
30	6,45	10,02	0,09	3,00	29,14	514,75	180,16	514,75	0,06	0,12	0,21	0,27
40	8,60	13,36	0,09	3,00	37,05	404,86	141,70	404,86	0,04	0,08	0,13	0,17
60	12,90	20,04	0,09	3,00	52,90	283,56	99,25	283,56	0,02	0,04	0,06	0,08
80	17,20	26,72	0,09	3,00	68,77	218,13	76,34	218,13	0,01	0,02	0,04	0,05
100	21,50	33,40	0,09	3,00	84,64	177,22	62,03	177,22	0,01	0,01	0,03	0,03

Πίνακας 4.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

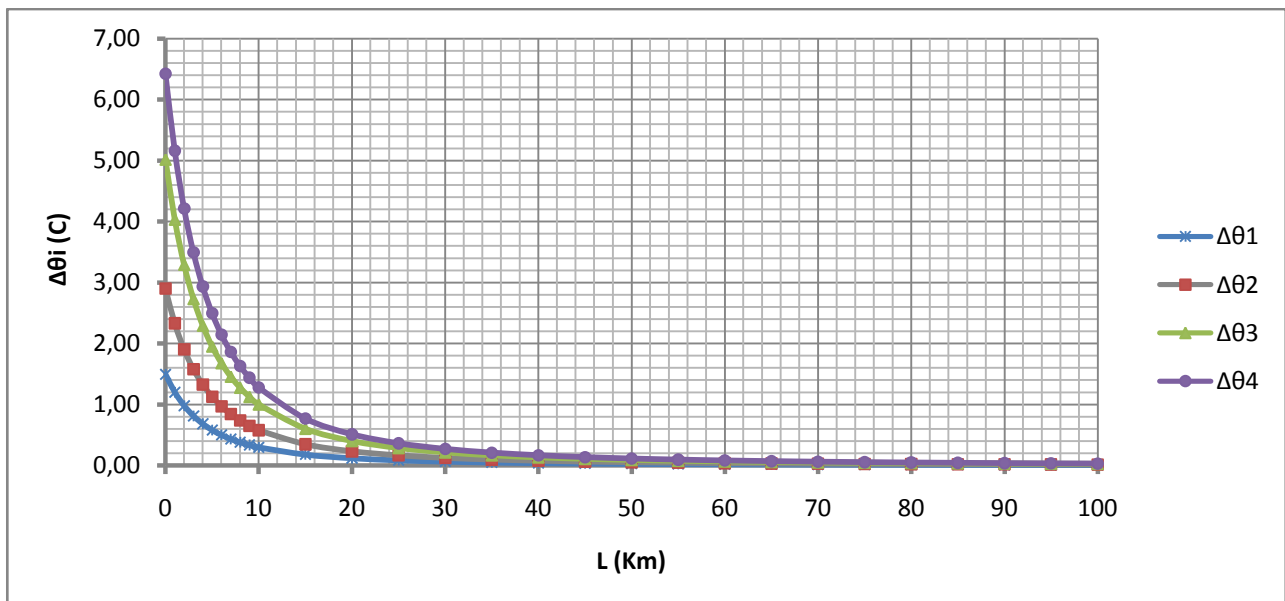
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 4.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	6,42	46,42	65,65	92,84
1	5,16	45,16	63,87	90,32
2	4,21	44,21	62,53	88,43
3	3,49	43,49	61,51	86,99
4	2,94	42,94	60,72	85,87
5	2,50	42,50	60,10	84,99
6	2,15	42,15	59,60	84,29
7	1,86	41,86	59,20	83,73
8	1,63	41,63	58,88	83,26
9	1,44	41,44	58,60	82,88
10	1,28	41,28	58,38	82,56
15	0,77	40,77	57,66	81,54
20	0,51	40,51	57,29	81,02
30	0,27	40,27	56,95	80,54
40	0,17	40,17	56,81	80,34
60	0,08	40,08	56,69	80,17
80	0,05	40,05	56,64	80,10
100	0,03	40,03	56,61	80,06

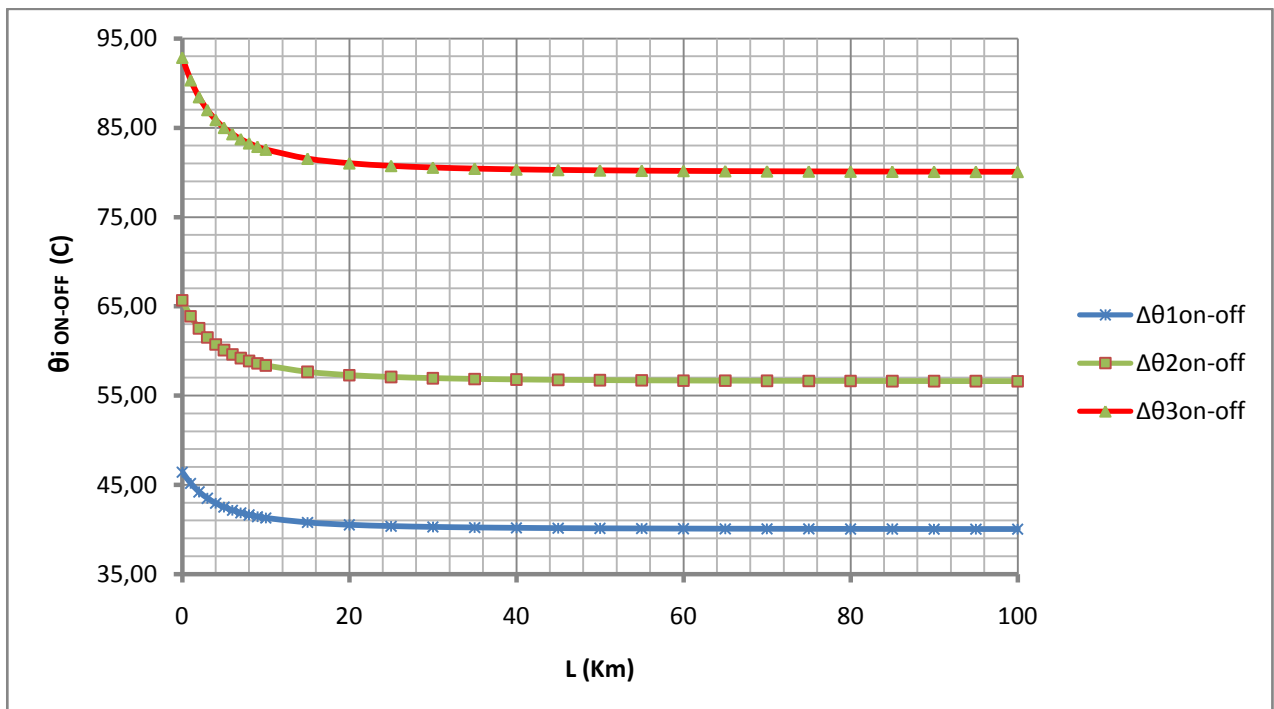
Πίνακας 4.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 4.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

5^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=25MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

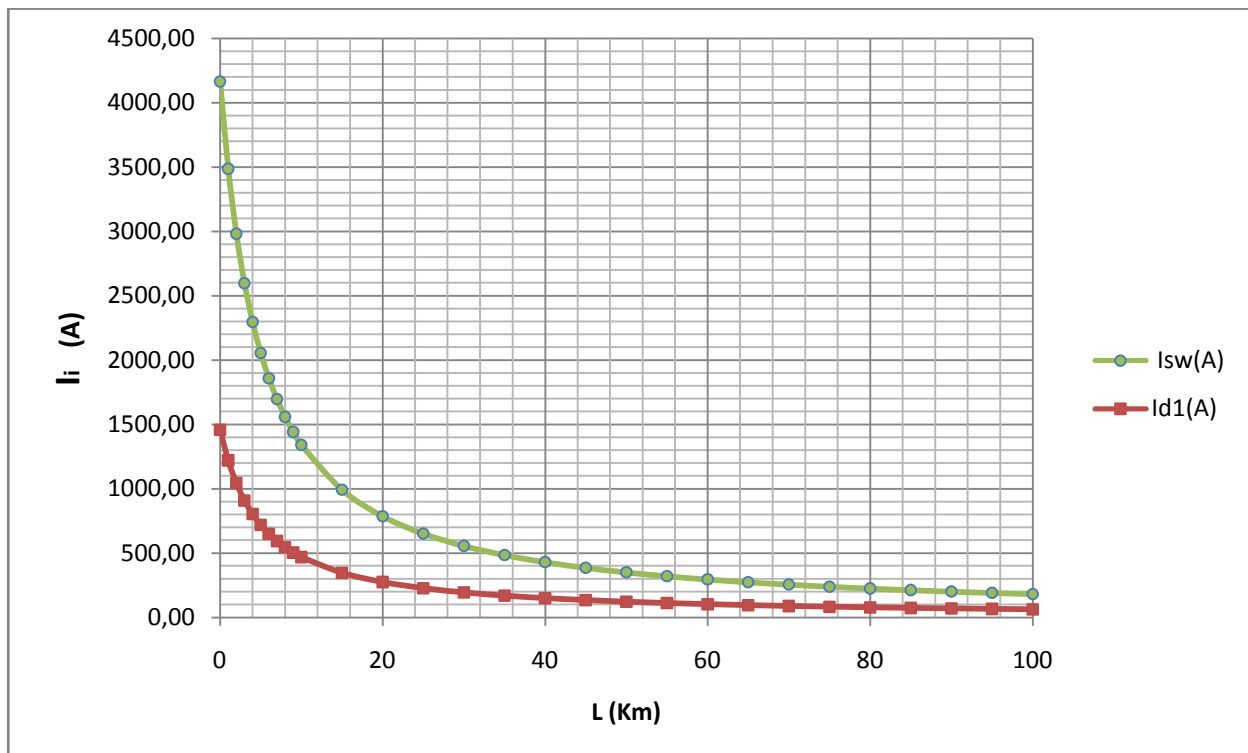
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$), που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 5.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	3,60	4164,79	1457,68	4164,79	2,99	6,89	4,46	8,36
1	0,22	0,33	0,054	1,80	4,30	3486,93	1220,43	3486,93	2,10	4,83	3,13	5,86
2	0,43	0,67	0,054	1,80	5,03	2982,09	1043,73	2982,09	1,53	3,53	2,29	4,29
3	0,65	1,00	0,054	1,80	5,78	2597,07	908,97	2597,07	1,16	2,68	1,73	3,25
4	0,86	1,34	0,054	1,80	6,53	2296,05	803,62	2296,05	0,91	2,10	1,36	2,54
5	1,08	1,67	0,054	1,80	7,30	2055,33	719,37	2055,33	0,73	1,68	1,09	2,04
6	1,29	2,00	0,054	1,80	8,07	1858,99	650,65	1858,99	0,60	1,37	0,89	1,67
7	1,51	2,34	0,054	1,80	8,84	1696,09	593,63	1696,09	0,50	1,14	0,74	1,39
8	1,72	2,67	0,054	1,80	9,62	1558,92	545,62	1558,92	0,42	0,97	0,62	1,17
9	1,94	3,01	0,054	1,80	10,40	1441,94	504,68	1441,94	0,36	0,83	0,53	1,00
10	2,15	3,34	0,054	1,80	11,19	1341,06	469,37	1341,06	0,31	0,71	0,46	0,87
15	3,23	5,01	0,054	1,80	15,12	992,29	347,30	992,29	0,17	0,39	0,25	0,47
20	4,30	6,68	0,054	1,80	19,06	786,79	275,37	786,79	0,11	0,25	0,16	0,30
30	6,45	10,02	0,054	1,80	26,98	555,91	194,57	555,91	0,05	0,12	0,08	0,15
40	8,60	13,36	0,054	1,80	34,91	429,65	150,38	429,65	0,03	0,07	0,05	0,09
60	12,90	20,04	0,054	1,80	50,79	295,36	103,38	295,36	0,02	0,03	0,02	0,04
80	17,20	26,72	0,054	1,80	66,67	225,00	78,75	225,00	0,01	0,02	0,01	0,02
100	21,50	33,40	0,054	1,80	82,55	181,71	63,60	181,71	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 5.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

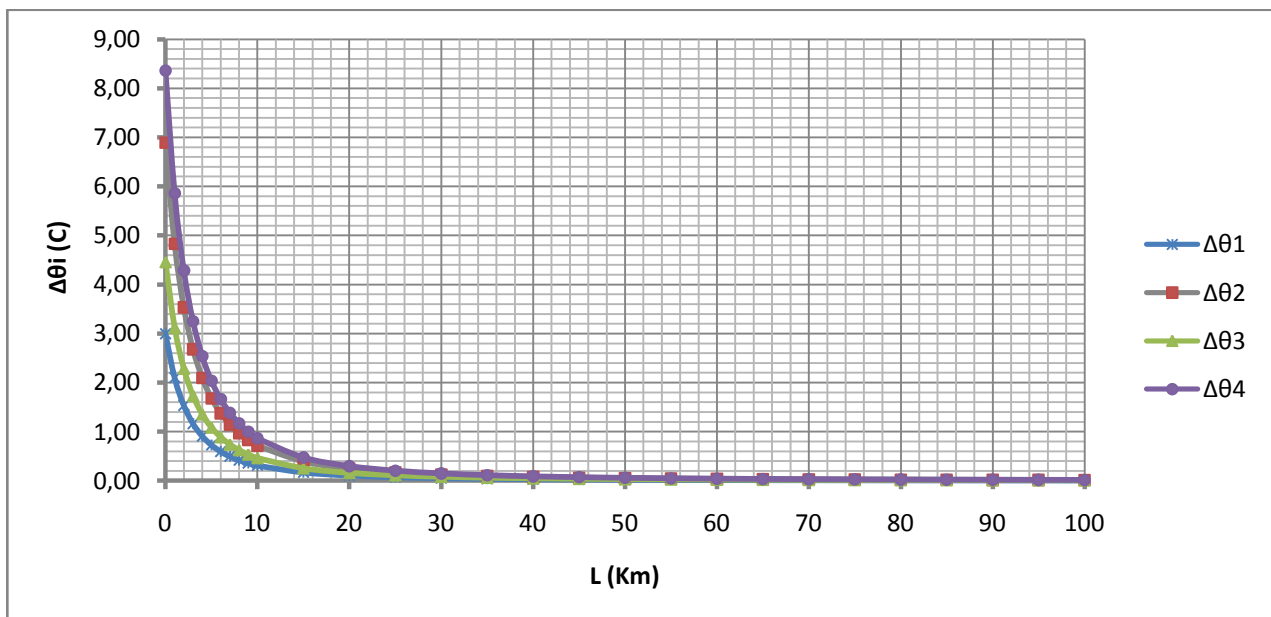
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 5.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	8,36	48,36	68,39	96,72
1	5,86	45,86	64,86	91,72
2	4,29	44,29	62,63	88,57
3	3,25	43,25	61,17	86,50
4	2,54	42,54	60,16	85,08
5	2,04	42,04	59,45	84,07
6	1,67	41,67	58,92	83,33
7	1,39	41,39	58,53	82,77
8	1,17	41,17	58,23	82,34
9	1,00	41,00	57,99	82,00
10	0,87	40,87	57,79	81,73
15	0,47	40,47	57,24	80,95
20	0,30	40,30	56,99	80,60
30	0,15	40,15	56,78	80,30
40	0,09	40,09	56,69	80,18
60	0,04	40,04	56,63	80,08
80	0,02	40,02	56,60	80,05
100	0,02	40,02	56,59	80,03

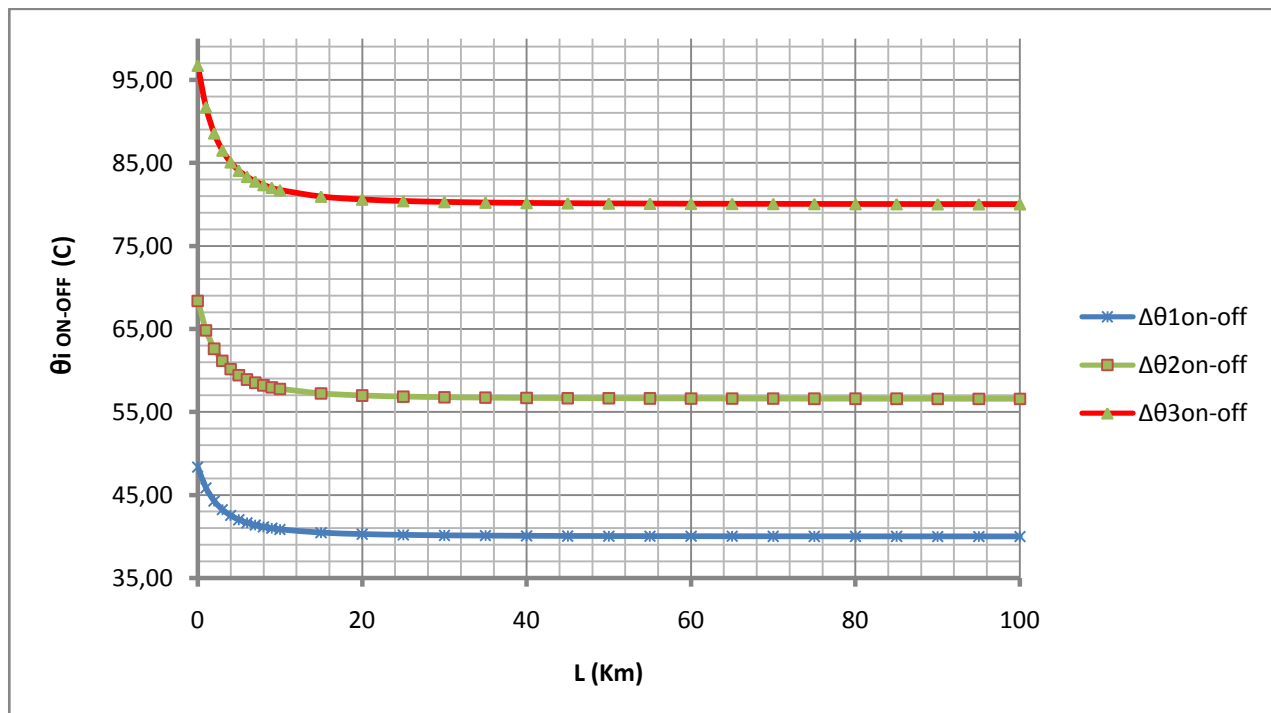
Πίνακας 5.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 5.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	3,60	4164,79	1457,68	4164,79	3,13	7,03	5,57	9,48
1	0,22	0,33	0,054	1,80	4,30	3486,93	1220,43	3486,93	2,19	4,93	3,91	6,64
2	0,43	0,67	0,054	1,80	5,03	2982,09	1043,73	2982,09	1,60	3,60	2,86	4,86
3	0,65	1,00	0,054	1,80	5,78	2597,07	908,97	2597,07	1,22	2,73	2,17	3,68
4	0,86	1,34	0,054	1,80	6,53	2296,05	803,62	2296,05	0,95	2,14	1,69	2,88
5	1,08	1,67	0,054	1,80	7,30	2055,33	719,37	2055,33	0,76	1,71	1,36	2,31
6	1,29	2,00	0,054	1,80	8,07	1858,99	650,65	1858,99	0,62	1,40	1,11	1,89
7	1,51	2,34	0,054	1,80	8,84	1696,09	593,63	1696,09	0,52	1,17	0,92	1,57
8	1,72	2,67	0,054	1,80	9,62	1558,92	545,62	1558,92	0,44	0,98	0,78	1,33
9	1,94	3,01	0,054	1,80	10,40	1441,94	504,68	1441,94	0,37	0,84	0,67	1,14
10	2,15	3,34	0,054	1,80	11,19	1341,06	469,37	1341,06	0,32	0,73	0,58	0,98
15	3,23	5,01	0,054	1,80	15,12	992,29	347,30	992,29	0,18	0,40	0,32	0,54
20	4,30	6,68	0,054	1,80	19,06	786,79	275,37	786,79	0,11	0,25	0,20	0,34
30	6,45	10,02	0,054	1,80	26,98	555,91	194,57	555,91	0,06	0,13	0,10	0,17
40	8,60	13,36	0,054	1,80	34,91	429,65	150,38	429,65	0,03	0,07	0,06	0,10
60	12,90	20,04	0,054	1,80	50,79	295,36	103,38	295,36	0,02	0,04	0,03	0,05
80	17,20	26,72	0,054	1,80	66,67	225,00	78,75	225,00	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,054	1,80	82,55	181,71	63,60	181,71	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 5.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

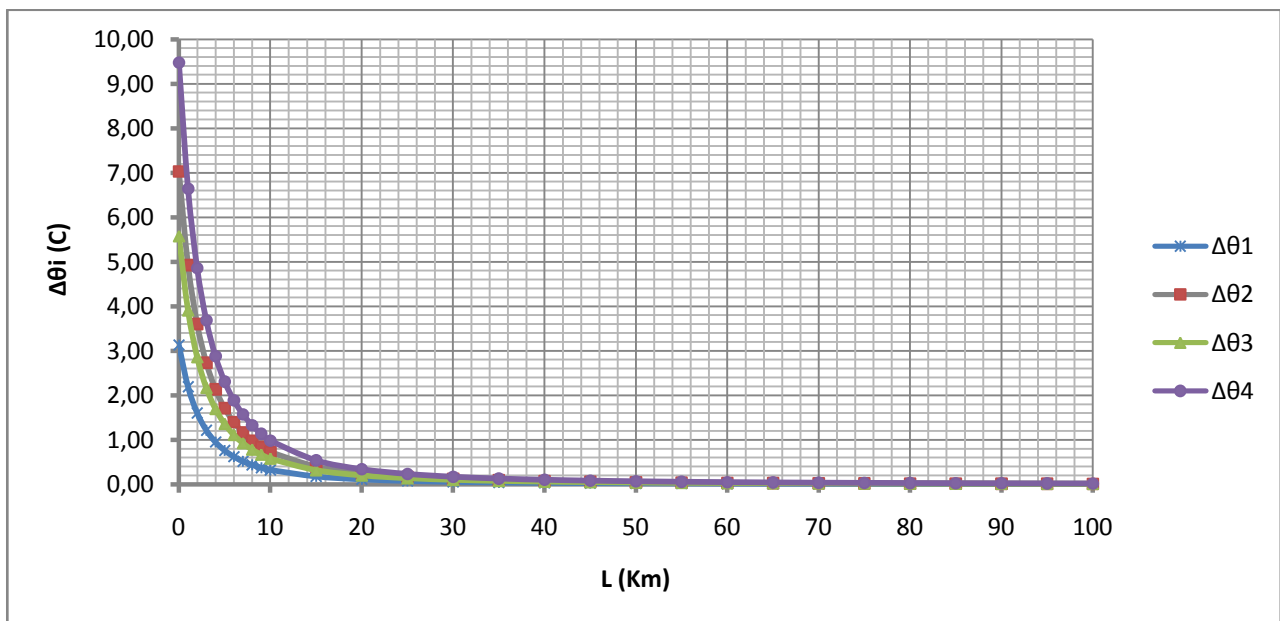
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 5.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	9,48	49,48	69,97	98,95
1	6,64	46,64	65,96	93,28
2	4,86	44,86	63,44	89,72
3	3,68	43,68	61,78	87,37
4	2,88	42,88	60,64	85,76
5	2,31	42,31	59,83	84,62
6	1,89	41,89	59,24	83,78
7	1,57	41,57	58,79	83,14
8	1,33	41,33	58,45	82,66
9	1,14	41,14	58,17	82,27
10	0,98	40,98	57,96	81,96
15	0,54	40,54	57,33	81,08
20	0,34	40,34	57,05	80,68
30	0,17	40,17	56,81	80,34
40	0,10	40,10	56,71	80,20
60	0,05	40,05	56,64	80,10
80	0,03	40,03	56,61	80,06
100	0,02	40,02	56,59	80,04

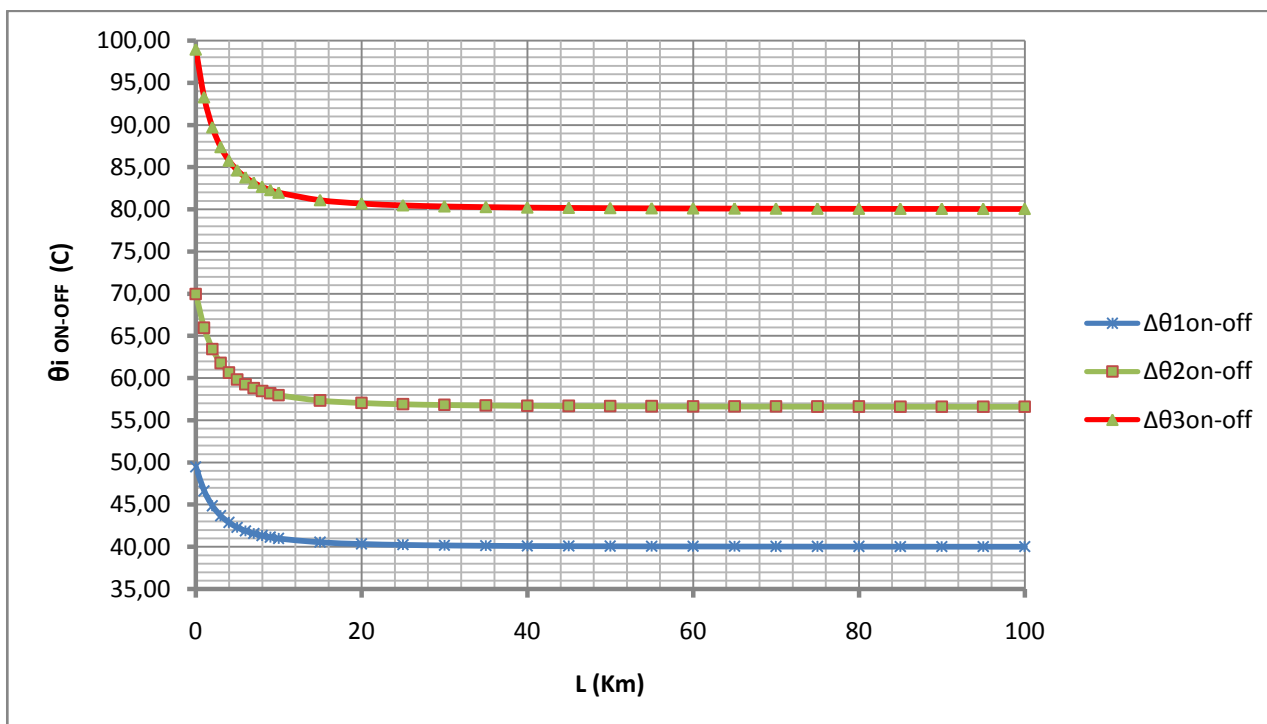
Πίνακας 5.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 5.2.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	3,60	4164,79	1457,68	4164,79	3,33	7,23	7,25	11,15
1	0,22	0,33	0,054	1,80	4,30	3486,93	1220,43	3486,93	2,34	5,07	5,08	7,81
2	0,43	0,67	0,054	1,80	5,03	2982,09	1043,73	2982,09	1,71	3,71	3,71	5,72
3	0,65	1,00	0,054	1,80	5,78	2597,07	908,97	2597,07	1,30	2,81	2,82	4,33
4	0,86	1,34	0,054	1,80	6,53	2296,05	803,62	2296,05	1,01	2,20	2,20	3,39
5	1,08	1,67	0,054	1,80	7,30	2055,33	719,37	2055,33	0,81	1,76	1,76	2,71
6	1,29	2,00	0,054	1,80	8,07	1858,99	650,65	1858,99	0,66	1,44	1,44	2,22
7	1,51	2,34	0,054	1,80	8,84	1696,09	593,63	1696,09	0,55	1,20	1,20	1,85
8	1,72	2,67	0,054	1,80	9,62	1558,92	545,62	1558,92	0,47	1,01	1,02	1,56
9	1,94	3,01	0,054	1,80	10,40	1441,94	504,68	1441,94	0,40	0,87	0,87	1,34
10	2,15	3,34	0,054	1,80	11,19	1341,06	469,37	1341,06	0,35	0,75	0,75	1,16
15	3,23	5,01	0,054	1,80	15,12	992,29	347,30	992,29	0,19	0,41	0,41	0,63
20	4,30	6,68	0,054	1,80	19,06	786,79	275,37	786,79	0,12	0,26	0,26	0,40
30	6,45	10,02	0,054	1,80	26,98	555,91	194,57	555,91	0,06	0,13	0,13	0,20
40	8,60	13,36	0,054	1,80	34,91	429,65	150,38	429,65	0,04	0,08	0,08	0,12
60	12,90	20,04	0,054	1,80	50,79	295,36	103,38	295,36	0,02	0,04	0,04	0,06
80	17,20	26,72	0,054	1,80	66,67	225,00	78,75	225,00	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,054	1,80	82,55	181,71	63,60	181,71	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 5.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

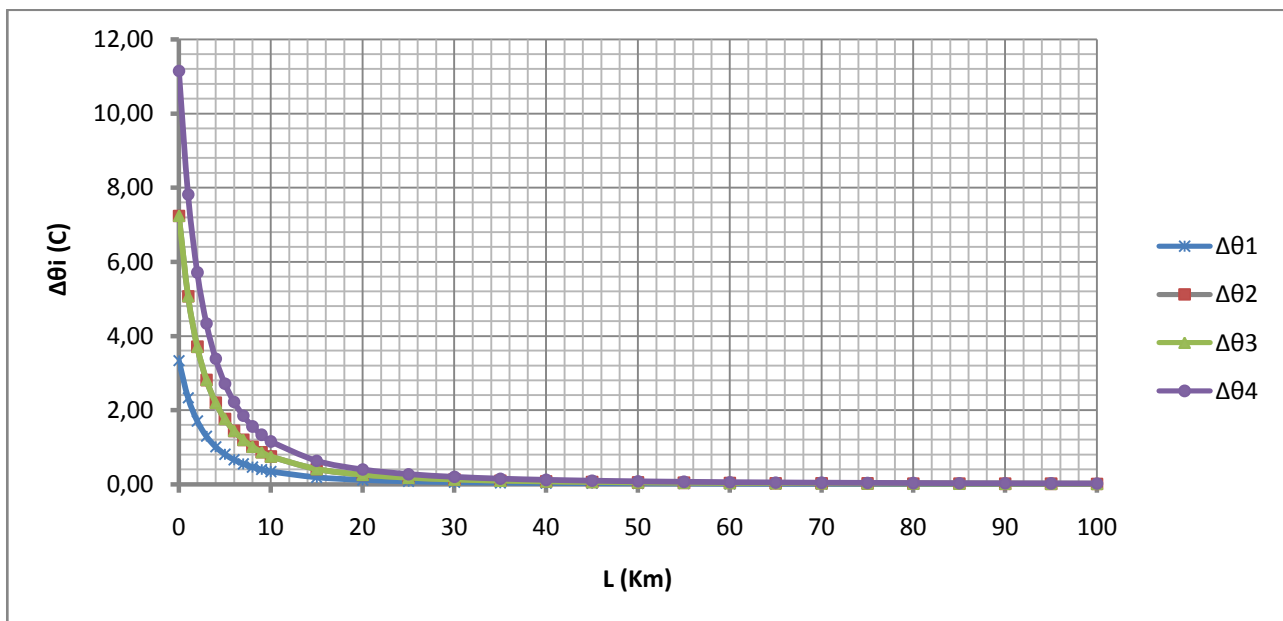
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 5.3.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	11,15	51,15	72,33	102,29
1	7,81	47,81	67,62	95,63
2	5,72	45,72	64,65	91,43
3	4,33	44,33	62,70	88,67
4	3,39	43,39	61,36	86,78
5	2,71	42,71	60,41	85,43
6	2,22	42,22	59,71	84,44
7	1,85	41,85	59,18	83,70
8	1,56	41,56	58,78	83,12
9	1,34	41,34	58,46	82,67
10	1,16	41,16	58,20	82,31
15	0,63	40,63	57,46	81,27
20	0,40	40,40	57,13	80,80
30	0,20	40,20	56,85	80,40
40	0,12	40,12	56,74	80,24
60	0,06	40,06	56,65	80,11
80	0,03	40,03	56,61	80,07
95	0,02	40,02	56,60	80,05
100	0,02	40,02	56,60	80,04

