



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

**Θερμική συμπεριφορά αγωγού διανομής μέσης τάσης τύπου ACSR
κατά τη διακοπή της λειτουργίας του από ασφαλειοαποζεύκτη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Κουγιουμτζή Σοφία

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014



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

**Θερμική συμπεριφορά αγωγού διανομής μέσης τάσης τύπου ACSR
κατά τη διακοπή της λειτουργίας του από ασφαλειοαποζεύκτη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Κουγιουμτζή Σοφία

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

Κ.Γ Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ν.Ι Θεοδώρου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Π.Δ Μπούρκας
Ομότιμος
Καθηγητής ΕΜΠ

Copyright © Κουγιουμτζή Σοφία, 2014

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, 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 ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύει τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Βιομηχανικών Ηλεκτρικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη του καθηγητή Κ.Γ Κραγιαννόπουλου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής καθηγητές Ν.Ι Θεοδώρου και Π.Δ Μπούρκα. Θερμές ευχαριστίες οφείλω τέλος και στην κ.Πολυκράτη Αικατερίνη μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την πολύτιμη βοήθεια της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των αγωγών διανομής μέσης τάσης κατά τη διακοπή της λειτουργίας τους από ασφαλειοαποζεύκτη. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η θερμική συμπεριφορά αγωγών χαλκού και αλουμινίου ACSR για διακοπή από ασφαλειοαποζεύκτη με τηκτά τύπου K και τύπου T.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια θεωρητική εισαγωγή στην οποία περιγράφονται τα βασικά στοιχεία και η λειτουργία του ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα υπάρχει περιγραφή των αγωγών και μέσων προστασίας του δικτύου μέσης και χαμηλής τάσης καθώς επίσης και των βασικών τοπολογιών πινάκων στη μέση και χαμηλή τάση. Όσον αφορά τα μέσα προστασίας στη μέση τάση περιγράφεται αναλυτικότερα ως μέσο προστασίας ο ασφαλειοαποζεύκτης. Τέλος στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και ο σκοπός της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των αγωγών διανομής μέσης τάσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται οι πίνακες και τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα για την αύξηση θερμοκρασίας στους τύπους των αγωγών που μελετώνται και για τους δύο τύπους ασφαλειοαποζευκτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο τέλος σχολιάζονται οι δύο μέθοδοι υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ ακολουθεί σύγκρισή τους και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του τρίτου κεφαλαίου.

Λέξεις κλειδιά: δίκτυο διανομής, αγωγοί διανομής μέσης τάσης, μέσα προστασίας, ασφαλειοαποζεύκτες, βραχυκύκλωμα, αύξηση θερμοκρασίας.

ABSTRACT

The objective of this diploma thesis is to study the thermal behavior of medium voltage distribution wires of ACSR type during their shutdown by fuse cutout. More specifically the subject of this thesis is the thermal behavior of copper and aluminum wire during their shutdown by fuse cutout with links of type K and type T.

The first chapter is a theoretical introduction which outlines the basic elements and operation of the greek distribution system. It includes a description of the medium voltage distribution wires, the protection means in the medium and low voltage distribution system and the basic circuit topologies used in the middle. Regarding the protection means in medium voltage there is a detailed description of the fuse cutout. Finally, in the first chapter the purpose of this thesis is presented.

The second chapter presents the two methods used to study thermal behavior of the medium voltage distribution wires.

The third chapter provides tables and graphs with the results of the temperature increase in the types of wires being studied.

In the fourth chapter comments regarding the two calculation methods used are included, followed by comparisons and conclusions arising from the results in the third chapter.

Keywords : electrical power distribution system, medium voltage distribution wires, medium voltage protection means, fuse cutout, short circuit, temperature increase.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.Εισαγωγή.....	13
1.1 Γενικά.....	13
1.2 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	14
1.2.1 Αγωγοί Δικτύων Διανομής	15
1.2.2 Στύλοι Δικτύων Διανομής.....	16
1.2.3 Μετασχηματιστές Διανομής.....	19
1.2.4 Προστασία στα δίκτυα διανομής	21
1.2.4.1 Μέσα προστασίας στη Μέση Τάση.....	22
1.2.4.2 Μέσα προστασίας στη Χαμηλή Τάση.....	26
1.2.4.3 Ασφαλειοαποζεύκτες.....	29
1.2.5 Πίνακες Δικτύου Διανομής του ΔΕΔΔΗΕ και των καταναλωτών.....	35
1.2.5.1 Πίνακες στη Μέση Τάση.....	35
1.3 Βραχυκύκλωμα.....	39
1.3.1 Ανάλυση ρεύματος βραχυκύκλωσης.....	40
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	43
2.Μέθοδοι υπολογισμού μεταβολής θερμοκρασίας στους αγωγούς..	44
2.1 Γενικά.....	44
2.2 Υπολογισμός μεταβολής θερμοκρασίας στους αγωγούς με την παραδοχή $W_{\theta}=W_n$ (μέθοδος α).....	44
2.3 Υπολογισμός της μεταβολής θερμοκρασίας όπως στο βραχυκύκλωμα (μέθοδος β).....	46
2.3.1 Αύξηση θερμοκρασίας αγωγού.....	46
2.3.2 Θερμοκρασία σε αγωγούς λόγω βραχυκυκλώματος κατά IEC 865-1.....	47
3.Αποτελέσματα-Πίνακες-Διαγράμματα.....	50
3.1 Αγωγοί Χαλκού(Cu).....	50
3.1.1 Τηκτά τύπου K - Μέθοδος α και β.....	50
3.1.2 Τηκτά τύπου T - Μέθοδος α και β.....	57
3.2 Αγωγοί Αλουμινίου(Al).....	63
3.2.1 Τηκτά τύπου K - Μέθοδος α και β.....	63
3.2.2 Τηκτά τύπου T - Μέθοδος α και β.....	69
3.3 Διφασικό βραχυκύκλωμα.....	75
3.3.1 Τηκτά Τύπου K.....	76
3.3.2 Τηκτά Τύπου T.....	82
3.4 Αύξηση θερμοκρασίας κατά IEC 865-1	88

4.Σχόλια και Συμπεράσματα.....	89
4.1 Σχόλια επί των δύο μεθόδων.....	89
4.2 Σύγκριση των δύο μεθόδων.....	89
4.3 Συμπεράσματα.....	89

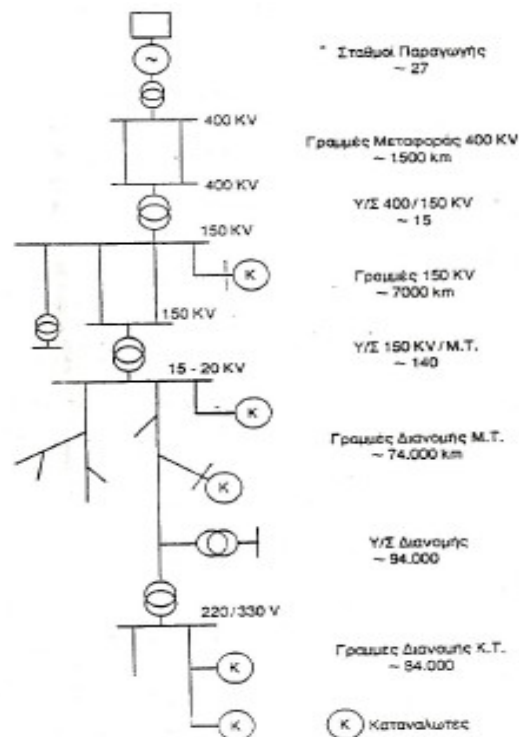
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
--------------------------	-----------

1.Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τα σύγχρονα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας διακρίνονται γενικά στα τρία ακόλουθα τμήματα. Πρώτον στους Σταθμούς Παραγωγής, όπως Υδροηλεκτρικούς και Θερμοηλεκτρικούς Σταθμούς Παραγωγής ή Σταθμούς Συνδυασμένου Κύκλου, στους οποίους γίνεται η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεύτερον ακολουθούν τα Δίκτυα Μεταφοράς, τα οποία διασυνδέουν τους Σταθμούς Παραγωγής μεταξύ τους και μεταφέρουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες κοντά στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια στους τρόπους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν προστεθεί οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως ο άνεμος, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα και τα θαλάσσια κύματα. Τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά πάρκα, τα οποία γνωρίζουν ιδιαίτερη ανάπτυξη ιδίως στην Ελλάδα λόγω των κλιματολογικών συνθηκών, συνδέονται κατά κύριο λόγο στο ελληνικό δίκτυο διανομής το οποίο αποτελεί και το τρίτο τμήμα των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και στο οποίο θα γίνει αναλυτική αναφορά στη συνέχεια.

Στο Σχήμα 1.1-1 αποτυπώνεται σχηματικά το Σύστημα Παραγωγής-Μεταφοράς -Διανομής. Τα δίκτυα μεταφοράς αποτελούνται από γραμμές μεταφοράς Υψηλής Τάσης-ΥΤ (μέχρι 400kV), ενώ τα δίκτυα διανομής αποτελούνται από γραμμές Μέσης Τάσης-MT (από 1 kV μέχρι και 20 kV/15kV/6,6kV) και γραμμές Χαμηλής Τάσης-ΧΤ (230V/400V). Τα δίκτυα ΥΤ χρησιμεύουν τόσο για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και για τη διανομή της καθώς σε αυτά μπορούν να συνδεθούν καταναλωτές ΥΤ.



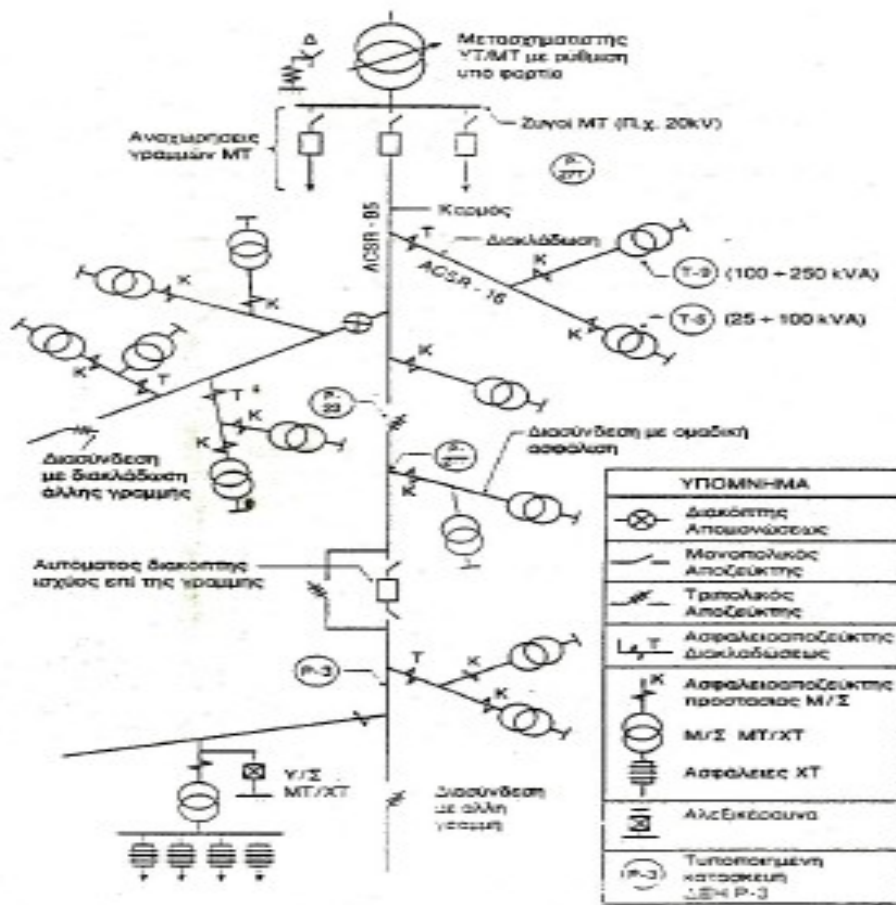
Σχήμα 1.1-1: Σύστημα Παραγωγής-Μεταφοράς -Διανομής

1.2 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία τα τελευταία χρόνια έχουν αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, έχουν ως κύριο σκοπό την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές (βιομηχανίες, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κατοικίες κλπ.).

Κατασκευαστικά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τα εναέρια και β) τα υπόγεια δίκτυα. Τα εναέρια δίκτυα κατασκευάζονται συνηθέστερα σε περιοχές με μικρή πυκνότητα φορτίου καθώς καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο. Οι Υποσταθμοί (Υ/Σ) ΜΤ/ΧΤ αυτών των δικτύων τοποθετούνται πάνω σε έναν ή και δύο στύλους μέχρι την ισχύ των 400kVA, ενώ Υ/Σ μεγαλύτερης ισχύος κατασκευάζονται επίγειοι. Αντιθέτως, τα υπόγεια δίκτυα κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο στα κέντρα μεγάλων πόλεων με μεγάλη πυκνότητα φορτίου τόσο για λόγους διαθέσεως χώρου, όσο και για λόγους αισθητικής. Στην περίπτωση των υπόγειων δικτύων οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ τοποθετούνται στα υπόγεια πολυκατοικιών ή σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους.

Τα εναέρια δίκτυα έχουν επικρατήσει έναντι των υπογείων δεδομένου ότι είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια, ενώ η συντήρηση και η επισκευή τους σε περίπτωση βλάβης είναι ευκολότερη και ταχύτερη. Ο συγκεκριμένος τύπος δικτύων ενδείκνυται να έχει δενδροειδή μορφή. Δηλαδή ένα εναέριο δίκτυο αποτελείται από τον κορμό, ή την κύρια γραμμή, που συνήθως κατασκευάζεται από αγωγούς μεγάλης διατομής, όπως αγωγός 95 mm² ισοδύναμου χαλκού (Cu), και τις διακλαδώσεις, πάνω στις οποίες συνδέονται οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και αποτελούνται συνήθως από αγωγούς ισοδύναμης διατομής χαλκού 35mm² ή 16mm². Τα εναέρια δίκτυα λειτουργούν σχεδόν αποκλειστικά ακτινικά, δηλαδή όλες οι γραμμές που αποτελούν το δίκτυο τροφοδοτούνται από το ένα άκρο τους μόνο. Στο Σχήμα 1.2-1 δίνεται ένα τυπικό εναέριο δίκτυο διανομής ΜΤ.



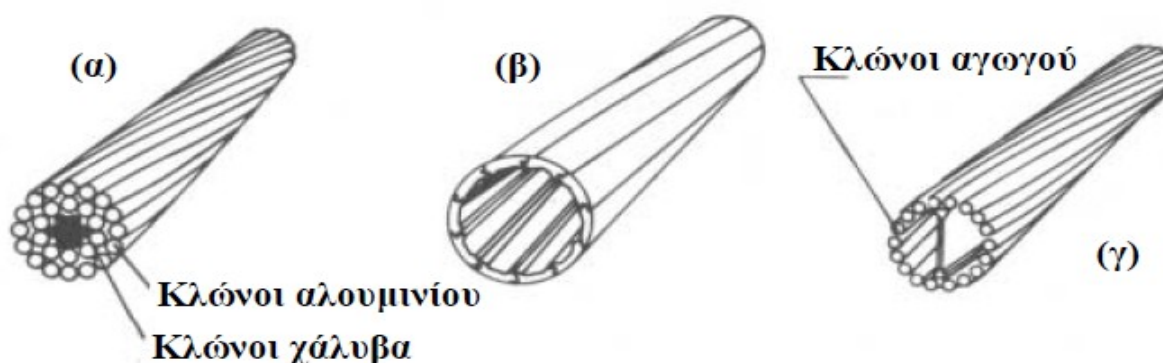
Σχήμα 1.2-1: Τυπικό εναέριο δίκτυο διανομής ΜΤ.

1.2.1 Αγωγοί Δικτύων Διανομής

Στα εναέρια δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται κυρίως αγωγοί φτιαγμένοι από χαλκό(Cu) ή αλουμίνιο (Al). Ο χαλκός εμφανίζει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής ολκήσεως έχει μεγάλη μηχανική αντοχή. Παρόλα αυτά παρουσιάζει ως μειονέκτημα το βάρος του. Σε αντίθεση το αλουμίνιο είναι πιο φτωχό από τον χαλκό στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αντοχή, αλλά είναι ελαφρύτερο και πιο οικονομικό. Επίσης ο αγωγός από αλουμίνιο δέχεται μεγαλύτερη επιφόρτιση από τον πάγο και τον άνεμο λόγω της μεγαλύτερης του επιφάνειας, αλλά ταυτόχρονα περιορίζονται σε αυτόν οι απώλειες λόγω του φαινομένου Corona.

Το αλουμίνιο ακόμα και σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες οξειδώνεται και σκουριάζει επιφανειακά, ωστόσο το στρώμα αυτό της οξείδωσης είναι πολύ λεπτό και προστατεύει τον υπόλοιπο αγωγό από περαιτέρω οξείδωση. Παρόλα αυτά σε περίπτωση που αγωγοί αλουμινίου τοποθετηθούν πολύ κοντά σε θάλασσα (μέχρι και 1 km) παρουσιάζουν ακόμη πιο έντονη οξείδωση. Λόγω αυτού λοιπόν, καθώς επίσης και λόγω της μικρής μηχανικής αντοχής του αλουμινίου, οι αγωγοί αλουμινίου χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιβάλλον μακριά από τη θάλασσα και σε γραμμές XT καθώς τα μήκη των γραμμών YT είναι πολύ μεγάλα, άρα και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στους αγωγούς.

Παρόλα αυτά, το αλουμίνιο είναι δυνατόν να αποκτήσει την κατάλληλη μηχανική αντοχή αν συνδυαστεί με χάλυβα ο οποίος παρουσιάζει εξαιρετική μηχανική αντοχή. Σε αυτήν την περίπτωση ο αγωγός δεν είναι συμπαγής αλλά αποτελείται από ένα πλήθος συνεστραμμένων κλώνων για λόγους ευκαμψίας. Με την τεχνική των συνεστραμμένων καλωδίων διευκολύνεται η ενσωμάτωση συρμάτων χάλυβα μέσα στον αγωγό αλουμινίου, πράγμα που καθιστά στο σύνολό του τον αγωγό πιο ανθεκτικό μηχανικά. Έτσι προκύπτει ο αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα (Aluminum Conductor Steel Reinforced-ACSR). Αυτός ο τύπος αγωγού έχει στο κέντρο του κλώνους από χάλυβα οι οποίοι είναι διατεταγμένοι σε στρώματα που αποτελούν τον πυρήνα του αγωγού και γύρω από τον πυρήνα είναι διατεταγμένα στρώματα κλώνων αλουμινίου. Τα πιο πάνω δίνονται και σχηματικά στα Σχήματα 1.2.1-1 και 1.2.1-2.



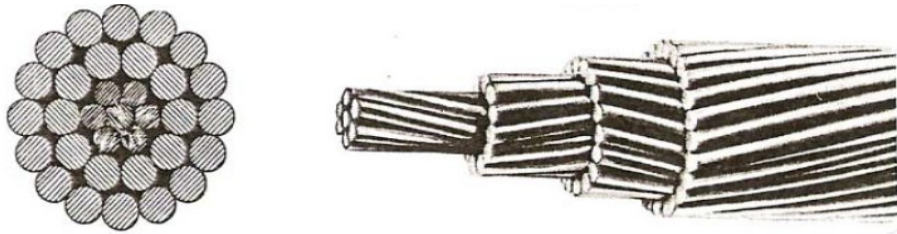
Σχήμα 1.2.1-1: Αγωγοί γραμμών μεταφοράς.

(α) Τυπικός αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα -ACSR.

(β) Κοίλος αγωγός χαλκού.

(γ) Κοίλος αγωγός χαλκού με διαμήκη αγωγή δοκό.

Σε κάθε περίπτωση η επιλογή του κατάλληλου αγωγού βασίζεται στις μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις της γραμμής. Τα υλικά θα πρέπει να διαθέτουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, υψηλή μηχανική αντοχή, μικρό ειδικό βάρος και χαμηλή οξείδωση στον αέρα.



Σχήμα 1.2.1-2: Μορφή αγωγών αλουμινίου ενισχυμένου με χάλυβα-ACSR.

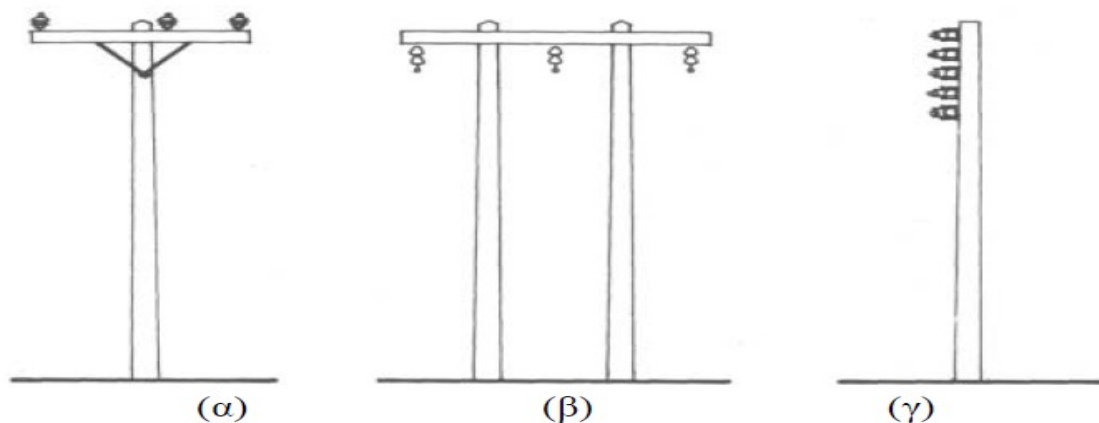
Συνήθως για τον χαρακτηρισμό των αγωγών αλουμινίου ή τύπου ACSR δίνεται η ισοδύναμη διατομή αγωγού χαλκού, η διατομή δηλαδή που θα είχε ένας αγωγός ίδιας αντίστασης κατασκευασμένος όμως από χαλκό. Καθώς έχει αναφερθεί στα δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται κυρίως αγωγοί ισοδύναμων διατομών χαλκού 95mm^2 , 35mm^2 ή 16mm^2 . Στον πίνακα 1.2.1-1 δίνονται οι αντίστοιχες πραγματικές διατομές αγωγών αλουμινίου.

Διατομή ισοδύναμη χαλκού [mm ²]	Πραγματική διατομή αλουμινίου [mm ²]	Ονομαστικό Ρεύμα (I _N) [A]
16	29	136
35	65	224
95	175	448

Πίνακας 1.2.1-1: Πραγματική διατομή γυμνών αγωγών τύπου ACSR δικτύου διανομής μέσης τάσης.

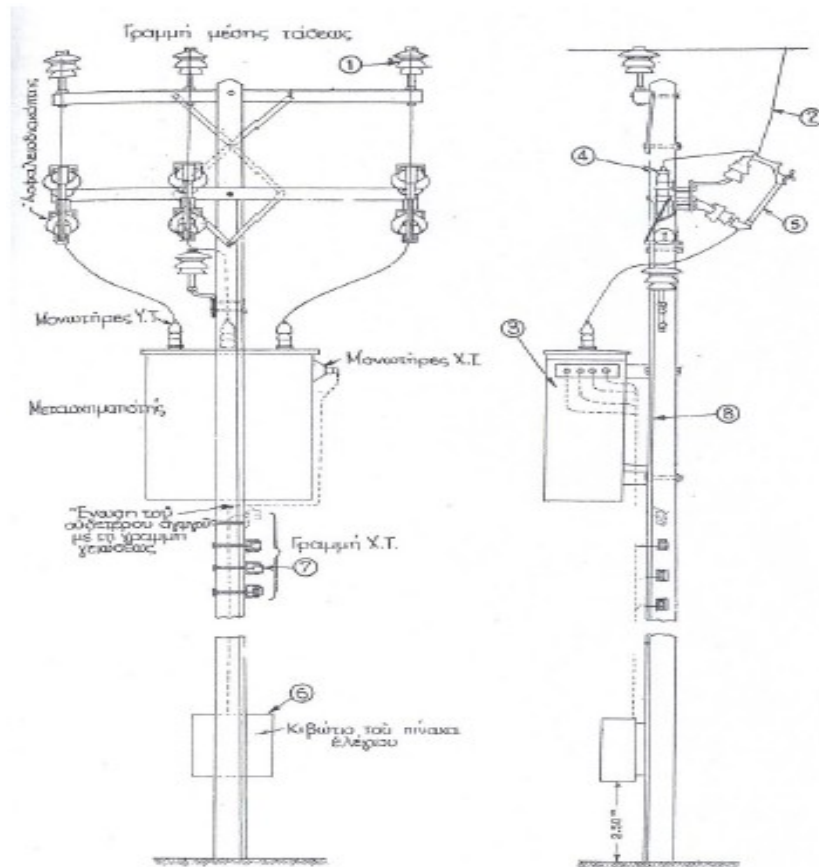
1.2.2 Στύλοι Δικτύων Διανομής

Οι αγωγοί των εναέριων δικτύων διανομής στηρίζονται σε φορείς, δηλαδή στύλους ή πυλώνες. Στις γραμμές ΧΤ οι φορείς αυτοί είναι συνήθως απλοί ξύλινοι στύλοι με εγκάρσιους βραχίονες κοντά στην κορυφή τους, όπου και στηρίζονται οι αγωγοί. Στο Σχήμα 1.2.2-1 απεικονίζονται διάφοροι τύποι τέτοιων στύλων που χρησιμοποιεί ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας).



Σχήμα 1.2.2-1: (α), (β) Τυποποιημένοι στύλοι γραμμών διανομής ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ.
(γ) Τυποποιημένοι στύλοι γραμμών διανομής ΧΤ του ΔΕΔΔΗΕ.

Εκτός από ξύλινους στύλους χρησιμοποιούνται και σε μεγάλο βαθμό στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα τόσο στις γραμμές ΜΤ, όσο και στις γραμμές ΧΤ. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ τοποθετούνται εναέρια σε μονόστυλα ή δίστυλα αν είναι μικρής ισχύος (μέχρι 400kVA), αλλιώς τοποθετούνται επίγεια. Στο Σχήμα 1.2.2-2 δίνεται σχηματικά ένας Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ τοποθετημένος πάνω σε έναν στύλο.

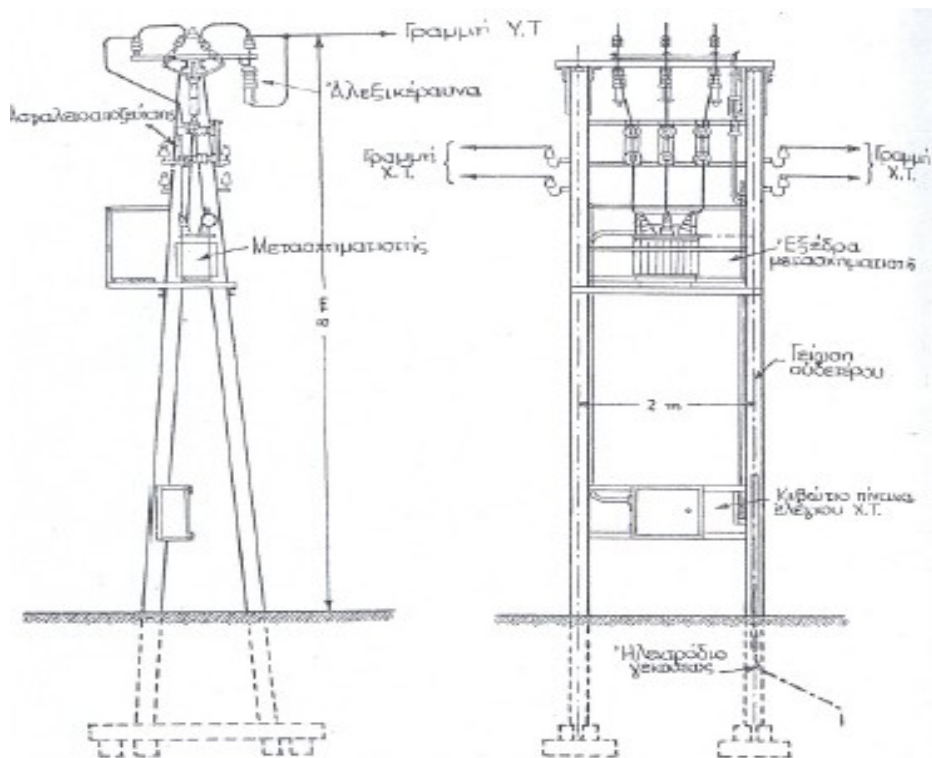


Σχήμα 1.2.2-2: Εναέριος Υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ ισχύος μέχρι 25kVA.

- (1) Μονωτήρες ΜΤ
- (2) Διακλάδωση ΜΤ για τροφοδότηση Μ/Σ
- (3) Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ
- (4) Βάση στήριξης ασφαλειοαποξεύκτη
- (5) Ασφαλειοαποξεύκτης
- (6) Κιβώτιο πίνακα ελέγχου
- (7) Μονωτήρες ΧΤ
- (8) Αγωγός ουδετέρου με τη γραμμή γείωσης

Αρχικά η γραμμή ΜΤ συνδέεται στους μονωτήρες του στύλου (1) και διακλαδίζεται (2) προκειμένου να τροφοδοτήσει τον Μ/Σ (3), αφού πρώτα περάσει από τα απαραίτητα για την προστασία του Υ/Σ μέσα όπως τα αλεξικέραυνα και τους τρεις μονοπολικούς ασφαλειοαποξεύκτες (5). Στη συνέχεια οι αγωγοί ΧΤ οδηγούνται από τον Μ/Σ στο κιβώτιο πίνακα ελέγχου (6) όπου υπάρχουν οι κατάλληλες ασφάλειες για την προστασία της ΧΤ. Τέλος οι αγωγοί αυτοί οδηγούνται στους μονωτήρες ΧΤ (7) όπου και διακλαδίζονται προς το δίκτυο διανομής ΧΤ.

Στο Σχήμα 1.2.2-3 διακρίνονται κατασκευαστικά οι εναέριοι Υ/Σ μεγαλύτερης ισχύος, οι οποίοι τοποθετούνται πάνω σε δύο στύλους.



