



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη Ιδιωτικού Υποσταθμού ΜΤ-ΧΤ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελένη Ι. Καραντώνη

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη Ιδιωτικού Υποσταθμού ΜΤ-ΧΤ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ελένη Ι. Καραντώνη

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20^η Ιουλίου 2012.

.....
Σ. Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

.....
Σ. Παπαθανασίου
Λέκτορας Ε.Μ.Π

.....
Κ. Βουρνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

.....

Ελένη Ι. Καραντώνη

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

Copyright © Ελένη Καραντώνη, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υπεύθυνη της διπλωματικής αυτής εργασίας κ.Καβατζά για τη συνεργασία που είχαμε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για τη συμπαράστασή τους.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ενός Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ ενός καταναλωτή μέσης τάσης, ενώ μελετάται εκτενέστερα η διαδικασία επιλογής των μέσων εκείνων που είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση ενός μηχανουργείου μέσω ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ παροχής τύπου Α1. Ειδικότερα, παρατίθενται οι τύποι παροχής των ιδιωτικών Υ/Σ, αναλύονται τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ όπως και η διαδικασία επιλογής του Μ/Σ που θα χρησιμοποιηθεί για την ζεύξη με το δίκτυο της ΜΤ και τα μέσα προστασίας του. Παρουσιάζονται τα μέσα ζεύξης – απόζευξης και προστασίας ΧΤ αλλά και ο τρόπος λειτουργίας τους με σκοπό την αντιμετώπιση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης που ενδεχομένως εμφανίζονται σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες των καλωδίων ΧΤ και ΜΤ και τα είδη μόνωσής τους. Παράλληλα παρατίθεται η διαδικασία της αντιστάθμισης της αέργου ισχύος και οι τρόποι επίτευξής της. Επίσης, παρουσιάζονται τα είδη γείωσης των ιδιωτικών Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ. Γίνεται ακόμη αναφορά στις συνθήκες σφάλματος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση και σε ένα Υ/Σ, ενώ αναπτύσσονται οι τρόποι προστασίας για την αποφυγή ηλεκτροπληξίας και τα είδη γείωσης ΧΤ που εφαρμόζονται για τον σκοπό αυτό.

Τέλος, πραγματοποιείται μια μελέτη επιλογής των μέσων υλοποίησης ενός Υ/Σ ΜΤ- ΧΤ παροχής τύπου Α1 που θα ηλεκτροδοτήσει ένα μηχανουργείο.

Λέξεις Κλειδιά

Υποσταθμοί Μέσης και Χαμηλής Τάσης, Μονωμένοι Αγωγοί, Καλώδια, Μέσα Προστασίας Μέσης και Χαμηλής Τάσης, Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος, Ρεύματα Βραχυκύκλωσης, Γειώσεις, Ηλεκτροπληξία

Abstract

The present thesis assesses the structures used for the installation of a MV/LV Substation of a MV consumer, whilst further investigating the evaluation process of the structures available for a mechanical workshop via MV/LV Substation type A1. Specifically the provision types for the private MV/LV Substation are presented and an analysis is made on the Medium Voltage connection and protection structures, as on the process of selecting the transformer to be used as well as the structures of transformer protection. Also, Connection-Disconnection and Low Voltage protection structures are detailed in terms of functionality and efficiency dealing with potential short circuit currents. All the categories of MV/LV cables are presented along with their insulation types. In parallel, the necessity for counterbalancing the reactive power and ways of achieving this are noted. Furthermore, the different types of grounding of MV/LV Substations are presented. Reference is made to the error condition of the electrical installation and the Substation M/L Voltage, in addition to the structures of protection to avoid electrocution and the Low Voltage grounding methods which makes this possible.

Finally, the thesis includes a case study of the different structures available for setting up a Substation M/L Voltage type A1 providing electrical power for a mechanical workshop.

Keywords

Substations Medium and Low Voltage, Insulation Wires, Cables, Medium and Low Voltage Protection Structures, Counterbalancing Reactive Power, Short Circuit Currents, Grounding, Electrocution

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1	ΓΕΝΙΚΑ	11
1.2	ΔΙΚΤΥΑ ΜΤ	12
1.3	ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΤ	14
1.4	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΖΕΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΤ	17
2.1	ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΤ	17
2.2	ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ ΣΕ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ ΜΤ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΜΤ	23
3.1	ΓΕΝΙΚΑ	23
3.2	ΠΑΡΟΧΗ Α1	23
3.3	ΠΑΡΟΧΗ Α2	24
3.4	ΠΑΡΟΧΗ Β1	24
3.5	ΠΑΡΟΧΗ Β2	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ Υ/Σ ΜΤ	29
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	29
4.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ Μ/Σ	29
4.3	ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΣ Μ/Σ	31
4.4	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ Μ/Σ	31
4.5	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Μ/Σ	31
4.6	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ Μ/Σ	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΖΕΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΤ	37
5.1	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΤ	37
5.2	ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΤ	39
5.3	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΜΕΣΩΝ ΖΕΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΜΤ	40
5.4	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΜΕΣΑ ΖΕΥΞΗΣ-ΑΠΟΖΕΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΧΤ	45
6.1	ΜΕΣΑ ΖΕΥΞΗΣ-ΑΠΟΖΕΥΞΗΣ ΧΤ	45
6.2	ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΥΠΕΡΡΕΥΜΑΤΑ, ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΧΤ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ	53
7.1	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ ΚΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ	53
7.2	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΤ ΣΕ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ	54

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΜΟΝΩΜΕΝΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΤ-ΧΤ</u>	<u>57</u>
8.1 ΓΕΝΙΚΑ	57
8.2 ΚΑΛΩΔΙΑ ΣΤΗ ΧΤ	57
8.3 ΚΑΛΩΔΙΑ ΣΤΗ ΜΤ	59
8.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	60
8.5 ΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ.....	61
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ.....</u>	<u>63</u>
9.1 ΓΕΝΙΚΑ	63
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ.....</u>	<u>67</u>
10.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	67
10.2 Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ	67
10.3 ΕΙΔΗ ΧΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ	68
10.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΚΝΩΤΩΝ	70
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΓΕΙΩΣΕΙΣ.....</u>	<u>71</u>
11.1 ΓΕΝΙΚΑ	71
11.2 ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ	72
11.3 Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΕΙΩΣΗΣ	74
11.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΕΙΩΣΕΩΝ	74
11.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΘΙΑΣ	78
11.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΘΙΑΣ ΣΕ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΕ Υ/Σ	80
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟΥ.....</u>	<u>83</u>
12.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	83
12.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΤΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΧΤ.....	84
12.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΧΤ.....	88
12.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΧΤ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ	93
12.5 ΕΠΙΛΟΓΗ Μ/Σ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΕΛΑΙΟΥ 20 ΚV/ 0,4 ΚV	96
12.6 ΠΑΡΟΧΗ ΜΤ	97
12.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΤ	102
12.8 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ-ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ	104
12.9 ΓΕΙΩΣΗ Υ/Σ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	105
12.10 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Υ/Σ	106
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>109</u>
13.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	109
13.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	112
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>113</u>
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	<u>115</u>

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός Σ.Η.Ε. είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ανήκουν στο σύνολο ή κατά τμήματα σε δημόσιες-κρατικές ή ιδιωτικές επιχειρήσεις ηλεκτρισμού. Στη χώρα μας μέχρι και πριν λίγα χρόνια το σύνολο των εγκαταστάσεων άνηκε στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατείχε το μονοπώλιο. Τα τελευταία χρόνια με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας όλο και περισσότεροι ιδιώτες επενδύουν κεφάλαια στην παραγωγή ενέργειας.

Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα:

- Τους Σταθμούς Παραγωγής
- Τα Δίκτυα Μεταφοράς
- Τα Δίκτυα Διανομής

Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή. Η παραγωγή γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Εκεί με διάφορες τεχνικές μετατρέπεται η θερμική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κ.α.) και η μηχανική ενέργεια των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσεως (στην Ελλάδα οι γραμμές είναι των 400 kV ή των 150 kV), οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου. Αυτά είναι οι λεγόμενοι υποσταθμοί, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής της μέσης τάσεως (20 kV ή 15 kV) που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσεως 400/240 V. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων διανομής, σε αντιπαράθεση με τα δίκτυα μεταφοράς, είναι ότι αποτελούνται από μεγάλο πλήθος στοιχείων. Από το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τα Δ.Δ. η τυποποίηση των επί μέρους κατασκευαστικών τους στοιχείων, καθώς και του υλικού που χρησιμοποιείται σε αυτά, δεδομένου ότι πρόκειται για επαναλαμβανόμενες κατασκευές από πολλά διεσπαρμένα συνεργεία σε ολόκληρη τη χώρα.

Η σύνδεση των καταναλωτών από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη απορροφούμενη ισχύ τους. Έτσι τους διακρίνουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Καταναλωτές Υψηλής Τάσης - Υ.Τ.
- Καταναλωτές Μέσης Τάσης - Μ.Τ.- (συνήθως για απορροφούμενη ένταση άνω των 200 Α ανά φάση στη χαμηλή τάση)
- Καταναλωτές Χαμηλής Τάσης - Χ.Τ.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι συνήθως οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και για αυτό ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, των κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών πρέπει να είναι ενιαίος, με κύριο στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της κατανάλωσης, με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως. Από την άλλη, η διανομή είναι μια διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται χωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών τους οποίους εξυπηρετεί.

1.2 Δίκτυα ΜΤ

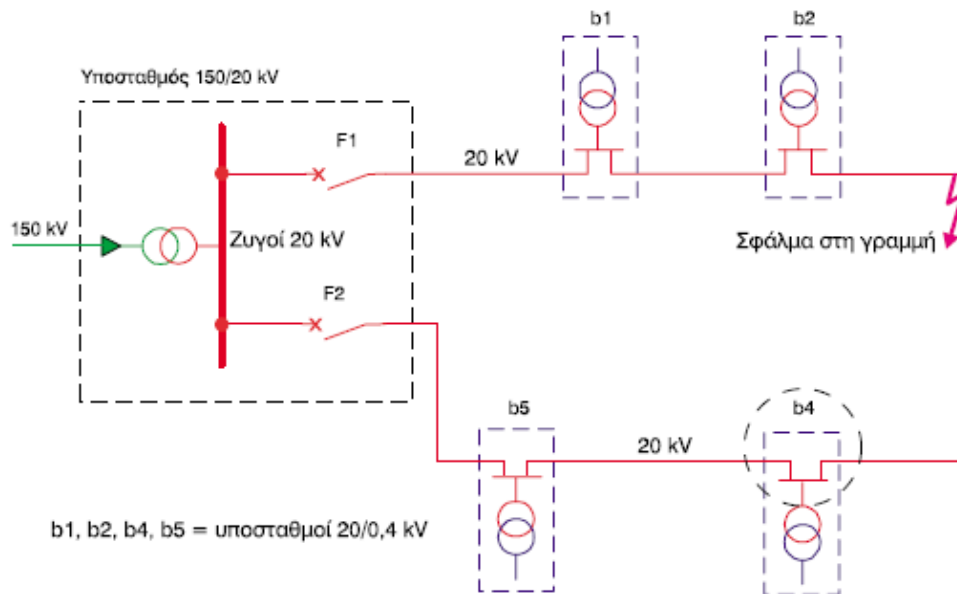
Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή γίνεται συνήθως από το δίκτυο ΜΤ αν ο καταναλωτής έχει προβλεπόμενη μέγιστη ισχύ μεγαλύτερη από 135 kVA. Ακόμη όμως και σε μικρότερες ισχύεις, η σύνδεση με ΜΤ μπορεί να επιβάλλεται από τη ΔΕΗ για τεχνικούς λόγους ή να συμφέρει οικονομικά. Βαριές εκκινήσεις κινητήρων, κορεσμός του δικτύου ΧΤ μπορούν να επιβάλλουν ακόμη και από τα 50 kVA τη σύνδεση στη ΜΤ. Με τον όρο Μέση Τάση (ΜΤ) εννοούμε τα δίκτυα της ΔΕΗ με ονομαστική (πολική) τάση 20 kV. Η ΜΤ είναι απαραίτητη για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1000 km περίπου.

Τα δίκτυα ΜΤ χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες:

- Ακτινικά δίκτυα
- Βροχοειδή δίκτυα

1.2.1. Ακτινικά δίκτυα

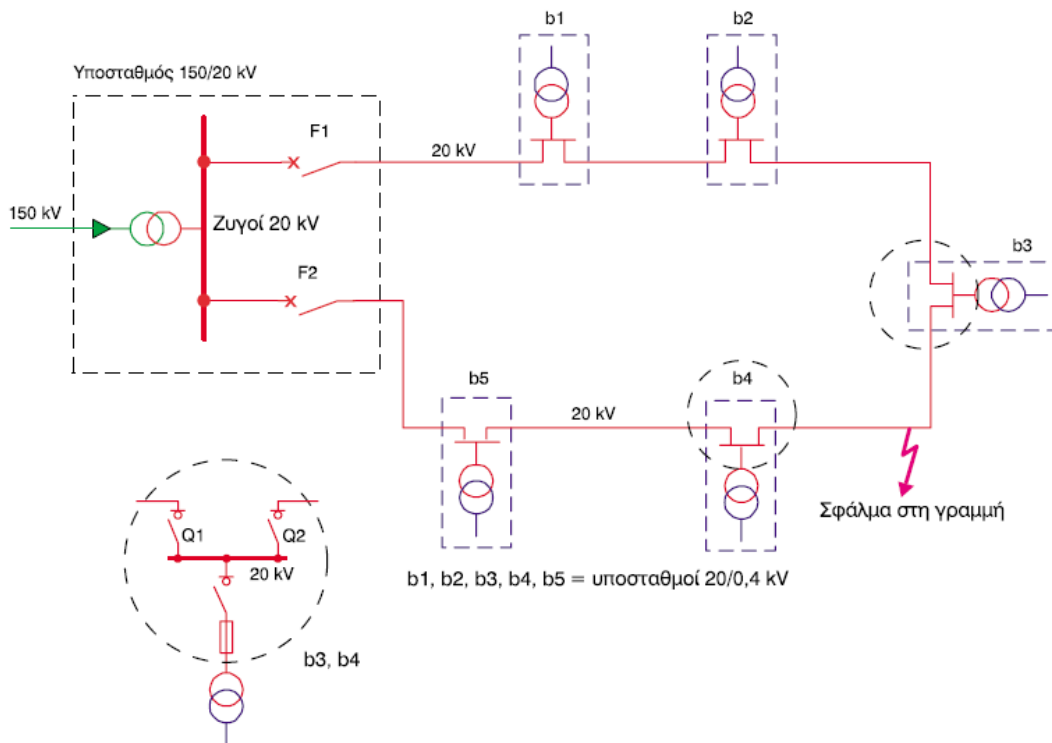
Στα ακτινικά δίκτυα οι γραμμές των 20 kV (συνήθως εναέριες) αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ και απλώνονται σαν ακτίνες κύκλου. Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται οι καταναλωτές ΜΤ. Κάθε καταναλωτής πρέπει να διαθέτει το δικό του ιδιωτικό Υ/Σ για να μπορέσει να συνδεθεί με ασφάλεια στο δίκτυο της ΜΤ. Βασικό μειονέκτημα των ακτινικών δικτύων είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος κατά μήκος της γραμμής, ο διακόπτης ισχύος F1 (Σχήμα 1.1) που υπάρχει στην αρχή της γραμμής ανοίγει με αποτέλεσμα όλοι οι καταναλωτές κατά μήκος της γραμμής να μείνουν χωρίς τάση.



Σχήμα 1.1.
Ακτινικό δίκτυο [5]

1.2.2. Βροχοειδή δίκτυα

Το βασικό μειονέκτημα των ακτινικών δικτύων ξεπερνιέται με τα βροχοειδή. Οι γραμμές των 20 kV (εναέριες ή υπόγεια καλώδια) που αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ, σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει στους ζυγούς 20 kV του υποσταθμού 150/20 kV (Σχήμα 1.2). Κατά μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές b1, b2, b3, ... Ο βρόγχος προστατεύεται στις δύο άκρες του με τους διακόπτες ισχύος F1 και F2. Σε περίπτωση σφάλματος σε κάποιο σημείο του βρόχου, π.χ. ανάμεσα στους καταναλωτές b3 και b4 τότε λειτουργούν οι προστασίες των διακοπών F1 και F2 και ο βρόγχος μένει χωρίς τάση. Στη συνέχεια αφού εντοπίσουμε το σφάλμα ανοίγουμε τους διακόπτες φορτίου Q1 στο b3 και Q2 στο b4 και απομονώνουμε το τμήμα b3-b4. Στη συνέχεια κλείνουμε τους διακόπτες F1 και F2 και επανέρχεται η τάση στο δίκτυο το οποίο μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης λειτουργεί σαν 2 ακτινικά δίκτυα.



Σχήμα 1.2
Βροχοειδές δίκτυο [5]

1.3 Υποσταθμοί καταναλωτών MT

Τα εναέρια δίκτυα της ΔΕΗ είναι κατά κανόνα ακτινικά ενώ μπορεί ορισμένα τμήματά τους να είναι καλωδιακά. Τα υπόγεια δίκτυα MT είναι βροχοειδή (δακτυλιοειδή). Οι καταναλωτές συνδέονται με βρόχο (αλυσωτά) με καλώδια. Οι εγκαταστάσεις υποσταθμών μέσης τάσης (Υ/Σ MT) χωρίζονται σε δύο σύνολα που είναι:

- Η εγκατάσταση MT της ΔΕΗ.
Μπορεί να είναι υπαίθρια ή στεγασμένη σε εναέρια δίκτυα ενώ είναι πάντα στεγασμένη σε υπόγεια δίκτυα. Περιέχει μετασχηματιστές μετρήσεων, μετρητές ισχύος και ενέργειας καθώς και τα μέσα προστασίας της παροχής σε βραχυκυκλώματα, δηλαδή διακόπτες ή ασφάλειες.
- Η εγκατάσταση του καταναλωτή.
Είναι συνήθως στεγασμένη και περιέχει τα καλώδια, τους ζυγούς MT, τα όργανα και τα μέσα προστασίας, τους μετασχηματιστές ισχύος, τους μετασχηματιστές οργάνων και τους ζυγούς ΧΤ με την προστασία τους. Επιτρέπεται όμως η εγκατάσταση του καταναλωτή να είναι υπαίθρια παρόλο που δεν γίνεται γιατί δημιουργούνται προβλήματα στη συντήρηση του Υ/Σ. Εκείνο που εφαρμόζεται είναι υπαίθρια εγκατάσταση Μ/Σ και στεγασμένες κυψέλες.

Η ΔΕΗ έχει εκδώσει πληροφορίες για τη διαδικασία παροχής ΜΤ. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την αίτηση, την προμελέτη από τη ΔΕΗ, τη μελέτη από τον εγκαταστάτη, την έγκριση της μελέτης από τη ΔΕΗ, την κατασκευή και σύνδεση της παροχής ΜΤ.

Υπάρχουν τέσσερις τυποποιημένες παροχές ΜΤ (Α1,Α2,Β1,Β2) που διαφέρουν ως προς την εγκατάσταση της ΔΕΗ, δηλαδή εναέρια (Α1,Α2) ή στεγασμένη (Β1,Β2), ως προς την προστασία και την ισχύ. Η ΔΕΗ προσδιορίζει τον τύπο της παροχής.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να αναλυθούν τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ενός υποσταθμού ΜΤ-ΧΤ ενός καταναλωτή μέσης τάσης ώστε να πραγματοποιηθεί μια μελέτη επιλογής των μέσων υλοποίησης ενός ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ- ΧΤ παροχής τύπου Α1 που θα ηλεκτροδοτήσει ένα μηχανουργείο.

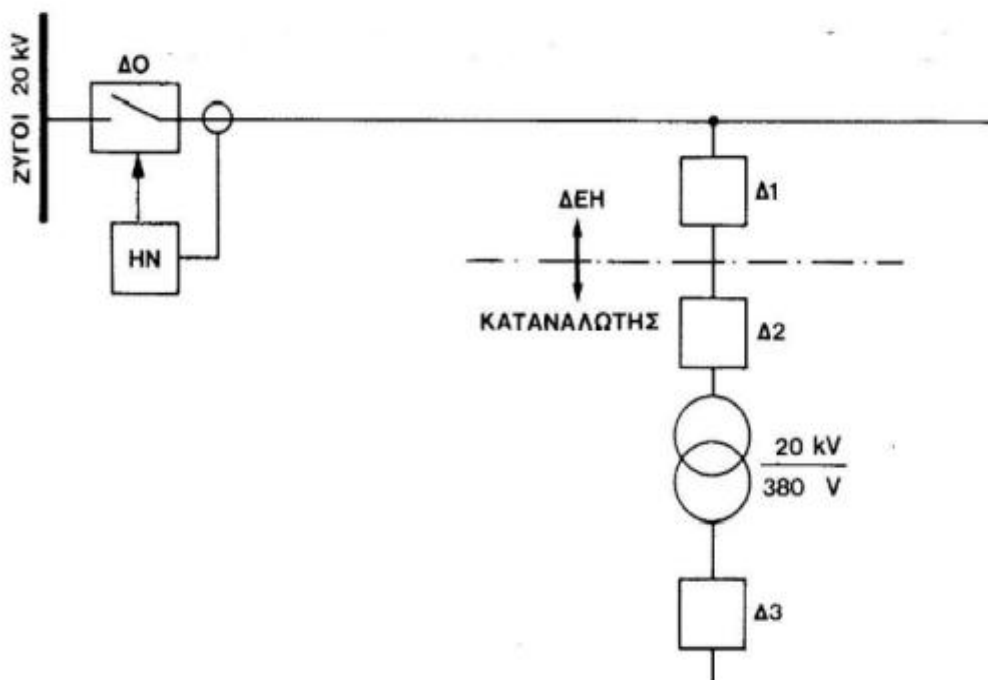
Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα μέσα προστασίας των γραμμών αναχώρησης του δικτύου ΜΤ και των διακλαδώσεων προς τους καταναλωτές. Στο Κεφάλαιο 3 παρατίθενται τα είδη παροχών ΜΤ της ΔΕΗ και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Στο Κεφάλαιο 4 δίνονται τα στοιχεία των Μ/Σ που λαμβάνουμε υπόψη για την διαδικασία επιλογής του Μ/Σ που θα χρησιμοποιηθεί για την ζεύξη με το δίκτυο της ΜΤ και τα μέσα προστασίας του. Στο Κεφάλαιο 5 και 6 αναλύονται τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ και ΧΤ αντίστοιχα, ενώ στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την προστασία του Υ/Σ και της εγκατάστασης από υπερτάσεις. Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες των καλωδίων ΧΤ και ΜΤ και τα είδη μόνωσής τους. Στο Κεφάλαιο 9 γίνεται αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των ρευμάτων βραχυκύκλωσης και στο Κεφάλαιο 10 παρατίθεται η διαδικασία της αντιστάθμισης της αέργου ισχύος και οι τρόποι επίτευξής της. Επίσης, στο Κεφάλαιο 10 παρουσιάζονται τα είδη γείωσης των ιδιωτικών Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ, γίνεται αναφορά στις συνθήκες σφάλματος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση και σε ένα Υ/Σ και στους τρόπους προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας.

Στο Κεφάλαιο 12 παρουσιάζονται η διαδικασία επιλογής των μέσων υλοποίησης ενός Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ για την τροφοδότηση ενός μηχανουργείου και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Κεφάλαιο 13 ενώ το μανογραμμικό σχέδιο και το σχέδιο γείωσης δίνονται στο Παράρτημα.

Κεφάλαιο 2 Εξοπλισμός ζεύξης και προστασίας του δικτύου MT

2.1 Αναχώρηση γραμμών MT

Οι γραμμές διανομής MT ξεκινούν από το ζυγό των 15 ή 20 kV από Μ/Σ ισχύος 25....50 MVA (Σχήμα 2.1). Οι γραμμές διακρίνονται σε εναέριες, υπόγειες (σε συνωστισμένες περιοχές) ή μικτές υπόγειες-εναέριες. Τα εναέρια δίκτυα είναι λιγότερο δαπανηρά σε σχέση με τα υπόγεια και είναι ευκολότερα στην εκμετάλλευσή τους. Συναντώνται κυρίως στις αγροτικές περιοχές που γενικά χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα φορτίου, καθώς και όπου δεν υπάρχει περιορισμός χώρου. Τα δίκτυα αυτά λειτουργούν πάντα ακτινικά δηλαδή όλες οι γραμμές τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Τα υπόγεια δίκτυα εμφανίζονται στα κέντρα των πόλεων για λόγους αισθητικής αλλά και έλλειψης διαθέσιμου χώρου. Επιπλέον στις περιοχές αυτές η πυκνότητα φορτίου είναι τέτοια που καθιστά επιβεβλημένη τη χρήση υπόγειων δικτύων. Επειδή ο εντοπισμός και η επιδιόρθωση μιας βλάβης σε υπόγειο δίκτυο είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία γι' αυτό ακολουθείται η πρακτική να υπάρχει η δυνατότητα μετά από βλάβη να επανατροφοδοτούνται οι Υ/Σ MT-ΧΤ από άλλη οδό, μετά την εκτέλεση ορισμένων χειρισμών χωρίς να προηγείται η επισκευή της βλάβης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διαμόρφωση του δικτύου MT σε βροχοειδές.



Σχήμα 2.1

Γραμμή διανομής μέσης τάσης με διακλάδωση, για παροχή καταναλωτή [1]

Δ0 = προστασία αναχώρησης γραμμής

Δ1 = προστασία διακλάδωσης του καταναλωτή

Δ2 = προστασία εγκατάστασης MT του καταναλωτή

Δ3 = προστασία εγκατάστασης ΧΤ του καταναλωτή

2.1.2 Προστασία γραμμών αναχώρησης του δικτύου MT

Σε κάθε αναχώρηση εναέριας ή υπόγειας γραμμής υπάρχει συνήθως ένας διακόπτης ισχύος πτωχού ελαίου ΔΟ(Σχήμα 2.1) που διεγείρεται από Η/Ν. Ο Η/Ν τροφοδοτείται μέσω Μ/Σ μέτρησης έντασης από το δίκτυο, παρακολουθεί το ρεύμα και αν αυτό είναι ανεπίτρεπτα μεγάλο, στέλνει στο διακόπτη ισχύος εντολή να ανοίξει. Οι Η/Ν παρακολουθούν:

- τα ρεύματα φάσεων σε μονοφασικά, διφασικά και τριφασικά σφάλματα οπότε και λέγονται Η/Ν φάσεων και
- τα ρεύματα γης στα οποία μετρούν το άθροισμα των φασικών ρευμάτων δηλαδή το ρεύμα που διαρρέει τη γείωση του Μ/Σ γι' αυτό και λέγονται Η/Ν γης.

Σε σφάλματα φάσεων έχουμε μεγαλύτερα ρεύματα σε σχέση με τα σφάλματα γης (μονοφασικά σφάλματα) γιατί η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου του δικτύου των 20 kV είναι σχετικά μεγάλη (12 Ω). Για τον λόγο αυτό οι Η/Ν γης είναι ρυθμισμένοι να αντιδρούν σε χαμηλότερα ρεύματα απ' ότι οι Η/Ν φάσεων.

Οι Η/Ν του δικτύου MT διακρίνονται σε:

- Απλούς Η/Ν υπερεντάσεως που δεν εξαρτώνται από την κατεύθυνση
- Η/Ν υπερεντάσεως που εξαρτώνται από την κατεύθυνση

Οι απλοί Η/Ν χωρίζονται στους :

- Στιγμιαίους Η/Ν υπερεντάσεως στους οποίους μόλις το ρεύμα υπερβεί ένα όριο ανοίγουν ακαριαία.
- Η/Ν υπερεντάσεως χρονικής καθυστέρησης

Οι Η/Ν υπερεντάσεως χρονικής καθυστέρησης με τη σειρά τους διακρίνονται σε:

- Σταθερού χρόνου οι οποίοι ανεξάρτητα του μεγέθους της υπερέντασης λειτουργούν στον ίδιο χρόνο που καθορίζεται από τη ρύθμισή τους.
- Αντιστρόφου χρόνου στους οποίους ο χρόνος λειτουργίας μειώνεται όσο αυξάνει η υπερένταση.

Οι Η/Ν με χαρακτηριστικές αντιστρόφου χρόνου έχουν σκοπό την προστασία από θερμικές καταπονήσεις των στοιχείων του δικτύου MT. Οι χαρακτηριστικές προσδιορίζουν για κάθε ρεύμα πότε θα ανοίξει ο διακόπτης και ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης. Για λόγους συντονισμού των διακοπών, ενδείκνυται οι χρόνοι ανοίγματος του διακόπτη της ΔΕΗ να είναι μεγαλύτεροι σε σχέση με αυτούς των διακοπών των καταναλωτών. Υπάρχει ένα ελάχιστο ρεύμα κάτω από το οποίο δεν δίνει εντολή πτώσης ο Η/Ν. Αυτό το ρεύμα χαρακτηρίζει και τη ρύθμιση. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες τυποποιήσεις, ανάλογα με το ρυθμό μείωσης του χρόνου διακρίνονται τρεις τύποι:

- Οι απλώς αντιστρόφου χρόνου
- Οι πολύ αντιστρόφου χρόνου
- Οι εξαιρετικά αντιστρόφου χρόνου

Οι Η/Ν μπορεί να έχουν στοιχείο που να δίνει αμέσως εντολή πτώσης όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή. Αυτό λέγεται στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας και έχει σκοπό την προστασία από δυναμικές επιδράσεις σε μεγάλα ρεύματα. Οπότε πάνω από ένα πολύ μεγάλο ρεύμα πρέπει να ανοίγουν όσο το δυνατό πιο γρήγορα.

Οι διακόπτες αναχώρησης μιας εναέριας γραμμής MT εκτελούν συνήθως περισσότερους κύκλους λειτουργίας ως εξής:

Αν παρουσιαστεί ένα σφάλμα και ο Η/Ν δώσει εντολή μετά από κάποιο χρόνο, τότε ο διακόπτης ισχύος ανοίγει, στη συνέχεια παραμένει ανοιχτός για κάποιο χρονικό διάστημα, έπειτα ξανακλείνει, ξανανοίγει αν το σφάλμα παραμένει κ.ο.κ.

Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως Ο-Ο... (open - close - open..) ή λειτουργία επαναφορών. Οι επαναληπτικοί κύκλοι γίνονται γιατί τα σφάλματα μπορεί να είναι παροδικά στα εναέρια δίκτυα. Οι επαναφορές μπορεί να ρυθμιστούν ξεχωριστά για σφάλματα φάσεων, γης ενώ δεν εκτελούνται συνήθως στα υπόγεια δίκτυα διότι δεν υπάρχουν κατά κανόνα παροδικά σφάλματα.

2.1.3 Αναχωρήσεις εναέριων καλωδίων ΜΤ

Στα εναέρια δίκτυα οι Η/Ν είναι αντιστρόφου χρόνου. Επειδή στις εναέριες γραμμές το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται από την απόσταση της θέσης του βραχυκυκλώματος, η χαρακτηριστική αντιστρόφου χρόνου βοηθά στο να έχουμε επιλεκτική συνεργασία των μέσων προστασίας. Με την χαρακτηριστική αυτή σε χαμηλές εντάσεις δίνεται χρόνος στα άλλα μέσα που είναι απομακρυσμένα, δηλαδή στις διακλάδωσεις των καταναλωτών, να αντιδράσουν. Σε μεγάλες εντάσεις όπου η θερμική και δυναμική καταπόνηση των δικτύων είναι μεγάλη, ο διακόπτης ανοίγει σχεδόν ακαριαία. Στους Η/Ν φάσεων υπάρχουν και στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας που δίνουν εντολή απόζευξης ακαριαία (0,6 sec) σε μεγάλα ρεύματα, περίπου δεκαπλάσια του ονομαστικού. Τόσο για τους Η/Ν γης όσο και για τους Η/Ν φάσεων υπάρχουν οριακές τιμές ρευμάτων (ρυθμίσεις) κάτω από τις οποίες δεν διεγείρονται.

2.1.4 Αναχωρήσεις υπόγειων καλωδίων ΜΤ

Για υπόγεια καλώδια προτιμώνται οι Η/Ν υπερεντάσεως χρονικής καθυστέρησης με χαρακτηριστικές σταθερού χρόνου. Εδώ έχουμε και πάλι Η/Ν με στοιχεία γης και φάσεων. Οι Η/Ν σταθερού χρόνου είναι πιο εύχρηστοι και φθηνοί από τους Η/Ν αντιστρόφου χρόνου. Οι αντιστρόφου χρόνου, στην περίπτωση δικτύου ΜΤ με υπόγεια καλώδια, δεν βοηθούν στην επιλεκτικότητα, όπως γίνεται στα εναέρια δίκτυα, επειδή στα υπόγεια δίκτυα όλοι οι διακόπτες των καταναλωτών ελέγχονται συνήθως από τη ΔΕΗ.

2.2 Διακλάδωση σε καταναλωτή ΜΤ

Στα σημεία τροφοδότησης των καταναλωτών η ΔΕΗ εγκαθιστά, πριν την εγκατάσταση του καταναλωτή, ένα μέσο προστασίας Δ1 της διακλάδωσης (Σχήμα 2.1). Το μέσο προστασίας είναι ρυθμισμένο ή επιλεγμένο έτσι ώστε σε περίπτωση σφαλμάτων στην εγκατάσταση του καταναλωτή να διακόπτεται η διακλάδωσή του πριν ανοίξει ο διακόπτης Δ0 στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Έτσι δεν ενοχλούνται οι υπόλοιποι καταναλωτές ΜΤ που είναι στην ίδια γραμμή, αν γίνει σφάλμα σε ένα από αυτούς.

Το μέσο προστασίας Δ1 της παροχής που εγκαθιστά η ΔΕΗ προσδιορίζεται από τον τύπο της παροχής και μπορεί να είναι:

- ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ,
- διακόπτης απομόνωσης (sectionalizer) ,

- αυτόματος διακόπτης ισχύος με τους κατάλληλους Η/Ν και
- ασφάλειες σκόνης.

2.2.1 Διακόπτες απομόνωσης

Οι διακόπτες απομόνωσης λειτουργούν σε σφάλματα που συμβαίνουν σε διακλαδώσεις δικτύων. Οι διακόπτες απομόνωσης της ΔΕΗ δεν διακόπτουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης διότι έχουν προδιαγραφές διακόπτη φορτίου, διεγείρονται όμως από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας (επαναφοράς) του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Μετρούν με εσωτερικό μηχανισμό, αμέσως μόλις περάσει απ' αυτούς το ρεύμα βραχυκύκλωσης, τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος. Στον τελευταίο κύκλο ανοίγουν αφού ανοίξει ο Δ/Ι. Ακολούθως ο Δ/Ι κλείνει, μένει κλειστός, ενώ ο ΔΑ μένει ανοικτός. Σε παροχές ΜΤ μπορεί ο ΔΑ να ρυθμιστεί για να ανοίγει ήδη από τον πρώτο κύκλο, δηλαδή αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Έτσι απομονώνεται ο καταναλωτής, ενώ ο Δ/Ι στην αναχώρηση της γραμμής παραμένει κλειστός. Η τροφοδότηση των λοιπών καταναλωτών ΜΤ υφίσταται μόνο τις διακοπές που προέρχονται από τους κύκλους λειτουργίας του Δ/Ι στην αναχώρηση. Πλεονέκτημα των ΔΑ έναντι των ασφαλειών είναι ότι δεν χρειάζονται αλλαγή, όπως οι ασφάλειες και έχουν πλήρη συνεργασία με το Δ/Ι στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Η επανάζευξη τους γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα αφού πρώτα βέβαια αποκατασταθεί το σφάλμα από συνεργείο της ΔΕΗ. Στους ΔΑ μπορεί να υπάρχει και διάταξη δέσμευσης κατά τη ζεύξη Μ/Σ, δηλαδή να μη διεγείρονται με ρεύματα ζεύξης.

2.2.2 Ασφάλειες

Οι ασφάλειες της ΔΕΗ στην περίπτωση των υπαίθριων εγκαταστάσεων (τύπου Α1) είναι τύπου εκτόνωσης βραδείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα Τ. Οι ασφάλειες αυτές είναι ένας πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 1-2 cm με ένα λεπτό σύρμα μέσα. Στις εσωτερικές εγκαταστάσεις (τύπου Β1) είναι ασφάλειες σκόνης, υψηλής τάσης και υψηλής ισχύος (ΗΗ). Στις ασφάλειες σκόνης δεν υπάρχει η διάκριση βραδείας ή ταχείας τήξης. Οι χαρακτηριστικές τους αντιστοιχούν περισσότερο στις ασφάλειες ταχείας τήξης (Κ), τύπου εκτόνωσης. Οι ασφάλειες εκτόνωσης είναι πολύ φθηνότερες από τις ασφάλειες σκόνης. Δεν επιτρέπεται όμως η χρήση τους σε κλειστούς χώρους λόγω των τοξικών αερίων που αναπτύσσονται. Οι ασφάλειες πρέπει να συνεργάζονται με τους Η/Ν γης του Δ/Ι στην αναχώρηση.