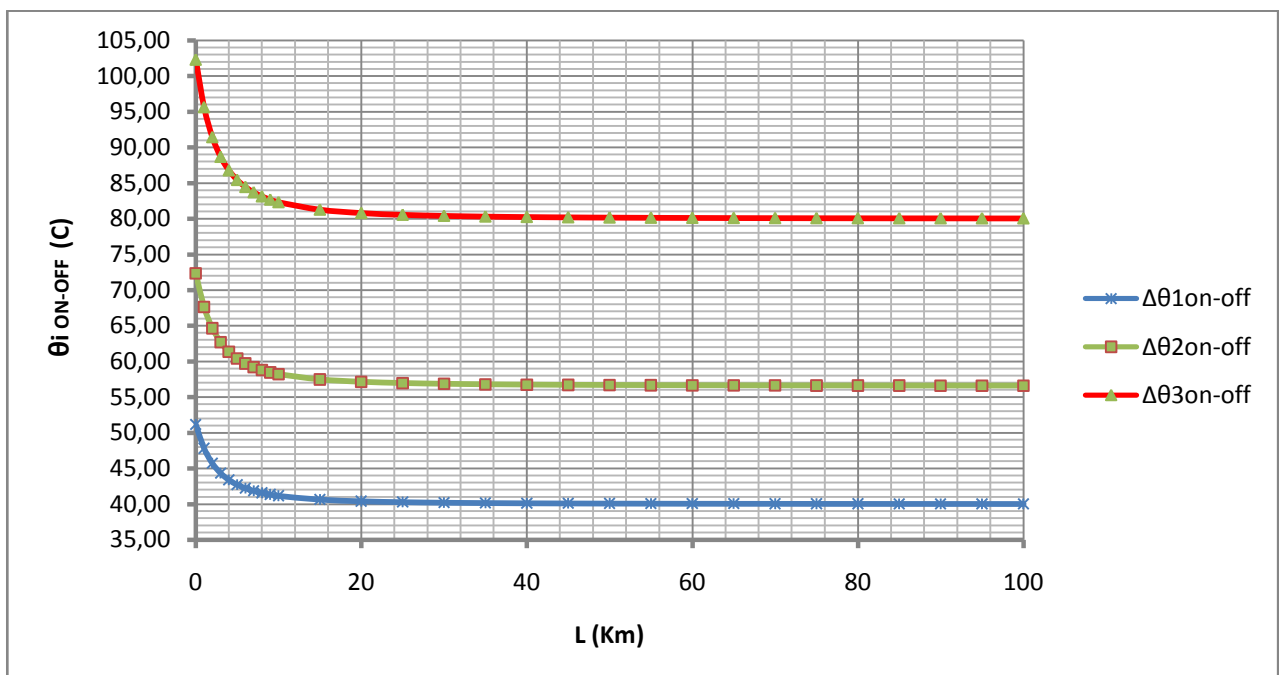
Πίνακας 5.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 5.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	3,60	4164,79	1457,68	4164,79	4,15	8,05	13,93	17,84
1	0,22	0,33	0,054	1,80	4,30	3486,93	1220,43	3486,93	2,91	5,65	9,77	12,50
2	0,43	0,67	0,054	1,80	5,03	2982,09	1043,73	2982,09	2,13	4,13	7,14	9,14
3	0,65	1,00	0,054	1,80	5,78	2597,07	908,97	2597,07	1,61	3,13	5,42	6,94
4	0,86	1,34	0,054	1,80	6,53	2296,05	803,62	2296,05	1,26	2,45	4,23	5,42
5	1,08	1,67	0,054	1,80	7,30	2055,33	719,37	2055,33	1,01	1,96	3,39	4,34
6	1,29	2,00	0,054	1,80	8,07	1858,99	650,65	1858,99	0,83	1,60	2,78	3,55
7	1,51	2,34	0,054	1,80	8,84	1696,09	593,63	1696,09	0,69	1,34	2,31	2,96
8	1,72	2,67	0,054	1,80	9,62	1558,92	545,62	1558,92	0,58	1,13	1,95	2,50
9	1,94	3,01	0,054	1,80	10,40	1441,94	504,68	1441,94	0,50	0,97	1,67	2,14
10	2,15	3,34	0,054	1,80	11,19	1341,06	469,37	1341,06	0,43	0,84	1,44	1,85
15	3,23	5,01	0,054	1,80	15,12	992,29	347,30	992,29	0,24	0,46	0,79	1,01
20	4,30	6,68	0,054	1,80	19,06	786,79	275,37	786,79	0,15	0,29	0,50	0,64
30	6,45	10,02	0,054	1,80	26,98	555,91	194,57	555,91	0,07	0,14	0,25	0,32
40	8,60	13,36	0,054	1,80	34,91	429,65	150,38	429,65	0,04	0,09	0,15	0,19
60	12,90	20,04	0,054	1,80	50,79	295,36	103,38	295,36	0,02	0,04	0,07	0,09
80	17,20	26,72	0,054	1,80	66,67	225,00	78,75	225,00	0,01	0,02	0,04	0,05
100	21,50	33,40	0,054	1,80	82,55	181,71	63,60	181,71	0,01	0,02	0,03	0,03

Πίνακας 5.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

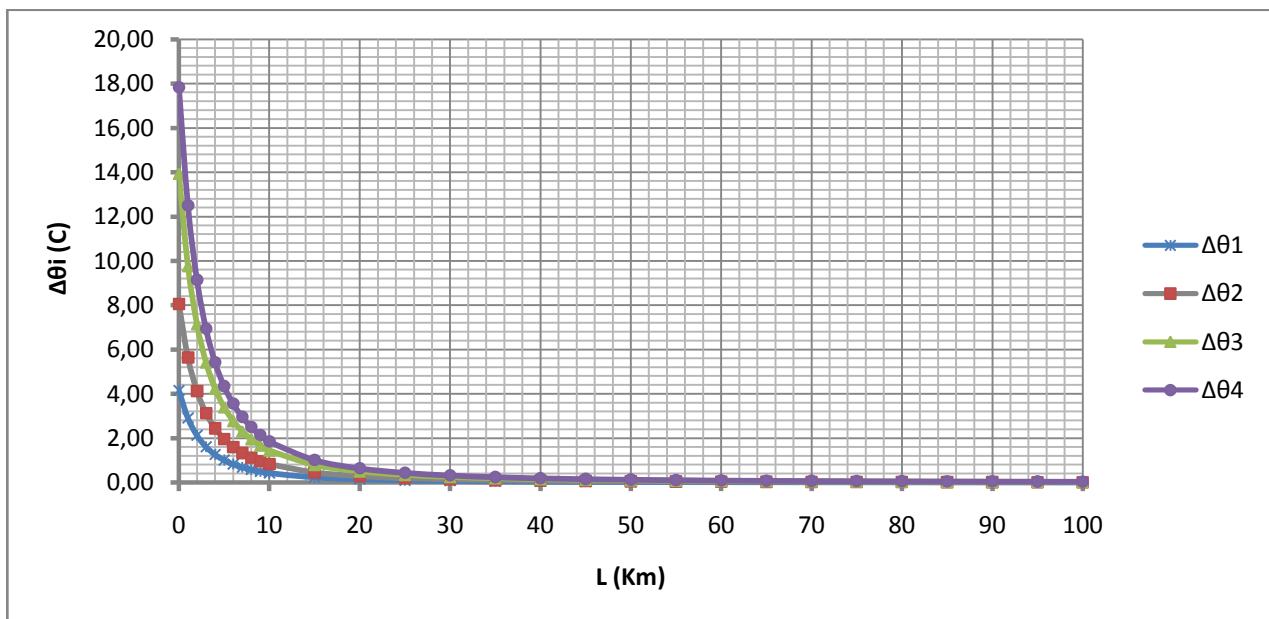
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 5.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	17,84	57,84	81,79	115,67
1	12,50	52,50	74,25	105,00
2	9,14	49,14	69,50	98,29
3	6,94	46,94	66,38	93,87
4	5,42	45,42	64,23	90,84
5	4,34	44,34	62,71	88,69
6	3,55	43,55	61,59	87,11
7	2,96	42,96	60,75	85,92
8	2,50	42,50	60,10	85,00
9	2,14	42,14	59,59	84,28
10	1,85	41,85	59,18	83,70
15	1,01	41,01	58,00	82,02
20	0,64	40,64	57,47	81,27
30	0,32	40,32	57,02	80,64
40	0,19	40,19	56,84	80,38
60	0,09	40,09	56,70	80,18
80	0,05	40,05	56,64	80,10
100	0,03	40,03	56,62	80,07

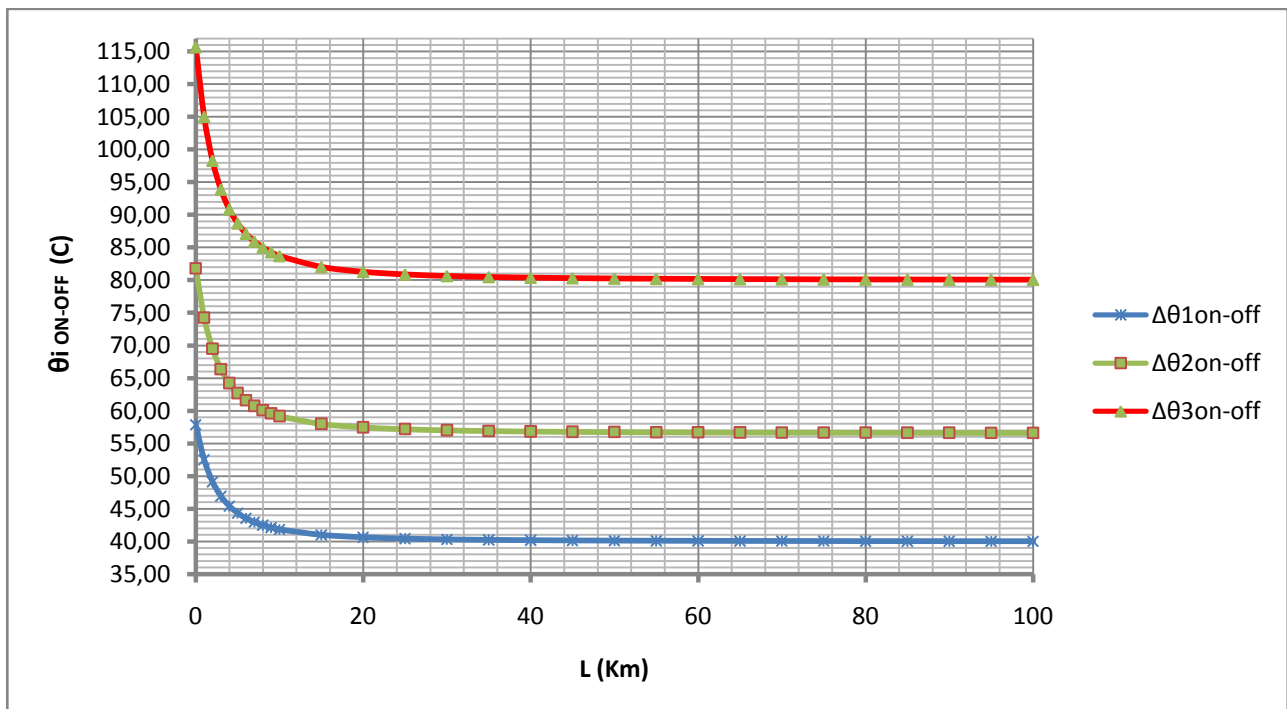
Πίνακας 5.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 5.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

6^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=50MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

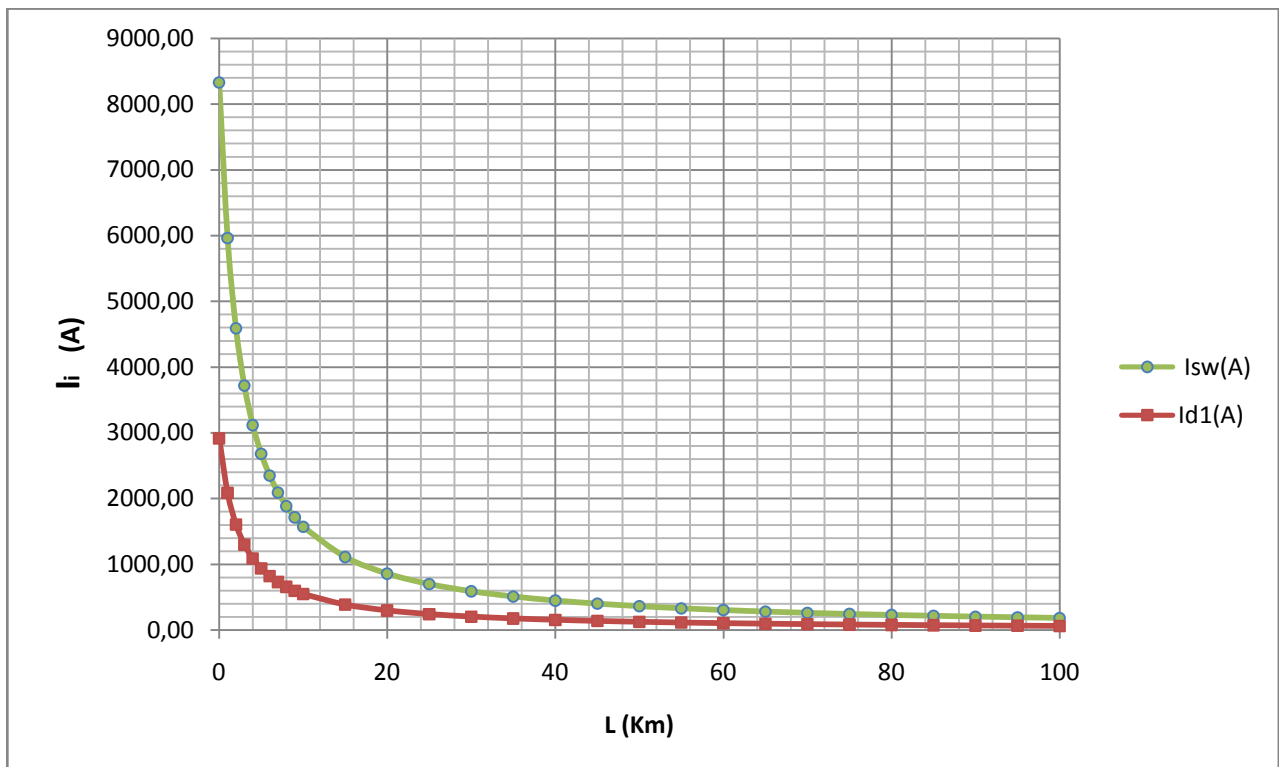
Για τις προαναφερθείσες τιμές, στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που αφορούν την υπερθέρμανση ($\Delta\theta$), που εμφανίζεται κατά μήκος (L) του αγωγού ACSR 95mm².

Διαγράμματα $I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$

Με δεδομένες τις τιμές U_N και P_N γίνεται ο υπολογισμός του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και του διαρκούς ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{d1}). Οι τιμές των ρευμάτων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά σε όλους τους πίνακες που συνθέτουν αυτή την ενότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα I_{sw} , I_{d1} δεν εξαρτώνται από το χρόνο που διαρκεί το βραχυκύκλωμα, αλλά μόνο από τα U_N , P_N και L .

Με βάση τα δεδομένα αυτά, παρουσιάζεται ακολούθως διαγραμματικά, η μεταβολή των τιμών I_{sw} , I_{d1} κατά μήκος του ACSR 95mm².

$I_{sw}=f(L)$ & $I_{d1}=f(L)$



Διάγραμμα 6.1

Μεταβολή των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (εναλλασσόμενου I_{sw} και συνεχούς I_d) κατά μήκος του αγωγού ACSR95mm²

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,15s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	1,80	8329,59	2915,36	8329,59	11,97	27,57	17,84	33,44
1	0,22	0,33	0,027	0,90	2,52	5964,19	2087,47	5964,19	6,14	14,14	9,14	17,15
2	0,43	0,67	0,027	0,90	3,27	4592,10	1607,23	4592,10	3,64	8,38	5,42	10,16
3	0,65	1,00	0,027	0,90	4,03	3717,98	1301,29	3717,98	2,38	5,49	3,55	6,66
4	0,86	1,34	0,027	0,90	4,81	3117,85	1091,25	3117,85	1,68	3,86	2,50	4,69
5	1,08	1,67	0,027	0,90	5,59	2682,11	938,74	2682,11	1,24	2,86	1,85	3,47
6	1,29	2,00	0,027	0,90	6,38	2352,07	823,22	2352,07	0,95	2,20	1,42	2,67
7	1,51	2,34	0,027	0,90	7,16	2093,73	732,80	2093,73	0,76	1,74	1,13	2,11
8	1,72	2,67	0,027	0,90	7,95	1886,16	660,16	1886,16	0,61	1,41	0,91	1,71
9	1,94	3,01	0,027	0,90	8,74	1715,83	600,54	1715,83	0,51	1,17	0,76	1,42
10	2,15	3,34	0,027	0,90	9,53	1573,57	550,75	1573,57	0,43	0,98	0,64	1,19
15	3,23	5,01	0,027	0,90	13,49	1111,83	389,14	1111,83	0,21	0,49	0,32	0,60
20	4,30	6,68	0,027	0,90	17,46	859,30	300,75	859,30	0,13	0,29	0,19	0,36
30	6,45	10,02	0,027	0,90	25,39	590,72	206,75	590,72	0,06	0,14	0,09	0,17
40	8,60	13,36	0,027	0,90	33,33	450,00	157,50	450,00	0,03	0,08	0,05	0,10
60	12,90	20,04	0,027	0,90	49,22	304,77	106,67	304,77	0,02	0,04	0,02	0,04
80	17,20	26,72	0,027	0,90	65,10	230,40	80,64	230,40	0,01	0,02	0,01	0,03
100	21,50	33,40	0,027	0,90	80,99	185,20	64,82	185,20	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 6.1.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

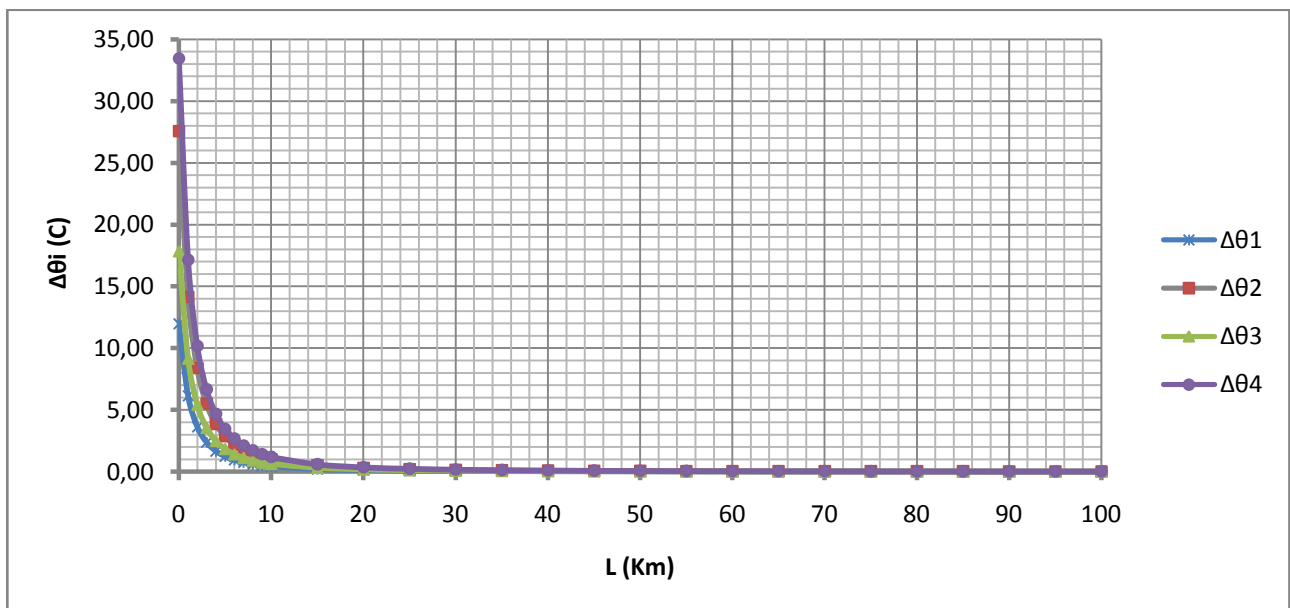
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 6.1.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	33,44	73,44	103,86	146,88
1	17,15	57,15	80,82	114,29
2	10,16	50,16	70,94	100,33
3	6,66	46,66	65,99	93,33
4	4,69	44,69	63,19	89,37
5	3,47	43,47	61,47	86,93
6	2,67	42,67	60,34	85,33
7	2,11	42,11	59,56	84,23
8	1,71	41,71	58,99	83,43
9	1,42	41,42	58,58	82,84
10	1,19	41,19	58,26	82,39
15	0,60	40,60	57,41	81,19
20	0,36	40,36	57,07	80,71
30	0,17	40,17	56,81	80,34
40	0,10	40,10	56,71	80,20
60	0,04	40,04	56,63	80,09
80	0,03	40,03	56,60	80,05
100	0,02	40,02	56,59	80,03

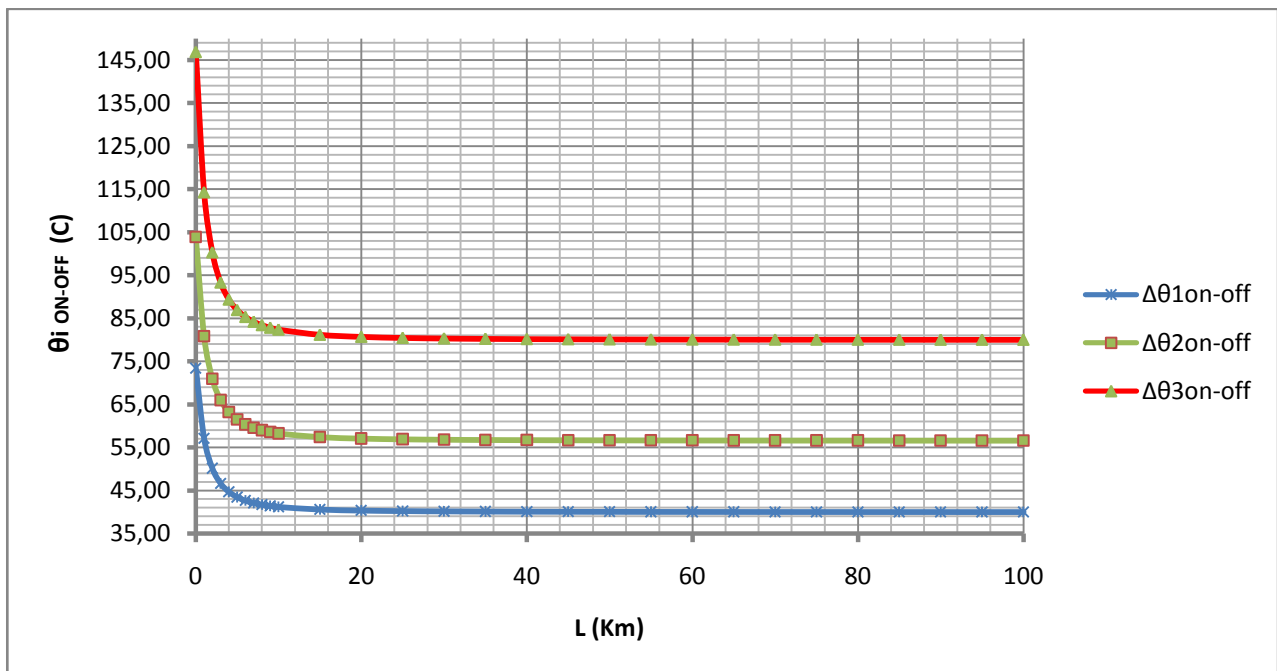
Πίνακας 6.1.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{i ON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 6.1.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,25s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	1,80	8329,59	2915,36	8329,59	12,51	28,12	22,29	37,90
1	0,22	0,33	0,027	0,90	2,52	5964,19	2087,47	5964,19	6,42	14,42	11,43	19,43
2	0,43	0,67	0,027	0,90	3,27	4592,10	1607,23	4592,10	3,80	8,55	6,78	11,52
3	0,65	1,00	0,027	0,90	4,03	3717,98	1301,29	3717,98	2,49	5,60	4,44	7,55
4	0,86	1,34	0,027	0,90	4,81	3117,85	1091,25	3117,85	1,75	3,94	3,12	5,31
5	1,08	1,67	0,027	0,90	5,59	2682,11	938,74	2682,11	1,30	2,92	2,31	3,93
6	1,29	2,00	0,027	0,90	6,38	2352,07	823,22	2352,07	1,00	2,24	1,78	3,02
7	1,51	2,34	0,027	0,90	7,16	2093,73	732,80	2093,73	0,79	1,78	1,41	2,39
8	1,72	2,67	0,027	0,90	7,95	1886,16	660,16	1886,16	0,64	1,44	1,14	1,94
9	1,94	3,01	0,027	0,90	8,74	1715,83	600,54	1715,83	0,53	1,19	0,95	1,61
10	2,15	3,34	0,027	0,90	9,53	1573,57	550,75	1573,57	0,45	1,00	0,80	1,35
15	3,23	5,01	0,027	0,90	13,49	1111,83	389,14	1111,83	0,22	0,50	0,40	0,68
20	4,30	6,68	0,027	0,90	17,46	859,30	300,75	859,30	0,13	0,30	0,24	0,40
30	6,45	10,02	0,027	0,90	25,39	590,72	206,75	590,72	0,06	0,14	0,11	0,19
40	8,60	13,36	0,027	0,90	33,33	450,00	157,50	450,00	0,04	0,08	0,07	0,11
60	12,90	20,04	0,027	0,90	49,22	304,77	106,67	304,77	0,02	0,04	0,03	0,05
80	17,20	26,72	0,027	0,90	65,10	230,40	80,64	230,40	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,027	0,90	80,99	185,20	64,82	185,20	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 6.2.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

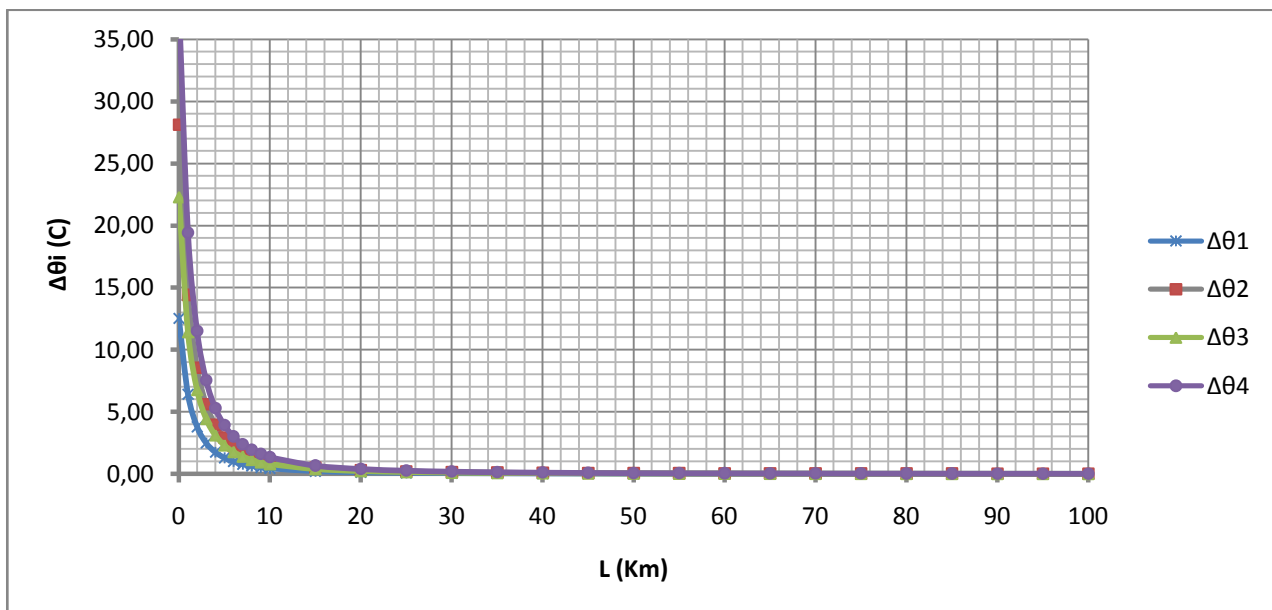
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 6.2.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	37,90	77,90	110,17	155,80
1	19,43	59,43	84,05	118,86
2	11,52	51,52	72,86	103,04
3	7,55	47,55	67,25	95,10
4	5,31	45,31	64,08	90,62
5	3,93	43,93	62,13	87,86
6	3,02	43,02	60,84	86,04
7	2,39	42,39	59,96	84,79
8	1,94	41,94	59,32	83,89
9	1,61	41,61	58,84	83,22
10	1,35	41,35	58,48	82,71
15	0,68	40,68	57,52	81,35
20	0,40	40,40	57,14	80,81
30	0,19	40,19	56,84	80,38
40	0,11	40,11	56,72	80,22
60	0,05	40,05	56,64	80,10
80	0,03	40,03	56,61	80,06
100	0,02	40,02	56,60	80,04

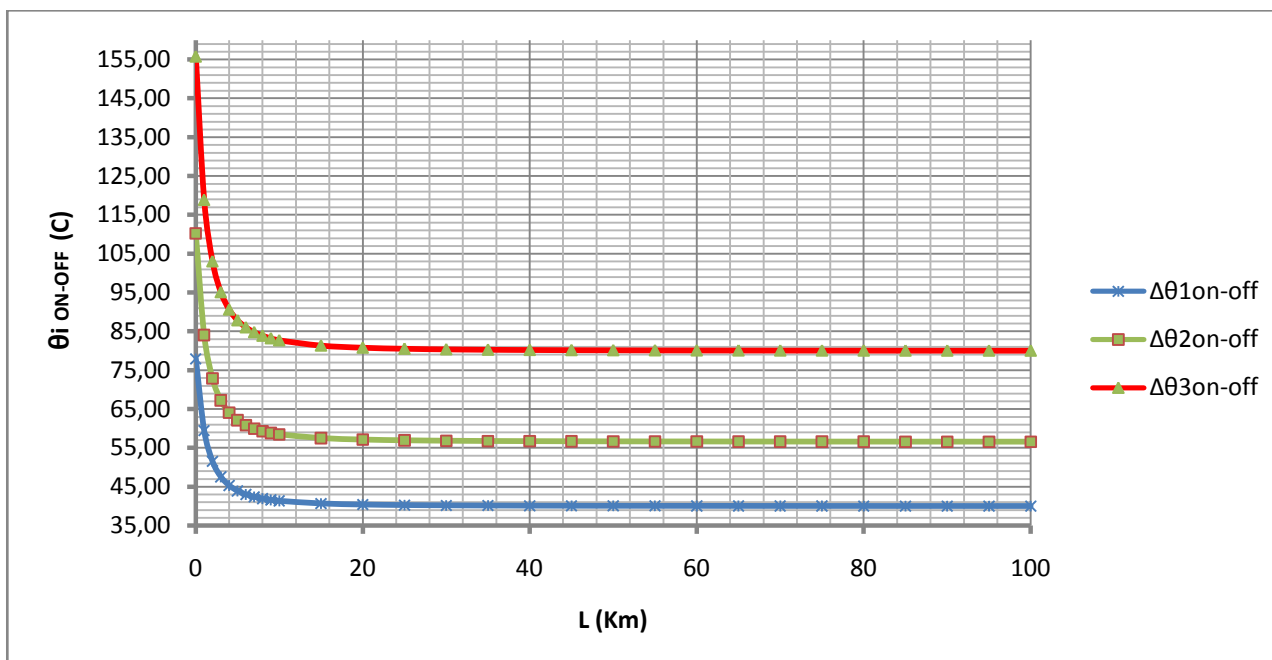
Πίνακας 6.2.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ, που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) $\theta_{iON-OFF}$: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 6.2.2 ($\theta_{iON-OFF} = f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=0,4s$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	1,80	8329,59	2915,36	8329,59	13,33	28,94	28,98	44,59
1	0,22	0,33	0,027	0,90	2,52	5964,19	2087,47	5964,19	6,84	14,84	14,86	22,86
2	0,43	0,67	0,027	0,90	3,27	4592,10	1607,23	4592,10	4,05	8,80	8,81	13,55
3	0,65	1,00	0,027	0,90	4,03	3717,98	1301,29	3717,98	2,66	5,77	5,77	8,88
4	0,86	1,34	0,027	0,90	4,81	3117,85	1091,25	3117,85	1,87	4,05	4,06	6,25
5	1,08	1,67	0,027	0,90	5,59	2682,11	938,74	2682,11	1,38	3,00	3,01	4,62
6	1,29	2,00	0,027	0,90	6,38	2352,07	823,22	2352,07	1,06	2,31	2,31	3,56
7	1,51	2,34	0,027	0,90	7,16	2093,73	732,80	2093,73	0,84	1,83	1,83	2,82
8	1,72	2,67	0,027	0,90	7,95	1886,16	660,16	1886,16	0,68	1,48	1,49	2,29
9	1,94	3,01	0,027	0,90	8,74	1715,83	600,54	1715,83	0,57	1,23	1,23	1,89
10	2,15	3,34	0,027	0,90	9,53	1573,57	550,75	1573,57	0,48	1,03	1,03	1,59
15	3,23	5,01	0,027	0,90	13,49	1111,83	389,14	1111,83	0,24	0,52	0,52	0,79
20	4,30	6,68	0,027	0,90	17,46	859,30	300,75	859,30	0,14	0,31	0,31	0,47
30	6,45	10,02	0,027	0,90	25,39	590,72	206,75	590,72	0,07	0,15	0,15	0,22
40	8,60	13,36	0,027	0,90	33,33	450,00	157,50	450,00	0,04	0,08	0,08	0,13
60	12,90	20,04	0,027	0,90	49,22	304,77	106,67	304,77	0,02	0,04	0,04	0,06
80	17,20	26,72	0,027	0,90	65,10	230,40	80,64	230,40	0,01	0,02	0,02	0,03
100	21,50	33,40	0,027	0,90	80,99	185,20	64,82	185,20	0,01	0,01	0,01	0,02