Σχήμα 1.2.2-3: Εναέριος Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ ισχύος μέχρι 400kVA.

Οι συνδέσεις γίνονται και σε αυτήν την περίπτωση όπως και πριν, μόνο που αυτή τη φορά η όλη διάταξη είναι τοποθετημένη σε δύο στύλους για μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Η κατασκευή του Σχήματος 1.2.2-3 αποτελεί παλιότερη τεχνική και είναι πλέον ελαφρώς τροποποιημένη όσον αφορά τους στύλους. Πιο συγκεκριμένα, αντί των τεσσάρων ξύλινων στύλων που φαίνονται στο σχήμα χρησιμοποιούνται δύο τσιμεντένιοι στύλοι εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αντοχή και διάρκεια ζωής.

Τέλος για Υ/Σ πολύ μεγάλης ισχύος (μεγαλύτερης των 400 kVA) χρησιμοποιούνται επίγειοι Υ/Σ όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2.2-4.



Σχήμα 1.2.2-4: Επίγειος Υ/Σ διανομής

1.2.3 Μετασχηματιστές Διανομής

Ως μετασχηματιστές διανομής χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ισχύος οι οποίοι υποβιβάζουν την ΜΤ σε ΧΤ (20kV/0,4kV) για την κατανάλωση ισχύος στους καταναλωτές ΧΤ. Κάποιες τυπικές τιμές ισχύος για Μ/Σ διανομής στο ελληνικό δίκτυο διανομής είναι 15, 25, 50, 75, 150, 250, 400, 500, 630, 750, 800, 1000 και 1600 kVA.

Στους Μ/Σ διανομής χρησιμοποιείται λάδι κατά κύριο λόγο για την ψύξη και τη μόνωση των τυλιγμάτων τους. Στο Σχήμα 1.2.3-1 που ακολουθεί δίνεται σχηματικά ένας Μ/Σ διανομής.

Παρατηρούνται τα εξής βασικά μέρη:

-τους μονωτήρες. Οι αποστάσεις μεταξύ των αγώγιμων μερών είναι υπολογισμένες ώστε να μη δημιουργείται τόξο, αλλιώς κάθε φορά που θα εκδηλώνεται τόξο θα έχουμε βύθιση τάσης στη ΧΤ.

-τον λέβητα, ο οποίος αποτελεί το εξωτερικό κάλυμμα του Μ/Σ και απομονώνει στην ουσία το εσωτερικό του με το περιβάλλον.

-τον πυρήνα, με τα τυλίγματα ΜΤ και ΧΤ για κάθε φάση.

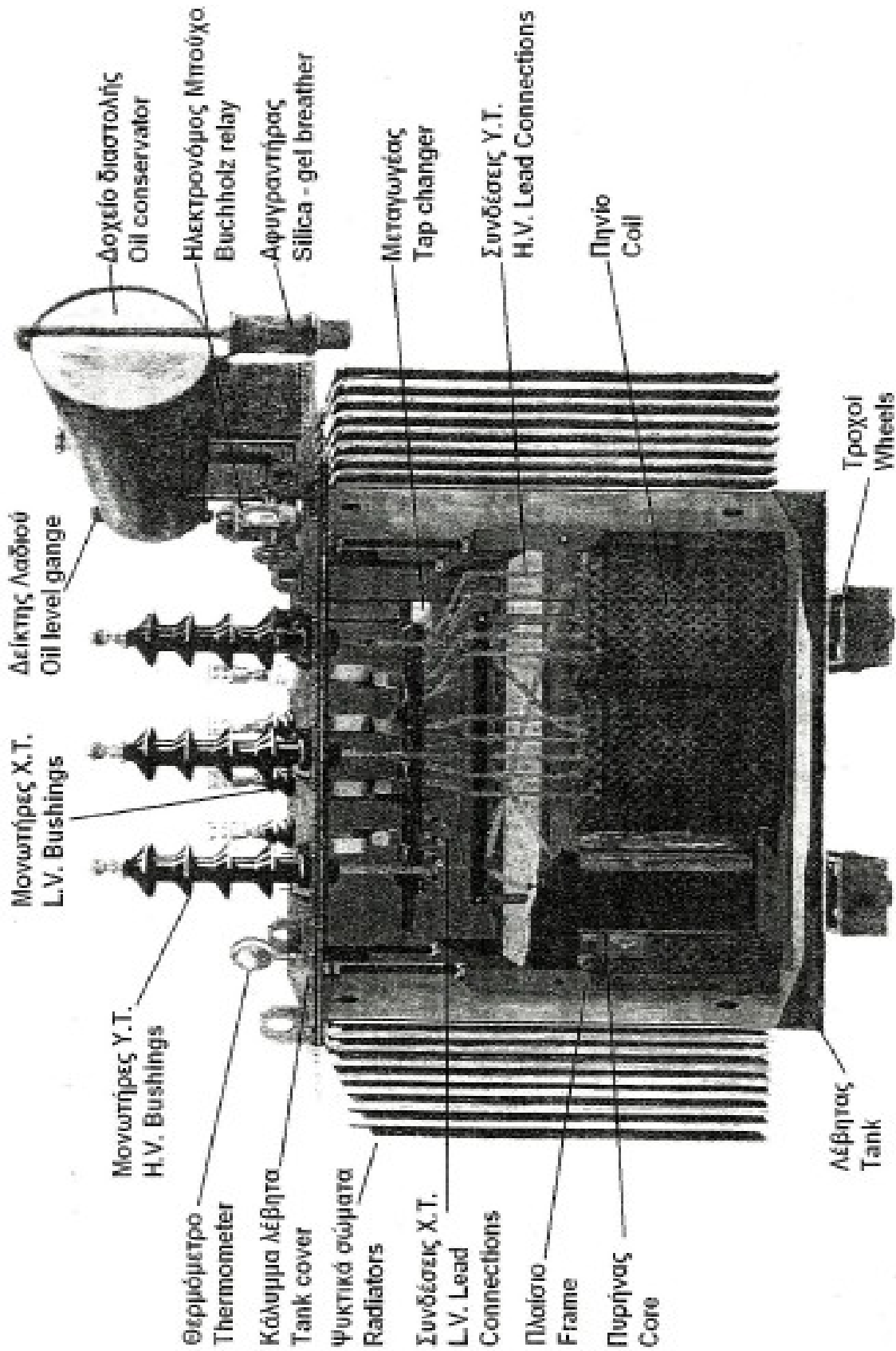
-το δοχείο διαστολής, στο οποίο τοποθετείται το λάδι του Μ/Σ. Πριν την τοποθέτηση του μονωτικού λαδιού στο δοχείο επικρατούν συνθήκες κενού ώστε να μην υπάρχει αέρας μέσα σε αυτό, αλλιώς μπορεί να δημιουργηθεί πρόβλημα στη λειτουργία του Μ/Σ. Επίσης λόγω των απωλειών Joule του Μ/Σ παρατηρείται διαστολή στο λάδι και για το λόγο αυτό το δοχείο διαστολής δεν συμπληρώνεται μέχρι πάνω.

-τον αφυγραντήρα, ο οποίος συγκρατεί τυχόν υπάρχουσα υγρασία που μπορεί να εμφανιστεί στο εσωτερικό του μετασχηματιστή. Αποτελείται από ένα ειδικό silica-gel το οποίο απορροφά την υγρασία και χρειάζεται αντικατάσταση ανά δύο χρόνια περίπου.

-τον Ηλεκτρονόμος Μπούχολτζ ή Buchholz Relay. Με την πάροδο του χρόνου το ηλεκτρομονωτικό λάδι παλαιώνει, μειώνεται η διηλεκτρική του αντοχή με αποτέλεσμα να εκλύει κάποια αέρια τα οποία είναι τοξικά. Τα αέρια αυτά ασκούν πίεση σε έναν πλωτήρα στο εσωτερικό του ηλεκτρονόμου με αποτέλεσμα να κλείνουν δύο επαφές, να ενεργοποιείται μία σειρήνα και να διακόπτεται η παροχή ΜΤ ή ΧΤ. Για την επανατροφοδότηση θα πρέπει να υπάρξει αντικατάσταση του λαδιού του Μ/Σ.

-το θερμόμετρο, το οποίο ελέγχει τη θερμοκρασία του Μ/Σ και η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 105°C περίπου. Σε αντίθετη περίπτωση ενεργοποιείται ο Ηλεκτρονόμος Μπούχολτζ.

-τον μεταγωγέα, ο οποίος είναι ένας χειροκίνητος διακόπτης που μεταβάλλει τον αριθμό των σπειρών στο τύλιγμα ΥΤ έτσι ώστε να αλλάζει ο λόγος μετασχηματισμού και να ρυθμίζεται το επιθυμητό επίπεδο τάσης στο οποίο πρέπει να λειτουργεί ο μετασχηματιστής. Στο ελληνικό δίκτυο διανομής διακρίνουμε τρία επίπεδα τάσης για τη ΜΤ : i)τα 6,6kV, ii)τα 15 kV και iii)τα 20kV.



Σχήμα 1.2.3-1: Μ/Σ διανομής

1.2.4 Προστασία στα δίκτυα διανομής

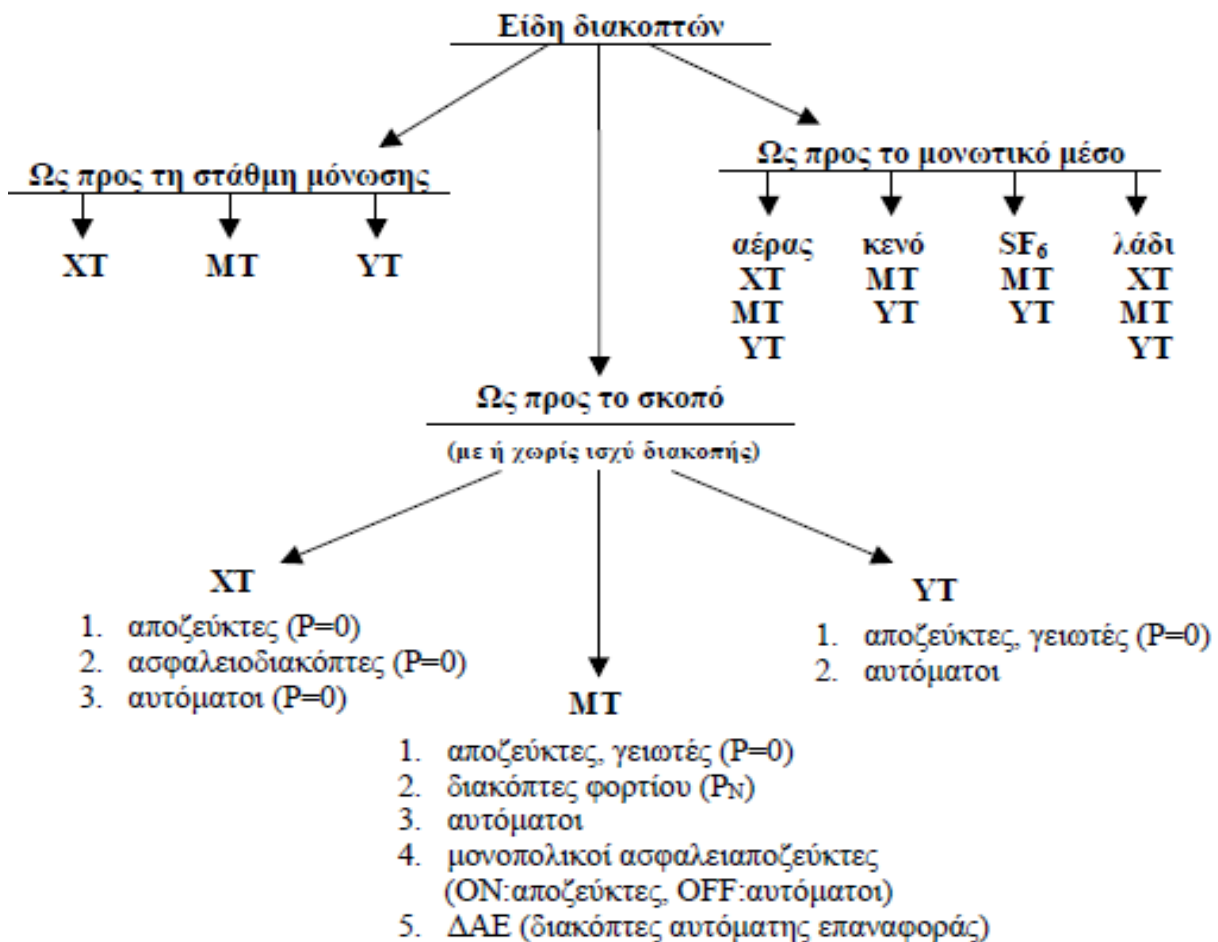
Η προστασία γενικά των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας αποβλέπει σε τρεις κύριους στόχους:

α) την πρόληψη ή τον περιορισμό των βλαβών των στοιχείων του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος. Σε περίπτωση ωστόσο που η βλάβη εκδηλωθεί τότε επιδιώκεται :

β) ο περιορισμός των επιπτώσεων στο υπόλοιπο δίκτυο και η ελαχιστοποίηση της διακοπής της τροφοδότησης των καταναλωτών και τέλος

γ) η αποφυγή της δημιουργίας επικίνδυνων καταστάσεων για πρόσωπα (ηλεκτροπληξία) ή και πράγματα (πυρκαγιά κτλ).

Οι διακόπτες λοιπόν ως μέσα προστασίας είναι αναπόσπαστο κομμάτι κάθε Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας και μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη στάθμη μόνωσης, το μονωτικό μέσο και τον σκοπό για τον οποίον χρησιμοποιούνται. Μια ταξινόμηση τους δίνεται ακολούθως στο Σχήμα 1.2.4-1.



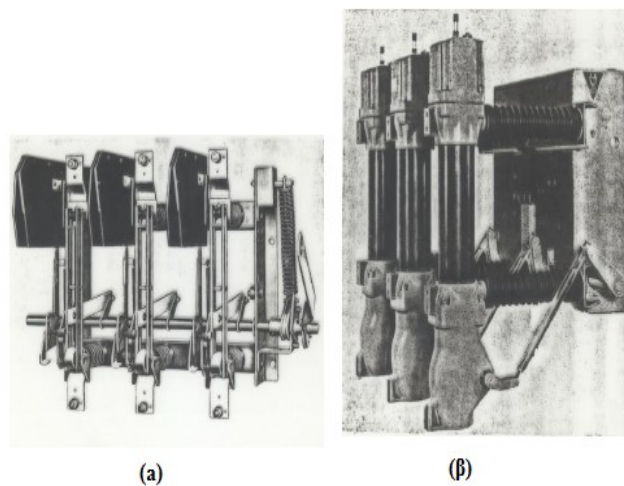
Σχήμα 1.2.4-1: Ταξινόμηση των διακοπών.

Στα δίκτυα διανομής ενδιαφέρον έχουν κυρίως οι διακόπτες και οι ασφάλειες MI και XI. Η ανάγκη για χειρισμούς και για προστασία τόσο των εγκαταστάσεων, όσο και των χειριστών οδήγησε στην δημιουργία ορισμένων βασικών ειδών διακοπών οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους πίνακες ή στις κυψέλες MI του ΔΕΔΔΗΕ καθώς επίσης και στους καταναλωτές MI και XI.

1.2.4.1 Μέσα προστασίας στη Μέση Τάση

Τα βασικά είδη εξοπλισμού προστασίας που χρησιμοποιούνται στη ΜΤ αποτελούν οι αποζεύκτες, γειωτές, διακόπτες φορτίου, διακόπτες ισχύος και ασφάλεις ΜΤ.

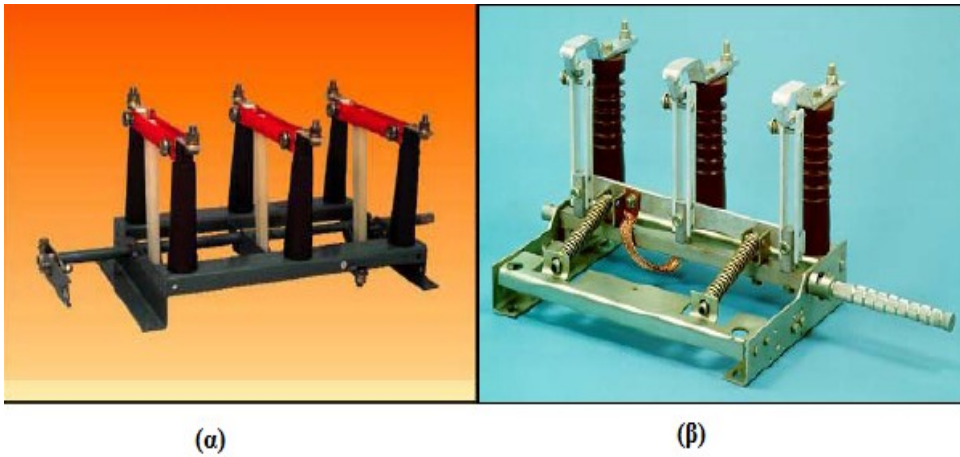
Ο διακόπτης ισχύος ή αυτόματος διακόπτης και ο διακόπτης φορτίου, οι οποίοι δίνονται στο Σχήμα 1.2.4.1-1, αποτελούν μέσα χειρισμού μίας εγκατάστασης όταν αυτή είναι υπό φορτίο. Οι επαφές του διακόπτη φορτίου μπορούν να ανοίξουν μόνο όταν αυτός διαρρέεται από ρεύματα ονομαστικής τιμής, δηλαδή μόνο υπό κανονική κατάσταση λειτουργίας, ή και όταν δε διαρρέεται από ρεύματα (μηδενικά ρεύματα). Διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου που δημιουργείται κατά το άνοιγμα ή κλείσιμο των επαφών του σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Έτσι υπάρχουν οι διακόπτες φορτίου α) με μονωτικά τοιχώματα, β) αερίου εξαφθοριούχου θείου (SF₆) και γ) κενού. Ο διακόπτης ισχύος λειτουργεί σε μηδενικά ρεύματα, σε ρεύματα ονομαστικά, αλλά και σε ρεύματα τα οποία εκδηλώνονται κατά τα βραχυκυκλώματα. Διακρίνεται επίσης ανάλογα με το μέσο σβέσης τόξου σε α) πτωχού ελαίου, β) αερίου εξαφθοριούχου θείου(SF₆) και γ) κενού.



Σχήμα 1.2.4.1-1: (α) Διακόπτης φορτίου
(β) Αυτόματος διακόπτης

Σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενους διακόπτες ο αποζεύκτης και ο γειωτής δεν επιδέχονται χειρισμού υπό φορτίο καθώς δεν διαθέτουν ισχύ διακοπής. Έτσι, αφού έχει πρώτα επέλθει διακοπή του φορτίου μέσω του διακόπτη ισχύος ή του διακόπτη φορτίου, στη συνέχεια χρησιμοποιείται ο αποζεύκτης για την απομόνωση της εγκατάστασης από την τάση και μόνο μετά την απόξεση χρησιμοποιείται ο γειωτής για την απομάκρυνση των ηλεκτροστατικών φορτίων της εγκατάστασης.

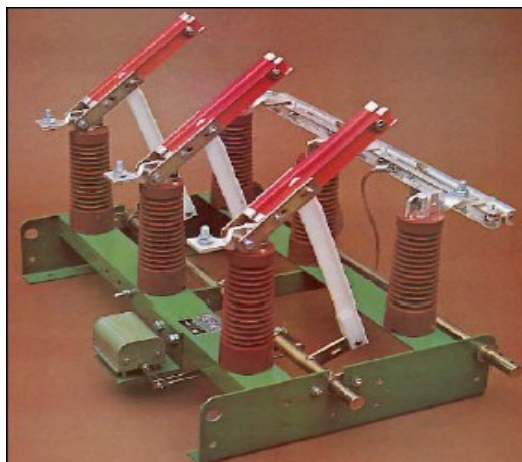
Στο Σχήμα 1.2.4.1-2 δίνεται ένας αποζεύκτης ΜΤ εσωτερικού χώρου και ένας γειωτής.



Σχήμα 1.2.4.1-2:(α) Αποζεύκτης MT εσωτερικού χώρου
(β) Γειωτής

Τόσο οι αποζεύκτες όσο και οι γειωτές λοιπόν χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση εργασιών συντήρησης και επισκευών υπό συνθήκες ασφαλείας. Είναι χειροκίνητοι διακόπτες και ο χειρισμός τους γίνεται από ένα χειριστήριο που παρέχει στον χειριστή την απαιτούμενη απόσταση προστασίας και ασφαλείας από τα υπό τάση μέρη. Το χειριστήριο αυτό εξασφαλίζει επίσης τη συγκράτηση (μανδάλωση) του διακόπτη στη θέση λειτουργίας που τον έθεσε ο χειριστής.

Στην πράξη συνηθίζεται ο αποζεύκτης και ο γειωτής να χρησιμοποιούνται ως ένα είδος διακόπτη που έχει ως αποτέλεσμα ο ένας από τους δύο διακόπτες να παραμένει ανοικτός όταν ο άλλος είναι κλειστός. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μια αλληλασφάλιση μεταξύ των δύο διακοπών η οποία εξασφαλίζει την αποφυγή τυχόντος λανθασμένου χειρισμού καθώς δεν πρέπει να υπάρξει ζεύξη υπό συνθήκες γείωσης. Στο Σχήμα 1.2.4.1-3 που ακολουθεί δίνεται σχηματικά ο συνδυασμός γειωτή με αποζεύκτη.



Σχήμα 1.2.4.1-3:Συνδυασμός τριπολικού αποζεύκτη με τριπολικό γειωτή ως ένα είδος διακόπτη MT.

Ως μέσο προστασίας της εγκατάστασης από το βραχυκύκλωμα με υπερφόρτιση που διαρκεί αρκετή ώρα χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες ΜΤ, οι οποίες συνδυάζονται με τον διακόπτη φορτίου αλλά όχι τον διακόπτη ισχύος καθώς ο διακόπτης ισχύος προστατεύει από μόνος του την εγκατάσταση από το βραχυκύκλωμα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

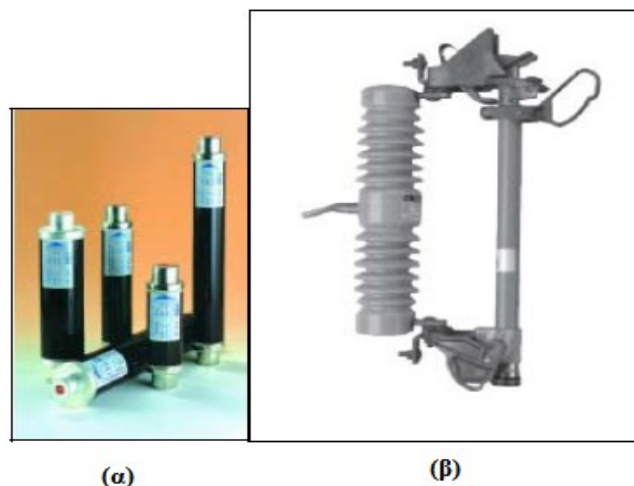
- α) Τις ασφάλειες σκόνης
- β) Τις ασφάλειες εκτόνωσης

Οι ασφάλειες σκόνης αποτελούνται από ένα κύλινδρο πορσελάνης μέσα στον οποίο βρίσκονται η σκόνη χαλαζία και το τηκτό, το οποίο συνήθως είναι άργυρος ή κράματα αργύρου. Η σβέση του τόξου που δημιουργείται κατά την τήξη του τηκτού όταν εκδηλώνεται βραχυκύκλωμα γίνεται από τη σκόνη χαλαζία, ενώ ταυτόχρονα η διάταξη συνολικά συμπεριφέρεται σαν μία αντίσταση μεγάλης τιμής που πρακτικά μειώνει το ρεύμα βραχυκύκλωσης καθιστώντας το ακίνδυνο για την εγκατάσταση.

Οι ασφάλειες εκτόνωσης αποτελούνται από ένα μονωτικό κυλινδρικό σωλήνα μέσα στον οποίο βρίσκεται ένας αγωγός, το τηκτό. Εσωτερικά του κυλίνδρου υπάρχει επίσης και ένα στρώμα βορικού οξέως το οποίο κατά την εκδήλωση σφάλματος και την τήξη του τηκτού έρχεται σε επαφή με το τόξο που δημιουργείται με αποτέλεσμα να παράγονται ατμοί οι οποίοι ψήχουν το τόξο και έτσι επέρχεται η σβέση του. Παρόλα αυτά οι ατμοί αυτοί είναι τοξικοί και για τον λόγο αυτόν οι ασφάλειες εκτόνωσης χρησιμοποιούνται μόνο σε εξωτερικούς χώρους.

Οι ασφάλειες εκτόνωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης και χαρακτηρίζονται ως Τύπου Τ
 2. Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης και χαρακτηρίζονται ως Τύπου Κ
- Στο Σχήμα 1.2.4.1-4 δίνονται οι ασφάλειες σκόνης και εκτόνωσης.



Σχήμα 1.2.4.1-4:(α) Ασφάλεια σκόνης
(β) Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω σε βάση σε κατάσταση λειτουργίας.

Τέλος, στην πράξη υπάρχουν και άλλοι συνδυασμοί των διακοπών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Για παράδειγμα έχουμε: α) συνδυασμός διακόπτη φορτίου με ασφάλειες και γειωτή σε μια μεταλλική βάση όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.4.1-5, ενώ β) στο Σχήμα 1.2.4.1-6 φαίνεται ένας ασφαλειοδιακόπτης με ασφάλειες σκόνης.

1.2.4.2 Μέσα προστασίας στη Χαμηλή Τάση

Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για προστασία στην ΧΤ αποτελείται κυρίως από τους αποζεύκτες (μονοπολικούς, διπολικούς και τριπολικούς), από τους ασφαλειοαποζεύκτες και αυτόματους διακόπτες.

Όπως και στη ΜΤ ο αυτόματος διακόπτης χρησιμοποιείται ως μέσω χειρισμού της τροφοδότησης της εγκατάστασης και για υψηλές τιμές απορροφόμενης έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έχει δηλαδή ισχύ διακοπής, σε αντίθεση με τον αποζεύκτη ο οποίος χρησιμοποιείται ως μέσο απομόνωσης της εγκατάστασης αφού πρώτα έχει επέλθει η απόσβεση της από το υπόλοιπο δίκτυο για λόγους ασφαλείας στις διάφορες εργασίες επισκευής ή συντήρησης. Η λειτουργία και χρησιμότητα των ασφαλειοαποζευκτών τόσο στην ΧΤ, όσο και στη ΜΤ θα αναφερθεί αναλυτικά σε επόμενη υποενότητα.

Να σημειωθεί επίσης ότι στη ΧΤ έχει γενικευθεί η εγκατάσταση του ουδετέρου αγωγού, ο οποίος ακριβώς για λόγους προστασίας ατόμων από ηλεκτροπληξία γειώνεται πολλαπλά. Η διάταξη αυτή λοιπόν προστίθεται στα μέσα προστασίας των δικτύων ΧΤ.

Για προστασία έναντι του βραχυκυκλώματος χρησιμοποιούνται και στη ΧΤ οι ασφάλειες ΧΤ.

Στους πίνακες 1.2.4.2-1 και 1.2.4.2-2 δίνονται τιμές των ασφαλειών σε πίνακες χαμηλής τάσης του δικτύου διανομής, ανάλογα με τον μετασχηματιστή και το μήκος της γραμμής.

Ισχύς P [KVA]	Ασφάλεια I _{ασφ} [A]	Γυμνοί Αγωγοί Al [16 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [35 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [50 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [70 mm ²]	Συνεστραμμένο Καλώδιο Al [3x35+54,6mm ²]	Συνεστραμμένο Καλώδιο Al [3x70+54,6mm ²]
		Μήκος γραμμής σε m					
15	25	1030 950					
	32	760 690					
25	32	850 770					
	40	660 580				1000 380	
50	50	560 480	1070 30			840 720	1130 1010
	63	440 360	830 690	1090 920		660 540	920 750
	80	330 250	630 490	830 660	1010 820	500 380	700 530
75	63	450 370	870 730	1140 970		680 560	950 780
	80	350 270	670 530	880 710	1080 880	530 410	740 570
	100	280 200	530 380	690 510	840 640	420 300	580 410
	125	220 140	410 270	530 360	650 450	330 210	450 290
100	63	460 380	890 750	1160 990		690 570	970 800
	80	360 280	690 550	900 730	1110 910	540 420	760 580
	100	280 210	540 400	710 530	870 670	430 310	600 430
	125	220 150	420 270	550 380	680 480	340 220	470 300
	160	170 90	320 180	420 240	510 310	260 140	360 190

Πίνακας 1.2.4.2-1: Τιμές ασφαλειών σε πίνακες ΧΤ του ΔΕΔΔΗΕ ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ.

Ισχύς P [KVA]	Ασφάλεια I _{ασφ.} [A]	Γυμνοί Αγωγοί Al [16 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [35 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [50 mm ²]	Γυμνοί Αγωγοί Al [70 mm ²]	Συνεστραμμένο Καλώδιο Al [3x35+54,6mm ²]	Συνεστραμμένο Καλώδιο Al [3x70+54,6mm ²]
		Μήκος γραμμής σε m					
150 160 200	80	370 290	710 570	940 760	1150 950	550 430	770 600
	100	300 210	570 420	740 560	910 710	440 320	610 440
	125	230 150	450 300	590 410	720 510	350 230	480 320
	160	180 100	350 200	450 270	560 340	270 150	370 210
	200		270 130	360 170	440 220	210 90	300 130
	250		210 70	280 90	340 110		230 70
250- 400 500- 630 750- 1000	80	370 290	720 580	960 770	1170 970	560 440	780 610
	100	300 220	580 480	760 580	940 730	450 330	620 460
	125	240 160	460 310	600 420	740 540	360 240	500 330
	160	180 110	360 210	470 280	580 360	280 160	400 220
	200		280 140	370 180	460 240	220 100	310 140
	250		230 80	300 100	360 40		250 80
	315			230 40	280 50		
	400				220		
500							

Πίνακας 1.2.4.2-2: Τιμές ασφαλειών σε πίνακες XT του ΔΕΔΔΗΕ ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ.