2.2.3 Διακόπτες ισχύος

Η ΔΕΗ σε παροχές τύπου Β2 μεγάλης ισχύος προστατεύει τους καταναλωτές με Δ/Ι. Η διέγερσή τους γίνεται με Η/Ν σταθερού χρόνου που διαθέτουν για την υπερφόρτιση και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας για το βραχυκύκλωμα. Οι Η/Ν μπορεί να διαθέτουν και στοιχείο γης. Σε ορισμένες παροχές ο καταναλωτής εγκαθιστά Δ/Ι που μπορεί να είναι τύπου πρωτογενούς προστασίας ή δευτερογενούς προστασίας. Στην πρωτογενή υπάρχουν στον Δ/Ι ενσωματωμένα πηνία για την καμπύλη χρονικής καθυστέρησης και στιγμιαία στοιχεία. Εφόσον η πρωτογενής προστασία δεν έχει ρύθμιση για ρεύματα γης, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εφαρμοσθεί είναι περιορισμένη από τη ρύθμιση των Η/Ν γης της ΔΕΗ. Δηλαδή το μέγιστο ρεύμα εφαρμογής είναι μικρότερο των 80 Α, συνήθως 50 Α. Στη

δευτερογενή προστασία ο Δ/Ι συνδυάζεται με Η/Ν που μπορεί να είναι ηλεκτρομηχανικοί, ηλεκτρονικοί ή ψηφιακοί. Το μέσο Δ1, που εγκαθιστά η ΔΕΗ, δεν προστατεύει πάντα τον Μ/Σ ή την εγκατάσταση ΜΤ του καταναλωτή, αλλά μόνο την παροχή, δηλαδή απομονώνει την παροχή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Εξαιρέση αποτελεί ο τύπος παροχής Β2 όπου υπάρχει πλήρης προστασία του καταναλωτή από το μέσο Δ1. Ο καταναλωτής για να προστατεύσει τον Μ/Σ και την εγκατάστασή του σε σφάλματα εγκαθιστά επιπρόσθετα στην αρχή της εγκατάστασής του, λαμβάνοντας υπόψη και τον τύπο της παροχής, τα εξής μέσα:

- ασφάλειες σκόνης υψηλής τάσης,
- διακόπτες ισχύος με τους κατάλληλους Η/Ν.

Αν ο τύπος της παροχής είναι ο Β2 τότε δεν χρειάζεται κάποιο μέσο προστασίας. Η ισχύς διακοπής ή βραχυκύκλωσης S_k των μέσων απόζευξης, ασφαλειών και διακοπών ισχύος, τόσο της ΔΕΗ όσο και του καταναλωτή ανεξάρτητα του τύπου παροχής είναι συνήθως μέχρι 250 MVA στη Θεσσαλονίκη, ενώ στην Αττική μέχρι 500 MVA. Αν η ισχύς διακοπής του μέσου προστασίας δηλαδή του διακόπτη ή της ασφάλειας είναι μικρότερη από τα 250 MVA τότε μπορεί να επέλθει ζημιά στα μέσα και στον Υ/Σ σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων.

2.3 Επιλεκτική συνεργασία των μέσων προστασίας

Οι χαρακτηριστικές ρεύματος - χρόνου των μέσων προστασίας πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται μια επιλεκτική προστασία. Αυτό σημαίνει ότι το όργανο προστασίας που είναι πλησιέστερα στο σφάλμα να διακόπτει πρώτο. Δηλαδή για να διακόψει ένα μέσο γρηγορότερα από ένα άλλο, εφόσον διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα πρέπει ο χρόνος αντίδρασης του πρώτου να είναι μικρότερος από το χρόνο του δεύτερου. Η επιλεκτική προστασία πρέπει να εξασφαλίζεται σε όλη την αλυσίδα των μέσων προστασίας από τη ΧΤ των 400 V έως και το διακόπτη αναχώρησης της γραμμής ΜΤ. Η επιλεκτική συνεργασία πρέπει να υπάρχει σε όλα τα σφάλματα δηλαδή τόσο σε σφάλματα γης όσο και φάσεων. Έτσι σε μέσα προστασίας που δεν κάνουν διάκριση μεταξύ σφαλμάτων γης και φάσεων πρέπει τα ρεύματα διέγερσης των μέσων να συνεργάζονται επιλεκτικά με τους Η/Ν γης της ΔΕΗ. Τέτοια μέσα που δεν κάνουν διάκριση φάσεων – γης είναι οι ασφάλειες και οι διακόπτες με πρωτογενή προστασία (αυτοπροστασία). Αυτός είναι ο λόγος που δεν εγκαθίστανται ασφάλειες ή πρωτογενής προστασία για μεγάλες ισχείς (>800 kVA).

Κεφάλαιο 3 Τυποποιημένες παροχές ΜΤ

3.1 Γενικά

Υπάρχουν τέσσερις τύποι παροχών ΜΤ :

Τύπος	Εγκατάσταση μέτρησης	Μέγιστη ισχύς ΥΣ
A1	Εξωτερικά (υπαίθρια)	630 kVA
A2	Εξωτερικά (υπαίθρια)	Περιορίζεται μόνο από το δίκτυο ΜΤ
B1	Εσωτερικά (στεγασμένη)	1250 kVA
B2	Εσωτερικά (στεγασμένη)	Περιορίζεται μόνο από το δίκτυο ΜΤ

Εάν η στεγασμένη παροχή Β προέρχεται από καλωδιακό δίκτυο τότε φέρει και το γράμμα Κ. Κάθε παροχή αποτελείται από την εγκατάσταση της ΔΕΗ και την εγκατάσταση του καταναλωτή. Η εγκατάσταση της ΔΕΗ περιλαμβάνει μέσα προστασίας και απόζευξης και μπορεί να είναι υπαίθρια πάνω σε στύλο και χαρακτηρίζεται με το γράμμα Α. Εναλλακτικά μπορεί να είναι σε στεγασμένο χώρο οπότε χαρακτηρίζεται με το γράμμα Β. Η εγκατάσταση του καταναλωτή αποτελείται από τον Μ/Σ, τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ και από τον κεντρικό πίνακα ΧΤ.

3.2 Παροχή Α1

Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο ΜΤ. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ είναι ασφαλειοαποζεύκτες με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης μέχρι 30 Α (είναι η μέγιστη που μπορεί να συνεργασθεί με τους Η/Ν γης στην γραμμή αναχώρησης), Μ/Σ μέτρησης έντασης και τάσης και είναι όλα πάνω σε στύλο δηλαδή υπαίθρια. Ενδεχομένως υπάρχουν και αλεξικέραυνα σε κεραυνόπληκτες περιοχές. Από το στύλο της ΔΕΗ αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον Υ/Σ του καταναλωτή την οποία κατασκευάζει ο ίδιος. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει ένα ή περισσότερους κλάδους με δική τους προστασία. Κάθε κλάδος έχει ένα ή περισσότερους παραλληλισμένους Μ/Σ αποζεύξιμους με διακόπτη φορτίου. Ο διακόπτης φορτίου πρέπει να συνοδεύεται και από έναν αποζεύκτη αν δεν έχει ορατές επαφές. Οι παραλληλισμένοι Μ/Σ είναι συνδεδεμένοι μόνιμα ή μέσω αποζευκτών στην ΜΤ και ΧΤ έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η απομόνωση του ενός όταν αυτός υποστεί κάποια βλάβη.

Η παροχή Α1 μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

- Ένας κλάδος με έναν ή περισσότερους Μ/Σ παράλληλα συνδεδεμένους.
- Δύο ή περισσότεροι κλάδοι ενωμένοι στη ΧΤ.

Στους ζυγούς ΧΤ, πρέπει να ελέγχεται η επιλεκτικότητα στα μέσα προστασίας σε βραχυκυκλώματα. Αν υπάρχουν παράλληλοι κλάδοι το ρεύμα βραχυκύκλωσης διακλαδίζεται έτσι το μέσο προστασίας του καταναλωτή διαρρέεται από μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης από ότι η ασφάλεια της ΔΕΗ. Επιτρέπεται επίσης στην άφιξη του καλωδίου στους ζυγούς της ΜΤ να τοποθετηθεί ένα γενικό μέσο προστασίας π.χ. Δ/Ι. Τότε το γενικό

μέσο θα συνεργάζεται με την ασφάλεια της ΔΕΗ. Στην περίπτωση δυο ή περισσότερων κλάδων πρέπει να εγκατασταθεί τουλάχιστον ένας αποζεύκτης στην άφιξη του καλωδίου στους ζυγούς ώστε να υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης των ζυγών. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι στην απομόνωση των ζυγών έχουμε τους ακροδέκτες των καλωδίων και τον αποζεύκτη να βρίσκονται υπό τάση. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στη ΧΤ το ρεύμα του κλάδου είναι ίσο με το ρεύμα της ασφάλειας της ΔΕΗ. Το βραχυκύκλωμα τροφοδοτείται μόνο από τον ένα κλάδο. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς ανά κλάδο είναι 630 kVA όσο και η ισχύς του Υ/Σ. Αντί ασφαλειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί Δ/Ι με Η/Ν και μετασχηματιστές μέτρησης. Ο Δ/Ι πρέπει να έχει στοιχεία καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας. Πρέπει να υπάρχει συνεργασία του Δ/Ι με την ασφάλεια της ΔΕΗ κάτι που είναι δύσκολο. Γι' αυτό συνίσταται η προστασία να γίνεται με ασφάλειες σκόνης αντί με Δ/Ι γιατί συνεργάζονται καλύτερα με την ασφάλεια της ΔΕΗ και μειώνουν σημαντικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο Υ/Σ του καταναλωτή μπορεί να είναι υπαίθριος και να περιλαμβάνει ασφάλειες και διακόπτη φορτίου στην πλευρά της παροχής. Ο διακόπτης φορτίου πρέπει να χειρίζεται από το έδαφος για λόγους ασφαλείας.

3.3 Παροχή Α2

Η παροχή Α2 διαφέρει από την Α1 στο ότι η προστασία γίνεται με διακόπτη απομόνωσης και όχι με ασφαλειοαποζεύκτη. Οπότε οι Η/Ν που διεγείρονται σε σφάλμα είναι αυτοί της αναχώρησης της γραμμής ΜΤ του δικτύου, εξαιτίας του ΔΑ. Η εγκατάσταση της ΔΕΗ περιλαμβάνει αποζεύκτη, ΔΑ (sectionalizer), Μ/Σ μέτρησης τάσης και έντασης και αλεξικέραυνα αν χρειάζεται. Όλα τα μέσα αυτά είναι τοποθετημένα πάνω σε στύλο. Ο καταναλωτής εγκαθιστά καλώδιο από το στύλο της ΔΕΗ μέχρι τον πίνακα ΜΤ. Η εγκατάσταση περιέχει ένα ή περισσότερους κλάδους με ίδια μέσα προστασίας όπως και στην παροχή Α1. Η προστασία κάθε κλάδου μπορεί να γίνει με ασφάλειες σκόνης ή με Δ/Ι και Η/Ν. Αυτά τα μέσα πρέπει να συνεργάζονται με τους Η/Ν αναχώρησης της γραμμής ΜΤ. Η προστασία κάθε κλάδου εξαρτάται από τους Η/Ν αυτούς.

Πρέπει να υπάρχει επιλεκτική συνεργασία του μέσου προστασίας του καταναλωτή με τους Η/Ν γης της ΔΕΗ στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Δηλαδή είτε υπάρχει ασφάλεια είτε Δ/Ι πρέπει αυτά να έχουν χαρακτηριστικές που να συνεργάζονται με τους Η/Ν γης της ΔΕΗ. Στην περίπτωση που στη ΧΤ υπάρχουν δυο κλάδοι παράλληλοι και συμβαίνει βραχυκύκλωμα στην πλευρά της ΧΤ, το ρεύμα βραχυκύκλωσης στην παροχή θα είναι Ι ενώ σε κάθε κλάδο Ι/2. Για τον λόγο αυτό οι Η/Ν στην αναχώρηση πρέπει να ρυθμιστούν στο μισό ρεύμα απ' ότι θα ρυθμιζόνταν αν οι κλάδοι ήταν ανεξάρτητοι. Πρέπει να τονιστεί εδώ ότι σε σφάλματα γης στη ΧΤ οι Η/Ν γης στην αναχώρηση δεν διεγείρονται γιατί δεν υπάρχει ρεύμα γης στην περίπτωση αυτή. Εάν ο καταναλωτής θέλει να αυξήσει την ισχύ του ανά κλάδο τότε πρέπει να εγκαταστήσει Η/Ν γης που να συνεργάζονται με αυτούς της ΔΕΗ.

3.4 Παροχή Β1

Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές μικρής ισχύος, όταν αυτοί τροφοδοτούνται από εναέρια ή υπόγεια δίκτυα και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού χώρου. Ο καταναλωτής εδώ έχει μόνο ένα κλάδο ο οποίος μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους παράλληλους Μ/Σ. Αν χρειάζονται περισσότεροι του ενός κλάδοι με ίδια προστασία,

κατασκευάζεται η παροχή B2. Η εγκατάσταση της ΔΕΗ γίνεται σε χώρο διαμορφωμένο από τον καταναλωτή με τρόπο που καθορίζει η ίδια. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται ακτινικά αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο ή βροχοειδώς αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στην βροχοειδή σύνδεση υπάρχουν δυο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο οδηγεί στον επόμενο. Η ΔΕΗ εγκαθιστά προκατασκευασμένους πίνακες τύπου ΒΚΙ που περιλαμβάνουν σαν μέσο ζεύξης και προστασίας διακόπτη φορτίου με ασφάλειες σκόνης. Για τη μέτρηση χρησιμοποιούνται Μ/Σ μέτρησης τάσης και έντασης από τους οποίους ο Μ/Σ τάσης προστατεύεται με ασφάλειες σκόνης. Ο καταναλωτής επιτρέπεται να χειρίζεται το διακόπτη φορτίου αλλά όχι να επεμβαίνει μέσα στην κυψέλη της ΔΕΗ. Έτσι οι ζυγοί του καταναλωτή μπορεί να τεθούν εκτός τάσης χωρίς να πρέπει να καλέσει τη ΔΕΗ. Αν ο Δ/Φ της ΔΕΗ έχει ορατές επαφές τότε αφού, γειωθούν τα στοιχεία του Υ/Σ, μπορούν να εκτελεστούν εργασίες στον Υ/Σ του καταναλωτή. Αν ο Δ/Φ δεν έχει ορατές επαφές τότε πρέπει να τοποθετηθούν ένας αποζεύκτης ή Δ/Φ με ορατές επαφές επιπλέον προκειμένου να εκτελεστούν οι εργασίες. Οι ασφάλειες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου σκόνης επειδή ο χώρος είναι εσωτερικός. Η μέγιστη ονομαστική ένταση της ασφάλειας καθορίζεται από τη συνεργασία της με τους Η/Ν γης της αναχώρησης της γραμμής. Η εγκατάσταση του καταναλωτή δεν απαιτεί μέσο προστασίας στη ΜΤ, πρέπει όμως να τοποθετηθεί ένα γενικό μέσο απόζευξης εφόσον ο Δ/Φ της ΔΕΗ δεν έχει ορατές επαφές. Στην πλευρά της ΧΤ επιβάλλεται ένα γενικό μέσο προστασίας που συνεργάζεται με την ασφάλεια σκόνης της ΔΕΗ. Επιτρέπεται να εγκατασταθούν ασφάλειες ονομαστικής έντασης 400 Α το ανώτερο. Από 400 Α και άνω χρησιμοποιούνται Δ/Ι που περιέχουν και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Η ασφάλεια των 400 Α αντιστοιχεί σε Μ/Σ ισχύος 250 kVA ενώ για Δ/Ι η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς του Μ/Σ είναι 1250 kVA. Όταν ο καταναλωτής έχει ισχύ μεγαλύτερη των 1250 kVA ή όταν έχει πάνω από ένα κλάδο κατασκευάζεται η παροχή B2.

3.5 Παροχή B2

Η παροχή αυτή κατασκευάζεται σε καταναλωτές ισχύος μεγαλύτερης από αυτή της παροχής B1, όταν η εγκατάσταση της ΔΕΗ γίνεται εσωτερικά. Το δίκτυο τροφοδοσίας της ΔΕΗ μπορεί να είναι εναέριο. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει περισσότερους του ενός κλάδους, όπου κάθε κλάδος είναι αποζεύξιμος με Δ/Φ. Η ισχύς του Υ/Σ περιορίζεται μόνο από το δίκτυο. Κάθε κλάδος μπορεί να έχει ένα ή περισσότερους παράλληλους Μ/Σ. Στην εγκατάσταση της ΔΕΗ, η σύνδεση του καταναλωτή με το δίκτυο γίνεται με ένα ή δυο καλώδια σε ακτινική διάταξη ή σε βρόχο. Εγκαθίσταται προκατασκευασμένος πίνακας τύπου ΒΚΙΙ με αποζεύκτη, Δ/Ι με Η/Ν, Μ/Σ μέτρησης και μετρητές. Οι Η/Ν του Δ/Ι της ΔΕΗ είναι σταθερού χρόνου και είναι ρυθμισμένοι ώστε να προστατεύουν τους Μ/Σ του καταναλωτή σε βραχυκυκλώματα. Για πολύ μικρούς Μ/Σ πρέπει να τοποθετείται επιπλέον μέσον προστασίας π.χ. ασφάλειες.

Για τη ρύθμιση των Η/Ν της ΔΕΗ στο σημείο της παροχής λαμβάνονται υπόψη οι εξής απαιτήσεις:

- Συνεργασία με τον Η/Ν αναχώρησης της γραμμής

Στην περίπτωση H/N αναχώρησης σταθερού χρόνου πρέπει να υπάρχει συνεργασία του Δ/Ι της παροχής με το Δ/Ι της αναχώρησης. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση H/N αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

- Εξασφάλιση προστασίας των Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα

Στην περίπτωση που οι H/N αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου η προστασία Μ/Σ θεωρείται εξασφαλισμένη όταν η ρύθμιση των H/N φάσεων της παροχής είναι το πολύ δεκαπλάσια της ονομαστικής έντασης του Μ/Σ. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση H/N αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

- Ο Δ/Ι δεν πρέπει να ανοίγει από τα ρεύματα ζεύξης

Στην περίπτωση που οι H/N αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου η αδράνεια του Δ/Ι στην παροχή σε ρεύματα ζεύξης είναι εξασφαλισμένη όταν τα στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας του H/N στην παροχή έχουν ρεύμα ρύθμισης πάνω από το δεκαπλάσιο του ρεύματος που αντιστοιχεί στο σύνολο των ονομαστικών ρευμάτων όλων των Μ/Σ. Αν δεν είναι δυνατή αυτή η ρύθμιση τα στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας τίθενται εκτός λειτουργίας. Η ρύθμιση χρόνου της χρονικής καθυστέρησης είναι τόσο μεγάλη ώστε να μην επηρεάζεται από τα ρεύματα ζεύξης που διαρκούν λιγότερο χρόνο. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση H/N αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

- Ο Δ/Ι πρέπει να συνεργάζεται με τα μέσα προστασίας που εγκαθιστά ο καταναλωτής

Στην περίπτωση που οι H/N αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου, αν υπάρχουν μέσα προστασίας στη ΜΤ ανά Μ/Σ τότε πρέπει να ελεγχθεί η συνεργασία τους με το Δ/Ι της παροχής. Ομοίως και για τα μέσα στην πλευρά της ΧΤ κάθε Μ/Σ. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση H/N αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

- Ο Δ/Ι δεν πρέπει να ανοίγει σε βραχυχρόνιες αυξήσεις του φορτίου.

Στην περίπτωση που οι H/N αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου, για να μην έχουμε πτώση του Δ/Ι της παροχής από υπερφορτίσεις, η ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης στους H/N φάσεων στην είσοδο της παροχής πρέπει να είναι 2-4 φορές η ένταση που αντιστοιχεί στην συμφωνημένη ισχύ του καταναλωτή. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση H/N αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

Στην εγκατάσταση του καταναλωτή, η προστασία των Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα γίνεται από το Δ/Ι της παροχής. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει πολλούς κλάδους και κάθε κλάδος πρέπει να είναι αποζεύξιμος για να μπορεί να αποχωριστεί ένας Μ/Σ. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου σε συνδυασμό με αποζεύκτες ή εναλλακτικά διακόπτες φορτίου με ορατές επαφές. Αντί διακοπών φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθούν Δ/Ι με αποζεύκτες. Αυτό εφαρμόζεται αν προστατεύσουμε επιπρόσθετα τον κλάδο με διαφορετική προστασία, H/N Buchholz, θερμίστορες ή H/N υπερέντασης. Η ΔΕΗ δε συνιστά H/N υπερέντασης γιατί υπάρχει δυσκολία στη συνεργασία με τον H/N του Δ/Ι

της παροχής. Ο καταναλωτής επιτρέπεται να χειριστεί το Δ/Ι της ΔΕΗ χωρίς να χρειαστεί να την καλέσει ή να την πληροφορήσει. Έτσι μπορεί να θέσει την εγκατάστασή του εκτός τάσης. Για να μπορέσουν όμως να γίνουν εργασίες εντός του Υ/Σ είναι απαραίτητο να γίνει και απόζευξη, με ορατές επαφές, με αποζεύκτη ζυγών. Επίσης η ΔΕΗ επιτρέπει στον καταναλωτή να χρησιμοποιήσει Η/Ν Buchholz ή άλλα μέσα και να τα συνδέσει με το Δ/Ι της παροχής.

Κεφάλαιο 4 Μετασηματιστές Υ/Σ ΜΤ

4.1 Γενικά

Ο μετασηματιστής (Μ/Σ) είναι η βασική συσκευή κάθε υποσταθμού μέσης τάσης, γιατί υποβιβάζει την τάση μεταφοράς 20 kV σε τάση διανομής 400 V. Οι μετασηματιστές είναι συνήθως ελαιόψυκτοι, εκτός αν έχουμε ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος, π.χ. εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Στις περιπτώσεις αυτές επιλέγονται Μ/Σ ξηρού τύπου με μόνωση χαρτιού ή εποξικής ρητίνης ή Μ/Σ SF₆.

Το μέγεθος των Μ/Σ προσδιορίζεται από την προβλεπόμενη μέγιστη ζήτηση μετά από ένα χρονικό διάστημα, π.χ. μετά από 5 χρόνια. Μπορεί όμως και από οικονομική άποψη να συμφέρει η αγορά ενός μεγαλύτερου Μ/Σ από ότι χρειάζεται, γιατί μεγαλύτερος Μ/Σ σημαίνει και χαμηλότερες απώλειες χαλκού.

Η συνδεσμολογία των Μ/Σ συνίσταται να είναι Dyn 11 ή Dyn 5. Συνδεσμολογία Υzn, όπως και άλλες, γίνονται δεκτές κατόπιν συνεννοήσεως με τη ΔΕΗ. Δεν επιτρέπεται γείωση του Μ/Σ στην πλευρά της ΜΤ. Ο ουδέτερος της ΧΤ όμως γειώνεται. Επίσης ο λόγος μετασηματισμού συνιστάται να είναι μεταβλητός, στα όρια +- 2,5 και +- 5%. Ο μεταβλητός λόγος τάσεων επιτυγχάνεται με διακόπτη μεταγωγέα που αλλάζει τον αριθμό των σπειρών στην πλευρά της ΜΤ. Ο διακόπτης είναι στη ΜΤ γιατί εκεί το ρεύμα είναι μικρότερο από ότι στη ΧΤ. Η αλλαγή της τάσης γίνεται αφού διακόψουμε την τάση και γειώσουμε τις φάσεις στη ΜΤ και στη ΧΤ.

Σε υποσταθμούς με ζητούμενη ισχύ > 600 kVA (η ζητούμενη ισχύ είναι μικρότερη από την εγκατεστημένη που είναι το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων όλων των ηλεκτρικών συσκευών, αφού πρακτικά είναι αδύνατο να δουλεύουν ταυτόχρονα όλες οι ηλεκτρικές συσκευές) έχουμε κατά κανόνα 2 Μ/Σ για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση σφάλματος του ενός, αναλαμβάνει ο δεύτερος Μ/Σ να καλύψει το συνολικό φορτίο για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή του πρώτου. Δύο Μ/Σ συναντάμε και σε υποσταθμούς – ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ – που τροφοδοτούν κρίσιμα φορτία, όπως νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.τ.λ.

4.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη Μ/Σ

Τα ελάχιστα στοιχεία που απαιτούνται να προσδιορίζονται στην αγορά ενός Μ/Σ είναι:

- Ονομαστική ισχύς για μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Αριθμός φάσεων/ζεύξη
- Συχνότητα
- Ονομαστική τάση πρωτεύοντος /ονομαστική τάση δευτερεύοντος
- Λήψεις
- Εγγυημένες απώλειες κενού
- Εγγυημένες απώλειες φορτίου
- Τάση βραχυκύκλωσης
- Μέγιστη ανύψωση λαδιού
- Μέγιστη ανύψωση τυλίγματος
- Μέγιστες διαστάσεις Μ/Π/Υ

Η ονομαστική ισχύς των Μ/Σ 20/0,4 kV κυμαίνεται από 25 –1600 kVA. Αυτή ταυτίζεται με τη μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη ισχύ υπό τις εξής συνθήκες:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40°C,
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30°C,
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20°C,
- Υψόμετρο της εγκατάστασης έως 1000m.

Για διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και υψομέτρου της εγκατάστασης η μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση του Μ/Σ διαφέρει από την ονομαστική του ισχύ και συγκεκριμένα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και του υψομέτρου. Η μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία του λαδιού είναι 1000°C. Η αντίστοιχη θερμοκρασία στα τυλίγματα είναι 1050°C. Υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τη διάρκεια ζωής του Μ/Σ ή μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή της μόνωσης και βραχυκυκλώματα.

4.2.1 Τάση βραχυκύκλωσης

Τάση βραχυκύκλωσης U_k είναι η τάση του πρωτεύοντος ενός Μ/Σ για την οποία έχουμε, με βραχυκυκλωμένο δευτερεύον, ονομαστικό ρεύμα στους 20°C. Αυτή ανάγεται στην ονομαστική τάση του πρωτεύοντος οπότε έχουμε την ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης $u_k = U_k / U_1$.

Η τάση βραχυκύκλωσης έχει δυο συνιστώσες, την ωμική u_r και την επαγωγική u_x . Η συνισταμένη των δύο η u_k δίνεται στην πινακίδα του Μ/Σ και είναι για Μ/Σ ΜΤ-ΧΤ 4,2- 6,5%. Για Μ/Σ διανομής προτιμάται η τάση βραχυκύκλωσης του 4% για να μην υπάρχει μεγάλη πτώση τάσης και μεγάλες απώλειες ισχύος.

4.2.2 Απώλειες χαλκού και σιδήρου

Ο Μ/Σ έχει συνεχώς, όσο είναι στο δίκτυο, απώλειες λόγω μαγνητικής υστέρησης και δινορρευμάτων, οι οποίες λέγονται απώλειες σιδήρου ή απώλειες κενού. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου το μαγνητικό πεδίο του Μ/Σ απορροφά περισσότερη ενέργεια απ' όση αποδίδει, οπότε αυτή η επιπλέον ενέργεια, η οποία ισούται με το εμβαδό του βρόχου υστέρησης, είναι ενέργεια που χάνεται με τη μορφή θερμότητας και εκφράζει τις απώλειες υστέρησης. Εκτός από τις απώλειες υστέρησης, υπάρχουν και οι απώλειες λόγω δινορρευμάτων. Όταν δηλαδή μεταβάλλεται με το χρόνο η μαγνητική ροή στους μαγνήτες του Μ/Σ αναπτύσσονται ηλεκτρικά πεδία τα οποία δημιουργούν αντι-ΗΕΔ η οποία με τη σειρά της, αντιδρώντας στη μεταβολή της μαγνητικής ροής που την προκάλεσε, επάγει εναλλασσόμενα ρεύματα, τα δινορρεύματα. Αυτά προκαλούν τη θέρμανση του σιδηρομαγνητικού υλικού λόγω του φαινομένου Joule. Εκτός αυτών των απωλειών έχουμε, ανάλογα με το φορτίο, ωμικές απώλειες. Οι ωμικές απώλειες (χαλκού) και οι απώλειες σιδήρου αποτελούν τις απώλειες ισχύος ενός Μ/Σ.

4.3 Παραλληλισμός Μ/Σ

Για να είναι δυνατός ο παραλληλισμός δύο Μ/Σ ώστε να διαρρέονται από ρεύματα ανάλογα με το μέγεθός τους πρέπει να πληρούνται οι πιο κάτω συνθήκες:

- Η σχέση των ισχύων τους να είναι μεταξύ 1/3 και 3.
- Οι ονομαστικές τάσεις και οι ρυθμίσεις στην ΜΤ να είναι ίσες.
- Οι ονομαστικές τάσεις βραχυκυκλώσεως να είναι ίσες με ανοχή 10% επί της τάσης βραχυκυκλώσεως.
- Να έχουν ίδιες συνδεσμολογίες και να συνδεθούν με τους ανάλογους ακροδέκτες U-U,V-V,W-W. Αν δεν είναι ίδιες οι συνδεσμολογίες επιτρέπεται ο παραλληλισμός Μ/Σ Dy5 και Dy11 όταν συμπίπτουν οι τάσεις τους με κατάλληλη αντιστοίχιση ακροδεκτών.

Πριν γίνει πλήρης παραλληλισμός πρέπει να ελεγχθεί αν υπάρχουν σφάλματα στη συνδεσμολογία. Γι' αυτό συνδέονται οι Μ/Σ στη ΜΤ και γίνεται βολτομέτρηση των τάσεων μεταξύ των ακροδεκτών, που θα συνδεθούν στη ΧΤ, με ενωμένους τους ουδετέρους. Το βολτόμετρο πρέπει να δείχνει το πολύ 0,5% τάση.

4.4 Πτώση τάσης Μ/Σ

Η πτώση τάσης στο Μ/Σ είναι η ανηγμένη διαφορά των τάσεων υπό φορτίο και σε κενό. Ισχύει:

$$\Delta u = \frac{U_2 - U_{20}}{U_{20}}$$

Για καθαρά ωμικό φορτίο είναι :

$$\Delta u = \frac{I}{I_r} * u_r ,$$

$\cos\phi = 1$.

$$\Delta u = \pm \frac{I}{I_r} * u_x ,$$

$\cos\phi = 0$, (+) για καθαρά επαγωγικό και (-) για καθαρά χωρητικό φορτίο.

Για Μ/Σ ισχύος 25-1600 KVA υπολογίζονται:

Για ονομαστικό ρεύμα και ωμικό φορτίο ισχύει:

$$\Delta u = u_r = 2,5 \dots 1,1\% , \phi = 0,$$

Για ονομαστικό ρεύμα και επαγωγικό φορτίο ισχύει :

$$\Delta u = u_x = 3,5 \dots 5,4\% , \phi = 90^\circ ,$$

Για ονομαστικό ρεύμα και χωρητικό φορτίο ισχύει:

$$\Delta u = -u_x = -3,5 \dots -5,4\% , \phi = -90^\circ \text{ ανύψωση τάσης.}$$

4.5 Προστασία Μ/Σ

Ένας Μ/Σ μπορεί να υποστεί σοβαρή βλάβη στις εξής περιπτώσεις:

- Παρατεταμένο βραχυκύκλωμα μέσα ή έξω από το δοχείο στην πλευρά της ΧΤ ή ΜΤ

- Διαρκής υπερφόρτιση
- Σφάλμα στη μόνωση, όπως βραχυκύκλωμα σπειρών και τυλιγμάτων ως προς γη

Η προστασία του Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα πρέπει να γίνει οπωσδήποτε διότι μπορεί να εκραγεί ή να προκληθεί πυρκαγιά. Η διεξοδική προστασία σε διαρκή υπερφόρτιση ή σε εσωτερικά σφάλματα γίνεται συνήθως σε μεγάλους Μ/Σ.

4.5.1 Προστασία σε βραχυκυκλώματα

Στην περίπτωση των υπερεντάσεων λόγω εξωτερικών βραχυκυκλωμάτων, που είναι και τα συνηθέστερα, ο Μ/Σ καταπονείται θερμικά και μηχανικά λόγω των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στα τυλίγματά του. Στην θερμική καταπόνηση, η ένταση του πλήρους βραχυκυκλώματος είναι

$$I = V_N / Z_t,$$

όπου $Z_t = u_k \cdot (V_N^2 / 100 S_N)$

όπου V_N , η ονομαστική φασική τάση (kV),

S_N , η ονομαστική ισχύς (MVA),

u_k , η τάση βραχυκύκλωσης (%).

Στην μηχανική καταπόνηση, το κρουστικό ρεύμα δίνεται από τη σχέση

$$i_s = I \cdot k \cdot 2^{1/2},$$

όπου το I προσδιορίζεται όπως πριν και

$k \cdot 2^{1/2} = 1,51 \dots 2,55$ αν $X/R = 1 \dots 14$ όπου X/R ο λόγος επαγωγικής προς ωμικής αντίστασης του Μ/Σ.

Οι μηχανικές καταπονήσεις που προκαλούν οι υπερεντάσεις έχουν συσσωρευτικές επιπτώσεις στα τυλίγματα των Μ/Σ. Αντίθετα με ότι συμβαίνει με τις θερμικές, ακόμη και όταν δεν υπερβαίνουν τα όρια αντοχής του Μ/Σ προκαλούν ορισμένες μετακινήσεις στα τυλίγματα, οι οποίες αν επαναλαμβάνονται συχνά μειώνουν σημαντικά την ζωή του Μ/Σ. Για το λόγο αυτό, επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό των καταπονήσεων των Μ/Σ λόγω υπερεντάσεων προέρχεται από βραχυκυκλώματα του δικτύου, οι ρυθμίσεις που γίνονται στους διακόπτες προστασίας των αναχωρήσεων ΜΤ επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής των Μ/Σ. Η προστασία γίνεται με ασφάλειες σκόνης ή με Δ/I στη ΜΤ. Στην περίπτωση παραλληλισμένων Μ/Σ σαν ισχύς λαμβάνεται το άθροισμα των ονομαστικών τους ισχύων. Οι ασφάλειες δεν προστατεύουν όμως το Μ/Σ σε συνεχή υπερφόρτιση γιατί η ελάχιστη ένταση στην οποία λιώνουν είναι 2-3 φορές η ονομαστική τους ένταση.

Οι ασφάλειες προτιμώνται έναντι των Δ/I , σαν μέσα προστασίας γιατί περιορίζουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης και είναι φθηνότερες. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες για απόζευξη υπό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να συνδυάζονται με Δ/Φ . Οι ασφάλειες πρέπει να συνεργάζονται με τους Η/Ν γης της ΔΕΗ. Για τον λόγο αυτό το μέγεθός τους περιορίζεται στα 50-63 A για ισχύ Μ/Σ 630-1250kVA. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι Δ/I για προστασία. Είναι ακριβότερη λύση αλλά μπορούν να συνδυαστούν και με άλλα μέσα προστασίας (Η/Ν Buchholz) και μπορούν να συνεργαστούν πιο εύκολα με τους διακόπτες αναχώρησης της γραμμής ΜΤ. Οι Η/Ν σταθερού χρόνου των Δ/I μπορεί να ρυθμιστούν μέχρι το δεκαπλάσιο της ονομαστικής έντασης του Μ/Σ. Τα στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας

πρέπει να διεγείρονται σε εντάσεις μεγαλύτερες του δεκαπλάσιου του ονομαστικού ρεύματος του Μ/Σ. Αν αυτό δεν γίνεται πρέπει να βγουν εκτός τα στιγμιαία στοιχεία.

4.5.2 Προστασία Μ/Σ σε υπερφόρτιση

Το βασικό κριτήριο για την οριακή φόρτιση των Μ/Σ αποτελεί η θερμοκρασία του θερμότερου σημείου και των τυλιγμάτων τους, η οποία για Μ/Σ ελαίου λαμβάνεται συνήθως 140°C. Ένα άλλο αντίστοιχο κριτήριο είναι η μέγιστη θερμοκρασία του ελαίου, η οποία συνήθως λαμβάνεται ίση με 115°C. Με βάση τα κριτήρια αυτά οι Μ/Σ μπορούν να υπερφορτίζονται σε σημαντικό ποσοστό (μέχρι 150% της ονομαστικής τους ισχύος) το οποίο εξαρτάται :

- Από την προηγούμενη φόρτιση (Κ1),
- Την διάρκεια της υπερφόρτισης (t),
- Την θερμοκρασία του αέρα ψύξεως του Μ/Σ.