Πίνακας 6.3.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

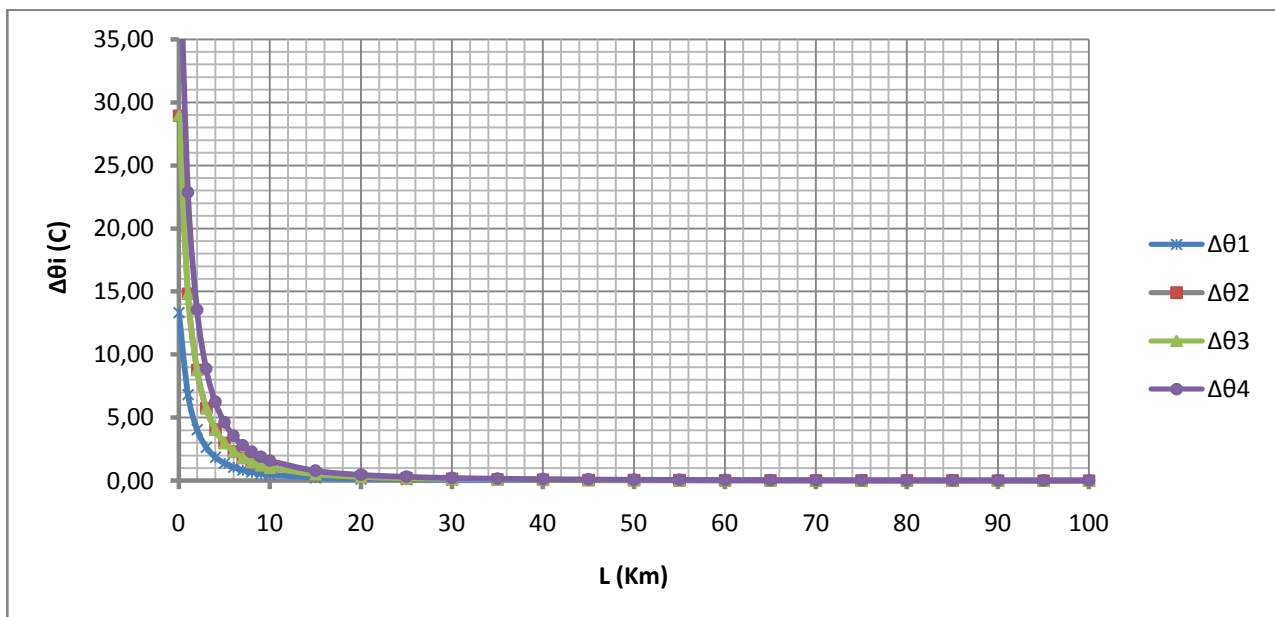
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}= I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T= 0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d= I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d= I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d= I_{d2}$



Διάγραμμα 6.3.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	44,59	84,59	119,63	169,18
1	22,86	62,86	88,90	125,72
2	13,55	53,55	75,73	107,10
3	8,88	48,88	69,13	97,77
4	6,25	46,25	65,40	92,49
5	4,62	44,62	63,11	89,25
6	3,56	43,56	61,60	87,11
7	2,82	42,82	60,55	85,63
8	2,29	42,29	59,80	84,57
9	1,89	41,89	59,24	83,78
10	1,59	41,59	58,82	83,18
15	0,79	40,79	57,69	81,59
20	0,47	40,47	57,24	80,95
30	0,22	40,22	56,89	80,45
40	0,13	40,13	56,75	80,26
60	0,06	40,06	56,65	80,12
80	0,03	40,03	56,62	80,07
100	0,02	40,02	56,60	80,04

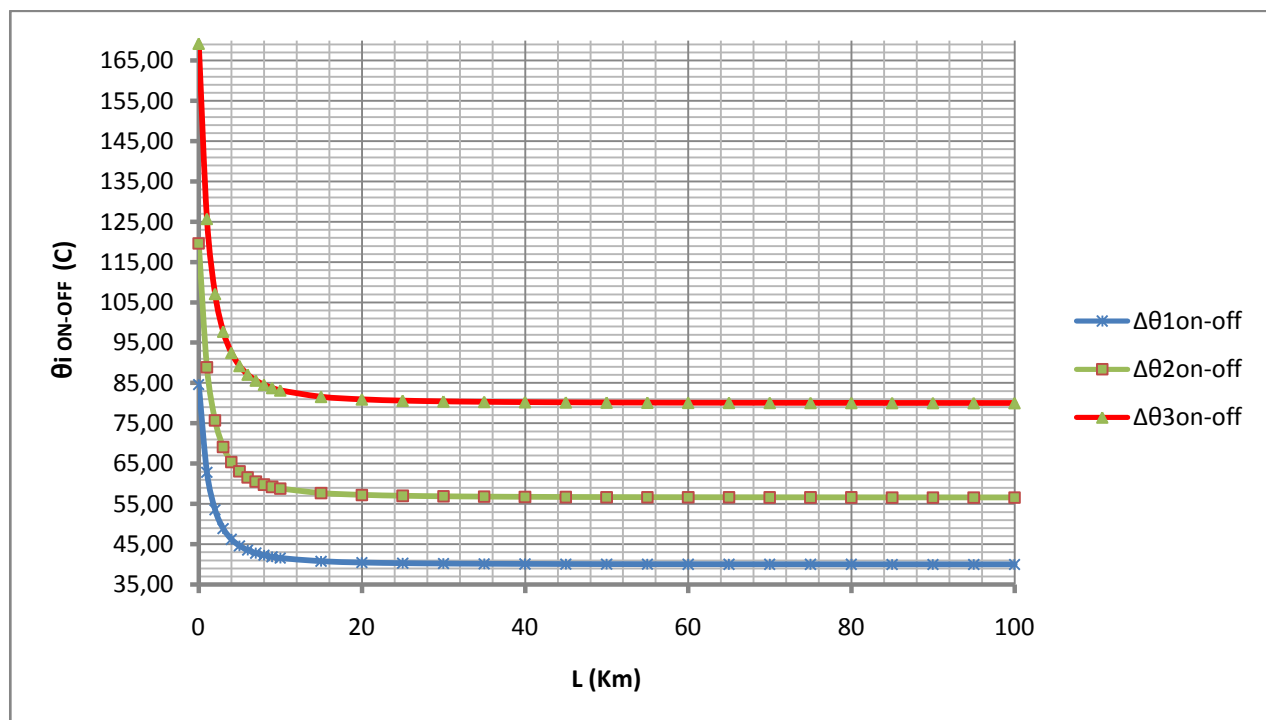
Πίνακας 6.3.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 6.3.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

➤ **Χρόνος μέχρι τη διακοπή του βραχυκυκλώματος: $t=1s$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	Z(Ω)	$I_{sw}(A)$	$I_{d1}(A)$	I_{d2}	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$	$\Delta\theta_4$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	1,80	8329,59	2915,36	8329,59	16,61	32,22	55,74	71,34
1	0,22	0,33	0,027	0,90	2,52	5964,19	2087,47	5964,19	8,52	16,52	28,58	36,58
2	0,43	0,67	0,027	0,90	3,27	4592,10	1607,23	4592,10	5,05	9,79	16,94	21,68
3	0,65	1,00	0,027	0,90	4,03	3717,98	1301,29	3717,98	3,31	6,42	11,10	14,21
4	0,86	1,34	0,027	0,90	4,81	3117,85	1091,25	3117,85	2,33	4,51	7,81	10,00
5	1,08	1,67	0,027	0,90	5,59	2682,11	938,74	2682,11	1,72	3,34	5,78	7,40
6	1,29	2,00	0,027	0,90	6,38	2352,07	823,22	2352,07	1,32	2,57	4,44	5,69
7	1,51	2,34	0,027	0,90	7,16	2093,73	732,80	2093,73	1,05	2,04	3,52	4,51
8	1,72	2,67	0,027	0,90	7,95	1886,16	660,16	1886,16	0,85	1,65	2,86	3,66
9	1,94	3,01	0,027	0,90	8,74	1715,83	600,54	1715,83	0,70	1,37	2,37	3,03
10	2,15	3,34	0,027	0,90	9,53	1573,57	550,75	1573,57	0,59	1,15	1,99	2,55
15	3,23	5,01	0,027	0,90	13,49	1111,83	389,14	1111,83	0,30	0,57	0,99	1,27
20	4,30	6,68	0,027	0,90	17,46	859,30	300,75	859,30	0,18	0,34	0,59	0,76
30	6,45	10,02	0,027	0,90	25,39	590,72	206,75	590,72	0,08	0,16	0,28	0,36
40	8,60	13,36	0,027	0,90	33,33	450,00	157,50	450,00	0,05	0,09	0,16	0,21
60	12,90	20,04	0,027	0,90	49,22	304,77	106,67	304,77	0,02	0,04	0,07	0,10
80	17,20	26,72	0,027	0,90	65,10	230,40	80,64	230,40	0,01	0,02	0,04	0,05
100	21,50	33,40	0,027	0,90	80,99	185,20	64,82	185,20	0,01	0,02	0,03	0,04

Πίνακας 6.4.1

Υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

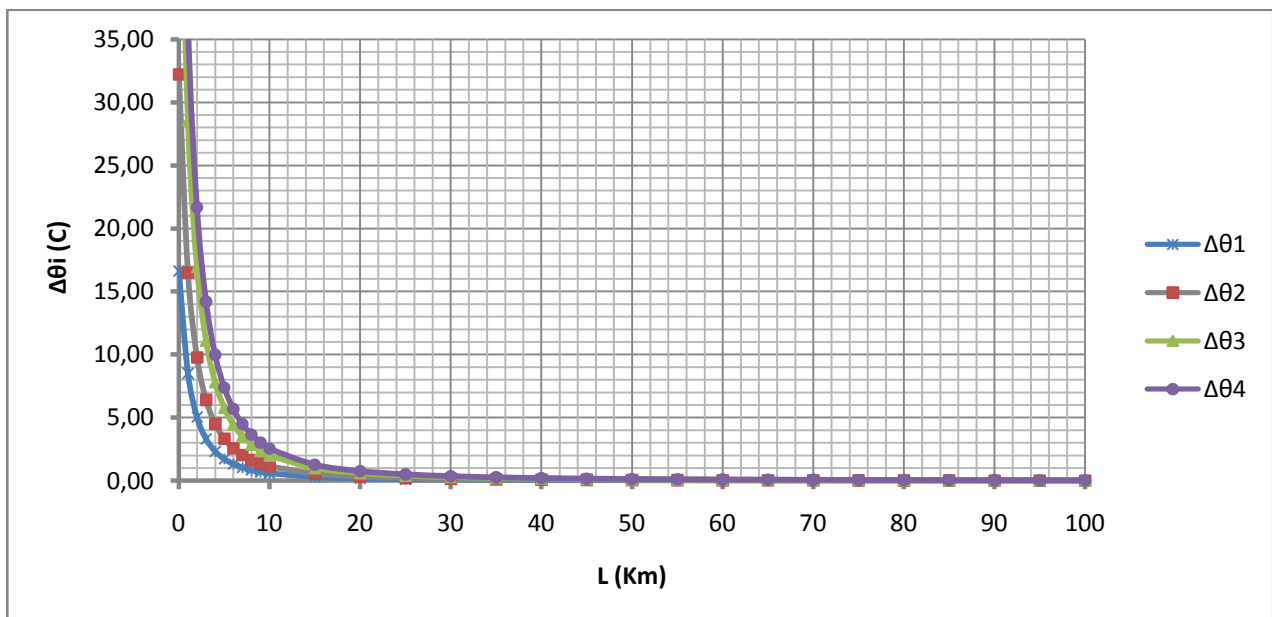
(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) I_{sw} : Το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχ σε A

(δ) I_{d1}, I_{d2} : διαρκή ρεύματα βραχ. με $I_{d1}=0,35I_{sw}$ & $I_{d2}=I_{sw}$

(ε) $\Delta\theta_i$: Οι υπερθερμάνσεις κατά μήκος του αγωγού όπως αυτές διαφοροποιούνται με τη μεταβολή του χρονικού συντελεστή ($T=0,25sec$ ή $0,6sec$) και της τιμής ρεύματος ($I_d=I_{d1}$ ή I_{d2}). Συγκεκριμένα:

Για $\Delta\theta_1 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_2 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d1}$, $\Delta\theta_3 \rightarrow T=0,25s, I_d=I_{d2}$, $\Delta\theta_4 \rightarrow T=0,6s, I_d=I_{d2}$



Διάγραμμα 6.4.1 ($\Delta\theta_i=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

L	$\Delta\theta_4$	$\theta_{1ON-OFF}$	$\theta_{2ON-OFF}$	$\theta_{3ON-OFF}$
0	71,34	111,34	157,46	222,68
1	36,58	76,58	108,30	153,15
2	21,68	61,68	87,23	123,37
3	14,21	54,21	76,67	108,43
4	10,00	50,00	70,70	99,99
5	7,40	47,40	67,03	94,79
6	5,69	45,69	64,61	91,38
7	4,51	44,51	62,94	89,02
8	3,66	43,66	61,74	87,32
9	3,03	43,03	60,85	86,05
10	2,55	42,55	60,17	85,09
15	1,27	41,27	58,37	82,54
20	0,76	40,76	57,64	81,52
30	0,36	40,36	57,08	80,72
40	0,21	40,21	56,86	80,42
60	0,10	40,10	56,70	80,19
80	0,05	40,05	56,65	80,11
100	0,04	40,04	56,62	80,07

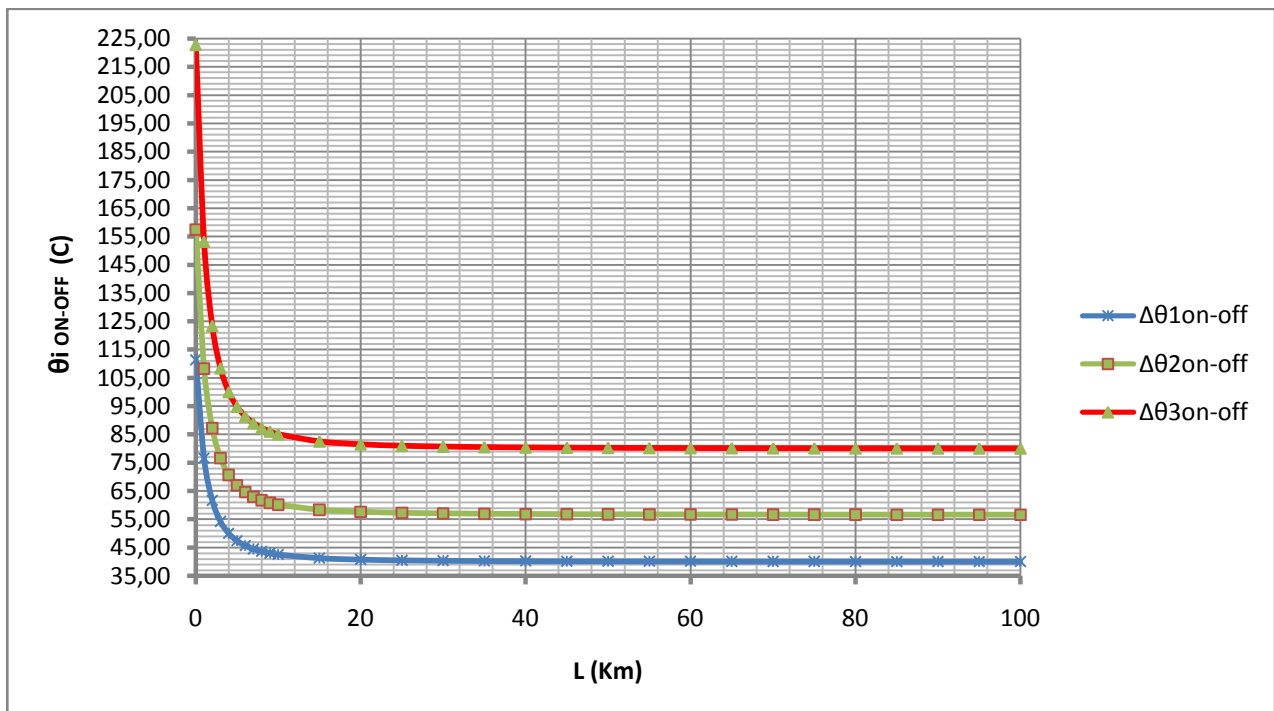
Πίνακας 6.4.2

Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm² σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ όπου:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Δθ: Η υψηλότερη εκ των υπερθερμάνσεων Δθ_i που αναπτύσσονται κατά την εκδήλωση διφασικού βραχυκυκλώματος

(γ) θ_{iON-OFF}: η θερμοκρασία κατά μήκος L του αγωγού κατά το i άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ



Διάγραμμα 6.4.2 ($\theta_{iON-OFF}=f(L)$)

Για ακριβέστερη αναπαράσταση το διάγραμμα σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας περισσότερα δεδομένα από αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα, στον οποίο αναφέρονται απλώς οι σημαντικότερες εκ των τιμών που υπολογίστηκαν

3.5 Παρατηρήσεις και σχόλια Μέρους Α

✓ Παρατηρήσεις

• Ρεύματα

Όπως έγινε ήδη αντιληπτό από τη δομή της προηγούμενης παραγράφου, οι υπολογισμοί χωρίστηκαν σε 6 διαφορετικές περιπτώσεις ανάλογα με τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών του δικτύου (ισχύς Μ/Σ, Ονομαστική τάση δικτύου). Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης που μας απασχόλησαν κατά τους υπολογισμούς του Μέρους Α, ήταν το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sw}) και το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_d). Όσον αφορά το I_d , αρκεστήκαμε στο να υπολογίσουμε τις δύο ακραίες τιμές τους ($I_{d1}=0,35I_{sw}$ και $I_{d2}=I_{sw}$). Οι τιμές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης εμφάνισαν διαφοροποιήσεις για κάθε μια από τις έξι περιπτώσεις δικτύων που εξετάστηκαν. Πρακτικά, η αντίσταση αλλά και η επαγωγική αντίδραση του εκάστοτε Μ/Σ ($R_{M/Σ}$, $X_{M/Σ}$) είναι υπεύθυνες για τις διαφοροποιημένες τιμές των ρευμάτων. Πρώτον, γιατί η αντίσταση του αγωγού ACSR95mm² είναι η ίδια για το ίδιο μήκος αγωγού, ανεξάρτητα από το δίκτυο και δεύτερον, γιατί η σχέση υπολογισμού του I_{sw} (4.2.2-2) επηρεάζεται περισσότερο από τις μεταβολές των $R_{M/Σ}$, $X_{M/Σ}$ συγκριτικά με την ονομαστική τάση του δικτύου (U_N).

Όπως γίνεται σαφές και από τη σχέση υπολογισμού της σύνθετης αντίστασης (Α-3.3), μικρότερες τιμές των $R_{M/Σ}$ και $X_{M/Σ}$ οδηγούν σε μικρότερη σύνθετη αντίσταση και τελικά σε μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Με βάση αυτή την παρατήρηση τα μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης παρατηρήθηκαν κατά πρώτο λόγο στην Περίπτωση 6 (όπου $R_{M/Σ} = 0,027$ και $X_{M/Σ} = 0,90$). Ακολούθως στην Περίπτωση 3 και στην Περίπτωση 5. Εξαίρεση αποτελούν η Περίπτωση 4 και η Περίπτωση 2. Εκεί ουσιαστικά η διαφορά στα $R_{M/Σ}$ και $X_{M/Σ}$ είναι τόσο μικρή, που παρότι η Περίπτωση 4 έχει ελαφρώς μικρότερες τιμές (πράγμα που θα περιμέναμε να μας οδηγήσει σε μεγαλύτερα ρεύματα) η διαφορά των 5000V στην ονομαστική τάση δικτύου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Ως αποτέλεσμα αυτού, η Περίπτωση 2 εμφανίζει μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης. Τέλος τα μικρότερα ρεύματα εμφανίζονται στην Περίπτωση 1.

Όλες οι ανωτέρω παρατηρήσεις αναφέρονται στα πρώτα χιλιόμετρα της γραμμής όπου και εμφανίζονται τα μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης (τα οποία και μας απασχολούν μιας και αυτά προκαλούν τις μεγάλες υπερθερμάνσεις). Σε μεγάλη απόσταση, ο ρόλος των αντιστάσεων και επαγωγικών αντιδράσεων του μετασχηματιστή υποβαθμίζεται, καθώς αυξάνουν σημαντικά τα αντίστοιχα μεγέθη της γραμμής (όμοια σε όλες τις περιπτώσεις). Υπό αυτές τις συνθήκες σημαντικό ρόλο παίζει πλέον η ονομαστική τάση δικτύου (U_N). Έτσι, τα ρεύματα σε περίπτωση σφάλματος πολλά χιλιόμετρα από το μετασχηματιστή είναι μεγαλύτερα στις 3 πρώτες περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγαλύτερη τάση δικτύου. Αυτό το συμπέρασμα, είναι ήσσονος σημασίας καθώς πρόκειται για τιμές ρευμάτων που δεν προκαλούν σημαντικές υπερθερμάνσεις.

- **Υπερθερμάνσεις**

Με τον όρο υπερθερμάνσεις, εννοούμε την αύξηση (μεταβολή) της θερμοκρασίας στον αγωγό ACSR95mm² κατά την εκδήλωση του σφάλματος και μέχρι την πρώτη αποκοπή από τον ΔΑΕ. Στους πίνακες μας, συμβολίσαμε τις υπερθερμάνσεις με $\Delta\theta_i$ και ορίσαμε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις υπερθερμάνσεων ($\Delta\theta_1$ έως $\Delta\theta_4$) που υπολογίστηκαν από τις σχέσεις (A.3.4 έως A.3.7). Σε κάθε περίπτωση, παρατηρούμε ότι η υπερθέρμανση $\Delta\theta_4$ έχει τη μεγαλύτερη τιμή. Αυτό όμως ήταν ως ένα βαθμό αναμενόμενο, αφού αυτή η υπερθέρμανση ανταποκρίνεται στις δυσμενέστερες τιμές τόσο για το χρονικό συντελεστή T , ο οποίος παίρνει τη μέγιστη τιμή του (0,6sec), όσο και για το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης που έχει τιμή $I_d=I_{sw}$. Το συμπέρασμα μας ισχύει σε κάθε χρόνο διακοπής (t) και για κάθε μια από τις 6 περιπτώσεις δικτύων. Εποπτικά μπορούμε να το παρατηρήσουμε και στα διαγράμματα $\Delta\theta_i=f(L)$ που παρουσιάζονται στην ενότητα των υπολογισμών.

Παρά το γεγονός ότι το παραπάνω αποτέλεσμα ήταν εξ' αρχής αναμενόμενο δεν θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε μόνο τις υπερθερμάνσεις $\Delta\theta_4$ παραλείποντας τα υπόλοιπα $\Delta\theta$. Αυτό γιατί αν το $\Delta\theta_4$ οδηγούσε πολύ συχνά σε θερμοκρασίες πάνω στον αγωγό άνω των 180°C (όριο θραύσης για τους αγωγούς αλουμινίου), τότε οφείλαμε να μελετήσουμε κατά πόσο το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται και για τα υπόλοιπα $\Delta\theta_i$.

Προφανώς στην περίπτωση κατά την οποία η μεγαλύτερη υπερθέρμανση ($\Delta\theta_4$) δεν οδηγεί σε θερμοκρασίες άνω των 180 °C κατά το τρίτο άνοιγμα του ΔΑΕ αυτομάτως είμαστε εξασφαλισμένοι και για τις υπόλοιπες υπερθερμάνσεις.

- **Θερμοκρασία κατά μήκος του αγωγού**

Εκτός από τις υπερθερμάνσεις, που μας δίνουν πληροφορίες για τη μεταβολή της θερμοκρασίας, αυτό που πραγματικά μας απασχολεί ως μηχανικούς είναι η μέγιστη θερμοκρασία (σε °C) που μπορεί να αναπτυχθεί πάνω σε έναν αγωγό ACSR95mm² κατά την εκδήλωση ενός διφασικού βραχυκυκλώματος. Η μέγιστη υπερθέρμανση κατά τη διέλευση του ρεύματος βραχυκύκλωσης, αποτέλεσε το εργαλείο για να υπολογίσουμε τις θερμοκρασίες αυτές. Πρέπει να επισημανθεί ότι η λειτουργία του ΔΑΕ δεν είναι σύμμαχος μας στο θέμα των θερμοκρασιών. Όπως φαίνεται και στους αντίστοιχους πίνακες θερμοκρασιών (θ_{ION_OFF}) σε κάθε άνοιγμα-κλείσιμο του ΔΑΕ η θερμοκρασία αυξάνεται περεταίρω. Έτσι, πιθανά προβλήματα εφόσον υπάρχουν τέτοια, θα προκύψουν κατά το τρίτο (και τελευταίο) άνοιγμα τους ΔΑΕ, δηλαδή στη $\theta_{3ON-OFF}$.

Αφού υπολογίστηκαν οι υπερθερμάνσεις και τελικά καταλήξαμε ότι η $\Delta\theta_4$ θα έχει σε κάθε περίπτωση τη μεγαλύτερη τιμή, εν συνεχεία υπολογίσαμε τη μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αναπτυχθεί πάνω στον αγωγό κατά τη λειτουργία του ΔΑΕ από τις σχέσεις (A-3.8 έως A-3.10). Το ότι εξετάζουμε τη δυσμενέστερη θερμοκρασιακά των περιπτώσεων εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι ως υπερθέρμανση εκλάβαμε τη μεγαλύτερη δυνατή, δηλαδή τη $\Delta\theta_4$. Όπως φυσικά ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες πάνω στον αγωγό εμφανίζονται κατά το τρίτο άνοιγμα του ΔΑΕ αφού τότε ο αγωγός εκτίθεται για τρίτη φορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Από τους πίνακες των 6 περιπτώσεων παρατηρούμε πως η μεγαλύτερη θερμοκρασία που καταγράφηκε ήταν στο πρώτο χιλιόμετρο του αγωγού ACSR95mm² στην 6^η Περίπτωση και για χρόνο διακοπής το 1s, δηλαδή στην περίπτωση όπου εμφανίστηκαν και τα μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης.

✓ Σχόλια

Βασικό στόχος του μέρους αυτού ήταν να καταλήξουμε στο κατά πόσο ένα διφασικό βραχυκύκλωμα μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο δίκτυο. Ύστερα από τους αναλυτικούς υπολογισμούς και τις παρατηρήσεις που κάναμε επί αυτών, μπορούμε να συμπεράνουμε πως για αγωγούς ACSR95mm² δεν υπάρχει ουσιαστικός κίνδυνος από υπερθέρμανση κατά το βραχυκύκλωμα για καμία εκ των έξι περιπτώσεων δικτύων.

Πιο συγκεκριμένα, για τις 5 πρώτες περιπτώσεις είναι απόλυτα σαφές πως η μεγαλύτερη θερμοκρασία που μπορεί να εμφανιστεί πάνω στον αγωγό είναι $\theta=115,67^{\circ}\text{C}$ (5^η περίπτωση για $t=1\text{s}$). Η θερμοκρασία αυτή είναι σημαντικά μικρότερη από το όριο θραύσης των αγωγών ACSR.

Σε ότι αφορά την 6^η Περίπτωση, θεωρητικά φαίνεται να εμφανίζεται θερμοκρασία ανώτερη των 180°C στο πρώτο χιλιόμετρο της γραμμής, όταν ο χρόνος διακοπής είναι $t=1\text{s}$. Τότε η θερμοκρασία φτάνει τους 222°C . Όμως ο κίνδυνος που φαίνεται να υπάρχει σε αυτή την περίπτωση, στην πραγματικότητα είναι καθαρά θεωρητικός. Στην πράξη είναι αδύνατο ο ΔΑΕ να έχει χρόνο πρώτης αποκοπής 1s (ο χρόνος αυτός είναι ιδιαίτερα μεγάλος). Οι διακόπτες που συνήθως χρησιμοποιούνται, ακόμα και αν δεν είναι οι πλέον σύγχρονοι, συνήθως είναι σε θέση να επιτύχουν χρόνο πρώτης αποκοπής κάτω από τα 0,4sec. Παρ' όλα αυτά ακόμα και για χρόνους (t) της τάξης του 1 δευτερολέπτου παρατηρούμε πως μόνο για μια περίπτωση δικτύου παρουσιάστηκε υπέρβαση του θερμοκρασιακού ορίου των 180°C . Αυτό είναι ενδεικτικό του υψηλού επιπέδου ασφάλειας που μας προσδίδει ο αγωγός ACSR95mm² έναντι των διφασικών βραχυκυκλωμάτων. Αξιοσημείωτο είναι πως η μέγιστη θερμοκρασία για χρόνο διακοπής $t=0,4$ (που ανταποκρίνεται περισσότερο στους πραγματικούς χρόνους διακοπής) δεν ξεπερνά τους $169,18^{\circ}\text{C}$ (τιμή μικρότερη των 180°C).

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως για αγωγό ACSR95mm² δε συντρέχει κανένας απολύτως κίνδυνος σε περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος και πως οι ΔΑΕ αποτελούν μέσα προστασίας τα οποία μας παρέχουν πλήρη κάλυψη έναντι αυτού του σφάλματος.

4.1 Εισαγωγή

Στο μέρος αυτό, θα μελετήσουμε την περίπτωση κατά την οποία δύο αγωγοί ACSR 95mm² δικτύου μέσης τάσης, αποκόπτονται και πέφτουν στο έδαφος. Εκεί όπου θα εστιάσουμε κατά κύριο λόγο, είναι στα ρεύματα διέλευσης κατά μήκος μιας αντίστασης διάβασης R_{δ} , την οποία θα συναντήσει το ρεύμα κατά τη διέλευση του από το έδαφος. Απώτερος στόχος μας, είναι να καταλήξουμε στο κατά πόσον αυτά τα ρεύματα είναι πιθανό να προξενήσουν πυρκαγιά και γενικά να σχολιάσουμε για ποιες τιμές αντιστάσεων διάβασης (R_{δ}) υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος. Την παράγραφο των υπολογισμών, ακολουθεί μελέτη για την πιθανή εκδήλωση πυρκαγιάς εξαιτίας ενός τέτοιου σφάλματος. Τέλος, ακολουθεί μια σειρά προτάσεων που στόχο έχουν να αυξήσουν την ασφάλεια των γραμμών έναντι σφαλμάτων αυτού του είδους.