Το μικρότερο μήκος αφορά την γραμμή χωρίς το καλώδιο παροχής και συγκεκριμένα καλώδιο 2x6 mm² μήκους 30 m, ενώ το μεγαλύτερο μήκος της γραμμής αφορά τη γραμμή με το καλώδιο παροχής.

Σε περίπτωση που μία γραμμή όμως αποτελείται από γυμνούς αγωγούς διαφορετικών διατομών τότε το ισοδύναμο μήκος της γραμμής υπολογίζεται αν μετατρέψουμε τους επιμέρους αγωγούς σε ένα είδος αγωγού σταθερής διατομής. Για τη μετατροπή α μέτρων αγωγού αντίστασης Z_α (Ω/km) σε αγωγό αντίστασης Z_β ισχύει η σχέση:

$$\beta = \alpha(Z_a/Z_b) \quad (1)$$

όπου το πηλίκο Z_α/Z_β δίνεται στον πίνακα 1.2.4.2-3 για γυμνούς αγωγούς και συγκεντρικά καλώδια.

Διατομή γυμνού αγωγού Cu ή ισοδύναμου Al	16 mm ² (Z _β =2,570 Ω/km)	35 mm ² (Z _β =1,310 Ω/km)	50 mm ² (Z _β =0,967 Ω/km)	70 mm ² (Z _β =0,797 Ω/km)
16 mm ² (Z _α =2,570 Ω/km)	1,000	1,962	2,658	3,224
35 mm ² (Z _α =1,310 Ω/km)	0,509	1,000	1,355	1,644
50 mm ² (Z _α =0,967 Ω/km)	0,376	0,738	1,000	1,213
70 mm ² (Z _α =0,797 Ω/km)	0,310	0,608	0,824	1,000
Διατομή συγκεντρικού καλωδίου Cu				
6 mm ² (Z _α =7,754 Ω/km)	3,017	5,917	8,020	9,730
10 mm ² (Z _α =4,334 Ω/km)	1,685	3,307	4,482	5,438
16 mm ² (Z _α =2,804 Ω/km)	1,091	2,140	2,900	3,518
25 mm ² (Z _α =1,788 Ω/km)	0,695	1,364	1,850	2,243

Πίνακας 1.2.4.2-3: Τιμές Z_α/Z_β για γυμνούς αγωγούς χαλκού ή αλουμινίου και συγκεντρικά καλώδια.

Όταν ικανοποιούνται λοιπόν οι απαιτήσεις κατά τους ανωτέρω πίνακες ισχύει και η συνθήκη ουδετέρωσης ή βραχυκύκλωσης πράγμα το οποίο σημαίνει ότι κατά την εκδήλωση βραχυκυκλώματος συμβαίνει ακαριαία τήξη της ασφάλειας με αποτέλεσμα να παρατηρείται θέρμανση των αγωγών κατά μόνο λίγους βαθμούς Κελσίου και επομένως δε δημιουργούνται τήγματα αλουμινίου από αυτούς.

Τέλος ένα σημαντικό κομμάτι των εναέριων δικτύων διανομής είναι και η προστασία έναντι κεραυνοπληξίας. Για τον λόγο αυτό προβλέπεται κατά κανόνα η εγκατάσταση αλεξικέρανων διατάξεων στην πλευρά ΜΤ. Μια γενική περιγραφή της λειτουργίας τους είναι η εξής: Όταν ένα κύμα τάσης τιμής μεγαλύτερης από ένα όριο, το οποίο καλείται και τάση διασπάσεως ή τάση εναύσεως, φτάσει στο σημείο σύνδεσης του αλεξικεράνου το διάκενο του σπινθηριστή διασπάται και το αντίστοιχο προς την υπέρταση φορτίο οδηγείται στη γη. Τα αλεξικέρανα παρέχουν αναμφίβολα πληρέστερη προστασία. Συνεπάγονται ωστόσο μεγαλύτερο κόστος για την εγκατάσταση. Κόστος το οποίο δεν δικαιολογείται αν πρόκειται για μη κεραυνόπληκτες περιοχές ή για περιπτώσεις δικτύων που είναι φυσικώς προστατευόμενα (π.χ όταν η γραμμή περιβάλλεται από κτίρια).

1.2.4.3 Ασφαλειοαποζεύκτες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην υποενότητα 1.2.4.1 σχετικά με την προστασία στο δίκτυο ΜΤ, ως μέσα προστασίας έναντι του βραχυκυκλώματος χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες οι οποίες διακρίνονται σε ασφάλειες σκόνης και ασφάλειες εκτόνωσης.

Από την μεριά τους οι ασφάλειες εκτόνωσης διακρίνονται στις βραδείας τήξεως, ή αλλιώς τύπου Τ και ταχείας τήξεως, ή αλλιώς τύπου Κ. Στο Σχήμα 1.2.4.3-1 διακρίνουμε μια ασφάλεια εκτόνωσης σε συνδυασμό με τη βάση στην οποία τοποθετείται και η οποία, όπως φαίνεται, μπορεί να λειτουργήσει και ως αποζεύκτης. Σε περίπτωση λοιπόν σφάλματος και άρα τήξης του τηκτού της ασφάλειας, αυτή αποσυνδέεται από το ένα άκρο της βάσης και με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να διαπιστώσουμε από μακριά αν η ασφάλεια έχει τακεί και άρα αν το κύκλωμα βρίσκεται εκτός τάσης. Στην ουσία λοιπόν έχουμε ένα συνδυασμό ασφάλειας και αποζεύκτη όπως και έχει επικρατήσει να καλείται αυτή η διάταξη, ασφαλειοαποζεύκτης.

Οι ασφαλειοαποζεύκτες λοιπόν χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής για την προστασία των γραμμών ΜΤ των Μ/Σ και γενικότερα της εγκατάστασης από τα βραχυκυκλώματα και τις υπερφορτίσεις. Αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία όπως διακρίνουμε και στο Σχήμα 1.2.4.3-1:

α) Το σώμα διακοπής (the cutout body) το οποίο είναι ένα πλαίσιο σε σχήμα C που υποστηρίζει τη βάση της ασφάλειας και ένας ραβδωτός μονωτήρας από πορσελάνη ή πολυμερές ο οποίος απομονώνει ηλεκτρικά τα αγωγικά μέρη της διάταξης από τη βάση στην οποία και είναι προσδεμένος ο μονωτήρας.

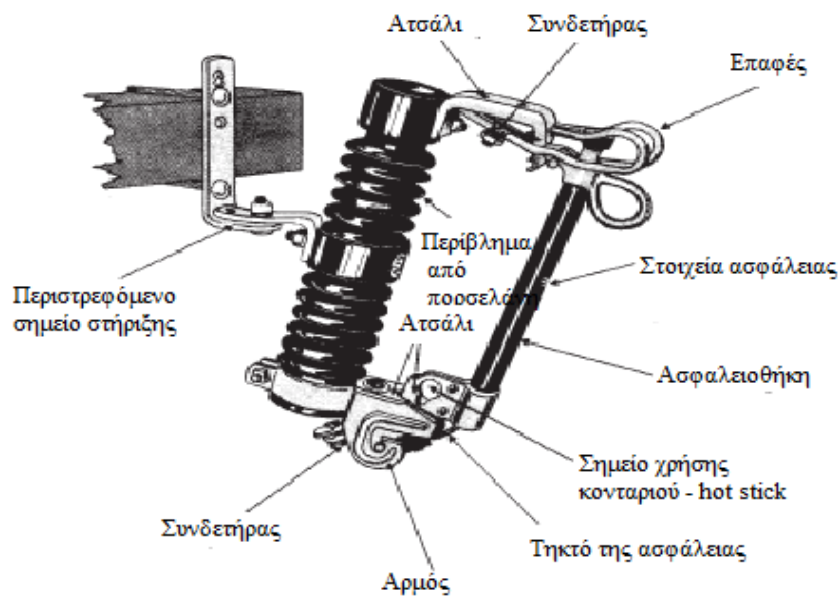
β) Την ασφαλειοθήκη η οποία καλείται επίσης σωλήνας ασφάλειας (fuse tube or door) και η οποία είναι ένας μονωτικός σωλήνας που περιέχει την ασφάλεια η οποία και μπορεί να αντικατασταθεί. Όταν η ασφάλεια τακεί η ασφαλειοθήκη πέφτει από την πάνω επαφή του σώματος διακοπής (button) προκαλώντας διακοπή της ηλεκτροδότησης και κρέμεται από το κάτω μέρος του σώματος διακοπής (leader). Με αυτόν τον τρόπο, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, γίνεται ορατή τυχόν τήξη της ασφάλειας εξασφαλίζοντας ότι το κύκλωμα είναι εκτός τάσης. Το κύκλωμα μπορεί να ανοίξει και χειροκίνητα τραβώντας την ασφαλειοθήκη με κατάλληλα εργαλεία-εξοπλισμό.

γ) Την ασφάλεια που είναι και το αντικαταστάσιμο κομμάτι της διάταξης καθώς σε περίπτωση βραχυκυκλώματος όπου το ρεύμα παίρνει εξαιρετικά μεγάλες τιμές η ασφάλεια τήκεται προστατεύοντας την εγκατάσταση. Το τηκτό της ασφάλειας είναι ένας αγωγός συνήθως από κασσίτερο ή κράμα αργύρου ο οποίος λιώνει όταν εκτίθεται σε υψηλά ρεύματα. Οι ονομαστικές τιμές ρεύματος των ασφαλειών ποικίλλουν από 1Α μέχρι 200 Α.



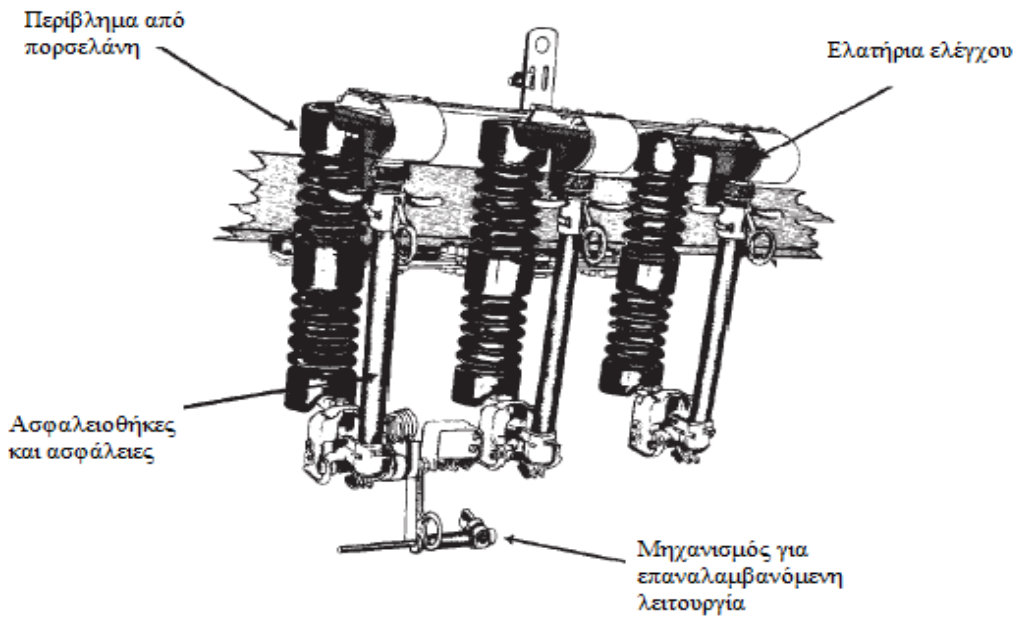
Σχήμα 1.2.4.3-1: Ασφαλειοαποζεύκτες ΜΤ.

Οι ασφαλειοαποζεύκτες είναι τοποθετημένοι συνήθως με κλίση 20° από την κατακόρυφο έτσι ώστε το κέντρο βάρους της ασφαλειοθήκης να είναι μετατοπισμένο και όταν η ασφάλεια τακεί η βάση της να περιστραφεί και να πέσει υπό το βάρος της (Σχήμα 1.2.4.3-2). Επίσης κάθε ασφαλειοθήκη έχει προσκολλημένο πάνω της ένα δακτυλίδι το οποίο με κατάλληλο εξοπλισμό (fiberglass hot stick) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τραβηχτεί η ασφαλειοθήκη και να ανοίξει χειροκίνητα ο ασφαλειοαποζεύκτης. Παρόλα αυτά αν και είναι σχεδιασμένος να ανοίγει και χειροκίνητα αποφεύγεται να γίνεται αυτός ο χειρισμός του υπό φορτίο. Ο ασφαλειοαποζεύκτης λοιπόν έχει διπλή συμπεριφορά. Όταν είναι σε κατάσταση εντός λειτουργεί σαν αποζεύκτης πράγμα που απαγορεύει τον χειρισμό του (άνοιγμα του) υπό φορτίο. Ενώ όταν είναι σε κατάσταση εκτός λειτουργεί σαν αυτόματος διακόπτης γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί το κλείσιμό του υπό φορτίο.



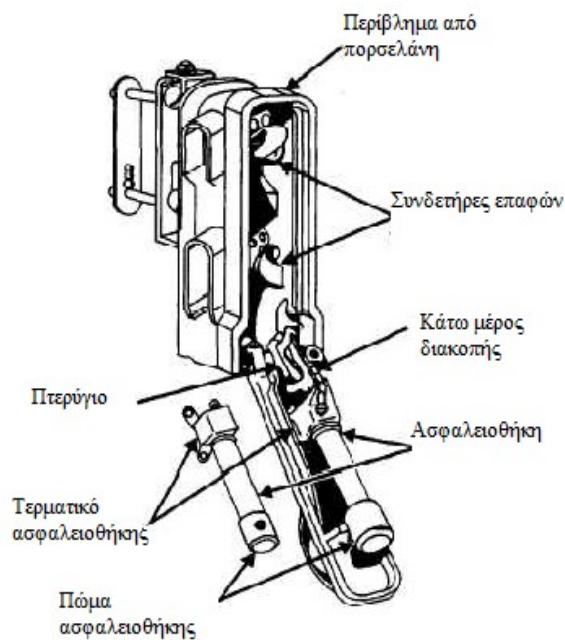
Σχήμα 1.2.4.3-2: Τρόπος τοποθέτησης των ασφαλειοαποζευκτών στους στύλους.

Όπως και με τον διακόπτη αυτόματης επαναφοράς προλαμβάνονται η άσκοπη διακοπή της ηλεκτροδότησης και η άσκοπη μετακίνηση των συνεργείων σε περίπτωση παροδικών σφαλμάτων που μπορεί να προκληθούν από πτώσεις κλαδιών από δέντρα ή και από ζώα, έτσι και με τους ασφαλειοαποζεύκτες υπάρχει μία αντίστοιχη διάταξη που μπορεί να προλάβει την άσκοπη διακοπή της τροφοδοσίας από τέτοια παροδικά σφάλματα. Αυτή η διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 1.2.4.3-3 και καλείται repeater cutout fuse. Αποτελείται από τρεις ασφαλειοαποζεύκτες οι οποίοι είναι μεταξύ τους μηχανικά διατεταγμένοι έτσι ώστε όταν παρουσιαστεί ένα σφάλμα και ανοίξει ο πρώτος ο δεύτερος να κλείσει μηχανικά αποκαθιστώντας την τροφοδότηση. Αν το σφάλμα εξακολουθεί να υπάρχει μετά το κλείσιμο του δεύτερου ασφαλειοαποζεύκτη τότε τήκεται και του δεύτερου η ασφάλεια και ανοίγει. Μηχανικά επομένως κλείνει ο τρίτος ασφαλειοαποζεύκτης αποκαθιστώντας την τροφοδότηση και μόνον εφόσον εξακολουθεί να υπάρχει το σφάλμα (πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι παροδικό) ανοίγει και ο τρίτος και διακόπτεται η τροφοδοσία.



Σχήμα 1.2.4.3-3:Επαναλαμβάνων ασφαλειοαποζεύκτης (Repeater fuse cutout).

Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι όλες οι παραπάνω διατάξεις αφορούν ασφαλειο-αποζεύκτες ανοικτού τύπου (open and open-link cutouts). Εκτός από του ανοικτού τύπου υπάρχουν και κλειστού τύπου (enclosed type cutouts). Οι δύο τύποι ασφαλειοαποζευκτών έχουν ακριβώς την ίδια μέθοδο λειτουργίας, η διαφορά τους ωστόσο έγκειται στο γεγονός ότι οι κλειστού τύπου περιβάλλονται από ένα μονωτικό περίβλημα συνήθως κατασκευασμένο από πορσελάνη. Ένας ασφαλειοαποζεύκτης κλειστού τύπου δίνεται στο Σχήμα 1.2.4.3-4.



Σχήμα 1.2.4.3-4:Ασφαλειοαποζεύκτης κλειστού τύπου.

Καθώς οι ασφάλειες που χρησιμοποιούνται είναι ασφάλειες εκτόνωσης, η σβέση του τόξου που δημιουργείται κατά την εκδήλωση του βραχυκυκλώματος και την τήξη του τηκτού της ασφάλειας πραγματοποιείται από βορικό οξύ, ένα στρώμα του οποίου βρίσκεται εσωτερικά του κυλίνδρου της ασφάλειας. Κατά την εκδήλωση του σφάλματος λοιπόν και την επαφή του οξέος με το τόξο παράγονται ατμοί οι οποίοι ψύχουν το τόξο και έτσι επέρχεται η σβέση του. Επίσης η πίεση που δημιουργούν οι ατμοί μαζί με τη πίεση ενός ελατηρίου το οποίο είναι τοποθετημένο στο κάτω μέρος του σωλήνα της ασφάλειας και το οποίο παρέμενε σταθερό όσο το τηκτό ήταν άθικτο έχουν σαν αποτέλεσμα την πτώση της ασφαλειοθήκης και την πιο γρήγορη εκτόνωση και ψύξη του τόξου.

Σύμφωνα με το American National Standards Institute-ANSI C37.42, 1996 πρέπει να τηρούνται κάποιες προδιαγραφές για τη σωστή χρήση και λειτουργία των ασφαλειοαποζευκτών. Έτσι έχουμε:

Κάθε τύπος ασφαλειοαποζεύκτη (enclosed, open, open-link) πρέπει να χρησιμοποιείται σε δίκτυο συγκεκριμένης ονομαστικής τάσης σύμφωνα με τον πίνακα 1.2.4.3-1.

Τύπος Ασφαλειοαποζεύκτη	Μέγιστη Ονομαστική Τάση (kV rms)
Enclosed and Open	15.0-15.5 27.0 38.0
Open-link	7.8-8.3 15.0-15.5 18.0-23.0

Πίνακας 1.2.4.3-1:Μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας ανάλογα με τον τύπο του ασφαλειοαποζεύκτη.

Επίσης για να είναι εύκολη η αντικατάσταση των τηκτών, οι ασφαλειοθήκες θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις. Στον πίνακα 1.2.4.3-2 δίνεται η εσωτερική διάμετρος που πρέπει να έχει η ασφαλειοθήκη ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας.

Ονομαστικό Ρεύμα I_N [A]	Εσωτερική διάμετρος ασφαλειοθήκης	
	[inches]	[mm]
1-50	5/16	7.9
51-100	7/16	11.1
101-200	11/16	17.5

Πίνακας 1.2.4.3-2:Εσωτερική διάμετρος ασφαλειοθήκης ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας.

Όσον αφορά τις διαστάσεις του τηκτού αγωγού της ασφάλειας η διάμετρος του ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας δίνεται στον πίνακα 1.2.4.3-3.

Ονομαστικό Ρεύμα I_N [A]	Διάμετρος τηκτού	
	[inches]	[mm]
1-50	5/32	4.0
51-100	1/4	6.4
101-200	3/8	9.5

Πίνακας 1.2.3.3-3: Διάμετρος τηκτού αγωγού ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας.

Το μήκος του τηκτού αγωγού μεταξύ των επαφών της ασφάλειας εξαρτάται από την ονομαστική τάση του δικτύου στο οποίο είναι εγκατεστημένος ο ασφαλειοαποζεύκτης και δίνεται στον πίνακα 1.2.4.3-4.

Μέγιστη Ονομαστική Τάση [kV,rms]		Μήκος τηκτού			
		Ελάχιστο		Μέγιστο	
		[inches]	[mm]	[inches]	[mm]
Στήλη 1α	Στήλη 1β	Στήλη 2	Στήλη 3	Στήλη 4	Στήλη 5
8.3	7.0	7	17.8	8 ½	21.6
15.5	15.0	7	17.8	8 ½	21.6
23.0	18.0	13	33.0	14	35.6

Πίνακας 1.2.4.3-4: Μήκος τηκτού μεταξύ των επαφών της ασφάλειας ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας.

Ακολουθώς στον πίνακα 1.2.4.3-5 δίνονται για τα τηκτά Τύπου Κ τα μέγιστα ρεύματα που προκαλούν την τήξη της ασφάλειας ανάλογα με την ονομαστική της τιμή (ονομαστικό ρεύμα) και τον χρόνο τήξης. Στον πίνακα 1.2.4.3-6 δίνονται τα αντίστοιχα ρεύματα για τα τηκτά Τύπου Τ. Και για τους δύο τύπους διακρίνουμε τρεις χρόνου τήξης: (α) τα 300s για ονομαστικά ρεύματα κάτω των 100A ή 600s για ονομαστικά ρεύματα άνω των 100A, (β) τα 10 s και τέλος (γ) τα 0,1s.

Ονομαστικό Ρεύμα (A)	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 300s.	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 10s.	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 0,1s.
1	2,4	10	58
2	4,8	10	58
3	7,2	10	58
6	14,4	20,5	86
8	18	27	116
10	23,4	34	154
12	30	44	199
15	37,2	55	258
20	47	71	328
25	69	90	420
30	76	115	546

Πίνακας 1.2.4.3-5:Μέγιστα ρεύματα και χρόνοι τήξης ασφαλειών Τύπου Κ
α)300s για $I_N \leq 100A$
β)600s για $I_N \geq 100A$

Ονομαστικό Ρεύμα I_n (A)	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 300s.	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 10s.	Μέγιστο ρεύμα διακοπής (A) για χρόνο διακοπής 0,1s.
1	2,4	11	100
2	4,8	11	100
3	7,2	11	100
6	14,4	23	144
8	18	31	199
10	23,4	40	269
12	30	52	355
15	37,2	67	466
20	47	85	595
25	69	109	762
30	76	138	975

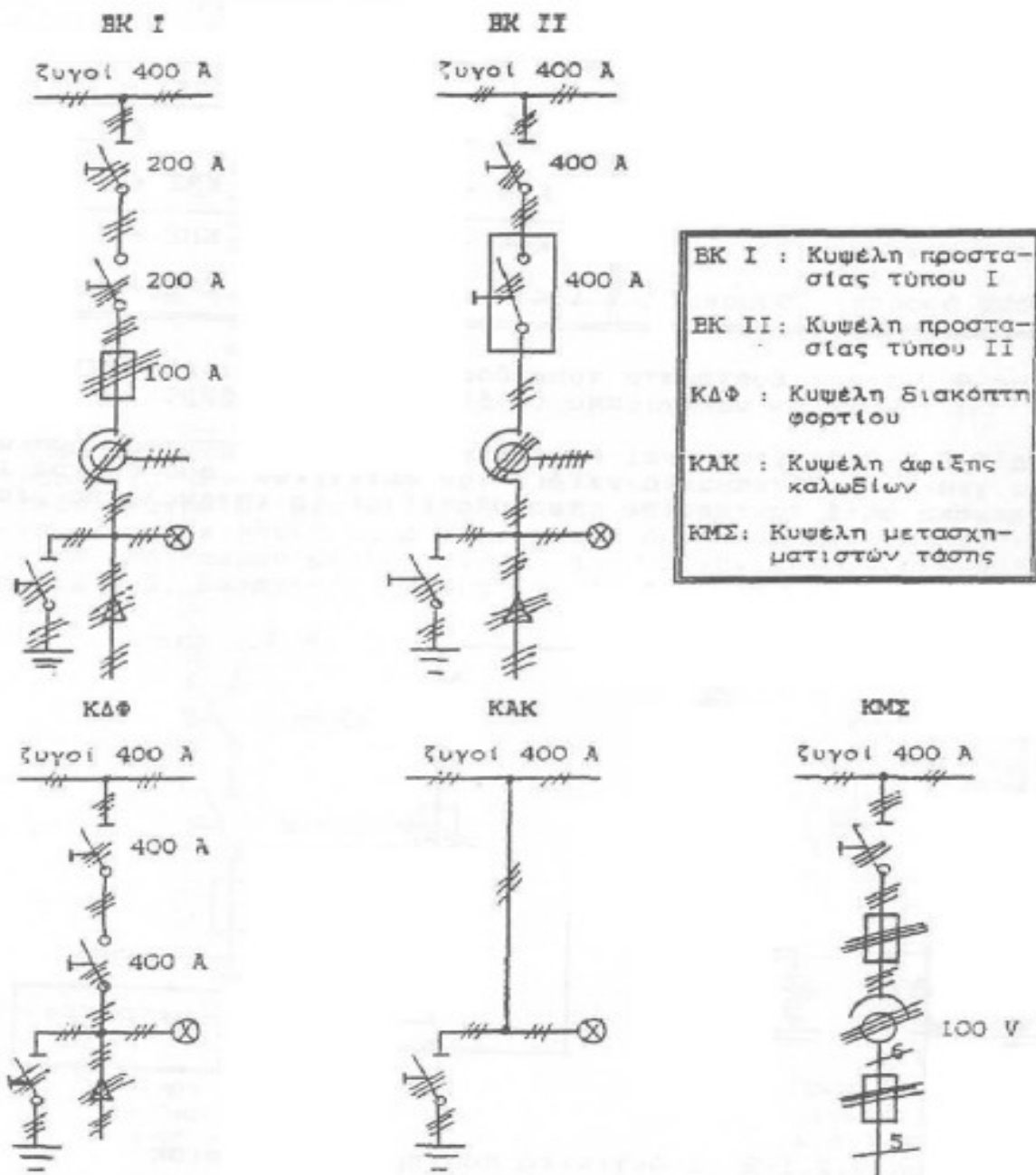
Πίνακας 1.2.4.3-5:Μέγιστα ρεύματα και χρόνοι τήξης ασφαλειών Τύπου Τ
α)300s για $I_N \leq 100A$
β)600s για $I_N \geq 100A$

Τέλος να σημειωθεί ότι στα δίκτυα διανομής οι ασφαλειοαποζεύκτες χρησιμοποιούνται για ρεύματα μέχρι 30 A. Για προστασία άνω των 30 A χρησιμοποιούνται διακόπτες αυτόματης επαναφοράς(ΔΑΕ).

1.2.5 Πίνακες Δικτύου Διανομής του ΔΕΔΔΗΕ και των καταναλωτών

1.2.5.1 Πίνακες στη Μέση Τάση

Στο Σχήμα 1.2.5-1 που ακολουθεί δίνονται τα μονογραμμικά σχέδια των πινάκων ή κυψελών του δικτύου ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ. Στους πίνακες αυτούς συμπεριλαμβάνεται και ένας πίνακας για τη μέτρηση και την καταγραφή της ισχύος. Παρατηρούνται στα σχήματα που ακολουθούν τα βασικά είδη διακοπών που προαναφέρθηκαν, καθώς επίσης και οι συνδυασμοί αυτών.



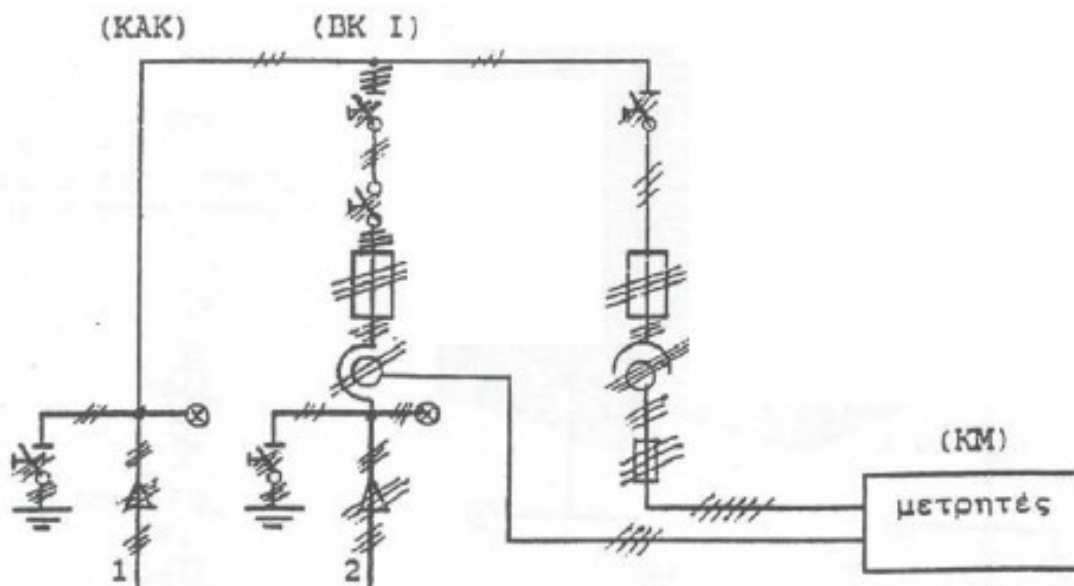
Σχήμα 1.2.5-1: Πίνακες (κυψέλες) του ΔΕΔΔΗΕ στη ΜΤ.

Οι πίνακες του Σχήματος 1.2.5-1 λοιπόν μαζί με έναν πίνακα μέτρησης και καταγραφής της ισχύος (ΚΜ) συναρμολογούνται σε ένα συγκρότημα πινάκων σε χώρο τον οποίον διαθέτει ο καταναλωτής. Το είδος του συγκροτήματος αυτού εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ και μέσω αυτού τροφοδοτείται τελικά ο καταναλωτής είτε μέσω ενός πίνακα ΒΚ I, είτε ενός πίνακα ΒΚ II. Τα τέσσερα είδη τυποποιημένων πινάκων ΜΤ δίνονται ακολούθως στον πίνακα 1.2.5-1.