Στον παρακάτω πίνακα 4.1 υπάρχουν οι επιτρεπόμενες υπερφορτίσεις Κ2 για Μ/Σ με φυσικό αερισμό και θερμοκρασία αέρα $\Theta_a=20^\circ\text{C}$. Η φόρτιση θεωρείται ότι επαναλαμβάνεται κυκλικά ανά 24h, κατά IEC-354 .

Τιμές του Κ2 για $\Theta_a=20^\circ\text{C}$ και Κ1, t δεδομένα						
Κ1	0,25	0,5	0,7	0,8	0,9	1
t=0,5h	>2	>2	1,93	1,83	1,69	1
1	1,89	1,8	1,7	1,62	1,5	1
2	1,59	1,53	1,46	1,41	1,32	1
4	1,34	1,31	1,27	1,24	1,18	1
6	1,23	1,21	1,18	1,16	1,12	1
8	1,16	1,15	1,13	1,12	1,09	1
12	1,1	1,09	1,08	1,07	1,05	1
24	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 4.1

Υπερφόρτιση Μ/Σ ελαίου, με φυσική ψύξη και υπό ορισμένες συνθήκες ως ποσοστό της ονομαστικής του ισχύος.

Η προστασία σε παρατεταμένη συνεχή υπερφόρτιση γίνεται χρησιμοποιώντας θερμομέτρα λαδιού ή θερμίστορες που είναι εμφυτευμένοι στα τυλίγματα του Μ/Σ κατά την κατασκευή του. Συγχρόνως χρησιμοποιούνται αυτόματοι, Δ/Ι στην ΧΤ και ασφάλειες. Οι ασφάλειες που χρησιμοποιούνται είναι μέχρι 400 Α στη ΧΤ και είναι τύπου ΝΗ. Τα θερμομέτρα λαδιού παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού. Σε κάθε θερμομέτρο υπάρχουν συνήθως δυο οριακοί δείκτες, ο μπλε για σήμανση και ο κόκκινος για απόζευξη. Ο καλύτερος τρόπος είναι η παρακολούθηση της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων με θερμίστορες. Συνήθως, ακόμη και σε μεγάλους Μ/Σ π.χ. 630 kVA αρκούμαστε στη χρήση θερμομέτρων λαδιού. Ωστόσο αυτή η προστασία εφαρμόζεται σε Μ/Σ ξηρής μόνωσης.

4.5.3 Προστασία κατά εσωτερικών σφαλμάτων και έλλειψης λαδιού με H/N Buchholz

Σε ελαιόψυκτους Μ/Σ μπορούν να ανιχνευθούν με τους H/N Buchholz τα σφάλματα που οδηγούν σε ανάπτυξη αερίων ή σε έντονη ροή του λαδιού. Η ανίχνευση δε διορθώνει το σφάλμα αλλά μας προειδοποιεί να αποσυνδέσουμε εγκαίρως το Μ/Σ αλλιώς υπάρχει κίνδυνος ζημιάς. Δηλαδή απόζευξη με H/N Buchholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και αν χρειάζεται να επισκευαστεί. Ο H/N Buchholz, τοποθετείται στο σωλήνα μεταξύ δοχείου του Μ/Σ και του δοχείου διαστολής. Έχει δυο διακόπτες άνωσης (φλοτέρ) 1,2 και ένα διακόπτη 4 που εργάζεται με μια πλάκα 3, κάθετη στη ροή του λαδιού. Αν σχηματιστούν φυσαλίδες ή έχουμε έλλειψη λαδιού τότε κλείνει ο διακόπτης 1 και δίνει σήμανση A1 (κινδύνου). Αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά τότε γεμίζει αέρια ο H/N και κλείνει ο διακόπτης 2 που δίνει σήμα A2 (για αποσύνδεση). Έχουμε αποσύνδεση επίσης αν δημιουργηθεί έντονη ροή μετά από βραχυκύκλωμα ή μεγάλη εσωτερική βλάβη, οπότε πιέζεται η πλάκα 3 και κλείνει ο διακόπτης 4. Ο H/N Buchholz προστατεύει σε σφάλματα μόνωσης, βραχυκυκλώματα και σε διαρροή λαδιού. Συνήθως εφαρμόζεται μόνο σε σχετικά μεγάλους Μ/Σ π.χ. 630kVA και άνω για οικονομικούς λόγους.

4.5.4 Διαφορική προστασία

Στη διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ρευμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος με τη χρήση τριών Μ/Σ έντασης στη ΜΤ και ΧΤ. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η συνδεσμολογία του Μ/Σ. Για ένα Μ/Σ συνδεσμολογίας Dy5, χρειαζόμαστε ένα πρόσθετο Μ/Σ τριφασικό Dy5 που επιφέρει τη στροφή των ρευμάτων του πρωτεύοντος για να συμπέσουν με τα ρεύματα του δευτερεύοντος. Στη συνέχεια γίνεται η σύγκριση σε ένα H/N ο οποίος διεγείρει το Δ/Ι στη ΜΤ. Η διαφορική προστασία διεγείρεται από τα εξής σφάλματα: Τριφασικά, διφασικά, γης, τύλιγμα-τύλιγμα, βραχυκύκλωμα σπειρών. Επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει αμέσως την ζημιά στο ελάχιστο, σε σχέση με την προστασία Buchholz.

Οι αδυναμίες της διαφορικής προστασίας είναι:

- Δεδομένου ότι οι Μ/Σ εντάσεως κάθε πλευράς του Μ/Σ είναι διαφορετικών τάσεων και σχέσεως μεταφοράς, είναι δύσκολο να έχουν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά (διατήρηση σχέσεως μεταφοράς) κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων. Επιπλέον οι αγωγοί συνδέσεως των Μ/Σ εντάσεων με τον H/N έχουν γενικά άνισα, για κάθε πλευρά, μήκη και αντιστάσεις και συνεπώς διαφοροποιείται η φόρτιση των Μ/Σ εντάσεως και επομένως το σφάλμα τους.
- Οι Μ/Σ ΥΤ-ΜΤ που τροφοδοτούν τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν μηχανισμούς που αλλάζουν τη σχέση μεταφοράς τους πολύ συχνά. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη ροή ενός πρόσθετου διαφορικού ρεύματος το οποίο αντισταθμίζεται είτε με μείωση της ευαισθησίας των H/N του Μ/Σ ΜΤ-ΧΤ είτε με πρόσθετες διατάξεις οι οποίες όμως περιπλέκουν και μειώνουν την αξιοπιστία της διαφορικής προστασίας.
- Κατά την ζευξη των Μ/Σ παρατηρείται ένα μεταβατικό ρεύμα ζεύξεως που περιέχει συνεχή συνιστώσα και αρμονικές το οποίο μπορεί να προκαλέσει την λειτουργία της διαφορικής προστασίας αν δεν ληφθούν μέτρα όπως κατάλληλα φίλτρα κτλ.

- Το κόστος της διαφορικής προστασίας είναι αρκετά υψηλό.

Για όλους αυτούς τους λόγους η διαφορική προστασία εφαρμόζεται σε Μ/Σ των 1250 KVA και άνω.

4.6 Εγκατάσταση και ψύξη Μ/Σ

Η εγκατάσταση μπορεί να είναι είτε υπαίθρια είτε στεγασμένη. Υπαίθριες εγκαταστάσεις, πρέπει να έχουν κατάλληλους μονωτήρες διέλευσης και τα καλώδια κατάλληλες ακροκεφαλές. Οι Μ/Σ πρέπει να βαφούν με αντισειδωτικό χρώμα κατά προτίμηση από εποξειδικές ρητίνες. Οι υπαίθριες εγκαταστάσεις είναι εκτεθειμένες σε κινδύνους βραχυκυκλώματος. Επίσης πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει την ψύξη τους.

Υπαίθριες ή στεγασμένες εγκαταστάσεις ελαιόψυκτων Μ/Σ τοποθετούνται πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένο στεγανό λάκκο από σκυρόδεμα με χαλίκια. Σκοπός αυτής της εγκατάστασης είναι να μην μπορεί να διαρρεύσει λάδι στο έδαφος και σε περίπτωση έκρηξης του και πυρκαγιάς να μειωθεί η ποσότητα του λαδιού που μπορεί να καεί.

Σε στεγασμένη εγκατάσταση το πλάτος και το βάθος του χώρου, που βρίσκεται ο Μ/Σ, πρέπει να εξασφαλίζουν διάδρομο τουλάχιστο 0,7 m. Το ύψος πρέπει να είναι τουλάχιστο 0,5 m πάνω από το άκρο του Μ/Σ. Το δάπεδο είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και ο Μ/Σ πατάει πάνω σε σιδηροτροχιές. Ο αερισμός είναι πολύ σημαντικός στο χώρο που βρίσκεται ο Μ/Σ. Η είσοδος του αέρα είναι στο χαμηλότερο σημείο ενώ η έξοδος στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης. Η επιφάνεια εξόδου εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά h από το μέσο του Μ/Σ έως το μέσο του ανοίγματος εξόδου. Οι επιφάνειες εξόδου A_2 και εισόδου A_1 του αέρα υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$A_2=0,19(P_{Fe} + P_{Cu})/h \text{ σε } m^2$$

$$A_1=0,92A_2 \text{ σε } m^2$$

Όπου P_{Fe} και P_{Cu} οι απώλειες χαλκού και σιδήρου του Μ/Σ. Αν το άνοιγμα έχει σχισμές αυξάνεται η επιφάνεια κατά 10%, αν έχει γρίλιες κατά 50%.

Όλοι οι Μ/Σ διανομής ψύχονται με φυσική κυκλοφορία που σημαίνει ότι το μονωτικό λάδι ψύχει με φυσική κυκλοφορία τα πηνία, απάγοντας θερμότητα που μεταφέρει στα ψυκτικά μέσα και ο αέρας ψύχει τα ψυκτικά μέσα χωρίς βεβιασμένη κίνηση. Ο τρόπος αυτός χαρακτηρίζεται ONAN. Στους Μ/Σ ισχύος χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση διάφορες τεχνικές ψύξης με βεβιασμένη κίνηση του λαδιού μέσω αντλιών είτε βεβιασμένη κίνηση αέρος μέσω ανεμιστήρων, είτε και τα δύο. Έτσι έχουμε :

ONAF : Φυσική κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα

OFAN : Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, φυσική κυκλοφορία αέρα

OFAF : Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα

OFWF : Βεβιασμένη κυκλοφορία λαδιού, βεβιασμένη κυκλοφορία νερού.

Συνδυασμοί όπως ONAN-ONAF, ONAN-OFAN ή ONAN-OFAF είναι δυνατοί.

Κεφάλαιο 5 Υλικά και διατάξεις ζεύξης και προστασίας ΜΤ

5.1 Διατάξεις ζεύξης ΜΤ

- Αποζεύκτης (Α/Ζ)

Αποζεύκτης ονομάζεται η συσκευή που χρησιμοποιείται για το άνοιγμα ή το κλείσιμο ενός κυκλώματος, είτε όταν το ρεύμα που διακόπτεται ή αποκαθίσταται είναι αμελητέο, είτε όταν δεν επέρχεται ουσιαστική μεταβολή στην τάση μεταξύ των πόλων όταν ανοίγει. Αμελητέα θεωρούνται τα χωρητικά ρεύματα των μονωτήρων των ζυγών, Μ/Σ τάσεων ή και πολύ μικρού μήκους καλωδίων. Οι αποζεύκτες λόγω του ότι οι επαφές (πόλοι) είναι ορατές, ικανοποιούν τις απαιτήσεις απομόνωσης δηλαδή παρέχουν μια ορατή διακοπή του δικτύου. Σε κλειστή κατάσταση πρέπει οι Α/Ζ να αντέχουν στα ρεύματα ασφαλήτων ενώ σε ανοιχτή κατάσταση πρέπει να αντέχουν στις υπερτάσεις της εγκατάστασης. Δεν πρέπει να χειρίζονται όμως υπό φορτίο. Γι' αυτό πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους Δ/Φ ή Δ/Ι που ανήκουν.

- Διακόπτης φορτίου (Δ/Φ)

Διακόπτες φορτίου ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος καθώς και να αποκαθιστούν αλλά όχι να διακόπτουν εντάσεις ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Ένας Δ/Φ ο οποίος όταν είναι στην ανοιχτή θέση ικανοποιεί τις απαιτήσεις απομόνωσης που ορίζονται για τον αντίστοιχο Α/Ζ, ονομάζεται διακόπτης φορτίου-αποζεύκτης. Α/Ζ και Δ/Φ είναι αλληλομανδαλωμένοι. Για να διακόψουν το κύκλωμα χρειάζονται ένα θάλαμο σβέσης. Για μικρό αριθμό χειρισμών χρησιμοποιούνται Δ/Φ με αέρα ή μονωτικά τοιχώματα. Το τόξο ψύχεται πάνω στα τοιχώματα. Για μεγάλο αριθμών χειρισμών π.χ. σε κινητήρες 6 kV χρησιμοποιούνται διακόπτες ισχύος κενού ή SF₆. Στους Υ/Σ καταναλωτών χρησιμοποιούνται διακόπτες με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές, δηλαδή βλέπει κανείς απ' έξω τη θέση του διακόπτη αν αυτή είναι εκτός. Οι Δ/Φ αν δεν έχουν ορατές επαφές πρέπει να συνοδεύονται από αποζεύκτες που είναι εγκαταστημένοι στην πλευρά του δικτύου.

Χαρακτηριστικά των Δ/Φ είναι :

- Η ονομαστική τάση
- Η ονομαστική ένταση
- Η ένταση διακοπής ρευμάτων μαγνήτισης
- Η ένταση ζεύξης
- Η ένταση διακοπής χωρητικού φορτίου
- Η θερμική αντοχή 1 sec
- Η ηλεκτροδυναμική αντοχή

Οι Δ/Φ χειρίζονται χειροκίνητα ή με πηνίο εργασίας και μοχλούς. Σε περιπτώσεις συχνών και πολλών κύκλων εργασίας όπως π.χ. σε ζεύξεις κινητήρων υψηλής τάσης χρησιμοποιούνται ρελέ υψηλής τάσης. Αυτά κατασκευάζονται για 6,10,20 kV με μέσο σβέσης του τόξου το κενό ή SF₆. Τέτοιοι διακόπτες χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε ηλεκτροκίνητα τρένα.

- Διακόπτης ισχύος (Δ/Ι)

Διακόπτες ισχύος ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος αλλά κυρίως υπό ορισμένες μη φυσιολογικές συνθήκες όπως είναι τα βραχυκυκλώματα. Τα πρότυπα που διέπουν τους Δ/Ι είναι : VDE 0670, IEC 56. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν στο δίκτυο των 20 kV είναι 7 kA και άνω. Οι κυριότεροι τύποι διακοπών ισχύος ΜΤ είναι:

- διακόπτης αέρος

Στους διακόπτες αέρος, λόγω της μορφής των επαφών, το τόξο σχηματίζεται στην πιο μικρή τους απόσταση και με τον πεπιεσμένο αέρα το τόξο παρασύρεται, επιμηκύνεται και ψύχεται.

- διακόπτης μαγνητικός

Στους μαγνητικούς διακόπτες η επιμήκυνση του τόξου υποβοηθείται από ένα μαγνητικό πεδίο και συνήθως οδηγείται σε κατάλληλους θαλάμους όπου τεμαχίζεται και σβήνει.

- διακόπτης πτωχού ελαίου

Στους διακόπτες πτωχού ελαίου διασπάται το λάδι μέσω του τόξου δίνοντας υδρογόνο που ψύχει το τόξο. Είναι κατάλληλοι για:

- ✓ Απόξευση Μ/Σ σε κενό και γενικά μικρών επαγωγικών ρευμάτων
- ✓ Διακοπή ρεύματος βραχυκύκλωσης
- ✓ Απόξευση εναέριων γραμμών και καλωδίων
- ✓ Πυκνωτές

- διακόπτης SF₆

Στους διακόπτες SF₆ χρησιμοποιείται το SF₆ υπό πίεση για την ψύξη του τόξου. Είναι κατάλληλοι για:

- ✓ Απόξευση μικρών επαγωγικών και χωρητικών ρευμάτων
- ✓ Κινητήρες
- ✓ Πυκνωτές

- διακόπτης κενού (vacuum).

Στους διακόπτες κενού, το ηλεκτρικό τόξο αποτελείται από ατμούς μετάλλου. Το τόξο σβήνει στην περιοχή του μηδενισμού του ρεύματος, ενώ οι αγωγιμοί ατμοί συμπυκνώνονται εντός πολύ μικρού διαστήματος και επικάθονται στις μεταλλικές επιφάνειες. Επειδή το κενό παρουσιάζει πολύ μεγάλη διηλεκτρική αποκατάσταση, το τόξο δεν ανάβει πάλι. Οι διακόπτες κενού χρησιμοποιούνται για :

- ✓ Γρήγορη μεταγωγή
- ✓ Απόξευση αφόρτιστου Μ/Σ
- ✓ Κινητήρες, πυκνωτές
- ✓ Βραχυκυκλώματα

Οι Δ/Ι ΜΤ που προτιμούνται σήμερα για προστασία είναι οι διακόπτες πτωχού ελαίου. Σε σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται στη ΜΤ και διακόπτες κενού και SF₆. Ο διακόπτης ανοίγει αυτόματα παίρνοντας εντολή από Η/Ν και κλείνει με επανένταση του ελατηρίου με κινητήρα ή χειροκίνητα. Αντί του Η/Ν ο Δ/Ι μπορεί να διεγείρεται από ενσωματωμένο

θερμικό στοιχείο ή και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας από το ίδιο ρεύμα (πρωτογενώς). Έτσι οι αυτόματοι διαιρούνται όσον αφορά την προστασία τους σε α) αυτόματους με δευτερογενή προστασία, β) αυτόματους με πρωτογενή προστασία. Η δευτερογενής προστασία είναι κατά 30-40% ακριβότερη απ' ό,τι η πρωτογενής αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι συντονίζεται καλύτερα με τα μέσα προστασίας της ΔΕΗ. Εξάλλου η πρωτογενής προστασία μπορεί να εφαρμοσθεί για ονομαστικά ρεύματα κάτω των 50 A περίπου. Χαρακτηριστικά μεγέθη των Δ/Ι είναι:

- Ονομαστική τάση
- Ονομαστικό ρεύμα ή μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα
- Ονομαστικό ρεύμα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα
- Ονομαστική διάρκεια βραχυκύκλωσης
- Ονομαστικό ρεύμα απόζευξης
- Ισχύς απόζευξης
- Αντοχή επαφών σε χειρισμούς στο ονομαστικό ρεύμα
- Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση από πόλο σε πόλο και από πόλο προς γη.

Ο Δ/Ι συνοδεύεται και από ένα αποζεύκτη κατάλληλα μανδαλωμένο με αυτόν. Μετά από κάθε διακοπή ισχύος δηλαδή βραχυκύκλωμα πρέπει να επιθεωρούνται. Αυτό δεν είναι απαραίτητο μετά από απόζευξη φορτίου. Οι Δ/Ι δεν χρειάζεται να εκτελούν κύκλους επαναφοράς ΟCO όπως των αναχωρήσεων των γραμμών. Επειδή οι Δ/Ι δεν έχουν ορατές επαφές και επειδή θεωρείται ότι η μόνωση του θαλάμου σβέσης δεν είναι ικανοποιητική πρέπει να συνοδεύονται από ένα αποζεύκτη. Α/Ζ δεν χρειάζονται όταν έχουμε κατασκευές συρόμενου τύπου με λυόμενες συνδέσεις ΥΤ.

- Γειωτής

Γειωτής ονομάζεται ο αποζεύκτης που χρησιμοποιείται για την σύνδεση καλωδίων και αγωγών της εγκατάστασης με τη γη όταν αυτά είναι εκτός λειτουργίας για να γίνουν εργασίες επισκευής ή συντήρησής τους. Δεν πρέπει να χειρίζονται όμως υπό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους Δ/Φ ή Δ/Ι που ανήκουν.

5.2 Μέσα προστασίας ΜΤ

Όλα τα μέσα ζεύξης που προαναφέρθηκαν έχουν την ικανότητα να υφίστανται στην κλειστή τους θέση την δίοδο ρευμάτων βραχυκύκλωσης για μικρό χρονικό διάστημα εκτός βέβαια της ικανότητάς τους να διαρρέονται συνεχώς από το ονομαστικό τους ρεύμα. Τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται για την αυτόματη απομόνωση τμημάτων της εγκατάστασης σε περίπτωση σφάλματος ή την πρόληψη βλάβης των στοιχείων της είναι τα εξής:

- Οι Δ/Ι όταν δέχονται εντολές από τους Η/Ν προστασίας (περιγράφηκαν παραπάνω),
- Οι ασφάλειες.

Οι ασφάλειες σε εγκαταστάσεις καταναλωτών ΜΤ χρησιμοποιούνται μόνο για προστασία σε βραχυκυκλώματα και όχι σε υπερφορτίσεις. Αποτελούν εναλλακτική φθηνή λύση αντί των Δ/Ι. Για να υπάρχει αποζευξιμότητα υπό φορτίο, όταν υπάρχουν ασφάλειες, εγκαθίσταται και ένας Δ/Φ. Διακρίνουμε δύο είδη ασφαλειών ΜΤ:

- Ασφάλειες εκτόνωσης κατά IEC 282-2.
- Ασφάλειες σκόνης κατά IEC 282-1 και DIN VDE 670.

Ειδικότερα :

Οι ασφάλειες εκτόνωσης αποτελούνται από ένα μονωτικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 2-3 cm, μήκους 30-35 cm και για τάση 20 kV. Μέσα στο σωλήνα βρίσκεται ένας αγωγός, το τηκτό τανυσμένος με ένα ελατήριο. Η σβέση του τόξου γίνεται με τη δημιουργία ατμών όταν το τόξο έρθει σε επαφή με τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης, σε αντίθεση με τις ασφάλειες σκόνης, δεν περιορίζεται γιατί η αντίσταση και η τάση κατά μήκος της ασφάλειας είναι μικρές. Κατά τη σβέση του τόξου δημιουργούνται τοξικά αέρια γι' αυτό οι ασφάλειες αυτές χρησιμοποιούνται μόνο από τη ΔΕΗ ή τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, σε υπαίθριες εγκαταστάσεις, για την ασφάλιση διακλαδώσεων σε δίκτυα ΜΤ. Το κόστος τους είναι πολύ μικρότερο από τις ασφάλειες σκόνης. Ασφάλειες εκτόνωσης υπάρχουν σε δύο τύπους:

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ,χαρακτηρίζεται με το γράμμα T.
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης, χαρακτηρίζεται με το K.

Οι ασφάλειες σκόνης έχουν ένα σώμα από κεραμικό υλικό, πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένος ο αγωγός και το τηκτό. Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία. Υπάρχει ένα περίβλημα από πορσελάνη. Η σβέση του τόξου γίνεται με ψύξη στη χαλαζιακή σκόνη. Οι ασφάλειες σκόνης χαρακτηρίζονται κατά DIN VDE 670 σαν ασφάλειες τύπου HH ή κατά IEC 282-1 σαν ασφάλειες τύπου HRC. Αν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή, ο αγωγός λιώνει και λόγω της έντονης ψυκτικής ικανότητας της χαλαζιακής σκόνης δημιουργείται μια μεγάλη αντίσταση κατά μήκος της ασφάλειας. Έτσι στο κύκλωμα το ρεύμα βραχυκύκλωσης περιορίζεται και οδηγείται στο μηδέν. Οι ασφάλειες σκόνης διακόπτουν το κύκλωμα ήδη προτού προλάβει το ρεύμα να φθάσει στην κορυφή. Οι ασφάλειες σκόνης χαρακτηρίζονται από τα εξής στοιχεία :

- ✓ Ονομαστική τάση του δικτύου/μέγιστη επιτρεπόμενη τάση, U_N/U_m
- ✓ Ονομαστικό ρεύμα I_N
- ✓ Μέγιστο επαγωγικό ρεύμα I_k που μπορεί να διακόψει
- ✓ Ισχύς βραχυκύκλωσης
- ✓ Ελάχιστο ρεύμα διακοπής I_{min}
- ✓ Απώλειες στο ονομαστικό ρεύμα.

Το ονομαστικό ρεύμα στις ασφάλειες HH είναι ένα μέγεθος αναφοράς και είναι το μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν κατασκευάζονται ασφάλειες σκόνης με δύο διαφορετικές χαρακτηριστικές, βραδείας και ταχείας τήξης. Οι χαρακτηριστικές τους βρίσκονται ακόμη χαμηλότερα από τις ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης K. Η επιλογή τους γίνεται ανάλογα με το μέγεθος του Μ/Σ και την τάση. Εάν σε τριφασικό σύστημα καεί μία μόνο ασφάλεια σε σφάλμα, τότε πρέπει να αντικατασταθούν και οι τρεις όχι μόνο η μία διότι μπορεί να έχουν αλλοιωθεί και οι άλλες δυο.

5.3 Συνδυασμοί μέσω ζεύξης και προστασίας στη ΜΤ

Στην πράξη στους πίνακες ΜΤ χρησιμοποιούνται πολύ συχνά συνδυασμοί των παραπάνω

μέσων ζεύξης και προστασίας. Οι κυριότεροι είναι:

- A/Z σε συνδυασμό με γειωτή και Δ/Ι.

Ο αποζεύκτης χρησιμεύει για την απομόνωση της εγκατάστασης από την τάση και ο γειωτής, που πρέπει να χειρίζεται μόνο μετά από απόζευξη, για την απομάκρυνση των ηλεκτροστατικών φορτίων της εγκατάστασης έτσι ώστε οι εργασίες συντήρησης και επισκευών να γίνονται υπό συνθήκες ασφάλειας. Ο αποζεύκτης και ο γειωτής είναι χειροκίνητοι διακόπτες. Ο χειρισμός γίνεται από ένα χειριστήριο που παρέχει στο χειριστή την απαιτούμενη απόσταση προστασίας από τα υπό τάση μέρη. Επίσης λόγω του κοινού χειριστηρίου υπάρχει μηχανική αλληλασφάλιση (μανδάλωση) η οποία εξασφαλίζει ότι όταν ο αποζεύκτης είναι κλειστός, ο γειωτής είναι ανοικτός και το αντίστροφο. Ο Δ/Ι σε συνδυασμό με τους Η/Ν προστασίας εξασφαλίζουν την προστασία της εγκατάστασης από βραχυκυκλώματα, αλλά και για την εκτέλεση χειρισμών υπό φυσιολογικές συνθήκες.

- Δ/Φ σε συνδυασμό με γειωτή και ασφάλεια.

Ο Δ/Φ πρόκειται για ένα χειροκίνητο διακόπτη αέρος αφού οι επαφές του βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο Δ/Φ διαφέρει βασικά από τον αποζεύκτη στην αρκετά ταχύτερη μετακίνηση του κινητού μέρους των επαφών του με την βοήθεια μηχανισμού ελατηρίου ώστε να περιορίζεται η εκδήλωση ηλεκτρικού τόξου, ενώ η σβέση του επιτυγχάνεται με τη χρήση φλογοκρυπτών. Ακόμη χρησιμεύει για την εκτέλεση χειρισμών ζεύξεων με πλήρες φορτίο και υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης. Η ασφάλεια προστατεύει την εγκατάσταση σε περίπτωση εκδήλωσης βραχυκυκλώματος.

Εκτός από τους παραπάνω συνδυασμούς των μέσων ζεύξης και προστασίας υπάρχουν στην πράξη και άλλοι. Πρόκειται για τον συνδυασμό του Δ/Φ με τον αποζεύκτη ή τον γειωτή και την κατασκευή αποζευκτών ως ένα είδος φορείου (συρταρωτοί πίνακες), πάνω στο οποίο τοποθετείται ο υπόλοιπος εξοπλισμός ΜΤ.

Διάφοροι τρόποι προστασίας του χειριστή και της εγκατάστασης από λανθασμένους χειρισμούς όπως για παράδειγμα να κλείσει ο χειριστής τον γειωτή ενός πίνακα όταν ο πίνακας αυτός τροφοδοτεί τον Υ/Σ ενός εργοστασίου υπό πλήρες φορτίο έχουν προβλεφθεί από τον κατασκευαστή του πίνακα. Οι τρόποι αφορούν κυρίως απλούς μηχανισμούς μανδάλωσης μεταξύ των χειριστηρίων, μέσω των οποίων εξασφαλίζεται κυρίως ότι :

- Δεν μπορεί να χειριστεί κανείς τον αποζεύκτη, όταν ο Δ/Φ ή ο Δ/Ι είναι κλειστός.
- Αποκλείεται να γίνουν χειρισμοί στο Δ/Φ ή τον Δ/Ι όταν ο αποζεύκτης δεν είναι τελείως ανοικτός.
- Δεν μπορεί να χειριστεί κανείς τον γειωτή, όταν ο A/Z είναι κλειστός.
- Δεν μπορεί να χειριστεί κανείς τον A/Z, όταν ο γειωτής είναι κλειστός.

Όταν δεν υπάρχουν μηχανισμοί μανδάλωσης τότε ο χειριστής πρέπει να ακολουθήσει τη σωστή διαδοχή χειρισμών του εξοπλισμού του πίνακα για την δική του προστασία και της εγκατάστασης. Έτσι για χειρισμό διακοπής της τροφοδοσίας της εγκατάστασης πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδοχή χειρισμών:

1. να ανοίξει το Δ/Ι ή το Δ/Φ ανάλογα με τον πίνακα
2. να ανοίξει τον Α/Ζ
3. να κλείσει τον γειωτή.

Για το χειρισμό επανατροφοδότησης της εγκατάστασης πρέπει να ακολουθήσει την παρακάτω διαδοχή χειρισμών:

1. να ανοίξει τον γειωτή
2. να κλείσει τον αποζεύκτη
3. να κλείσει το Δ/Ι ή το Δ/Φ ανάλογα με τον πίνακα.

5.4 Μετασηματιστές μέτρησης

Χρησιμοποιούνται Μ/Σ για να αποζεύξουμε γαλβανικά και να μονώσουμε τα όργανα μέτρησης τάσης, έντασης, ισχύος κλπ. από το δίκτυο ΜΤ.

5.4.1 Μ/Σ τάσης

Οι Μ/Σ τάσης προδιαγράφονται από τους κανονισμούς VDE 0414. Χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ για τους μετρητές ενέργειας και ισχύος.

Στις κυψέλες των καταναλωτών εγκαθίστανται Μ/Σ τάσης για να τροφοδοτηθούν :

- Η/Ν υπέρτασης, υπότασης
- Όργανα μέτρησης τάσης, ισχύος, αέργου ισχύος, ωρόμετρα
- Η/Ν σφαλμάτων ή άλλες καταναλώσεις.

Οι Μ/Σ τάσης με μονωτικό λάδι ασφαλιζονται στο πρωτεύον και δευτερεύον με ασφάλειες των 6 A και 10 A αντίστοιχα για προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων. Οι Μ/Σ με στερεά μόνωση (εποξειδικές ρητίνες) δεν ασφαλιζονται στην ΜΤ παρά μόνο στην χαμηλή διότι δεν υπάρχει κίνδυνος να εκραγούν. Οι σύγχρονες κατασκευές των Μ/Σ τάσης είναι με ξηρή μόνωση από εποξειδικές ρητίνες. Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

- ✓ Ονομαστική τάση (τάση του πρωτεύοντος)
- ✓ Ονομαστική ισχύς $S_r = V_2 \cdot I_2$
- ✓ Κλάση ακρίβειας δηλαδή το μέγιστο σφάλμα του Μ/Σ για την ονομαστική ισχύ. Συμβολίζεται με c10,2....c10,3.
- ✓ Μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς S_{max}
- ✓ Ονομαστική τάση δευτερεύοντος V_2
- ✓ Ονομαστικό φορτίο $Z_0 = V_2^2 / S_r$

Μπορεί να γίνει υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος μέχρι S_{max} στις περιπτώσεις όπου ο Μ/Σ τροφοδοτεί φορτία και όχι μόνο όργανα, όμως η ακρίβειά του μειώνεται. Όλα τα όργανα συνδέονται παράλληλα στους πόλους του Μ/Σ τάσης. Για να ισχύει η ακρίβεια κλάσης του Μ/Σ πρέπει να μην υπερβούμε την ονομαστική του ισχύ, δηλαδή η συνισταμένη αντίσταση του φορτίου να είναι μεγαλύτερη του ονομαστικού φορτίου Z_0 . Υπάρχουν ένα ή δύο δευτερεύοντα τυλίγματα, το ένα για μέτρηση και το άλλο για ανίχνευση σφαλμάτων γης.

5.4.2 Μ/Σ έντασης

Οι Μ/Σ έντασης διέπονται από τα πρότυπα VDE 0414, IEC 185, 186. Χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ για το σύστημα προστασίας, για μέτρηση του ρεύματος, της ισχύος και της ενέργειας. Στις εγκαταστάσεις του καταναλωτή γίνεται χρήση Μ/Σ έντασης:

- Στους Η/Ν προστασίας
- Στην μέτρηση ρεύματος, ισχύος, ενέργειας.

Αν η προστασία των μέσων του καταναλωτή γίνεται μόνο με ασφάλειες ή πρωτογενώς δεν χρειάζεται Μ/Σ έντασης για τους Η/Ν προστασίας. Η κατασκευή των Μ/Σ έντασης είναι με ξηρή μόνωση από εποξειδικές ρητίνες. Τα χαρακτηριστικά των Μ/Σ έντασης είναι:

- Ονομαστική τάση (τάση πρωτεύοντος)
- Ονομαστική ισχύς
- Κλάση ακριβείας (cl)
Για Μ/Σ προστασίας δίνεται σαν κλάση ακριβείας το % σφάλμα το γράμμα Ρ και το πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος που αντιστοιχεί το σφάλμα π.χ. 10Ρ10 σημαίνει 10% σφάλμα στο δεκαπλάσιο ρεύμα.
- Το ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος
- Ο συντελεστής υπερρεύματος F_s είναι το πολλαπλάσιο του πρωτεύοντος ρεύματος για το οποίο το σφάλμα είναι 10%.
- Το θερμικό οριακό ρεύμα I_{th} είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος που αντέχει ο Μ/Σ για 1 sec.
- Το δυναμικό οριακό ρεύμα I_{dyn} , είναι η μέγιστη τιμή του κρουστικού ρεύματος που αντέχει ο Μ/Σ.
- Το ρεύμα δευτερεύοντος
- Το ονομαστικό φορτίο $Z_0 = V_2^2 / S_r$.

Οι Μ/Σ έντασης κατασκευάζονται και με περισσότερα του ενός δευτερεύοντα. Κάθε δευτερεύον έχει τον δικό του πυρήνα. Μπορεί σε ένα Μ/Σ να συνυπάρχουν πυρήνες μέτρησης και πυρήνες προστασίας. Κατασκευάζονται για δύο ρεύματα πρωτεύοντος το I_{pn} και $2 \cdot I_{pn}$.

5.4.2.1 Υπερφόρτιση των Μ/Σ έντασης

Οι Μ/Σ έντασης για μέτρηση μπορούν συνήθως να υπερφορτιστούν διαρκώς μέχρι 20%, ενώ σε ειδικές κατασκευές μέχρι και 100%. Αυτές οι κατασκευές λέγονται Μ/Σ μεγάλης περιοχής. Οι Μ/Σ που χρησιμοποιούνται για προστασία συνδέονται, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, στον Η/Ν ή κατά αστέρα για Η/Ν φάσεων ή σε αθροιστική σύνδεση για Η/Ν γης ώστε να αντέχουν στα υψηλά ρεύματα σφαλμάτων.