4.2 Περιπτώσεις Δικτύων

Οι διάφορες περιπτώσεις δικτύων που θα λάβουμε υπόψη μας σε αυτούς τους υπολογισμούς είναι όμοιες με αυτές του *Μέρους Α*. Για ευκολία παρατίθενται συνοπτικά και σε αυτή την ενότητα. Γενικά το δίκτυο μέσης τάσης παρουσιάζει διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή. Οι διαφοροποιήσεις αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την **Ονομαστική Τάση** του δικτύου MT (U_N) και την εκάστοτε **Ονομαστική Ισχύ του μετασχηματιστή** μέσης τάσης (P_N). Θέλοντας να καταλήξουμε σε ολοκληρωμένα συμπεράσματα οφείλουμε να λάβουμε υπόψη μας όλες τις πιθανές περιπτώσεις.

Οι συνηθέστερα εμφανιζόμενοι συνδυασμοί U_N, P_N είναι αυτοί που παρατίθενται στους *Πίνακες Β.1 και Β.2* που ακολουθούν. Εκτός των ονομαστικών τιμών τάσης και ισχύος οι πίνακες αυτοί περιλαμβάνουν και τις αντίστοιχες τιμές αντίστασης του μετασχηματιστή ($R_{M/\Sigma}$) και επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή ($X_{M/\Sigma}$).

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των $R_{M/\Sigma}$ και $X_{M/\Sigma}$ είναι οι εξής:

$$R_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 u_r}{P_N} \quad \text{και} \quad X_{M/\Sigma} = \frac{U_N^2 \sqrt{(u_k^2 - u_r^2)}}{P_N}$$

Για τους μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στον ελληνικό χώρο, τυπικές τιμές για την τάση βραχυκύκλωσης είναι: $u_k=20\%$ και για την ωμική της συνιστώσα, $u_r=0,6\%$.*

Πίνακας Β.1

P_n (MVA)	U_n (KV)	$R_{M/\Sigma}$	$X_{M/\Sigma}$
15	20	0,160	5,33
25	20	0,096	3,20
50	20	0,048	1,60

Τιμές της αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή (150KV/20KV) για διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος (P_N) σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου $U_N=20$ KV

* Σημειώνεται ότι αναλυτική περιγραφή των σχέσεων καθώς και των μεγεθών που αυτές περιλαμβάνουν υπάρχει στην εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής.

Πίνακας Β.2

P_n (MVA)	U_n (KV)	$R_{M/\Sigma}$	$X_{M/\Sigma}$
15	15	0,090	3,00
25	15	0,054	1,80
50	15	0,027	0,90

Τιμές της αντίστασης και της επαγωγικής αντίδρασης του μετασχηματιστή μέσης τάσης (150KV/15KV) για διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος (P_N) σε δίκτυο ονομαστικής τάσης εξόδου $U_N = 15$ KV

4.3 Βασικές σχέσεις & Βασικά Μεγέθη

✓ Αντιστάσεις και Επαγωγικές Αντιδράσεις

Τα ήδη των αντιστάσεων που μας απασχολούν στο *Μέρος Β* είναι τα δύο είδη που συναντήσαμε και στο *Μέρος Α*, δηλαδή αντιστάσεις της γραμμής και του μετασχηματιστή καθώς και οι αντίστοιχες επαγωγές ($R_{γρ}$, $X_{γρ}$, $R_{M/\Sigma}$, $X_{M/\Sigma}$). Επιπλέον στην ενότητα αυτή μας απασχολεί και μια επιπλέον αντίσταση, η αντίσταση διάβασης R_δ . Πιο συγκεκριμένα τα μεγέθη αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Αντίσταση Γραμμής ($R_{γρ}$):** Πρόκειται για την ωμική αντίσταση που οφείλεται στον αγωγό ACSR95mm². Είναι εμφανές πως η τιμή αυτής της αντίστασης εξαρτάται άμεσα από το **μήκος της γραμμής** μέχρι το σημείο που συμβαίνει στο σφάλμα (**L**). Μια αντιπροσωπευτική τιμή που χρησιμοποιήσαμε εμείς για τους αγωγούς ACSR95mm² είναι $R_{γρ/km} = 0,215 \frac{\Omega}{Km}$.

Τελικά
$$R_{γρ} = (R_{γρ/km} \cdot L) \Omega \quad (\text{B-3.1})$$

- **Επαγωγική αντίδραση Γραμμής ($X_{γρ}$):** Πρόκειται για το επαγωγικό μέρος της σύνθετης αντίστασης που οφείλεται στον αγωγό ACSR95mm². Η τιμή της εξαρτάται από το μήκος του αγωγού μέχρι το σημείο εκδήλωσης του σφάλματος. Και σε αυτή την περίπτωση έγινε χρήση μια αντιπροσωπευτικής τιμής σε $\frac{\Omega}{Km}$, $X_{γρ/km} = 0,334 \frac{\Omega}{Km}$

Τελικά
$$X_{γρ} = (X_{γρ/km} \cdot L) \Omega \quad (\text{B-3.2})$$

- **Ωμική Αντίσταση Μετασχηματιστή ($R_{M/\Sigma}$):** Είναι τιμή που εξαρτάται από τον μετασχηματιστή που χρησιμοποιείται για τον υποβιβασμό της υψηλής τάσης σε μέση. Ανάλογα με την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή (P_N) αλλά και την ονομαστική τάση του δικτύου (U_N) οι τιμές της ωμικής αντίστασης του M/Σ υπολογίστηκαν στους *Πίνακες Β.1 & Β.2*.

- **Επαγωγική Αντίδραση Μετασχηματιστή ($X_{M/\Sigma}$):** Και εδώ οι τιμές ποικίλλουν και έχουν ήδη υπολογιστεί στους Πίνακες B.1 & B.2.
- **Αντίσταση διάβασης (R_δ):** Στο Μέρος B υπάρχει διαρροή ρεύματος δια μέσω του εδάφους εξαιτίας αποκοπής και πτώσης δύο αγωγών στο έδαφος χωρίς αυτοί να έρχονται σε άμεση επαφή. Η αντίσταση από την οποία διέρχεται το ρεύμα κατά τη διάβαση του από το έδαφος αποτελεί τη **αντίσταση διάβασης (R_δ)**. Η αντίσταση αυτή επηρεάζεται από το είδος εδάφους (πετρώδες, βαλτώδες, φυτική γη κλπ) καθώς επίσης και από πιθανές πρόσθετες επικαθήσεις στο σημείο εκείνο (πχ. βλάστηση, ξύλα, χαρτιά κλπ). Επειδή ο ακριβής προσδιορισμός της αντίστασης αυτής είναι αδύνατος, επιλέξαμε ορισμένες αντιπροσωπευτικές τιμές για το R_δ . Οι τιμές αυτές ξεκινούν από λίγες δεκάδες Ω και φτάνουν μέχρι τα 3000 Ω . Έτσι μπορούμε να έχουμε σαφή εικόνα των ρευμάτων διάβασης αλλά και των πιθανών επιπτώσεων που αυτά μπορούν να προκαλέσουν.
- **Σύνθετη Αντίσταση (Z):** Είναι η συνισταμένη όλων των παραπάνω συνιστωσών. Συνδυάζει επαγωγικά και ωμικά μέρη δίνοντας μας τη συνολική αντίσταση σε Ω που θα καθορίσει τελικά και το ρεύμα διάβασης (I_δ). Η Σχέση που μας δίνει τη Z είναι:

$$Z = \sqrt{(2R_{\gamma\rho} + 2R_{M\Sigma} + R_\delta)^2 + (2X_{\gamma\rho} + 2X_{M\Sigma})^2} \quad (B-3.3)$$

✓ Ρεύμα Διάβασης (I_δ)

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

$$I_\delta \leq \frac{U_N}{\sqrt{(2R_{\gamma\rho} + 2R_{M\Sigma} + R_\delta)^2 + (2X_{\gamma\rho} + 2X_{M\Sigma})^2}} \quad (B-3.4)$$

Το σύμβολο \leq υποδηλώνει πως η τιμή που υπολογίζεται με την παραπάνω σχέση είναι μια μέγιστη τιμή που θα μπορούσε να πάρει το I_δ . Πρακτικά η πραγματική του τιμή είναι μικρότερη μιας και η συνολική αντίσταση ενός ολόκληρου δικτύου είναι προφανώς μεγαλύτερη από αυτή της γραμμής και του Μ/Σ που εμείς λαμβάνουμε υπόψη.

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

Ο υπολογισμός του ρεύματος διάβασης (I_δ) είναι μείζονος σημασίας για το Μέρος B της εργασίας. Αυτό γιατί είναι το ρεύμα που θα καθορίσει την αναπτυσσόμενη ισχύ (P_δ) και εν τέλει την θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί στο σημείο του σφάλματος και το κατά πόσο το σφάλμα αυτό μπορεί να προκαλέσει εκδήλωση πυρκαγιάς.

✓ Αναπτυσσόμενη Ισχύς (P_δ) στην Αντίσταση διάβασης

Το ρεύμα I_δ , διερχόμενο από την αντίσταση διάβασης (R_δ) έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση ισχύος P_δ . Η ισχύς αυτή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_\delta = I_\delta^2 \cdot R_\delta \quad (\text{B-3.5})$$

4.4 Κυρίως Μέρος Υπολογισμών

Το κομμάτι των κυρίως υπολογισμών, περιλαμβάνει την μελέτη και τους αναλυτικούς υπολογισμούς για 6 διαφορετικές περιπτώσεις δικτύων όπως αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες B.1 και B.2 της παρούσας ενότητας. Με άλλα λόγια, κάθε ζεύγος τιμών ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N) και ονομαστικής ισχύος μετασχηματιστή (P_N), αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση για την οποία εφαρμόζονται οι σχέσεις που παρουσιάστηκαν στη Ενότητα 4.3. Υπολογίζουμε κατ' αυτόν τον τρόπο τις σύνθετες αντιστάσεις (Z), τα ρεύματα διέλευσης (I_δ) καθώς επίσης και την ισχύ (P_δ) κατά μήκος ενός αγωγού ACSR 95mm².

Σε κάθε μια από τις έξι περιπτώσεις, γίνονται υπολογισμοί για επτά διαφορετικές τιμές αντίστασης διάβασης R_δ . Οι έξι από αυτές τις τιμές είναι οι ίδιες και σε όλες τις περιπτώσεις δικτύων. Αυτές είναι **$R_\delta = 10\Omega, 50\Omega, 100\Omega, 1000\Omega, 2000\Omega$ και 3000Ω** . Η έβδομη τιμή του R_δ επιλέχθηκε ώστε να οδηγεί σε ρεύματα I_δ κοντά στο όριο των 50A. Έτσι για τις τρεις πρώτες περιπτώσεις επιλέχθηκε **$R_\delta = 350\Omega$** ενώ για τις τρεις επόμενες επιλέχθηκε η τιμή **$R_\delta = 300\Omega$** .

Η τιμή των 50A (ρεύμα διακοπής, I_α), θεωρείται το όριο πάνω από το οποίο είναι δυνατή η ενεργοποίηση του ΔΑΕ. Με τον τρόπο αυτό, γνωρίζουμε πως για τιμές R_δ μεγαλύτερες από τις δύο προαναφερθείσες, ο ΔΑΕ δε μας καλύπτει (καθώς τα ρεύματα που θα διέλθουν μέσω του εδάφους δεν ξεπερνούν την τιμή I_α) και επιβάλλεται η λήψη επιπρόσθετων μέσων προστασίας. Κάτι τέτοιο φυσικά είναι μάλλον αναπόφευκτο στη Μέση Τάση, καθώς ακόμα και πολύ μεγάλες αντιστάσεις (πχ 3000Ω), δίνουν ρεύματα μερικών δεκάδων Amperes τα οποία όμως αν μείνουν ανεξέλεγκτα για μεγάλο χρόνο, είναι σίγουρο πως θα προκαλέσουν πυρκαγιά.

Για κάθε τιμή αντίστασης διάβασης (R_δ), παρουσιάζεται ο αντίστοιχος πίνακας με τα μεγέθη Z , I_δ , P_δ , W_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm². Αρχικά οι σχέσεις (B-3.1) και (B-3.2) μας οδηγούν στη εύρεση των $R_{\gamma\rho}$ και $X_{\gamma\rho}$. Η σύνθετη αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση (B-3.3). Τα απαιτούμενα μεγέθη για να συμβεί αυτό, είναι πλέον γνωστά αφού και τα μεγέθη του μετασχηματιστή είναι ήδη υπολογισμένα στους Πίνακες B.1, B.2. Εν συνεχεία, γίνεται ο υπολογισμός του I_δ για την ονομαστική τάση δικτύου της εκάστοτε περίπτωσης. Τέλος, με τη βοήθεια της σχέσης (B-3.5) υπολογίζεται η ισχύς P_δ .

Τους πίνακες με τα αποτελέσματα των υπολογισμών κάθε περίπτωσης, ακολουθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα του ρεύματος συναρτήσει του μήκους (L) της γραμμής ($I_\delta=f(L)$), για κάθε μια από τις τιμές R_δ . Όπως θα φανεί και στα ίδια τα διαγράμματα, η καμπύλη παίρνει μορφή ευθείας για μεγάλα R_δ γεγονός που μας έδωσε το δικαίωμα να παραλείψουμε τις καμπύλες για $R_\delta=2000\Omega, 3000\Omega$ κάνοντας τα διαγράμματα πιο ευανάγνωστα.

Αναλυτικά οι υπολογισμοί για κάθε μια από τις έξι περιπτώσεις ακολουθούν στις επόμενες σελίδες.

1^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=15MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20kV$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσεως του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_\delta(\Omega)$	Z (Ω)	I_δ (A)	P_δ (KW)
0	0,00	0,00	0,16	5,33	10	14,84	1347,98	18170,42
1	0,22	0,33	0,16	5,33	10	15,62	1280,67	16401,10
2	0,43	0,67	0,16	5,33	10	16,40	1219,66	14875,62
3	0,65	1,00	0,16	5,33	10	17,18	1164,11	13551,56
4	0,86	1,34	0,16	5,33	10	17,96	1113,34	12395,27
6	1,29	2,00	0,16	5,33	10	19,53	1023,88	10483,27
8	1,72	2,67	0,16	5,33	10	21,11	947,60	8979,37
10	2,15	3,34	0,16	5,33	10	22,68	881,80	7775,75
15	3,23	5,01	0,16	5,33	10	26,63	751,17	5642,58
20	4,30	6,68	0,16	5,33	10	30,58	654,10	4278,41
30	6,45	10,02	0,16	5,33	10	38,49	519,58	2699,68
40	8,60	13,36	0,16	5,33	10	46,42	430,87	1856,48
60	12,90	20,04	0,16	5,33	10	62,28	321,11	1031,14
80	17,20	26,72	0,16	5,33	10	78,16	255,89	654,81
100	21,50	33,40	0,16	5,33	10	94,04	212,68	452,33

Πίνακας Β-1.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ , κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ϵ) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=50Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ,σ} (Ω)	X _{μ,σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,16	5,33	50	51,44	388,83	7559,33
1	0,22	0,33	0,16	5,33	50	52,00	384,62	7396,76
2	0,43	0,67	0,16	5,33	50	52,57	380,47	7237,73
3	0,65	1,00	0,16	5,33	50	53,14	376,36	7082,23
4	0,86	1,34	0,16	5,33	50	53,72	372,30	6930,24
6	1,29	2,00	0,16	5,33	50	54,90	364,33	6636,67
8	1,72	2,67	0,16	5,33	50	56,09	356,56	6356,74
10	2,15	3,34	0,16	5,33	50	57,31	349,00	6090,10
15	3,23	5,01	0,16	5,33	50	60,42	331,02	5478,71
20	4,30	6,68	0,16	5,33	50	63,63	314,33	4940,07
30	6,45	10,02	0,16	5,33	50	70,28	284,58	4049,19
40	8,60	13,36	0,16	5,33	50	77,18	259,15	3357,84
60	12,90	20,04	0,16	5,33	50	91,48	218,62	2389,83
80	17,20	26,72	0,16	5,33	50	106,24	188,26	1772,06
100	21,50	33,40	0,16	5,33	50	121,28	164,91	1359,74

Πίνακας B-1.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=100Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ,σ} (Ω)	X _{μ,σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,16	5,33	100	100,88	198,25	3930,15
1	0,22	0,33	0,16	5,33	100	101,38	197,27	3891,47
2	0,43	0,67	0,16	5,33	100	101,89	196,29	3853,08
3	0,65	1,00	0,16	5,33	100	102,40	195,32	3814,99
4	0,86	1,34	0,16	5,33	100	102,91	194,35	3777,18
6	1,29	2,00	0,16	5,33	100	103,94	192,42	3702,48
8	1,72	2,67	0,16	5,33	100	104,99	190,50	3629,02
10	2,15	3,34	0,16	5,33	100	106,05	188,60	3556,81
15	3,23	5,01	0,16	5,33	100	108,75	183,90	3381,95
20	4,30	6,68	0,16	5,33	100	111,54	179,31	3215,30
30	6,45	10,02	0,16	5,33	100	117,31	170,49	2906,71
40	8,60	13,36	0,16	5,33	100	123,32	162,18	2630,16
60	12,90	20,04	0,16	5,33	100	135,94	147,12	2164,41
80	17,20	26,72	0,16	5,33	100	149,19	134,06	1797,08
100	21,50	33,40	0,16	5,33	100	162,91	122,76	1507,12

Πίνακας B-1.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=350Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,16	5,33	350	350,48	57,06	1139,71
1	0,22	0,33	0,16	5,33	350	350,93	56,99	1136,79
2	0,43	0,67	0,16	5,33	350	351,38	56,92	1133,87
3	0,65	1,00	0,16	5,33	350	351,84	56,84	1130,95
4	0,86	1,34	0,16	5,33	350	352,29	56,77	1128,03
6	1,29	2,00	0,16	5,33	350	353,20	56,62	1122,21
8	1,72	2,67	0,16	5,33	350	354,12	56,48	1116,41
10	2,15	3,34	0,16	5,33	350	355,04	56,33	1110,62
15	3,23	5,01	0,16	5,33	350	357,37	55,96	1096,21
20	4,30	6,68	0,16	5,33	350	359,72	55,60	1081,91
30	6,45	10,02	0,16	5,33	350	364,52	54,87	1053,65
40	8,60	13,36	0,16	5,33	350	369,42	54,14	1025,88
60	12,90	20,04	0,16	5,33	350	379,53	52,70	971,95
80	17,20	26,72	0,16	5,33	350	390,02	51,28	920,34
100	21,50	33,40	0,16	5,33	350	400,87	49,89	871,18

Πίνακας B-1.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=1000Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,16	5,33	1000	1000,38	19,99	399,70
1	0,22	0,33	0,16	5,33	1000	1000,81	19,98	399,35
2	0,43	0,67	0,16	5,33	1000	1001,25	19,97	399,00
3	0,65	1,00	0,16	5,33	1000	1001,69	19,97	398,65
4	0,86	1,34	0,16	5,33	1000	1002,13	19,96	398,30
6	1,29	2,00	0,16	5,33	1000	1003,01	19,94	397,61
8	1,72	2,67	0,16	5,33	1000	1003,89	19,92	396,91
10	2,15	3,34	0,16	5,33	1000	1004,77	19,91	396,21
15	3,23	5,01	0,16	5,33	1000	1006,98	19,86	394,47
20	4,30	6,68	0,16	5,33	1000	1009,21	19,82	392,74
30	6,45	10,02	0,16	5,33	1000	1013,68	19,73	389,27
40	8,60	13,36	0,16	5,33	1000	1018,21	19,64	385,82
60	12,90	20,04	0,16	5,33	1000	1027,37	19,47	378,97
80	17,20	26,72	0,16	5,33	1000	1036,70	19,29	372,18
100	21,50	33,40	0,16	5,33	1000	1046,19	19,12	365,46

Πίνακας B-1.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=2000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	2000	2000,35	10,00	199,93
1	0,22	0,33	0,16	5,33	2000	2000,78	10,00	199,84
2	0,43	0,67	0,16	5,33	2000	2001,22	9,99	199,76
3	0,65	1,00	0,16	5,33	2000	2001,65	9,99	199,67
4	0,86	1,34	0,16	5,33	2000	2002,08	9,99	199,58
6	1,29	2,00	0,16	5,33	2000	2002,95	9,99	199,41
8	1,72	2,67	0,16	5,33	2000	2003,82	9,98	199,24
10	2,15	3,34	0,16	5,33	2000	2004,69	9,98	199,06
15	3,23	5,01	0,16	5,33	2000	2006,88	9,97	198,63
20	4,30	6,68	0,16	5,33	2000	2009,06	9,95	198,20
30	6,45	10,02	0,16	5,33	2000	2013,45	9,93	197,34
40	8,60	13,36	0,16	5,33	2000	2017,87	9,91	196,47
60	12,90	20,04	0,16	5,33	2000	2026,76	9,87	194,75
80	17,20	26,72	0,16	5,33	2000	2035,73	9,82	193,04
100	21,50	33,40	0,16	5,33	2000	2044,79	9,78	191,33

Πίνακας B-1.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=3000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,16	5,33	3000	3000,34	6,67	133,30
1	0,22	0,33	0,16	5,33	3000	3000,77	6,66	133,26
2	0,43	0,67	0,16	5,33	3000	3001,20	6,66	133,23
3	0,65	1,00	0,16	5,33	3000	3001,64	6,66	133,19
4	0,86	1,34	0,16	5,33	3000	3002,07	6,66	133,15
6	1,29	2,00	0,16	5,33	3000	3002,94	6,66	133,07
8	1,72	2,67	0,16	5,33	3000	3003,80	6,66	133,00
10	2,15	3,34	0,16	5,33	3000	3004,67	6,66	132,92
15	3,23	5,01	0,16	5,33	3000	3006,84	6,65	132,73
20	4,30	6,68	0,16	5,33	3000	3009,02	6,65	132,54
30	6,45	10,02	0,16	5,33	3000	3013,38	6,64	132,15
40	8,60	13,36	0,16	5,33	3000	3017,75	6,63	131,77
60	12,90	20,04	0,16	5,33	3000	3026,55	6,61	131,00
80	17,20	26,72	0,16	5,33	3000	3035,40	6,59	130,24
100	21,50	33,40	0,16	5,33	3000	3044,31	6,57	129,48

Πίνακας B-1.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

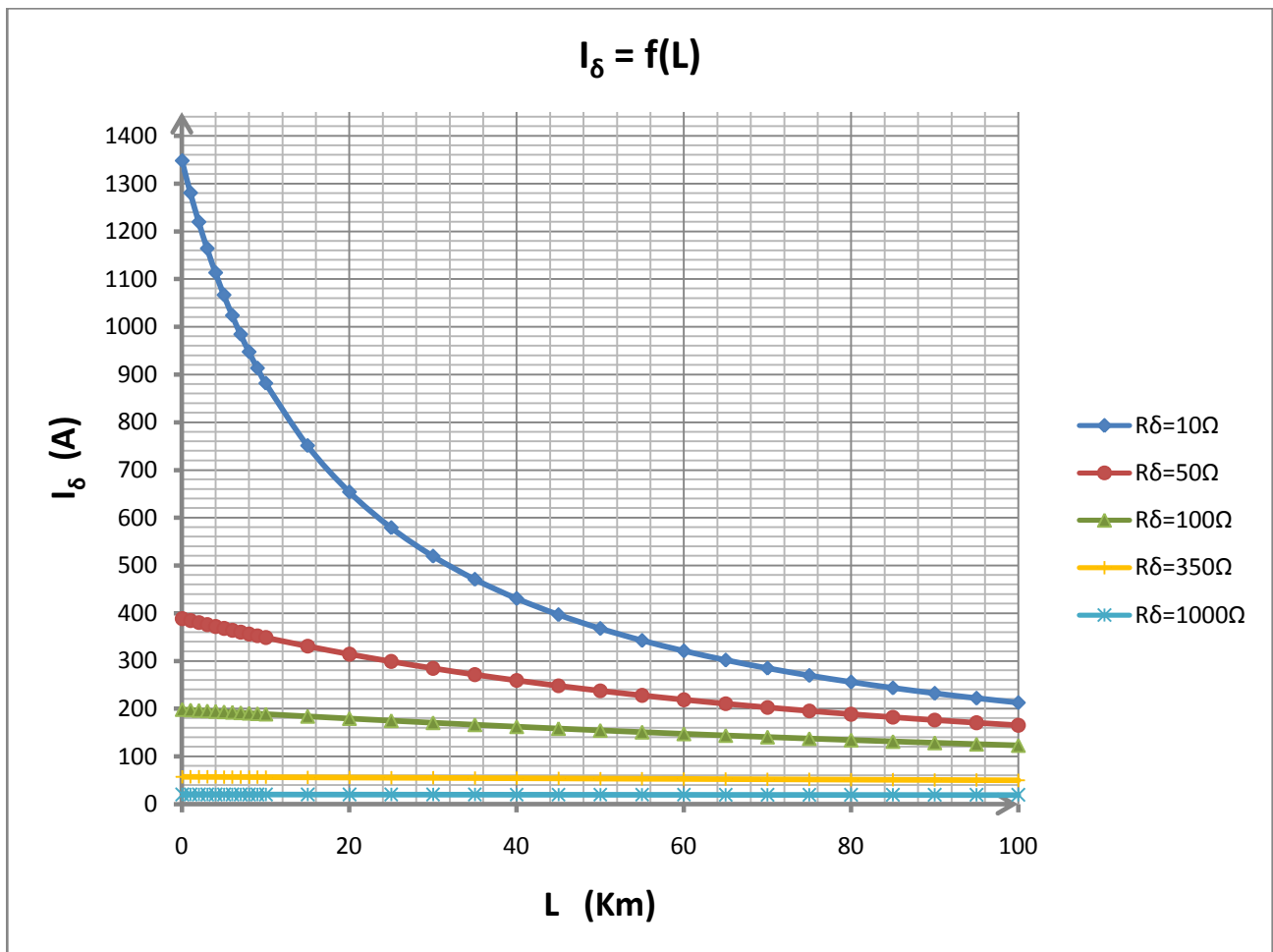
(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα B-1

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσει του μήκος του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=350\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

2^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=25\text{MVA}$

Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20\text{kV}$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)** σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu\sigma}(\Omega)$	$R_\delta(\Omega)$	Z(Ω)	$I_\delta(\text{A})$	$P_\delta(\text{KW})$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	10	12,03	1661,84	27617,28
1	0,22	0,33	0,096	3,20	10	12,76	1567,56	31351,24
2	0,43	0,67	0,096	3,20	10	13,49	1482,53	29650,59
3	0,65	1,00	0,096	3,20	10	14,23	1405,58	28111,67
4	0,86	1,34	0,096	3,20	10	14,97	1335,72	26714,38
6	1,29	2,00	0,096	3,20	10	16,48	1213,91	24278,10
8	1,72	2,67	0,096	3,20	10	17,99	1111,53	22230,70
10	2,15	3,34	0,096	3,20	10	19,52	1024,49	20489,81
15	3,23	5,01	0,096	3,20	10	23,38	855,47	17109,45
20	4,30	6,68	0,096	3,20	10	27,27	733,43	14668,69
30	6,45	10,02	0,096	3,20	10	35,10	569,73	11394,61
40	8,60	13,36	0,096	3,20	10	42,98	465,34	9306,72
60	12,90	20,04	0,096	3,20	10	58,79	340,22	6804,32
80	17,20	26,72	0,096	3,20	10	74,63	268,00	5359,95
100	21,50	33,40	0,096	3,20	10	90,49	221,03	4420,60

Πίνακας B-2.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ϵ) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=50Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,096	3,20	50	50,60	395,27	7811,90
1	0,22	0,33	0,096	3,20	50	51,11	391,29	7655,37
2	0,43	0,67	0,096	3,20	50	51,63	387,34	7501,45
3	0,65	1,00	0,096	3,20	50	52,16	383,41	7350,18
4	0,86	1,34	0,096	3,20	50	52,70	379,52	7201,61
6	1,29	2,00	0,096	3,20	50	53,79	371,83	6912,74
8	1,72	2,67	0,096	3,20	50	54,90	364,28	6635,01
10	2,15	3,34	0,096	3,20	50	56,04	356,89	6368,48
15	3,23	5,01	0,096	3,20	50	58,97	339,13	5750,54
20	4,30	6,68	0,096	3,20	50	62,02	322,46	5198,91
30	6,45	10,02	0,096	3,20	50	68,41	292,36	4273,80
40	8,60	13,36	0,096	3,20	50	75,09	266,34	3546,97
60	12,90	20,04	0,096	3,20	50	89,08	224,52	2520,42
80	17,20	26,72	0,096	3,20	50	103,62	193,02	1862,78
100	21,50	33,40	0,096	3,20	50	118,50	168,77	1424,20

Πίνακας B-2.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=100Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,096	3,20	100	100,40	199,21	3984,21
1	0,22	0,33	0,096	3,20	100	100,87	198,28	3965,50
2	0,43	0,67	0,096	3,20	100	101,35	197,34	3946,81
3	0,65	1,00	0,096	3,20	100	101,83	196,41	3928,14
4	0,86	1,34	0,096	3,20	100	102,31	195,47	3909,50
6	1,29	2,00	0,096	3,20	100	103,30	193,62	3872,30
8	1,72	2,67	0,096	3,20	100	104,30	191,76	3835,26
10	2,15	3,34	0,096	3,20	100	105,31	189,92	3798,40
15	3,23	5,01	0,096	3,20	100	107,90	185,36	3707,18
20	4,30	6,68	0,096	3,20	100	110,57	180,88	3617,55
30	6,45	10,02	0,096	3,20	100	116,14	172,20	3444,07
40	8,60	13,36	0,096	3,20	100	121,97	163,97	3279,37
60	12,90	20,04	0,096	3,20	100	134,29	148,93	2978,58
80	17,20	26,72	0,096	3,20	100	147,30	135,78	2715,64
100	21,50	33,40	0,096	3,20	100	160,82	124,36	2487,30

Πίνακας B-2.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=350\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	350	350,25	57,10	1141,22
1	0,22	0,33	0,096	3,20	350	350,69	57,03	1138,34
2	0,43	0,67	0,096	3,20	350	351,14	56,96	1135,47
3	0,65	1,00	0,096	3,20	350	351,58	56,89	1132,59
4	0,86	1,34	0,096	3,20	350	352,03	56,81	1129,72
6	1,29	2,00	0,096	3,20	350	352,93	56,67	1123,99
8	1,72	2,67	0,096	3,20	350	353,83	56,52	1118,27
10	2,15	3,34	0,096	3,20	350	354,73	56,38	1112,56
15	3,23	5,01	0,096	3,20	350	357,02	56,02	1098,36
20	4,30	6,68	0,096	3,20	350	359,34	55,66	1084,24
30	6,45	10,02	0,096	3,20	350	364,05	54,94	1056,33
40	8,60	13,36	0,096	3,20	350	368,88	54,22	1028,85
60	12,90	20,04	0,096	3,20	350	378,85	52,79	975,40
80	17,20	26,72	0,096	3,20	350	389,22	51,38	924,14
100	21,50	33,40	0,096	3,20	350	399,95	50,01	875,23

Πίνακας B-2.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=1000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	1000	1000,21	20,00	399,83
1	0,22	0,33	0,096	3,20	1000	1000,65	19,99	399,48
2	0,43	0,67	0,096	3,20	1000	1001,08	19,98	399,14
3	0,65	1,00	0,096	3,20	1000	1001,52	19,97	398,79
4	0,86	1,34	0,096	3,20	1000	1001,95	19,96	398,44
6	1,29	2,00	0,096	3,20	1000	1002,83	19,94	397,75
8	1,72	2,67	0,096	3,20	1000	1003,70	19,93	397,06
10	2,15	3,34	0,096	3,20	1000	1004,58	19,91	396,36
15	3,23	5,01	0,096	3,20	1000	1006,78	19,87	394,63
20	4,30	6,68	0,096	3,20	1000	1008,99	19,82	392,91
30	6,45	10,02	0,096	3,20	1000	1013,44	19,73	389,46
40	8,60	13,36	0,096	3,20	1000	1017,93	19,65	386,03
60	12,90	20,04	0,096	3,20	1000	1027,04	19,47	379,21
80	17,20	26,72	0,096	3,20	1000	1036,32	19,30	372,45
100	21,50	33,40	0,096	3,20	1000	1045,76	19,12	365,76