α/α	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	2 ΚΑΚ+1 ΒΚ I+1 ΚΜΣ+1 ΚΜ
4	Ακτινικό σύστημα II	2 ΚΑΚ+1 ΒΚ II+1 ΚΜΣ+1 ΚΜ

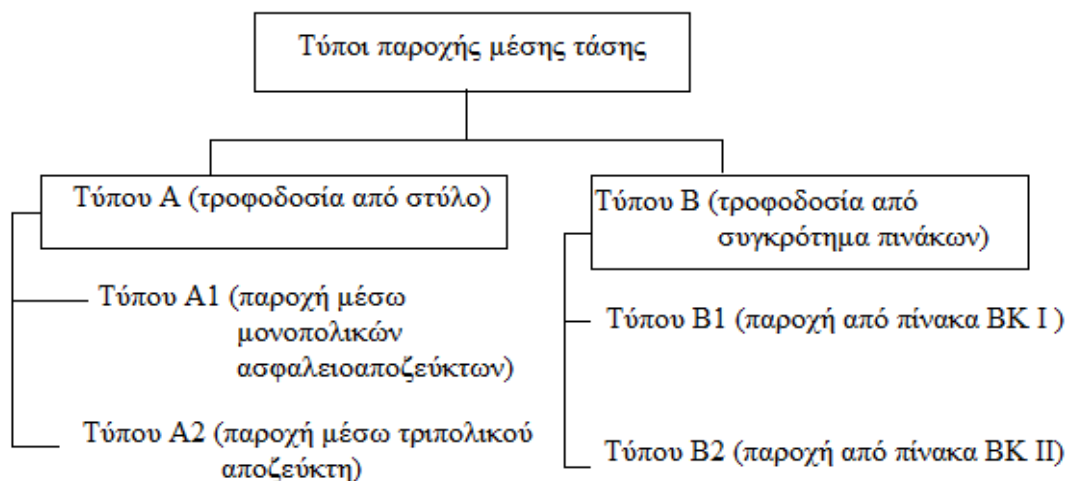
Πίνακας 1.2.5-1: Συστήματα τροφοδοσίας μέσω συγκροτημάτων πινάκων από το δίκτυο ΜΤ.

Ακολουθεί στο Σχήμα 1.2.5-2 το μονογραμμικό σχέδιο ακτινικού συστήματος I από τον πίνακα ΒΚ I του οποίου τροφοδοτείται καταναλωτής ΜΤ.



Σχήμα 1.2.5-2: Ακτινικό σύστημα τροφοδοσίας
1: από το δίκτυο
2: προς τον καταναλωτή

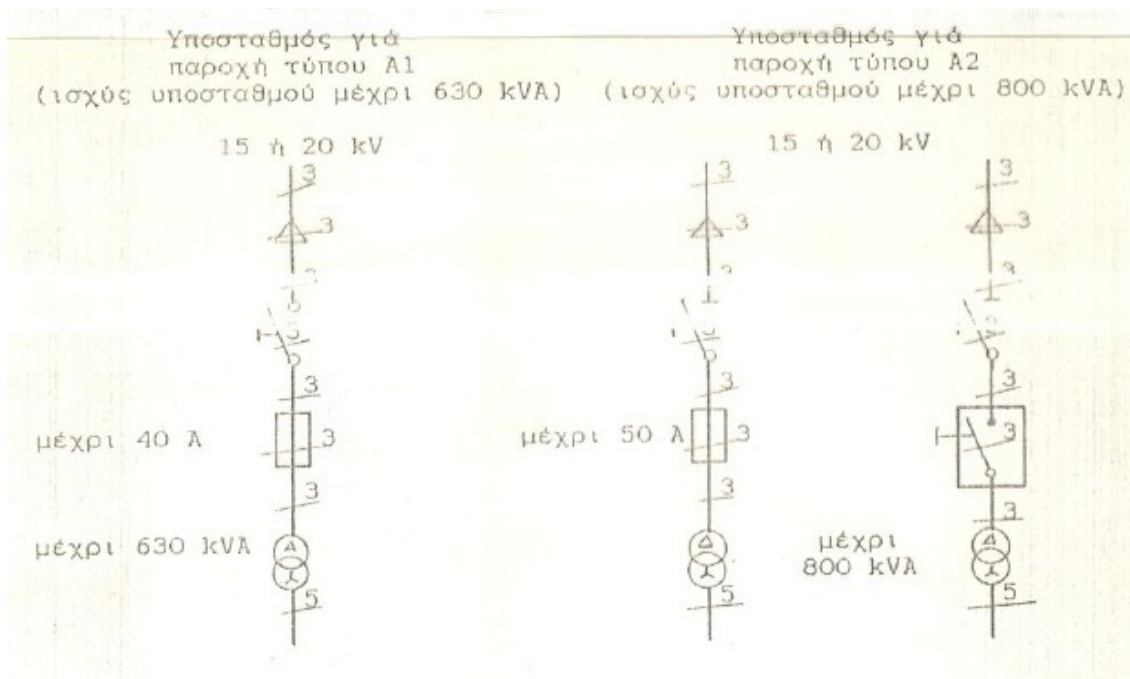
Η παροχή ΜΤ σε καταναλωτές αφορά απορροφημένες εντάσεις ρεύματος άνω των 200Α ανά φάση όπως συμβαίνει συνήθως σε βιομηχανίες, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, μεγάλα ξενοδοχεία, κτίρια ΑΕΙ κ.λ.π. Οι μέθοδοι λοιπόν και οι διαφορετικοί τύποι παροχής ΜΤ από το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ προς τους καταναλωτές ΜΤ δίνονται διαγραμματικά στο Σχήμα 1.2.5-3.



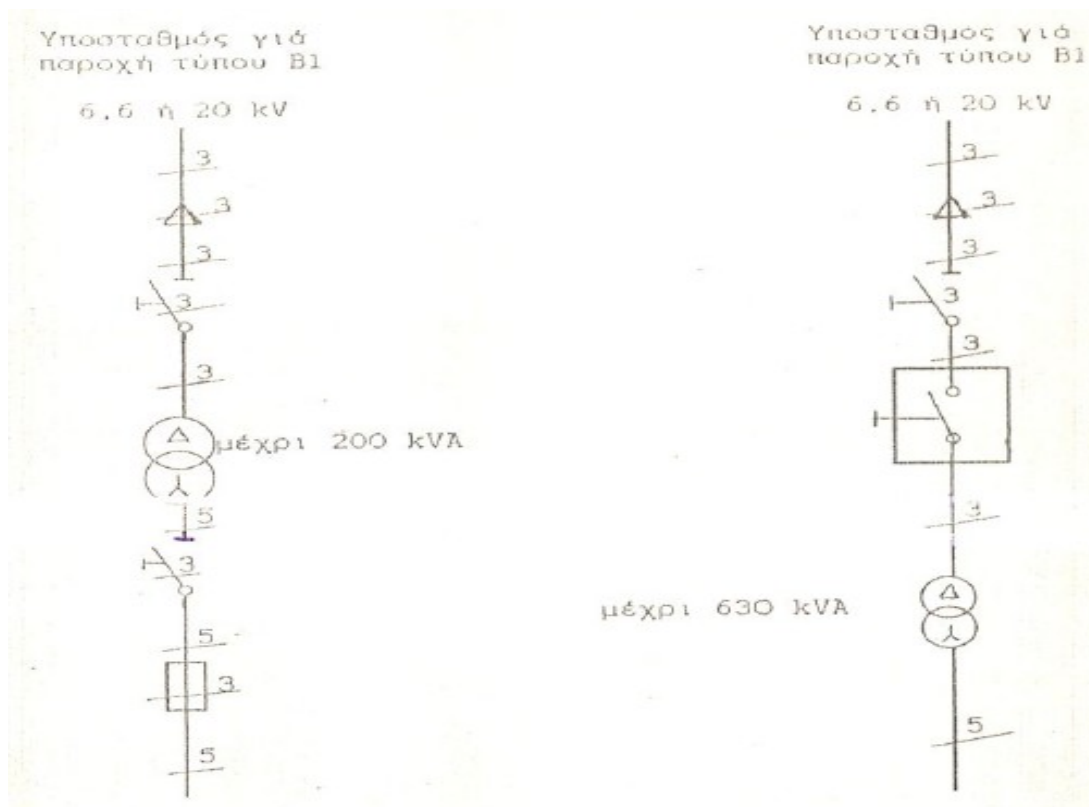
Σχήμα 1.2.5-3: Τύποι παροχής ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ.

Η τυποποίηση αυτή έχει προέλθει από τον τρόπο εγκατάστασης των οργάνων μέτρησης και των μέσων προστασίας του ΔΕΔΔΗΕ. Αν τα όργανα μέτρησης και τα μέσα προστασίας είναι τοποθετημένα εξωτερικά, υπαίθρια, τότε η παροχή χαρακτηρίζεται ως τύπου Α όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η εγκατάσταση αυτών γίνεται σε στεγασμένο χώρο κατάλληλα διαμορφωμένο και σύμφωνα με τις οδηγίες του ΔΕΔΔΗΕ, τότε η παροχή χαρακτηρίζεται ως τύπου Β. Έτσι η παροχή τύπου Α χρησιμοποιείται όταν η τροφοδότηση γίνεται από το εναέριο δίκτυο ΜΤ, ενώ η παροχή τύπου Β όταν γίνεται από το υπόγειο δίκτυο ΜΤ. Επίσης ανάλογα με την ισχύ που παρέχεται στον καταναλωτή προκύπτουν δύο επιπλέον κατηγορίες που προσδιορίζονται με τους αριθμούς 1 και 2. Έτσι όταν μια παροχή τύπου Α έχει ισχύ μέχρι 630kVA τότε χαρακτηρίζεται ως τύπου Α1, ενώ για μεγαλύτερη ισχύ ως τύπου Α2. Για τις παροχές τύπου Β το όριο ισχύος είναι 1250kVA για να χαρακτηριστούν ως τύπου Β1 και για παροχές μεγαλύτερης ισχύος τύπου Β2.

Στα Σχήματα 1.2.5-3 και 1.2.5-4 δίνονται Υ/Σ ανάλογα με τον τύπο της παροχής, την ονομαστική τάση του δικτύου και την ισχύ του Μ/Σ.

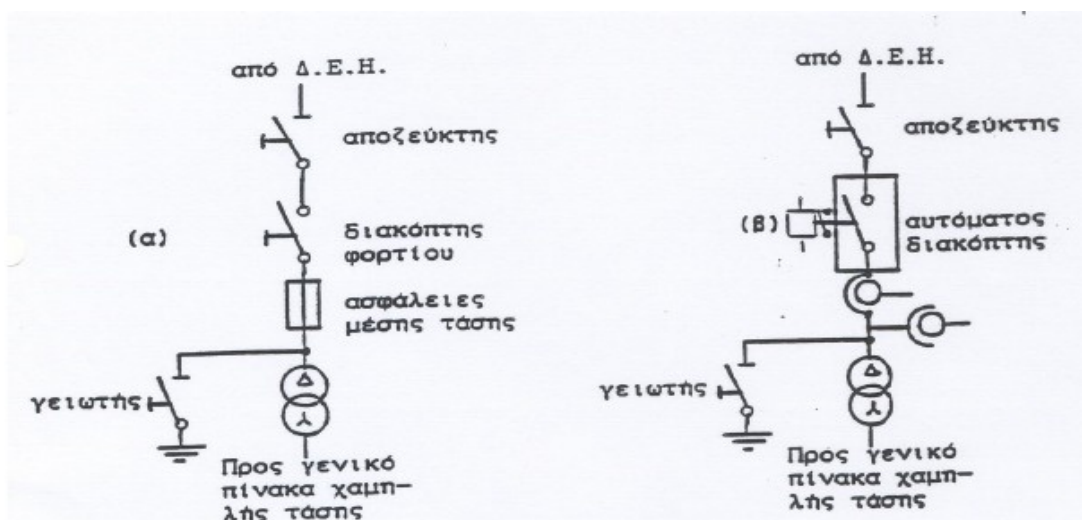


Σχήμα 1.2.5-3: Μονογραμμικά σχέδια Υ/Σ σε περίπτωση τροφοδοσίας από στύλο (τύπου Α1 και Α2).



Σχήμα 1.2.5-4: Μονογραμμικά σχέδια Υ/Σ σε περίπτωση τροφοδοσίας από συγκρότημα πινάκων με παροχή από πίνακα ΒΚ Ι (τύπου Β1).

Όσον αφορά τους ιδιωτικούς Υ/Σ ΜΤ, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην υποενότητα 1.2.4.1 σχετικά με τα μέσα προστασίας στη ΜΤ, διακρίνουμε δύο παραδεκτές περιπτώσεις ιδιωτικών Υ/Σ οι οποίες δίνονται στο Σχήμα 1.2.5-5.



Σχήμα 1.2.5-5: Τύποι ιδιωτικών Υ/Σ

- (α) μέσω διακόπτη φορτίου και ασφαλειών ΜΤ
- (β) μέσω αυτόματου διακόπτη

Και στις δύο περιπτώσεις Υποσταθμών ο πίνακας είναι ο ΒΚ Ι ή ο ΒΚ ΙΙ που χρησιμοποιεί και ο ΔΕΔΔΗΕ. Στην περίπτωση (α) ο χειρισμός της εγκατάστασης γίνεται μέσω ενός διακόπτη φορτίου, ενώ στην περίπτωση (β) μέσω ενός αυτομάτου διακόπτη. Η προστασία από βραχυκύκλωμα γίνεται στην περίπτωση (α) μέσω των ασφαλειών ΜΤ, ενώ στην περίπτωση (β) μέσω ηλεκτρονόμου προστασίας που επενεργεί στον χειρισμό του αυτομάτου διακόπτη. Τέλος και στις δύο περιπτώσεις η απομόνωση της εγκατάστασης από το δίκτυο γίνεται μέσω αποζεύκτη και γειωτή.

Και στην περίπτωση των ιδιωτικών Υποσταθμών υπάρχουν αλληλασφαλίσεις μεταξύ των διαφόρων μέσων προστασίας ώστε να αποφευχθούν λανθασμένοι χειρισμοί που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τους ίδιους τους χειριστές και την εγκατάσταση. Κάποιοι τέτοιοι άπλοι μηχανισμοί εξασφαλίζουν: α) Την αποφυγή χειρισμού του αποζεύκτη όταν ο διακόπτης φορτίου ή ισχύος είναι κλειστός.

β) Την αποφυγή του χειρισμού του διακόπτη ισχύος ή φορτίου όταν ο αποζεύκτης δεν είναι τελείως ανοικτός ή κλειστός.

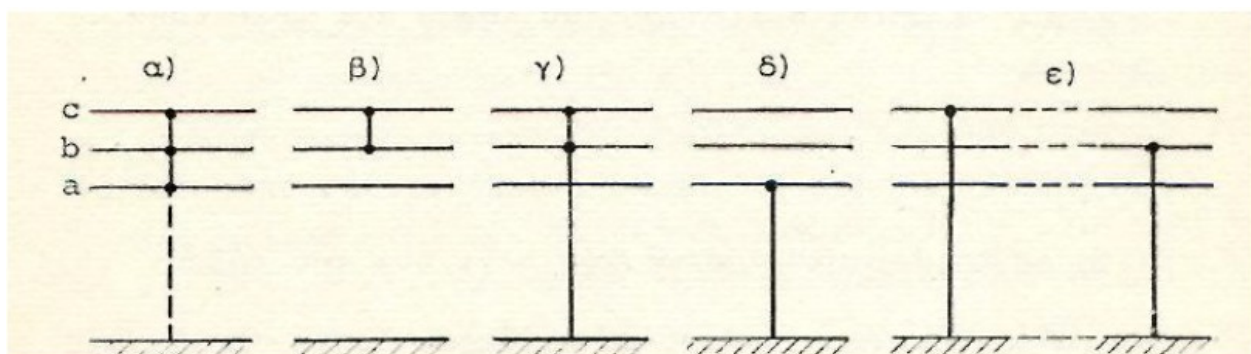
γ) Την αποφυγή χειρισμού του γειωτή όταν ο αποζεύκτης είναι κλειστός.

δ) Την αποφυγή χειρισμού του αποζεύκτη όταν ο γειωτής είναι κλειστός.

1.3 Βραχυκύκλωμα

Το βραχυκύκλωμα αποτελεί μια από τις δυσμενέστερες καταστάσεις λειτουργίας στην οποία μπορεί να βρεθούν τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ηλεκτροτεχνικός εξοπλισμός που είναι εγκατεστημένος στους Υ/Σ (Μ/Σ, μέσα προστασίας κλπ.) δέχεται ακραίες καταπονήσεις, τόσο μηχανικές, όσο και θερμικές από τα ρεύματα βραχυκύκλωσης.

Στο Σχήμα 1.3-1 που ακολουθεί δίνονται σχηματικά τα είδη βραχυκυκλωμάτων που μπορεί να εκδηλωθούν στο δίκτυο. Αυτά είναι: (α) το τριφασικό βραχυκύκλωμα το οποίο είναι ένα συμμετρικό σφάλμα και για αυτό το λόγο τα ρεύματα βραχυκυκλώσεώς του δεν επηρεάζονται από την ενδεχόμενη ύπαρξη επαφής με τη γη η οποία στο Σχήμα 1.3-1(α) παρουσιάζεται με διακεκομμένη γραμμή, (β) το διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης, (γ) το διφασικό βραχυκύκλωμα με επαφή γης, (δ) το μονοφασικό βραχυκύκλωμα και τέλος (ε) το διπλό βραχυκύκλωμα. Τα τρία πρώτα είδη βραχυκυκλωμάτων είναι και αυτά που δημιουργούν τις δυσμενέστερες συνθήκες για τη λειτουργία του δικτύου.



Σχήμα 1.3-1:Είδη βραχυκυκλωμάτων:

(α) το τριφασικό βραχυκύκλωμα

(β) το διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης

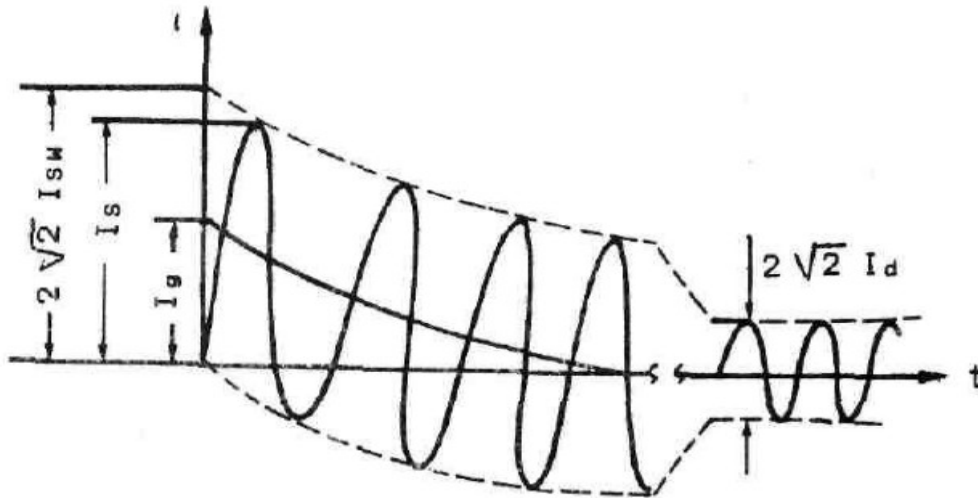
(γ) το διφασικό βραχυκύκλωμα με επαφή γης

(δ) το μονοφασικό βραχυκύκλωμα

(ε) το διπλό βραχυκύκλωμα.

1.3.1 Ανάλυση ρεύματος βραχυκύκλωσης

Στο Σχήμα 1.3.1-1 δίνονται διαγραμματικά οι συνιστώσες του ρεύματος βραχυκύκλωσης.



Σχήμα 1.3.1-1: Συνιστώσες του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Τα βασικά μεγέθη των συνιστωσών του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι τα ακόλουθα:

1. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης $i_k(t)$ είναι το ρεύμα που ρέει στη θέση του σφάλματος κατά τη διάρκεια εκδήλωσής του.
2. Η εναλλασσόμενη συνιστώσα $i_{k,ac}(t)$ είναι η συνιστώσα του $i_k(t)$ με τη συχνότητα του δικτύου.
3. Το εναλλασσόμενο ή και υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sw} είναι η ενδεικνύμενη τιμή του $i_{k,ac}(t)$ κατά τη στιγμή εμφάνισης του σφάλματος.
4. Το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_s είναι η μέγιστη στιγμιαία τιμή του $i_k(t)$.
5. Το I_g είναι το συνεχές ρεύμα βραχυκύκλωσης.
6. Το διαρκές ή μόνιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_d είναι η ενδεικνύμενη τιμή του $i_k(t)$ που παραμένει μετά την απόσβεση των μεταβατικών φαινομένων.
7. Το ρεύμα διακοπής I_a είναι η ενδεικνύμενη τιμή του $i_k(t)$ κατά τη διακοπή της λειτουργίας από το εκάστοτε μέσο προστασίας.

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν το τριφασικό και το διφασικό βραχυκύκλωμα, καθώς όπως αναφέρθηκε αποτελούν από τις πιο δυσμενείς περιπτώσεις βραχυκυκλώματος. Για το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sw} ισχύει η σχέση :

$$I_{sw} = 1,1 * U_n / [\sqrt{3} * \sqrt{(R_{o\lambda}^2 + X_{o\lambda}^2)}] \quad (1)$$

όπου U_n είναι η ονομαστική τιμή της τάσης και $R_{o\lambda}$, $X_{o\lambda}$ η συνολική ωμική και επαγωγική αντίσταση αντίστοιχα μέχρι το σημείο εκδήλωσης του σφάλματος.

Αντίστοιχα για το διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης χαρακτηρίζεται από τη σχέση :

$$I_{sw} = 1,1 * U_n / [2 * \sqrt{(R_{o\lambda}^2 + X_{o\lambda}^2)}] \quad (2)$$

Στον πίνακα 1.3.1-1 δίνονται οι τιμές του εναλλασσόμενου τμήματος του ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο MT του ΔΕΔΔΗΕ.

Όνομαστική τάση $U_N(\text{kV})$	Μέγιστη τάση λειτουργίας $U_{\max}(\text{kV})$	Εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{\text{sw}}(\text{kA})$
6,6	7,2	10
15	17,5	10
20	24	7,2

Πίνακας 1.3.1-1: Τιμές του εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο ΜΤ του ΔΕΔΔΗΕ.

Η δυναμική καταπόνηση προκαλείται από το κρουστικό ρεύμα I_s για το οποίο ισχύει η σχέση :

$$I_s = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{sw}} \quad (3)$$

όπου ο συντελεστής κ υπολογίζεται από τον πίνακα 1.3.1-2.

R_{0l}/X_{0l}	κ	R_{0l}/X_{0l}	κ
0,00	1,800	0,65	1,120
0,05	1,680	0,70	1,110
0,10	0,590	0,75	1,100
0,15	1,500	0,80	1,095
0,20	1,440	0,85	1,090
0,25	1,380	0,90	1,080
0,30	0,330	0,95	1,075
0,35	1,290	1,00	1,070
0,40	1,250	1,05	1,065
0,45	1,220	1,10	1,060
0,50	1,190	1,15	1,055
0,55	1,170	1,20	1,050
0,60	1,140		

Πίνακας 1.3.1-2: Συντελεστής κ σύμφωνα με τη σχέση $\kappa=f(R_{0l}/X_{0l})$.

Η εξασκούμενη δύναμη λόγω του I_s είναι:

$$F = \mu_0 \cdot I_s^2 \cdot L / (2 \cdot \pi \cdot d) \quad (4)$$

όπου $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$, L το μήκος των αγωγών και d η μεταξύ τους απόσταση.

Η θερμική καταπόνηση προέρχεται από το διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης I_d για το οποίο ισχύει η σχέση :

$$I_d = \mu_d \cdot I_{\text{sw}} \quad (5)$$

όπου ο συντελεστής μ_d υπολογίζεται από τον πίνακα 1.3.1-3.

I_{sw}/I_G	μ_a ($\cos\varphi=0,8$)	I_{sw}/I_G	μ_a ($\cos\varphi=0,8$)
0,1	1,0	1,6	0,70
0,2	0,97	2,0	0,67
0,3	0,96	3,0	0,58
0,4	0,93	4,0	0,52
0,5	0,90	5,0	0,49
0,6	0,89	6,0	0,44
0,7	0,87	7,0	0,41
0,8	0,85	8,0	0,40
0,9	0,82	9,0	0,39
1,0	0,80	10,0	0,35

Πίνακας 1.3.1-3: Συντελεστής μ_a (I_G είναι το ονομαστικό ρεύμα της πηγής).

Όσον αφορά το ρεύμα διακοπής I_a η τιμή του καθώς επίσης και η τιμή της ισχύος διακοπής P_a παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή των μέσων διακοπής για την προστασία της εγκατάστασης έναντι των βραχυκυκλωμάτων. Οι τιμές αυτών των δύο μεγεθών δίνονται από τις σχέσεις:

$$I_a = \mu * I_{sw} \quad (6)$$

$$P_a = \sqrt{3} * U_n * I_a \quad (7)$$

Οι τιμές του συντελεστή μ δίνονται ακολούθως από τον πίνακα 1.3.1-4.

I_{sw}/I_G	$\mu_{0,1s}$ ($\cos\varphi=0,8$)	$\mu_{0,25s}$ ($\cos\varphi=0,8$)	I_{sw}/I_G	$\mu_{0,1s}$ ($\cos\varphi=0,8$)	$\mu_{0,25s}$ ($\cos\varphi=0,8$)
0,1-0,6	1,0	1,0	6	0,79	0,70
2	0,97	0,95	7	0,70	0,67
3	0,90	0,85	8	0,75	0,65
4	0,85	0,77	9	0,74	0,63
5	0,80	0,72	10	0,74	0,62

Πίνακας 1.3.1-4: $\mu=f(I_{sw}/I_G)$ για $\cos \varphi=0,8$

$\mu_{0,1s}$: τιμή για χρόνο διακοπής $\sim 0,1s$

$\mu_{0,25s}$: τιμή για χρόνο διακοπής $\sim 0,25s$

I_G : Ονομαστικό ρεύμα της πηγής

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των αγωγών MT ACSR και χαλκού όταν επέρχεται διακοπή της λειτουργίας του δικτύου από ασφαλειοαποζεύκτη.

Η μελέτη αφορά συγκεκριμένα αγωγούς χαλκού και αλουμινίου ACSR ισοδύναμης διατομής χαλκού 16mm^2 , 35mm^2 , 95mm^2 , που αποτελούν και τους βασικούς αγωγούς που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και για συνθήκες διακοπής που προέρχονται από ασφαλειοαποζεύκτες με τηκτά Τύπου K και Τύπου T.

Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στους αγωγούς, ενώ θα πραγματοποιηθεί σχολιασμός και σύγκριση των μεθόδων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτές.

2.Μέθοδοι υπολογισμού μεταβολής θερμοκρασίας στους αγωγούς

2.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι με τις οποίες θα μελετηθεί η θερμική συμπεριφορά των αγωγών ΜΤ κατά τη διακοπή της λειτουργίας τους από ασφαλειοαποζεύκτη.

Θα χρησιμοποιηθούν δύο βασικές μέθοδοι. Η πρώτη, η οποία θα αναφέρεται ως “μέθοδος α” καθαρά για λόγους ευκολίας αναφοράς σε αυτήν, αφορά τον υπολογισμό της μεταβολής θερμοκρασίας του αγωγού με την παραδοχή ότι η θερμότητα ενός αγωγού και η ηλεκτρική του ενέργεια είναι ίσες. Η δεύτερη μέθοδος, που για τους ίδιους λόγους θα αναφέρεται ως “μέθοδος β”, αφορά τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αγωγού με μελέτη κατά το βραχυκύκλωμα.

2.2 Υπολογισμός μεταβολής θερμοκρασίας στους αγωγούς με την παραδοχή $W\theta=W_n$ - (μέθοδος α).

Η ακριβής σχέση μεταξύ της θερμότητας $W\theta$ ενός αγωγού και της ηλεκτρικής του ενέργειας W_n δίνεται από τη σχέση:

$$W_n=W\theta+c*d\theta/dt \quad (1)$$

Από τη σχέση (1) διακρίνεται ότι ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας του αγωγού συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας και το υπόλοιπο στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας του αγωγού.

Για τη θερμότητα $W\theta$ ενός αγωγού με ειδική θερμότητα c και όγκο V ισχύει η σχέση:

$$W\theta=V*c*\Delta\theta \quad (2)$$

όπου $\Delta\theta$ είναι η μεταβολή στη θερμοκρασία που παρατηρείται στον αγωγό. Καθώς ο όγκος V ισούται με το γινόμενο $A*L$, όπου A είναι η διατομή του αγωγού και L το μήκος του, η σχέση (2) γίνεται :

$$W\theta=A*L*c*\Delta\theta \quad (3)$$

Για την ηλεκτρική ενέργεια W_n του αγωγού με αντίσταση R και για ρεύμα I_{\max} ισχύει η σχέση:

$$W_n=I_{\max}^2*R*t \quad (4)$$

και καθώς η σχέση που ισχύει για την αντίσταση R του αγωγού είναι η $R=\rho*(L/A)$, όπου ρ η ειδική αντίσταση, η σχέση (4) γίνεται:

$$W_n=I_{\max}^2*\rho*(L/A)*t \quad (5)$$

όπου t ο χρόνος για τον οποίο γίνεται η μελέτη της ηλεκτρικής ενέργειας του αγωγού.

Θεωρώντας στη σχέση (1) τον όρο $d\theta/dt$ ίσο με $\Delta\theta/\Delta t$, όπου στην ουσία $\Delta t=t$, για τη διαφορά θερμοκρασίας του αγωγού ισχύει η σχέση:

$$\Delta\theta=I^2*(\rho*L/A)*t/(A*L*c+c/t) \quad (6)$$

Ωστόσο η μεταβολή θερμοκρασίας που προκαλείται στον αγωγό είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μεταβολή της θερμοχωρητικότητας του. Στην ουσία λοιπόν ο όρος $d\theta/dt$ είναι αμελητέος

συγκρητικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Έτσι ισχύει η παραδοχή ότι η θερμότητα W_{θ} που αναπτύσσεται σε έναν αγωγό είναι ίση με την ηλεκτρική ενέργεια W_n του αγωγού, δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$W_{\theta}=W_n \quad (7)$$

Η ορθότητα της παραδοχής μπορεί να φανεί με ένα αριθμητικό παράδειγμα όπου συγκρίνονται τα αποτελέσματα των σχέσεων (6) και (7) για αγωγό χαλκού διατομής 16mm^2 και για ασφαλειοαποζεύκτη Τύπου Κ. Για τον αγωγό αυτόν ισχύει: $\rho=1/50 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, $c=3,44 \text{ W} \cdot \text{s}/^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^3$ και μήκος $L=1\text{km}$ ενώ το ρεύμα I είναι ίσο με το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα διακοπής του ασφαλειοαποζεύκτη για τους τρεις χρόνους διακοπής.