Κεφάλαιο 6 Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας ΧΤ

6.1 Μέσα ζεύξης-απόζευξης ΧΤ

6.1.1 Μηχανικοί διακόπτες φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου χρησιμοποιούνται για να διακόπτουμε χειροκίνητα τις τροφοδοτικές γραμμές των εγκαταστάσεων. Κατασκευάζονται με βάση τα πρότυπα IEC 947, IEC 664 και VDE 0660, VDE 0113. Η κατασκευή των Δ/Φ πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο που να αποκλείουν τη δημιουργία βραχυκυκλωμάτων ή ενώσεων με τη γη, λόγω των σπινθήρων που δημιουργούνται κατά τη διακοπή. Σε περίπτωση κακού χειρισμού να μην αποτελούν κίνδυνο για τα άτομα. Πρέπει να μπορούν να διακόπτουν ένα κύκλωμα με φορτίο, να διακόπτουν επαρκώς και με ασφάλεια ένα κύκλωμα όταν είναι σε θέση off και να έχουν εμφανή ένδειξη on-off. Ο γενικός ή ο μερικός διακόπτης είναι απαραίτητο να διακόπτει και τον ουδέτερο αγωγό, όταν αυτός δε χρησιμοποιείται για προστασία. Οι διακόπτες φορτίου ονομάζονται μονοπολικοί όταν συνδέουν ή αποσυνδέουν ένα αγωγό και πολυπολικοί (διπολικοί, τριπολικοί, τετραπολικοί) όταν συνδέουν ή αποσυνδέουν περισσότερους αγωγούς. Υπάρχουν στις εξής μορφές :

- Μαχαιρωτοί διακόπτες, κυρίως σαν αποζεύκτες σε πολύ μεγάλες ισχείς, σε συνδυασμό με ασφάλειες.
- Διακόπτες δυο θέσεων με μοχλό, μικροδιακόπτες για ράγες .
- Διακόπτες δύο ή περισσότερων θέσεων περιστροφικοί, τύπου PACCO ή εκκεντροφόροι. Οι περιστροφικοί διακόπτες, έχουν ένα εκκεντροφόρο άξονα που ωθεί τις επαφές να ανοίξουν ή να κλείσουν. Για να συνδεθεί σωστά ο διακόπτης πρέπει να έχουμε το διάγραμμα των επαφών του ώστε για κάθε θέση του διακόπτη να βλέπουμε ποιές είναι ανοιχτές και ποιές κλειστές. Χρησιμοποιούνται σαν γενικοί διακόπτες πινάκων, σαν εκκινήτες, σαν αντιστροφείς ή και για αλλαγή ταχύτητας σε κινητήρες.
- Διακόπτες τύπου τυμπάνου.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των διακοπών φορτίου είναι:

- Ονομαστική τάση λειτουργίας σε V
- Ονομαστική συχνότητα λειτουργίας σε Hz
- Μέγιστο θερμικό ρεύμα, στο οποίο αντέχουν οι επαφές του διακόπτη, όταν είναι κλειστές.
- Μέγιστο ρεύμα λειτουργίας, για ορισμένη διάρκεια ζωής και ορισμένη κατηγορία χρήσης (είδος φορτίου)
- Μηχανική διάρκεια ζωής (αριθμός κύκλων λειτουργίας)
- Ηλεκτρική διάρκεια ζωής (αριθμός κύκλων λειτουργίας)
- Μέγιστο ρεύμα αντοχής σε βραχυκυκλώματα
- Αριθμός πόλων

6.1.2 Ρελέ ισχύος

Τα ρελέ λέγονται και ρεονόμοι. Είναι διακόπτες που ανοιγοκλείνουν επαφές με τη βοήθεια

ενός πηνίου με σπλισμό (ηλεκτρομαγνήτη). Το άνοιγμα και το κλείσιμο του ρελέ μπορεί να γίνει χειροκίνητα (stop-start) ή να γίνει αυτόματα με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων και βοηθητικών συσκευών (χρονοδιακόπτες, πρεσσοστάτες, θερμοστάτες κλπ). Τα ρελέ χρησιμοποιούνται :

- Για έλεγχο μηχανημάτων από απόσταση
- Για προγραμματισμό μηχανημάτων
- Για εκκίνηση και έλεγχο λειτουργίας κινητήρων
- Για έλεγχο λειτουργίας δικτύων διανομής
- Για έλεγχο λειτουργίας αντιστάσεων, πυκνωτών, πηνίων κλπ.

Τα ρελέ ισχύος, γενικά, χρησιμοποιούνται σαν διακόπτες φορτίου, έτσι ώστε να αντέχουν μηχανικά και ηλεκτρικά σε πολλούς κύκλους λειτουργίας. Δεν κατασκευάζονται συνήθως ρελέ για να διακόπτουν ή να αντέχουν σε βραχυκυκλώματα. Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να προστατεύονται σε βραχυκυκλώματα ή με ασφάλειες ή με διακόπτες ισχύος, αλλιώς λιώνουν ή συγκολλούνται οι επαφές. Τα ρελέ διακρίνονται, ανάλογα με το μέγεθός τους, σε ρελέ ισχύος και σε βοηθητικά ρελέ (<1 kW). Ανάλογα με το ρεύμα του κυκλώματος ισχύος τα ρελέ διακρίνονται σε ρελέ συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος. Ανάλογα με τα φορτία που χρησιμοποιούνται γίνεται συχνά η διάκριση σε ρελέ κινητήρων, αντιστάσεων, μετασχηματιστών συγκόλλησης, πυκνωτών και γενικά φορτίων.

6.1.3 Βοηθητικά ρελέ

Εκτός από τα ρελέ ισχύος έχουμε και τα βοηθητικά ρελέ τα οποία κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ μικρότερη του 1kW. Στα ρελέ αυτά έχουμε τις επαφές τροφοδοσίας του πηνίου (AC ή DC) με συμβολισμό A1-A2 και τις βοηθητικές επαφές (ανοικτές ή κλειστές ή επαφές με χρονική καθυστέρηση). Στις βοηθητικές επαφές έχουμε δυο αριθμούς για κάθε επαφή από τους οποίους ο πρώτος συμβολίζει τη σειρά της βοηθητικής επαφής και ο δεύτερος σημαίνει ανοιχτή αν είναι 3 ή 4 και κλειστή αν είναι 1 ή 2. Για τις περιπτώσεις χρονικών επαφών, αν έχουμε δεύτερο αριθμό 7 ή 8 σημαίνει ότι η επαφή αυτή είναι ανοιχτή και προηγείται στο κλείσιμο ενώ αν έχουμε 5 ή 6 είναι κλειστή με καθυστέρηση στο άνοιγμα. Στους συμβολισμούς των βοηθητικών μετά την αρίθμηση υπάρχει ο χαρακτηρισμός NO για την ανοιχτή επαφή και NC για την κλειστή. Τα βοηθητικά ρελέ χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα ελέγχου των εγκαταστάσεων, των συσκευών και των μηχανημάτων. Στην πράξη οι κατασκευαστές δίνουν διάφορες κατηγορίες βοηθητικών ρελέ με βάση την τάση λειτουργίας του πηνίου και την ένταση του ρεύματος που επιτρέπεται να περάσει από τις βοηθητικές επαφές .

6.2 Μέσα προστασίας σε υπερρεύματα, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα στη ΧΤ

Οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερεντάσεων (ρευμάτων υπερφόρτισης και ρευμάτων βραχυκύκλωσης) πρέπει:

- Να επιτρέπουν τη ροή των παροδικών υπερεντάσεων κατά την κανονική λειτουργία
- Να διακόπτουν την τροφοδότηση πριν η θερμοκρασία του στοιχείου που προστατεύουν υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή
- Να διακόπτουν στο μικρότερο δυνατό χρόνο τα ρεύματα βραχυκύκλωσης

- Να εξασφαλίζουν τη διακοπή μόνο του τμήματος του κυκλώματος στο οποίο παρουσιάζεται η υπερένταση

Υπάρχουν τα εξής μέσα προστασίας:

- Ασφάλειες τήξης
- Αυτόματοι διακόπτες (μικροαυτόματοι γραμμών, αυτόματοι προστασίας συσκευών, διακόπτες ισχύος, αυτόματοι κινητήρων, ΔΔΡ).

6.2.1 Ασφάλειες τήξης

Οι ασφάλειες τήξης για κυκλώματα ισχύος αντιστοιχούν στα εξής πρότυπα: EN 60269, IEC 60269, DIN /VDE 0636, ΕΛΟΤ 446-86. Για κυκλώματα μικροσυσκευών χρησιμοποιούνται μικροασφάλειες που αντιστοιχούν στα πρότυπα VDE 0804, IEC 257 και VDE 0820. Στις ασφάλειες τήξης η διακοπή ενός κυκλώματος προκαλείται από την τήξη ενός χάλκινου ή αργυρού σύρματος ή ταινίας μέσα σε σκόνη χαλαζία. Σε αντίθεση με τους μηχανικούς διακόπτες οι ασφάλειες εισάγουν μετά τη τήξη τους μια μεγάλη ωμική αντίσταση στο κύκλωμα. Αυτή η αντίσταση προκαλεί μια μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Για χαμηλά ρεύματα (<20 A) μπορεί να χρησιμοποιούνται χάλκινα σύρματα. Για υψηλότερα ρεύματα έχουμε και αγωγούς (τηκτά) από άργυρο. Αυτό γίνεται για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος στην αντίσταση του τηκτού.

Οι ασφάλειες τήξης εκλέγονται σύμφωνα με τα εξής στοιχεία:

- Ονομαστική τάση π.χ. 230/400V
- Ονομαστική ισχύς διακοπής ή ρεύμα διακοπής (αυτό προσδιορίζει κυρίως τον τύπο της ασφάλειας).
- Χαρακτηριστικές χρόνου - ρεύματος. Μαζί με τη χαρακτηριστική μπορεί να δίνονται και το «μικρό» και το «μεγάλο» ρεύμα δοκιμής. Το μικρό ρεύμα δεν λιώνει την ασφάλεια σε ορισμένο χρόνο, που είναι συνήθως μια ώρα. Το μεγάλο ρεύμα λιώνει την ασφάλεια μέσα σε ορισμένο χρόνο συνήθως μια ώρα.

Υπάρχουν οι εξής τύποι ασφαλειών:

- Ασφάλειες D (οι μεγάλες βιδωτές). Λέγονται και Diazed - ασφάλειες.
- Ασφάλειες DO (οι μικρές βιδωτές). Λέγονται και Neozed - ασφάλειες.
- Ασφάλειες NH ή HRC-Fuses ή HBC-Fuses (οι μαχαιρωτές).
- Ασφάλειες G (οι μικροασφάλειες σε κυλινδρικό γυάλινο σωλήνα) για συσκευές.

Οι διαφορές στις ασφάλειες παρουσιάζονται κυρίως στο μεγεθός τους και στην ισχύ απόζευξής τους. Οι ασφάλειες D, DO, NH χρησιμοποιούν σκόνη χαλαζία για τη σβέση του τόξου.

6.2.1.1 Κατηγορίες λειτουργίας ασφαλειών

Οι ασφάλειες στην προστασία γραμμών πρέπει να προστατεύουν τόσο σε υπερφόρτιση όσο και σε βραχυκύκλωμα. Η προστασία στους κινητήρες πρέπει να λειτουργεί κυρίως σε υψηλά ρεύματα. Κατασκευάζονται ασφάλειες για διάφορες κατηγορίες χρήσης που χαρακτηρίζονται από δύο γράμματα. Αυτές οι κατηγορίες περιγράφονται στα πρότυπα EN

60947, IEC 60947, DIN-VDE 0660. Το πρώτο είναι ένα g ή ένα α. Η σημασία των γραμμάτων είναι η εξής:

g = πλήρης προστασία σε όλη την περιοχή ρευμάτων

α = μερική προστασία, μόνο σε υψηλά ρεύματα (χρήσιμες σε κινητήρες λόγω των υψηλών ρευμάτων εκκίνησης).

Το δεύτερο γράμμα χαρακτηρίζει το υπό προστασία στοιχείο. Αυτό μπορεί να είναι ένα από τα παρακάτω γράμματα:

G = γενική χρήση

L = γραμμές, καλώδια

M = θερμικά (π.χ. για κινητήρες)

R = ημιαγωγοί

B = εγκαταστάσεις ορυχείων

Tr = μετασχηματιστές

6.2.1.2 Ασφαλειοαποζεύκτες

Οι ασφάλειες NH συνδυάζονται σε τριφασικά συστήματα και με μαχαιρωτούς αποζεύκτες, οπότε έχουμε τους ασφαλειοαποζεύκτες. Χρησιμοποιούνται σαν ασφάλειες και σαν γενικοί διακόπτες στους πίνακες διανομής γι' αυτό εφαρμόζονται συχνά σε εγκαταστάσεις ισχύος. Γενικά οι ασφαλειοαποζεύκτες μπορούν να κλείνουν ή να ανοίγουν χειροκίνητα υπό φορτίο. Η κίνηση αυτή πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα για να μην διαρκεί πολύ χρόνο το ηλεκτρικό τόξο και επιβαρύνει τις επαφές. Σε εγκαταστάσεις κίνησης, στις οποίες δεν πρέπει να λείπει μια φάση, χρησιμοποιούνται ασφαλειοαποζεύκτης παράλληλα με ένα αυτόματο υπερρεύματος. Όταν καούν μια ή περισσότερες ασφάλειες τότε το ρεύμα περνά από τον αυτόματο που δίνει στη συνέχεια εντολή πτώσης στο ρελέ του κινητήρα.

6.2.2 Διακόπτες ισχύος ΧΤ, αυτόματοι

Η κατασκευή τους αντιστοιχεί στα πρότυπα IEC 0157, VDE 0660. Οι διακόπτες ισχύος ονομάζονται και αυτόματοι, χρησιμοποιούνται για την προστασία σε υπερρεύματα ή και σαν γενικό μέσο ζεύξης (όχι όμως για ζεύξεις και αποζεύξεις φορτίου). Γι' αυτό κατασκευάζονται για λίγους κύκλους λειτουργίας. Οι διακόπτες ισχύος είναι σε θέση να διακόψουν ή να ζεύξουν ένα κύκλωμα ακόμα και σε βραχυκυκλώματα εφόσον παρουσιάζουν την απαιτούμενη ικανότητα διακοπής και ζεύξης:

- Η ονομαστική ικανότητα διακοπής του διακόπτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k'' το οποίο μπορεί να εμφανισθεί στο σημείο εγκατάστασης του διακόπτη.
- Η ονομαστική ικανότητα ζεύξης του διακόπτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_s το οποίο μπορεί να εμφανισθεί στο σημείο εγκατάστασης του διακόπτη.

Εκτός των επαφών και του θαλάμου σβέσης οι Δ/Ι μπορούν να φέρουν θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο, στοιχείο έλλειψης τάσης, βοηθητικές επαφές σήμανσης και μανδάλωσης καθώς και στοιχεία καθυστέρησης της πτώσης. Οι διακόπτες ισχύος κατασκευάζονται από 20 A – 5000 A. Οι επαφές ισχύος απομακρύνονται με τη βοήθεια

ελατηρίου που πρέπει να οπλιστεί μετά την πτώση του διακόπτη. Ο οπλισμός γίνεται χειροκίνητα με κουμπί, μοχλό ή με κινητήρα οπότε ο οπλισμός τηλεχειριζόμενα.

Τα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος είναι:

- Η τάση
- Το ονομαστικό συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα
- Το θερμικό ρεύμα του 1 sec, δηλ. η αντοχή των επαφών για 1 sec.
- Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα απόζευξης, το μέγιστο ρεύμα δηλαδή που μπορεί να αποζεύξει ο διακόπτης ισχύος.
- Περιοχή ρύθμισης θερμικού στοιχείου, αν υπάρχει
- Περιοχή ρύθμισης στιγμιαίου (ηλεκτρομαγνητικού) στοιχείου, αν υπάρχει
- Ρελέ έλλειψης τάσης και ρύθμισής του, αν υπάρχει
- Ρελέ υπέρτασης και ρύθμισής του, αν υπάρχει
- Μηχανισμός οπλισμού με κινητήρα, αν υπάρχει
- Βοηθητικές επαφές για σήμανση, μανδάλωση κλπ.
- Σύστημα ψύξης επαφών με ανεμιστήρα σε μεγάλους διακόπτες

Διακόπτες μεγάλης ισχύος μπορεί να απαιτούν βοηθητικές τάσεις που πρέπει να προέρχονται από δίκτυο αδιάλλειπτης τάσης.

6.2.2.1 Χρήση αυτόματων διακοπών ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

1. Σαν διακόπτες ισχύος για προστασία διανομών

- Με σταθερά θερμικά και μαγνητικά στοιχεία
- Με σταθερά θερμικά και ρυθμιζόμενα μαγνητικά στοιχεία
- Με ρυθμιζόμενα θερμικά και μαγνητικά στοιχεία

2. Σαν διακόπτες ισχύος για προστασία κινητήρων

- Χωρίς ρύθμιση της κατηγορίας απόζευξης, χωρίς ευαισθησία έλλειψης φάσης, με σταθερά μαγνητικά στοιχεία.
- Με ρύθμιση της κατηγορίας απόζευξης, με ευαισθησία έλλειψης φάσης, με σταθερά μαγνητικά στοιχεία.

3. Σαν διακόπτες ισχύος για εκκινητές με ρυθμιζόμενα μαγνητικά στοιχεία, χωρίς θερμικά στοιχεία.

4. Σαν αποζεύκτες ισχύος, με σταθερά μαγνητικά στοιχεία, χωρίς θερμικά στοιχεία.

Οι διακόπτες ισχύος προορίζονται και για προστασία αγωγών, καλωδίων, μπαταριών, κινητήρων καθώς και άλλων τμημάτων μιας εγκατάστασης από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα. Έτσι είναι κατάλληλοι για χρήση σαν:

- Διακόπτες εισόδου διανομής σε πίνακες
- Γενικοί διακόπτες όταν συνδυαστούν με περιστροφικό χειριστήριο πόρτας
- Διακόπτες προστασίας σε διανομή καταναλωτών
- Διακόπτες ανάγκης κατά VDE 0113 όταν ο διακόπτης είναι εφοδιασμένος με πηνίο έλλειψης τάσης και σε συνδυασμό με αντίστοιχο εφεδρικό κύκλωμα.

Αν οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος για προστασία γραμμών και κινητήρων έχουν την απαιτούμενη, για την θέση στην οποία βρίσκονται, ισχύ διακοπής δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ασφαλειών τήξης στη γραμμή. Αν όμως το αναμενόμενο ρεύμα

βραχυκυκλώματος είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να διακόψει το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του αυτόματου τότε θα πρέπει να τοποθετηθούν πριν από αυτόν ασφάλειες τήξης οι οποίες θα λειτουργούν πριν τον αυτόματο. Διακόπτες ισχύος προτιμώνται των ασφαλειών όταν δεν μπορεί να γίνει επιλεκτική η συνεργασία με τα άλλα μέσα προστασίας. Συνήθως αυτό εμφανίζεται σε ρεύματα άνω των 400 Α.

6.2.2.2 Αυτόματοι διακόπτες προστασίας έναντι υπερρεύματος

Είναι διακόπτες ισχύος που ανοίγουν αυτόματα σε ένα καθορισμένο χρόνο, εφόσον το ρεύμα υπερβεί μια καθορισμένη τιμή. Σκοπό έχουν την προστασία του εξοπλισμού από υπερβολική θερμοκρασία σε υπερφορτίσεις και από την μηχανική και θερμική καταπόνηση που προκαλούν τα βραχυκυκλώματα .

Αποτελούνται κυρίως από δυο ή τρία μέρη:

- Το μέρος του διακόπτη ισχύος, δηλαδή τις επαφές με θάλαμο σβέσης.
- Το θερμικό στοιχείο ή τον Η/Ν που δίνει εντολή στο διακόπτη ισχύος να ανοίξει.

Έτσι έχουμε προστασία μιας γραμμής ή μιας συσκευής από παρατεταμένη υπερφόρτιση.

Ενδεχομένως το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο που δίνει εντολή στο διακόπτη ισχύος να ανοίξει σχεδόν ακαριαία (10-100 ms) όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή. Αυτό λέγεται και στιγμιαίο στοιχείο.

Συχνά οι αυτόματοι συνοδεύονται και από ρελέ υπότασης ή υπέρτασης που δίνουν εντολή πτώσης αν η τάση πέσει π.χ στο 90% ή ανέβει στο 110%. Αυτά χρησιμοποιούνται σε αυτόματους προστασίας κινητήρων. Ανάλογα με το τι προστατεύουν οι αυτόματοι διακρίνονται σε αυτόματους γραμμών, συσκευών, κινητήρων και διακόπτες ισχύος για εγκαταστάσεις διανομής.

6.2.3 Διακόπτες διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ)

Οι διακόπτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας ή και κατά της πυρκαγιάς κατά HD 384.4. Κατασκευάζονται, σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61008 για ΔΔΡ χωρίς στοιχείο προστασίας υπερρεύματος και με IEC 61009 για ΔΔΡ με επιπλέον στοιχείο προστασίας υπερρεύματος. Δηλαδή υπάρχουν ΔΔΡ συνδυασμένοι με μικροαυτόματο διακόπτη ισχύος. Ο ΔΔΡ λειτουργεί ως εξής. Παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη. Αν αυτό υπερβεί μια τιμή συνήθως 30 mA τότε αποζεύγει το κύκλωμα σε όλους τους πόλους (φάσεις και ουδέτερο) σε 0,2 sec περίπου . Ο ΔΔΡ έχει σαν βασικό του στοιχείο έναν αθροιστικό Μ/Σ ρεύματος τύπου δακτυλίου. Στο πρωτεύον περνούν τα ρεύματα φάσεων I_1 , I_2 , I_3 και του ουδέτερου I_N . Στο δευτερεύον περνά ένα ρεύμα ανάλογο του αλγεβρικού αθροίσματος των τεσσάρων ρευμάτων, εφόσον έχουμε σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Αν δεν υπάρχει διαρροή ρεύματος τότε το άθροισμα των ρευμάτων είναι μηδέν γιατί το ρεύμα των τριών φάσεων επιστρέφει μέσω του ουδέτερου. Το δευτερεύον του Μ/Σ έντασης δεν έχει ρεύμα $I_1+I_2+I_3-I_N=0$. Αν υπάρχει σφάλμα ως προς τη γη το άθροισμα των ρευμάτων των φάσεων και του ουδέτερου είναι ίσο με το ρεύμα σφάλματος I_f , $I_1+I_2+I_3-I_N=I_f$. Η λειτουργία του ΔΔΡ γίνεται με μόνιμο μαγνήτη. Το ζύγωμα έλκεται και κρατά τις επαφές κλειστές όταν δεν υπάρχει διαφορικό ρεύμα. Για διαφορικό ρεύμα διάφορο του μηδενός δεν υπάρχει μαγνητική ροή μέσα από το μαγνήτη. Με τη γήρανση του μαγνήτη το διαφορικό ρεύμα που ακυρώνει τη μαγνητική ροή

γίνεται μικρότερο του ονομαστικού (30 mA). Δηλαδή με την πάροδο του χρόνου βρισκόμαστε στην πιο ασφαλή πλευρά. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το διαφορικό ρεύμα έχει ισχυρή DC συνιστώσα ή λόγω ύπαρξης φορτίων με ηλεκτρονικά ισχύος υπάρχουν AC, AC και ωστικά ρεύματα. Τότε ένας συνηθισμένος ΔΔΡ θα ανοίξει αργότερα από τα 30 mA. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται ο παντός ρεύματος ΔΔΡ (universal RCD) κατά IEC 61008. Ο ΔΔΡ επιτρέπεται να εφαρμόζεται σε δίκτυο άμεσης γείωσης σαν κύριο μέσο προστασίας διότι έτσι επιτυγχάνεται η προστασία ακόμα και σε μεγάλες αντιστάσεις γείωσης. Εφαρμόζεται επίσης και σε ουδετερογειωμένο δίκτυο ή στον κεντρικό πίνακα ή και στους επιμέρους πίνακες. Ο ΔΔΡ συνδέεται μετά το γενικό διακόπτη του κεντρικού πίνακα διανομής προστατεύοντας έτσι όλη την εγκατάσταση. Οι ΔΔΡ με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα $I_{\Delta N}=30$ mA προσφέρουν προστασία στην περίπτωση που γίνεται άμεση επαφή ανθρώπου με γυμνό αγωγό (π.χ. χέρι στη φάση και πόδια στη γη). Δεν προσφέρουν όμως πάντα προστασία στην περίπτωση που ο άνθρωπος θα βραχυκλώσει με τα χέρια του φάση και ουδέτερο γιατί το κύριο μέρος του ρεύματος σφάλματος περνά από το σώμα και όχι από τον ΔΔΡ. Σε αντίθεση με άλλα μέσα προστασίας π.χ. διακόπτες διαφυγής τάσης ΔΔΤ, έχουμε στους ΔΔΡ και προστασία κατά της πυρκαγιάς γιατί περιορίζεται άμεσα το ρεύμα διαρροής προς τη γη. Έτσι εμποδίζονται ηλεκτρικά τόξα από φάση προς γη που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές. Για προστασία έναντι πυρκαγιάς ο ΔΔΡ συνδέεται στον κεντρικό πίνακα και ρυθμίζεται π.χ στα $I_{\Delta N}=0,5$ A και χρονική καθυστέρηση πτώσης άνω των 1-5 sec. Οι ΔΔΡ με $I_{\Delta N}=30$ mA συνίστανται πάντα σε καταναλωτές με ουδετέρωση και ιδιαίτερα εκεί που υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας δηλαδή όπως μαγειρεία, εγκαταστάσεις σε κήπους, μπάνια και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Μεγάλοι καταναλωτές δεν προστατεύονται μόνο με ένα ΔΔΡ αλλά με πολλούς, αφού χωριστούν σε ομάδες των π.χ 43-60 A. Αυτό διασφαλίζει την ανεξαρτησία των κυκλωμάτων. Αυτός ο χωρισμός εξασφαλίζει και μικρότερο χωρητικό ρεύμα προς τη γη, που μπορεί να προκαλέσει μια ανεπιθύμητη πτώση του ΔΔΡ. Σε πολλά παράλληλα κυκλώματα με ΔΔΡ οι ουδέτεροι δεν πρέπει να είναι συνδεδεμένοι μετά τους ΔΔΡ. Μειονέκτημα του ΔΔΡ μπορεί να είναι η περιορισμένη ετοιμότητά του. Αυτό επιδεινώνεται όταν ο ΔΔΡ δεν συντηρείται. Για τον λόγο αυτό πρέπει να δοκιμάζεται κάθε 6 μήνες. Η δοκιμή του γίνεται με κύκλωμα που είναι ενσωματωμένο μέσα τους όπου πατώντας το διακόπτη δοκιμής P το ρεύμα δια της αντίστασης R προκαλεί την απόζευξη. Αν ο ΔΔΡ πέφτει, δηλαδή δεν μπορεί να κρατηθεί σε κατάσταση εντός, τότε υπάρχει διαρροή ή γεφύρωση του ουδέτερου με τη γη ή με τη φάση. Πτώση του ΔΔΡ, επίσης, συμβαίνει αν μετά το ΔΔΡ έχει γειωθεί ο ουδέτερος κάτι που δεν επιτρέπεται. Η πτώση προκαλείται όταν συνδεθούν φορτία. Έτσι μπορεί κανείς να εντοπίσει το σημείο όπου υπάρχει λανθασμένη σύνδεση ανοιγοκλείνοντας τους διακόπτες των διαφόρων φορτίων. Ορισμένα κυκλώματα, όπως συναγερμοί, καταψύκτες, ψυγεία, κυκλώματα ελέγχου κ.α., δεν πρέπει να προστατεύονται έναντι ηλεκτροπληξίας από ΔΔΡ αλλά από άλλη μέθοδο προστασίας.

Τα χαρακτηριστικά των ΔΔΡ είναι :

- Το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα $I_{\Delta N}$, είναι το ρεύμα στο οποίο αναφέρονται οι χρόνοι απόζευξης. Για $I_F=I_{\Delta N}$ ο χρόνος είναι τάξης μεγέθους 0,1 sec .
- Το ονομαστικό ρεύμα I_N είναι το ρεύμα φάσεων στο οποίο αντέχουν συνεχώς.
- Το διαφορικό ρεύμα στο οποίο στο οποίο αντιδρούν.

Υπάρχουν ΔΔΡ για τριφασικά και μονοφασικά κυκλώματα. Οι ΔΔΡ που προσφέρονται στο εμπόριο είναι ρυθμισμένοι για απόζευξη ρευμάτων σφάλματος: $I_F=10\dots 1000$ mA.

Κεφάλαιο 7 Προστασία κατά των υπερτάσεων

7.1 Προστασία Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ κατά των υπερτάσεων

Οι εξωτερικές υπερτάσεις λόγω κεραυνών είναι τάξη μεγέθους πολλών εκατοντάδων kV και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες στις υπαίθριες παροχές A1, A2. Γι' αυτό η προστασία είναι απαραίτητη. Προστασία της εγκατάστασης δεν χρειάζεται αν έχουμε υπόγεια παροχή από υπόγειο δίκτυο, γιατί δεν πέφτουν κεραυνοί στα καλώδια και αν πέσουν στην αναχώρησή τους τότε αποσβένονται αν έχουμε μήκη μεγαλύτερα από 500 m. Η προστασία έναντι κεραυνικών υπερτάσεων περιλαμβάνει στην εγκατάσταση από τη ΔΕΗ αλεξικέραυνων συνήθως στο σημείο παροχέτευσης στον εναέριο στύλο. Αν το καλώδιο του καταναλωτή έχει μήκος μικρότερο των 500 m συνίσταται η τοποθέτηση αλεξικέραυνων και στις δύο άκρες του καλωδίου. Τα αλεξικέραυνα συνδέονται μεταξύ φάσης και γείωσης της ΜΤ. Εγκαθίστανται κοντά στον Μ/Σ (<20m) ή μέσα στον οικίσκο του Μ/Σ ή και στις κυψέλες. Βασικό μέγεθος για τη σωστή λειτουργία τους είναι η ηλεκτρική αντοχή της εγκατάστασης. Η αντοχή σε κρουστική τάση είναι 125 kV και 95 kV για δίκτυα ονομαστικής τάσης 20 kV και 15 kV αντίστοιχα. Οι απαγωγείς τάσεων ή αλεξικέραυνα είναι μη γραμμικές αντιστάσεις που φροντίζουν η τάση να μένει κάτω από μια ορισμένη τάση, την τάση προστασίας. Η τάση προστασίας πρέπει να είναι αρκετά μικρότερη από την ηλεκτρική αντοχή της εγκατάστασης.

Οι απαγωγείς τάσεων αποτελούνται από ένα σπινθηριστή, διάκενο αέρα, σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις. Αν η τάση υπερβεί μια ορισμένη τιμή, διασπάται ο σπινθηριστής και βραχυκυκλώνεται το δίκτυο μέσω των μη γραμμικών αντιστάσεων. Η τάση δεν αυξάνεται σημαντικά με το ρεύμα, δηλαδή η αντίσταση μειώνεται με το ρεύμα. Έτσι η τάση διατηρείται κάτω από την τάση αντοχής. Η χρονική διάρκεια λειτουργίας του απαγωγέα προσδιορίζεται από τη διάρκεια των κεραυνών συνήθως 50....100μs. Αφού περάσει η υπέρταση και εφαρμοστεί η τάση του δικτύου, το εναλλασσόμενο ρεύμα του απαγωγέα μειώνεται λόγω της μειωμένης τάσης σε τέτοιο σημείο ώστε το τόξο στον σπινθηριστή να σβήσει στον επόμενο μηδενισμό του ρεύματος. Έτσι ο απαγωγέας γίνεται πλέον μη αγώγιμος. Το ρεύμα του δικτύου των 20 kV, που ρέει μέσω των αντιστάσεων του αλεξικέραυνου, είναι μικρό αλλά θα προκαλούσε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και κατανάλωση ισχύος στο δίκτυο. Για τον λόγο αυτό υπάρχει το διάκενο αέρος στον απαγωγέα. Χαρακτηριστικά στοιχεία των απαγωγέων τάσης είναι:

- Η τάσης σβέσης U_r , δηλαδή η τάση στην οποία απενεργοποιούνται οι απαγωγείς. Για τα δίκτυα ΜΤ ισχύει $U_r=1,2 \cdot U_n$ όπου U_n η ονομαστική τάση δικτύου.
- Το ονομαστικό κρουστικό ρεύμα είναι η κορυφή του κρουστικού ρεύματος σε kA στο οποίο μπορεί να αντέξει διαρκώς ο απαγωγέας. Αυτό είναι 5 kA ή 10 kA για απαγωγείς ΜΤ.

Εκτός αυτών των χαρακτηριστικών οι κατασκευαστές δίνουν και τα εξής στοιχεία:

- Αντοχή σε κρουστικά ρεύματα βραχείας 5....10 μs και μακράς διάρκειας 1000....2000 μs. Ρεύματα πάνω από την αντοχή των απαγωγέων μπορεί να οδηγήσουν σε έκρηξη και βραχυκύκλωμα του δικτύου.
- Τάση αφής, είναι η τάση που ενεργοποιούνται οι απαγωγείς.

- Παραμένουσα τάση, είναι η τάση που εφαρμόζεται όταν περνά το κρουστικό ρεύμα.

Όταν η θερμότητα που εκλύεται στην αντίσταση ενός απαγωγέα από το κρουστικό ρεύμα υπερβεί ένα όριο, τότε οι αντιστάσεις μπορεί να καταστραφούν. Χαρακτηριστικό αυτού του σφάλματος είναι η δημιουργία αερίων. Οι απαγωγείς έχουν σύστημα ανακούφισης από την πίεση. Υπάρχει επίσης ορατή ένδειξη όταν λειτουργήσει αυτό το σύστημα ώστε να αντικατασταθεί ο απαγωγέας.

7.2 Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ΧΤ σε υπερτάσεις

Οι κεραυνοί μπορούν να προκαλέσουν υπερτάσεις σε μια εγκατάσταση ΧΤ ως εξής:

- Υπερτάσεις από κατευθείαν πλήξη του δικτύου ΧΤ
- Υπερτάσεις από μαγνητικές ζεύξεις και από το ότι οι φάσεις του δικτύου έχουν γείωση (ουδέτερος Μ/Σ) που είναι διαφορετική από τη γείωση προστασίας του δικτύου. Επειδή η γείωση προστασίας διαρρέεται από το ρεύμα του κεραυνού ο ισοδυναμικός ζυγός μπορεί να βρίσκεται υπό μεγάλη τάση ως προς τα άλλα γειωμένα αντικείμενα και τις φάσεις του δικτύου.
- Υπερτάσεις εξ επαγωγής ή λόγω γειννίασης.

Η προστασία έναντι υπερτάσεων στη ΧΤ γίνεται :

- Στην είσοδο των κυκλωμάτων εγκαθίστανται απαγωγείς τάσεων .
- Στην είσοδο των κυκλωμάτων τοποθετούνται πυκνωτές, αυτεπαγωγές (συνήθως σε ηλεκτρονικά κυκλώματα).

Βασικά χαρακτηριστικά των απαγωγέων ΧΤ είναι:

- Η μέγιστη τάση λειτουργίας, δηλαδή η τάση για την οποία δεν πρέπει να άγουν.
- Η τάση αφής δηλαδή η συνεχής ή εναλλασσόμενη τάση την οποία αποκόπτουν.
- Ο χρόνος αντίδρασης, ο χρόνος που παρέρχεται από την εφαρμογή μιας τάσης έως να αρχίσουν να λειτουργούν οι μηχανισμοί αγωγιμότητας.
- Το ρεύμα που μπορεί να περάσει από τον απαγωγέα χωρίς αυτός να καταστραφεί.

7.2.1 Απαγωγείς τάσεων ΧΤ

Η προστασία κυκλωμάτων γίνεται με στοιχεία που μειώνουν την εισερχόμενη υψηλή τάση. Αυτά τα στοιχεία είναι βαρύστορες, δίοδοι περιορισμού, δίοδοι αερίων.

Συγκεκριμένα:

- Βαρύστορες

Αυτοί είναι ισχυρά μη γραμμικές αντιστάσεις από οξειδία του πυριτίου. Προστατεύουν κυκλώματα ονομαστικών τάσεων από 10V-10000V, δηλαδή αν εμφανιστεί μια υπέρταση την μειώνουν σε επιτρεπόμενες τιμές. Χαρακτηριστικά τους είναι:

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας στο κύκλωμα μεταξύ των σημείων που θα συνδεθεί.
- Το ρεύμα που μπορεί να περάσει για ένα χρονικό διάστημα χωρίς να καταστραφεί. Οι χρόνοι απόκρισης είναι σχετικά μεγάλοι (μερικά μs) ώστε να αφήνουν ένα μέρος της υπέρτασης να διέλθει και να εφαρμοσθεί στο υπό προστασία κύκλωμα. Σε περιπτώσεις όπου η λοιπή υπέρταση είναι ανεπίτρεπτη, χρησιμοποιούνται πρόσθετα μέσα όπως δίοδοι zener. Τα επιτρεπόμενα ρεύματα απαγωγής είναι για

τους βαρύτερες έως 80kA. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην είσοδο εγκαταστάσεων ΧΤ δηλαδή στον πίνακα ΧΤ.

- Δίοδοι περιορισμού, δίοδοι zener.

Οι δίοδοι περιορισμού είναι εξελιγμένες δίοδοι zener. Οι δίοδοι zener έχουν ταχύτατη απόκριση αλλά δεν μπορούν να φέρουν μεγάλα κρουστικά ρεύματα.

- Δίοδοι αερίων

Αυτοί είναι σπινθηριστές που βραχυκυκλώνουν την υπέρταση. Ο χρόνος απόκρισής τους είναι μεγαλύτερος από αυτούς των δίοδων zener. Οι δίοδοι αερίων έχουν ρεύματα απαγωγής 10...40 kA. Δεν είναι κατάλληλες για κυκλώματα 380 V διότι προκαλούν βραχυκύκλωμα και έτσι το ρεύμα προκαλεί βραχυκύκλωμα στο δίκτυο. Έτσι η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε κυκλώματα χαμηλής ισχύος (τηλέφωνα, ηλεκτρονικά).