Πίνακας B-2.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=2000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	2000	2000,20	10,00	199,96
1	0,22	0,33	0,096	3,20	2000	2000,63	10,00	199,87
2	0,43	0,67	0,096	3,20	2000	2001,07	9,99	199,79
3	0,65	1,00	0,096	3,20	2000	2001,50	9,99	199,70
4	0,86	1,34	0,096	3,20	2000	2001,93	9,99	199,61
6	1,29	2,00	0,096	3,20	2000	2002,80	9,99	199,44
8	1,72	2,67	0,096	3,20	2000	2003,67	9,98	199,27
10	2,15	3,34	0,096	3,20	2000	2004,53	9,98	199,10
15	3,23	5,01	0,096	3,20	2000	2006,71	9,97	198,66
20	4,30	6,68	0,096	3,20	2000	2008,89	9,96	198,23
30	6,45	10,02	0,096	3,20	2000	2013,27	9,93	197,37
40	8,60	13,36	0,096	3,20	2000	2017,66	9,91	196,51
60	12,90	20,04	0,096	3,20	2000	2026,53	9,87	194,80
80	17,20	26,72	0,096	3,20	2000	2035,47	9,83	193,09
100	21,50	33,40	0,096	3,20	2000	2044,50	9,78	191,39

Πίνακας B-2.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=3000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,096	3,20	3000	3000,20	6,67	133,32
1	0,22	0,33	0,096	3,20	3000	3000,63	6,67	133,28
2	0,43	0,67	0,096	3,20	3000	3001,06	6,66	133,24
3	0,65	1,00	0,096	3,20	3000	3001,49	6,66	133,20
4	0,86	1,34	0,096	3,20	3000	3001,93	6,66	133,16
6	1,29	2,00	0,096	3,20	3000	3002,79	6,66	133,09
8	1,72	2,67	0,096	3,20	3000	3003,65	6,66	133,01
10	2,15	3,34	0,096	3,20	3000	3004,52	6,66	132,93
15	3,23	5,01	0,096	3,20	3000	3006,69	6,65	132,74
20	4,30	6,68	0,096	3,20	3000	3008,86	6,65	132,55
30	6,45	10,02	0,096	3,20	3000	3013,21	6,64	132,17
40	8,60	13,36	0,096	3,20	3000	3017,57	6,63	131,78
60	12,90	20,04	0,096	3,20	3000	3026,35	6,61	131,02
80	17,20	26,72	0,096	3,20	3000	3035,18	6,59	130,26
100	21,50	33,40	0,096	3,20	3000	3044,07	6,57	129,50

Πίνακας B-2.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

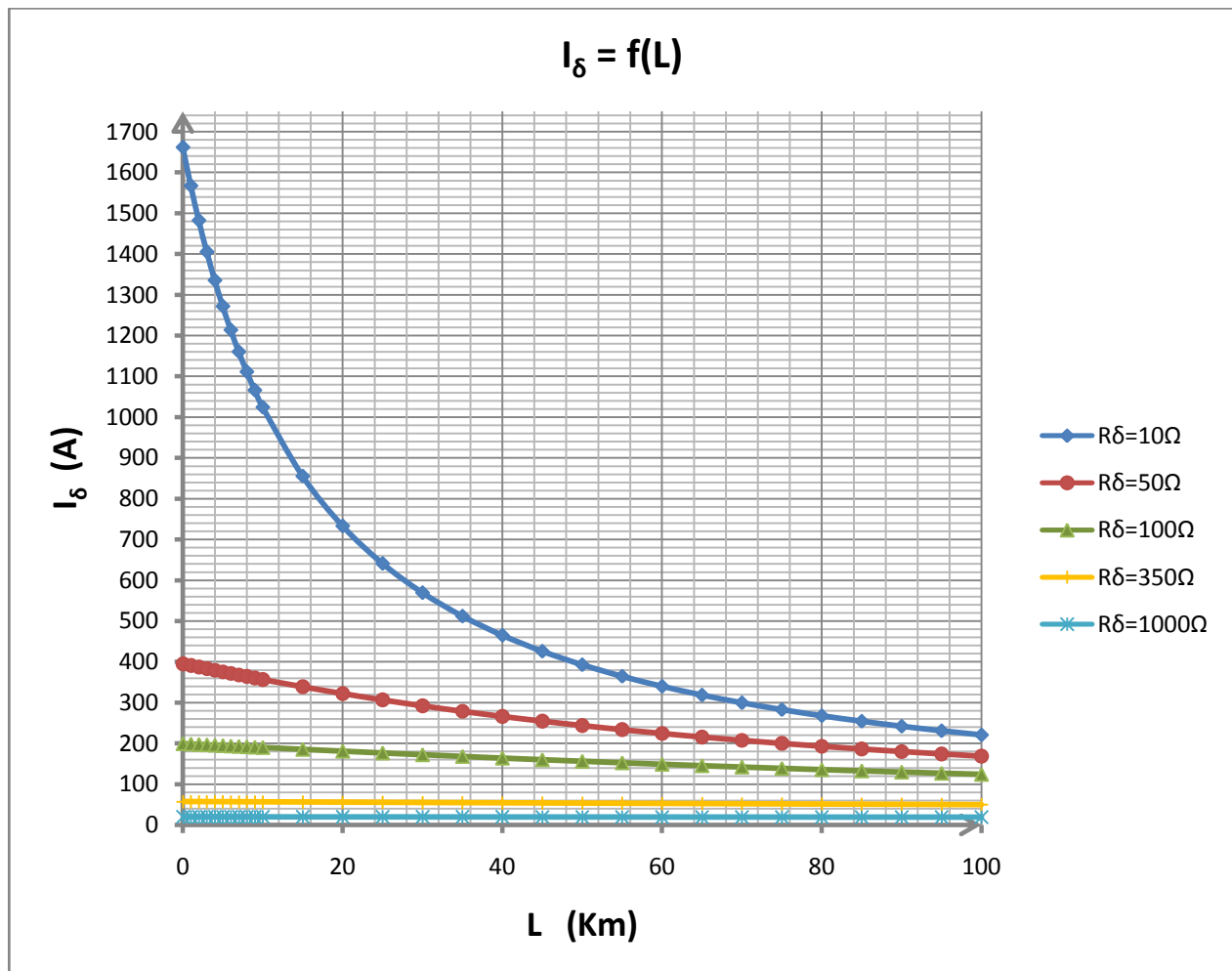
(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα B-2

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσει του μήκος του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=350\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

3^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=50MVA$

Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=20kV$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)** σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{\gamma\phi}(\Omega)$	$X_{\gamma\phi}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_\delta(\Omega)$	Z (Ω)	I_δ (A)	P_δ (KW)
0	0,00	0,00	0,048	1,60	10	10,59	1888,40	35660,41
1	0,22	0,33	0,048	1,60	10	11,21	1783,45	31807,10
2	0,43	0,67	0,048	1,60	10	11,86	1686,64	28447,63
3	0,65	1,00	0,048	1,60	10	12,52	1597,59	25522,80
4	0,86	1,34	0,048	1,60	10	13,19	1515,77	22975,53
6	1,29	2,00	0,048	1,60	10	14,58	1371,55	18811,47
8	1,72	2,67	0,048	1,60	10	16,01	1249,46	15611,39
10	2,15	3,34	0,048	1,60	10	17,46	1145,46	13120,81
15	3,23	5,01	0,048	1,60	10	21,18	944,34	8917,85
20	4,30	6,68	0,048	1,60	10	24,98	800,79	6412,58
30	6,45	10,02	0,048	1,60	10	32,69	611,73	3742,12
40	8,60	13,36	0,048	1,60	10	40,50	493,82	2438,61
60	12,90	20,04	0,048	1,60	10	56,23	355,69	1265,15
80	17,20	26,72	0,048	1,60	10	72,03	277,67	771,01
100	21,50	33,40	0,048	1,60	10	87,86	227,64	518,19

Πίνακας B-3.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ϵ) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=50Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,048	1,60	50	50,20	398,42	7936,98
1	0,22	0,33	0,048	1,60	50	50,67	394,68	7788,65
2	0,43	0,67	0,048	1,60	50	51,16	390,95	7642,08
3	0,65	1,00	0,048	1,60	50	51,65	387,23	7497,37
4	0,86	1,34	0,048	1,60	50	52,15	383,53	7354,62
6	1,29	2,00	0,048	1,60	50	53,17	376,17	7075,35
8	1,72	2,67	0,048	1,60	50	54,21	368,91	6804,80
10	2,15	3,34	0,048	1,60	50	55,29	361,76	6543,35
15	3,23	5,01	0,048	1,60	50	58,07	344,41	5930,81
20	4,30	6,68	0,048	1,60	50	60,99	327,94	5377,13
30	6,45	10,02	0,048	1,60	50	67,15	297,86	4435,97
40	8,60	13,36	0,048	1,60	50	73,65	271,56	3687,34
60	12,90	20,04	0,048	1,60	50	87,37	228,91	2620,08
80	17,20	26,72	0,048	1,60	50	101,72	196,61	1932,80
100	21,50	33,40	0,048	1,60	50	116,48	171,71	1474,18

Πίνακας B-3.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=100Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,048	1,60	100	100,15	199,71	3988,25
1	0,22	0,33	0,048	1,60	100	100,60	198,81	3952,40
2	0,43	0,67	0,048	1,60	100	101,06	197,91	3916,70
3	0,65	1,00	0,048	1,60	100	101,52	197,01	3881,16
4	0,86	1,34	0,048	1,60	100	101,99	196,11	3845,79
6	1,29	2,00	0,048	1,60	100	102,93	194,31	3775,61
8	1,72	2,67	0,048	1,60	100	103,89	192,52	3706,21
10	2,15	3,34	0,048	1,60	100	104,86	190,73	3637,64
15	3,23	5,01	0,048	1,60	100	107,36	186,28	3470,17
20	4,30	6,68	0,048	1,60	100	109,95	181,90	3308,78
30	6,45	10,02	0,048	1,60	100	115,36	173,37	3005,67
40	8,60	13,36	0,048	1,60	100	121,05	165,22	2729,71
60	12,90	20,04	0,048	1,60	100	133,13	150,23	2256,96
80	17,20	26,72	0,048	1,60	100	145,94	137,05	1878,18
100	21,50	33,40	0,048	1,60	100	159,30	125,55	1576,26

Πίνακας B-3.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=350\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	350	350,11	57,12	1142,14
1	0,22	0,33	0,048	1,60	350	350,55	57,05	1139,29
2	0,43	0,67	0,048	1,60	350	350,99	56,98	1136,45
3	0,65	1,00	0,048	1,60	350	351,42	56,91	1133,61
4	0,86	1,34	0,048	1,60	350	351,87	56,84	1130,77
6	1,29	2,00	0,048	1,60	350	352,75	56,70	1125,11
8	1,72	2,67	0,048	1,60	350	353,64	56,55	1119,46
10	2,15	3,34	0,048	1,60	350	354,53	56,41	1113,81
15	3,23	5,01	0,048	1,60	350	356,79	56,06	1099,77
20	4,30	6,68	0,048	1,60	350	359,08	55,70	1085,80
30	6,45	10,02	0,048	1,60	350	363,74	54,98	1058,15
40	8,60	13,36	0,048	1,60	350	368,51	54,27	1030,92
60	12,90	20,04	0,048	1,60	350	378,38	52,86	977,85
80	17,20	26,72	0,048	1,60	350	388,65	51,46	926,87
100	21,50	33,40	0,048	1,60	350	399,28	50,09	878,16

Πίνακας B-3.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=1000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	1000	1000,10	20,00	399,92
1	0,22	0,33	0,048	1,60	1000	1000,53	19,99	399,57
2	0,43	0,67	0,048	1,60	1000	1000,97	19,98	399,23
3	0,65	1,00	0,048	1,60	1000	1001,40	19,97	398,88
4	0,86	1,34	0,048	1,60	1000	1001,83	19,96	398,54
6	1,29	2,00	0,048	1,60	1000	1002,70	19,95	397,85
8	1,72	2,67	0,048	1,60	1000	1003,57	19,93	397,16
10	2,15	3,34	0,048	1,60	1000	1004,44	19,91	396,47
15	3,23	5,01	0,048	1,60	1000	1006,63	19,87	394,75
20	4,30	6,68	0,048	1,60	1000	1008,83	19,82	393,03
30	6,45	10,02	0,048	1,60	1000	1013,26	19,74	389,60
40	8,60	13,36	0,048	1,60	1000	1017,74	19,65	386,18
60	12,90	20,04	0,048	1,60	1000	1026,81	19,48	379,39
80	17,20	26,72	0,048	1,60	1000	1036,05	19,30	372,65
100	21,50	33,40	0,048	1,60	1000	1045,44	19,13	365,98

Πίνακας B-3.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=2000\Omega$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	2000	2000,10	10,00	199,98
1	0,22	0,33	0,048	1,60	2000	2000,53	10,00	199,89
2	0,43	0,67	0,048	1,60	2000	2000,96	10,00	199,81
3	0,65	1,00	0,048	1,60	2000	2001,39	9,99	199,72
4	0,86	1,34	0,048	1,60	2000	2001,82	9,99	199,64
6	1,29	2,00	0,048	1,60	2000	2002,69	9,99	199,46
8	1,72	2,67	0,048	1,60	2000	2003,55	9,98	199,29
10	2,15	3,34	0,048	1,60	2000	2004,42	9,98	199,12
15	3,23	5,01	0,048	1,60	2000	2006,59	9,97	198,69
20	4,30	6,68	0,048	1,60	2000	2008,76	9,96	198,26
30	6,45	10,02	0,048	1,60	2000	2013,13	9,93	197,40
40	8,60	13,36	0,048	1,60	2000	2017,52	9,91	196,54
60	12,90	20,04	0,048	1,60	2000	2026,36	9,87	194,83
80	17,20	26,72	0,048	1,60	2000	2035,28	9,83	193,13
100	21,50	33,40	0,048	1,60	2000	2044,29	9,78	191,43

Πίνακας Β-3.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=3000\Omega$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,048	1,60	3000	3000,10	6,67	133,32
1	0,22	0,33	0,048	1,60	3000	3000,53	6,67	133,29
2	0,43	0,67	0,048	1,60	3000	3000,96	6,66	133,25
3	0,65	1,00	0,048	1,60	3000	3001,39	6,66	133,21
4	0,86	1,34	0,048	1,60	3000	3001,82	6,66	133,17
6	1,29	2,00	0,048	1,60	3000	3002,68	6,66	133,10
8	1,72	2,67	0,048	1,60	3000	3003,55	6,66	133,02
10	2,15	3,34	0,048	1,60	3000	3004,41	6,66	132,94
15	3,23	5,01	0,048	1,60	3000	3006,58	6,65	132,75
20	4,30	6,68	0,048	1,60	3000	3008,74	6,65	132,56
30	6,45	10,02	0,048	1,60	3000	3013,09	6,64	132,18
40	8,60	13,36	0,048	1,60	3000	3017,44	6,63	131,80
60	12,90	20,04	0,048	1,60	3000	3026,21	6,61	131,03
80	17,20	26,72	0,048	1,60	3000	3035,02	6,59	130,27
100	21,50	33,40	0,048	1,60	3000	3043,90	6,57	129,52

Πίνακας Β-3.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

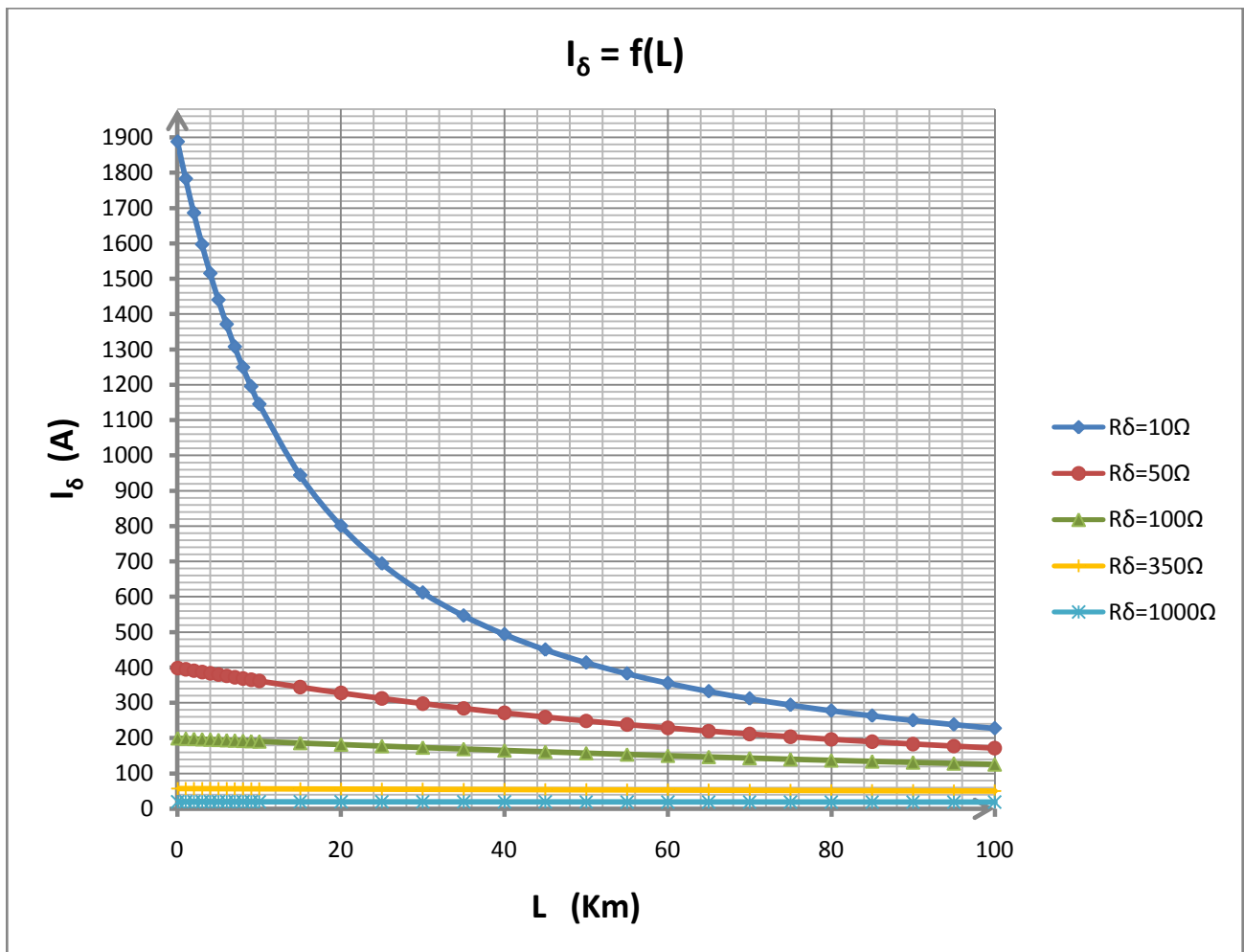
(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα Β-3

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσεως του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=350\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

4^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=15MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)** σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_\delta (\Omega)$	Z (Ω)	I_δ (A)	P_δ (KW)
0	0,00	0,00	0,09	3,00	10	11,82	1269,40	16113,74
1	0,22	0,33	0,09	3,00	10	12,53	1197,00	14328,08
2	0,43	0,67	0,09	3,00	10	13,26	1131,64	12806,03
3	0,65	1,00	0,09	3,00	10	13,99	1072,46	11501,60
4	0,86	1,34	0,09	3,00	10	14,72	1018,70	10377,58
6	1,29	2,00	0,09	3,00	10	16,22	924,98	8555,86
8	1,72	2,67	0,09	3,00	10	17,73	846,24	7161,26
10	2,15	3,34	0,09	3,00	10	19,25	779,34	6073,65
15	3,23	5,01	0,09	3,00	10	23,09	649,60	4219,83
20	4,30	6,68	0,09	3,00	10	26,97	556,13	3092,79
30	6,45	10,02	0,09	3,00	10	34,80	431,08	1858,32
40	8,60	13,36	0,09	3,00	10	42,66	351,58	1236,09
60	12,90	20,04	0,09	3,00	10	58,46	256,57	658,29
80	17,20	26,72	0,09	3,00	10	74,30	201,88	407,57
100	21,50	33,40	0,09	3,00	10	90,16	166,38	276,82

Πίνακας Β-4.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=50\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	50	50,54	296,81	4404,80
1	0,22	0,33	0,09	3,00	50	51,05	293,84	4317,24
2	0,43	0,67	0,09	3,00	50	51,56	290,90	4231,08
3	0,65	1,00	0,09	3,00	50	52,09	287,97	4146,36
4	0,86	1,34	0,09	3,00	50	52,62	285,07	4063,11
6	1,29	2,00	0,09	3,00	50	53,70	279,33	3901,13
8	1,72	2,67	0,09	3,00	50	54,81	273,69	3745,27
10	2,15	3,34	0,09	3,00	50	55,94	268,16	3595,57
15	3,23	5,01	0,09	3,00	50	58,85	254,88	3248,07
20	4,30	6,68	0,09	3,00	50	61,89	242,38	2937,42
30	6,45	10,02	0,09	3,00	50	68,24	219,80	2415,63
40	8,60	13,36	0,09	3,00	50	74,90	200,26	2005,11
60	12,90	20,04	0,09	3,00	50	88,86	168,80	1424,71
80	17,20	26,72	0,09	3,00	50	103,38	145,10	1052,69
100	21,50	33,40	0,09	3,00	50	118,25	126,85	804,59

Πίνακας B-4.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=100\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	100	100,36	149,46	2233,91
1	0,22	0,33	0,09	3,00	100	100,83	148,76	2213,08
2	0,43	0,67	0,09	3,00	100	101,31	148,07	2192,36
3	0,65	1,00	0,09	3,00	100	101,79	147,37	2171,77
4	0,86	1,34	0,09	3,00	100	102,27	146,67	2151,30
6	1,29	2,00	0,09	3,00	100	103,25	145,28	2110,74
8	1,72	2,67	0,09	3,00	100	104,24	143,90	2070,72
10	2,15	3,34	0,09	3,00	100	105,25	142,52	2031,26
15	3,23	5,01	0,09	3,00	100	107,83	139,11	1935,22
20	4,30	6,68	0,09	3,00	100	110,49	135,76	1843,07
30	6,45	10,02	0,09	3,00	100	116,04	129,27	1670,98
40	8,60	13,36	0,09	3,00	100	121,86	123,10	1515,29
60	12,90	20,04	0,09	3,00	100	134,14	111,82	1250,39
80	17,20	26,72	0,09	3,00	100	147,12	101,96	1039,51
100	21,50	33,40	0,09	3,00	100	160,62	93,39	872,08

Πίνακας B-4.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=300\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	300	300,24	49,96	748,80
1	0,22	0,33	0,09	3,00	300	300,68	49,89	746,59
2	0,43	0,67	0,09	3,00	300	301,13	49,81	744,38
3	0,65	1,00	0,09	3,00	300	301,58	49,74	742,18
4	0,86	1,34	0,09	3,00	300	302,02	49,66	739,98
6	1,29	2,00	0,09	3,00	300	302,93	49,52	735,58
8	1,72	2,67	0,09	3,00	300	303,83	49,37	731,20
10	2,15	3,34	0,09	3,00	300	304,74	49,22	726,83
15	3,23	5,01	0,09	3,00	300	307,05	48,85	715,96
20	4,30	6,68	0,09	3,00	300	309,39	48,48	705,18
30	6,45	10,02	0,09	3,00	300	314,16	47,75	683,91
40	8,60	13,36	0,09	3,00	300	319,06	47,01	663,06
60	12,90	20,04	0,09	3,00	300	329,22	45,56	622,77
80	17,20	26,72	0,09	3,00	300	339,82	44,14	584,53
100	21,50	33,40	0,09	3,00	300	350,82	42,76	548,46

Πίνακας B-4.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=1000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	1000	1000,20	15,00	224,91
1	0,22	0,33	0,09	3,00	1000	1000,63	14,99	224,72
2	0,43	0,67	0,09	3,00	1000	1001,07	14,98	224,52
3	0,65	1,00	0,09	3,00	1000	1001,50	14,98	224,33
4	0,86	1,34	0,09	3,00	1000	1001,94	14,97	224,13
6	1,29	2,00	0,09	3,00	1000	1002,81	14,96	223,74
8	1,72	2,67	0,09	3,00	1000	1003,68	14,94	223,35
10	2,15	3,34	0,09	3,00	1000	1004,56	14,93	222,96
15	3,23	5,01	0,09	3,00	1000	1006,76	14,90	221,99
20	4,30	6,68	0,09	3,00	1000	1008,97	14,87	221,02
30	6,45	10,02	0,09	3,00	1000	1013,41	14,80	219,08
40	8,60	13,36	0,09	3,00	1000	1017,91	14,74	217,15
60	12,90	20,04	0,09	3,00	1000	1027,01	14,61	213,32
80	17,20	26,72	0,09	3,00	1000	1036,29	14,47	209,52
100	21,50	33,40	0,09	3,00	1000	1045,72	14,34	205,76

Πίνακας B-4.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=2000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	2000	2000,19	7,50	112,48
1	0,22	0,33	0,09	3,00	2000	2000,62	7,50	112,43
2	0,43	0,67	0,09	3,00	2000	2001,05	7,50	112,38
3	0,65	1,00	0,09	3,00	2000	2001,49	7,49	112,33
4	0,86	1,34	0,09	3,00	2000	2001,92	7,49	112,28
6	1,29	2,00	0,09	3,00	2000	2002,79	7,49	112,19
8	1,72	2,67	0,09	3,00	2000	2003,65	7,49	112,09
10	2,15	3,34	0,09	3,00	2000	2004,52	7,48	111,99
15	3,23	5,01	0,09	3,00	2000	2006,69	7,47	111,75
20	4,30	6,68	0,09	3,00	2000	2008,87	7,47	111,51
30	6,45	10,02	0,09	3,00	2000	2013,25	7,45	111,02
40	8,60	13,36	0,09	3,00	2000	2017,65	7,43	110,54
60	12,90	20,04	0,09	3,00	2000	2026,50	7,40	109,58
80	17,20	26,72	0,09	3,00	2000	2035,45	7,37	108,62
100	21,50	33,40	0,09	3,00	2000	2044,48	7,34	107,66

Πίνακας B-4.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=3000\Omega$**

L	$R_{\gamma\rho}(\Omega)$	$X_{\gamma\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,09	3,00	3000	3000,19	5,00	74,99
1	0,22	0,33	0,09	3,00	3000	3000,62	5,00	74,97
2	0,43	0,67	0,09	3,00	3000	3001,05	5,00	74,95
3	0,65	1,00	0,09	3,00	3000	3001,48	5,00	74,93
4	0,86	1,34	0,09	3,00	3000	3001,91	5,00	74,90
6	1,29	2,00	0,09	3,00	3000	3002,78	5,00	74,86
8	1,72	2,67	0,09	3,00	3000	3003,64	4,99	74,82
10	2,15	3,34	0,09	3,00	3000	3004,51	4,99	74,78
15	3,23	5,01	0,09	3,00	3000	3006,67	4,99	74,67
20	4,30	6,68	0,09	3,00	3000	3008,84	4,99	74,56
30	6,45	10,02	0,09	3,00	3000	3013,19	4,98	74,34
40	8,60	13,36	0,09	3,00	3000	3017,56	4,97	74,13
60	12,90	20,04	0,09	3,00	3000	3026,33	4,96	73,70
80	17,20	26,72	0,09	3,00	3000	3035,16	4,94	73,27
100	21,50	33,40	0,09	3,00	3000	3044,05	4,93	72,85

Πίνακας B-4.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

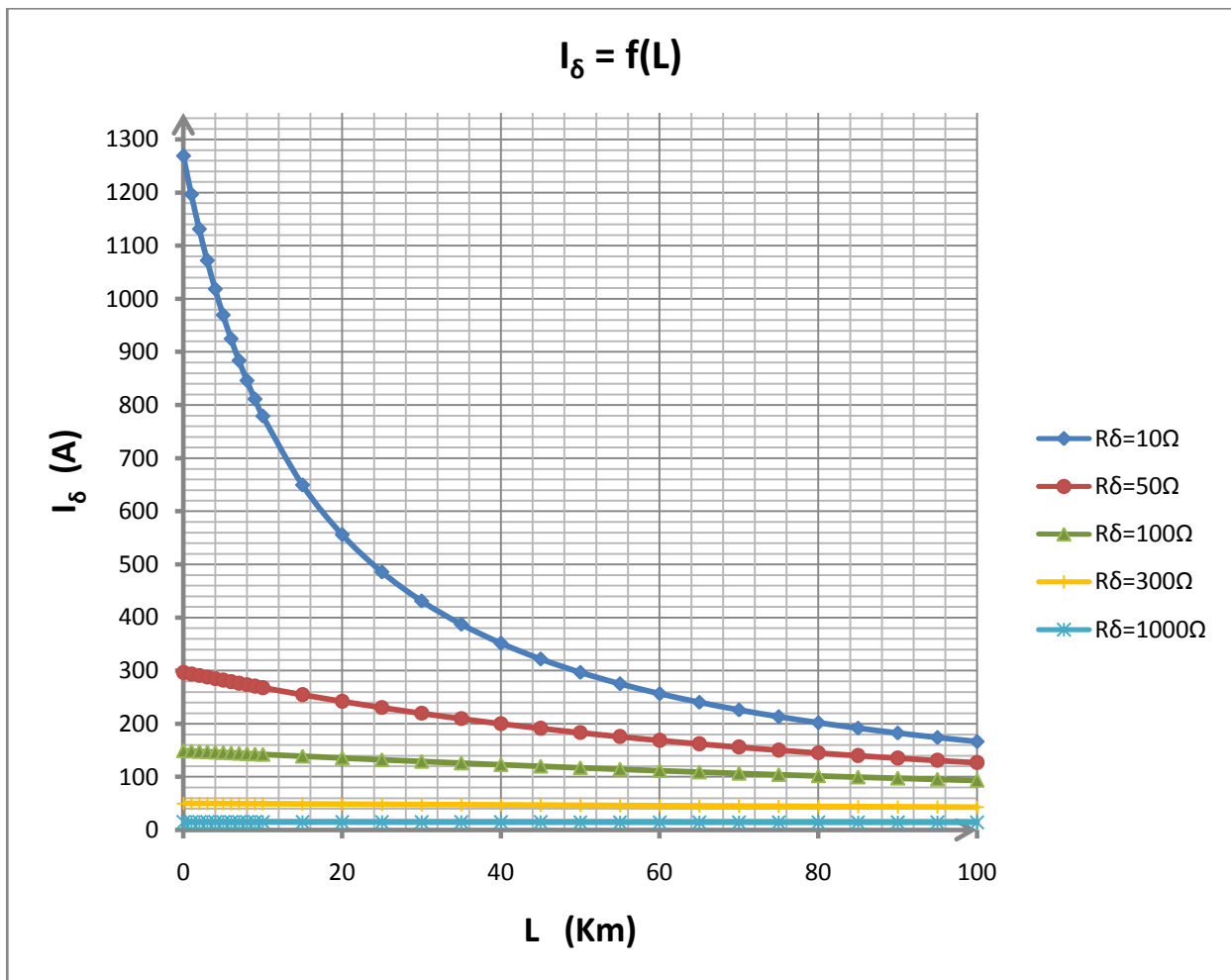
(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα Β-4

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσεως του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=300\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

5^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=25MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)** σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{vp}(\Omega)$	$X_{vp}(\Omega)$	$R_{μ/σ}(\Omega)$	$X_{μ/σ}(\Omega)$	$R_\delta(\Omega)$	Z (Ω)	$I_\delta(A)$	$P_\delta(KW)$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	10	10,73	1397,96	19542,84
1	0,22	0,33	0,054	1,80	10	11,37	1319,32	17406,07
2	0,43	0,67	0,054	1,80	10	12,03	1247,14	15553,59
3	0,65	1,00	0,054	1,80	10	12,70	1181,00	13947,50
4	0,86	1,34	0,054	1,80	10	13,39	1120,40	12553,03
6	1,29	2,00	0,054	1,80	10	14,79	1013,91	10280,22
8	1,72	2,67	0,054	1,80	10	16,23	923,99	8537,49
10	2,15	3,34	0,054	1,80	10	17,70	847,49	7182,33
15	3,23	5,01	0,054	1,80	10	21,44	699,63	4894,80
20	4,30	6,68	0,054	1,80	10	25,25	594,03	3528,69
30	6,45	10,02	0,054	1,80	10	32,99	454,71	2067,60
40	8,60	13,36	0,054	1,80	10	40,80	367,60	1351,33
60	12,90	20,04	0,054	1,80	10	56,54	265,28	703,71
80	17,20	26,72	0,054	1,80	10	72,35	207,33	429,84
100	21,50	33,40	0,054	1,80	10	88,19	170,10	289,33