Όνομαστικό Ρεύμα I_N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας - Σχέση (7)			Αύξηση θερμοκρασίας – Σχέση (6)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,03915	0,02266	0,00762	0,03924	0,02271	0,00764
2	0,15660	0,02266	0,00762	0,15698	0,02271	0,00764
3	0,35235	0,02266	0,00762	0,35320	0,02271	0,00764
6	1,40940	0,09521	0,01676	1,41279	0,09544	0,1679
8	2,20219	0,16516	0,03049	2,20749	0,16556	0,03054
10	3,72170	0,26191	0,05373	3,73065	0,26253	0,05386
12	6,11719	0,43863	0,08972	6,13190	0,43968	0,08988
15	9,40579	0,68535	0,15081	9,42841	0,68700	0,15108
20	15,01430	1,14210	0,24375	15,05041	1,14484	0,24418
25	32,35992	1,83516	0,39966	32,43777	1,83956	0,40037
30	39,25875	2,99629	0,67542	39,35319	3,00348	0,67662

Πίνακας 2.2-1: Υπολογισμός μεταβολής της θερμοκρασίας σε αγωγό χαλκού διατομής 16mm^2 και για ασφαλειοαποζεύκτη Τύπου Κ με χρήση των σχέσεων (6) και (7).

Παρατηρείται ότι η διαφορά στα αποτελέσματα από τις δύο σχέσεις δεν ξεπερνά τους $0,1^\circ\text{C}$. Επομένως γίνεται αποδεκτή η σχέση (7). Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (3) και (5) στην (7) προκύπτει η τελική σχέση υπολογισμού της μεταβολής της θερμοκρασίας για την μέθοδο α με $\kappa=\rho/c$:

$$\Delta\theta_1=(\kappa \cdot I_{\text{amax}}^2 \cdot t)/A^2 \quad (8)$$

2.3 Υπολογισμός της μεταβολής θερμοκρασίας όπως στο βραχυκύκλωμα (μέθοδος β).

2.3.1 Αύξηση θερμοκρασίας αγωγού

Το βραχυκύκλωμα λοιπόν, όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή, προκαλεί στους αγωγούς και γενικότερα στον εξοπλισμό της εγκατάστασης που είναι στη διαδρομή της βραχυκύκλωσης μια επιπλέον θερμική καταπόνηση. Η καταπόνηση αυτή εξαρτάται από το διαρκές ρεύμα και από τον χρόνο που απαιτείται μέχρι να δράσει το μέσο προστασίας και να διακόψει το σφάλμα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στους αγωγούς δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\theta = \kappa \cdot I_d^2 \cdot [t + T \cdot (I_{sw}/I_d)^2] / A^2 \quad (1)$$

όπου: $\Delta\theta$: η αύξηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου(°C)

I_d : το διαρκές ρεύμα βραχυκύκλωσης σε A

I_{sw} : το εναλλασσόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε A

κ : σταθερά του υλικού($\kappa=0,0058$ για χαλκό και $\kappa=0,0135$ για αλουμίνιο)

A : η διατομή του αγωγού σε mm²

t : χρόνος από την εμφάνιση μέχρι τη διακοπή του σφάλματος

T : συντελεστής χρόνου ($T=0,3-0,15s$ για τριφασικό βραχυκύκλωμα, $T=0,6-0,25s$ για διφασικό βραχυκύκλωμα. Η τιμή του T μειώνεται με την απόσταση από τη θέση σφάλματος.)

Σύμφωνα με τους πίνακες 1.3.1-3 και 1.3.1-4 ο συντελεστής μ_d έχει εύρος τιμών από 0,35 έως 1 και ο συντελεστής μ από 0,62 έως 1. Επομένως η μεγαλύτερη τιμή που μπορούν να πάρουν και οι δύο είναι $\mu = \mu_d = 1$ και έτσι θα ισχύει $I_a = I_d = I_{sw}$, που είναι και η μεγαλύτερη τιμή ρεύματος που μπορούν να πάρουν. Αντικαθιστώντας λοιπόν στην σχέση (1) η σχέση για την αύξηση της θερμοκρασίας είναι:

$$\Delta\theta = \kappa \cdot I_{a\max}^2 \cdot [t + T] / A^2 \quad (2)$$

Η πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι οπωσδήποτε μικρότερη από αυτήν που θα υπολογιστεί από τη σχέση (2) καθώς έχει μελετηθεί η δυσμενέστερη περίπτωση για τις τιμές των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κατά την εκδήλωση βραχυκυκλώματος.

Όσον αφορά τις οριακές θερμοκρασίες που ανέχονται γυμνοί αγωγοί και καλώδια, αυτές δίνονται στους πίνακες 2.3.1-1 και 2.3.1-2.

-για γυμνούς αγωγούς

Υλικό	$\Delta\theta(^{\circ}C)$
Χαλκός	200
Αλουμίνιο	180

Πίνακας 2.3.1-1:Οριακή θερμοκρασία ανοχής γυμνών αγωγών.

-για καλώδια

U(kV)	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Δθ(°C)
1-6	45	120
10-20	35	115
30-60	25	100
Καλώδια χαμηλής τάσης		160

Πίνακας 2.3.1-2:Θερμοκρασία λειτουργίας και οριακή θερμοκρασία ανοχής καλωδίων.

2.3.2 Θερμοκρασία σε αγωγούς λόγω βραχυκυκλώματος κατά IEC 865-1

Μια μέθοδος για τον ακριβή υπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγό είναι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 865-1 η ακόλουθη:

Η αύξηση της θερμοκρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\theta=[e^{S^2*t*\alpha/\sigma*\gamma*c}-1)]/\alpha \quad (3)$$

όπου A είναι η πυκνότητα ρεύματος βραχυκύκλωσης, α ο θερμικός συντελεστής του υλικού, σ η αγωγιμότητα του αγωγού, γ η πυκνότητα του αγωγού και c η ειδική θερμοχωρητικότητα του αγωγού. Οι τιμές των α, γ,σ και c δίνονται στον Πίνακα 2.3.2-1.

Είδος Αγωγού	α [1/°C]	σ [1/Ωm]	γ [km/m ³]	c [Joule/kg°C]
Χαλκός	0,0039	56,0*10 ⁶	8900	390
Αλουμίνιο	0,0040	34,8*10 ⁶	2700	910
Σίδηρος	0,0045	7,25*10 ⁶	7850	480

Πίνακας 2.3.2-1:Τιμές α, σ, γ και c ανάλογα με το υλικό των αγωγών.

Η πυκνότητα του ρεύματος βραχυκύκλωσης S υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S=10^6*I_{th}/A \quad (4)$$

σε A/m², όπου A είναι η διατομή του αγωγού σε mm² και I_{th} είναι το ισοδύναμο θερμικό ρεύμα βραχυκύκλωσης για το οποίο ισχύει:

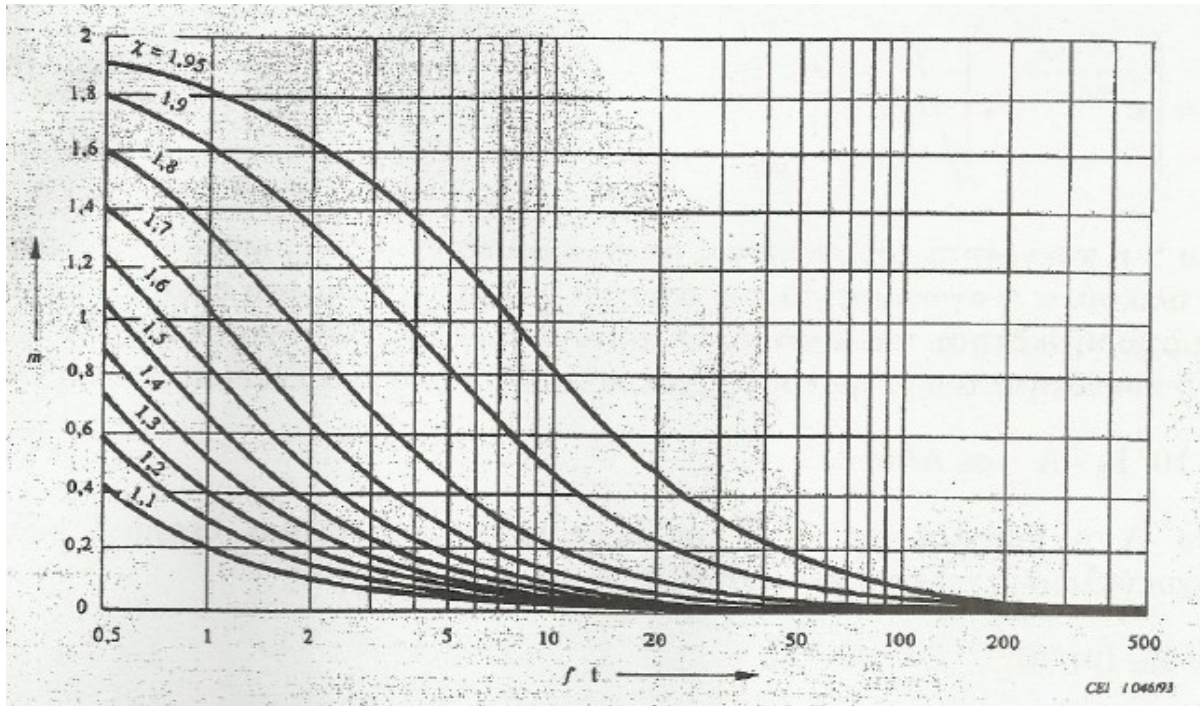
$$I_{th}= Isw(m+n)^{1/2} \quad (5)$$

όπου m και n είναι δύο συντελεστές που υπολογίζονται από τα διαγράμματα στα Σχήματα 2.3.2-1 και 2.3.2-2 αντίστοιχα.

Για τον συντελεστή m απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή χ ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\chi = 1.02 + 0.98 \cdot e^{(-R_{\gamma\rho}/X_{\gamma\rho})} \quad (6)$$

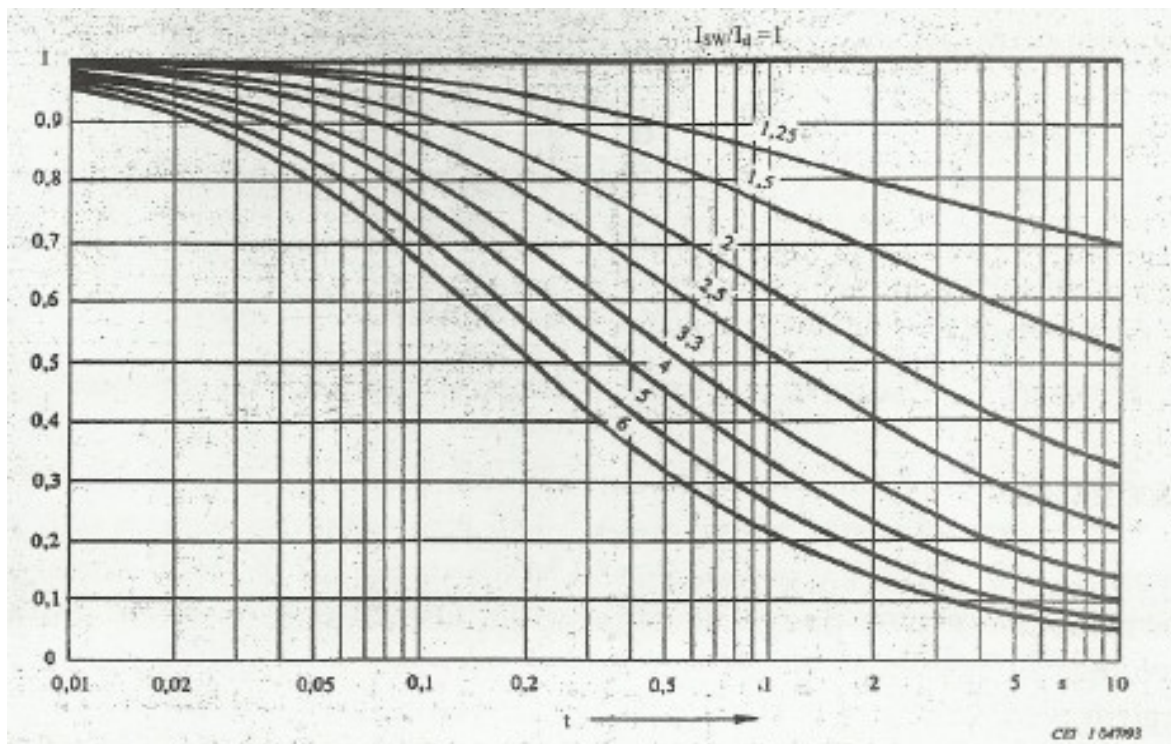
όπου $R_{\gamma\rho}$ και $X_{\gamma\rho}$ είναι η ωμική και επαγωγική αντίσταση του αγωγού μέχρι τη θέση του σφάλματος. Για χρήση της προσεγγιστικής μεθόδου για τον υπολογισμό του I_{sw} το χ λαμβάνεται ίσο με 1,95, η δυσμενέστερη δηλαδή περίπτωση.



Σχήμα 2.3.2-1: Συντελεστής m της de συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Ο οριζόντιος άξονας είναι το γινόμενο του χρόνου διακοπής με τη συχνότητα του συστήματος $f=50\text{Hz}$.

Οι καμπύλες του διαγράμματος αντιστοιχούν στον συντελεστή χ .



Σχήμα 2.3.2-2: Συντελεστής η της ac συνιστώσας του ρεύματος βραχυκύκλωσης.
Οι καμπύλες του διαγράμματος αντιστοιχούν στους διάφορους λόγους I_{sw}/I_d .

3.Αποτελέσματα-Πίνακες-Διαγράμματα

Έχοντας αναλύσει τις δύο μεθόδους υπολογισμού της αύξησης θερμοκρασίας στους αγωγούς, θα γίνει εφαρμογή τους για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αγωγούς χαλκού και αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm^2 , 35 mm^2 και 95 mm^2 όταν υπάρχει διακοπή της λειτουργίας του δικτύου από ασφαλειοαποζεύκτη Τύπου Κ και Τύπου Τ. Στο σημείο αυτό θα γίνει χρήση των στοιχείων που έχουν αναφερθεί στην ενότητα 1.2.4.3 σχετικά με το μέγιστο ρεύμα και τους χρόνους διακοπής των ασφαλειοαποζεύκτων Τύπου Κ και Τύπου Τ, Πίνακες 1.2.4.3-5 και 1.2.4.3-6 αντίστοιχα, ενώ εξετάζεται χρόνος διακοπής 300s καθώς το ονομαστικό ρεύμα είναι μικρότερο των 100A δεδομένου ότι οι ασφαλειοαποζεύκτες χρησιμοποιούνται για διακοπή ονομαστικών ρευμάτων μέχρι 30 A. Επίσης οι δύο σχέσεις που θα χρησιμοποιηθούν είναι η σχέση (7) της υποενότητας 2.2.1 για την μέθοδο α και τον υπολογισμό της $\Delta\theta_1$ και η σχέση (2) της υποενότητας 2.3.1 για τη μέθοδο β και τον υπολογισμό της $\Delta\theta_2$. Ο συντελεστής χρόνου T θα θεωρηθεί ίσος με 0,3s καθώς μελετάται το τριφασικό βραχυκύκλωμα με θέση σφάλματος στο σημείο διακοπής από τον ασφαλειοαποζεύκτη.

3.1 Αγωγοί Χαλκού(Cu)

Για τους αγωγούς χαλκού οι διατομές των αγωγών που μελετούνται είναι 16 mm^2 , 35 mm^2 και 95 mm^2 και ο συντελεστής $\kappa=0,0058$.

3.1.1 Τηκτά τύπου Κ - Μέθοδος α και β

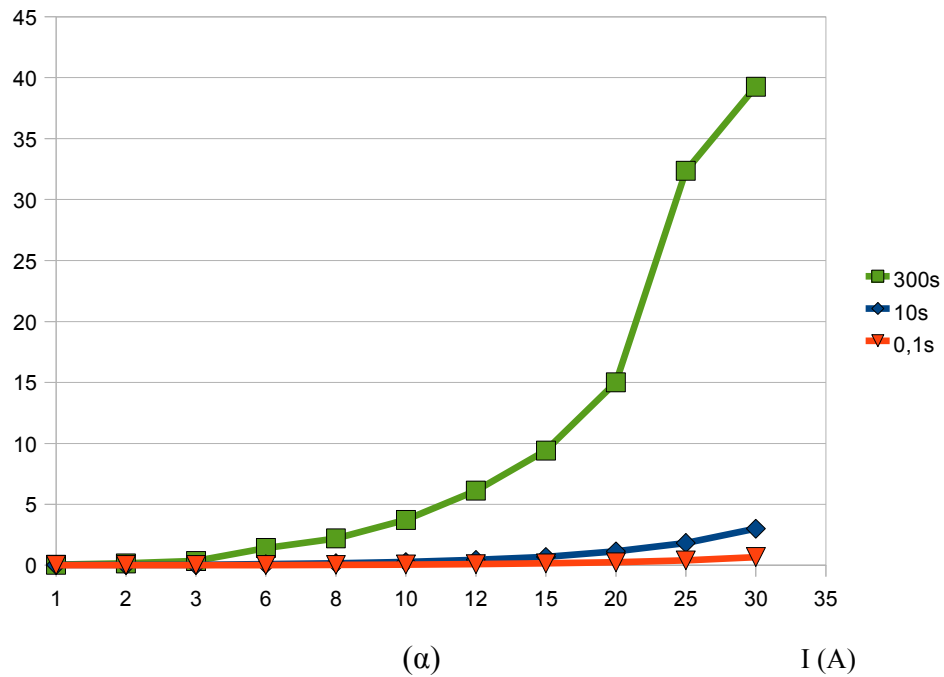
Για τα τηκτά Τύπου Κ θα χρησιμοποιηθεί και για τις δύο σχέσεις υπολογισμού ως $I_{a\max}$ το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα διακοπής για τον κάθε χρόνο διακοπής t (300s, 10s και 0,1 s) από τον πίνακα 1.2.4.3-5. Έτσι τα αποτελέσματα δίνονται στη συνέχεια στους πίνακες 3.1.1-1, 3.1.1-2 και 3.1.1-3 και τα διαγράμματα στα Σχήματα 3.1.1-1, 3.1.1-2 και 3.1.1-3.

-αγωγοί χαλκού διατομής 16 mm²

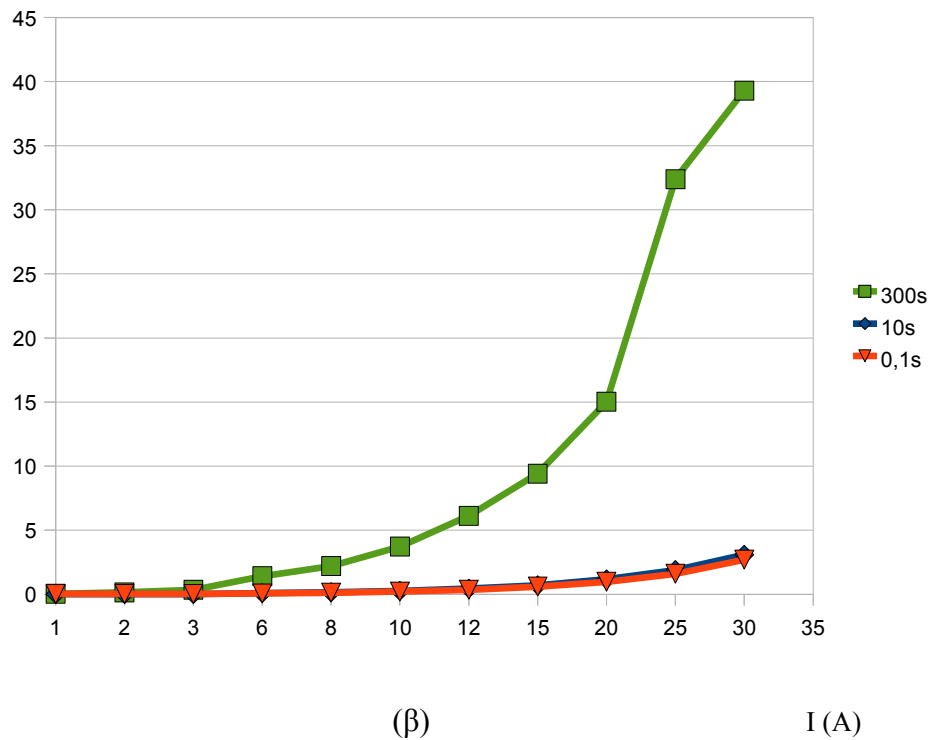
Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0392	0,0227	0,0076	0,0392	0,0233	0,0305
2	0,1566	0,0227	0,0076	0,1568	0,0233	0,0305
3	0,3524	0,0227	0,0076	0,3527	0,0233	0,0305
6	1,4094	0,0952	0,0168	1,4108	0,0981	0,0670
8	2,2022	0,1652	0,0305	2,2044	0,1701	0,1219
10	3,7217	0,2619	0,0537	3,7254	0,2698	0,2149
12	6,1172	0,4386	0,0897	6,1233	0,4518	0,3589
15	9,4058	0,6854	0,1508	9,4152	0,7059	0,6032
20	15,0143	1,1421	0,2437	15,0293	1,1764	0,9750
25	32,3599	1,8352	0,3997	32,3923	1,8902	1,5986
30	39,2588	2,9963	0,6754	39,2980	3,0862	2,7017

Πίνακα 3.1.1-1: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

$\Delta\theta_1$ (°C)



$\Delta\theta_2$ (°C)



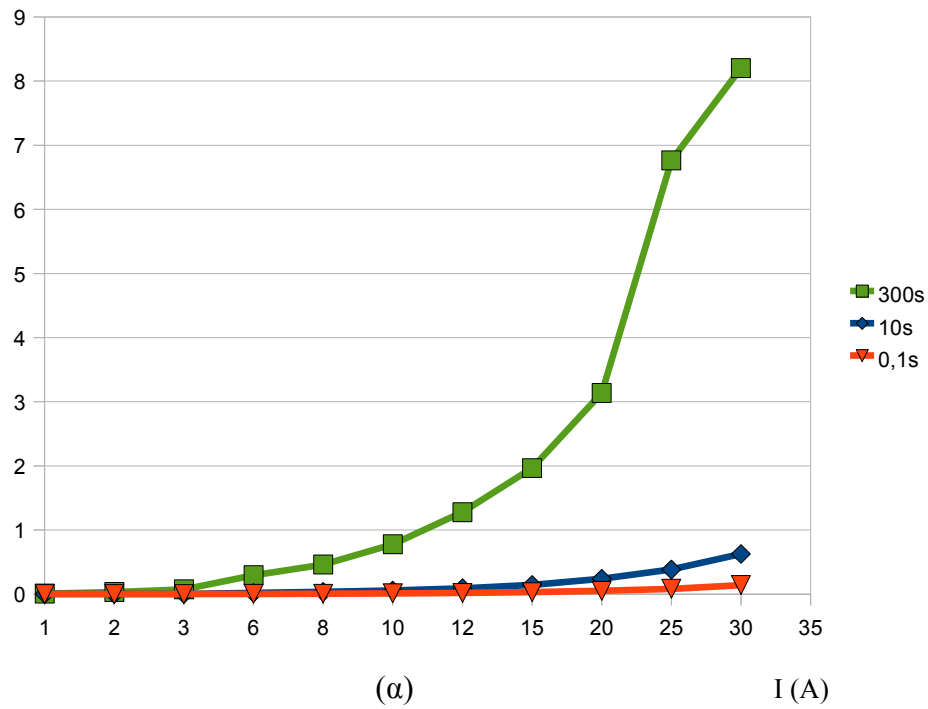
Σχήμα 3.1.1-1: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16mm²
(α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
(β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί χαλκού διατομής 35 mm²

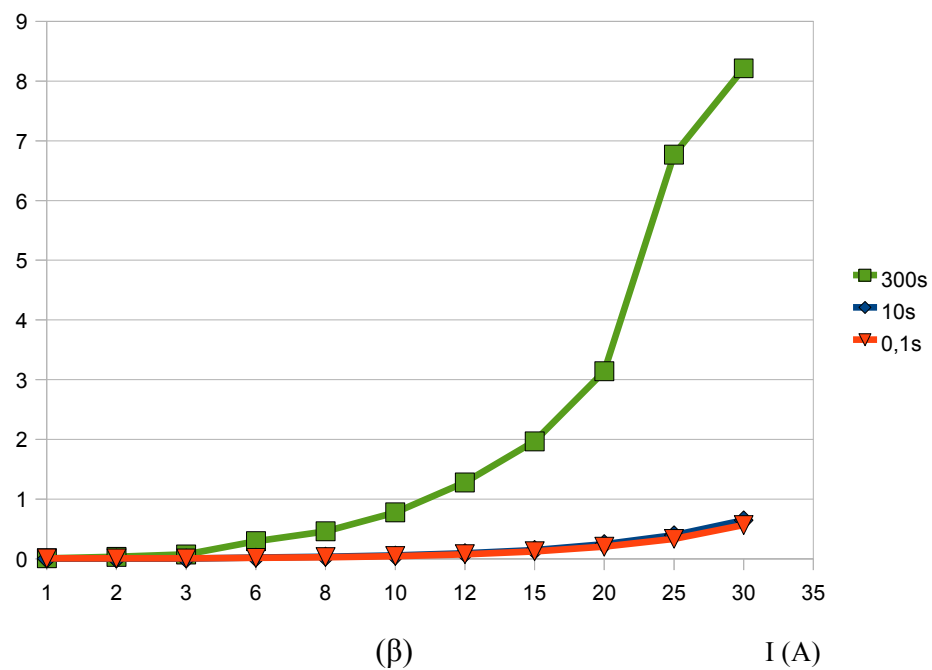
Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0082	0,0047	0,0016	0,0082	0,0049	0,0064
2	0,0327	0,0047	0,0016	0,328	0,0049	0,0064
3	0,0736	0,0047	0,0016	0,0737	0,0049	0,0064
6	0,2945	0,0199	0,0035	0,2948	0,0205	0,0140
8	0,4602	0,0345	0,0034	0,4607	0,0356	0,0255
10	0,7778	0,0547	0,0112	0,7785	0,0564	0,0449
12	1,2784	0,0917	0,0187	1,2796	0,0944	0,0750
15	1,9656	0,1432	0,0315	1,9676	0,1475	0,1261
20	3,1377	0,2387	0,0509	3,1408	0,2458	0,2038
25	6,7626	0,3835	0,0835	6,7693	0,3950	0,3341
30	8,2043	0,6262	0,1411	8,2125	0,6449	0,5646

Πίνακα 3.1.1-2: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

$\Delta\theta_1$ (°C)



$\Delta\theta_2$ (°C)



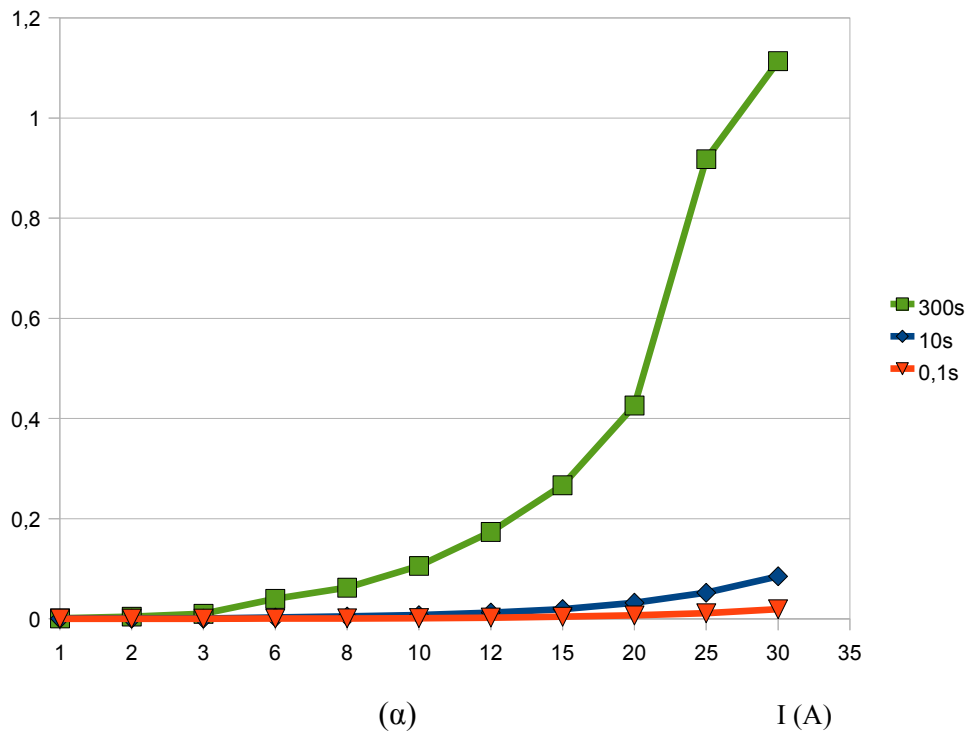
Σχήμα 3.1.1-2: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35mm²
(α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
(β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί χαλκού διατομής 95 mm²