Κεφάλαιο 8 Μονωμένοι αγωγοί και καλώδια ΜΤ-ΧΤ

8.1 Γενικά

Οι αγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και σπάνια από αλουμίνιο. Ο χαλκός έχει πολύ μεγάλη ειδική αγωγιμότητα, υψηλή μηχανική αντοχή, είναι ανθεκτικός στη διάβρωση και κατεργάζεται εύκολα. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σαν αγωγός σε καλώδια διατομών συνήθως άνω των 35mm². Έχει μικρότερη ειδική αγωγιμότητα σε σχέση με το χαλκό, έχει χαμηλότερη τιμή και μικρότερο βάρος. Μειονεκτήματα του αλουμινίου είναι ότι δεν συγκολλείται με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξης, διαβρώνεται ευκολότερα λόγω ηλεκτροχημικών δράσεων, δεν αντέχει σε πολλές κάμψεις και όταν βρίσκεται σε πίεση παραμορφώνεται με την πάροδο του χρόνου και χαλαρώνονται έτσι οι συνδέσεις.

Η διατομή των αγωγών είναι στρογγυλή. Για πολυπολικά καλώδια μεγάλων διατομών (>35mm²) χρησιμοποιούνται και διατομές κυκλικού τομέα (οι τριγωνικές χαρακτηρίζονται με S). Όσο αφορά την ευκαμψία έχουμε αγωγούς οι οποίοι χαρακτηρίζονται κατά IEC 60228 ως εξής:

- Μονόκλωνος (U) , πολύκλωνος (R)
- Υψηλής ευκαμψίας πολύκλωνους (K), υπερευψηλής (F).

Αγωγούς υψηλής και υπερευψηλής ευκαμψίας χρησιμοποιούμε σε καλώδια για συγκολλήσεις για κινητές συσκευές, γεραμούς κλπ, εκεί που το καλώδιο υπόκειται σε συνεχείς κάμψεις.

8.2 Καλώδια στη ΧΤ

8.2.1 Μονωτικά καλωδίων ΧΤ

Το μονωτικό και το πάχος του καλωδίου προσδιορίζουν την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου αλλά και την επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης του αγωγού . Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία αντέχει το μονωτικό.

Σε εγκαταστάσεις γίνεται χρήση καλωδίων με τα παρακάτω μονωτικά σύμφωνα με τα πρότυπα HD 361.S2 όπου μέσα στην παρένθεση αναφέρεται, μία κατά VDE 0250, κωδική ονομασία. Από τα μονωτικά το PVC χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στις εγκαταστάσεις κάτω υπό κανονικές συνθήκες.

Στη ΧΤ σε παλιές εγκαταστάσεις ισχύος συναντά κανείς σπάνια καλώδια με μόνωση χαρτιού με παχύρρευστη μάζα. Εκτός από την κύρια μόνωση έχουμε και την εξωτερική μόνωση (ή μανδύα) που γίνεται συνήθως ή από PVC ή από πολυχλωροπρένιο (=νεοπρένιο) ή από πολυαιθυλένιο ή από χλωροπρένιο.

Μονωτικά καλωδίων ΧΤ: Συνεχώς /βραχέως επιτρεπόμενες θερμοκρασίες

Πολυβινυλοχλωρίδιο PVC,V :(Y) 70°/170°C

Ελαστικό σιλικόνης , S :(2G) 180°/350°C

Ελαστικό μείγμα, R :(3G) 60°/200°C

Ελαστικό οξικού βινυλαιθυλίου EVA, E:(4G)120°/250°C

Ελαστικό αιθυλενίου –προπυλενίου EPR, B2:(3G)90°/250°C

Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο XLPE :(2X) 90°/250°C

Το χρώμα της μόνωσης των αγωγών είναι:

1. Αγωγοί φάσεων: οποιοδήποτε χρώμα εκτός από κίτρινο - πράσινο και ανοιχτό μπλέ. Συνήθως χρησιμοποιούνται καφέ - μαύρο, ή μαύρο με αριθμούς.
2. Ουδέτερος αγωγός: ανοιχτό μπλέ (ή παλαιότερα γκρίζο)
3. Αγωγός γείωσης: κίτρινο πράσινο.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να υπάρχει στα εξής σημεία:

- Απαγορεύεται η χρήση κίτρινοπράσινου αγωγού σε φάσεις
- Το μπλε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για φάση εφόσον δεν υπάρχει ουδέτερος.

Τα διαθέσιμα χρώματα σε καλώδια ΧΤ αναφέρονται στους κανονισμούς CENELEC, IEC, ΕΛΟΤ που αφορούν τα συγκεκριμένα καλώδια. Συνοπτικά για καλώδια ισχύος ΧΤ έχουμε τα εξής χρώματα για τους αγωγούς καλωδίων PVC ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών:

Καλώδια ισχύος τύπου από PVC (ΕΛΟΤ 843, IEC 60502, VDE 271) για μόνιμες εγκαταστάσεις με αγωγούς προστασίας:

2-πολικά: μαύρο /ανοιχτό μπλε

3-πολικά: πράσινο - κίτρινο /μαύρο /ανοιχτό μπλε

4-πολικά: πράσινο - κίτρινο /μαύρο /ανοιχτό μπλε/καφέ

5-πολικά: πράσινο - κίτρινο /μαύρο /ανοιχτό μπλε/καφέ/μαύρο

6-πολικά και άνω: πράσινο - κίτρινο, λοιποί πόλοι μαύροι αριθμημένοι 1,2,3,.....

Καλώδια εύκαμπτα για μη μόνιμες συνδέσεις (ΕΛΟΤ 563 ,HD 21):

2-πολικά: καφέ /ανοιχτό μπλε

3-πολικά: πράσινο - κίτρινο /καφέ /ανοιχτό μπλε

4-πολικά: πράσινο - κίτρινο /μαύρο /ανοιχτό μπλε/καφέ

5-πολικά: πράσινο - κίτρινο /μαύρο /ανοιχτό μπλε/καφέ/μαύρο

6-πολικά και άνω :πράσινο –κίτρινο, λοιποί πόλοι μαύροι αριθμημένοι 1,2,3,.....

Υπάρχουν και καλώδια ισχύος χωρίς γείωση, δηλαδή ο πράσινος - κίτρινος αγωγός λείπει. Εκεί τα χρώματα είναι όπως πιο πάνω με τη διαφορά ότι το πράσινο - κίτρινο αντικαθίσταται με μαύρο. Έτσι ένα 5-πολικό καλώδιο μπορεί να έχει καφέ, ανοιχτό μπλε και 3 μαύρους αγωγούς. Για καλώδια ελαφρού τύπου (ΕΛΟΤ 623, IEC 245) ισχύουν γενικά άλλα χρώματα. Τα χρώματα στα πρότυπα ή στις περιγραφές καλωδίων αναφέρονται ή με πλήρη περιγραφή ή με συντμήσεις της ονομασίας τους στα αγγλικά. Το χρώμα του μανδύα στα καλώδια ΧΤ (1kV) βαρέως τύπου J1VV.....,NYY είναι μαύρο. Καλώδια για ορυχεία είναι κίτρινα και για εκρηκτική ατμόσφαιρα μπλε. Οι μανδύες καλωδίων ελαφρού τύπου έχουν άλλα χρώματα.

8.2.2 Ακροδέκτες καλωδίων ΧΤ

Αφού εγκατασταθεί το καλώδιο εφαρμόζονται οι ακροκεφαλές του και οι ακροδέκτες του. Οι ακροκεφαλές στην ΧΤ έχουν σκοπό να μην επιτρέπουν την είσοδο νερού ή υγρασίας στο καλώδιο όταν αυτό θα εγκατασταθεί στο ύπαιθρο.

Στη ΜΤ έχουμε ακροκεφαλές που προσδίδουν ηλεκτρική αντοχή στην άκρη του καλωδίου και απαγορεύουν την είσοδο νερού και υγρασίας. Αυτές οι ακροκεφαλές αποτελούνται:

- Από ελαστικό σιλικόνης για εσωτερικούς χώρους
- Από πορσελάνη για εξωτερικούς χώρους
- Από ρητίνες για εσωτερικούς ή και εξωτερικούς χώρους.

Πρέπει οπωσδήποτε να εξασφαλιστεί ότι τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους δεν μπαίνει υγρασία ή νερό στο καλώδιο από τον ακροδέκτη ή την ακροκεφαλή.

8.2.3 Χαρακτηρισμός καλωδίων ΧΤ

Τα καλώδια ΧΤ ομαδοποιούνται σε:

- Καλώδια ελαφρού τύπου

Τα καλώδια αυτά κατασκευάζονται για τάσεις :

100V, 300/300V, 300/500V, 450/750V. Εναρμονίζονται με τα πρότυπα ΕΛΟΤ 623, ΕΛΟΤ 563, IEC 245, VDE 0250.

- Καλώδια βαρέως τύπου

Τα καλώδια PVC κατά ΕΛΟΤ 843, ΕΛΟΤ 1099, IEC 502 λέγονται καλώδια βαρέως τύπου.

Χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι κατασκευασμένα για τάσεις 0,6/1 kV και αντέχουν στον ενταφιασμό, στο νερό ή σε συνθήκες εξωτερικού χώρου. Κυκλοφορούν στο εμπόριο σαν καλώδια NYY και με ονομασίες που αντιστοιχούν στους γερμανικούς κανονισμούς VDE 0271.

8.3 Καλώδια στη ΜΤ

8.3.1 Μονωτικά καλωδίων ΜΤ

Στη ΜΤ (3...20kV) στη χώρα μας χρησιμοποιούνται κατά κανόνα καλώδια με μόνωση κυρίως από χημικά δικτυωμένο πολυαιθυλένιο XLPE. Υπάρχουν επίσης καλώδια από αιθυλενιούχο - προπυλαινιούχο ελαστικό EPR που έχουν μεγαλύτερη ελαστικότητα και είναι ανθεκτικότερα στο λάδι ή σε άλλα χημικά απ' ότι καλώδια XLPE. Τα καλώδια EPR είναι όμως ακριβότερα απ' ότι τα XLPE. Σε χαμηλότερες τάσεις π.χ. 6/10 kV μπορεί να χρησιμοποιηθούν και καλώδια PVC σαν μονωτικό. Ο εξωτερικός μανδύας σε καλώδια ΜΤ είναι από PVC ή από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο ή από πολυχλωροπρένιο. Σε καλώδια χαρτιού ο μανδύας μπορεί να είναι από μόλυβδο που περιβάλλεται από χαλύβδινες ταινίες, ίνες και πίσσα. Το χρώμα του εξωτερικού μανδύα καλωδίων ΜΤ με πλαστική μόνωση είναι κόκκινο.

Μονωτικά καλωδίων MT: Συνεχώς /Βραχυχρόνια (5 sec) επιτρεπόμενες θερμοκρασίες

Πολυβινυλοχλωρίδιο PVC, V, (Y) μέχρι 6/10kV: 70°C /170°C

Αιθυλενιούχο προπυλαινιούχο ελαστικό EPR, B2, (3G): 90°C /250°C

Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο XLPE (2X) μέχρι 86/150KV: 90°C /250°C

8.3.2 Ιδιότητες των μονωτικών MT

Το PVC χρησιμοποιείται εφόσον αυτό επιτρέπεται από τεχνικούς λόγους, γιατί είναι φθινό και ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη. Το όριό του, από πλευράς τάσης, είναι 6/10kV. Λόγω των υψηλών διηλεκτρικών απωλειών δεν χρησιμοποιείται σε υψηλότερες τάσεις. Δεν είναι ανθεκτικό σε πολύ χαμηλές (<-30°C) ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>70°C). Σε διαρκή καταπόνηση άνω των 70°C γίνεται εύθραυστο και σχηματίζει ρωγμές. Επιτρέπεται η διαρκής καταπόνησή του μέχρι 70°C.

Διάφορα συνθετικά ελαστικά όπως βουτύλιο, οξικό βινυλαιθύλιο (EVA) και αιθυλενιούχο προπυλένιο (EPR) χρησιμοποιούνται για λόγους ευκαμψίας και αντοχής στη θερμοκρασία.

Το EPR χρησιμοποιείται και σε εύκαμπτα καλώδια MT.

Για διαρκείς υψηλές θερμοκρασίες, όπως σε φούρνους, γίνεται χρήση καλωδίων με ελαστικό σιλικόνης. Η μόνωση ελαστικού σιλικόνης αντέχει διαρκώς σε 180°C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες π.χ. 120°C γίνεται χρήση του EVA ή και του EPR που αντέχει συνεχώς σε 90°C.

Το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται στη MT γιατί έχει χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες και είναι μηχανικά και χημικά ανθεκτικό. Η θερμοκρασιακή του αντοχή είναι όμοια με αυτή του PVC δηλαδή μέχρι 70°C. Το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο έχει καλύτερη συμπεριφορά σε συνεχή θερμοκρασία μέχρι τους 90°C. Είναι ακριβότερο όμως σαν μονωτικό από το PVC. Το πολυαιθυλένιο αποικοδομείται σταδιακά από την ηλιακή ακτινοβολία γι' αυτό και δεν χρησιμοποιείται σαν εξωτερικός μανδύας καλωδίων εξωτερικού χώρου. Σήμερα χρησιμοποιείται στη MT κατ' εξοχήν χημικά δικτυωμένο και όχι απλό πολυαιθυλένιο. Η μόνωση χαρτιού - μάζας κατά IEC 60055 είναι η πιο δοκιμασμένη μόνωση γιατί η διάρκεια ζωής των καλωδίων με μόνωση από χαρτί είναι μεγαλύτερη απ' ότι στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου. Η μόνωση χαρτιού-μάζας είναι ακριβότερη και δυσκολότερη στο χειρισμό της κατά την κατασκευή απ' ότι η μόνωση πολυαιθυλενίου ή η μόνωση EPR. Στις μέρες μας η μόνωση με βάση το χαρτί έχει αντικατασταθεί μέχρι και στα 400 kV από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο.

8.3.3 Γείωση των καλωδίων MT

Σε καλώδια MT γειώνεται ο μανδύας κάθε καλωδίου στην αναχώρηση από τη ΔΕΗ. Στην άφιξη στις κυψέλες MT γειώνεται ο μανδύας στη γείωση της MT, δηλαδή μαζί με τις κυψέλες και το δοχείο του Μ/Σ. Σε εγκαταστάσεις κινητήρων 6 kV το ένα άκρο του καλωδίου γειώνεται στην κυψέλη αναχώρησής του και το άλλο συνδέεται με το κέλυφος του κινητήρα.

8.4 Χρήσεις καλωδίων

Τα καλώδια κατάλληλα για συνεχή παραμονή στο έδαφος είναι τα καλώδια PVC J1VV ή NYV, τα καλώδια με μολύβδινο μανδύα NKBA, NHKBA, NEKEBA και τα καλώδια

πολυαιθυλενίου MT N2XSY,N2XSEY. Δεν κάνουν για εγκαταστάσεις στο χώμα ή σε νερό τα καλώδια ελαφρού τύπου A05VV-R, H05VV-R.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο δέσιμο των καλωδίων. Αν το δέσιμο γίνει με σύρματα σε καλώδιο με μεγάλο ρεύμα τότε μπορούν να επαχθούν στα σύρματα ρεύματα και να καταστραφεί το καλώδιο. Οπότε τα δεσίματα πρέπει να γίνονται με μονωτικά υλικά (μονωτικούς συνδέσμους). Σε περιπτώσεις εγκατάστασης καλωδίων στον ελεύθερο αέρα και έκθεσης στον ήλιο προτιμούνται καλώδια με μανδύα από νεοπρένιο, πολυχλωροπρένιο γιατί έχει μεγαλύτερη αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία. Εάν υπάρχει κίνδυνος να χτυπηθούν τα καλώδια όπως σε εργοστάσια, λεβητοστάσια τότε αυτά μπαίνουν σε χαλυβδοσωλήνες. Αν είναι δύσκολη η αντικατάσταση του καλωδίου πρέπει να υπάρχει ένα ή περισσότερα εφεδρικά καλώδια έτσι ώστε αν υπάρξει σφάλμα να μη χρειαστεί να τοποθετηθεί νέο καλώδιο. Τα καλώδια PVC μπορεί να καταστραφούν από τρωκτικά. Μια αποτελεσματική προστασία είναι ο ενταφιασμός του καλωδίου μέσα σε άμμο.

8.5 Τάση των καλωδίων

Η τάση του δικτύου στην οποία μπορεί να εφαρμοσθούν τα καλώδια είναι κατά IEC 502, γενικά, όχι ίση με την ονομαστική τάση των καλωδίων. Εξαρτάται από την προστασία του δικτύου σε σφάλματα γης. Στην περίπτωση που τα σφάλματα γης αποζεύγονται μέσα σε 8 ώρες τότε η τάση του συστήματος είναι ίση με την τάση του καλωδίου. Κατά HD 516 η αναφερόμενη τάση διαστασιολόγησης είναι η μέγιστη ονομαστική τάση του συστήματος. Δηλαδή, καλώδια 0,6/1 kV επιτρέπονται σε συστήματα με ονομαστικές πολικές τάσεις μέχρι 1 kV ενεργού τιμής. Τα καλώδια αντέχουν σε διαρκή υπέρταση μέχρι 10% για καλώδια μέχρι 450/750V και 20% για καλώδια 0,6/1 kV. Οι παραπάνω τιμές, για DC ρεύμα, πολλαπλασιάζονται με 1,5.

Κεφάλαιο 9 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης

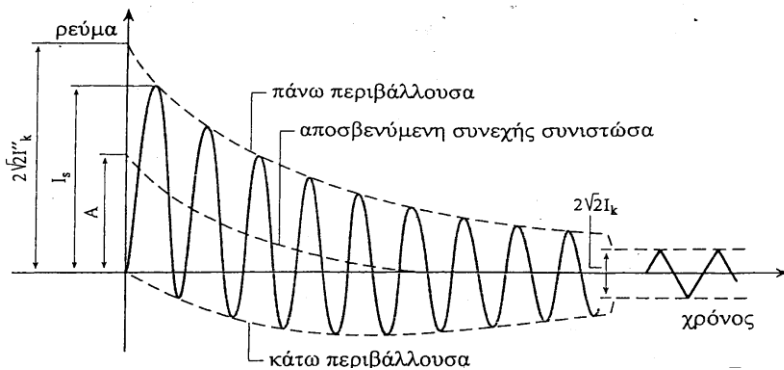
9.1 Γενικά

Οι υπολογισμοί των ρευμάτων βραχυκύκλωσης γίνονται βάσει των προτύπων DIN VDE 57102. Ο υπολογισμός της μέγιστης τιμής και η χρονική διάρκεια του ρεύματος έχει σημασία για την εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται σε μια κατασκευή ενώ η τιμή του θερμικού ολοκληρώματος

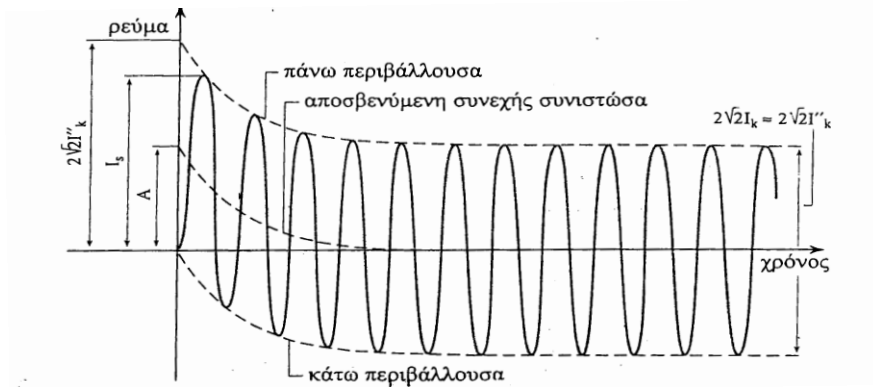
$$\int i^2 dt$$

έχει σημασία για την θερμική καταπόνηση. Για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις καταναλωτών με ιδεατές πηγές, σταθερής εσωτερικής αντίδρασης, δηλαδή χωρίς γεννήτριες ή μεγάλους κινητήρες το ρεύμα βραχυκύκλωσης έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος:

α)



β)



Σχήμα 9.1 [1]

Ρεύμα στο σημείο βραχυκυκλώματος σαν συνάρτηση του χρόνου.

α) Το βραχυκύκλωμα γίνεται κοντά σε γεννήτριες, π.χ. σε σταθμό παραγωγής.

β) Το βραχυκύκλωμα γίνεται μακριά από γεννήτριες, π.χ. σε εγκαταστάσεις καταναλωτών ΜΤ ή ΧΤ.

I_k'' = αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_k = στάσιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης,

A = αρχική τιμή του συνεχούς ρεύματος.

Το ρεύμα έχει μια φθίνουσα συνεχή συνιστώσα και μια εναλλασσόμενη συνιστώσα. Η αρχική τιμή A της συνεχούς συνιστώσας και το κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_s αποκτούν έτσι τη μέγιστη τιμή τους. Το βραχυκύκλωμα εμφανίζεται τη χρονική στιγμή μηδέν. Το ρεύμα λειτουργίας που έρρεε πριν από το σφάλμα δε λαμβάνεται υπόψη. Στο σχήμα 9.1 φαίνονται τα μεγέθη:

- αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k''
- κρουστικό ή μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_s
- μόνιμο ή στάσιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k
- αρχική τιμή της συνεχούς συνιστώσας A

Κατά τα βραχυκυκλώματα «κοντά» σε γεννήτριες ισχύει:

$$I_k'' > I_k' > I_k$$

Όπου I_k' είναι το μεταβατικό ρεύμα, που δεν απαιτείται άμεσα για τον υπολογισμό των επιπτώσεων των ρευμάτων βραχυκύκλωσης.

Τα σφάλματα σε δίκτυα ΜΤ και ΧΤ, με εξαίρεση τα δίκτυα πλοίων και καταναλωτών με δική τους παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σφάλματα «μακριά» από γεννήτριες. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης έχει τη μορφή του σχήματος, και ισχύει:

$$I_k'' = I_k' = I_k$$

Βασικό μέγεθος για τον καθορισμό της θερμικής καταπόνησης των γραμμών και των άλλων στοιχείων του δικτύου, σε περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων είναι το θερμικό ρεύμα βραχείας διάρκειας I_{th} . Το I_{th} είναι η ενδεικνύμενη τιμή της εναλλασσόμενης έντασης με τη συχνότητα του δικτύου, η οποία κατά τη διάρκεια βραχυκύκλωσης T_k παράγει την ίδια θερμότητα απωλειών Q με το ρεύμα βραχυκύκλωσης $i_k(t)$.

Από υπολογισμούς καταλήγουμε ότι το ρεύμα I_{th} δίνεται από τη σχέση:

$$I_{th} = I_k'' (m+n)^{1/2}$$

Με το μέγεθος m λαμβάνεται υπόψη η ανάπτυξη θερμότητας λόγω της συνεχούς συνιστώσας του ρεύματος. Το m εξαρτάται από τη διάρκεια βραχυκυκλώσεως T_k και το συντελεστή:

$$k = \frac{I_s}{\sqrt{2}I_k'} = 1,02 + 0,98e^{-3R/X}$$

R/X : ωμική προς επαγωγική αντίσταση της σύνθετης αντίστασης που διαρρέεται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Με το μέγεθος n λαμβάνεται υπόψη η ελάττωση της εναλλασσόμενης συνιστώσας του ρεύματος σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων κοντά σε γεννήτριες. Το n εξαρτάται από τη διάρκεια βραχυκύκλωσης T_k και το λόγο I_k''/I_k .

Σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων μακριά από γεννήτριες είναι $I_k''/I_k=1$, $n=1$.

- Για βραχυκυκλώματα στο δίκτυο ΜΤ ισχύει $k \leq 1,8$. Για διάρκεια βραχυκυκλώσεως $T_k=0,5\text{sec}$ είναι $m \leq 0,12$ και $I_{th} \leq I_k\sqrt{0,12+1}$
- Για την ίδια όμως περιοχή ΜΤ με $k \leq 1,8$ και για $T_k = 0,1 \text{ sec}$ είναι $m \leq 0,5$ και $I_{th} \leq I_k\sqrt{0,5+1}$

Το στάσιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης, σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος, που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος, είναι:

$$I_k = \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3 \cdot \sqrt{R^2 + X^2}}}$$

όπου

c = συντελεστής προσαύξησης, ($c=1,1$ για τη μέγιστη και $0,9$ για την ελάχιστη τάση),

V_n = πολική ονομαστική τάση του δικτύου,

R, X = συνολική ωμική, επαγωγική αντίσταση.

Η ισχύς βραχυκύκλωσης δίνεται από τον τύπο:

$$S = \sqrt{3} * V_n * I_k = c * \frac{V^2}{Z}$$

όπου Z = η σύνθετη αντίσταση του δικτύου.

Κεφάλαιο 10 Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

10.1 Η σημασία του συντελεστή ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος της μεγαλύτερης πλειοψηφίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι επαγωγικός. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ισχύς μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης αποτελείται από την πραγματική ισχύ αλλά και την άεργο ισχύ.

Συγκεκριμένα έχουμε ότι:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

όπου $P = S \cdot \cos\phi$, η ενεργός ή πραγματική ισχύς σε kW

$Q = S \cdot \sin\phi$, η άεργος ή μιγαδική ισχύς σε kVAR

και $\tan\phi = P/Q$

Από τα παραπάνω εύκολα συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερο είναι το $\cos\phi$ δηλαδή όσο επαγωγικότερο είναι το φορτίο τόσο μικρότερη είναι η απορροφούμενη πραγματική ισχύς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα προκειμένου να μεταφέρουμε την ίδια πραγματική ισχύ να απαιτείται μεγαλύτερη τιμή ρεύματος και άρα μεγαλύτερες απώλειες κατά τη μεταφορά της ισχύος, δεδομένου ότι η τάση παραμένει σταθερή.

Επίσης η ενέργεια που πληρώνει ο καταναλωτής στη Δ.Ε.Η. δίνεται από τη σχέση:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

Σε περίπτωση λοιπόν που μια εγκατάσταση έχει μικρό συντελεστή ισχύος ζημιώνει τη Δ.Ε.Η. η οποία προκειμένου να αντιμετωπίσει το παραπάνω γεγονός επιβάλλει στους καταναλωτές τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος όταν αυτός είναι κάτω από 0,85 ή, εάν δεν γίνει η βελτίωση αυτή, ο καταναλωτής πληρώνει την τιμή της πραγματικής ισχύος που κατανάλωσε πολλαπλασιασμένης επί ενός συντελεστή προσαρμογής κ :

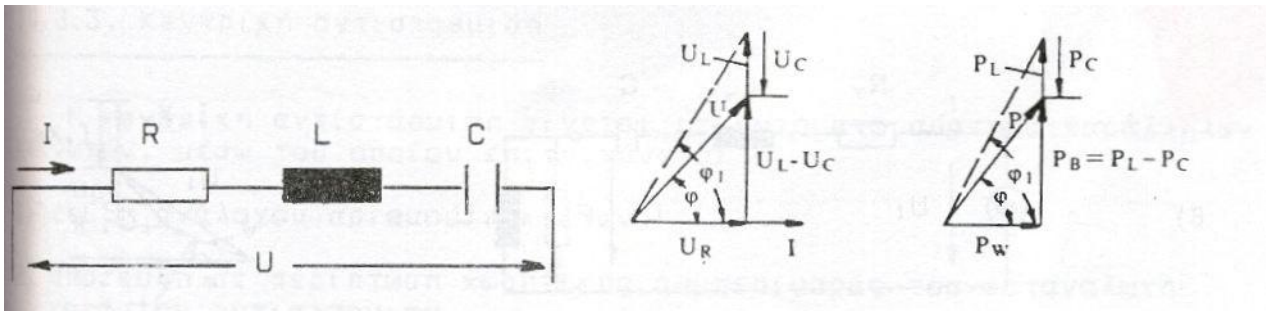
$$\kappa = \cos\phi / \cos\phi_i$$

όπου $\cos\phi = 0.85$

$\cos\phi_i$: ο μετρούμενος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης

10.2 Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος

Ο συνηθέστερος τρόπος βελτίωσης του συντελεστή ισχύος είναι η σύνδεση πυκνωτών. Ο λόγος που η σύνδεση πυκνωτών βοηθάει στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος φαίνεται από τα διανυσματικά διαγράμματα που ακολουθούν.



Σχήμα 10.1 : Επεξήγηση της χωρητικής αντιστάθμισης[4]

Όταν λοιπόν συνδέουμε ένα πυκνωτή σε σειρά με ένα επαγωγικό φορτίο έχουμε βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Η τιμή της ισχύος του πυκνωτή που πρέπει να συνδεθεί δίνεται από τον τύπο:

$$P_C = P_L - P_B = P_W (\operatorname{tg} \phi_L - \operatorname{tg} \phi) = P_W K_\alpha$$

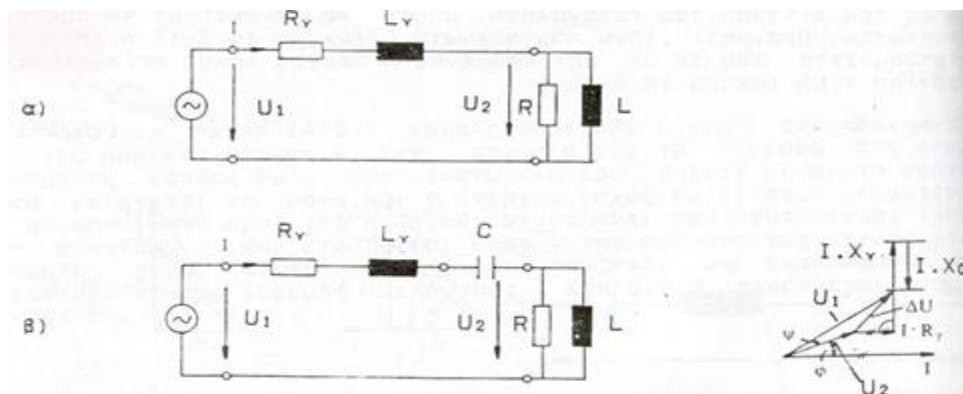
όπου K_α συντελεστής αναπροσαρμογής.

10.3 Είδη χωρητικής αντιστάθμισης

Η χωρητική αντιστάθμιση διακρίνεται σε αντιστάθμιση σειράς και παράλληλη ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του πυκνωτή με το φορτίο και σε κεντρική, ομαδική και τοπική ανάλογα με την περιοχή σύνδεσης του πυκνωτή στο δίκτυο.

10.3.1 Αντιστάθμιση με πυκνωτή συνδεδεμένο σε σειρά

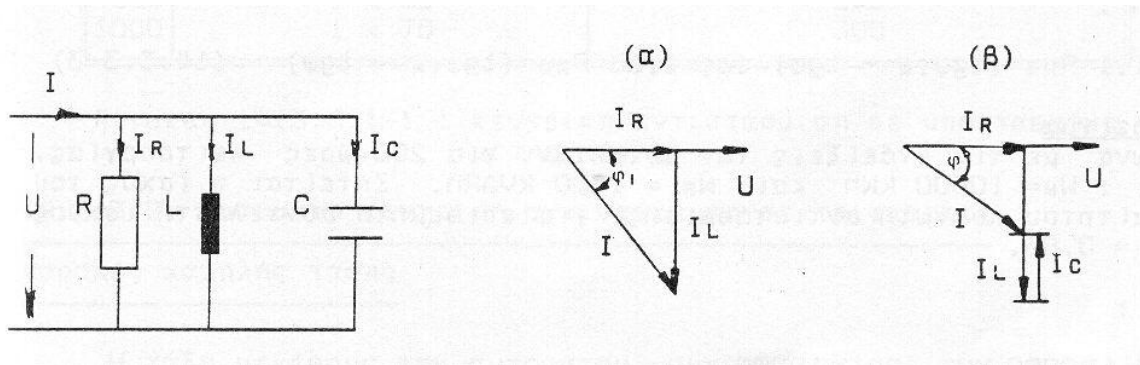
Από το σχήμα και το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται πως το είδος αυτό της αντιστάθμισης οδηγεί στην βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Το είδος αυτό της αντιστάθμισης χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στη ρύθμιση μεταβολών της τάσης στο δίκτυο και για τη διατήρηση της συμμετρίας σε φορτία με μεγάλες μεταβολές.



Σχήμα 10.2: Επεξήγηση της αντιστάθμισης με πυκνωτή σε σειρά[4]

10.3.2 Αντιστάθμιση με πυκνωτή συνδεδεμένοι παράλληλα

Αυτή η μέθοδος της αντιστάθμισης χρησιμοποιείται για την κεντρική ή ομαδική αντιστάθμιση στην πλευρά του καταναλωτή. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό φαίνεται στο σχήμα και το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα που ακολουθούν.



Σχήμα 10.3: Επεξήγηση της αντιστάθμισης με παράλληλο πυκνωτή[4]

10.3.3. Κεντρική αντιστάθμιση

Η εφαρμογή της κεντρικής αντιστάθμισης γίνεται με ένα αυτόματο σύστημα που περιλαμβάνει ορισμένο αριθμό από παράλληλους πυκνωτές. Κάθε φορά περιλαμβάνεται ο αριθμός εκείνος των πυκνωτών που είναι απαραίτητοι για την ρύθμιση του συντελεστή ισχύος στην επιθυμητή τιμή. Η ζεύξη και απόζευξη γίνονται είτε με ένα μικρό κινητήρα κατά τη μέθοδο Ferrarì είτε με ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία όμως υπολείπονται σε ευαισθησία της προηγούμενης μεθόδου.

Προκειμένου να βρούμε την ισχύ που θα έχουν οι πυκνωτές αντιστάθμισης μετράμε για κάποιες μέρες το πηλίκο ενεργού και άεργου ενέργειας $W_B/W_W = \text{tg}\varphi_{lm}$ οπότε

$$P_C = P_{Wm} (\text{tg}\varphi_{lm} - \text{tg}\varphi)$$

όπου P_{Wm} ο μέσος όρος της ενεργού ισχύος

$\text{tg}\varphi$ που καθορίζεται από τον επιθυμητό συντελεστή ισχύος

10.3.3.1.Κεντρική αντιστάθμιση σε υποσταθμό μέσης τάσης

Σε ένα υποσταθμό μέσης τάσης η άεργος ισχύς κυμαίνεται από 4% έως 6% της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή, σε κενό φορτίο, και από 8% έως 12% της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή, σε πλήρες φορτίο. Οι πυκνωτές αντιστάθμισης συνδέονται πάντα από την πλευρά της χαμηλής τάσης. Πιο συγκεκριμένα ένα μικρό μέρος της αντιστάθμισης γίνεται απευθείας στο δευτερεύον του μετασχηματιστή ενώ το υπόλοιπο στους ζυγούς του

γενικού πίνακα χαμηλής τάσης. Ενδεικτικές τιμές αντιστάθμισης δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

P kVA	Συγκρότημα παράλληλων πυκνωτών	
	Μόνιμα στη χαμηλή τάση του μετασχηματιστή σε kVAR	Στους συλλεκτικούς ζυγούς του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης σε kVAR
250	1x10	100
315	1x10	100
400	1x20	150
630	1x50	200
1000	1x70	300

Πίνακας 10.1 : Κεντρική αντιστάθμιση σε υποσταθμούς μέσης τάσης[4]

10.3.4 Ομαδική αντιστάθμιση

Η αντιστάθμιση αυτή γίνεται σε μία ομάδα επαγωγικών φορτίων, όπου υπάρχει το πρόβλημα αύξησης του $\cos\phi$, όπως σε έναν υποπίνακα φωτισμού (λόγω φωτιστικών φθορισμού που δεν έχουν τοπικούς πυκνωτές αντιστάθμισης), στον υποπίνακα κίνησης κάποιων κινητήρων που έχουν μικρό συντελεστή ισχύος κλπ.

10.3.5 Ατομική αντιστάθμιση

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε εγκαταστάσεις φωτισμού με λάμπες φθορισμού, NEON, υδραργύρου και νατρίου.

10.4 Προστασία πυκνωτών

Η προστασία των πυκνωτών αντιστάθμισης γίνεται με ασφάλεια, θερμική ασφάλεια μηχανική αποσύνδεση, υλικά για απαγωγή θερμοκρασίας, συνδυασμό ψυκτρών αποστατών και άφλεκτων μονωτικών υλικών.

Κεφάλαιο 11 Γειώσεις

11.1 Γενικά

Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου με μια εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή ανοιχτή δηλαδή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή ο οποίος χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνων.

Υπάρχουν τρία είδη γειώσεων:

- Γείωση λειτουργίας είναι η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος π.χ η γείωση του ουδέτερου ενός Μ/Σ και η γείωση του ουδέτερου αγωγού του συστήματος. Η γείωση είναι απαραίτητη για να μην εμφανισθούν επικίνδυνες τάσεις στο δίκτυο χαμηλής τάσης.
- Γείωση προστασίας είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος π.χ η γείωση του κελύφους μιας ηλεκτρικής συσκευής. Η γείωση προστασίας μειώνει τις τάσεις επαφής.