Πίνακας B-5.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=50\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	50	50,24	298,58	4457,61
1	0,22	0,33	0,054	1,80	50	50,72	295,75	4373,51
2	0,43	0,67	0,054	1,80	50	51,21	292,93	4290,45
3	0,65	1,00	0,054	1,80	50	51,70	290,12	4208,50
4	0,86	1,34	0,054	1,80	50	52,21	287,32	4127,71
6	1,29	2,00	0,054	1,80	50	53,23	281,77	3969,78
8	1,72	2,67	0,054	1,80	50	54,29	276,29	3816,94
10	2,15	3,34	0,054	1,80	50	55,37	270,90	3669,39
15	3,23	5,01	0,054	1,80	50	58,17	257,84	3324,16
20	4,30	6,68	0,054	1,80	50	61,11	245,46	3012,64
30	6,45	10,02	0,054	1,80	50	67,30	222,89	2484,07
40	8,60	13,36	0,054	1,80	50	73,82	203,19	2064,35
60	12,90	20,04	0,054	1,80	50	87,58	171,28	1466,76
80	17,20	26,72	0,054	1,80	50	101,96	147,12	1082,23
100	21,50	33,40	0,054	1,80	50	116,73	128,50	825,67

Πίνακας B-5.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=100\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	100	100,17	149,74	2242,25
1	0,22	0,33	0,054	1,80	100	100,63	149,06	2221,98
2	0,43	0,67	0,054	1,80	100	101,09	148,38	2201,80
3	0,65	1,00	0,054	1,80	100	101,55	147,71	2181,72
4	0,86	1,34	0,054	1,80	100	102,02	147,03	2161,74
6	1,29	2,00	0,054	1,80	100	102,97	145,67	2122,10
8	1,72	2,67	0,054	1,80	100	103,93	144,32	2082,91
10	2,15	3,34	0,054	1,80	100	104,91	142,98	2044,21
15	3,23	5,01	0,054	1,80	100	107,42	139,63	1949,72
20	4,30	6,68	0,054	1,80	100	110,02	136,34	1858,73
30	6,45	10,02	0,054	1,80	100	115,45	129,92	1687,97
40	8,60	13,36	0,054	1,80	100	121,16	123,80	1532,65
60	12,90	20,04	0,054	1,80	100	133,27	112,55	1266,84
80	17,20	26,72	0,054	1,80	100	146,10	102,67	1054,06
100	21,50	33,40	0,054	1,80	100	159,49	94,05	884,57

Πίνακας B-5.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=300\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	300	300,13	49,98	749,35
1	0,22	0,33	0,054	1,80	300	300,57	49,91	747,17
2	0,43	0,67	0,054	1,80	300	301,01	49,83	744,98
3	0,65	1,00	0,054	1,80	300	301,45	49,76	742,80
4	0,86	1,34	0,054	1,80	300	301,89	49,69	740,62
6	1,29	2,00	0,054	1,80	300	302,78	49,54	736,27
8	1,72	2,67	0,054	1,80	300	303,68	49,39	731,93
10	2,15	3,34	0,054	1,80	300	304,58	49,25	727,61
15	3,23	5,01	0,054	1,80	300	306,86	48,88	716,84
20	4,30	6,68	0,054	1,80	300	309,17	48,52	706,15
30	6,45	10,02	0,054	1,80	300	313,90	47,79	685,05
40	8,60	13,36	0,054	1,80	300	318,75	47,06	664,35
60	12,90	20,04	0,054	1,80	300	328,82	45,62	624,28
80	17,20	26,72	0,054	1,80	300	339,34	44,20	586,20
100	21,50	33,40	0,054	1,80	300	350,26	42,83	550,22

Πίνακας B-5.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=1000\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,054	1,80	1000	1000,11	15,00	224,95
1	0,22	0,33	0,054	1,80	1000	1000,55	14,99	224,75
2	0,43	0,67	0,054	1,80	1000	1000,98	14,99	224,56
3	0,65	1,00	0,054	1,80	1000	1001,41	14,98	224,37
4	0,86	1,34	0,054	1,80	1000	1001,85	14,97	224,17
6	1,29	2,00	0,054	1,80	1000	1002,72	14,96	223,78
8	1,72	2,67	0,054	1,80	1000	1003,59	14,95	223,39
10	2,15	3,34	0,054	1,80	1000	1004,46	14,93	223,01
15	3,23	5,01	0,054	1,80	1000	1006,65	14,90	222,04
20	4,30	6,68	0,054	1,80	1000	1008,85	14,87	221,07
30	6,45	10,02	0,054	1,80	1000	1013,28	14,80	219,14
40	8,60	13,36	0,054	1,80	1000	1017,76	14,74	217,22
60	12,90	20,04	0,054	1,80	1000	1026,84	14,61	213,39
80	17,20	26,72	0,054	1,80	1000	1036,08	14,48	209,60
100	21,50	33,40	0,054	1,80	1000	1045,48	14,35	205,85

Πίνακας B-5.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **R_δ=2000Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,054	1,80	2000	2000,11	7,50	112,49
1	0,22	0,33	0,054	1,80	2000	2000,54	7,50	112,44
2	0,43	0,67	0,054	1,80	2000	2000,97	7,50	112,39
3	0,65	1,00	0,054	1,80	2000	2001,41	7,49	112,34
4	0,86	1,34	0,054	1,80	2000	2001,84	7,49	112,29
6	1,29	2,00	0,054	1,80	2000	2002,70	7,49	112,20
8	1,72	2,67	0,054	1,80	2000	2003,57	7,49	112,10
10	2,15	3,34	0,054	1,80	2000	2004,43	7,48	112,00
15	3,23	5,01	0,054	1,80	2000	2006,60	7,48	111,76
20	4,30	6,68	0,054	1,80	2000	2008,78	7,47	111,52
30	6,45	10,02	0,054	1,80	2000	2013,15	7,45	111,04
40	8,60	13,36	0,054	1,80	2000	2017,54	7,43	110,55
60	12,90	20,04	0,054	1,80	2000	2026,38	7,40	109,59
80	17,20	26,72	0,054	1,80	2000	2035,31	7,37	108,63
100	21,50	33,40	0,054	1,80	2000	2044,32	7,34	107,67

Πίνακας Β-5.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=3000Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,054	1,80	3000	3000,11	5,00	74,99
1	0,22	0,33	0,054	1,80	3000	3000,54	5,00	74,97
2	0,43	0,67	0,054	1,80	3000	3000,97	5,00	74,95
3	0,65	1,00	0,054	1,80	3000	3001,40	5,00	74,93
4	0,86	1,34	0,054	1,80	3000	3001,83	5,00	74,91
6	1,29	2,00	0,054	1,80	3000	3002,70	5,00	74,87
8	1,72	2,67	0,054	1,80	3000	3003,56	4,99	74,82
10	2,15	3,34	0,054	1,80	3000	3004,43	4,99	74,78
15	3,23	5,01	0,054	1,80	3000	3006,59	4,99	74,67
20	4,30	6,68	0,054	1,80	3000	3008,76	4,99	74,56
30	6,45	10,02	0,054	1,80	3000	3013,10	4,98	74,35
40	8,60	13,36	0,054	1,80	3000	3017,46	4,97	74,13
60	12,90	20,04	0,054	1,80	3000	3026,22	4,96	73,71
80	17,20	26,72	0,054	1,80	3000	3035,04	4,94	73,28
100	21,50	33,40	0,054	1,80	3000	3043,92	4,93	72,85

Πίνακας Β-5.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

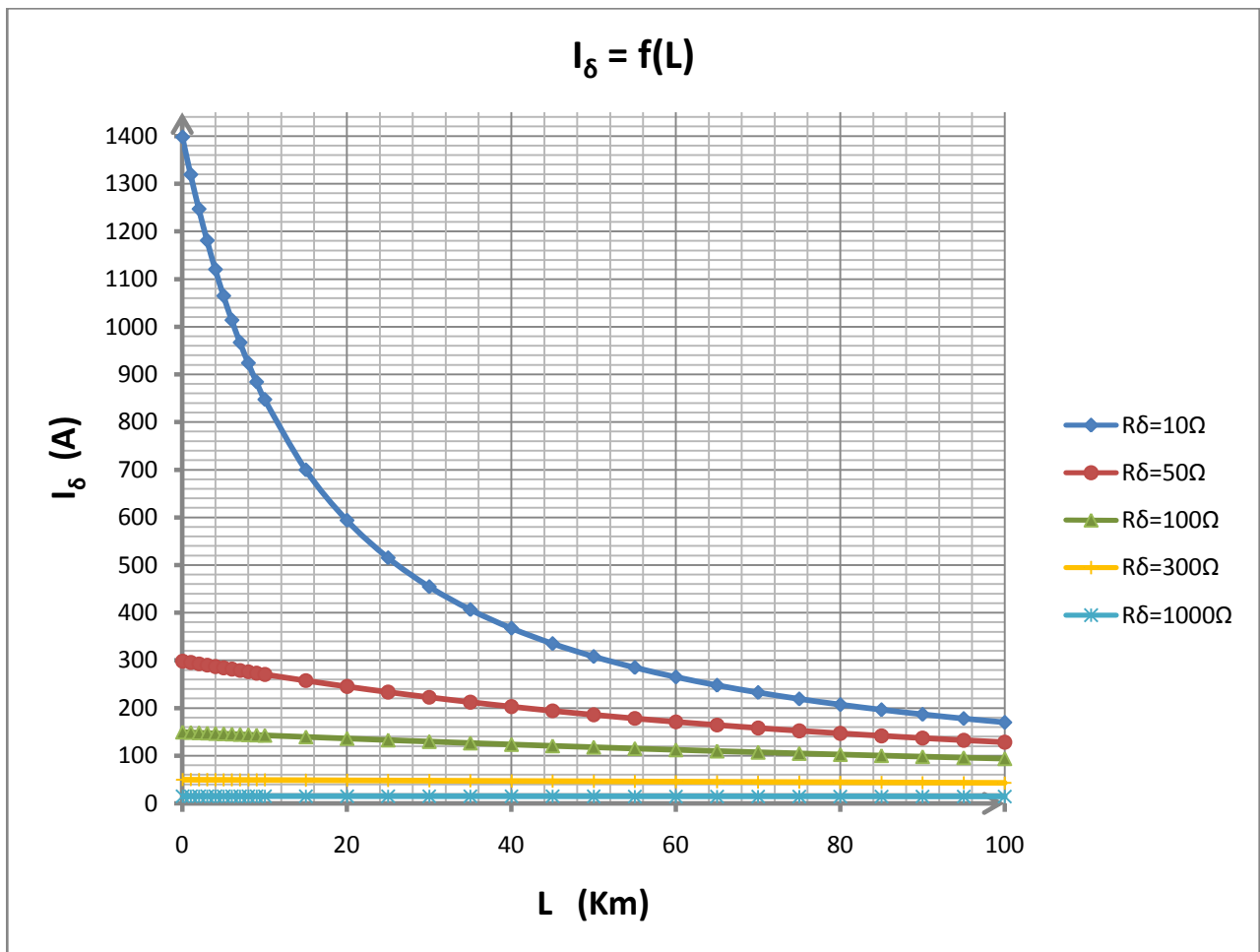
(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα B-5

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσει του μήκος του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=300\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

6^η Περίπτωση

Ονομαστικές Τιμές

- Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $P_N=50MVA$
- Πολική τάση δικτύου ονομαστικής τιμής $U_N=15kV$

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί που αφορούν το **ρεύμα διάβασης (I_δ)** για διάφορες πιθανές τιμές της **αντίστασης διάβασης (R_δ)** σε δίκτυο μέσης τάσης με τις προαναφερόμενες τιμές ονομαστικής ισχύος Μ/Σ (P_N) και ονομαστικής τάσης δικτύου (U_N). Επιπλέον θα υπολογιστεί η **ισχύς (P_δ)**, που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_δ καθώς αυτή διαρρέεται από ρεύμα I_δ . Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται **κατά μήκος αγωγού ACSR 95mm²**.

Τους αριθμητικούς υπολογισμούς για κάθε μια τιμή της **αντίστασης διάβασης (R_δ)**, ακολουθεί και η συγκεντρωτική διαγραμματική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης συναρτήσει του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² $\{I_\delta = f(L)\}$ για τις διάφορες τιμές του R_δ .

➤ $R_\delta=10\Omega$

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_\delta(\Omega)$	Z (Ω)	I_δ (A)	P_δ (KW)
0	0,00	0,00	0,027	0,90	10	10,21	1468,59	21567,65
1	0,22	0,33	0,027	0,90	10	10,77	1392,68	19395,67
2	0,43	0,67	0,027	0,90	10	11,36	1320,93	17448,64
3	0,65	1,00	0,027	0,90	10	11,96	1253,68	15717,04
4	0,86	1,34	0,027	0,90	10	12,59	1190,98	14184,32
6	1,29	2,00	0,027	0,90	10	13,91	1078,74	11636,88
8	1,72	2,67	0,027	0,90	10	15,27	982,42	9651,48
10	2,15	3,34	0,027	0,90	10	16,67	899,72	8095,05
15	3,23	5,01	0,027	0,90	10	20,30	738,91	5459,91
20	4,30	6,68	0,027	0,90	10	24,04	624,03	3894,10
30	6,45	10,02	0,027	0,90	10	31,68	473,43	2241,32
40	8,60	13,36	0,027	0,90	10	39,45	380,24	1445,86
60	12,90	20,04	0,027	0,90	10	55,13	272,08	740,27
80	17,20	26,72	0,027	0,90	10	70,91	211,55	447,53
100	21,50	33,40	0,027	0,90	10	86,72	172,97	299,17

Πίνακας B-6.1

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ : Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **$R_{\delta}=50\Omega$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	50	50,09	299,48	4484,50
1	0,22	0,33	0,027	0,90	50	50,54	296,77	4403,60
2	0,43	0,67	0,027	0,90	50	51,01	294,06	4323,48
3	0,65	1,00	0,027	0,90	50	51,48	291,35	4244,20
4	0,86	1,34	0,027	0,90	50	51,97	288,65	4165,82
6	1,29	2,00	0,027	0,90	50	52,95	283,27	4012,02
8	1,72	2,67	0,027	0,90	50	53,97	277,94	3862,47
10	2,15	3,34	0,027	0,90	50	55,01	272,67	3717,45
15	3,23	5,01	0,027	0,90	50	57,73	259,84	3375,93
20	4,30	6,68	0,027	0,90	50	60,58	247,60	3065,30
30	6,45	10,02	0,027	0,90	50	66,63	225,11	2533,67
40	8,60	13,36	0,027	0,90	50	73,05	205,34	2108,13
60	12,90	20,04	0,027	0,90	50	86,65	173,12	1498,45
80	17,20	26,72	0,027	0,90	50	100,92	148,64	1104,68
100	21,50	33,40	0,027	0,90	50	115,61	129,75	841,75

Πίνακας B-6.2

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=100\Omega$**

L	$R_{\nu\rho}(\Omega)$	$X_{\nu\rho}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	100	100,07	149,89	2246,84
1	0,22	0,33	0,027	0,90	100	100,51	149,23	2227,03
2	0,43	0,67	0,027	0,90	100	100,96	148,57	2207,30
3	0,65	1,00	0,027	0,90	100	101,42	147,91	2187,64
4	0,86	1,34	0,027	0,90	100	101,87	147,24	2168,06
6	1,29	2,00	0,027	0,90	100	102,80	145,92	2129,18
8	1,72	2,67	0,027	0,90	100	103,74	144,59	2090,68
10	2,15	3,34	0,027	0,90	100	104,70	143,27	2052,61
15	3,23	5,01	0,027	0,90	100	107,16	139,98	1959,45
20	4,30	6,68	0,027	0,90	100	109,71	136,73	1869,47
30	6,45	10,02	0,027	0,90	100	115,05	130,38	1699,96
40	8,60	13,36	0,027	0,90	100	120,67	124,30	1545,13
60	12,90	20,04	0,027	0,90	100	132,64	113,09	1278,91
80	17,20	26,72	0,027	0,90	100	145,36	103,19	1064,87
100	21,50	33,40	0,027	0,90	100	158,65	94,55	893,91

Πίνακας B-6.3

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς, Θερμότητα στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=300\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	300	300,06	49,99	749,70
1	0,22	0,33	0,027	0,90	300	300,49	49,92	747,54
2	0,43	0,67	0,027	0,90	300	300,93	49,85	745,37
3	0,65	1,00	0,027	0,90	300	301,37	49,77	743,21
4	0,86	1,34	0,027	0,90	300	301,81	49,70	741,05
6	1,29	2,00	0,027	0,90	300	302,69	49,56	736,73
8	1,72	2,67	0,027	0,90	300	303,58	49,41	732,42
10	2,15	3,34	0,027	0,90	300	304,47	49,27	728,13
15	3,23	5,01	0,027	0,90	300	306,73	48,90	717,44
20	4,30	6,68	0,027	0,90	300	309,03	48,54	706,83
30	6,45	10,02	0,027	0,90	300	313,72	47,81	685,86
40	8,60	13,36	0,027	0,90	300	318,53	47,09	665,26
60	12,90	20,04	0,027	0,90	300	328,53	45,66	625,38
80	17,20	26,72	0,027	0,90	300	338,99	44,25	587,41
100	21,50	33,40	0,027	0,90	300	349,85	42,88	551,51

Πίνακας B-5.4

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **$R_{\delta}=1000\Omega$**

L	$R_{\gamma p}(\Omega)$	$X_{\gamma p}(\Omega)$	$R_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$X_{\mu/\sigma}(\Omega)$	$R_{\delta}(\Omega)$	Z (Ω)	$I_{\delta}(A)$	$P_{\delta}(KW)$
0	0,00	0,00	0,027	0,90	1000	1000,06	15,00	224,97
1	0,22	0,33	0,027	0,90	1000	1000,49	14,99	224,78
2	0,43	0,67	0,027	0,90	1000	1000,92	14,99	224,59
3	0,65	1,00	0,027	0,90	1000	1001,35	14,98	224,39
4	0,86	1,34	0,027	0,90	1000	1001,78	14,97	224,20
6	1,29	2,00	0,027	0,90	1000	1002,65	14,96	223,81
8	1,72	2,67	0,027	0,90	1000	1003,52	14,95	223,42
10	2,15	3,34	0,027	0,90	1000	1004,39	14,93	223,04
15	3,23	5,01	0,027	0,90	1000	1006,57	14,90	222,07
20	4,30	6,68	0,027	0,90	1000	1008,77	14,87	221,11
30	6,45	10,02	0,027	0,90	1000	1013,19	14,80	219,18
40	8,60	13,36	0,027	0,90	1000	1017,65	14,74	217,26
60	12,90	20,04	0,027	0,90	1000	1026,71	14,61	213,45
80	17,20	26,72	0,027	0,90	1000	1035,93	14,48	209,66
100	21,50	33,40	0,027	0,90	1000	1045,31	14,35	205,92

Πίνακας B-6.5

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_{δ} κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_{δ} : Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_{δ} : Το ρεύμα που διαρρέει την R_{δ} σε A

(ε) P_{δ} : Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_{δ} σε KW

➤ **R_δ=2000Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,027	0,90	2000	2000,05	7,50	112,49
1	0,22	0,33	0,027	0,90	2000	2000,49	7,50	112,45
2	0,43	0,67	0,027	0,90	2000	2000,92	7,50	112,40
3	0,65	1,00	0,027	0,90	2000	2001,35	7,49	112,35
4	0,86	1,34	0,027	0,90	2000	2001,78	7,49	112,30
6	1,29	2,00	0,027	0,90	2000	2002,64	7,49	112,20
8	1,72	2,67	0,027	0,90	2000	2003,51	7,49	112,11
10	2,15	3,34	0,027	0,90	2000	2004,37	7,48	112,01
15	3,23	5,01	0,027	0,90	2000	2006,54	7,48	111,77
20	4,30	6,68	0,027	0,90	2000	2008,71	7,47	111,53
30	6,45	10,02	0,027	0,90	2000	2013,07	7,45	111,04
40	8,60	13,36	0,027	0,90	2000	2017,46	7,44	110,56
60	12,90	20,04	0,027	0,90	2000	2026,29	7,40	109,60
80	17,20	26,72	0,027	0,90	2000	2035,20	7,37	108,64
100	21,50	33,40	0,027	0,90	2000	2044,21	7,34	107,69

Πίνακας B-6.6

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

➤ **R_δ=3000Ω**

L	R _{γρ} (Ω)	X _{γρ} (Ω)	R _{μ/σ} (Ω)	X _{μ/σ} (Ω)	R _δ (Ω)	Z (Ω)	I _δ (A)	P _δ (KW)
0	0,00	0,00	0,027	0,90	3000	3000,05	5,00	75,00
1	0,22	0,33	0,027	0,90	3000	3000,49	5,00	74,98
2	0,43	0,67	0,027	0,90	3000	3000,92	5,00	74,95
3	0,65	1,00	0,027	0,90	3000	3001,35	5,00	74,93
4	0,86	1,34	0,027	0,90	3000	3001,78	5,00	74,91
6	1,29	2,00	0,027	0,90	3000	3002,64	5,00	74,87
8	1,72	2,67	0,027	0,90	3000	3003,50	4,99	74,83
10	2,15	3,34	0,027	0,90	3000	3004,37	4,99	74,78
15	3,23	5,01	0,027	0,90	3000	3006,53	4,99	74,67
20	4,30	6,68	0,027	0,90	3000	3008,69	4,99	74,57
30	6,45	10,02	0,027	0,90	3000	3013,03	4,98	74,35
40	8,60	13,36	0,027	0,90	3000	3017,39	4,97	74,14
60	12,90	20,04	0,027	0,90	3000	3026,14	4,96	73,71
80	17,20	26,72	0,027	0,90	3000	3034,96	4,94	73,28
100	21,50	33,40	0,027	0,90	3000	3043,83	4,93	72,86

Πίνακας B-6.7

Ρεύματα διάβασης και αναπτυσσόμενη Ισχύς στην R_δ κατά μήκος του αγωγού ACSR 95mm²:

(α) L: Το μήκος της γραμμής σε Km

(β) Z: Η σύνθετη αντίσταση σε Ω

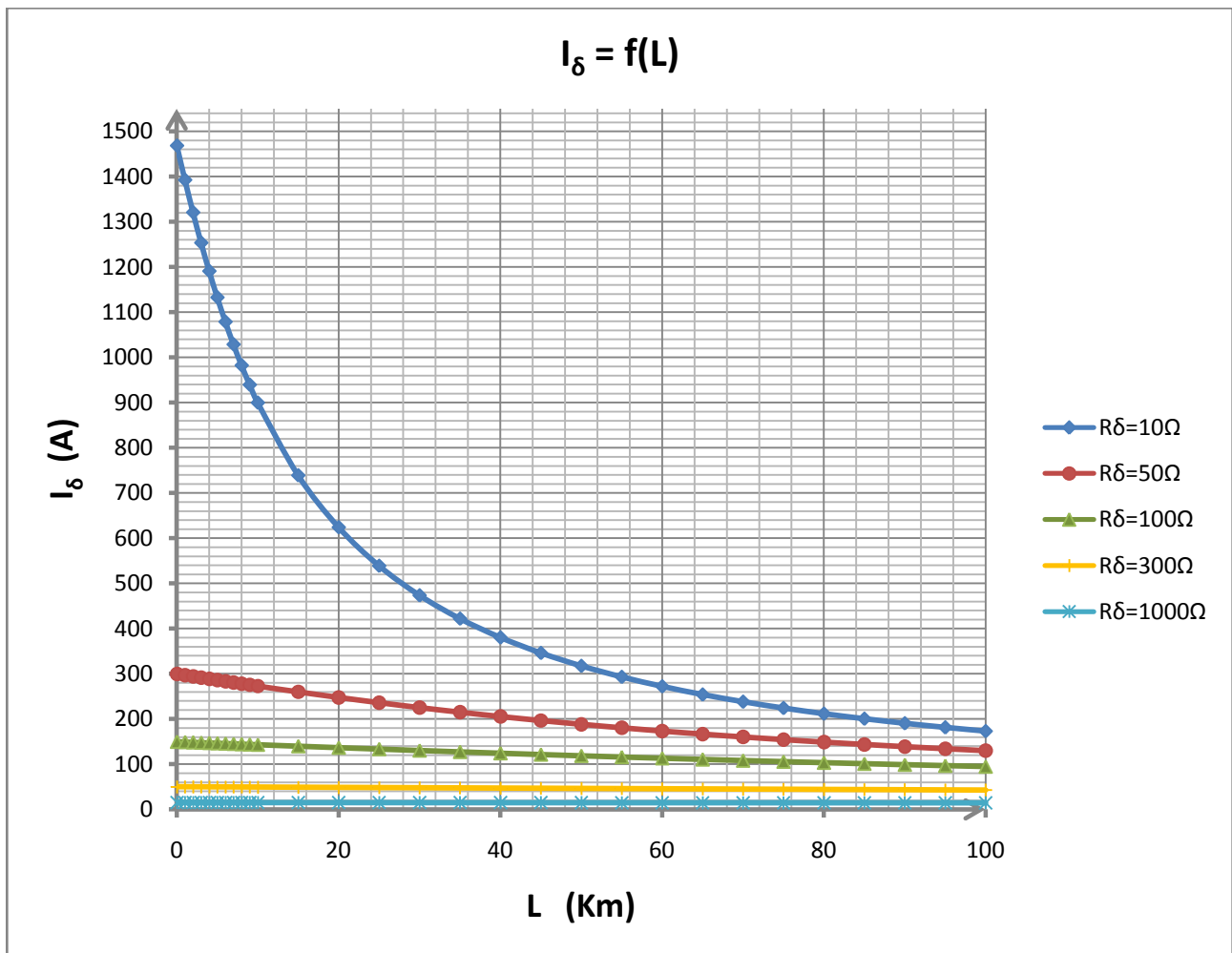
(γ) R_δ: Η τιμή της αντίστασης διάβασης σε Ω

(δ) I_δ: Το ρεύμα που διαρρέει την R_δ σε A

(ε) P_δ: Η ισχύς που αναπτύσσεται στην R_δ σε KW

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

Βασιζόμενοι στα αριθμητικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες, σχεδιάσαμε το διάγραμμα $I=f(L)$ το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως:



Διάγραμμα B-5

Γραφική αναπαράσταση του ρεύματος διάβασης (όπως αυτό υπολογίστηκε στους παραπάνω πίνακες) συναρτήσεως του μήκους του αγωγού ACSR 95mm² για τις διάφορες τιμές της R_{δ}

Παρατηρήσεις

- Όπως παρατηρούμε, στο παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα δε συμπεριλήφθηκαν τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στις δύο μεγάλες τιμές R_{δ} (2000Ω & 3000Ω). Αυτό αποφασίστηκε γιατί όπως ήδη γίνεται αντιληπτό από τις τιμές $R_{\delta}=300\Omega$ και $R_{\delta}=1000\Omega$, σε μεγάλα R_{δ} η επίδραση της αντίστασης γραμμής στο συνολικό Z είναι αμελητέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, η τιμή του ρεύματος I_{δ} μεταβάλλεται ανεπαίσθητα κατά μήκος της γραμμής (ευθεία γραμμή). Έτσι προτιμήθηκε η μη παρουσίαση δυο επιπλέον ευθειών (κάτω από τη ευθεία $R_{\delta}=1000\Omega$) ώστε το διάγραμμα να είναι περισσότερο ευανάγνωστο.
- Επίσης παρατηρούμε ότι για την κατασκευή των διαγραμμάτων εκτός των σημείων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες της παρούσας ενότητας, χρησιμοποιούνται και επιπλέον σημεία με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των καμπυλών.

4.5 Κίνδυνος Πυρκαγιάς

Στην ενότητα αυτή καλούμαστε να ερευνήσουμε αν η ροή ρεύματος μέσω γης εξαιτίας της πτώσης των δύο αγωγών στο έδαφος, οδηγεί στην εκδήλωση πυρκαγιάς στην περιοχή του σφάλματος.

Δύο είναι οι περιπτώσεις που πρέπει να μελετηθούν:

- 1) Η περίπτωση αποκοπής και πτώσης στο έδαφος αγωγών προς την πλευρά του καταναλωτή
- 2) Η περίπτωση αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο φάσεων προς την πλευρά του υποσταθμού όπου γίνεται ο υποβιβασμός της ΥΤ σε ΜΤ.

4.5.1 Αποκοπή δύο φάσεων προς την πλευρά του καταναλωτή

Όπως γνωρίζουμε και από τη δοκιμή υπερθέρμανσης, κανένας εναέριος αγωγός σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας δεν παρουσιάζει αύξηση θερμοκρασίας ($\Delta\theta$) μεγαλύτερη από **55°C**. Λαμβάνοντας ως θερμοκρασία περιβάλλοντος $\theta_0=40^\circ\text{C}$ (ακραία περίπτωση που συναντάται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπό κανονικές συνθήκες η **θερμοκρασία του αγωγού** δεν ξεπερνά την τιμή $\theta_a=\theta_0+\Delta\theta=95^\circ\text{C}$.

Σε περίπτωση αποκοπής δύο φάσεων προς την πλευρά του καταναλωτή, τα ρεύματα που θα διαρρέουν πλέον τις δύο φάσεις θα είναι προφανώς μικρότερα από αυτά της κανονικής λειτουργίας. Σαν αποτέλεσμα και η θερμοκρασία στους αγωγούς είναι σημαντικά μικρότερη των 95°C που έτσι και αλλιώς είναι μικρή για να προκαλέσει ανάφλεξη σε κάποιο υλικό (Πίνακας 5-1 Εισαγωγής).

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως στην περίπτωση που δύο αγωγοί αποκοπούν προς την πλευρά του καταναλωτή και πέσουν στο έδαφος, δε υπάρχει κίνδυνος για εκδήλωση πυρκαγιάς.

4.5.2 Αποκοπή δύο φάσεων προς την πλευρά του ΚΥΤ

Στο σημείο πτώσης των δύο αγωγών και εφόσον μιλάμε κάποιο σημείο της υπαίθρου, είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν κάποια εύφλεκτα υλικά (Χαρτί, Ξύλο, PVC, Μαλλί κλπ). Αυτό που καλούμαστε να ερευνήσουμε είναι αν οι **θερμοκρασίες που αναπτύσσονται** εξαιτίας του ρεύματος που ρέει δια μέσου της γης, υπερβαίνουν τις **θερμοκρασίες ανάφλεξης**. Επίσης ενδιαφέρον στοιχείο, είναι και ο **χρόνος που θα χρειαστεί μέχρι την ανάφλεξη** των υλικών ώστε να δούμε κατά πόσον μια έγκαιρη διάγνωση και απομόνωση του σφάλματος από κάποιο μέσο προστασίας, θα μπορέσει να αποτρέψει ενδεχόμενη πυρκαγιά.

Από φυσική άποψης το σύστημα μας είναι ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα εύφλεκτου υλικού-αγωγού. Για την ενέργεια του συστήματος αυτού μπορούμε να γράψουμε την ακόλουθη σχέση:

$$E_{εισ} - E_{εξ} = \Delta U_{αγωγού} + \Delta U_{υλικού} \quad (B-5.1)$$

Τα μεγέθη της σχέσης αυτής είναι:

- ✓ $E_{εισ}$: Η εισερχόμενη στο σύστημα ενέργεια, οφειλόμενη στις ωμικές απώλειες της αντίστασης διάβασης (R_{δ}). Θεωρητικά στην ενέργεια αυτή συμβάλουν και οι ωμικές απώλειες πάνω στο τμήμα του αγωγού που εφάπτεται στο έδαφος. Πρακτικά όμως τη συνιστώσα αυτή μπορούμε να τη θεωρήσουμε αμελητέα.

Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργεια αυτής είναι η ηλεκτρική ισχύς και επομένως:

$$\frac{dE_{εισ}}{dt} = P_{ηλ} = I^2 R_{\delta} \quad (B-5.2)$$

- ✓ $E_{εξ}$: Η απαγόμενη ενέργεια στο περιβάλλον μέσω του αέρα. Η ενέργεια αυτή προέρχεται κυρίως από την εξωτερική επιφάνεια B του αγωγού η οποία εφάπτεται στο έδαφος.