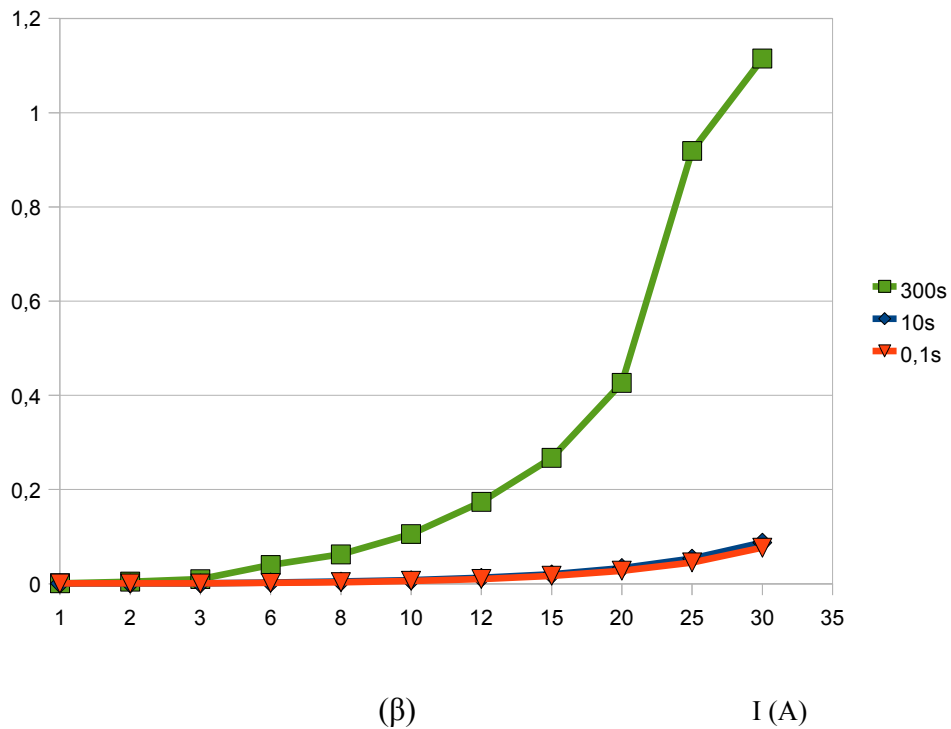
Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0011	0,0006	0,0002	0,0011	0,0007	0,0009
2	0,0044	0,0006	0,0002	0,0044	0,0007	0,0009
3	0,0100	0,0006	0,0002	0,0100	0,0007	0,0009
6	0,0400	0,0027	0,0005	0,0400	0,0028	0,0019
8	0,0625	0,0047	0,0009	0,0625	0,0048	0,0035
10	0,1056	0,0074	0,0015	0,1057	0,0077	0,0061
12	0,1735	0,0124	0,0025	0,1737	0,0128	0,0102
15	0,2668	0,0194	0,0043	0,2671	0,0200	0,0171
20	0,4259	0,0324	0,0069	0,4263	0,0334	0,0277
25	0,9179	0,0521	0,0113	0,9188	0,0536	0,0453
30	1,1136	0,0850	0,0192	1,1147	0,0875	0,0766

Πίνακα 3.1.1-3: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

$\Delta\theta_1$ (°C)



$\Delta\theta_2$ (°C)



Σχήμα 3.1.1-3: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95mm²
(α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
(β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

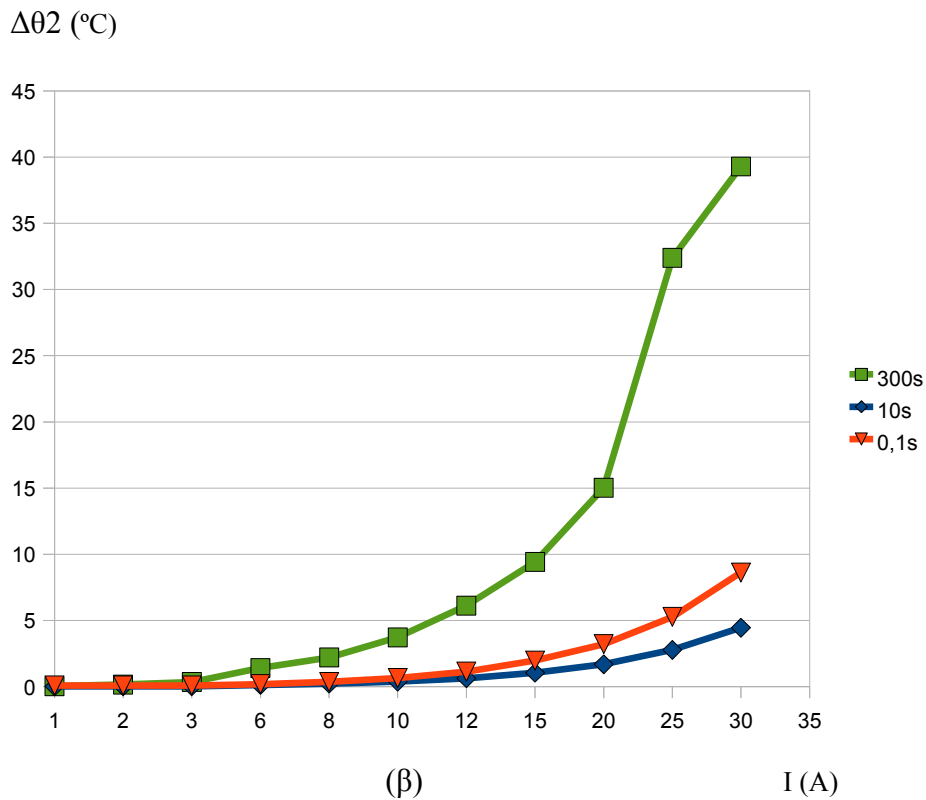
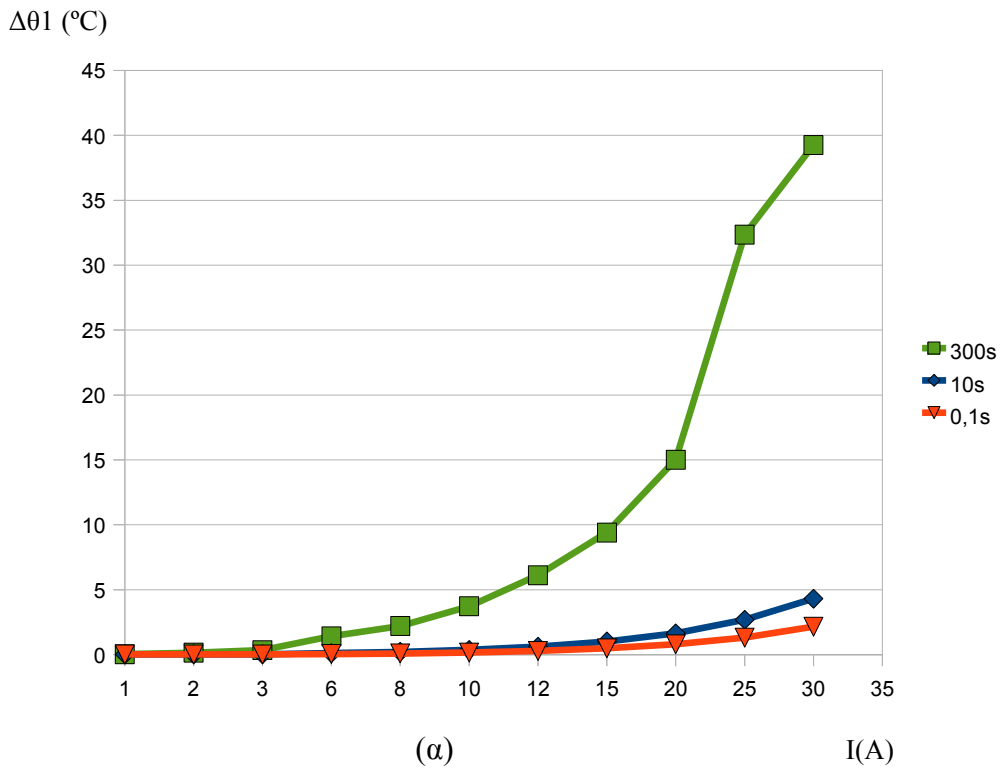
3.1.2 Τηκτά τύπου T - Μέθοδος α και β

Για τα τηκτά Τύπου T θα χρησιμοποιηθεί και για τις δύο σχέσεις υπολογισμού ως I_{max} το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα διακοπής για τον κάθε χρόνο διακοπής t (300s, 10s και 0,1 s) από τον πίνακα 1.2.4.3-6. Έτσι τα αποτελέσματα δίνονται στην συνέχεια στους πίνακες 3.1.2-1, 3.1.2-2 και 3.1.2-3 και τα διαγράμματα στα Σχήματα 3.1.2-1, 3.1.2-2 και 3.1.2-3.

-αγωγοί χαλκού διατομής 16 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I_N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0392	0,0274	0,0227	0,0392	0,0282	0,0906
2	0,1566	0,0274	0,0227	0,1568	0,0282	0,0906
3	0,3524	0,0274	0,0227	0,3527	0,0282	0,0906
6	1,4094	0,1199	0,0470	1,4108	0,1234	0,1879
8	2,2022	0,2177	0,0897	2,2044	0,2243	0,3589
10	3,7217	0,3625	0,1639	3,7254	0,3734	0,6558
12	6,1172	0,6126	0,2855	6,1233	0,6310	1,1421
15	9,4058	1,0170	0,4920	9,4152	1,0476	1,9680
20	15,0143	1,6369	0,8021	15,0293	1,6860	3,2084
25	32,3599	2,6918	1,3155	32,3923	2,7725	5,2621
30	39,2588	4,3147	2,1538	39,2980	4,4441	8,6150

Πίνακα 3.1.2-1: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

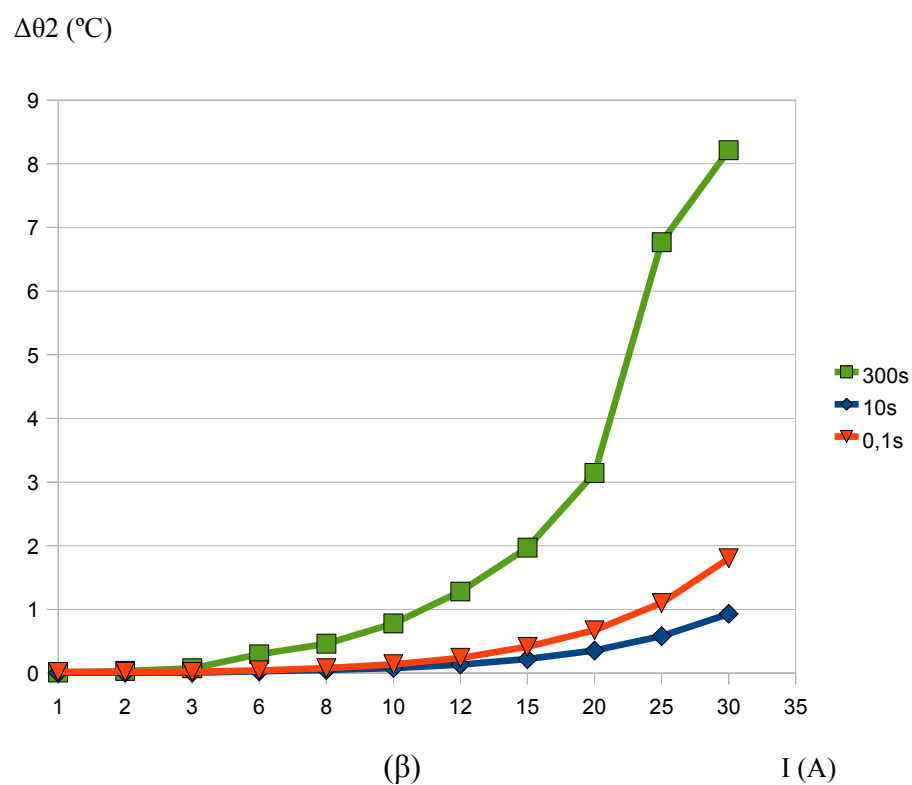
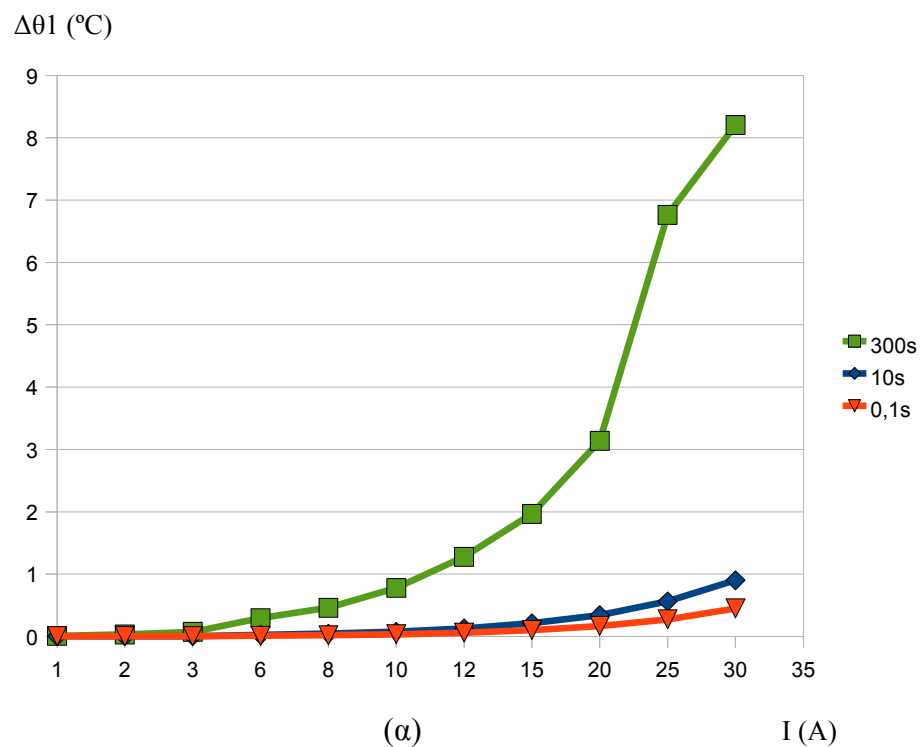


Σχήμα 3.1.2-1: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16mm^2
 (α) με τη μέθοδο α - $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β - $\Delta\theta_2$, για τους τρεις χρόνους διακοπής, συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Τ.

-αγωγοί χαλκού διατομής 35 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0082	0,0057	0,0047	0,0082	0,0059	0,0189
2	0,0327	0,0057	0,0047	0,0328	0,0059	0,0189
3	0,0736	0,0057	0,0047	0,0737	0,0059	0,0189
6	0,2945	0,0250	0,0098	0,2948	0,0258	0,0393
8	0,4602	0,0455	0,0187	0,4607	0,0469	0,0750
10	0,7778	0,0758	0,0343	,7785	0,0780	0,1370
12	1,2784	0,180	0,0597	1,2796	0,1319	0,2387
15	1,9656	0,2125	0,1028	1,9676	0,2189	0,4113
20	3,1377	0,3421	0,1676	3,1408	0,3523	0,6705
25	6,7626	0,5625	0,2749	6,7693	0,5794	1,0997
30	8,2043	0,9017	0,4501	8,2125	0,9287	1,8004

Πίνακα 3.1.2-2: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

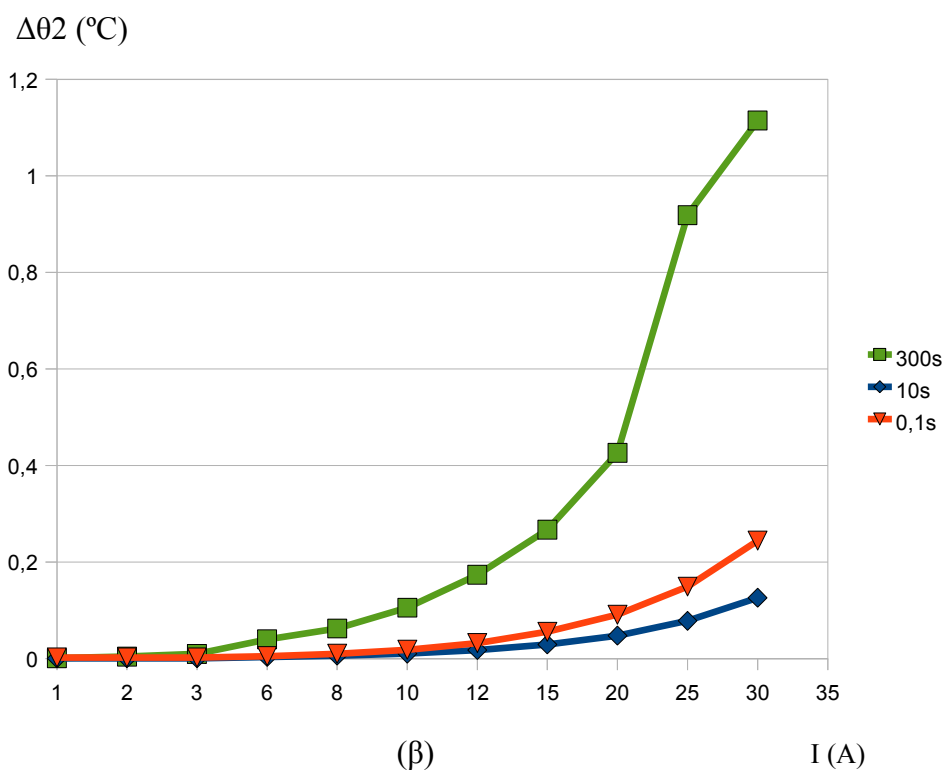
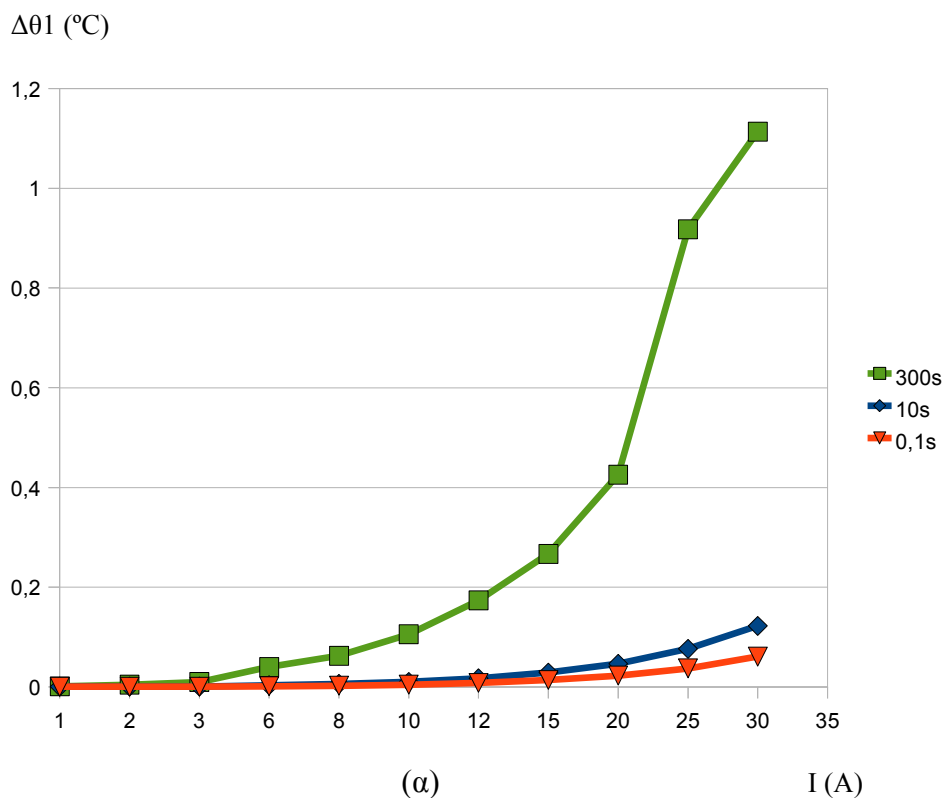


Σχήμα 3.1.2-1: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35mm²
 (α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Τ.

-αγωγοί χαλκού διατομής 95 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0011	0,0008	0,0006	0,0011	0,0008	0,0026
2	0,0044	0,0008	0,0006	0,0044	0,0008	0,0026
3	0,0100	0,0008	0,0006	0,0100	0,0008	0,0026
6	0,0400	0,0034	0,0013	0,0400	0,0035	0,0053
8	0,0625	0,0062	0,0025	0,0625	0,0064	0,0102
10	0,1056	0,0103	0,0047	0,1057	0,0106	0,0186
12	0,1735	0,0174	0,0081	0,1737	0,0179	0,0324
15	0,2668	0,0288	0,0140	0,2671	0,0297	0,0558
20	0,4259	0,0464	0,0228	0,4263	0,0478	0,0910
25	0,9179	0,0764	0,0373	0,9188	0,0786	0,1493
30	1,1136	0,1224	0,0611	1,1147	0,1261	0,2444

Πίνακα 3.1.2-3: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.



Σχήμα 3.1.2-3: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95mm²
 (α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Τ.

3.2 Αγωγοί Αλουμινίου(Al)

Για του αγωγούς αλουμινίου οι ισοδύναμες διατομές χαλκού που μελετούνται είναι 16 mm², 35mm² και 95mm² (οι πραγματικές διατομές των αγωγών είναι αντίστοιχα 29 mm², 65mm² και 175mm²) και ο συντελεστής κ=0,0135.

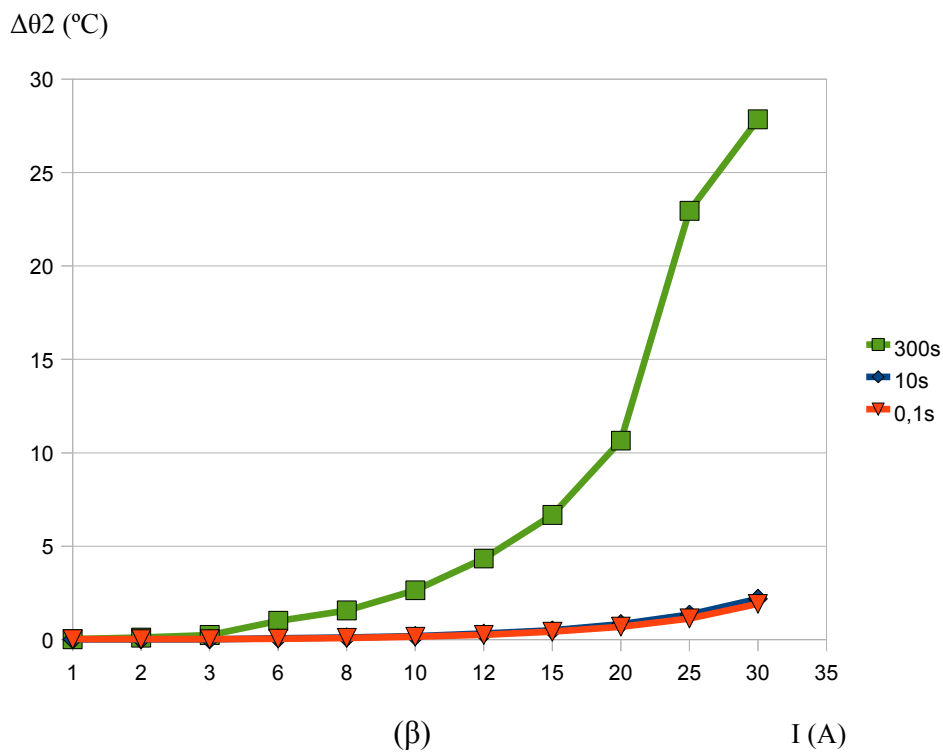
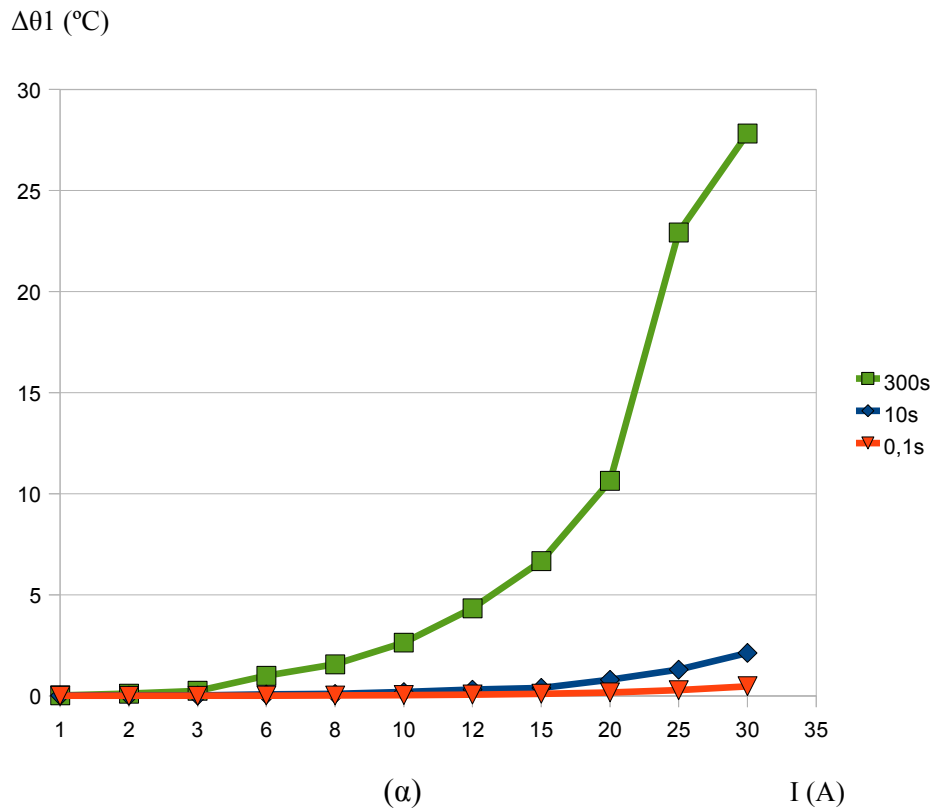
3.2.1 Τηκτά τύπου K - Μέθοδος α και β

Για τα τηκτά Τύπου K θα χρησιμοποιηθεί και για τις δύο σχέσεις υπολογισμού ως I_{amax} το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα διακοπής για τον κάθε χρόνο διακοπής t (300s, 10s και 0,1 s) από τον πίνακα 1.2.4.3-5. Έτσι τα αποτελέσματα δίνονται στην συνέχεια στους πίνακες 3.2.1-1, 3.2.1-2 και 3.2.1-3 και τα διαγράμματα στα Σχήματα 3.2.1-1, 3.2.1-2 και 3.2.1-3.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0277	0,0161	0,0054	0,0278	0,0165	0,0216
2	0,1110	0,0161	0,0054	0,1111	0,0165	0,0216
3	0,2496	0,0161	0,0054	0,2499	0,0165	0,0216
6	0,9986	0,0675	0,0119	0,9996	0,0695	0,0475
8	1,5603	0,1170	0,0216	1,5618	0,1205	0,0864
10	2,6369	0,1856	0,0381	2,6395	0,1911	0,1523
12	4,3341	0,3108	0,0636	4,3385	0,3201	0,2543
15	6,6642	0,4856	0,1069	6,6708	0,5002	0,4274
20	10,6379	0,8092	0,1727	10,6485	0,8335	0,6908
25	22,9275	1,3002	0,2832	22,9505	1,3392	1,1327
30	27,8155	2,1229	0,4785	27,8433	2,1866	1,9142

Πίνακα 3.2.1-1: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

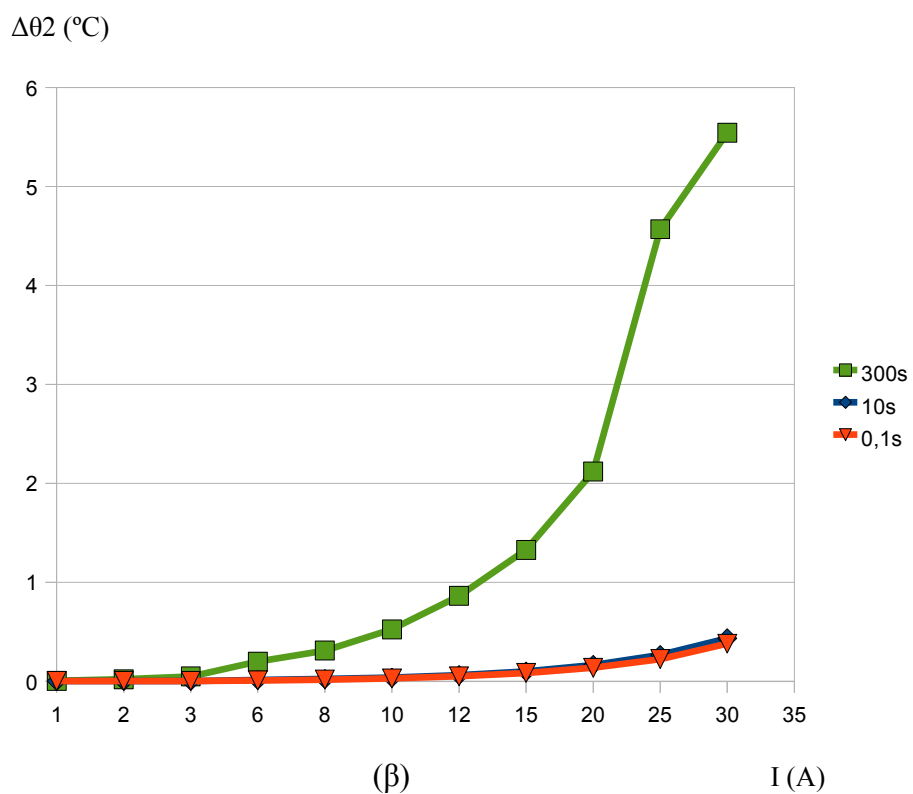
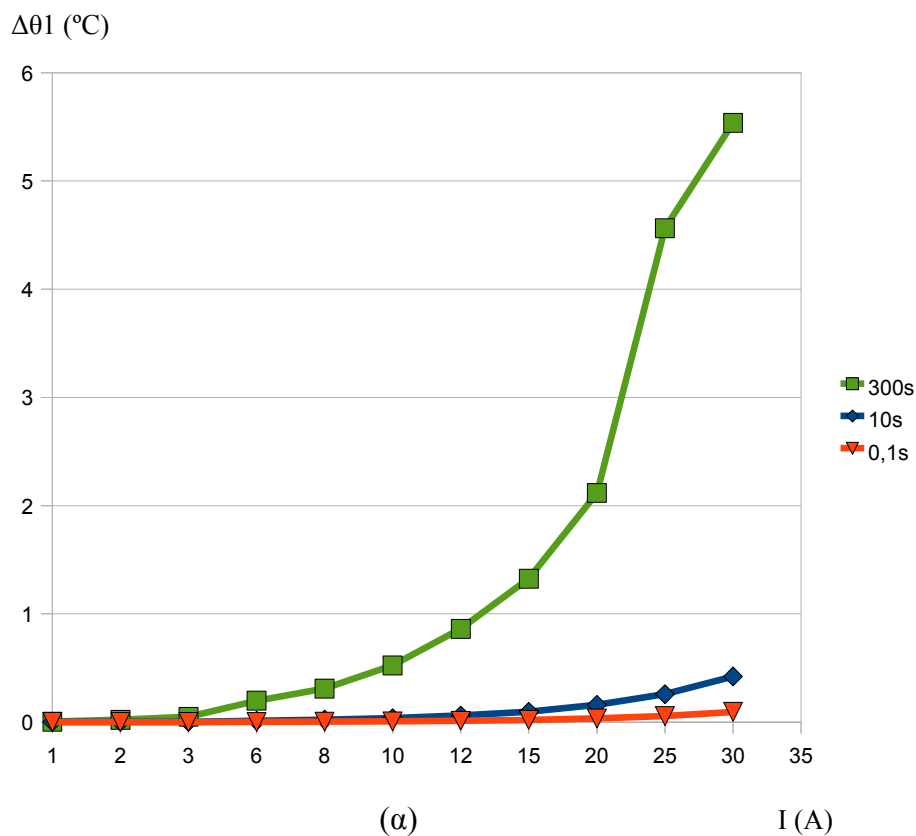