Χωρίζεται σε δύο μέρη:

1. Γείωση προστασίας μέσης τάσης
Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού που λειτουργούν με ονομαστική τάση $> 1 \text{ kV}$, τα οποία δεν ανήκουν στο ενεργό κύκλωμα αλλά μπορούν να γίνουν ενεργά σε περίπτωση σφάλματος ή ακόμα και τόξου. Τέτοια είναι ο πίνακας μέσης τάσης, το δοχείο του μετασχηματιστή, οι θωρακίσεις των καλωδίων μέσης τάσης κλπ.
 2. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης
Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού με ονομαστική τάση $< 1 \text{ kV}$, δηλαδή ο πίνακας χαμηλής τάσης, οι θωρακίσεις των καλωδίων χαμηλής τάσης κλπ.
- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας είναι η ανοιχτή ή η συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Τα τρία είδη γειώσεων συνυπάρχουν συνήθως στις εγκαταστάσεις. Μπορεί τα δίκτυα γειώσεων που χρησιμοποιούνται να είναι ταυτόσημα δηλαδή κοινά ή με κοινά ηλεκτρόδια γείωσης και για τα τρία είδη. Προτείνεται οι τρεις γειώσεις να απολήγουν στο ίδιο ηλεκτρόδιο ή στην ίδια εγκατάσταση γείωσης σε ένα κτίριο, όχι όμως σε Υ/Σ.

Το πρότυπο του HD 384 δεν προδιαγράφει υλικά και τρόπους εγκατάστασης γειώσεων. Αναφέρει μόνο απαιτήσεις ή σημεία που πρέπει να προσεχθούν. Ορισμένα απ' αυτά είναι:

- ✓ Το βάθος έμπηξης του γειωτή (ηλεκτροδίου γείωσης) πρέπει να είναι αρκετό ($> 0.5 \text{ m}$) για να έχουμε υγρό αγώγιμο έδαφος και αν αποφεύγεται το πάγωμα του εδάφους που οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση.
- ✓ Απαιτείται μηχανική στιβαρότητα.

- ✓ Ηλεκτροχημικές δράσεις και διάβρωση οδηγούν σε καταστροφή του γειωτή. Ο συνδυασμός του μετάλλου, του εδάφους και των παρακειμένων θαμμένων αγωγών παίζει ρόλο.
- ✓ Η θερμοκρασία και η υγρασία μειώνουν την αντίσταση γείωσης ανάλογα με την κάθε εποχή του έτους.
- ✓ Επιτρέπεται η χρήση των σωλήνων ύδρευσης όχι όμως των σωλήνων άλλων μέσων, όπως καύσιμα κλπ, σαν γειωτών.
- ✓ Προφανώς η ειδική αντίσταση του μετάλλου του γειωτή δεν παίζει ρόλο στην αντίσταση γείωσης δηλαδή η αντίσταση αυτή δεν εξαρτάται από το υλικό του γειωτή.

11.2 Είδη ηλεκτροδίων γείωσης

Τα ηλεκτρόδια γείωσης συνήθως είναι:

11.2.1. Γειωτής ράβδου

Είναι σωλήνας ονομαστικής διαμέτρου μεγαλύτερης της μίας ίντσα ή μία ράβδος στρογγυλή ή προφίλ από γαλβανισμένο χάλυβα, π.χ. U, L, T ή I- προφίλ. Η ράβδος τοποθετείται κατακόρυφα ή λοξά ως προς την κατακόρυφο στο έδαφος σε βάθος, π.χ. 2.5m με σφυρί χεριού, ή με μηχανικό σφυρί. Το κάτω μέρος διαμορφώνεται σαν ακίδα για να οδηγείται καλύτερα στο έδαφος. Η αντίσταση γείωσης είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του βάθους. Η αντίσταση δεν εξαρτάται σημαντικά από το πάχος ή τη διάμετρο της ράβδου. Εφόσον το επιτρέπει η μηχανική αντοχή, προτείνονται ηλεκτρόδια χαλκού ή επιμολυβδωμένα ηλεκτρόδια, γιατί αντέχουν στη διάβρωση.

11.2.2. Γειωτής ταινίας ή συρματόσχοινο

Ταινία ή συρματόσχοινο που τοποθετείται σε χαντάκι βάθους τουλάχιστον 0.5 m. Το βάθος που προτιμάται είναι 0,7-1.0 m, για να υπάρχει υγρό έδαφος. Η ταινία μπορεί να είναι χάλυβας γαλβανισμένος ή επιχαλκωμένος. Χρησιμοποιούνται επίσης χάλκινες ταινίες. Η ταινία μπορεί να τοποθετηθεί ευθύγραμμα ή κυκλικά γύρω από την εγκατάσταση. Η τελευταία γείωση λέγεται γειωτής βρόγχου. Η αντίσταση είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη του μήκους. Για το ίδιο μήκος ταινίας ο ευθύγραμμος γειωτής έχει μικρότερη αντίσταση από τον κυκλικό. Δε συνιστάται συρματόσχοινο αντί ταινίας σαν ηλεκτρόδιο γείωσης, αν και το επιτρέπει το ΕΛΟΤ HD384, γιατί διαβρώνεται εύκολα.

11.2.3. Γειωτής πλάκας

Πρόκειται για πλάκα μορφής παραλληλογράμμου, π.χ. 0.5x0.5m, η οποία ενταφιάζεται στο έδαφος με την επιφάνειά της κατακόρυφη. Το πάνω μέρος της βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο του ενός μέτρου. Το υλικό κατασκευής μπορεί να είναι γαλβανισμένος χάλυβας με πάχος μεγαλύτερο των 3 mm ή χαλκός ή μόλυβδος με πάχος μεγαλύτερο των 2 mm.

11.2.4. Γειωτής ακτινικός

Είναι ταινίες ή ράβδοι που διαμορφώνονται υπό μορφή αστέρα με πολλές ακτίνες. Ο αστέρας βρίσκεται σε οριζόντια θέση, ενταφιασμένος σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι όμοια, όπως στον γειωτή ταινίας.

11.2.5. Γειωτής πλέγματος

Πλέγμα από ταινίες με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 3 - 7 m τοποθετείται οριζόντια σε βάθος 0,5 – 1,0 m. Τα ελάχιστα πάχη είναι όπως στους γειωτές ταινίας. Το πλεονέκτημα των γειωτών πλέγματος είναι ότι οι βηματικές τάσεις στο έδαφος, επάνω από το πλέγμα, είναι αμελητέες. Επιτρέπονται, προφανώς, και ανοίγματα μικρότερα από 3 m. Αυτά όμως δεν έχουν μικρότερες βηματικές τάσεις από ότι πλέγματα με ανοίγματα 3 m.

11.2.6. Το δίκτυο ύδρευσης σαν γειωτής

Επιτρέπεται κατά το ΕΛΟΤ HD384, χωρίς ιδιαίτερη άδεια, η χρησιμοποίηση μεταλλικών δικτύων ύδρευσης ως γειωτών για εγκαταστάσεις με τάσεις ως προς γη μικρότερες των 250V, εφόσον υπάρχει η συγκατάθεση του Οργανισμού Ύδρευσης. Πάνω από αυτές τις τάσεις χρειάζεται ειδική άδεια από τον Οργανισμό Ύδρευσης.

11.2.7 Θεμελιακή γείωση

Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων και είναι ένας κλειστός βρόχος. Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρό όλο το έτος συνήθως, ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά μικρή αντίσταση γείωσης. Τιμές των 2 Ω ή μικρότερες δεν είναι σπάνιες ενώ σε συνήθειες πασαλογειωτές έχουμε περί τα 30 Ω. Ο αγωγός του γειωτή μπορεί να είναι :

- Ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστων διαστάσεων 30x3.5 mm ή 25x4 mm
- Βέργα γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 10 mm.

Το χαλύβδινο ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο περιμετρικό θεμέλιο του κτηρίου. Σε περιπτώσεις που υπάρχει μόνωση κατά της υγρασίας, πρέπει το ηλεκτρόδιο να τοποθετείται προς τη πλευρά του εδάφους. Για μεγάλες διαστάσεις των κτιρίων >10m συνιστώνται και εγκάρσιες συνδέσεις του περιμετρικού γειωτή όπως στο Σχ.6.9 έτσι ώστε κανένα σημείο του υπογείου να μην απέχει πάνω από 10 m από τον γειωτή. Ο γειωτής πρέπει να περιβάλλεται παντού από δομημένο συμπυκνωμένο σκυρόδεμα. Τοποθετείται σε ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5 cm γιατί αλλιώς διαβρώνεται. Μετά από την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μια στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10 cm . Εκεί πάνω τοποθετείται η μία ταινία με την πλατιά της πλευρά όρθια ή μια χαλύβδινη βέργα κυκλικής διατομής. Στη συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και ακολούθως εκχύνεται γεμίζοντας με σκυρόδεμα όλο το θεμέλιο. Η τοποθέτηση του γειωτή μέσα στο σκυρόδεμα στη βάση των θεμελίων εξασφαλίζει αντοχή στη διάβρωση και στις μηχανικές καταπονήσεις. Επιπλέον ο γειωτής είναι σε υγρό έδαφος όπου η αγωγιμότητα είναι μεγάλη. Συνίσταται να συνδέεται στον γειωτή ο οπλισμός του σκυροδέματος του κτηρίου. Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή. Το μήκος τους

είναι 1,5 m κατά VDE 0100 και τοποθετούνται στον τοίχο του κτιρίου εσωτερικά. Η απόληξη απέχει στο κάτω μέρος της στην έξοδό της από τον τοίχο, 30cm από το έδαφος. Η σύνδεση με την υπόλοιπη εγκατάσταση γίνεται με χάλκινο αγωγό διατομής 16mm². Αν υπάρχει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, συνδέεται αυτό στη θεμελιακή γείωση και τα αλεξικεύρανα ενδεχομένως μέσω σπινθηριστών.

11.3 Η αντίσταση γείωσης

Αντίσταση γείωσης είναι η αντίσταση από το ηλεκτρόδιο γείωσης μέχρι την άπειρη γη, όταν δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Άπειρη γη είναι ένα σημείο στην επιφάνεια σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή. Λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς των δυναμικών και θεωρείται ότι είναι μηδέν. Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση V ως προς την άπειρη γη, δημιουργείται ένα πεδίο ροής και δυναμικού γύρω από τον γειωτή. Όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από τον γειωτή τόσο μειώνεται η τάση. Το διάγραμμα τάσης - απόστασης ονομάζεται χοάνη δυναμικού του γειωτή. Από τη χοάνη δυναμικού μπορούμε να διαπιστώσουμε την τάση επαφής και τη βηματική τάση. Η τάση επαφής είναι ίση με την πτώση τάσης σε απόσταση στο έδαφος μήκους 1 m από τον γειωτή. Η βηματική τάση είναι η μέγιστη πτώση τάσης σε μήκος 1 m κατά μήκος του πεδίου ροής του ρεύματος στην περιοχή του εδάφους που μας ενδιαφέρει. Η χοάνη δυναμικού δίνει επίσης την περιοχή επίδρασης του γειωτή ή την απόσταση της άπειρης γης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χοάνη δυναμικού δεν εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους εφόσον φυσικά το έδαφος είναι ομοιογενές. Εξαρτάται μόνο από τη γεωμετρία του γειωτή. Η χοάνη χρησιμοποιείται επίσης για να εκτιμήσουμε το σφάλμα στη μέτρηση της αντίστασης γειωτών.

Η αντίσταση γείωσης εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους. Αυτή επηρεάζεται από τα εξής:

- Είδος του εδάφους. Ελώδες έδαφος έχει π.χ. πολύ μικρότερη αντίσταση απ' ότι ο ξηρός βράχος.
- Υγρασία. Η αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται η υγρασία του εδάφους.
- Θερμοκρασία. Η μεταβολή της αντίστασης του εδάφους με τη θερμοκρασία φτάνει περίπου τα 30% κατά τη διάρκεια του έτους.
- Μορφή της τάσης. Σε κρουστικές τάσεις και για γειωτές με μήκος μεγαλύτερο από τα 10 m έχει παρατηρηθεί άνοδος της αντίστασης.
- Έχει μετρηθεί ότι η επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη σε μικρά βάθη (0.5-1m) παρά σε μεγάλα βάθη. Έτσι ο γειωτής ράβδου που είναι σε μεγάλο βάθος σε σύγκριση με ένα επιφανειακό γειωτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερότητας της αντίστασης κατά τη διάρκεια του έτους.

11.4 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων

Κάθε σύστημα σύνδεσης γειώσεων, βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, συμβολίζεται με δύο γράμματα και σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ένα ή δύο γράμματα επιπλέον.

Το πρώτο γράμμα αφορά στη σχέση των ενεργών μερών του συστήματος τροφοδότησης με τη γη και χαρακτηρίζει τον τρόπο γείωσης του ουδετέρου:

T = Άμεση σύνδεση ουδετέρου με τη γη,

I = Όλα τα ενεργά μέρη απομονωμένα από τη γη ή ένα σημείο συνδεδεμένο με τη γη μέσω μιας σύνθετης αντίστασης σημαντικής τιμής.

Το δεύτερο γράμμα αφορά τη στη σχέση των εκτεθειμένων αγώγιμων μερών της εγκατάστασης προς τη γη και χαρακτηρίζει των τρόπο γείωσης αυτών:

T = Άμεση ηλεκτρική σύνδεση των εκτεθειμένων αγώγιμων μερών με τη γη, ανεξάρτητα από τη γείωση του ουδετέρου του συστήματος τροφοδότησης.

N = Άμεση ηλεκτρική σύνδεση των εκτεθειμένων αγώγιμων μερών με τον ουδέτερο του συστήματος τροφοδότησης.

Λέγοντας άμεση σύνδεση εννοούμε ότι δεν παρεμβάλλεται καμία ηθελημένη αντίσταση. Στην περίπτωση άμεσης σύνδεσης με τη γη, η μόνη αντίσταση που παρεμβάλλεται αναπόφευκτα είναι η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου γείωσης.

Τα επόμενα γράμματα, αν υπάρχουν, αφορούν στη σχέση του ουδετέρου και του αγωγού προστασίας.

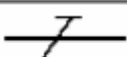

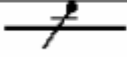
S = Η προστασία εξασφαλίζεται από ιδιαίτερο αγωγό προστασίας διαφορετικό από τον ουδέτερο.

C = Οι λειτουργίες ουδετέρου και αγωγού προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό (αγωγός PEN).

Τα συστήματα σύνδεσης γειώσεων που χρησιμοποιούνται ,όπως περιγράφονται στο πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384, είναι:

- Σύστημα σύνδεσης TN

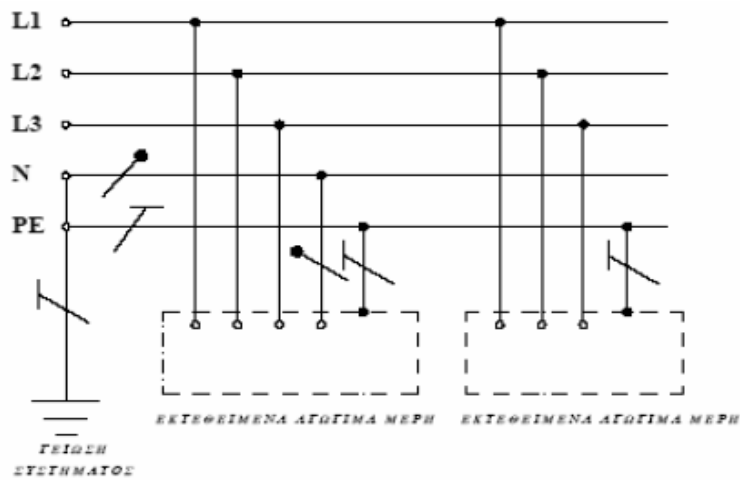
Τα δίκτυα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα TN, έχουν τον ουδέτερο άμεσα γειωμένο προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με τον ουδέτερο μέσω του αγωγού προστασίας. Υπάρχουν τρεις μορφές συνδεσμολογίας του συστήματος σύνδεσης γειώσεων TN ανάλογα με τη σχέση του ουδετέρου και του αγωγού προστασίας.

	ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (PE)
	ΟΥΔΕΤΕΡΟΣ ΑΓΩΓΟΣ (N)
	ΑΓΩΓΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΟΥΔΕΤΕΡΟΣ ΜΑΖΙ (PEN)

Σχήμα 11.1
Σύμβολα αγωγών[1]

➤ Σύστημα TN-S

Στο σύστημα TN-S ο ουδέτερος (N) και ο αγωγός προστασίας (PE) είναι χωριστοί (S=separated), όπως φαίνεται στο σχήμα 11.2.



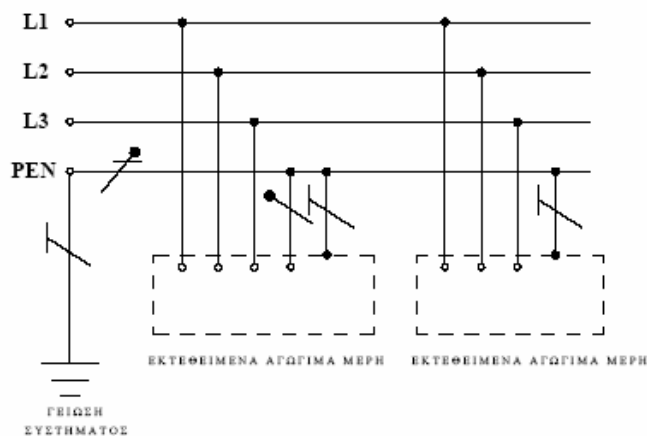
Χωριστοί ουδέτερος και αγωγός προστασίας σε όλο το σύστημα

Σχήμα 11.2

Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-S [1]

➤ Σύστημα TN-C

Στο σύστημα TN-C οι λειτουργίες του ουδετέρου (N) και του αγωγού προστασίας (PE) συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό (PEN) σε ολόκληρο το σύστημα (C=common) όπως φαίνεται στο σχήμα 11.3.



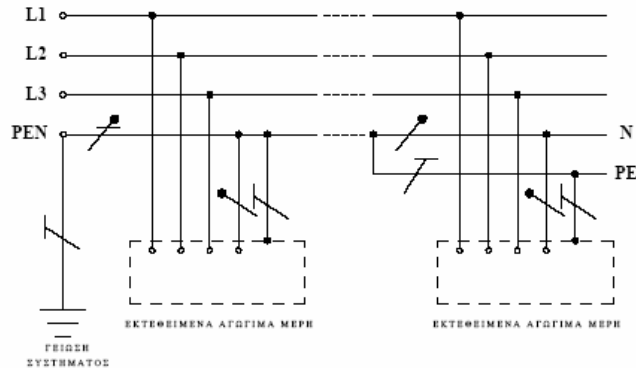
Οι λειτουργίες ουδετέρου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ολόκληρο το σύστημα

Σχήμα 11.3

Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C [1]

➤ Σύστημα TN-C-S

Στο σύστημα TN-C-S οι λειτουργίες του ουδέτερου (N) και του αγωγού προστασίας (PE) συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό (PEN) σε ένα μόνο μέρος του συστήματος, ενώ στο υπόλοιπο σύστημα οι αγωγοί N και PE είναι χωριστοί όπως φαίνεται και στο σχήμα 11.4.



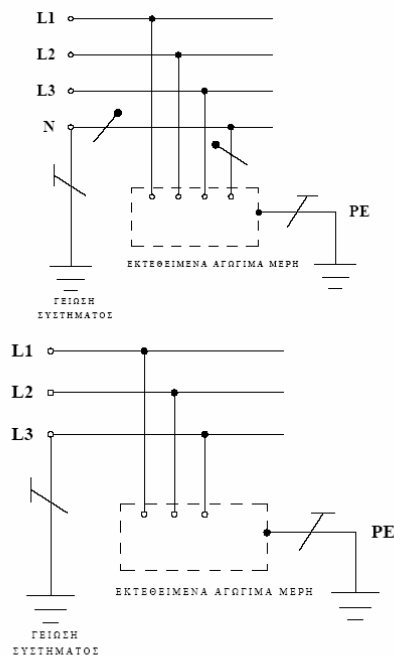
Οι λειτουργίες ουδέτερου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος

Σχήμα 11.4

Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C-S [1]

➤ Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TT

Τα συστήματα τροφοδότησης, στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα TT, έχουν τον ουδέτερο άμεσα γειωμένο προς τη γη, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται με ηλεκτρόδια γείωσης ηλεκτρικώς ανεξάρτητα από τη γείωση του συστήματος τροφοδότησης όπως φαίνεται στο σχήμα 11.5.



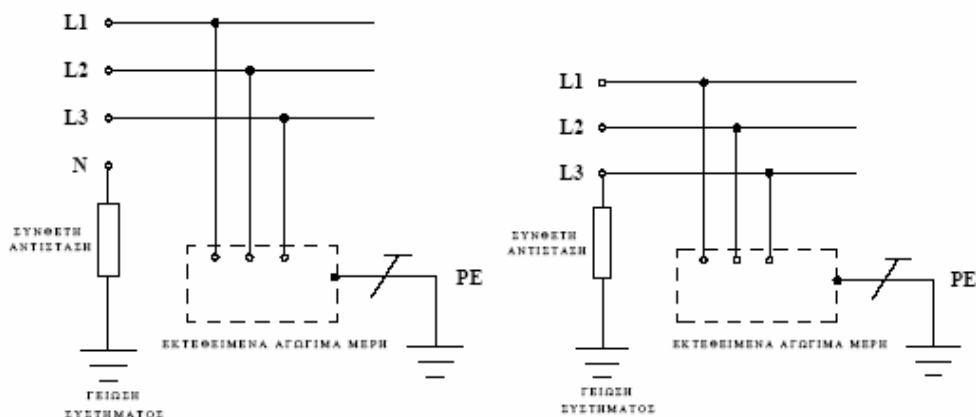
Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

Σχήμα 11.5

Συστήματα σύνδεσης γειώσεων TT [1]

➤ Σύστημα σύνδεσης γειώσεων IT

Στο σύστημα αυτό όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη, μέσω μιας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής, ενώ τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη της εγκατάστασης είναι γειωμένα όπως φαίνεται στο σχήμα 11.6.



Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

Σχήμα 11.6

Σύστημα σύνδεσης γειώσεων IT

11.5 Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας

Ο άνθρωπος μπορεί να υποστεί ηλεκτροπληξία όταν έρθει σε επαφή με δύο μεταλλικά ή αγώγιμα μέρη που έχουν διαφορά δυναμικού. Αυτά είναι κυρίως:

- Οι ενεργοί αγωγοί ενός κυκλώματος δηλαδή οι αγωγοί φάσεων ή ο ουδέτερος με τη γη ή με γειωμένα αντικείμενα
- Τα εκτεθειμένα, προσβάσιμα μεταλλικά μέρη όπως τα μεταλλικά κελύφη συσκευών, π.χ. το περίβλημα μιας ηλεκτρικής κουζίνας που έχει βραχυκυκλωθεί με ένα ενεργό αγωγό, με τη γη ή με γειωμένα αντικείμενα.

Ηλεκτροπληξία δηλαδή επέρχεται με άμεση ή έμμεση επαφή του ανθρώπου με ένα κύκλωμα. Άμεση επαφή έχουμε όταν ακουμπήσει κάποιος ένα ηλεκτροφόρο αγωγό ενώ στέκεται στο έδαφος. Έμμεση επαφή έχουμε όταν λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταλλικά αγεώτα μέρη βρεθούν υπό τάση οπότε η επαφή μαζί τους μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία. Επικίνδυνη επίσης έμμεση επαφή θεωρείται αν λόγω καταστραμμένης μόνωσης μεταλλικά προσβάσιμα μέρη όπως π.χ. σωλήνες τεθούν υπό τάση ενώ δίπλα τους βρίσκονται μεταλλικά γειωμένα αντικείμενα. Έτσι ακουμπώντας κανείς τα δύο αυτά μεταλλικά μέρη, τα γεφυρώνει και τίθεται υπό τάση. Μία άλλη περίπτωση ηλεκτροπληξίας με άμεση επαφή είναι όταν μετά από σφάλμα στην εγκατάσταση τα ρεύματα που ρέουν προς τη γη επάγουν μεγάλες πτώσεις τάσης στο έδαφος. Ένα άτομο που πατάει στο έδαφος, κοντά στο σημείο που έχει γίνει το σφάλμα, υποβάλλεται σε μια τάση μεταξύ των ποδιών του, τη βηματική τάση, η οποία μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροπληξία. Το μέγεθος που καθορίζει την ηλεκτροπληξία είναι η τάση

επαφής V_T και είναι η τάση που εμφανίζεται μεταξύ δυο αγώγιμων μερών. Τα μέτρα που εφαρμόζονται διεθνώς έναντι της ηλεκτροπληξίας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μηδενική τάση επαφής εξασφαλίζεται με τα εξής μέσα:
 - Ισχυρή μόνωση
 - Φράγματα ή περιβλήματα
 - Εμπόδια
 - Χωροθέτηση σε απρόσιτη θέση
 - Χώροι με μη αγώγιμο δάπεδο
 - Χώροι με ισοδυναμικές συνδέσεις
 - Αγείωτα συστήματα (γαλβανικά απομονωμένα)
- Χρήση πολύ χαμηλών τάσεων
Δηλαδή για τάσεις λειτουργίας αρκετά κάτω από τα 50 V AC ή 120V DC. Οι τιμές αυτές πρέπει να εξασφαλίζονται και σε ανώμαλες καταστάσεις.
- Ταχεία απόξευση επικίνδυνων τάσεων
Τα πρότυπα HD 384 καθορίζουν τα μέτρα αυτά προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας και ισχύουν σε όλη την Ε.Ε. Στην ελληνική νομοθεσία επιβάλλονται οι τρόποι προστασίας από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.

11.5.1 Προστασία έναντι άμεσης επαφής

Η προστασία των ατόμων έναντι ηλεκτροπληξίας σε άμεση επαφή τους με τα ενεργά μέρη μιας εγκατάστασης ΧΤ πρέπει να εξασφαλίζεται με συγκεκριμένα μέτρα ως ακολούθως:

- Μόνωση ενεργών αγωγών έτσι ώστε να αντέχουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες π.χ. στη θερμική, ηλεκτρική, μηχανική ή άλλες καταπονήσεις.
- Περιβλήματα ή φράγματα.
- Εμπόδια που δεν επιτρέπουν την ακούσια επαφή με τα υπό τάση μέρη.
- Εγκατάσταση σε απρόσιτη θέση που δεν επιτρέπουν την ακούσια επαφή με υπό τάση στοιχεία.

Οι δύο τελευταίες μέθοδοι εφαρμόζονται από ειδικευμένο προσωπικό. Δεν εξασφαλίζουν πλήρη προστασία γι' αυτό πρέπει να εφαρμόζονται σε ελεγχόμενους χώρους όπως είναι οι υποσταθμοί. Οι δύο πρώτες μέθοδοι εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις δηλαδή και από ανειδίκευτα άτομα. Στα υπο προστασία κυκλώματα συνίσταται η επικουρική προστασία, σε άμεση επαφή, με τη χρήση διαφορικού διακόπτη ρεύματος.

11.5.2 Προστασία έναντι έμμεσης επαφής

Επικίνδυνη έμμεση επαφή προέρχεται από την καταστροφή ή ανεπάρκεια της κύριας μόνωσης, οπότε τμήματα υπό τάση μπορεί να έλθουν σε επαφή με προσβάσιμα μεταλλικά μέρη και στη συνέχεια με το ανθρώπινο σώμα προκαλώντας ηλεκτροπληξία. Αυτά είναι:

- Εξωτερικά εκτιθέμενα, αγώγιμα τμήματα ηλεκτρικών συσκευών όπως για παράδειγμα το βραχυκύκλωμα φάσης προς το μεταλλικό κέλυφος μιας ηλεκτρικής κουζίνας.
- Ξένα αγώγιμα τμήματα, π.χ. η σωλήνα της κεντρικής θέρμανσης, ένα μεταλλικό παράθυρο.

Οι μέθοδοι προστασίας είναι οι εξής:

1. Η αποσύνδεση της τροφοδότησης του σφάλματος
2. Η χρήση υλικού με διπλή ή ενισχυμένη μόνωση
3. Η χρήση μη αγώγιμων χώρων για τη εγκατάσταση
4. Η χρήση αγείωτων ισοδυναμικών συνδέσεων
5. Ο ηλεκτρικός, γαλβανικός διαχωρισμός

11.6 Προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας σε σφάλματα σε Υ/Σ

Βραχυκυκλώματα στο δίκτυο ΜΤ επηρεάζουν σημαντικά τις τάσεις που διαμορφώνονται στο δίκτυο ΧΤ αν αυτά συμβαίνουν μεταξύ φάσης και γης εντός του Υ/Σ. Οι επιπτώσεις των σφαλμάτων αυτών είναι:

- Καταπόνηση των μονώσεων του Μ/Σ και των συσκευών ΧΤ
- Επικίνδυνες τάσεις επαφής στους καταναλωτές ΧΤ

Η προστασία στον Υ/Σ διασφαλίζεται με Η/Ν γης, οι οποίοι τοποθετούνται στις γραμμές αναχώρησης ΜΤ από τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ). Επιπρόσθετα, στην περίπτωση συστημάτων TN-S, τοποθετούνται εγκαταστάσεις γειώσεων εντός του Υ/Σ. Οι επιτρεπόμενες τιμές γείωσης εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες:

- Κοινή γείωση R_k
- Μη κοινές γειώσεις R_{MT}, R_{XT}

➤ Κοινή γείωση Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ και ΧΤ σε σύστημα γειώσεων TN-S.

Σε κοινή γείωση του μεταλλικού του Μ/Σ και του ουδέτερου του δικτύου ΧΤ δεν υπάρχει καταπόνηση της μόνωσης, επάγεται όμως τάση μεταξύ ουδέτερου και γης, η οποία μπορεί να είναι επικίνδυνη για τους καταναλωτές ΧΤ. Σε περίπτωση σφάλματος φάσης –γης, στον Υ/Σ, το ρεύμα σφάλματος ρέει μέσω της κοινής γείωσης και περνά στον ουδέτερο του δικτύου ΧΤ επάγοντας τάση μεταξύ ουδέτερου και γης $V_{NG} = I_f \cdot R_{GT}$ όπου I_f το ρεύμα σφάλματος και R_{GT} η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου του Μ/Σ. Αν τότε γίνει σφάλμα μεταξύ ουδέτερου και κελύφους μιας μεταλλικής συσκευής ενός καταναλωτή ΧΤ το ρεύμα σφάλματος περνά στο κέλυφος, δεν αναγνωρίζεται όμως από τους Δ/Ι της φάσης διότι είναι μικρό λόγω της αντίστασης σφάλματος, και έτσι επάγει επικίνδυνες τάσεις επαφής μεταξύ του μεταλλικού κελύφους της συσκευής και της γης. Επειδή οι αντιστάσεις των αγωγών ουδέτερου του δικτύου ΧΤ και προστασίας των καταναλωτών είναι πολύ μικρότερες των αντιστάσεων των ηλεκτροδίων γείωσης του Υ/Σ αλλά και των καταναλωτών ΧΤ γι' αυτό θα ισχύει:

$$V_T = V_{NG} = I_f \cdot R_{GT},$$

δηλαδή δημιουργείται επικίνδυνη τάση επαφής στη ΧΤ.

Χρησιμοποιώντας την καμπύλη του Η/Ν γης της ΔΕΗ, που βρίσκεται στις γραμμές αναχώρησης ΜΤ μετά τους ζυγούς ΜΤ των Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ, προκύπτουν οι διάφορες τάσεις επαφής που επάγονται για διάφορες τιμές των αντιστάσεων του ηλεκτροδίου γείωσης του Μ/Σ και οι χρόνοι επιβολής των τάσεων αυτών. Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι τα παραπάνω

ισχύουν όταν δεν υπάρχουν συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις που να εξασφαλίζουν ότι το έδαφος έχει το δυναμικό του ουδέτερου. Βλέπουμε ότι δίχως την ισοδυναμική σύνδεση του ουδέτερου με την γη η προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας στη ΧΤ γίνεται μόνο με ρυθμίσεις του Η/Ν γης της ΔΕΗ και επιλογής των αντιστάσεων γείωσης του ουδέτερου του Μ/Σ στον Υ/Σ που δεν είναι απολύτως σαφή. Αν χρησιμοποιηθεί όμως η ισοδυναμική σύνδεση του ουδέτερου τότε:

Η $V_{NG'}$ που εφαρμόζεται μεταξύ του γειωμένου ουδέτερου και γης στην είσοδο μιας εγκατάστασης με σύστημα γείωσης TN-S είναι

$$V_{NG'} = V_0 \frac{R_{GN}}{R_{GN} + R_{GP}}$$

Όπου R_{GN} είναι η συνισταμένη αντίσταση όλων των αντιστάσεων γείωσης του ουδέτερου αγωγού κατά μήκος του δικτύου και R_{GP} η αντίσταση γείωσης του καταναλωτή. Η τάση αυτή εφαρμόζεται μεταξύ κελύφους – γης της εγκατάστασης επάγοντας τάση επαφής $V_T = V_{NG'}$ (όπου η πτώση τάση στον αγωγό προστασίας PE έχει αμεληθεί λόγω της μικρής τιμής αντίστασης του). Στην περίπτωση αυτή η προστασία, έναντι ηλεκτροπληξίας στη ΧΤ, επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση του ΔP και κατάλληλη επιλογή της αντίστασης γείωσης του καταναλωτή με την προϋπόθεση πάντα ότι υπάρχει, στην εγκατάσταση ΧΤ ισοδυναμική σύνδεση του ουδέτερου με τη γη. Η κοινή γείωση MT-ΧΤ εφαρμόζεται σε Υ/Σ όπου εκτός των εγκαταστάσεων της MT υπάρχει και κατανάλωση ΧΤ μέσα στην ίδια περιοχή με σύστημα TN-S. Εκεί επιβάλλεται κοινή γείωση και ισοδυναμική σύνδεση με σύνδεση στο πλέγμα του δαπέδου.

- Χωριστές γειώσεις Υ/Σ MT-ΧΤ και ΧΤ σε σύστημα γειώσεων TN-S.

Αυτή είναι η περίπτωση όπου δεν μπορεί να επαχθεί τάση μεταξύ ουδέτερου του δικτύου και γης. Το ρεύμα σφάλματος ρέει κατευθείαν προς τη γη οπότε δεν γίνεται επικίνδυνο για τους καταναλωτές στη ΧΤ. Καταπονείται όμως η μόνωση του συστήματος ΧΤ λόγω του ρεύματος σφάλματος που ρέει προς τα μεταλλικά αγωγίμα μέρη της MT. Έτσι επάγεται τάση

$$V_1 = I_f * R_{GT} + V_0$$

μεταξύ του γειωμένου κελύφους του Μ/Σ και των ενεργών αγωγών της ΧΤ στο δευτερεύοντου Μ/Σ που μπορεί να καταστρέψει τη μόνωσή του. Η καταστροφή της μόνωσης μπορεί να αποφευχθεί με ένα απαγωγέα τάσεων συνδεδεμένο μεταξύ ουδέτερου ΧΤ και μεταλλικών μερών της MT. Οι ξεχωριστές γειώσεις της MT και ΧΤ δεν συζεύγονται όταν απέχουν πάνω από 20 m μεταξύ τους. Πρέπει η αντίσταση γείωσης του Υ/Σ MT-ΧΤ να πληρεί τις συνθήκες

$$I_f * R_{GT} < 250V \text{ για } t_d > 5\text{sec}$$

$$I_f * R_{GT} < 1200V \text{ για } t_d < 5\text{sec}$$

Κεφάλαιο 12 Μελέτη για την ηλεκτροδότηση μηχανουργείου

12.1 Πρόβλημα

Στη μελέτη που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαδικασία επιλογής των μέσων εκείνων που είναι αναγκαία για την ηλεκτροδότηση ενός μηχανουργείου. Εντός του μηχανουργείου υπάρχουν εργαλειομηχανές κοπής και διαμορφώσεως, κάθε μία εκ των οποίων έχει έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Σε κάθε μηχανή παραγωγής έργου υπάρχει Υποπίνακας Κίνησης, από τον οποίο ελέγχεται και προστατεύεται η λειτουργία του κινητήρα της. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου κλωβού που εξυπηρετούν το φορτίο των μηχανών. Η ισχύς φωτισμού της εγκατάστασης είναι 10 kW. Τα φωτιστικά κυκλώματα αποτελούνται από λαμπτήρες φθορισμού με διάταξη διόρθωσης του συντελεστή ισχύος τους ($\cos\phi=1$).