Για τον ρυθμό μεταβολής της απαγόμενης ενέργειας(ή αλλιώς απαγόμενη ισχύς P_a) γνωρίζουμε:

$$\frac{dE_{εξ}}{dt} = P_a = K \cdot B \cdot \Delta\theta \quad (B-5.3)$$

Όπου K είναι ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας για τον αέρα και:

$$K = 7 + v \cdot 400 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ με τη μεταβλητή } v \text{ να συμβολίζει την ταχύτητα του ανέμου}$$

Στους υπολογισμούς της παρούσας ενότητας, θα θεωρήσουμε συνθήκες άπνοιας και επομένως $v=0$. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τη δυσμενέστερη περίπτωση όπου η απαγωγή θερμότητας στον αέρα είναι η μικρότερη δυνατή.

Η εξωτερική επιφάνεια B του αγωγού δίνεται από τη σχέση:

$$B = 2\pi r(l - 10) = \pi \cdot \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \cdot (l - 10) = 3,54 \cdot \sqrt{A} \cdot (l - 10)$$

με το A να συμβολίζει τη διατομή του αγωγού και τον παράγοντα $(l-10)$ να αντιπροσωπεύει το μήκος του αγωγού που έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Επειδή η απόσταση μεταξύ δύο στύλων της ΔΕΗ δεν ξεπερνά τα 50m η τιμή του $l < 50m$. Από το μήκος αυτό αφαιρείται το 10 γιατί αυτό είναι ύψος ενός στύλου και επομένως για τα πρώτα 10m από το στύλο αποκλείεται να έχουμε επαφή του αγωγού στο έδαφος.

$\Delta\theta$ είναι η αύξηση της θερμοκρασίας σε $^\circ C$.

Αντικαθιστώντας τα K, B στην σχέση B-5.3 προκύπτει η τελική σχέση για την απαγόμενη ενέργεια:

$$\frac{dE_{εξ}}{dt} = P_a = 24,8 \cdot (l - 10) \cdot \sqrt{A} \cdot \Delta\theta \quad (B-5.4)$$

- ✓ $\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon}$: Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αγωγού. Η σχέση που μας δίνει την εσωτερική ενέργεια του αγωγού είναι:

$$\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} = m_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \Delta\theta$$

όπου c είναι η ειδική θερμότητα που αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε υλικού.

Παραγωγίζοντας ως προς το χρόνο την παραπάνω σχέση παίρνουμε:

$$\frac{d(\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon})}{dt} = m_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} = d \cdot V \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} = d \cdot \pi r^2 (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt}$$

$$\text{Άρα} \quad \frac{d(\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon})}{dt} = d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} \quad (B-5.5)$$

- ✓ $\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon}$: Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του εύφλεκτου υλικού. Κατ' αντιστοιχία με πριν η εσωτερική ενέργεια του υλικού υπολογίζεται:

$$\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} = m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot \Delta\theta$$

όπου c είναι η ειδική θερμότητα, χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε υλικού.

Παραγωγίζοντας ως προς το χρόνο την παραπάνω σχέση παίρνουμε:

$$\frac{d(\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon})}{dt} = m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} \quad (B-5.6)$$

Παρατηρώ πως στις σχέσεις B-5.2 έως B-5.6 έχω υπολογίσει τις εκφράσεις των παραγώγων κάθε όρου της σχέσης B-5.1. Η παραγωγή της σχέσης B-5.1 δίνει:

$$E_{\epsilon\iota\sigma} - E_{\epsilon\xi} = \Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} + \Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \quad \frac{d}{dt} \Rightarrow \boxed{\frac{dE_{\epsilon\iota\sigma}}{dt} - \frac{dE_{\epsilon\xi}}{dt} = \frac{d(\Delta U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon})}{dt} + \frac{d(\Delta U_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon})}{dt}}$$

Και επομένως από τις σχέσεις B-5.2 έως B-5.6 έχουμε:

$$P_{\eta\lambda} - P_a = d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} + m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} \Leftrightarrow$$

$$I^2 R_{\delta} = 24,8 \cdot (l - 10) \cdot \sqrt{A} \cdot \Delta\theta + [d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} + m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon}] \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} \Leftrightarrow$$

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{24,8 \cdot (l - 10) \cdot \sqrt{A}}{[d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} + m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon}]} \cdot \Delta\theta = \frac{I^2 R_{\delta}}{[d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} + m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon}]} \Leftrightarrow$$

Θέτοντας:

$$A = \frac{24,8 \cdot (l - 10) \cdot \sqrt{A}}{[d \cdot \pi r^2 \cdot (l - 10) \cdot c_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} + m_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon} \cdot c_{\upsilon\lambda\iota\kappa\acute{o}\upsilon}]} \quad (B-5.7)$$

Καθώς επίσης:

$$B = \frac{I^2 R_{\delta}}{[d \cdot \pi r^2 \cdot (1-10) \cdot c_{\text{αγωγού}} + m_{\text{υλικού}} \cdot c_{\text{υλικού}}]} \quad (B-5.8)$$

Και με βάση αυτές τις αντικαταστάσεις η σχέση παίρνει τη μορφή:

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

Τη μορφή δηλαδή μιας διαφορικής εξίσωσης πρώτης τάξης. Επιλύοντας τη διαφορική βρίσκω μια σχέση που μου δίνει την υπερθέρμανση στο σημείο του σφάλματος.

Η γενική λύση της διαφορικής εξίσωσης θα είναι (με το λ να αποτελεί μια σταθερά):

$$\Delta\theta = e^{-\int A \cdot dt} \cdot \left(\int B \cdot e^{\int A \cdot dt} dt + \lambda \right) \Rightarrow$$

$$\Delta\theta = e^{-A \cdot t} \cdot \left(\int B \cdot e^{A \cdot t} dt + \lambda \right) \Rightarrow$$

$$\Delta\theta = e^{-A \cdot t} \cdot \left(\frac{B}{A} \cdot e^{A \cdot t} + \lambda \right) \Rightarrow$$

$$\Delta\theta = \left(\frac{B}{A} + \lambda \cdot e^{-A \cdot t} \right)$$

Επειδή οι αρχικές τιμές είναι μηδενικές (για $t=0$ τότε $\Delta\theta=0$) η σταθερά λ έχει τιμή $\lambda = -\frac{B}{A}$ και επομένως η λύση της διαφορικής εξίσωσης είναι:

$$\Delta\theta = \frac{B}{A} \cdot (1 - e^{-A \cdot t}) \quad (B-5.9)$$

και αντικαθιστώντας όπου A και B τις παραστάσεις που τους αντιστοιχούν:

$$\Delta\theta = \frac{I^2 R_{\delta}}{24,8 \cdot (1-10) \cdot \sqrt{A}} \cdot (1 - e^{-A \cdot t})$$

Επιλύοντας τη σχέση (B-5.9) ως προς το χρόνο, καταλήγω σε μια σχέση η οποία μου δίνει το χρόνο που απαιτείται ώστε η υπερθέρμανση στον αγωγό να πάρει την τιμή $\Delta\theta$.

Η σχέση αυτή είναι: $e^{-A \cdot t} = 1 - \frac{A}{B} \cdot \Delta\theta \Leftrightarrow -A \cdot t = \ln\left(1 - \frac{A}{B} \cdot \Delta\theta\right)$

$$\Leftrightarrow t = -\frac{\ln\left(1 - \frac{A}{B} \cdot \Delta\theta\right)}{A} \quad (B-5.10)$$

Για τον αγωγό τύπου **ACSR 95mm²** επισημάνθηκε στην εισαγωγή πως η **πραγματική διατομή είναι A=156mm²** (Παράγραφος 1.3- «Αγωγοί εναέριων δικτύων»). Επιπλέον οι τιμές βασικών μεγεθών που αφορούν τους αγωγούς ACSR 95mm² είναι [25]:

$$\text{Η ειδική αντίσταση } \rho = 2,63 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m \quad \text{Πυκνότητα } d = 2,7 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

$$A = \pi r^2 = 156mm^2 \Rightarrow r = 7,05 \cdot 10^{-3}m$$

Ακολούθως, θα προχωρήσουμε σε υπολογισμό του χρόνου ανάφλεξης ($t_{\text{ανάφλεξης}}$), ο οποίος είναι ο χρόνος που απαιτείται μέχρι κάποια ο εύφλεκτα υλικά που είναι πιθανόν να βρεθούν στην περιοχή του σφάλματος να φτάσουν στις θερμοκρασίες ανάφλεξης τους.

4.5.3 Υπολογισμός χρόνων ανάφλεξης για ορισμένα υλικά

Οι υπολογισμοί θα γίνουν σε δύο ενότητες ανάλογα με τις τιμές ρεύματος που ρέουν κατά μήκος της αντίστασης R_{δ} . Όπως έγινε αντιληπτό από τους πίνακες της *Ενότητας 4.4 (Μέρους Β)*, τα **ρεύματα I_{δ}** ανάλογα και με την τιμή της εκάστοτε αντίστασης διάβασης (R_{δ}) παίρνουν τιμές από **μερικά αμπέρ** (για μεγάλες R_{δ}) **έως και KA** (για μικρές τιμές της R_{δ}). Αυτό που οφείλουμε να λάβουμε υπόψη μας είναι πως για τιμές ρευμάτων I_{δ} κάτω από τα **50A** τα μέσα προστασίας του δικτύου διανομής δεν είναι σε θέση να αντιληφθούν το σφάλμα (**ρεύμα διαρροής**) και να διακόψουν την παροχή ρεύματος. Αντιθέτως για μεγάλες τιμές ρευμάτων (**ρεύματα βραχυκύκλωσης**), τα μέσα προστασίας **ενεργοποιούνται** και διακόπτουν το κύκλωμα σε χρόνους της τάξης των **0,4sec**.

- **Περίπτωση ρευμάτων βραχυκύκλωσης**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα ρεύματα αυτά έχουν τέτοιες τιμές που οδηγούν στην ενεργοποίηση των μέσων προστασίας (ΔΑΕ, ΑΔΕ, ασφάλειες τήξεως κλπ). Επομένως, σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος που απαιτείται μέχρι την ανάφλεξη των υλικών (**χρόνος ανάφλεξης**) που πιθανόν βρίσκονται στην περιοχή του σφάλματος είναι παράμετρος μείζονος σημασίας. Αν ο χρόνος αυτός είναι **μεγαλύτερος των 0,4sec** τότε είναι πολύ πιθανό το κύκλωμα να έχει προλάβει να τεθεί **εκτός** λειτουργίας πριν την εκδήλωση πυρκαγιάς. Σε διαφορετική περίπτωση τα υπάρχοντα μέσα προστασίας δεν είναι σε θέση να αποτρέψουν μια ενδεχόμενη πυρκαγιά.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένοι υπολογισμοί. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν με βάση τις σχέσεις B-5.7, B-5.8, B-5.10. Θεωρήσαμε τρία διαφορετικά υλικά (*Χαρτί, Πευκόξυλο, PVC*) **μάζας $m=1kg$** από το κάθε ένα και για τα υλικά αυτά υπολογίσαμε πιθανούς χρόνους ανάφλεξης (σχέση B-5.10). Οι τιμές ρευμάτων (I_{δ}) για τις οποίες έγιναν υπολογισμοί είναι τα **1800A, 1000A και 400A**.

Η τιμή $I_δ=1800A$ προσεγγίζει το μέγιστο ρεύμα που θα μπορούσε να διέλθει μέσω του εδάφους κατά την αποκοπή δύο αγωγών. Αυτή η τιμή εμφανίζεται (όπως φαίνεται από τον πίνακα Β-3.1) για την περίπτωση δικτύου **50MVA/20KV** και εφόσον το σφάλμα λάβει χώρα κατά το πρώτο χιλιόμετρο της γραμμής. Προφανώς πρόκειται για μια ακραία περίπτωση η οποία όμως οδηγεί στις δυσμενέστερες επιπτώσεις και επομένως οφείλουμε να την εξετάσουμε. Όσον αφορά την τιμή $I_δ=1000A$ αποτελεί και αυτή με τη σειρά της μια υψηλή τιμή ρεύματος διάβασης χωρίς όμως να είναι ακραία. Όπως φαίνεται στους πίνακες υπολογισμών του Μέρους Β είναι μια τιμή που συναντάται για μικρές τιμές αντίστασης διάβασης (της τάξης των 10Ω) σε όλες όμως τις περιπτώσεις δικτύων. Επομένως η τιμή αυτή είναι αντιπροσωπευτική σφαλμάτων με μικρή αντίσταση διάβασης $R_δ$. Τέλος, ρεύματα κοντά στο $I_δ=400A$ παρατηρούνται με αρκετά μεγάλη συχνότητα, είτε σε σφάλματα που συμβαίνουν αρκετά χιλιόμετρα μακριά από την αρχή της γραμμής, ακόμα και αν η αντίσταση διάβασης είναι μικρή, είτε σε σφάλματα που εκδηλώνονται μεν στα πρώτα χιλιόμετρα της γραμμής, αλλά η αντίσταση διάβασης είναι μεγαλύτερη.

Ο χρόνος ανάφλεξης υπολογίζεται από τη σχέση Β-5.10, θέτοντας ως τιμή υπερθέρμανσης την τιμή που απαιτείται ώστε κάθε υλικό να φτάσει στη θερμοκρασία ανάφλεξης του ($\Delta\theta=\Delta\theta_{\text{αναφ.}}$). Η υπερθέρμανση μέχρι το σημείο ανάφλεξης, υπολογίζεται αφαιρώντας από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του εκάστοτε υλικού τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (την οποία θεωρήσαμε $\theta_0=40^\circ C$ εκλαμβάνοντας έτσι τη δυσμενέστερη περίπτωση).

Σημαντικός παράγοντας που καθορίζει το χρόνο ανάφλεξης είναι το μήκος αγωγού που εφάπτεται με το έδαφος. Στην περίπτωση μας στο έδαφος εφάπτονται δύο αγωγοί και επομένως το μήκος αυτό αυτομάτως διπλασιάζεται. Από την κατασκευή του δικτύου γνωρίζουμε πως η μέση απόσταση μεταξύ δύο πυλώνων της ΔΕΗ είναι 50m. Με δεδομένο ότι το ύψος κάθε πυλώνα ανέρχεται στα 10m, το μήκος αγωγού που είναι πιθανό να εφάπτεται στο έδαφος υπολογίζεται ως $l-10$, όπου το l υποδηλώνει σε ποια απόσταση από τον πυλώνα συνέβη η αποκοπή του αγωγού. Προφανώς βάση των όσων αναφέρθηκαν $10m < l \leq 50m$.

Για κάθε υλικό υπολογίστηκαν 5 διαφορετικοί χρόνοι ανάφλεξης ($t_{12.5}$, t_{15} , t_{20} , t_{30} , t_{40}) όπου ο δείκτης που συνοδεύει τα t δηλώνει σε ποιο σημείο της απόστασης μεταξύ δύο πυλώνων (50m) αποκόπηκε ο αγωγός. Για χάρην απαλότητας στους υπολογισμούς θεωρούμε πως και οι δύο αγωγοί αποκόπτονται στο ίδιο l και επομένως το συνολικό μήκος αγωγού που έρχεται σε επαφή με το έδαφος θα είναι $2 \cdot (l-10)m$.

Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

✓ Για ρεύμα $I_{\delta}=1800A$

Υλικό	$c_{υλικού}$ (J/Kg°C)	$\Theta_{ανάφλεξης}$ (°C)	$\Delta\theta_{ανάφ.}$ (°C)	$t_{12.5}$ (s)	t_{15} (s)	t_{20} (s)	t_{30} (s)	t_{40} (s)
Χαρτί	1400	220	180	0,02	0,03	0,05	0,09	0,18
Πευκόξυλο	2800	228	188	0,03	0,04	0,06	0,11	0,19
PVC	840	391	351	0,03	0,05	0,09	0,18	0,34

Πίνακας 1

Χρόνοι ανάφλεξης υλικών εξαιτίας αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο αγωγών ACSR 95mm² όταν το ρεύμα διάβασης κατά το σφάλμα είναι $I_{\delta}=1800A$:

(α) c: ειδική θερμότητα του υλικού (β) $\Theta_{ανάφλεξης}$: Η θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού

(γ) $\Delta\theta_{ανάφ.}$: Η υπερθέρμανση $\Theta_{ανάφ.}-\theta_{περιβάλλοντος}$ (δ) t_i : Ο χρόνος ανάφλεξης του υλικού σε sec.

Ο δείκτης l του χρόνου δείχνει την απόσταση σε μέτρα από τον πυλώνα έως το σημείο όπου αποκόπηκε ο κάθε αγωγός

✓ Για ρεύμα $I_{\delta}=1000A$

Υλικό	$c_{υλικού}$ (J/Kg°C)	$\Theta_{ανάφλεξης}$ (°C)	$\Delta\theta_{ανάφ.}$ (°C)	$t_{12.5}$ (s)	t_{15} (s)	t_{20} (s)	t_{30} (s)	t_{40} (s)
Χαρτί	1400	220	180	0,06	0,09	0,16	0,30	0,58
Πευκόξυλο	2800	228	188	0,09	0,12	0,20	0,34	0,63
PVC	840	391	351	0,10	0,16	0,30	0,57	1,11

Πίνακας 2

Χρόνοι ανάφλεξης υλικών εξαιτίας αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο αγωγών ACSR 95mm² όταν το ρεύμα διάβασης κατά το σφάλμα είναι $I_{\delta}=1000A$:

(α) c: ειδική θερμότητα του υλικού (β) $\Theta_{ανάφλεξης}$: Η θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού

(γ) $\Delta\theta_{ανάφ.}$: Η υπερθέρμανση $\Theta_{ανάφ.}-\theta_{περιβάλλοντος}$ (δ) t_i : Ο χρόνος ανάφλεξης του υλικού σε sec.

Ο δείκτης l του χρόνου δείχνει την απόσταση σε μέτρα από τον πυλώνα έως το σημείο όπου αποκόπηκε ο κάθε αγωγός

✓ Για ρεύμα $I_{\delta}=400A$

Υλικό	$c_{\text{υλικού}}$ (J/Kg ^o C)	$\theta_{\text{ανάφλεξης}}$ (^o C)	$\Delta\theta_{\text{ανάφ.}}$ (^o C)	$t_{12.5}$ (s)	t_{15} (s)	t_{20} (s)	t_{30} (s)	t_{40} (s)
Χαρτί	1400	220	180	0,37	0,59	1,02	1,88	3,61
Πευκόξυλο	2800	228	188	0,55	0,78	1,23	2,13	3,94
PVC	840	391	351	0,60	1,03	1,87	3,55	6,93

Πίνακας 3

Χρόνοι ανάφλεξης υλικών εξαιτίας αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο αγωγών ACSR 95mm² όταν το ρεύμα διάβασης κατά το σφάλμα είναι $I_{\delta}=400A$:

(α) c : ειδική θερμότητα του υλικού

(β) $\theta_{\text{ανάφλεξης}}$: Η θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού

(γ) $\Delta\theta_{\text{ανάφ.}}$: Η υπερθέρμανση $\theta_{\text{ανάφ.}} - \theta_{\text{περιβάλλοντος}}$

(δ) t_i : Ο χρόνος ανάφλεξης του υλικού σε sec.

Ο δείκτης l του χρόνου δείχνει την απόσταση σε μέτρα από τον πυλώνα έως το σημείο όπου αποκόπηκε ο κάθε αγωγός

Παρατηρήσεις και Σχόλια επί των Πινάκων

Όπως αντιλαμβανόμαστε από τους παραπάνω πίνακες οι χρόνοι ανάφλεξης παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος τιμών. Μια πρώτη παρατήρηση είναι πως για τη μέγιστη τιμή του ρεύματος I_{δ} , ακόμα και ο μεγαλύτερος χρόνος ανάφλεξης βρίσκεται κάτω από το όριο των 0,4sec. Επομένως μπορούμε να πούμε πως αν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνει χώρα το σφάλμα είναι ικανές να δώσουν **ρεύμα της τάξης των 1800A, η εκδήλωση πυρκαγιάς είναι δεδομένη.**

Από την άλλη πλευρά, για ρεύματα κοντά στα 1000A παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ανάλογα με το υλικό και το σημείο στο οποίο γίνεται η αποκοπή των αγωγών. Συγκεκριμένα για το χαρτί και το πευκόξυλο που είναι τα πιο εύφλεκτα από τα τρία υλικά, οι χρόνοι ανάφλεξης είναι κατά κύριο λόγο κάτω από το όριο ασφαλείας των 0,4s και επομένως σε εμφάνιση τέτοιων ρευμάτων τα υλικά αυτά θα πάρουν πιθανότατα φωτιά. Η μόνη περίπτωση να μη συμβεί κάτι τέτοιο είναι η αποκοπή των αγωγών να συμβεί σε απόσταση μεγαλύτερη των 35m από τον πυλώνα που βρίσκεται προς την πλευρά της υψηλής τάσης. Τα ίδια ισχύουν σε γενικές γραμμές και στο PVC με τη μόνη διαφορά ότι εδώ αποτρέπεται η εκδήλωση πυρκαγιάς ακόμα και αν η απόσταση l είναι μεγαλύτερη των 25m (καθώς το PVC έχει υψηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης).

Τέλος, για ρεύματα κοντά στα 400A παρατηρούμε πως οι χρόνοι αποκοπής των μέσων προστασίας μας καλύπτουν σχεδόν σε κάθε περίπτωση. Άρα γίνεται αντιληπτό πως η τιμή των 400A αποτελεί ένα κατώφλι κάτω από το οποίο οι χρόνοι που απαιτούνται για να αναφλεγούν τα υλικά είναι μεγαλύτεροι από το χρόνο που χρειάζονται τα μέσα προστασίας για να διακόψουν το κύκλωμα. Φυσικά δεν πρέπει να ξεχνάμε πως για να ισχύει αυτό πρέπει η τιμή

του I_{δ} να είναι τουλάχιστον 50A προκειμένου το ρεύμα διάβασης να είναι ανιχνεύσιμο από τα μέσα προστασίας.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

- ✓ Για τιμές ρευμάτων I_{δ} κοντά στα 1800A θα έχουμε εκδήλωση πυρκαγιάς
- ✓ Για τιμές ρευμάτων κοντά στα 1000A η εκδήλωση πυρκαγιάς είναι πολύ πιθανή ανεξάρτητα τι υλικό βρίσκεται επί του εδάφους, εκτός αν το σημείο στο οποίο γίνει η αποκοπή των αγωγών ACSR95mm² απέχει πάνω από 25m από τον κοντινότερο στύλο προς την πλευρά της υψηλής τάσης.
- ✓ Για ρεύματα κάτω από τα 400A ($50 < I_{\delta} \leq 400$) οι υπάρχουσες προστασίες του δικτύου αρκούν για να μας προστατέψουν από την εκδήλωση πυρκαγιάς.

• Περίπτωση ρευμάτων διαρροής

Όταν η αντίσταση διάβασης είναι μεγάλη (μεγαλύτερη των 300Ω) τότε το ρεύμα που διέρχεται από αυτήν μπορεί να πάρει **τιμές μικρότερες των 50A**. Τα ρεύματα αυτά παρότι δείχνουν μικρά σε σύγκριση με τα ρεύματα βραχυκύκλωσης, κατά γενική ομολογία είναι περισσότερο **επικίνδυνα**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να περάσουν «απαρατήρητα» από τα μέσα προστασίας του δικτύου ρέοντας έτσι ανεξέλεγκτα στο έδαφος. Οι συνέπειες της ανεξέλεγκτης αυτής ροής ρεύματος είναι κατά πρώτον ότι **θέτουν σε άμεσο κίνδυνο τη ζωή οποιουδήποτε ανθρώπου** διέλθει από το σημείο του σφάλματος και κατά δεύτερον **οδηγούν** πιθανότατα (όπως θα εξηγήσουμε στην παράγραφο αυτή) **στην εκδήλωση πυρκαγιάς**.

Εφόσον δεν έχουμε ενεργοποίηση κάποιου μέσου προστασίας δεν αναμένουμε κατ' επέκταση άμεση διακοπή ροής ρεύματος στο σημείο του σφάλματος. Από μαθηματική άποψης αυτό σημαίνει πως ο χρόνος που βρίσκεται στον εκθέτη της σχέσης B-5.9 μπορεί να πάρει στη χειρότερη των περιπτώσεων εξαιρετικά μεγάλη τιμή. Αυτό έχει ως συνέπεια ο όρος $e^{-A \cdot t}$ πρακτικά να μπορεί να θεωρηθεί μηδενικός. Σαν αποτέλεσμα αυτού η σχέση B-5.9 που μας δίνει την υπερθέρμανση του αγωγού μπορεί να πάρει την ακόλουθη μορφή:

$$\Delta\theta = \frac{I^2 R_{\delta}}{24,8 \cdot (1-10) \cdot \sqrt{A}} \quad (B-5.11)$$

Προκειμένου να διαπιστώσουμε κατά πόσο τα ρεύματα διαρροής οδηγούν σε εκδήλωση πυρκαγιάς, αρχικά θα υπολογίσουμε τι ηλεκτρική ισχύς ($P_{\eta\lambda} = I^2 R_{\delta}$) απαιτείται να καταναλώνεται πάνω στην αντίσταση R_{δ} ώστε η υπερθέρμανση του αγωγού να φτάσει στα επίπεδα της υπερθέρμανσης ανάφλεξης ($\Delta\theta_{\text{αναφ.}}$) των υλικών. Εν συνεχεία συγκρίνοντας την ισχύ αυτή με την ισχύ P_{δ} που υπολογίσαμε στην αρχή *Μέρους Β*, μπορούμε να αποφανθούμε κατά πόσο είναι πιθανή η εκδήλωση πυρκαγιάς.

Με βάση τα όσα αναφέραμε, υπολογίζουμε ποια είναι η ισχύς P_{δ} πάνω από την οποία το χαρτί (το οποίο έχει και τη χαμηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης) παίρνει φωτιά. Την ισχύ αυτή θα την ονομάσουμε ισχύ ανάφλεξης ($P_{\text{ανάφ}}$).

Για να έχουμε στα τμήματα του αγωγού που βρίσκονται στο έδαφος θερμοκρασία $\theta = \theta_{\text{ανάφ}}$, πρέπει και $\Delta\theta = \Delta\theta_{\text{ανάφ}} = 180^{\circ}\text{C}$. Άρα για να έχουμε εκδήλωση πυρκαγιάς πρέπει σύμφωνα με τη σχέση B-5.11:

$$\Delta\theta = \frac{I^2 R_{\delta}}{24,8 \cdot (1 - 10) \cdot \sqrt{A}} \geq 180^{\circ}\text{C} \Rightarrow P_{\eta\lambda} \geq 4,5\text{kW}$$

Η ισχύς ανάφλεξης είναι $P_{\text{ανάφ}} = 4,5\text{kW}$ και επομένως όταν $P_{\delta} > 4,5\text{kW}$ με ταυτόχρονο ρεύμα I_{δ} μικρότερο των 50A αυτό συνεπάγεται εκδήλωση πυρκαγιάς.

Πρέπει να τονίσουμε πως κατά τον υπολογισμό θεωρήσαμε πως στο έδαφος εφάπτονται συνολικά **80m αγωγού ACSR95mm²** (40m από την κάθε γραμμή). Με τον τρόπο αυτό υπολογίσαμε τη **μέγιστη ισχύ ανάφλεξης** καθώς όσο μικρότερο είναι το επαπτόμενο μήκος τόσο μικρότερη θα είναι και η $P_{\text{ανάφ}}$. Προφανώς αν η ισχύς P_{δ} πάνω στην αντίσταση διάβασης ξεπερνά αυτή την τιμή, θα ξεπερνά και κάθε μικρότερη της.

Η μικρότερη τιμή ισχύος P_{δ} συναντάται στον *Πίνακα B-4.7* και είναι $P_{\delta\text{min}} = 72,85\text{kW} > P_{\text{ανάφ}}$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε ρεύμα $I_{\delta} = 4,93\text{A} < 50\text{A}$ με $R_{\delta} = 3000\Omega$. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε πως τα **ρεύματα διαρροής** οποιασδήποτε τιμής και ανεξαρτήτως της τιμής R_{δ} οδηγούν σε **εκδήλωση πυρκαγιάς**. Είναι βέβαιο πως η ανάφλεξη των υλικών σε αυτή την περίπτωση ρευμάτων δε γίνεται ακαριαία, όμως η αδυναμία έγκαιρης διακοπής της ροής τέτοιων ρευμάτων στο έδαφος, οδηγεί τελικά με βεβαιότητα σε εκδήλωση πυρκαγιάς.

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να πούμε ότι τα ρεύματα διαρροής εφόσον δεν έχει εγκατασταθεί κάποιο εξειδικευμένο μέσο προστασίας θα προκαλέσουν εκδήλωση πυρκαγιάς εφόσον στο σημείο του σφάλματος υπάρχουν εύφλεκτα υλικά.

Η αντιμετώπιση των κινδύνων που παρουσιάστηκαν στις παραπάνω ενότητες είναι ένα θέμα που θα μας απασχολήσει στη συνέχεια της εργασίας.

4.6 Μέθοδοι προστασίας γραμμών

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε στις τεχνικές προστασίας με χρήση ηλεκτρονόμων που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες για την προστασία των γραμμών του δικτύου. Το κομμάτι αυτό, έχει κυρίως χαρακτήρα εισαγωγής στις διάφορες προστασίες του δικτύου. Στο δεύτερο κομμάτι της ενότητας, θα παρουσιαστούν τεχνικές για την αντιμετώπιση των ρευμάτων διαρροής τις συνέπειες των οποίων είδαμε προηγουμένως.

4.6.1 Τεχνικές προστασίας με χρήση ηλεκτρονόμων

Στις τεχνικές προστασίας με ηλεκτρονόμους που χρησιμοποιούνται σε γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται τα εξής [26]:

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

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

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

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

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

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

✓ **Ηλεκτρονόμοι αποστάσεως (distance relays)**

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

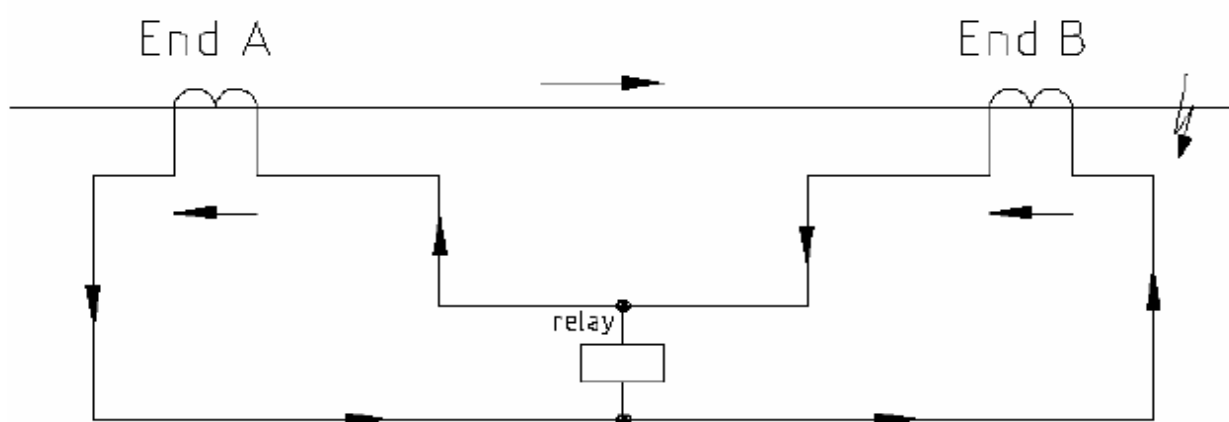
✓ **Σύστημα «τηλεπροστασίας» (pilot protection system)**

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

✓ Σύστημα Ισοροπίας εντάσεως (Current balance)

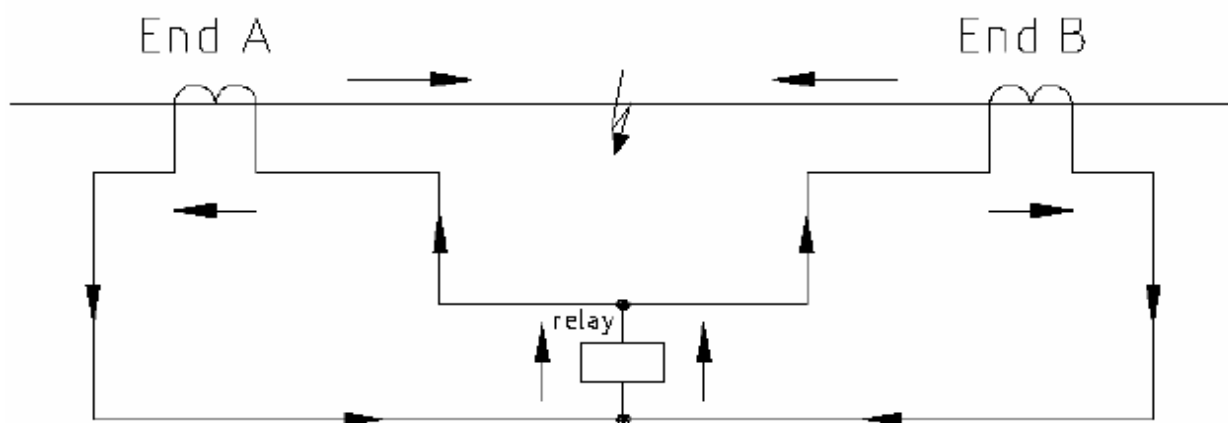
Η Διαφορική Προστασία, όπως υποδηλώνει και η ονομασία, συγκρίνει τα ρεύματα που εισέρχονται και εξέρχονται από τη ζώνη προστασίας και λειτουργεί όταν η διαφορά τους υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή.