Σχήμα 3.2.1-1: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm^2 (πραγματικής διατομής 29 mm^2)
 (α) με τη μέθοδο α - $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β - $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0055	0,0032	0,0011	0,0055	0,0033	0,0043
2	0,0221	0,0032	0,0011	0,0221	0,0033	0,0043
3	0,0497	0,0032	0,0011	0,0497	0,0033	0,0043
6	0,1988	0,0134	0,0024	0,1990	0,0138	0,0095
8	0,3106	0,0233	0,0043	0,3109	0,0240	0,0172
10	0,5249	0,0369	0,0076	0,5254	0,0380	0,0303
12	0,8627	0,0619	0,0127	0,8636	0,0637	0,0506
15	1,3265	0,0967	0,0213	1,3278	0,0996	0,0851
20	2,1175	0,1611	0,0344	2,1196	0,1659	0,1375
25	4,5638	0,2588	0,0564	4,5684	0,2666	0,2255
30	5,5368	0,4226	0,0953	5,5423	0,4353	0,3810

Πίνακα 3.2.1-2: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

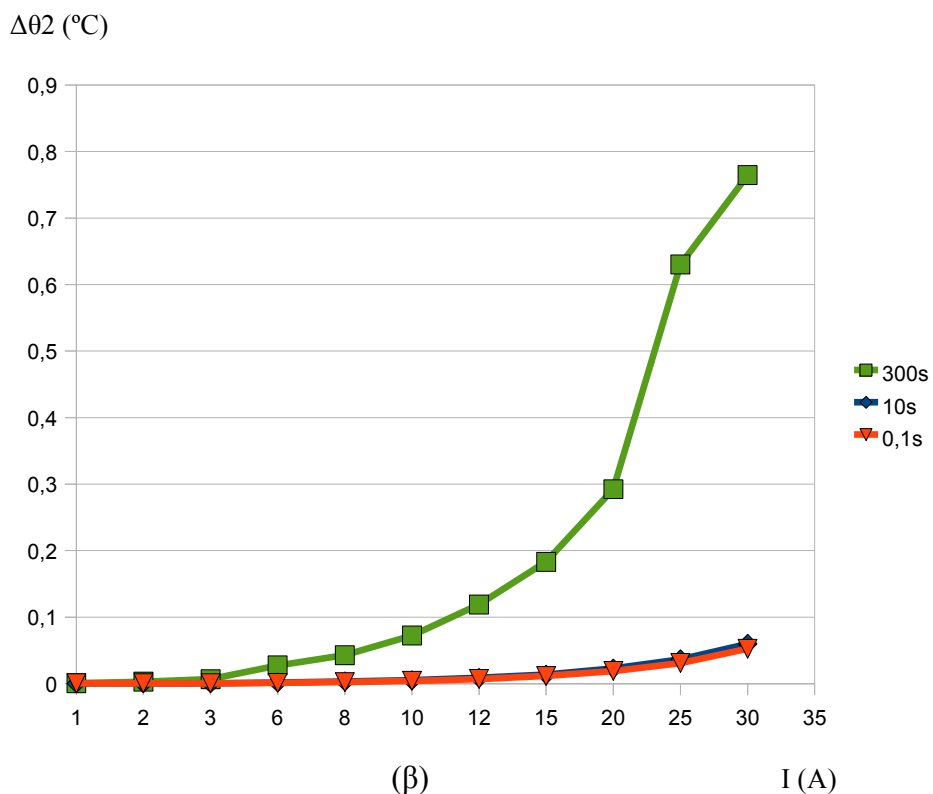
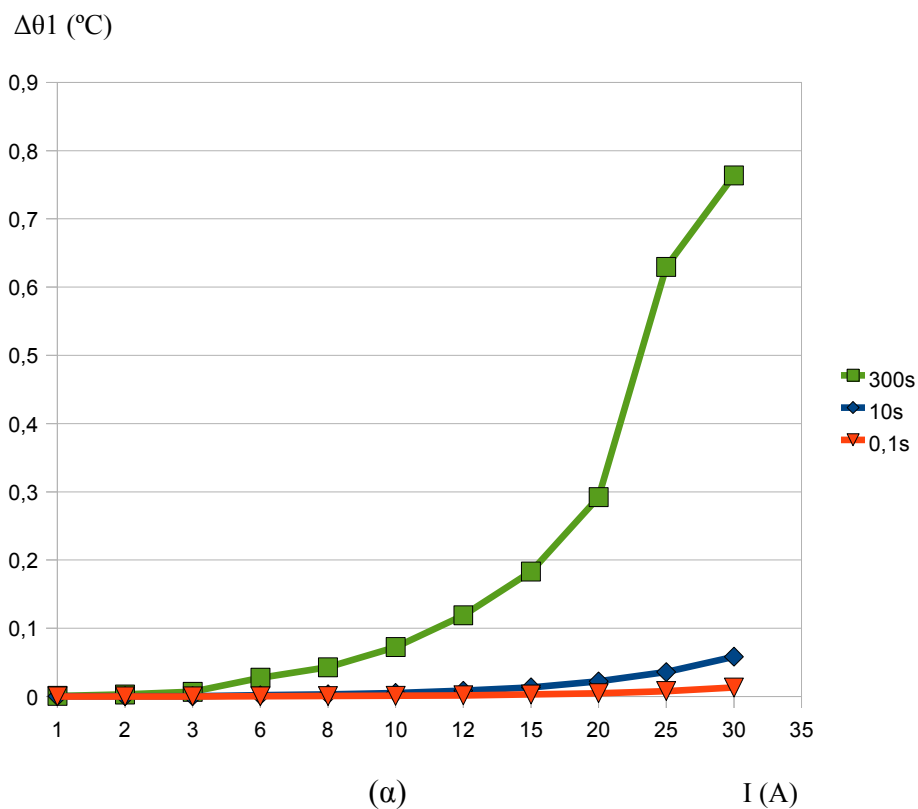


Σχήμα 3.2.1-2: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)
 (α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$, για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0008	0,0004	0,0001	0,0008	0,0005	0,0006
2	0,0030	0,0004	0,0001	0,0030	0,0005	0,0006
3	0,0069	0,0004	0,0001	0,0069	0,0005	0,0006
6	0,0274	0,0019	0,0003	0,0274	0,0019	0,0013
8	0,0428	0,0032	0,0006	0,0429	0,0033	0,0024
10	0,0724	0,0051	0,0010	0,0725	0,0052	0,0042
12	0,1190	0,0085	0,0017	0,1191	0,0088	0,0070
15	0,1830	0,0133	0,0029	0,1832	0,0137	0,0117
20	0,2921	0,0222	0,0047	0,2924	0,0229	0,0190
25	0,6296	0,0357	0,0078	0,6302	0,0368	0,0311
30	0,7638	0,0583	0,0131	0,7646	0,0600	0,0526

Πίνακα 3.2.1-3: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.



Σχήμα 3.2.1-3: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)
 (α) με τη μέθοδο α- Δθ1
 (β) με τη μέθοδο β- Δθ2 ,για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσεϊ του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Κ.

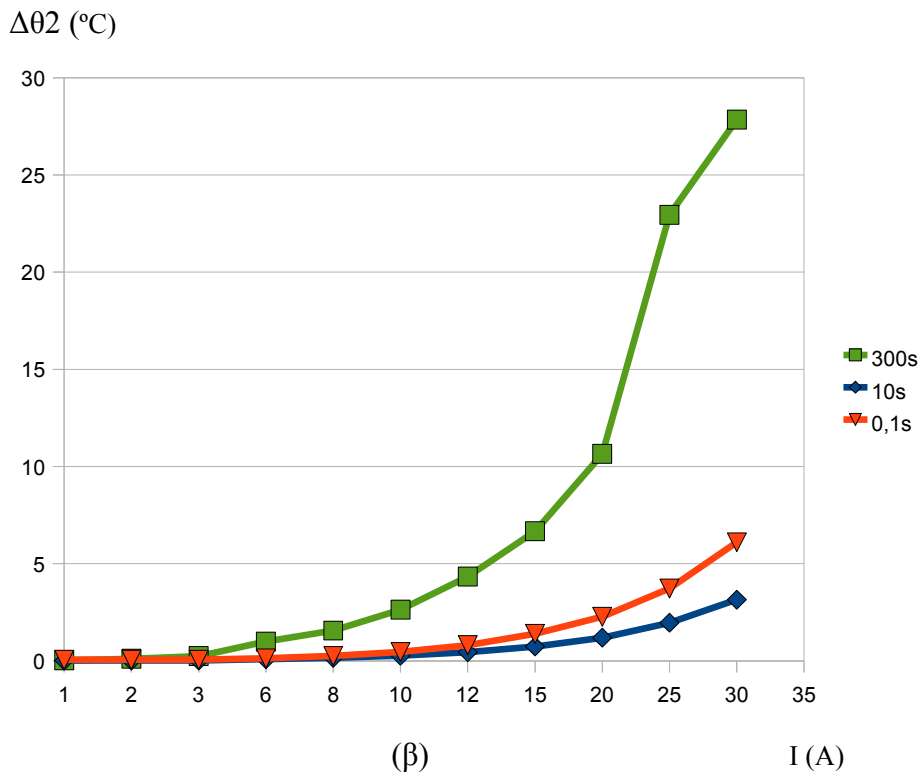
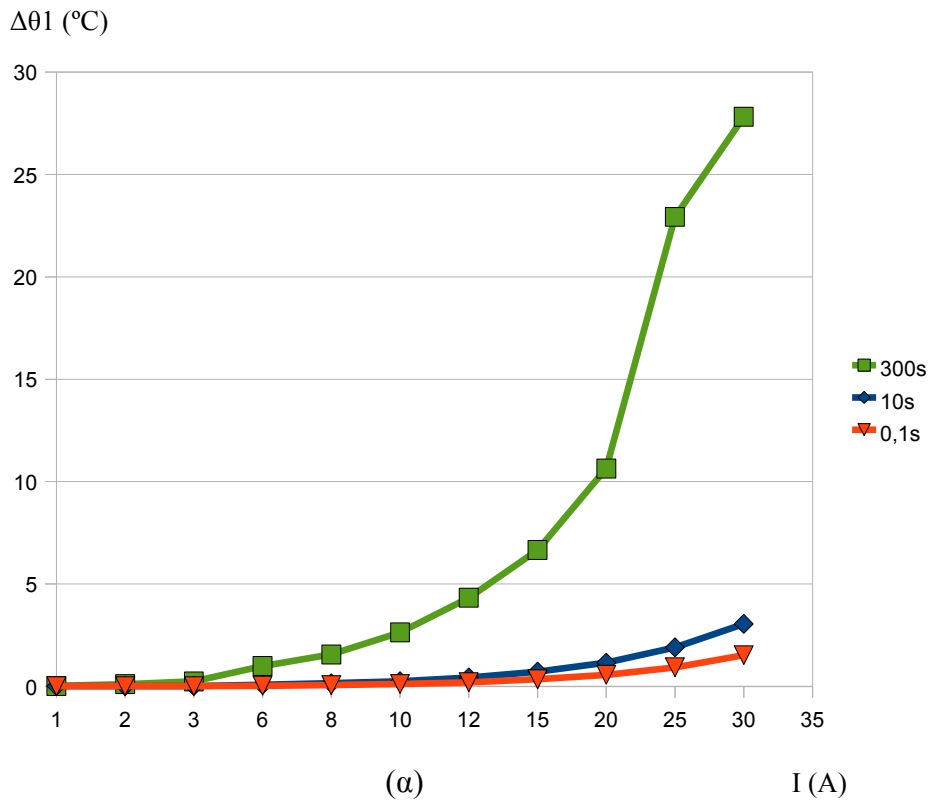
3.2.2 Τηκτά τύπου T - Μέθοδος α και β

Για τα τηκτά Τύπου T θα χρησιμοποιηθεί και για τις δύο σχέσεις υπολογισμού ως I_{max} το αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα διακοπής για τον κάθε χρόνο διακοπής t (300s, 10s και 0,1 s) από τον πίνακα 1.2.4.3-6. Έτσι τα αποτελέσματα δίνονται στην συνέχεια στους πίνακες 3.2.2-1, 3.2.2-2 και 3.2.2-3 και τα διαγράμματα στα Σχήματα 3.2.2-1, 3.2.2-2 και 3.2.2-3.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I_N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – $\Delta\theta 1$ (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – $\Delta\theta 2$ (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0277	0,0194	0,0161	0,0278	0,0200	0,0642
2	0,1110	0,0194	0,0161	0,1111	0,0200	0,0642
3	0,2496	0,0194	0,0161	0,2499	0,0200	0,0642
6	0,9986	0,0849	0,0333	0,9996	0,0875	0,1331
8	1,5603	0,1543	0,0636	1,5618	0,1589	0,2543
10	2,6369	0,2568	0,1162	2,6395	0,2645	0,4646
12	4,3341	0,4341	0,2023	4,3385	0,4471	0,8092
15	6,6642	0,7206	0,3486	6,6708	0,7422	1,3943
20	10,6379	1,1598	0,5683	10,6485	1,1946	2,2732
25	22,9275	1,9072	0,9321	22,9505	1,9644	3,7283
30	27,8155	3,0570	1,5260	27,8433	3,1487	6,1039

Πίνακα 3.2.2-1: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α ($\Delta\theta 1$) και β ($\Delta\theta 2$) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.



Σχήμα 3.2.2-1: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²)

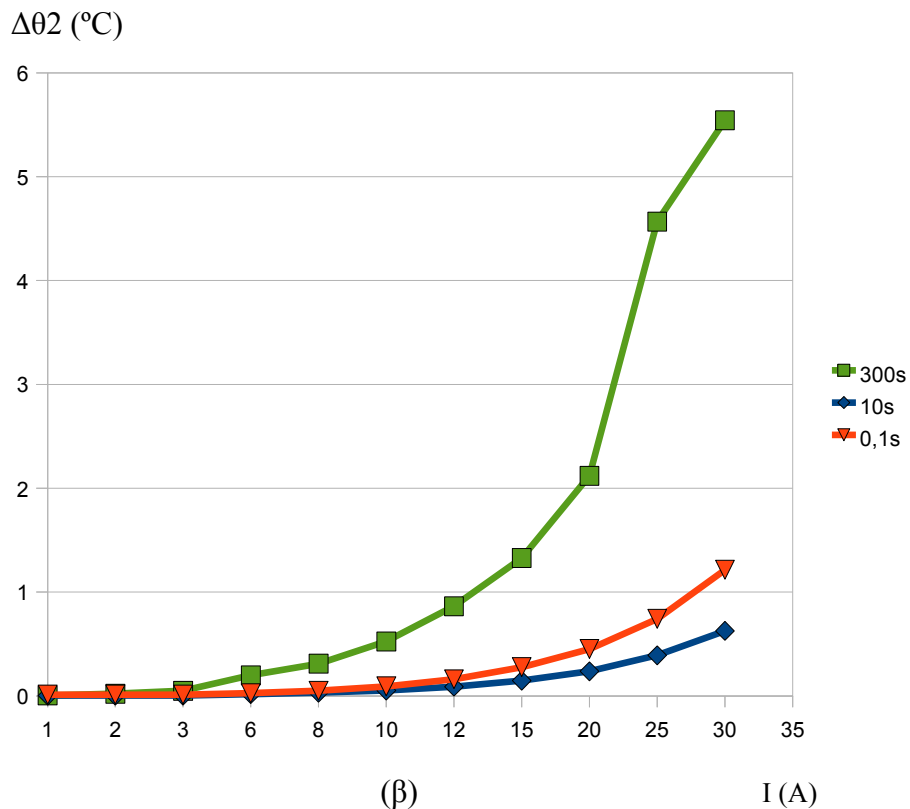
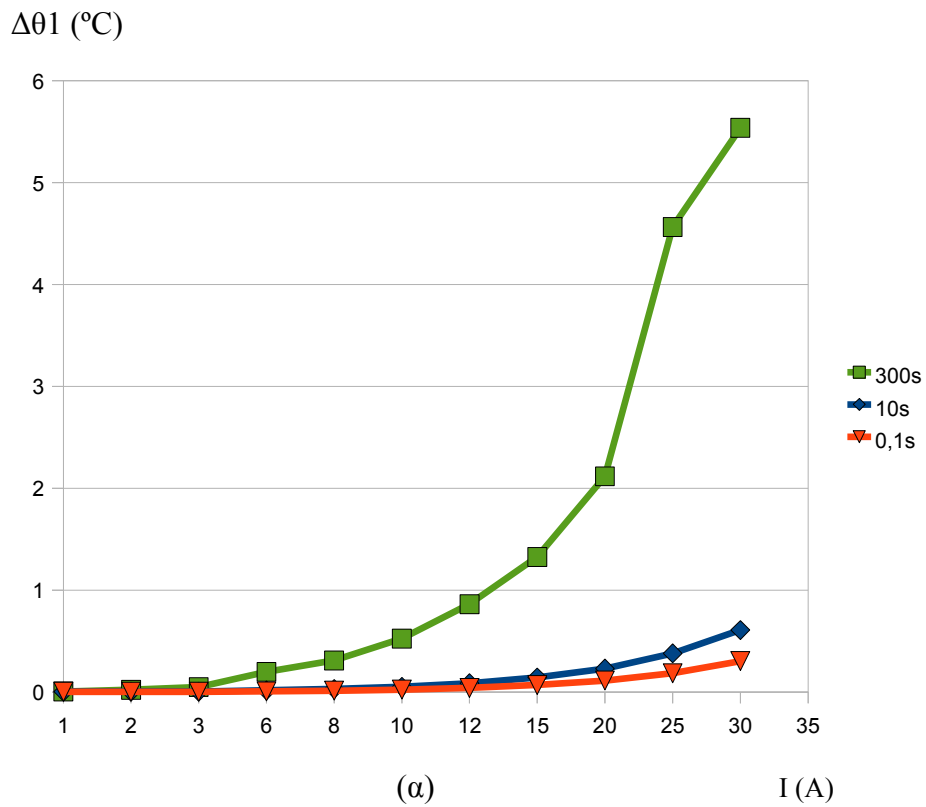
(α) με τη μέθοδο α - $\Delta\theta_1$

(β) με τη μέθοδο β - $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσε του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου Τ.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0055	0,0039	0,0032	0,0055	0,0040	0,0128
2	0,0221	0,0039	0,0032	0,0221	0,0040	0,0128
3	0,0497	0,0039	0,0032	0,0497	0,0040	0,0128
6	0,1988	0,0169	0,0066	0,1990	0,0174	0,0265
8	0,3106	0,0307	0,0127	0,3109	0,0316	0,0506
10	0,5249	0,0511	0,0231	0,5254	0,0527	0,0925
12	0,8627	0,0864	0,0403	0,8636	0,0890	0,1611
15	1,3265	0,1434	0,0694	1,3278	0,1477	0,1775
20	2,1175	0,2309	0,1131	2,1196	0,2378	0,4525
25	4,5638	0,3796	0,1855	4,5684	0,3910	0,7421
30	5,5368	0,6085	0,3038	5,5423	0,6268	1,2150

Πίνακα 3.2.2-2: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

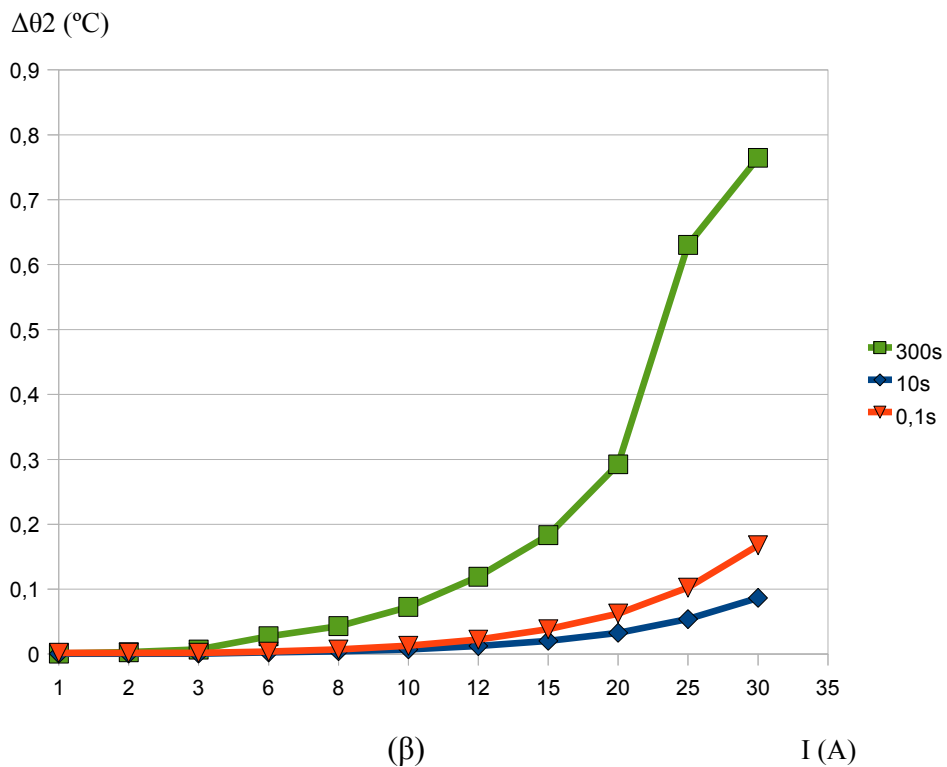
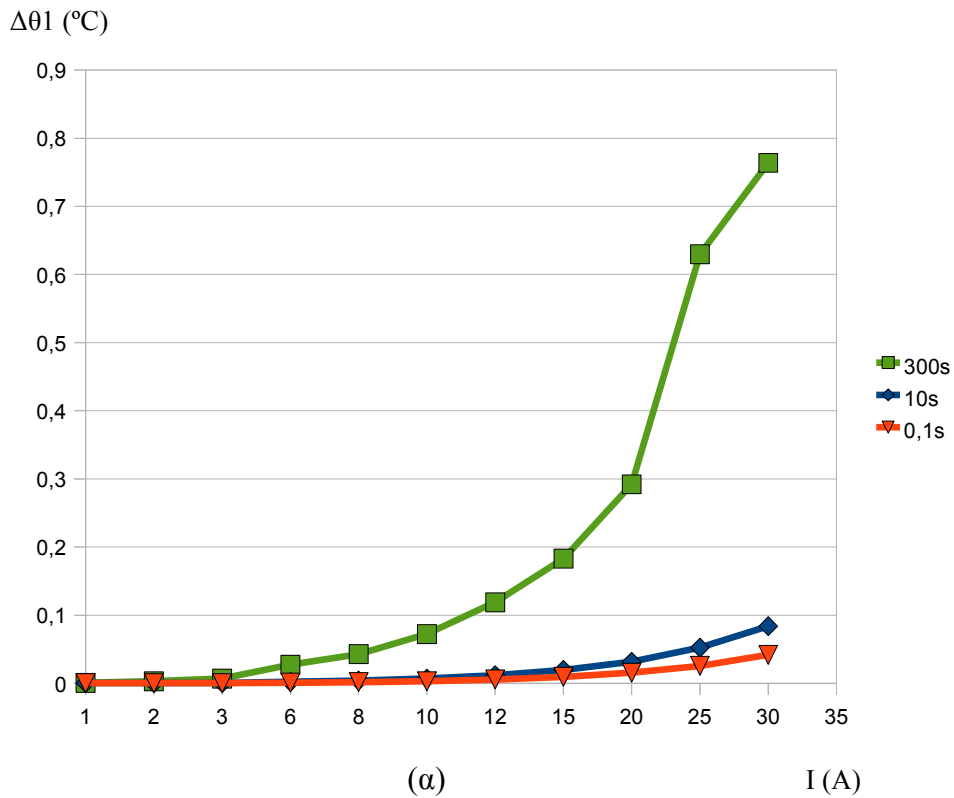


Σχήμα 3.2.2-2: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)
 (α) με τη μέθοδο α- $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β- $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής, συναρτήσεως του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο α – Δθ1 (°C)			Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0008	0,0005	0,0004	0,0008	0,0005	0,0018
2	0,0030	0,0005	0,0004	0,0030	0,0005	0,0018
3	0,0069	0,0005	0,0004	0,0069	0,0005	0,0018
6	0,0274	0,0023	0,0009	0,0274	0,0024	0,0037
8	0,0428	0,0042	0,00017	0,0429	0,0044	0,0070
10	0,0724	0,0071	0,0032	0,0725	0,0073	0,0128
12	0,1190	0,0119	0,0056	0,1191	0,0123	0,0222
15	0,1830	0,0198	0,0096	0,1832	0,0204	0,0383
20	0,2921	0,0318	0,0156	0,2924	0,0328	0,0624
25	0,6296	0,0524	0,0256	0,6302	0,0539	0,1024
30	0,7638	0,0839	0,0419	0,7646	0,0865	0,1676

Πίνακα 3.2.2-3: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού α (Δθ1) και β (Δθ2) και για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τμημάτων Τύπου Τ.



Σχήμα 3.2.2-3: Διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)
 (α) με τη μέθοδο α - $\Delta\theta_1$
 (β) με τη μέθοδο β - $\Delta\theta_2$ για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος τηκτών Τύπου T.

3.3 Διφασικό βραχυκύκλωμα

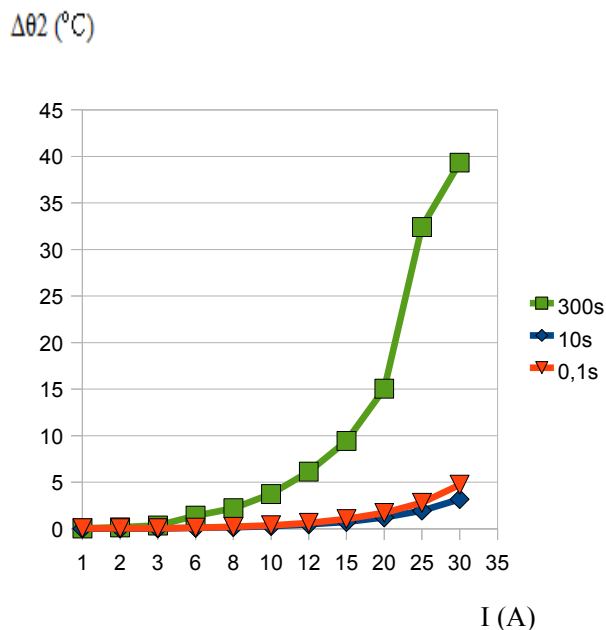
Προηγουμένως ο υπολογισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στους αγωγούς στην περίπτωση της μεθόδου β έγινε για την περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος. Εξίσου δυσμενείς συνθήκες ωστόσο για τη λειτουργία του δικτύου δημιουργεί και το διφασικό βραχυκύκλωμα. Έτσι τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό της $\Delta\theta_2$ μεταβάλλονται καθώς στην περίπτωση του διαφασικού βραχυκυκλώματος η παράμετρος που αλλάζει είναι η σταθερά χρόνου T και ισούται με 0,6s. Έτσι στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα σε πίνακες και διαγράμματα για όλες τις διατομές των αγωγών χαλκού και αλουμινίου για τη διακοπή της λειτουργίας τους από ασφαλειοαποζεύκτη με τηκτά Τύπου K και Τύπου T σε περίπτωση διφασικού βραχυκυκλώματος.