Μηχανές	Ονομαστική τάση (V) / Συχνότητα (Hz)	Ισχύς κινητήρα (kW)	Βαθμός απόδοσης $\eta(\%)$	Συντελεστής ισχύος $\cos\phi$
1	400 / 50	11	88	0,84
2	400 / 50	11	88	0,84
3	400 / 50	11	88	0,84
4	400 / 50	15	89	0,85
5	400 / 50	15	89	0,85
6	400 / 50	75	94,3	0,86
7	400 / 50	90	94,6	0,86
8	400 / 50	4	83	0,8
9	400 / 50	4	83	0,8
10	400 / 50	4	83	0,8

Πίνακας 12.1

Βασικά χαρακτηριστικά τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου κλωβού ανά μηχανή της εγκατάστασης

Παράλληλα επιλέγονται τα μέσα προστασίας της γραμμής τροφοδοσίας και των κινητήρων με τις απαιτήσεις του προτύπου HD384. Επίσης προσδιορίζεται ο Μ/Σ που θα χρησιμοποιηθεί για την ζεύξη του Υ/Σ με το δίκτυο και προσδιορίζονται τα κατάλληλα μέσα προστασίας του Μ/Σ. Υπολογίζονται ακόμη τα πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης που μπορούν να εμφανιστούν στο πρωτεύον και στο δευτερεύον του Μ/Σ. Προσδιορίζεται η αναγκαία εγκατάσταση γείωσης του Υ/Σ με γνώμονα το είδος της παροχής ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προστασία των ατόμων από τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Επίσης καθορίζεται το κατάλληλο μέγεθος πυκνωτών που θα χρησιμοποιηθούν για την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος της εγκατάστασης. Ακόμη επιλέγεται το καλώδιο παροχής για την σύνδεση του Υ/Σ με το δίκτυο, βάσει του προτύπου HD384, όπως και το μέσο προστασίας του.

Τα δεδομένα του μηχανουργείου είναι:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 35 °C

- Θερμοκρασία εδάφους 25 °C
- Στεγασμένη εγκατάσταση.
- Υψόμετρο 100 m.
- Θεωρούμε εκκίνηση του κινητήρα απευθείας.

Τα καλώδια MT μέχρι τον πίνακα MT είναι ενταφιασμένα κάτω από τούβλα καθώς και από τον πίνακα MT μέχρι τον Μ/Σ. Τα καλώδια ΧΤ είναι στον αέρα πάνω σε διάτρητες σχάρες μέχρι τον πίνακα ΧΤ. Από τον πίνακα ΧΤ έως τους κινητήρες τα καλώδια διοχετεύονται πάνω σε διάτρητες σχάρες έως τους πίνακες κίνησης κάθε κινητήρα, όπως και τα καλώδια φωτισμού.

Καλώδια	Μήκος καλωδίων (m)
Παροχή MT	80
Πίνακας MT – Μ/Σ	3
Μ/Σ – Πίνακας ΧΤ	2
Φωτισμού	22
Μηχανές 1,2,3	24
Μηχανές 4,5	25
Μηχανή 6	28
Μηχανή 7	26
Μηχανές 8,9,10	30

Πίνακας 12.2

Μήκος καλωδίων της εγκατάστασης

12.2 Υπολογισμός των διατομών των καλωδίων ΧΤ

12.2.1 Υπολογισμός των διατομών των καλωδίων ΧΤ των κινητήρων

Αναλυτικά θα υπολογίσουμε τις διατομές των καλωδίων για την μηχανή 6 με κινητήρα των 75 kW με μήκος 28 m, που βρίσκονται σε διάτρητη σχάρα. Το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{75000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,86 \cdot 0,943} = 133,48 \text{ A}$$

Προσαυξάνουμε το ρεύμα που υπολογίστηκε για να ληφθεί υπόψη το ρεύμα εκκίνησης το κινητήρα κατά 25%:

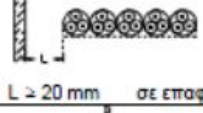
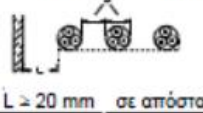
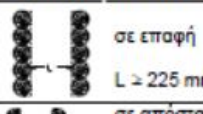
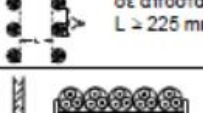
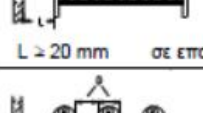
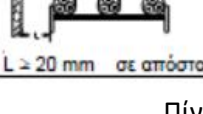
$$I_{\max} = 1,25 \cdot 133,48 = 166,86 \text{ A}$$

Η παραπάνω τιμή πρέπει να διορθωθεί προκειμένου να βρούμε την κατάλληλη διατομή του καλωδίου σύμφωνα με τον τύπο $I_{\max} = I_0 \cdot n_1 \cdot n_2$, όπου n_1 είναι συντελεστής διόρθωσης για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Πίνακας 12.3) και για θερμοκρασία στους 35°C ισούται με 0,94.

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Πίνακας 12.3

Συντελεστές διόρθωσης n_1 του επιτρεπόμενου ρεύματος φόρτισης καλωδίων εγκατεστημένων στον αέρα για διάφορες θερμοκρασίες. [7]

Τρόπος εγκατάστασης	Πλήθος φορέων	Πλήθος καλωδίων						
		1	2	3	4	6	9	
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 2)	 $L \geq 20 \text{ mm}$ σε επαφή	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
	 $L \geq 20 \text{ mm}$ σε απόσταση	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 3)	 $L \geq 225 \text{ mm}$ σε επαφή	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
	 $L \geq 225 \text{ mm}$ σε απόσταση	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες, κλπ (βλ σημείωση 2)	 $L \geq 20 \text{ mm}$ σε επαφή	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	 $L \geq 20 \text{ mm}$ σε απόσταση	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-

Πίνακας 12.4

Συντελεστές διόρθωσης n_2 του επιτρεπόμενου ρεύματος φόρτισης καλωδίων εγκατεστημένων στον αέρα για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων. [7]

Το n_2 είναι συντελεστής διόρθωσης για ομαδοποίηση περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων (Πίνακας 12.4) και στην περίπτωση μας είναι 1. Επομένως:

$$I_{\max} = I_0 \cdot n_1 \cdot n_2 \text{ άρα}$$

$$I_0 = I_{\max} / n_1 \cdot n_2 = 166,86 \text{ A} / 0,94 \cdot 1 = 177,5 \text{ A}$$

και από τον πίνακα 12.5 βρίσκουμε την διατομή του καλωδίου που θα χρησιμοποιήσουμε.

Μόνωση	Πλήθος Φορτιζόμενων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν								
		Πολυπολικά καλώδια	Μονοπολικά καλώδια							
			Σε επαφή μεταξύ τους				Σε απόσταση μεταξύ τους			
			Διάταξη επίπεδη οριζόντια ή κατακόρυφη	Διάταξη τριγωνική	Διάταξη επίπεδη οριζόντια	Διάταξη επίπεδη κατακόρυφη				
PVC	2	2	5	-	-	-	-	-	-	-
	3	1	4	4	7	5	-	-	-	-
EPR ή XLPE	2	3	8	-	-	-	-	-	-	-
	3	2	7	6	9	8	-	-	-	-
Στήλες										
Χαλκός	mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	18,5	22	26	-	-	-	-	-	-
	2,5	25	30	36	-	-	-	-	-	-
	4	34	40	49	-	-	-	-	-	-
	6	43	51	63	-	-	-	-	-	-
	10	60	70	86	-	-	-	-	-	-
	16	80	94	115	-	-	-	-	-	-
	25	101	119	149	110	130	135	141	161	182
	35	126	148	185	137	162	169	178	200	226
	50	153	180	225	167	196	207	216	242	275
	70	196	232	289	216	251	268	279	310	353
	95	238	282	352	264	304	328	341	377	430
	120	276	328	410	308	352	383	396	437	500
	150	319	379	473	356	406	444	456	504	577
	185	364	434	542	409	463	510	521	575	661
	240	430	514	641	485	546	607	615	679	781
	300	497	593	741	561	629	703	709	783	902
400	-	-	-	656	754	823	852	940	1085	
500	-	-	-	749	868	946	982	1083	1253	
630	-	-	-	855	1005	1088	1138	1254	1454	
Αλουμίνιο	16	61	73	91	-	-	-	-	-	-
	25	78	89	108	84	98	103	107	121	138
	35	96	111	135	105	122	129	135	150	172
	50	117	135	164	128	149	159	165	184	210
	70	150	173	211	166	192	206	215	237	271
	95	183	210	257	203	235	253	264	289	332
	120	212	244	300	237	273	296	308	337	387
	150	245	282	346	274	316	343	356	389	448
	185	280	322	397	315	363	395	407	447	515
	240	330	380	470	375	430	471	482	530	611
	300	381	439	543	434	497	547	557	613	708
	400	-	-	-	526	600	663	671	740	856
	500	-	-	-	610	694	770	775	856	991
	630	-	-	-	711	808	899	900	996	1154

Πίνακας 12.5

Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη φόρτιση καλωδίων εγκατεστημένων στον ελεύθερο χώρο [7]

Χρησιμοποιούμε διατομή 70 mm².

Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης με βάση τον ΕΛΟΤ HD 384 για εγκαταστάσεις κίνησης είναι 4% και επομένως για τάση 400 V θα είναι 16 V. Ελέγχουμε αν η διατομή που βρήκαμε ικανοποιεί την επιτρεπτή πτώση τάσης (επειδή έχουμε μήκη κάτω από 100 m, χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο) και έχουμε:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot I \cdot \cos\phi = 1,9 \text{ V}$$

Η πτώση τάσης που υπολογίσαμε για διατομή αγωγών 70 mm² είναι κατά πολύ μικρότερη από την επιτρεπτή, οπότε και επιλέγουμε αυτή την διατομή για τους αγωγούς τροφοδοσίας του κινητήρα 75 kW.

Συνοπτικά για όλους τους κινητήρες έχουμε τις ακόλουθες διατομές και πτώση τάσεων:

	Ισχύς κινητήρων(kW)	Βαθμός απόδοσης η(%)	Συντελεστής ισχύος cosφ	I _N (A)	I ₀ (A)	L (m)	S (mm ²)	ΔU (V)
1	11	88	0,84	21,48	28,56	24	4	4,5
2	11	88	0,84	21,48	28,56	24	4	4,5
3	11	88	0,84	21,48	28,56	24	4	4,5
4	15	89	0,85	28,62	38,06	25	6	4,2
5	15	89	0,85	28,62	38,06	25	6	4,2
6	75	94,3	0,86	133,48	177,5	28	70	1,9
7	90	94,6	0,86	159,67	212,33	26	95	1,6
8	4	83	0,8	8,7	11,56	30	2,5	3,5
9	4	83	0,8	8,7	11,56	30	2,5	3,5
10	4	83	0,8	8,7	11,56	30	2,5	3,5

Πίνακας 12.6

Διατομές καλωδίων τροφοδοσίας κινητήρων και πτώσεις τάσης

Στην περίπτωση των κινητήρων των 4 kW από τον πίνακα βρίσκουμε διατομή 1,5 mm² αλλά οι κανονισμοί δεν επιτρέπουν διατομή μικρότερη των 2,5 mm² για εγκατάσταση κίνησης.

12.2.2 Υπολογισμός της διατομής του καλωδίου παροχής του Υποπίνακα Φωτισμού

Το ονομαστικό ρεύμα που απορροφούν τα φωτιστικά κυκλώματα είναι:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\phi} = \frac{10000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 14,43 \text{ A}$$

Η παραπάνω τιμή πρέπει να διορθωθεί προκειμένου να βρούμε την κατάλληλη διατομή του καλωδίου σύμφωνα με τον τύπο $I_N = I_0 \cdot n_1 \cdot n_2$.

$$n_1 = 0,94$$

$$n_2 = 1$$

Επομένως

$$I_0 = I_N / n_1 \cdot n_2 = 14,43 \text{ A} / 0,94 \cdot 1 = 13,56 \text{ A}$$

και από τον πίνακα βρίσκουμε την διατομή του καλωδίου 1,5 mm².

Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης για εγκαταστάσεις φωτισμού είναι 1% και επομένως για τάση 400 V θα είναι 4 V. Ελέγχουμε αν η διατομή που βρήκαμε ικανοποιεί την επιτρεπτή πτώση τάσης και έχουμε:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot I \cdot \cos\phi = 7 \text{ V}$$

Η πτώση τάσης που υπολογίσαμε για διατομή αγωγών 1,5 mm² είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπτή, οπότε επιλέγουμε την αμέσως μεγαλύτερη διατομή 2,5 mm² και επαναλαμβάνουμε τον έλεγχο πτώσης τάσης.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot I \cdot \cos\phi = 4,21 \text{ V} > 4 \text{ V}$$

οπότε επιλέγουμε την αμέσως μεγαλύτερη διατομή των 4 mm².

Η διατομή του αγωγού γείωσης PE είναι η μισή των αγωγών φάσεων, σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ HD 384, από τη στιγμή που ο αγωγός προστασίας είναι ίδιας κατασκευής με τους αγωγούς φάσεων.

Διατομή των αγωγών φάσεων της εγκατάστασης S (mm ²)	Ελάχιστη διατομή του αντίστοιχου αγωγού προστασίας S_p (mm ²)
$S \leq 16$ $16 < S \leq 35$ $S > 35$	S 16 $S/2$

Πίνακας 12.7

Διατομή αγωγού προστασίας σε σχέση με τη διατομή του αγωγού φάσης

Επομένως συνοπτικά έχουμε τους εξής αγωγούς :

1, 2, 3	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 4x4 mm ²
4,5	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 4x6 mm ²
6	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 3x70 mm ² + 35 mm ²
7	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 3x95 mm ² + 50 mm ²
8, 9, 10	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 4x2,5 mm ²
Φωτισμός	J1VV τετραπολικό (L1,L2,L3,PE) 4x4 mm ²

Πίνακας 12.8

Διατομές καλωδίων ΧΤ

12.3 Προστασία καλωδίων και φορτίων ΧΤ

Επιλέγουμε για την προστασία της γραμμής και του κινητήρα των 90 kW, $I_N=159,67$ A, τριπολικό διακόπτη ισχύος (Πίνακας 12.9) ονομαστικού ρεύματος 250 A με θερμικό με περιοχή ρύθμισης (200 – 250 A) και μαγνητικό με περιοχή ρύθμισης (1250 – 2500 A) ρυθμισμένο στα 1920 A. Ρυθμίζουμε το θερμικό για να προστατεύει τον κινητήρα στα 224A. Για την προστασία της γραμμής και του κινητήρα των 75 kW, $I_N=133,48$ A, τριπολικό διακόπτη ισχύος (Πίνακας 12.9) ονομαστικού ρεύματος 200 A με θερμικό με περιοχή ρύθμισης (160 – 200 A) και μαγνητικό με περιοχή ρύθμισης (1000 – 2000 A) ρυθμισμένο στα 1250 A. Ρυθμίζουμε το θερμικό για να προστατεύει τον κινητήρα στα 185 A.

Για τους υπόλοιπους κινητήρες που είναι μικρότερης ισχύος θα επιλέξουμε για την προστασία τους ασφάλειες (Πίνακας 12.10), διακόπτη φορτίου (Πίνακας 12.11) και θερμικό (Πίνακας 12.12). Για τον φωτισμό χρησιμοποιούμε ασφάλεια 25 A.

Στοιχεία διακοπών ισχύος από κατασκευαστές			
Όνομαστικό ρεύμα (σε Α)	Ρύθμιση θερμικού (σε Α)	Ρύθμιση μαγνητικού (σε Α)	Ικανότητα διακοπής (σε kA)
Τριπολικό και τετραπολικό από 16 - 125 Α με ρυθμιζόμενα θερμικά			
16	12,8 - 16	190	16
25	20 - 25	300	16
40	32 - 40	500	16
63	50.4 - 63	500	16
80	64 - 80	1000	16
100	80 - 100	1250	16
125	100 - 125	1250	16
Τριπολικό και τετραπολικό από 16 - 1250 Α με ρυθμιζόμενα θερμικά			
16	12,8 - 16	200	25
25	20 - 25	300	25
32	25,6 - 32	400	25
40	32 - 40	500	25
50	40 - 50	500	25
63	50.4 - 63	500	25
80	64 - 80	640	25
100	80 - 100	800	25
80	64 - 80	1000	36
100	80 - 100	1250	36
125	100 - 125	1250	36
160	128 - 160	1250	36
160	64 - 160	128 - 1600	36
200	160 - 200	1000 - 2000	36
250	200 - 250	1250 - 2500	36
250	100 - 250	200 - 2500	36
400	160 - 400	320 - 4000	45
630	252 - 630	504 - 6300	45
800	320 - 800	480 - 8000	50
1000	400 - 1000	600 - 10000	50
1250	500 - 1250	750 - 12500	50

Πίνακας 12.9

Στοιχεία διακοπών ισχύος από κατασκευαστές

A/A	Διατομή χάλκινων αγωγών (mm ²)	Ονομαστική ένταση ασφαλειών (A)
1	1,5	10
2	2,5	(16) 20
3	4	25
4	6	25
5	10	35
6	16	50
7	25	80
8	35	100
9	50	125
10	70	125
11	95	160
12	120	200
13	150	224
14	185	250
15	240	300
16	300	355

Πίνακας 12.10

Ονομαστικές εντάσεις ασφαλειών για τις αντίστοιχες διατομές αγωγών

Κατηγορία	Μέγιστο ρεύμα που διακόπτουν (σε Α)	Αριθμός πόλων	Μέγιστη αντοχή σε βραχυκύκλωμα (σε kA)
00	16	2-3-4	6
	25	2-3-4	6
	32	2-3-4	6
	40	2-3-4	6
0	32	2-3-4	10
	40	2-3-4	10
	63	2-3-4	10
	80	2-3-4	10
1	40	2-3-4	10
	63	2-3-4	10
	80	2-3-4	10
	100	2-3-4	10
	125	2-3-4	10
2	160	2-3-4	10
	200	2-3-4	10
1 H	40	3-4	10
	63	3-4	10
	125	3-4	10
3	160	3-4	30
	200	3-4	30
	250	3-4	30
	315	3-4	30
4	400	3-4	60
	500	3-4	60
	630	3-4	60
6	800	3-4	84
	1000	3-4	84
	1250	3-4	84
7	1600	3-4	105
8	2000	3-4	105
	2500	3-4	105
9	3150	3-4	105
	4000	3-4	105

Πίνακας 12.11

Βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία διακοπών φορτίου τύπου τυμπάνου 400 V, 50 Hz από κατασκευαστές [1]

Α/Α	Περιοχή ρύθμισης Θερμικού σε Α		Τύπος Θερμικού Α/Α		Περιοχή ρύθμιση θερμικού σε Α		Τύπος θερμικού ρελέ
	Ελάχιστη	Μέγιστη	Ρελέ		Ελάχιστη	Μέγιστη	
1	1,9	2,7	RT1	15	54	65	RT2
2	2,5	4		16	64	75	
3	4	6,3		17	70	80	
4	5,5	7,5		18	80	95	
5	7	10		19	90	110	
6	10	13		20	110	140	RT3
7	12	15		21	140	180	
8	14,5	17		22	175	280	RT4
9	17,5	22		23	200	310	
10	21	25		24	250	400	RT5
11	25	32	25	315	500		
12	30	40	26	430	700		
13	39	47	RT2	27	500	850	RT6
14	44	54					

Πίνακας 12.12
Περιοχή ρύθμιση και τύπος θερμικών ρελέ [1]

Συνοπτικά οι προσασίες για όλους τους κινητήρες και τα καλώδια που έχουμε χρησιμοποιήσει φαίνονται παρακάτω:

Ισχύς κινητήρων (kW)	S (mm ²)	Ασφάλεια	Διακόπτης φορτίου (κατηγορία 00)	Θερμικό		Διακόπτης ισχύος (Ρύθμιση θερμικού, μαγνητικού)
				Περιοχή ρύθμισης (Τύπος)	Ρύθμιση	
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 15 kW	6	25 A	32 A	25 –32 A (RT1)	28,6 A	–
Κινητήρας 15 kW	6	25 A	32 A	25 –32 A (RT1)	28,6 A	–
Κινητήρας 75 kW	70	–	–	–	–	200 A (185 A, 1600 A)
Κινητήρας 90 kW	95	–	–	–	–	250 A (224 A, 1920 A)
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Φωτισμός 10 kW	4	25 A	–	–	–	–

Πίνακας 12.13
Προστασία των φορτίων στη ΧΤ

12.4 Υπολογισμός γραμμής τροφοδοσίας ΧΤ καθώς και προστασία της

Οι ονομαστικές εντάσεις ρεύματος, το $\sin\phi$ και το $\cos\phi$ για κάθε γραμμή της εγκατάστασης είναι:

Αριθμός γραμμής	Ισχύς (kW)	I_N (A)	$\cos\phi$	$\sin\phi$
1,2,3	11	21,48	0,84	0,54
4,5	15	28,62	0,85	0,53
6	75	133,48	0,86	0,51
7	90	159,67	0,86	0,51
8,9,10	4	8,7	0,8	0,6
11	10	14,43	1	0

Πίνακας 12.14

Ονομαστικές εντάσεις ρεύματος, $\sin\phi$ και $\cos\phi$ των γραμμών της εγκατάστασης

Η άεργη συνιστώσα του ρεύματος είναι:

$$I_\alpha = I_{N1} \cdot \sin\phi_1 + \dots + I_{N11} \cdot \sin\phi_{11} = 230,36 \text{ A}$$

Η ενεργός συνιστώσα του ρεύματος είναι:

$$I_\beta = I_{N1} \cdot \cos\phi_1 + \dots + I_{N11} \cdot \cos\phi_{11} = 390,2 \text{ A ενώ}$$

Το ρεύμα γραμμής I_{AB} είναι:

$$I_{AB} = \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2} = 453,12 \text{ A}$$

Ο Σ.Ι. της εγκατάστασης είναι:

$$\cos\phi_{\text{ολ}} = I_\beta / I_{AB} = 390,2 \text{ A} / 453,12 \text{ A} = 0,86$$

Με την προσαύξηση 25% στα φορτία κίνησης έχουμε:

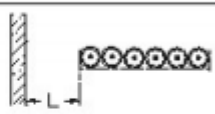
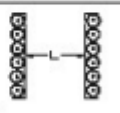
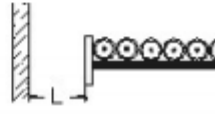
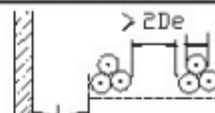
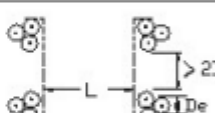

$$I'_{AB} = 566,4 \text{ A}$$

εισάγοντας τους συντελεστές n_1 και n_2 στο ρεύμα γραμμής έχουμε:

$$I''_{AB} = I'_{AB} / n_1 \cdot n_2 = 566,4 \text{ A} / 0,94 \cdot 1 = 602,56 \text{ A}$$

Επειδή δεν υπάρχει διατομή σε καλώδια ΧΤ που να υποστηρίζει τέτοιο ρεύμα και για την ευκολία στην εγκατάσταση θα πάρουμε μονοπολικά καλώδια 2 για κάθε φάση και 2 για τον ουδέτερο.

Από τον πίνακα 12.15 θα προκύψει ένας συντελεστής διόρθωσης για τα μονοπολικά καλώδια που θα βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, πάνω σε σχάρες της τάξεως του 0,97.

Τρόπος εγκατάστασης	Πλήθος φορέων	Πλήθος τριφασικών κυκλωμάτων (Βλ. σημείωση 4)			
		1	2	3	
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 2)		1	0.98	0.91	0.87
	2	0.96	0.87	0.81	
	3	0.95	0.85	0.78	
$L \geq 20 \text{ mm}$ σε επαφή					
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 3)		1	0.96	0.86	-
	2	0.95	0.84	-	
	3	-	-	-	
$L \geq 225 \text{ mm}$ σε επαφή					
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες (Βλ. σημείωση 2)		1	1.00	0.97	0.96
	2	0.98	0.93	0.89	
	3	0.97	0.90	0.86	
$L \geq 20 \text{ mm}$ σε επαφή					
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 2)		1	1.00	0.98	0.96
	2	0.97	0.93	0.89	
	3	0.96	0.92	0.86	
$L \geq 20 \text{ mm}$ σε απόσταση					
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (Βλ. σημείωση 3)		1	1.00	0.91	0.89
	2	1.00	0.90	0.86	
	3	-	-	-	
$L \geq 225 \text{ mm}$ σε απόσταση					
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες (Βλ. σημείωση 2)		1	1.00	1.00	1.00
	2	0.97	0.95	0.93	
	3	0.96	0.94	0.90	
$L \geq 20 \text{ mm}$ σε επαφή					

Πίνακας 12.15

Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα μονοπολικών καλωδίων. [7]

Επομένως θέλουμε καλώδια που να αντέχουν σε ρεύμα:

$$I'_{AB} / 2 * 0,97 = 602,56 \text{ A} / 2 * 0,97 = 292,24 \text{ A}.$$

Από τον πίνακα βρίσκουμε διατομή 120 mm^2 επομένως η γραμμή τροφοδοσίας θα είναι:

$$J1VV \text{ μονοπολικό } 6x(1x120 \text{ mm}^2) + 2x(1x70 \text{ mm}^2).$$

Η πτώση τάσης της γραμμής είναι :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot I \cdot \cos \phi = \sqrt{3} * 0,018 \Omega \cdot \text{m} * (2 \text{ m} / 720 \text{ mm}^2) * 602,56 \text{ A} * 0,86 = 0,045 < 4 \text{ V}$$

που είναι η επιτρεπόμενη πτώση τάση 1% αφού στην παροχή είναι και το φορτίο του φωτισμού.

Για την γραμμή τροφοδοσίας στη μεριά της ΧΤ του Μ/Σ επιλέγουμε αυτόματο διακόπτη ισχύος 630 A με περιοχή ρύθμισης του θερμικού (252 – 630 A) και ρυθμισμένο στα 602 A και περιοχή ρύθμισης του μαγνητικού (504 – 6300 A) και ρυθμισμένο στα 6300 A. Ο

διακόπτης αυτός δεν χρειάζεται να δρα σε βραχυκυκλώματα στους ζυγούς ΧΤ, γιατί την προστασία αυτή την έχουν αναλάβει οι ασφάλειες ΜΤ, προστατεύουν αξιόπιστα τον Μ/Σ, τους ζυγούς και τα καλώδια της ΧΤ έναντι βραχυκυκλώματος.

Τέλος σε κάθε αγωγό βάζουμε ασφάλεια 200 Α για την προστασία του ξεχωριστά σε περίπτωση σφάλματος, έτσι ώστε το μηχανουργείο να μπορεί να λειτουργεί με μειωμένο φορτίο και να μην παύει η λειτουργία του εντελώς.

12.5 Επιλογή Μ/Σ διανομής ελαίου 20 kV/ 0,4 kV

Υπολογίζουμε την φαινόμενη ισχύ όλων των φορτίων που έχουμε από τον τύπο:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_N = 313,93 \text{ kVA}, \text{ όπου } S \text{ η φαινόμενη ισχύς (kVA)}$$

$$V \text{ η πολική τάση } 400 \text{ (V)}$$

$$I_N \text{ το ονομαστικό ρεύμα στα } 400 \text{ V}$$

Στην παραπάνω τιμή υπολογίζουμε και μια αύξηση 25% για μελλοντική αύξηση των φορτίων μας καθώς και ένα συντελεστή χρήσης του μηχανουργείου 0,8 οπότε η ελάχιστη φαινόμενη ισχύς του Μ/Σ είναι:

$$S_{M/\Sigma} = S_{\text{ολ}} \cdot 1,25 \cdot 0,80 = 313,93 \cdot 1,25 \cdot 0,8 = 313,93 \text{ kVA}$$

Από τα τυποποιημένα μεγέθη των Μ/Σ ισχύος επιλέγουμε Μ/Σ ισχύος 400 kVA με απώλειες κενού $P_{Fe} = 930 \text{ W}$ και απώλειες φορτίου $P_{Cu} = 4600 \text{ W}$ και τάση βραχυκύκλωσης 4%.

Η συνδεσμολογία του Μ/Σ συνίσταται να είναι Dyn11 ή Dyn5. Ο λόγος μετασχηματισμού των τάσεων συνίσταται να είναι μεταβλητός στα όρια 2.5 έως 5% και επιτυγχάνεται με διακόπτη μεταγωγέα που αλλάζει τον αριθμό σπειρών στην πλευρά της ΜΤ, διότι εκεί το ρεύμα είναι μικρότερο, όταν ο Μ/Σ δεν φέρει ρεύμα. Η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ που επιλέξαμε είναι καθορισμένη βάσει των εξής συνθηκών:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος $< 40^\circ\text{C}$
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία $< 30^\circ\text{C}$.
- Μέση ετήσια θερμοκρασία $< 20^\circ\text{C}$.
- Υψόμετρο εγκατάστασης μέχρι τα 1000m.

Η εγκατάστασής μας βρίσκεται εντός των συνθηκών αυτών: υψόμετρο 100m, θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C άρα δεν χρειάζεται καμία αλλαγή η ισχύ της άρα τα 400 kVA θα είναι η πραγματική ισχύς του Μ/Σ που θα χρησιμοποιήσουμε.

12.5.1 Αερισμός Μ/Σ

Μετά την επιλογή του απαιτούμενου μετασχηματιστή, τα ανοίγματα αερισμού υπολογίζονται ως εξής:

$$A_2 = 0,19 \cdot (P_{Fe} + P_{Cu})/h$$

$$A_1 = 0,92 \cdot A_2$$

και με αντικατάσταση ($h=2 \text{ m}$) προκύπτει:

$$A_2 = 0,19 \cdot (0,9 + 4,6)/2 = 0,523 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 0,92 \cdot A_2 = 0,92 \cdot 0,523 = 0,481 \text{ m}^2$$

12.5.2 Πτώση τάσης Μ/Σ

Η πτώση τάσης δίνεται από τον τύπο:

$$V_{\text{drop}} = \frac{S_Y}{S} (u_r \cdot \cos\phi + u_b \cdot \sin\phi) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{S_Y}{S}\right)^2 (u_r \cdot \sin\phi - u_b \cdot \cos\phi)^2$$

όπου

$$u_r = P_{\text{Cu}} / S_{\text{M}/\Sigma},$$

$$u_b = \sqrt{u_x^2 - u_r^2}$$

Απώλειες φορτίου στα 20 kV = 4600 W και απώλειες κενού = 930 W. Οι απώλειες χαλκού είναι:

$$u_r = 0,0115$$

$$u_b = 0,0383$$

Με $\cos\phi = 0,86$ και $\sin\phi = 0,54$ και φορτίο $\frac{S_Y}{S} = 0,78$ έχουμε:

$$V_{\text{drop}} = 0,024 \text{ ή } 2,4\% \text{ που είναι αποδεκτή.}$$

12.6 Παροχή ΜΤ

Έχουμε ήδη αναφέρει τους τέσσερις τύπους παροχής που έχει διαμορφώσει η ΔΕΗ. Λόγω του μεγέθους ισχύος του Μ/Σ μας, επιλέγουμε παροχή Α1. Η παροχή γίνεται από εναέριο δίκτυο και τα όργανα μέτρησης τοποθετούνται από την ΔΕΗ εξωτερικά σε στύλο, μέσα στο οικόπεδο του καταναλωτή κοντά στα όριά του. Μαζί με τα όργανα μέτρησης η ΔΕΗ στην παροχή Α1 τοποθετεί ασφαλειοαποζεύκτη (Α/Ζ) με ασφάλεια εκτόνωσης βραδείας τήξης 30Τ.

12.6.1 Υπολογισμός καλωδίων ΜΤ

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως το συνολικό ονομαστικό ρεύμα είναι $I'_{\text{AB}} = 566,4$ A. Επειδή αυτό είναι στη ΧΤ το ανάγουμε στη ΜΤ οπότε γίνεται $I_1 = (0,4/20) \cdot I = 11,32$ A. Το καλώδιο που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι το Ν2ΧSY ονομαστικής τάσης 12/20kV με μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου. Η απόσταση του Υ/Σ από το σημείο παροχής είναι 80m. Η απόσταση είναι σχετικά μικρή γι' αυτό και μπορούμε να τοποθετήσουμε το καλώδιο παροχής εντός του εδάφους κάτω από τούβλα, όχι σε σωλήνες. Λόγω των συνθηκών εγκατάστασης θα έχουμε:

Στην εγκατάσταση εντός του εδάφους, για θερμοκρασία εδάφους 25°C, ειδική θερμική αντίσταση εδάφους $\sigma = 1,0$ K·m/W, συντελεστή φόρτισης 0,7 και από τους πίνακες 12.16 – 12.18 έχουμε συντελεστές $f_1 = 0,98$, $f_2 = 0,75$ και $f_4 = 0,9$ ($f_3 = f_5 = 1,0$):

Θαμμένα καλώδια
$I_{\max} = I_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$
I_0 : μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα για θερμοκρασία εδάφους $\theta = 20^\circ\text{C}$, συντελεστή φόρτισης = 0,7, ειδική θερμική αντίσταση εδάφους $\sigma = 1,0 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, ένα ενταφιασμένο τριφασικό σύστημα, τα καλώδια είναι γειωμένα στα δύο τους άκρα, δηλαδή έχουν συμπεριληφθεί ρεύματα μανδύων σε μονοπολικά καλώδια.
f_1 = συντελεστής για διαφορετικά θ , m και σ
f_2 = συντελεστής για περισσότερα του ενός συστήματα
$f_3 = 0,85$ όταν το καλώδιο βρίσκεται μέσα σε σωλήνα πάνω από 6 m μήκος. Αν όχι, $f_3 = 1,0$.
$f_4 = 0,9$ αν υπάρχουν προστατευτικά ή σκεπάσματα που εγκλείουν αέρα. Αν όχι, $f_4 = 1,0$.
f_5 = συντελεστής για πολυπολικά καλώδια με με περισσότερους των τριών αγωγών

Πίνακας 12.16

Συντελεστές για τον υπολογισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης συνεχούς φόρτισης θαμμένων καλωδίων. [1]

1	2	3					4					5					6
Επιτρε- πόμενη θερμο- κρασία μόνωσης °C	Θερμο- κρασία εδάφους °C	Ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους Km/W															
		0,7					1,0					1,5					2,5
		συντελεστής φόρτισης					συντελεστής φόρτισης					συντελεστής φόρτισης					σ. φ.
		0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,5-1
90	5	1,24	1,21	1,18	1,13	1,07	1,11	1,09	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,89
	10	1,23	1,19	1,16	1,11	1,05	1,09	1,07	1,05	1,01	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86
	15	1,21	1,17	1,14	1,08	1,03	1,07	1,05	1,02	0,99	0,95	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,84
	20	1,19	1,15	1,12	1,06	1,00	1,05	1,02	1,00	0,96	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,81
	25						1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,78
	30								0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,75
	35													0,82	0,80	0,78	0,72
	40																0,68
80	5	1,27	1,23	1,20	1,14	1,08	1,12	1,10	1,07	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,88
	10	1,25	1,21	1,17	1,12	1,06	1,10	1,07	1,05	1,01	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,85
	15	1,23	1,19	1,15	1,09	1,03	1,07	1,05	1,03	0,99	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,82
	20	1,20	1,17	1,13	1,07	1,01	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,78
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,75
	30								0,95	0,91	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,78	0,72
	35													0,80	0,77	0,75	0,68
	40																0,64
70	5	1,29	1,26	1,22	1,15	1,09	1,13	1,11	1,08	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,86
	10	1,27	1,23	1,19	1,13	1,06	1,11	1,08	1,06	1,01	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89	0,83
	15	1,25	1,21	1,17	1,10	1,03	1,08	1,06	1,03	0,99	0,94	0,93	0,92	0,91	0,88	0,86	0,79
	20	1,23	1,18	1,14	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,96	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,76
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,72
	30								0,94	0,89	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,68
	35													0,77	0,74	0,72	0,63
	40																0,59
65	5	1,31	1,27	1,23	1,16	1,09	1,14	1,11	1,09	1,04	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,85
	10	1,29	1,24	1,20	1,14	1,06	1,11	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,82
	15	1,26	1,22	1,18	1,11	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,85	0,78
	20	1,24	1,20	1,15	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,74
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,87	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,70
	30								0,94	0,89	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,74	0,65
	35													0,75	0,72	0,70	0,60
	40																0,55
60	5	1,33	1,28	1,24	1,17	1,10	1,15	1,12	1,09	1,05	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,84
	10	1,30	1,26	1,21	1,14	1,07	1,12	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,94	0,93	0,90	0,88	0,80
	15	1,28	1,23	1,19	1,12	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,76
	20	1,25	1,21	1,16	1,09	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,89	0,87	0,86	0,83	0,80	0,72
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,86	0,85	0,83	0,82	0,79	0,76	0,67
	30								0,93	0,88	0,82	0,81	0,79	0,78	0,75	0,72	0,62
	35													0,73	0,70	0,67	0,57
	40																0,51



Πίνακας 12.17

Συντελεστές διόρθωσης f_1 της μέγιστης επιτρεπόμενης φόρτισης υπογείων καλωδίων, ανάλογα με τη θερμοκρασία εδάφους [1]

1	2	3	4	5	6										
Κατασκευή	Αριθμός καλωδίων	Είδη θερμική αντίσταση εδάφους (K m/W)													
		0,7			1,0			1,5			2,5				
		συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m			συντ. φόρτισ. m				
Δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (2X) 0,6/1 & 6/10 kV	1	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7		
		1,02	1,03	0,99	1,06	1,05	1,00	1,09	1,06	1,01	1,11	1,07	1,02		
		2	0,95	0,89	0,84	0,98	0,91	0,85	0,99	0,92	0,86	1,01	0,94	0,87	
		3	0,86	0,80	0,74	0,89	0,81	0,75	0,90	0,83	0,77	0,92	0,84	0,77	
	4	0,82	0,75	0,69	0,84	0,76	0,70	0,85	0,78	0,71	0,86	0,78	0,72		
		5	0,78	0,71	0,65	0,80	0,72	0,66	0,81	0,73	0,67	0,82	0,74	0,67	
		6	0,75	0,68	0,63	0,77	0,69	0,63	0,78	0,70	0,64	0,79	0,71	0,65	
		8	0,71	0,64	0,59	0,72	0,65	0,59	0,73	0,66	0,60	0,74	0,66	0,60	
		10	0,68	0,61	0,56	0,69	0,62	0,56	0,70	0,63	0,57	0,71	0,63	0,57	
		m			m			m			m				
	Πολυβινυλοχλωρίδιο (Υ) 0,6/1 & 3,6/6 kV	1	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	
			0,91	0,92	0,94	0,97	0,97	1,00	1,04	1,03	1,01	1,13	1,07	1,02	
			2	0,86	0,87	0,85	0,91	0,90	0,86	0,97	0,93	0,87	1,01	0,94	0,88
			3	0,82	0,80	0,75	0,86	0,82	0,76	0,91	0,84	0,77	0,92	0,84	0,78
4		0,80	0,76	0,70	0,84	0,77	0,71	0,86	0,78	0,72	0,87	0,79	0,73		
		5	0,78	0,72	0,66	0,81	0,73	0,67	0,81	0,74	0,68	0,82	0,75	0,68	
		6	0,76	0,69	0,64	0,77	0,70	0,64	0,78	0,71	0,65	0,79	0,72	0,65	
		8	0,72	0,65	0,59	0,73	0,66	0,60	0,74	0,67	0,61	0,75	0,67	0,61	
		10	0,69	0,62	0,57	0,70	0,63	0,57	0,71	0,64	0,58	0,71	0,64	0,58	
		m			m			m			m				
Όλα τα καλώδια 2)	1	0,85	1,0		0,85	1,0		0,85	1,0		0,85	1,0			
		0,94	0,89		0,94	0,89		0,94	0,89		0,95	0,89			
		2	0,77	0,72		0,78	0,72		0,78	0,72		0,79	0,72		
		3	0,68	0,62		0,68	0,62		0,69	0,62		0,69	0,62		
	4	0,63	0,57		0,63	0,57		0,63	0,57		0,64	0,57			
		5	0,59	0,53		0,59	0,53		0,59	0,53		0,60	0,53		
		6	0,56	0,51		0,56	0,51		0,57	0,51		0,57	0,51		
		8	0,52	0,47		0,52	0,47		0,52	0,47		0,53	0,47		
		10	0,49	0,44		0,50	0,44		0,50	0,44		0,50	0,44		
		m			m			m			m				

Πίνακας 12.18 [1]

Συντελεστές διόρθωσης f_2 για θαμμένα¹⁾ τριφασικά καλώδια (DIN) VDE 0298[]

1	2	3
Μόνωση	δικτυωμένο πολυαιθ.	
Μανδύας	—	
Κωδικός	N(A)2XSY	
Κανονισμός VDE	DIN 57273 IEC 60502	
Επιτρεπόμενη θερμοκρασία	90° C	
Διάταξη		
Ονομαστική διατομή Cu mm²	Φόρτιση σε Amperes, για χαλκό 12/20 kV	
25	—	—
35	189	213
50	223	250
70	273	304
95	325	361
120	368	407
150	410	445
185	463	498
240	534	569
300	601	633
400	674	686
500	750	756
Ονομαστική διατομή Al mm²	Φόρτιση σε Amperes, για αλουμίνιο 12/20 kV	
25	—	—
35	—	—
50	173	195
70	211	237
95	252	282
120	287	320
150	320	353
185	362	396
240	421	457
300	474	511
400	538	566
500	606	630

Πίνακας 12.19

Μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα I_0 θαμμένων καλωδίων μέσης τάσης 12/20 kV.
 Συνθήκες: 20°C, m=0,7, σ=1 K·m/W, ένα σύστημα τριφασικό. [1]

Συνεπώς το ρεύμα στη μόνιμη φόρτιση θα είναι $I' = I_1 / f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5 = 17,11$ A.