Η αρχή λειτουργίας του **συστήματος ισοροπίας εντάσεως (balanced circulating current system)** παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1-1. Οι μετασχηματιστές εντάσεως συνδέονται εν σειρά και ο ηλεκτρονόμος προστασίας συνδέεται στη μέση του κυκλώματος ελέγχου. Σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας ή σε περίπτωση σφάλματος εκτός της ζώνης προστασίας A-B, τα ρεύματα στο δευτερεύον και των δυο μετασχηματιστών εντάσεως είναι ίσα, οπότε σύμφωνα με το Νόμο Εντάσεως του Kirchhoff δεν κυκλοφορεί ρεύμα από το πηνίο του ηλεκτρονόμου και μένει ανενεργός (ισοροπία εντάσεως) [27].



Σχήμα 6.1-1: Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος ελέγχου ενός διαφορικού ηλεκτρονόμου εντάσεως σε περίπτωση μη σφάλματος ή σφάλματος εκτός της ζώνης προστασίας A-B.

Αντίθετα, σε περίπτωση σφάλματος εντός της ζώνης προστασίας A-B, η ροή ισχύος και ρεύματος είναι προς το σημείο βραχυκύκλωσης, οπότε παύει να ισχύει η ισοροπία εντάσεως στο κύκλωμα ελέγχου, δηλαδή κυκλοφορεί ρεύμα από το πηνίο του ηλεκτρονόμου και αυτός ενεργοποιείται (Σχήμα 6.1-2) [27].



Σχήμα 6.1-2: Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος ελέγχου ενός διαφορικού ηλεκτρονόμου εντάσεως σε περίπτωση σφάλματος εντός της ζώνης προστασίας A-B.

Η διαφορική προστασία εντάσεως (current balance), χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς για να συγκρίνει τα ρεύματα δυο παράλληλων αγωγών, με σκοπό τον εντοπισμό σφάλματος σε έναν αγωγό από αυτούς. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου προστασίας είναι ότι *δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την προστασία ενός μόνο αγωγού* [28].

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 ή μικροκύματα. Μια άλλη κοινή μέθοδος για την εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακής ζεύξης μεταξύ των δυο άκρων της γραμμής είναι μέσω της ίδιας της γραμμής ισχύος (**power line carrier, plc**). Το υψίσυχο σήμα διαβιβάζεται από το ένα άκρο της γραμμής ισχύος μέσω χωρητικού μετασχηματιστή τάσης και συλλέγεται στο άλλο άκρο με παρόμοια συσκευή. Ειδικοί μηχανισμοί που είναι εγκατεστημένοι και στα δυο άκρα, εμποδίζουν τη διάδοση του σήματος προς άλλες γραμμές του δικτύου [27]

4.6.2 Τεχνικές «τηλεπροστασίας»

Όπως έγινε αντιληπτό, η εξ' αποστάσεως επικοινωνία διαφόρων μέσων προστασίας (κυρίως ηλεκτρονόμων) είναι αυτή που χρησιμοποιείται ολοένα και συχνότερα στα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται αντιμετώπιση μεγαλύτερου εύρους σφαλμάτων πιο άμεσα και χωρίς σημαντική επιβάρυνση του κόστους. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες τεχνικές «τηλεπροστασίας»:

✓ Σύγκριση κατεύθυνσης (Directional comparison)

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

✓ Σύγκριση φάσεως (Phase comparison relaying)

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

✓ Διαφορική προστασία εντάσεως (Current differential)

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

Υπάρχουν *δυο μέθοδοι* για την υλοποίηση της διαφορικής προστασίας εντάσεως. Η *πρώτη μέθοδος* συνδυάζει τις πληροφορίες από το κάθε άκρο σε ένα σύνθετο σήμα και στη συνέχεια συγκρίνει τα σύνθετα αυτά σήματα μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Η *δεύτερη μέθοδος*, κάνει δειγματοληψία σε κάθε φασικό ρεύμα ξεχωριστά και μέσω ψηφιακής επεξεργασίας σήματος το μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα και το αποστέλλει στα άκρα της γραμμής. Ως *μέσα επικοινωνίας* μπορούν να χρησιμοποιηθούν *μεταλλικά τηλεφωνικά καλώδια, μικροκύματα ή οπτικές ίνες*, αλλά **όχι η μέθοδος PLC (power line carrier)** λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης (bandwidth) που απαιτεί αυτή η τεχνική.

4.6.3 Προτάσεις αντιμετώπισης των ρευμάτων διαρροής

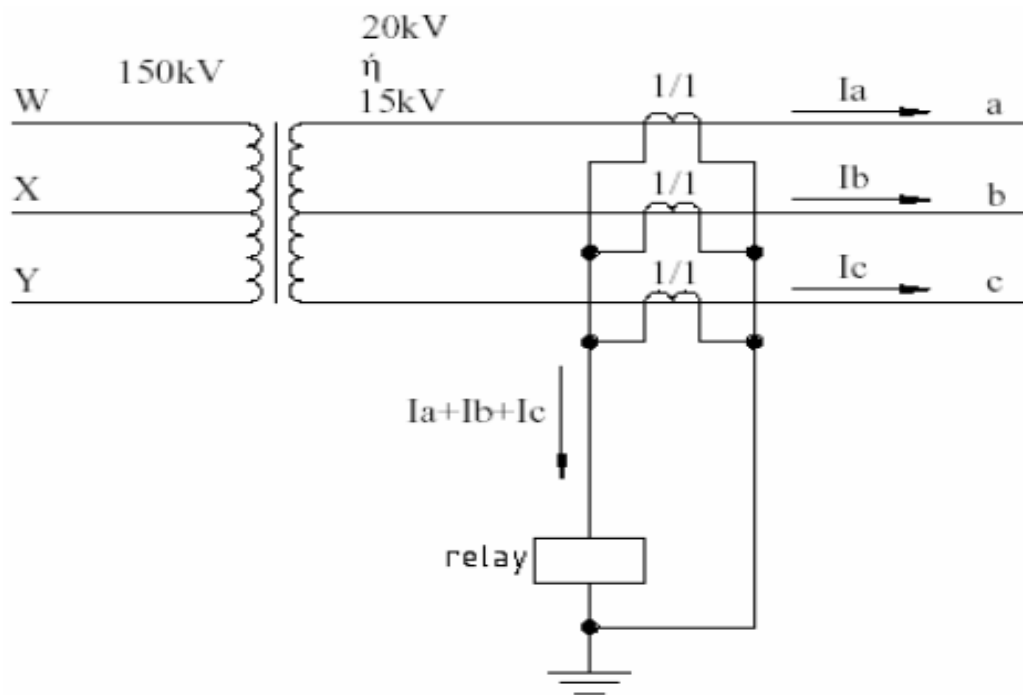
Όπως αναφέρθηκε ήδη στην ενότητα της πυρκαγιάς, τα ρεύματα διαρροής εφόσον δε γίνει αντιληπτή η ύπαρξη τους από τα μέσα προστασίας μπορούν να προκαλέσουν εκδήλωση πυρκαγιάς είτε θανατηφόρα ατύχημα. Στα δίκτυα διανομής τα πιο διαδεδομένα μέσα προστασίας είναι οι **διακόπτες αυτόματης επαναφοράς** (ΔΑΕ ή reclosers), οι **διακόπτες απομόνωσης** (sectionalizers) και οι τυπικές **ασφάλειες τήξεως** (fuses). Αυτά τα μέσα προστασίας είναι ιδιαίτερα αποδοτικά στις περιπτώσεις ρευμάτων βραχυκύκλωσης προστατεύοντας επιτυχώς τις γραμμές του δικτύου. Αντίθετα **δεν ανιχνεύουν** πιθανά ρεύματα διαρροής οι τιμές των οποίων είναι σημαντικά κάτω από το όριο ενεργοποίησης αυτών των προστασιών.

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος θα καταφύγουμε στις τεχνικές προστασίας με χρήση ηλεκτρονόμων τις οποίες αναφέραμε στις *Παραγράφους 4.6.1 και 4.6.2*.

✓ Χρησιμοποίηση της ισορροπίας ρεύματος (current balance)

Η πρόταση αυτή βασίζεται στην λειτουργία του συστήματος ισορροπίας εντάσεως (*παράγραφος 4.6.1*) για τη σύγκριση των ρευμάτων σε δυο παράλληλους αγωγούς και τον εντοπισμό σφάλματος σε έναν αγωγό από αυτούς.

Στο Σχήμα 6-3.1 έχει σχεδιαστεί μια τροποποιημένη μορφή διαφορικής προστασίας που εμπεριέχει και τους τρεις αγωγούς των φάσεων.



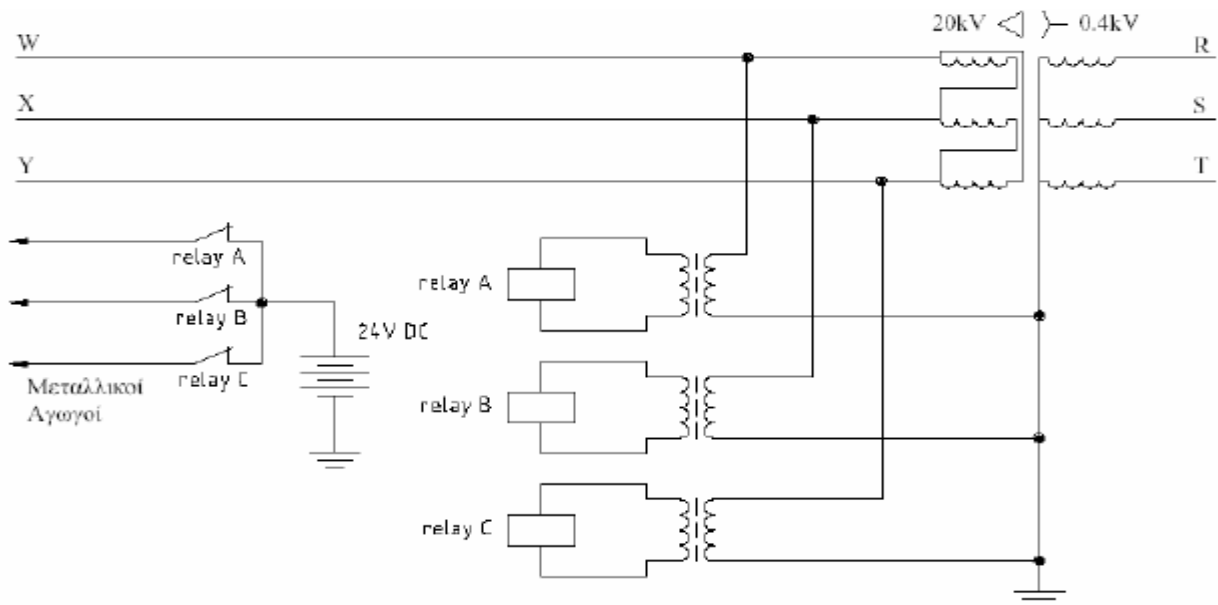
Σχήμα 6-3.1: Διαφορική προστασία με σύγκριση ρευμάτων και των τριών φάσεων της γραμμής

Χάρη στη συνδεσμολογία του σχήματος, το ρεύμα που περνά από τον ηλεκτρονόμο είναι το άθροισμα των ρευμάτων της κάθε φάσης. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας εξαιτίας της συμμετρικότητας των ρευμάτων, $\tilde{I}_a + \tilde{I}_b + \tilde{I}_c = 0$ (πρακτικά το συνολικό ρεύμα έχει μια μικρή τιμή). Αν συμβεί κάποιο σφάλμα σε μια ή σε δύο φάσεις τότε η συμμετρία παύει να υφίσταται και το ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρονόμο παίρνει μια τιμή ικανή να ενεργοποιήσει τον ηλεκτρονόμο. Ο ηλεκτρονόμος με τη σειρά του ανοίγει το διακόπτη ισχύος που βρίσκεται στην αρχή της γραμμής αποτρέποντας έτσι μια πιθανή διαρροή.

Το σύστημα αυτό είναι απλό στην υλοποίηση του χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό. Τα βασικά του μειονεκτήματα είναι δύο. Πρώτον ακόμα και σε περίπτωση σφάλματος σε έναν μόνο αγωγό θέτει εκτός λειτουργίας ολόκληρη τη γραμμή. Δεύτερον σε περίπτωση ταυτόχρονης αποκοπής και των τριών αγωγών υπάρχει πιθανότητα να μην ανιχνεύσει σφάλμα.

✓ Χρησιμοποίηση τριών ηλεκτρονόμων στο τέλος της γραμμής Μέσης Τάσης

Μια δεύτερη λύση για την ανίχνευση πιθανής αποκοπής στη γραμμή, είναι η τοποθέτηση στο τέλος της γραμμής Μέσης Τάσης ενός μετασχηματιστή τάσεως μεταξύ κάθε φάσεως και του ουδετέρου. Κάθε ένας από τους τρεις αυτούς μετασχηματιστές θα τροφοδοτεί και έναν ηλεκτρονόμο διατηρώντας έτσι μια Normally Closed επαφή ανοιχτή όσο η γραμμή λειτουργεί φυσιολογικά. Σε περίπτωση σφάλματος σε μία φάση ο αντίστοιχος ηλεκτρονόμος απενεργοποιείται και η αντίστοιχη Normally Closed επαφή κλείνει. Εν συνεχεία η DC τάση του κυκλώματος έλεγχου φτάνει μέσω μεταλλικού αγωγού στο διακόπτη ισχύος της αντίστοιχης φάσης (στην αρχή της γραμμής μέσης τάσης) και τον ανοίγει. Με τον τρόπο αυτό η φάση όπου παρουσιάστηκε το σφάλμα τίθεται εκτός λειτουργίας. Σχηματικά η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 6-3.2.



Σχήμα 6-3.2: Τεχνική προστασία με χρήση ηλεκτρονόμων και μετασχηματιστών τάσης

Αυτή η μέθοδος προστασίας είναι ιδιαίτερα αποδοτική καθώς ανταποκρίνεται επαρκώς σε κάθε πιθανή αποκοπή αγωγού της γραμμής Μέσης Τάσης. Παρ' όλα αυτά η υλοποίηση της έχει μεγάλο κόστος. Όπως αναφέραμε απαιτούνται τρεις μετασχηματιστές τάσης, τρεις ηλεκτρονόμοι και τρεις μεταλλικές γραμμές μήκους όσο και το μήκος της γραμμής. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς πως πρόκειται για μια τεχνική με περισσότερο θεωρητικό και λιγότερο πρακτικό ενδιαφέρον.

✓ Χρήση ηλεκτρονόμου με διάυλο ζεύξης την ίδια τη γραμμή ισχύος (PLC)

Μια τρίτη 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** ένας 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 υπέστη το σφάλμα και οι άλλες φάσεις λειτουργούν κανονικά.

Τα συστήματα power line carrier με ισχύ εξόδου της τάξης των 10 W είναι αξιόπιστα μέχρι 100 μίλια, ενώ με ισχύ εξόδου στα 100 W είναι αποτελεσματικά για πάνω από 150 μίλια [26]. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου προστασίας είναι το αρκετά υψηλό κόστος και τα πιθανά προβλήματα θορύβου στα μεταδιδόμενα σήματα λόγω κεραυνών, διακοπτικών και άλλων φαινομένων που δημιουργούν τόξο [26].

4.7 Σχόλια Μέρους Β

Ι. Σχόλια επί των υπολογισμών

Στην ενότητα των υπολογισμών του *Μέρους Β*, στόχος ήταν ο υπολογισμός των ρευμάτων (I_{δ}) που διέρχονται μέσω του εδάφους κατά την αποκοπή και πτώση στη γη δύο αγωγών **ACSR95mm²**, καθώς και της αναπτυσσόμενης ισχύος πάνω στην αντίσταση διάβασης (R_{δ}) που συναντά το ρεύμα κατά τη διέλευση του από τη γη. Μια πρώτη παρατήρηση στα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι η σημαντική **επιρροή της R_{δ} στις τιμές των ρευμάτων I_{δ}** . Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν παρατηρήσουμε πως οι τιμές της σύνθετης αντίστασης Z (του κυκλώματος που δημιουργείται κατά το σφάλμα) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την R_{δ} . Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί πως καθώς το R_{δ} αυξάνει σημαντικά, η σύνθετη αντίσταση τείνει να ταυτιστεί με την τιμή της αντίστασης διάβασης.

Όπως και στο πρώτο μέρος, έτσι και στο δεύτερο μελετήθηκαν **6 διαφορετικές περιπτώσεις δικτύων** ανάλογα με τις τιμές της ονομαστικής ισχύος του ενισχυτή και την ονομαστική τάση του δικτύου. Τα μεγαλύτερα ρεύματα αλλά και οι μεγαλύτερες ισχύς παρατηρούνται όπως ήταν αναμενόμενο στο ισχυρότερο δίκτυο με χαρακτηριστικά **$P_N=50MVA$, $U_N=20kV$** (3^η Περίπτωση).

Οι **τιμές των ρευμάτων** που εμφανίζονται στα διάφορα δίκτυα ξεκινούν από τα **5A** για μεγάλες αντιστάσεις διάβασης $R_{\delta}(3000\Omega)$ και ξεπερνούν τα **1800A** για $R_{\delta}\approx 10\Omega$. Το γεγονός αυτό, καθιστά αυτομάτως τα σφάλματα αυτής της κατηγορίας αρκετά περίπλοκα στην αντιμετώπιση τους, καθώς αυτή θα εξαρτηθεί σημαντικά από τις ακριβείς συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του σφάλματος.

Μια άλλη **παράμετρος** των υπολογισμών είναι σε ποιο χιλιόμετρο της γραμμής συμβαίνει η αποκοπή των αγωγών. Στους πίνακες κάναμε υπολογισμούς για απόσταση **L από 0km** (αρχή της γραμμής Μέσης Τάσης) **έως 100km**. Όσο αυξάνεται το L, μεγαλώνει και η σύνθετη αντίσταση της γραμμής πράγμα που συνεπάγεται τη **μείωση του ρεύματος** που διαρρέει τους αγωγούς κατά το σφάλμα για μια σταθερή τιμή της αντίστασης R_{δ} . Η μείωση αυτή είναι ολοένα και μικρότερη όσο μεγαλώνει η τιμή της αντίστασης R_{δ} , καθώς τότε η μεταβολή της σύνθετης αντίστασης εξαιτίας της αντίστασης της γραμμής είναι ανεπαίσθητη (αφού για μεγάλες αντιστάσεις διάβασης $R_{\delta}\gg Z_{\gamma\rho}$).

Η παραπάνω διαπίστωση επιβεβαιώνεται και μέσω των διαγραμμάτων $I_{\delta}=f(L)$ που ακολουθούν κάθε μια από τις έξι περιπτώσεις δικτύων. Στα διαγράμματα παρατηρούμε πως η **πτώση της τιμής του I_{δ}** με την αύξηση της απόστασης L είναι εμφανέστατη για τιμές R_{δ} της τάξης των **10 ή 50Ω**. Αντίθετα για **$R_{\delta}>300\Omega$** οι μεταβολές είναι τόσο μικρές που η γραφική απεικόνιση είναι σχεδόν μια **ευθεία γραμμή**.

II. Σχόλια για τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς

Οι υπολογισμοί που αφορούσαν τη ροή ρεύματος μέσω τους εδάφους, θα είχαν μικρό πρακτικό ενδιαφέρον αν το σφάλμα αυτό δεν εγκυμονούσε κινδύνους. Οι κίνδυνοι αυτοί αφορούν τόσο την εκδήλωση πυρκαγιάς, εφόσον στο έδαφος τη στιγμή του σφάλματος υπάρχουν εύφλεκτα υλικά, όσο και την απώλεια ανθρώπινης ζωής εφόσον κάποιος διέλθει από την περιοχή του σφάλματος ενώ αυτό είναι σε εξέλιξη.

Κατά τη **μελέτη εκδήλωσης πυρκαγιάς** από την πτώση στο έδαφος δύο αγωγών $ACSR95mm^2$ Μέσης Τάσης, λάβαμε υπόψη μας προς ποια πλευρά της γραμμής συμβαίνει η αποκοπή των αγωγών. Τα συμπεράσματα που καταλήξαμε ήταν:

- **Στην περίπτωση που δύο αγωγοί αποκοπούν προς την πλευρά του καταναλωτή και πέσουν στο έδαφος, δε υπάρχει κίνδυνος για εκδήλωση πυρκαγιάς.**
- **Στην περίπτωση που δύο αγωγοί αποκοπούν προς την πλευρά της υψηλής τάσης και πέσουν στο έδαφος υπάρχει σημαντική πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Σε αυτή την περίπτωση η τάξη μεγέθους του διερχόμενου από το έδαφος ρεύματος παίζει σημαντικό ρόλο.**

Πιο συγκεκριμένα για σφάλμα προς την πλευρά της υψηλής τάσης εξετάζουμε αν το ρεύμα που διαρρέει την $R_δ$ ξεπερνά ή όχι τα **50A**.

Για **τιμές ρεύματος μεγαλύτερες των 50A**, τα μέσα προστασίας της γραμμής διακόπτουν το σφάλμα σε χρόνο που **δεν ξεπερνά τα 0,4sec**. Με βάση την ανάλυση της παραγράφου 4.5.2 συμπεραίνουμε πως η κρίσιμη τιμή ρεύματος για την εκδήλωση πυρκαγιάς είναι $I_δ \approx 400A$. Με άλλα λόγια, δείξαμε πως **ρεύματα μεγαλύτερα** από την τιμή αυτή είναι ικανά να προκαλέσουν την **ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών σε χρόνο μικρότερο των 0,4sec** γεγονός που μεταφράζεται σε **εκδήλωση πυρκαγιάς**. Αντίθετα, για τιμές ρευμάτων **μικρότερες των 400A** τα μέσα προστασίας της γραμμής απομονώνουν το σφάλμα πριν την ανάφλεξη των υλικών, **αποτρέποντας έτσι την εκδήλωση πυρκαγιάς**.

Για **τιμές ρεύματος μικρότερες των 50A**, τα μέσα προστασίας της γραμμής (έχουν ως αρμοδιότητα την προστασία της γραμμής από πιθανά βραχυκυκλώματα) δεν μπορούν να ανταποκριθούν. Ως αποτέλεσμα παρατηρείται ανεξέλεγκτη ροή **ρεύματος διαρροής** κατά μήκος του εδάφους στο σημείο του σφάλματος. Όπως έγινε σαφές στην παράγραφο 4.5.3, ο **μεγάλος χρόνος που διαρκεί αυτό το σφάλμα** (εφόσον δεν υπάρχουν οι κατάλληλες προστασίες να το ανακόψουν), σε συνδυασμό με την **μεγάλη ισχύ ($P_δ$)** που καταναλώνεται στην αντίσταση $R_δ$, είναι **βέβαιο πως θα οδηγήσουν σε εκδήλωση πυρκαγιάς** υπό την παρουσία εύφλεκτων υλικών στην περιοχή του σφάλματος. Επιπροσθέτως, η ροή ρεύματος στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα **θέτει σε κίνδυνο τη ζωή** οποιουδήποτε ατόμου βρεθεί στην περιοχή του σφάλματος, ακόμα και αν έχουν περάσει αρκετές ώρες από τη στιγμή που αυτό ξεκίνησε.

III. Σχόλια για τις προτάσεις αντιμετώπισης

Στη Μέση Τάση τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται έχουν ως πρωταρχικό στόχο την προστασία των γραμμών και των μετασχηματιστών του δικτύου. Αν κάνουμε ένα συσχετισμό με τη χαμηλή τάση, θα δούμε ότι εκεί τα μέσα προστασίας είναι σαφώς περισσότερα καθώς με αυτό το επίπεδο τάσης έρχονται σε επαφή όλοι οι άνθρωποι στην καθημερινότητα τους. Αντίθετα, σε επαφή με τη Μέση Τάση έρχονται υπό φυσιολογικές συνθήκες άτομα που έχουν γνώση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπουμε ότι το κόστος του εξοπλισμού Μέσης Τάσης είναι σημαντικά υψηλότερο από το αντίστοιχο Χαμηλής Τάσης.

Παρ' όλα αυτά, είδαμε πως στην περίπτωση αποκοπής και πτώσης στο έδαφος δύο αγωγών ACSR95mm² συντρέχουν σοβαροί λόγοι για την **παρουσία επιπλέον μέσων προστασίας** στη γραμμή Μέσης Τάσης. Σύμφωνα με την *παράγραφο 4.6.3* η παρουσία ενός ή περισσότερων ηλεκτρονόμων σε κατάλληλη συνδεσμολογία, μπορεί να δώσει λύσεις αποτρέποντας ενδεχόμενη εκδήλωση πυρκαγιάς ή την απώλεια κάποιας ανθρώπινης ζωής. Και οι **τρεις προτάσεις** που παρουσιάστηκαν έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η **πρώτη μέθοδος** είναι και η **απλούστερη στην υλοποίηση της**. Μας καλύπτει για την περίπτωση αποκοπής δύο φάσεων (σφάλμα το οποίο εξετάζουμε), όμως η **κάθε φάση είναι άμεσα εξαρτώμενη από τις υπόλοιπες δύο**. Ως αποτέλεσμα αυτού, ένα πιθανό σφάλμα σε μία εκ των τριών φάσεων να θέτει εκτός λειτουργίας και τις τρεις φάσεις.

Η δεύτερη μέθοδος, λειτουργεί αποτελεσματικά δίνοντας ταυτόχρονα τη **δυνατότητα στην κάθε φάση να λειτουργεί αυτόνομα**. Από την άλλη πλευρά, η υλοποίηση αυτής της μεθόδου απαιτεί τρεις μεταλλικούς αγωγούς μήκους όσο το μήκος της γραμμής, τρεις ηλεκτρονόμους, μετασχηματιστές τάσης κλπ. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, ότι μια τέτοια υλοποίηση έχει ιδιαίτερα υψηλό κόστος γεγονός που την καθιστά **οικονομικά ασύμφορη**.

Η τρίτη προτεινόμενη πρόταση της *παραγράφου 4.6.3* μοιάζει να είναι και η πιο ενδεδειγμένη. Χρησιμοποιώντας την ίδια τη **γραμμή ισχύος ως δίαυλο επικοινωνίας** μεταξύ των δύο άκρων της (power line carrier, plc), επιτυγχάνεται η αποφυγή μεταλλικών αγωγών μεγάλου μήκους με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος συγκριτικά με τη δεύτερη μέθοδο. Επιπλέον, **διατηρείται το πλεονέκτημα της αυτονομίας κάθε φάσης** πράγμα που σημαίνει πως σε κάθε περίπτωση τίθεται εκτός μόνο η φάση στην οποία εκδηλώνεται το σφάλμα. Βέβαια μια τέτοια υλοποίηση σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να θεωρηθεί πως έχει χαμηλό κόστος. Η παρουσία του **ψηφιακού ηλεκτρονόμου** και ενός **συστήματος GSM** που αποστέλλει τα υψίσυχνα σήματα έχουν υπολογίσιμο κόστος. Εν κατακλείδι όμως, η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει την **καλύτερη αναλογία κόστους-ποιότητας**.

5. Βιβλιογραφία

- [1] ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π.Δ., ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ Κ.Γ., Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Διατάξεις και Υλικά, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [2] ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π.Δ., Ασκήσεις Βιομηχανικών και Κτιριακών Εγκαταστάσεων, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2008
- [3] ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π.Δ., Εφαρμογές Κτιριακών και Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1998
- [4] ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΣ Π., Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2005.
- [5] ΤΣΑΝΑΚΑΣ Κ.Δ., Συμμετρικές Συνιστώσες και Ανάλυση Σφαλμάτων στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ξάνθη 1985
- [6] ΠΑΠΑΔΙΑΣ Β.Κ., Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1985
- [7] ΠΑΠΑΔΙΑΣ Β.Κ., Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1985
- [8] ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Μ.Π., Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [9] ΤΣΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α.Α., Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα 1973
- [10] ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Φ.Ι., ΤΣΑΡΑΜΙΑΔΗΣ Π., Δίκτυα Σταθμοί, Εκδόσεις Ήβος.
- [11] AEG, Hilfsbuch für elektrische Licht und Kraft-Anlagen, 6 Aufgabe
- [12] PHILLIPPOW E., Taschenbuch Elektrotechnik, Band 2 Starkstromtechnik, VEB Verlag Technik Berlin, 1966
- [13] GERS J.M., HOLMES E.J., Protection of Electricity Distribution Networks 2nd Edition, IEE Power & Energy Series 47
- [14] NASAR S.A., TRUTT F.C., Electric Power Systems, CRC Press
- [15] ΠΟΛΥΚΡΑΤΗ Α.Δ. Συμπεριφορά Στατικών Ηλεκτρικών Συνδέσμων υπό Ταχέως Μεταβαλλόμενες Ηλεκτρικές Καταπονήσεις, PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 2005
- [16] ΠΑΪΣΙΟΣ Μ.Π. , Θερμική Συμπεριφορά Στατικών Ηλεκτρικών Επαφών υπό Συνεχές ή Κεραυνικό Ρεύμα, PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 2007
- [17] ΦΙΛΙΠΠΑΚΟΥ Μ.Π., Ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων και πειραματική διερεύνηση θερμικών και ηλεκτρικοί φαινομένων καταπόνησης σε επαφές διακοπών. PhD thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, 1999
- [18] KURFMULLER K., Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Springer -Verlag, 1962
- [19] ΒΙΛΛΙΑΣ Γ.Α., ΜΕΡΜΙΓΚΑΣ Α. Χ., ΠΥΡΓΙΩΤΗ Ε. Χ., ΜΠΟΥΡΚΑΣ Π. Δ., Θερμική Συμπεριφορά Γραμμών Κορμού Διανομής Μέσης Τάσης κατά το Βραχυκύκλωμα στον Αέρα, 3^ο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη, 2009.
- [20] WALTER M., Kurtzschlussströme in Drehstromnetzen, Oldenburg Verlag, München.

- [21] Κ. Βουρνάς και Γ. Κονταξής, «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 2001
- [22] Μ.Π. Παπαδόπουλος, «Προστασία συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας», Αθήνα 1997
- [23] Σελλούντος Β., Παπαϊωάννου Γ., Πέρδιος Στ., Χουσιανάκος Κ., Πυρασφάλεια, εφαρμογές πυροπροστασίας και στοιχεία πυρόσβεσης. Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1988
- [24] Quintiere JG, "Principles of Fire Behavior", Delmar Publishers, 1998
- [25] HUGH D. YOUNG: Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος Α και Β – Εκδόσεις Παπαζήση, 1994
- [26] STANLEY H. HOROWITZ, ARUN G. PHADKE : Power System Relaying, Third Edition - 2008 Research Studies Press Limited and John Wiley & Sons, Ltd
- [27] LES HEWITSON, MARK BROWN, BEN RAMESH : Practical Power Systems Protection - 2004, IDC Technologies, Newnes Publications
- [28] J. LEWIS BLACKBURN, THOMAS J. DOMIN : Protective Relaying Principles and Applications, Third Edition - 2006 by Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press