3.3.1 Τηκτά Τύπου Κ

-αγωγοί χαλκού διατομής 16 mm²

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0392	0,0240	0,0534
2	0,1566	0,0240	0,0534
3	0,3524	0,0240	0,0354
6	1,4094	0,1009	0,1173
8	2,2022	0,1751	0,2134
10	3,7217	0,2776	0,3761
12	6,1294	0,4649	0,6280
15	9,4246	0,7265	1,0557
20	15,0443	1,2106	1,7062
25	32,4246	1,9453	2,7976
30	39,3373	3,1761	4,7279

Πίνακας 3.3.1-1: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διαφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

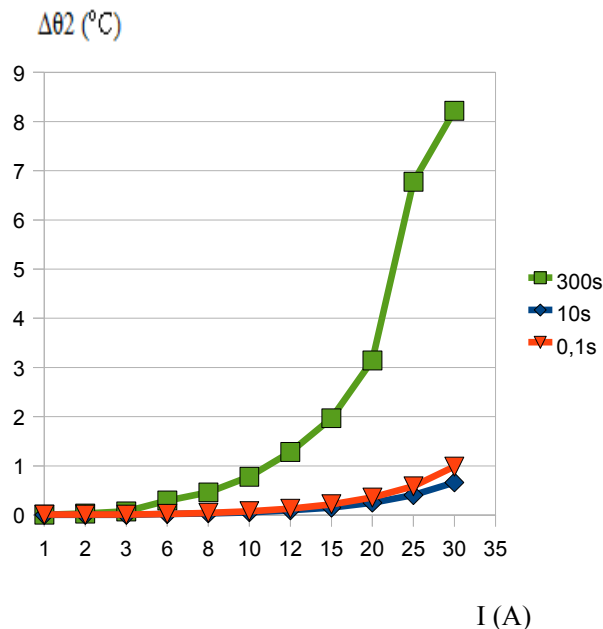


Σχήμα 3.3.1-1: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διαφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί χαλκού διατομής 35 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0082	0,0050	0,0111
2	0,0328	0,0050	0,0111
3	0,0738	0,0050	0,0111
6	0,2951	0,0211	0,0245
8	0,4611	0,0366	0,0446
10	0,7793	0,0580	0,0786
12	1,2809	0,0972	0,1312
15	1,9695	0,1518	0,2206
20	3,1440	0,2530	0,3566
25	6,7761	0,4065	0,5846
30	8,2207	0,6637	0,9880

Πίνακας 3.3.1-2: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

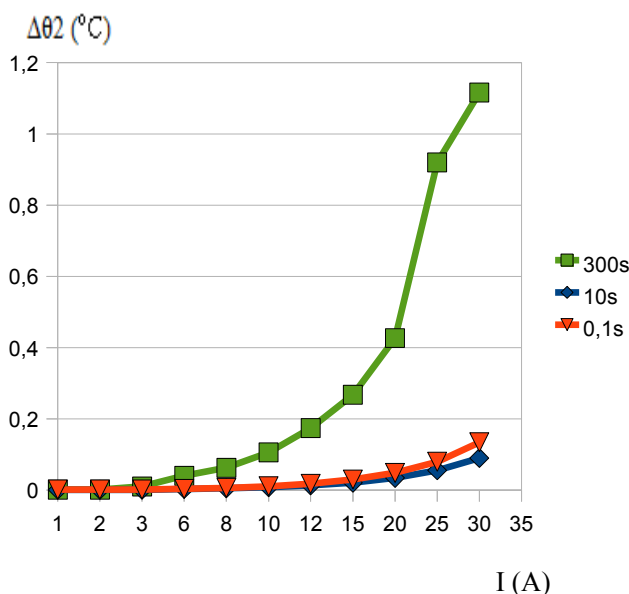


Σχήμα 3.3.1-2: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

– αγωγοί χαλκού διατομής 95 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,011	0,0007	0,0015
2	0,0045	0,0007	0,0015
3	0,0100	0,0007	0,0015
6	0,0401	0,0029	0,0033
8	0,0626	0,0050	0,0061
10	0,1058	0,0079	0,0107
12	0,1739	0,0132	0,0178
15	0,2673	0,0206	0,0299
20	0,4267	0,0343	0,0484
25	0,9197	0,0552	0,0794
30	1,1158	0,0901	0,1341

Πίνακας 3.3.1-3: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

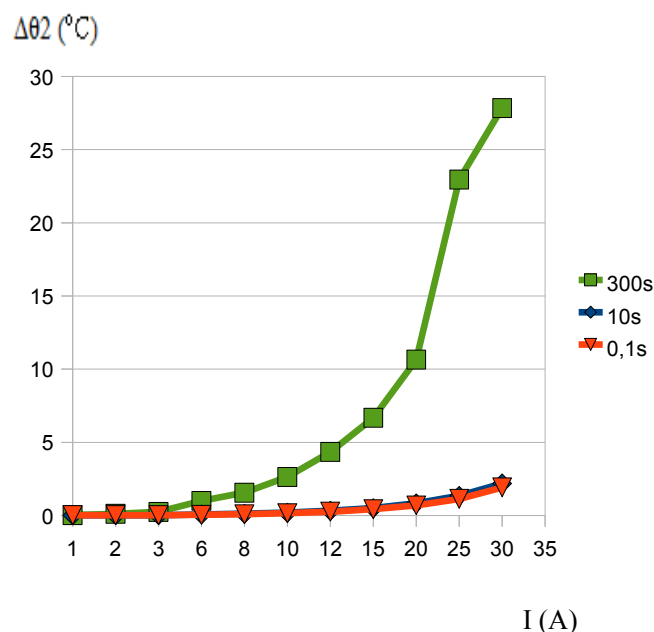


Σχήμα 3.3.1-3: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0278	0,0170	0,0378
2	0,1112	0,0170	0,0378
3	0,2501	0,0170	0,0378
6	1,0006	0,0715	0,0831
8	1,5634	0,1240	0,1512
10	2,6422	0,1967	0,2665
12	4,3428	0,3294	0,4450
15	6,6775	0,5147	0,7480
20	10,6592	0,8577	1,2089
25	22,9734	1,3783	1,9821
30	27,8711	2,2503	3,3498

Πίνακας 3.3.1-4: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διαφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

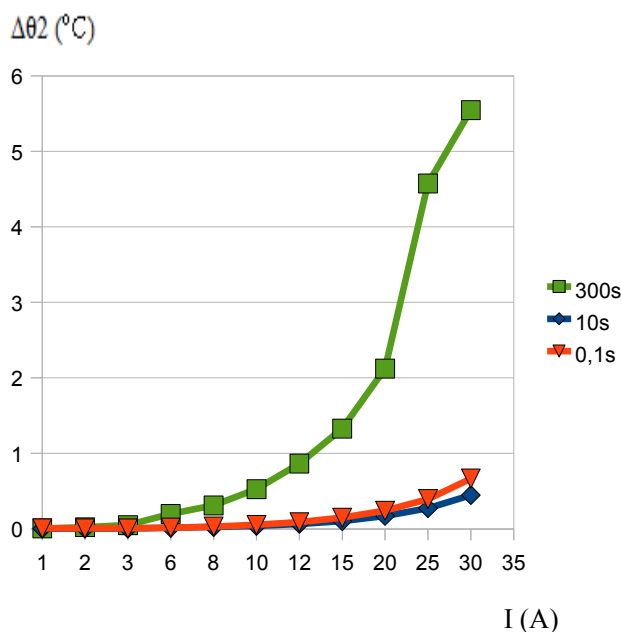


Σχήμα 3.3.1-4: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διαφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου Κ.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0055	0,0034	0,0075
2	0,221	0,0034	0,0075
3	0,498	0,0034	0,0075
6	0,1992	0,0142	0,0165
8	0,3112	0,247	0,0301
10	0,5259	0,0392	0,0530
12	0,8644	0,0656	0,0886
15	1,3292	0,1025	0,1489
20	2,1217	0,1707	0,2406
25	4,5729	0,2743	0,3946
30	5,5478	0,4479	0,6668

Πίνακας 3.3.1-5: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

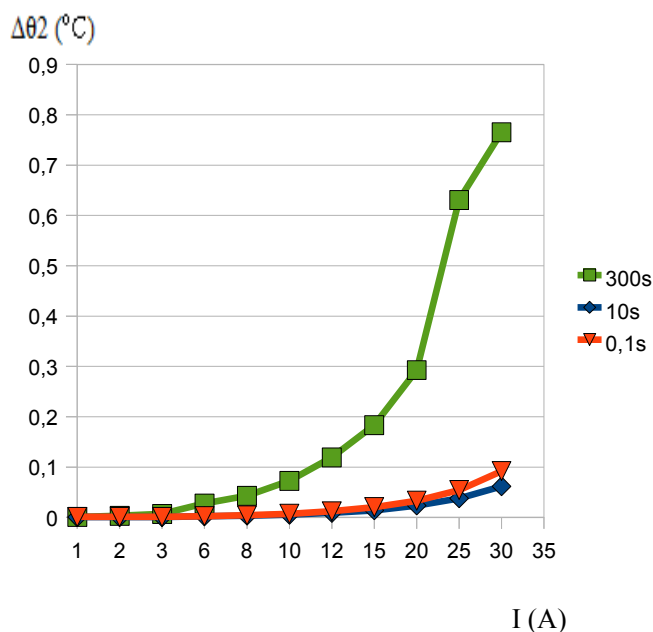


Σχήμα 3.3.1-5: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0008	0,0005	0,0010
2	0,0031	0,0005	0,0010
3	0,0069	0,0005	0,0010
6	0,0275	0,0020	0,0023
8	0,0429	0,0034	0,0042
10	0,0726	0,0054	0,0073
12	0,1193	0,0090	0,0122
15	0,1834	0,0141	0,0205
20	0,2927	0,0236	0,0332
25	0,6309	0,0378	0,0544
30	0,7654	0,0618	0,0920

Πίνακας 3.3.1-6: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.



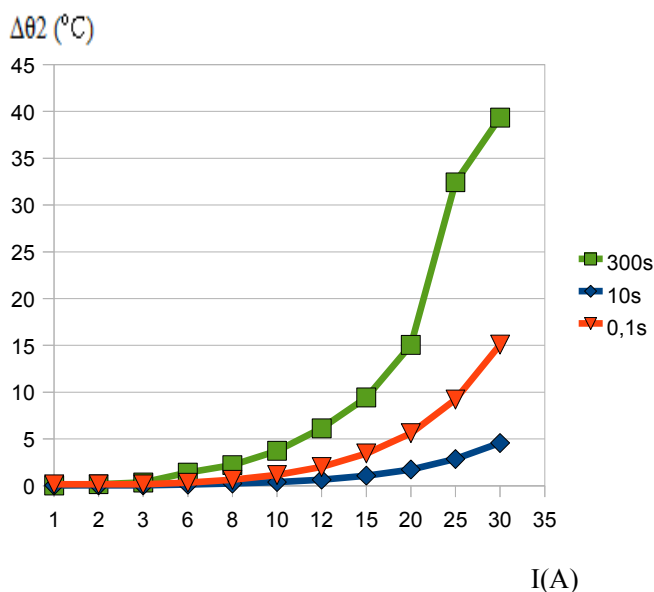
Σχήμα 3.3.1-6: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου K.

3.3.2 Τηκτά Τύπου T

-αγωγοί χαλκού διατομής 16 mm²

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0392	0,0291	0,1586
2	0,1569	0,0291	0,1586
3	0,3531	0,0291	0,1586
6	1,4122	0,1270	0,3289
8	2,2066	0,2308	0,6280
10	3,7291	0,3843	1,1476
12	6,1294	0,6494	1,9987
15	9,4246	1,0781	3,4440
20	15,0443	1,7351	5,6146
25	32,4246	2,8533	9,2087
30	39,3373	4,5735	15,0763

Πίνακας 3.3.2-1: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

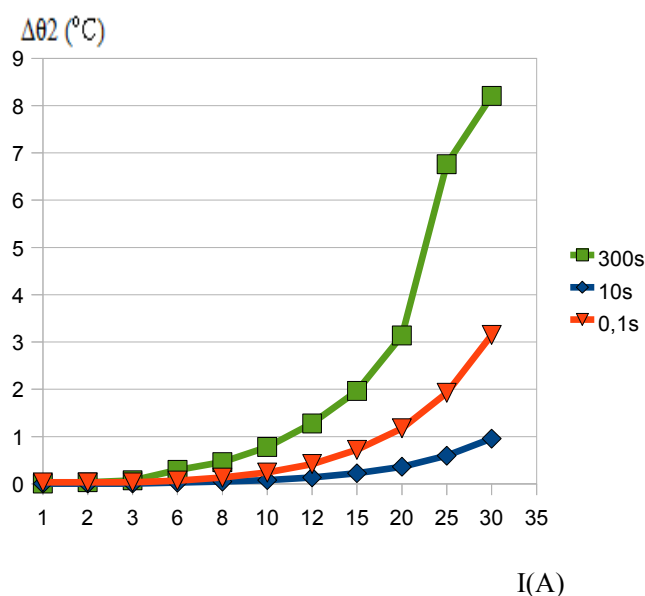


Σχήμα 3.3.2-1: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί χαλκού διατομής 35 mm²

Όνομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0082	0,0061	0,0331
2	0,0328	0,0061	0,0331
3	0,0738	0,0061	0,0331
6	0,2951	0,0265	0,0687
8	0,4611	0,0482	0,1312
10	0,7793	0,0803	0,2398
12	1,2809	0,1357	0,4177
15	1,9695	0,2253	0,7197
20	3,1440	0,3626	1,1733
25	6,7761	0,5963	1,9244
30	8,2207	0,9558	3,1506

Πίνακας 3.3.2-2: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

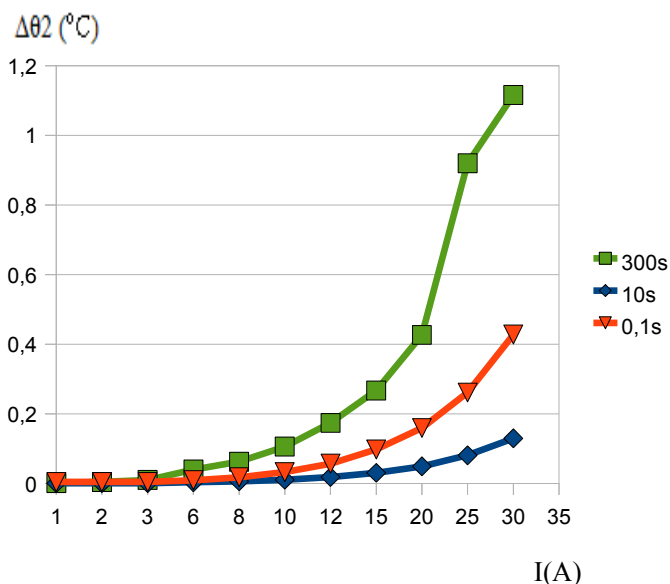


Σχήμα 3.3.2-2: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 35 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί χαλκού διατομής 95 mm²

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0011	0,0008	0,0045
2	0,0045	0,0008	0,0045
3	0,0100	0,0008	0,0045
6	0,0401	0,0036	0,0093
8	0,0626	0,0065	0,0178
10	0,1058	0,0109	0,0326
12	0,1739	0,0184	0,0567
15	0,2673	0,0306	0,0977
20	0,4267	0,0492	0,1593
25	0,9197	0,0809	0,2612
30	1,1158	0,1297	0,4276

Πίνακας 3.3.2-3: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

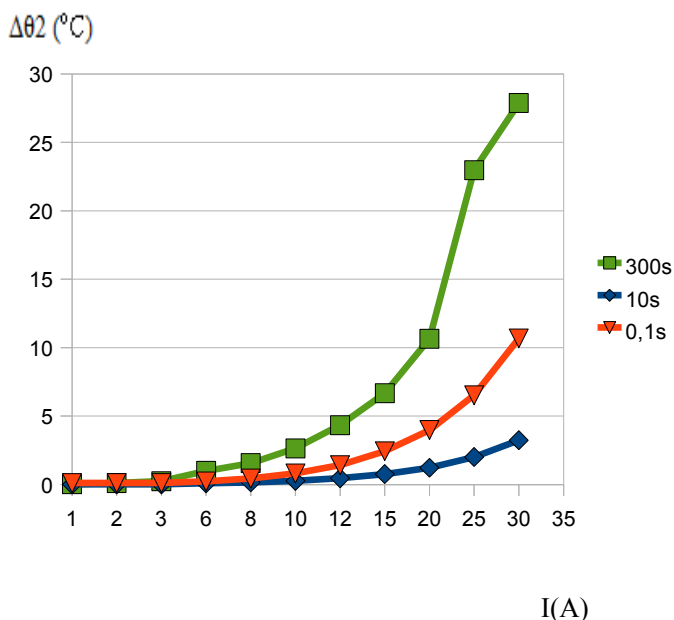


Σχήμα 3.3.2-3: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 95 mm² με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²)

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0278	0,0206	0,1124
2	0,1112	0,0206	0,1124
3	0,2501	0,0206	0,1124
6	1,0006	0,0900	0,2330
8	1,5634	0,1635	0,4450
10	2,6422	0,2722	0,8131
12	4,3428	0,4601	1,4161
15	6,6775	0,7638	2,4401
20	10,6591	1,2294	3,9780
25	22,9734	2,0216	6,5245
30	27,8711	3,2404	10,6818

Πίνακας 3.3.2-4: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

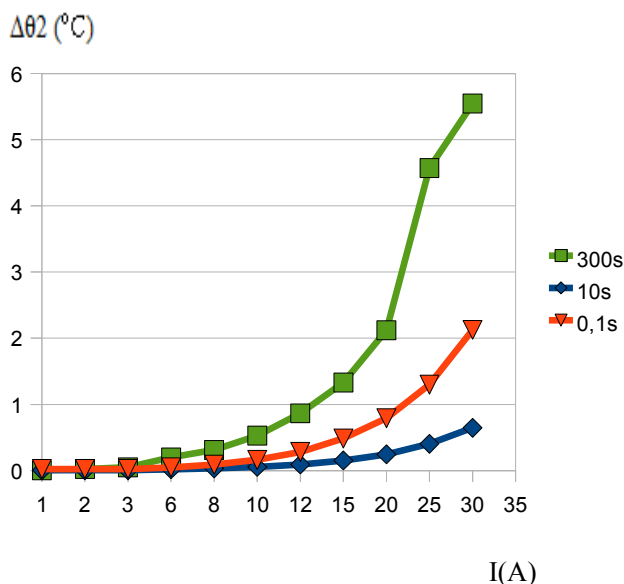


Σχήμα 3.3.2-4: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 16 mm² (πραγματικής διατομής 29 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²)

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0055	0,0041	0,0224
2	0,0221	0,0041	0,0224
3	0,0498	0,0041	0,0224
6	0,1992	0,0179	0,0464
8	0,3112	0,0325	0,0886
10	0,5259	0,0542	0,1618
12	0,8644	0,0916	0,2819
15	1,3292	0,1520	0,4857
20	2,1217	0,2447	0,7918
25	4,5729	0,4024	1,2987
30	5,5478	0,6450	2,1263

Πίνακας 3.3.2-5: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

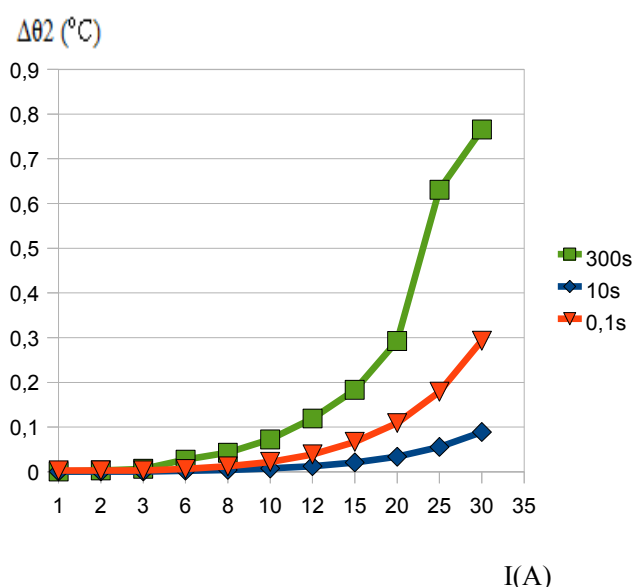


Σχήμα 3.3.2-5: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 35 mm² (πραγματικής διατομής 65 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

-αγωγοί αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²)

Ονομαστικό Ρεύμα I _N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας με τη μέθοδο β – Δθ2 (°C)		
	Χρόνος διακοπής 300s	Χρόνος διακοπής 10s	Χρόνος διακοπής 0,1s
1	0,0008	0,0006	0,0031
2	0,0031	0,0006	0,0031
3	0,0069	0,0006	0,0031
6	0,0275	0,0025	0,0064
8	0,0429	0,0045	0,0122
10	0,0726	0,0075	0,0223
12	0,1193	0,0126	0,0389
15	0,1834	0,0210	0,0670
20	0,2927	0,0338	0,1092
25	0,6309	0,0555	0,1792
30	0,7654	0,0890	0,2933

Πίνακας 3.3.2-6: Πίνακας αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.



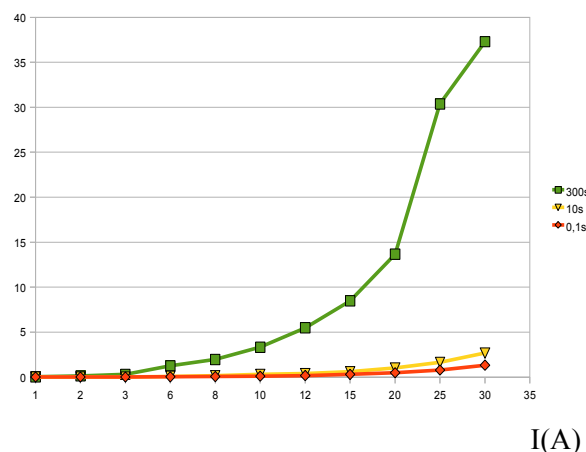
Σχήμα 3.3.2-6: Διάγραμμα αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς αλουμινίου ισοδύναμης διατομής χαλκού 95 mm² (πραγματικής διατομής 175 mm²) με τη μέθοδο υπολογισμού β (Δθ2) και για διφασικό βραχυκύκλωμα για τους τρεις χρόνους διακοπής σε σχέση με το ονομαστικό ρεύμα των τηκτών Τύπου T.

3.4 Αύξηση θερμοκρασίας κατά IEC 865-1

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.2 σύμφωνα με το πρότυπο IEC 865-1 για αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm^2 , για τηκτά τύπου K και για τους τρεις χρόνους διακοπής τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 3.4-1 και διαγραμματικά στο Σχήμα 3.4-1. Κατά τον υπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας ισχύει ότι $m=0$ και $n=1$ για χρόνο διακοπή 300s και 10 s, ενώ για χρόνο διακοπής 0,1s είναι $m=1,22$ και $n=1$ σύμφωνα με τα διαγράμματα στα Σχήματα 2.3.2-1 και 2.3.2-2 (θεωρούμε $\chi=1,95$ δηλαδή τη δυσμενέστερη περίπτωση). Άρα για τα 300s και 10s το $I_{th}=I_a$, όπου I_a είναι το ρεύμα διακοπής του ασφαλειοαποξεύκτη, ενώ για τα 0,1s είναι $I_{th}=\sqrt{2,22} \cdot I_a$.

Όνομαστικό Ρεύμα I_N (A)	Αύξηση θερμοκρασίας $\Delta\theta$ για χρόνο διακοπής 300s ($^{\circ}\text{C}$)	Αύξηση θερμοκρασίας $\Delta\theta$ για χρόνο διακοπής 10s ($^{\circ}\text{C}$)	Αύξηση θερμοκρασίας $\Delta\theta$ για χρόνο διακοπής 0,1s ($^{\circ}\text{C}$)
1	0,035	0,020	0,015
2	0,139	0,020	0,015
3	0,313	0,020	0,015
6	1,253	0,085	0,033
8	1,961	0,147	0,060
10	3,323	0,302	0,106
12	5,484	0,389	0,177
15	8,480	0,609	0,297
20	13,670	1,015	0,481
25	30,372	1,633	0,788
30	37,298	2,672	1,334

Πίνακας 3.4-1: Αύξηση θερμοκρασίας σε αγωγό χαλκού διατομής 16 mm^2 σύμφωνα με το πρότυπο IEC 865-1 για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος ασφαλειοαποξεύκτη τηκτών Τύπου K. $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$



Σχήμα 3.4-1: Αύξησης θερμοκρασίας σε αγωγούς χαλκού διατομής 16 mm^2 σύμφωνα με το πρότυπο IEC 865-1 για τους τρεις χρόνους διακοπής συναρτήσει του ονομαστικού ρεύματος ασφαλειοαποξεύκτη τηκτών Τύπου K.

4.Σχόλια και Συμπεράσματα

4.1 Σχόλια επί των δύο μεθόδων

Η μέθοδος α, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας στους αγωγούς με την παραδοχή $W\theta=Wn$, στηρίζεται στην θερμότητα που αναπτύσσεται σε αυτούς βάσει των νόμων της θερμοδυναμικής για την ενέργεια του κάθε υλικού, χαλκού ή αλουμινίου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και την εξίσωση της ενέργειας αυτής με την ηλεκτρική ενέργεια που αναπτύσσεται στους αγωγούς για συγκεκριμένο χρόνο και ρεύμα, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από το διακοπτικό μέσο προστασίας, δηλαδή τον ασφαλειοαποζεύκτη. Σύμφωνα με τον αναλυτικό τύπο μεταξύ της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας του αγωγού μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική με αύξηση της θερμοκρασίας κατά $\Delta\theta$, ενώ ένα άλλο μέρος της συμβάλλει στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας του αγωγού, αύξηση ωστόσο που είναι αμελητέα συγκρητικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και για τον λόγο αυτόν γίνεται η αρχική παραδοχή $W\theta=Wn$.

Η μέθοδος β στηρίζεται στον υπολογισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους αγωγούς όταν σε αυτούς εκδηλώνεται τριφασικό και διφασικό βραχυκύκλωμα. Υπολογίζοντας λοιπόν υπό συνθήκες βραχυκυκλώματος την αύξηση θερμοκρασίας για τα δύο υλικά, χαλκό και αλουμινίο, και για συγκεκριμένα ρεύματα και χρόνους τα οποία πάλι εξαρτώνται από τους χρόνους διακοπής και το μέγιστο ρεύμα διακοπής του ασφαλειοαποζεύκτη μπορεί να μελετηθεί η θερμική συμπεριφορά των αγωγών.

4.2 Σύγκριση των δύο μεθόδων

Οι τελικοί τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αύξησης της θερμοκρασίας σύμφωνα με τις δύο μεθόδους διαφέρουν μεταξύ τους μόνο κατά την σταθερά χρόνου T. Επομένως οι θερμοκρασίες των αγωγών που υπολογίζονται για τα δύο υλικά, για όλες τις διατομές και για ασφαλειοαποζεύκτη τηκτών τόσο Τύπου K, όσο και Τύπου T είναι πολύ κοντά μεταξύ τους κυρίως για τους χρόνους διακοπής 300s και 10s. Μεγαλύτερες διαφορές στις θερμοκρασίες μεταξύ των δύο μεθόδων παρουσιάζονται για χρόνο διακοπής 0,1s. Έτσι η μέθοδος υπολογισμού της αύξησης θερμοκρασίας των αγωγών με την μέθοδο β, υπό συνθήκες βραχυκυκλώματος δηλαδή, είναι πιο ασφαλής καθώς υπολογίζεται η δυσμενέστερη δυνατή περίπτωση.

Για τον ακριβή ωστόσο υπολογισμό της αύξησης θερμοκρασίας των αγωγών χρησιμοποιείται η μέθοδος υπολογισμού κατά το πρότυπο IEC 865-1. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της υποεπότητας 3.4 οι θερμοκρασίες που υπολογίζονται είναι μικρότερες από αυτές που υπολογίζονται με τη μέθοδο β, ενώ ο υπολογισμός τους είναι δυσκολότερος καθώς πρέπει να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι παράμετροι m και n.

Επομένως εφόσον η μέθοδος υπολογισμού κατά το βραχυκύκλωμα μας δίνει αποτελέσματα πιο δυσμενή από τη μέθοδο α αλλά και από τη μέθοδο ακριβείας κατά το πρότυπο IEC 865-1 θεωρείται πιο ασφαλής μέθοδος υπολογισμού καθώς σε περίπτωση που η δυσμενέστερη περίπτωση δεν παραβιάζει τα θερμικά όρια των αγωγών, τότε δεν παρουσιάζεται τήξη αυτών.

4.3 Συμπεράσματα

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στους αγωγούς για τα δύο υλικά, για όλες τις διατομές και για ασφαλειοαποζεύκτη τηκτών Τύπου K και Τύπου T δεν ξεπερνούν τους 40 °C. Επομένως αν θεωρηθεί μέγιστη δυνατή τιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος 50°C οι θερμοκρασίες που είναι δυνατόν να αναπτυχθούν στους αγωγούς δεν ξεπερνούν τους 90°C.

Επίσης σύμφωνα με τον πίνακα 2.3.2-1, όπου δίνονται οι οριακές θερμοκρασίες ανοχής γυμνών αγωγών αλουμινίου (180°C) και χαλκού (200°C), είναι εμφανές ότι δεν εμφανίζεται υπερθέρμανση των αγωγών πόσο μάλλον τήγματα μετάλλου σε καμία περίπτωση κατά τη διακοπή της λειτουργίας του δικτύου από ασφαλειοαποζεύκτη, εφόσον βέβαια τηρούνται όλες οι προδιαγραφές για την εγκατάσταση των αγωγών και διακοπτικών μέσων προστασίας σύμφωνα με τα ονομαστικά μεγέθη λειτουργίας του δικτύου διανομής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Π.Δ. Μπούρκας, Α.Δ. Πολυκράτη: “Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Τόμος ΙΙ (Εφαρμογές βιομηχανικών ηλεκτρικών διατάξεων)”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2012.
- [2] Π.Δ. Μπούρκας: “Εισαγωγή στο μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό σχέδιο”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1999.
- [3] Μιχ.Π.Παπαδόπουλος, “Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994.
- [4] William H.Kersting, “Distribution System Modeling and Analysis”, Εκδόσεις CRP PRESS, 2002.
- [5] Δημήτριος Σ.Χατζημανώλης, “Θερμική και διηλεκτρική συμπεριφορά των εναέριων γραμμών διανομής μέσης τάσης από αγωγούς ACSR 95mm² κατά το βραχυκύκλωμα”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2009.
- [6] Ιωάννης Καλπακίδης, “Περιγραφή των μέσων προστασίας και των εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης της Δ.Ε.Η και των Καταναλωτών”, Θεσσαλονίκη, Μάιος 2009.
- [7] Βασιλείου Κ.Παπαδιά, “Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, Τόμος ΙΙ, Ασύμμετρες και Μεταβατικές κατατάσεις”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1993.
- [8] Ευάγγελος Γ.Μαρινάκης, “Μελέτη θερμικής και διηλεκτρική καταπόνησης γραμμής μέσης τάσης (τύπου ACSR-95) κατά το τριφασικό και διφασικό βραχυκύκλωμα στον αέρα”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2009.
- [9] Fuse cutout from Wikipedia, the free encyclopedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_cutout
- [10] ANSI C37.42-1996: Specification for High-Voltage Expulsion Type Distribution Class Fuses, Cutouts, Fuse Disconnecting Switches and Fuse Links, American National Standards Institute, Inc., 1996.
- [11] http://constructionmanuals.tpub.com/14027/css/14027_82.htm
- [12] http://constructionmanuals.tpub.com/14027/css/14027_83.htm
- [13] http://constructionmanuals.tpub.com/14027/css/14027_84.htm