Επιλέγουμε ελάχιστη διατομή 35 mm² (Πίνακας 12.19).

Το βασικότερο κριτήριο για τον καθορισμό του καλωδίου τροφοδοσίας του Υ/Σ ΜΤ είναι η αντοχή του σε ρεύματα βραχυκύκλωσης που αντιστοιχούν στην ισχύ βραχυκύκλωσης που καθορίζει για το δίκτυο της η ΔΕΗ στην περιοχή που βρίσκεται ο Υ/Σ, που στην περίπτωσή μας είναι S = 250 MVA για διάρκεια t = 1 sec.

Η απαιτούμενη διατομή το καλωδίου είναι:

$$A = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot V_N \cdot k} \cdot \sqrt{t} = \frac{250 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV} \cdot 143} \cdot \sqrt{1} = 50,53 \text{ mm}^2.$$

1 Κατασκευή	2 Μέγιστη θερμοκρ. λειτουργίας	3 Μέγιστη θερμοκρ. βραχυχρόνια	4 5 6 7 8 9 10 11 12 Θερμοκρασία στην αρχή του βραχυκυκλώματος °C											
			90	80	70	65	60	50	40	30	20			
		πυκνότητα για 1 sec, σε A/mm ²												
–	°C	°C												
συγκολλήσεις εύτηκτες	–	160	100	108	115	119	122	129	136	143	150			
δικτ. πολυαιθ. 2X (XLPE)	90	250	143	149	154	157	159	165	170	176	181			
πολυαιθυλ. 2Y	70	150	–	–	109	113	117	124	131	138	145			
πολυβινυλοχλ. PVC														
≤ 300 mm ²	70	160	–	–	115	119	122	129	136	143	150			
> 300 mm ²	70	140	–	–	103	107	111	118	126	133	140			

Πίνακας 12.20

Επιτρεπόμενες θερμοκρασίες και ρευματικές πυκνότητες σε βραχυκυκλώματα διάρκειας 1 sec για καλώδια με χάλκινους αγωγούς. [1]

Όπου k: η σταθερά πυκνότητας για διάφορα καλώδια (Πίνακας 12.20).

Επιλέγουμε για την γραμμή τροφοδοσίας του Υ/Σ από την ΔΕΗ 3 μονοπολικά καλώδια χαλκού με μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (k=143) τύπου N2XSΥ 12/20 kV διατομής 70 mm². Στην υπαίθρια σύνδεση χρησιμοποιούμε ακροκεφαλές πορσελάνης εξωτερικού χώρου και μέσα ακροκεφαλές χυτές ή με λάστιχο σιλικόνης. Την ίδια διατομή και τον ίδιο τύπο θα έχουν και τα καλώδια αναχώρησης από τους ζυγούς ΜΤ προς τον Μ/Σ, ακολούθως και τις ίδιες ακροκεφαλές.

12.7 Προστασία ΜΤ

Ο τύπος της παροχής που έχουμε επιλέξει (Α1) καθορίζει τη μέθοδο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ (30Τ Α/Ζ) και σε μεγάλο βαθμό τη μέθοδο προστασίας που πρέπει να εφαρμόσουμε στον Υ/Σ μας.

Οι διακόπτες και οι αποζεύκτες υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω τιμές:

- Ένταση βραχυκυκλώσεως
- $$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot V_N} = 7,22 \text{ kA}$$
- Ονομαστική ένταση πρωτεύοντος Μ/Σ:
- $$I_{np} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_N} = 11,56 \text{ A}$$
- Ονομαστική ένταση δευτερεύοντος Μ/Σ:
- $$I_{n\delta} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{N\delta}} = 578 \text{ A}$$
- Ένταση βραχυκυκλώσεως πρωτεύοντος Μ/Σ:
- $$I_{kπ} = \frac{1}{\omega_k} \cdot I_{np} = 289 \text{ A}$$
- Ένταση βραχυκυκλώσεως δευτερεύοντος Μ/Σ:
- $$I_{k\delta} = \frac{1}{\omega_k} \cdot I_{n\delta} = 14,45 \text{ kA}$$

Στην άφιξη του καλωδίου ΜΤ στην κυψέλη του υποσταθμού επιλέγουμε τριπολικό αποζεύκτη φορτίου με γειωτή (SF₆), ονομαστικής τάσης 24 kV, με μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα 400 Α, ικανότητα ζεύξης 40 kA και θερμική αντοχή 16 kA/sec (το ρεύμα που αντέχει ο διακόπτης για 1 sec).

Στην αναχώρηση του καλωδίου από τους ζυγούς ΜΤ τοποθετούμε τριπολικό αποζεύκτη φορτίου SF₆ 400 Α, 24 kV. Ο διακόπτης επιτρέπει την εύκολη απόζευξη του Μ/Σ. Η προστασία της γραμμής, του Μ/Σ και των ζυγών ΧΤ έναντι ρευμάτων βραχυκύκλωσης επιτυγχάνεται με ασφάλεια σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC) ονομαστικής τάσης 24 kV. Το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας είναι 40 Α (Πίνακας 12.21). Ο συνδυασμός αυτός ονομάζεται ασφαλειοαποζεύκτης φορτίου.

Οι ασφάλειες ΜΤ διακόπτουν όταν το ρεύμα υπερβεί το κατώτατο όριο, που είναι συνήθως $2 \cdot I_n$ έως $3 \cdot I_n$. Συνεπώς οι ασφάλειες αυτές δεν παρέχουν προστασία έναντι υπερφορτίσεων, επειδή δεν πρέπει να διακόπτουν όταν διαρρέονται από ρεύματα $I < (2 \dots 3) I_n$. Η προστασία υπερφορτίσεως παρέχεται από τον διακόπτη ισχύος που έχουμε εγκαταστήσει στην πλευρά της ΧΤ. Οι ασφάλειες αυτές πρέπει όμως να μπορούν να τακούν στην περίπτωση βραχυκυκλώματος στην πλευρά της ΧΤ, δηλαδή η ένταση βραχυκυκλώσεως να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ένταση διακοπής της ασφάλειας. Με τον τρόπο αυτό προστατεύεται ο Μ/Σ σε περίπτωση σφάλματος πριν από το γενικό μέσο προστασίας ΧΤ. Η ασφάλεια των 40 Α που έχουμε επιλέξει έχει ελάχιστη ένταση διακοπής 120 Α και θεωρείται ότι αρκεί να ισχύει $I_{κτ} = 289 \text{ A} > 1,25 \cdot 120 \text{ A} = 150 \text{ A}$.

Ισχύς ΜΣ (kVA)	Ρεύμα ΜΤ (Α)	Ρεύμα ΧΤ (Α)	Ονομαστικό ρεύμα ασφαλείας	
			Ελάχιστο (Α)	Μέγιστο (Α)
20 kV				
50	1,5	72	6,3	10
75	2,2	108	10	16
100	2,9	144	10	16
125	3,9	180	16	25
160	4,7	230	16	25
200	5,8	290	16	40
250	7,3	360	16	25
315	9,2	455	16	40
400	11,6	576	25	40
500	14,5	720	25	63
630	18,2	910	25	63
800	23,1	1160	40	100
1000	29	1440	40	100
1250	39	1800	63	100
15 kV				
50	2,0	96	6,3	10
75	2,9	144	10	16
100	3,9	192	16	25
125	5,2	240	16	25
160	6,3	307	16	25
200	7,7	387	16	40
250	9,7	480	25	40
315	12,3	607	25	40
400	15,5	768	40	63
500	19,5	960	40	63
630	24,3	1213	63	100
800	30,8	1546	63	100
1000	38,7	1920	63	100

Πίνακας 12.21

Εκλογή ασφαλειών σκόνης ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ [1]

12.8 Βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης-Αντιστάθμιση

Έχουμε υπολογίσει το Σ.Ι. της εγκατάστασης: $\cos\phi_1 = 0,86$.

Το επιθυμητό $\cos\phi_2$ θέλουμε να είναι της τάξεως του 0,95, οπότε χρησιμοποιούμε πυκνωτές για να βελτιώσουμε το υπάρχον $\cos\phi_1$. Η άεργος ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης, υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_c = P_{ολ} * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) = 271,31 \text{ kW} * (0,59 - 0,329) = 70,81 \text{ kVAR}$$

Επιλέγουμε κεντρική αντιστάθμιση συστοιχίας πυκνωτών 71 kVAR και για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος χρησιμοποιούμε ψηφιακό ρυθμιστή αέργου ισχύος, μέσω του οποίου ρυθμίζεται η σύνδεση ή αποσύνδεση των πυκνωτών, ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος της εγκατάστασης. Το σύστημα αυτό υπάρχει σε ξεχωριστό πεδίο στο Γενικό Πίνακα Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ).

12.9 Γείωση Υ/Σ και κινητήρων

Επιλέγουμε την κοινή γείωση ΜΤ-ΧΤ στον υποσταθμό γιατί η χωριστή γείωση απαιτεί ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δύο γειώσεων τουλάχιστον 20 m. Για να έχουμε κοινή γείωση είναι απαραίτητο να έχουμε συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη από 0,7 Ω. Επειδή το δίκτυο είναι εναέριο εγκαθίστανται στην κυψέλη εισόδου των καλωδίων ΜΤ της ΔΕΗ τρεις απαγωγείς τάσεων των 10 kA. Σε παροχές τύπου Α τα αλεξικέραυνα της ΔΕΗ γειώνονται σε ιδιαίτερο γειωτή π.χ. πάσσαλο 3 m στο έδαφος που είναι κατασκευή της ΔΕΗ.

Οι εγκαταστάσεις γείωσης είναι τρεις. Η πρώτη είναι αυτή των αλεξικεραυνών της ΔΕΗ αν η περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση είναι κεραυνόπληκτη (πάσσαλος 2'' σε 3 m βάθος), η δεύτερη είναι στο σύλλο των μετρητών (πάσσαλος 2'' σε 3 m βάθος) και η τρίτη στον εσωτερικό χώρο του καταναλωτή με θεμελιακή γείωση.

Κατά την κατασκευή του Υ/Σ θα εγκατασταθεί θεμελιακή γείωση. Ως γειωτής θα τοποθετηθεί ταινία χαλύβδινη διαστάσεων 30 mm x 3,5 mm εντός των θεμελίων του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται χαμηλή αντίσταση γείωσης. Επίσης στον χώρο του Υ/Σ θα τοποθετηθεί σύστημα γειώσεων που αποτελείται από:

- Ισοδυναμικό πλέγμα σε βάθος 5 cm, σε όλο το δάπεδο του Υ/Σ για προστασία από επικίνδυνες τάσεις επαφής και βηματικές τάσεις σε περιπτώσεις σφαλμάτων φάσης - γης. Σαν δομικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα διαμέτρου 5 mm με άνοιγμα 6 x 10 cm.
- Περιμετρική γείωση 30mm x 3mm με αναμονές για την σύνδεση των μεταλλικών μερών της ΜΤ, της ΧΤ και του Μ/Σ. Τοποθετείται εσωτερικά και περιμετρικά του κτίσματος σε ύψος 50 cm, στερεώνεται στο τοίχιο με χάλκινα στηρίγματα.

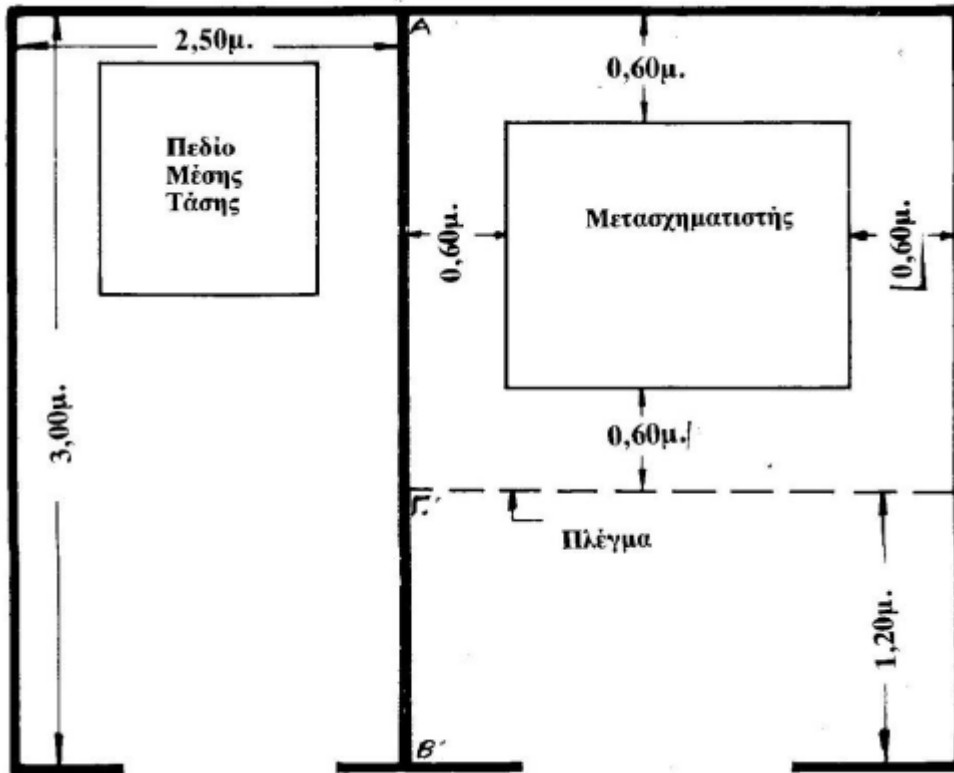
Με την περιμετρική ταινία θα συνδέονται, μέσω αγωγού:

- τα μεταλλικά μέρη του Γενικού Πίνακα ΜΤ
- τα μεταλλικά μέρη του Γενικού Πίνακα ΧΤ
- τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ
- οι ράγες του Μ/Σ
- τα σημεία γειώσεως και οι βάσεις στηρίξεως των ακροκιβωτίων
- οι μανδύες των καλωδίων
- το ισοδυναμικό πλέγμα των δαπέδων
- κάθε άλλη μεταλλική συσκευή που υπάρχει στο χώρο του Υ/Σ

Οι αγωγοί γείωσης κάθε χώρου και ο ουδέτερος κόμβος του Μ/Σ θα συνδέονται με την κεντρική γείωση (θεμελιακή) των μεταλλικών μερών.

12.10 Κατασκευαστικά στοιχεία Υ/Σ

Ο τύπος του κτιρίου του Υ/Σ εξαρτάται από τον τύπο παροχής της ΔΕΗ. Οι ελάχιστες διαστάσεις για το κτίριο του Υ/Σ ΜΤ παροχής Α1 ή Α2 φαίνεται στο σχήμα 12.22. Το ελάχιστο καθαρό ύψος του χώρου της ΔΕΗ είναι 3 m.



Σχήμα 12.22

Ελάχιστες διαστάσεις Υ/Σ ΜΤ παροχής Α1 ή Α2

Ο καταναλωτής πρέπει να προβλέψει ιδιαίτερο χώρο για τη στέγαση του δικού του τμήματος του Υ/Σ. Είναι προτιμότερο ο καταναλωτής να προβλέψει τρεις ανεξάρτητους χώρους για την εγκατάσταση αντίστοιχα του τμήματος μέσης τάσης, του ή των μετασχηματιστών ισχύος και του ΓΠΧΤ. Είναι δυνατή η εγκατάσταση στον ίδιο χώρο του πίνακα μέσης τάσης και των μετασχηματιστών ισχύος. Ο ΓΠΧΤ πρέπει να είναι σε ανεξάρτητο χώρο. Οι διαστάσεις των παραπάνω χώρων υπαγορεύονται από τις διαστάσεις των μηχανημάτων που θα στεγάσουν, τη λειτουργικότητα των χώρων αυτών και φυσικά τις απαιτήσεις του Κτιριοδομικού Κανονισμού. Οι οικοδομικές απαιτήσεις του χώρου του Υ/Σ είναι:

- Δάπεδο: όταν είναι σε επαφή με το έδαφος το ελάχιστο πάχος του είναι 10 cm. Στις άλλες περιπτώσεις είναι 15 cm.
- Οροφή - Τοίχοι: όταν είναι από σκυρόδεμα έχουν ελάχιστο πάχος 15 cm. Οι τοίχοι από τούβλο έχουν ελάχιστο πάχος 19 cm.

- Πόρτες - Ανοίγματα: Η πόρτα του χώρου είναι από χαλυβδοέλασμα ελάχιστου πάχους 1 mm. Η πόρτα πρέπει να ανοίγει με λαβή προς τα έξω ενώ από μέσα με απλή ώθηση.

Οι χώροι των μετασχηματιστών και του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης πρέπει να είναι κλειστοί και κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες από χαλυβδοέλασμα με ελάχιστο πάχος 1 mm. Οι πόρτες πρέπει να έχουν ανοίγματα αερισμού (περσίδες). Η διάταξη των μηχανημάτων και των συσκευών μέσα στους χώρους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ευχερής συντήρηση και λειτουργία τους. Η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση του υψηλότερου σημείου του μετασχηματιστή και του χαμηλότερου σημείου της οροφής είναι τουλάχιστον 40 cm. Ο αερισμός του χώρου μπορεί να είναι φυσικός ή τεχνητός. Σε περίπτωση φυσικού αερισμού απαιτούνται δύο ανοίγματα, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του αέρα. Το άνοιγμα εισόδου του αέρα ψύξης πρέπει να βρίσκεται οπωσδήποτε κάτω από το μέσο του ύψους του μετασχηματιστή και το άνοιγμα εξόδου όσο το δυνατό ψηλότερα. Το μέγεθος του ανοίγματος εξόδου υπολογίστηκε παραπάνω. Εφόσον ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιείται είναι ελαιόψυκτος, ο χώρος πρέπει να διαθέτει λεκάνη με επαρκή χωρητικότητα για την περισυλλογή του λαδιού σε περίπτωση διαρροής, χωρίς όμως να αφήνει το λάδι σε ελεύθερη επιφάνεια για την αποφυγή πυρκαγιάς. Αυτό συνήθως υλοποιείται με την τοποθέτηση σκυρών στο επάνω μέρος της λεκάνης. Σύμφωνα επίσης με τον Κτιριοδομικό Κανονισμό οι χώροι της μέσης τάσης δεν επιτρέπεται να έχουν οποιοδήποτε άνοιγμα προς το κλιμακοστάσιο (άνοιγμα κουφώματος, αεραγωγό, γρίλιες κτλ.).

Επίσης απαγορεύεται η διέλευση εγκατάστασης ξένης προς τον προορισμό του Υ/Σ (π.χ. σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεων, σωλήνες θέρμανσης κτλ.) μέσα από τους χώρους του Υ/Σ.

Κεφάλαιο 13 Συμπεράσματα

13.1 Ανακεφαλαίωση

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάστηκαν τα μέσα υλοποίησης ενός Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ. Συγκεκριμένα έγινε εκτενή αναφορά στους τύπους των ιδιωτικών Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ που αδειοδοτούνται από τη ΔΕΗ όπως και στα μέσα προστασίας ΜΤ, ΧΤ που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του Υ/Σ με το δίκτυο. Παράλληλα, επισημάνθηκε η αναγκαιότητα προστασίας των ατόμων έναντι ηλεκτροπληξίας σε πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης όπως και οι τρόποι αποφυγής της. Τέλος, παρουσιάστηκε ο υπολογισμός ενός Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ παροχής τύπου Α1 για την τροφοδότηση ενός μηχανουργείου.

Κατόπιν της μελέτης που έγινε καταλήξαμε στις εξής επιλογές:

1. Εντός του μηχανουργείου:

Καλώδια τροφοδοσίας και προστασία κάθε κινητήρα και γραμμής φωτισμού

Ισχύς κινητήρων (kW)	Διατομή καλωδίων J1VV S (mm ²)	Ασφάλεια	Διακόπτης φορτίου (κατηγορία 00)	Θερμικό		Διακόπτης ισχύος (Ρύθμιση θερμικού, μαγνητικού)
				Περιοχή ρύθμισης (Τύπος)	Ρύθμιση	
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 11 kW	4	25 A	25 A	21 –25 A (RT1)	21,5 A	–
Κινητήρας 15 kW	6	25 A	32 A	25 –32 A (RT1)	28,6 A	–
Κινητήρας 15 kW	6	25 A	32 A	25 –32 A (RT1)	28,6 A	–
Κινητήρας 75 kW	75	–	–	–	–	200 A (185 A, 1600 A)
Κινητήρας 90 kW	90	–	–	–	–	250 A (224 A, 1920 A)
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Κινητήρας 4 kW	2,5	10 A	16 A	7 –10 A (RT1)	8,7 A	–
Φωτισμός 10 kW	4	25 A	–	–	–	–

Καλώδιο τροφοδοσίας των φορτίων: ΧΤ βαρέως τύπου J1VV 0,6/1 kV μόνωσης PVC μονοπολικό $6 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2) + 2 \times (1 \times 70 \text{ mm}^2)$.

2. Εντός του Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ:

- ΓΠΧΤ: Δ/Ι ΧΤ 630 Α με περιοχή ρύθμισης του θερμικού (252 – 630 Α) και ρυθμισμένο στα 602 Α και περιοχή ρύθμισης του μαγνητικού (504 – 6300 Α) και ρυθμισμένο στα 6300 Α. Έξι ασφάλειες 200 Α για προστασία αγωγών τροφοδοσίας.
- Μ/Σ ελαίου: 400 kVA 20/0,4 kV, σχετική τάση βραχυκύκλωσης 4 %
- Προστασία Μ/Σ: ασφάλεια σκόνης ΜΤ 40 Α, Δ/Φ ΜΤ 400 Α με ορατές επαφές
- Γείωση του Υ/Σ: ισοδυναμικό πλέγμα στο δάπεδο του Υ/Σ και θεμελιακή γείωση με συνολική αντίσταση <0,7 Ω.
- Πυκνωτής αντιστάθμισης : 70 kVAR.

3. Εκτός του Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ:

- Καλώδιο παροχής: Ν2ΧSY 12/20 kV μόνωσης δικτυωμένου πολυαιθυλενίου τρία μονοπολικά διατομής 70 mm²
- Στύλος ΔΕΗ: ασφάλεια εκτόνωσης 30Τ βραδείας τήξης.

Το μονογραμμικό και το εποπτικό σχέδιο της εγκατάστασης καθώς και το σχέδιο γείωσης του Υ/Σ παρατίθενται στο παράρτημα.

Συμπερασματικά, για την μελέτη του ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ για την τροφοδότηση του μηχανουργείου του προβλήματός μας προβήκαμε στα παρακάτω βήματα:

- Επιλογή κατάλληλων διατομών καλωδίων

Αφού υπολογίσουμε το ρεύμα που απορροφά η κάθε κατανάλωση, με προσαύξηση του ρεύματος κατά 25% για τους ηλεκτρικούς κινητήρες επιλέγουμε με βάση τους πίνακες 12.3 - 12.5 την κατάλληλη διατομή κι έπειτα ελέγχουμε την πτώση τάσης ΔU. Σε περίπτωση που δεν είναι επιτρεπτή επιλέγουμε μεγαλύτερη διατομή έως ότου η πτώση τάσης να είναι αποδεκτή.

- Επιλογή διατάξεων προστασίας και ελέγχου ΧΤ

Η επιλογή γίνεται με βάση τους πίνακες 12.9-12.12 λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Η ονομαστική τάση των ασφαλειών και των διακοπών να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την τάση λειτουργίας του καταναλωτή.
- Το ονομαστικό ρεύμα των ασφαλειών τήξης ή των αυτόματων ασφαλειών να μην είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο ρεύμα γραμμής συνεχούς λειτουργίας.
- Το ονομαστικό ρεύμα των διακοπών να είναι τουλάχιστον ίσο με το ονομαστικό ρεύμα των ασφαλειών που επελέγησαν κι επίσης να διακόπτουν το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας των αγωγών που ελέγχουν.

- Κατά την επιλογή αυτόματων διακοπών ισχύος ή προστασίας κινητήρων, η ρύθμιση της θερμικής τους προστασίας γίνεται στην τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που αντιστοιχεί στη διατομή του αγωγού που επιλέχθηκε ή στο ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα. Η ηλεκτρομαγνητική προστασία ρυθμίζεται ώστε να γίνει διακοπή για $I = 6I_n$ για την προστασία γραμμών και $I = 12I_n$ για την προστασία κινητήρων.
 - Για την προστασία των Δ/Φ από βραχυκυκλώματα θα πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή των ασφαλειών τήξης που τους συνοδεύουν.
- Επιλογή Μ/Σ ισχύος

Υπολογίζουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ της εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη μια μελλοντική αύξηση ισχύος, το συντελεστή χρησιμοποίησης του μηχανουργείου και το μέσο συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Επιπλέον, λαμβάνουμε υπόψη τις συνθήκες περιβάλλοντος όπου θα γίνει η εγκατάσταση του Μ/Σ (θερμοκρασία, υψόμετρο, κίνδυνος πυρκαγιάς, κλπ) και καταλήγουμε στο είδος μόνωσης και στην ονομαστική ισχύ του Μ/Σ.

- Επιλογή διατομής καλωδίων και διατάξεων προστασίας ΜΤ

Η επιλογή των αγωγών ΜΤ γίνεται με βάση τους πίνακες 12.16 – 12.19 και λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο αντοχής του καλωδίου σε ρεύματα βραχυκύκλωσης που αντιστοιχούν στην ισχύ βραχυκύκλωσης που καθορίζει η ΔΕΗ για το δίκτυό της, στο σημείο που βρίσκεται ο Υ/Σ.

Επίσης, ο τύπος παροχής που επιλέξαμε (Α1) καθορίζει τη μέθοδο προστασίας από πλευράς ΔΕΗ, καθώς και σε μεγάλο βαθμό την επιλογή των μέσων από πλευράς καταναλωτή. Η επιλογή των μέσων προστασίας ΜΤ γίνεται μετά τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης καθώς και των ονομαστικών ρευμάτων και ρευμάτων βραχυκύκλωσης πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του Μ/Σ.

Σ' αυτό το σημείο δεν πρέπει να αμελήσουμε τον έλεγχο της επιλογικής συνεργασίας των μέσων προστασίας ΜΤ και ΧΤ.

- Επιλογή πυκνωτών αντιστάθμισης

Με βάση το νέο επιθυμητό συντελεστή ισχύος $\cos\phi_2$ υπολογίζουμε την άεργο ισχύ των πυκνωτών αντιστάθμισης χρησιμοποιώντας τη σχέση: $Q_c = P_{ολ} * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$

- Επιλογή γείωσης

Με βάση το είδος της παροχής της ΔΕΗ, τα κατασκευαστικά στοιχεία του Υ/Σ και τις απαιτήσεις ασφαλείας έναντι ηλεκτροπληξίας επιλέγουμε το σύστημα γείωσης. Μετά από μέτρηση της αντίστασης γείωσης επιλέγουμε κοινή ή μη γείωση ΜΤ-ΧΤ. Η χωριστή γείωση απαιτεί ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δυο γειώσεων τουλάχιστον 20 m. Για να έχουμε κοινή γείωση είναι αναγκαίο να έχουμε συνολική αντίσταση γείωσης $< 0,7 \Omega$.

13.2 Προτάσεις

- Για την καλύτερη επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας MT του καταναλωτή με τα μέσα προστασίας που τοποθετεί η ΔΕΗ στο σημείο παροχής είναι απαραίτητη η απευθείας συνεννόηση ΔΕΗ και καταναλωτή.
- Για την προστασία κάθε κινητήρα μπορούν εναλλακτικά να χρησιμοποιηθούν:
 - Διακόπτης φορτίου και μαχαιρωτή ή αυτόματη ασφάλεια
 - Αυτόματος διακόπτης ισχύος
 - Αυτόματη ασφάλεια τύπου 'C'
 - Μικροαυτόματος διακόπτης προστασίας κινητήρων με θερμική και μαγνητική προστασία

Στην επιλογή των μέσων προστασίας λαμβάνεται υπόψη το ονομαστικό ρεύμα κάθε κινητήρα καθώς και η επιλογική συνεργασία τους με τα υπόλοιπα μέσα προστασίας.

- Επίσης, για καλύτερη προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαφορικός διακόπτης ρεύματος ΔΔΡ που συνδέεται μετά το γενικό διακόπτη του κεντρικού πίνακα διανομής προστατεύοντας έτσι όλη την εγκατάσταση ή και στους επιμέρους πίνακες κάθε κινητήρα.

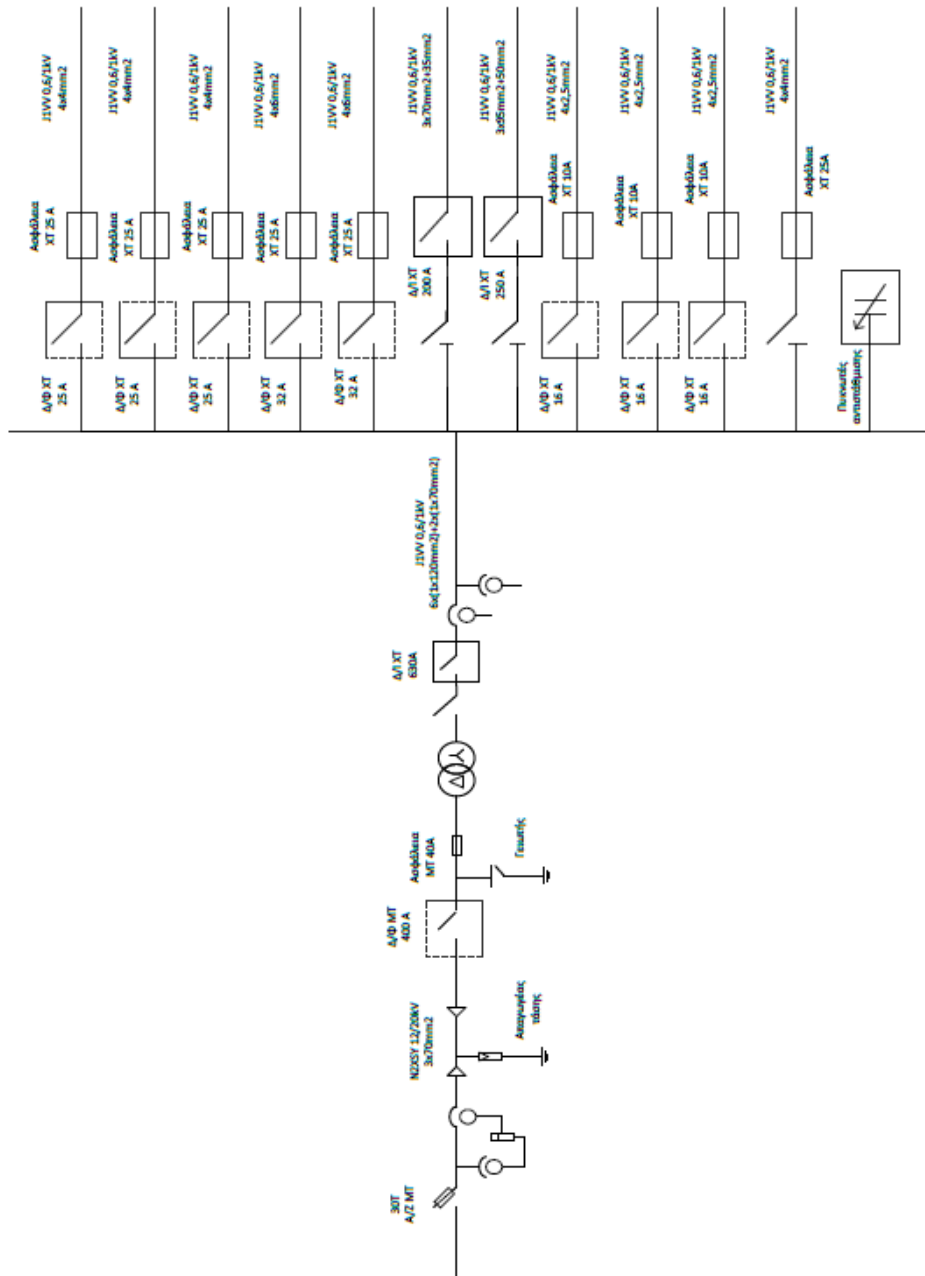
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ντοκόπουλος Π., 2005: Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών.
2. Μπιτζιώνης Β., 2003: Σύγχρονες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις (κίνηση – αυτοματισμός).
3. Τσανάκας Δ., 1991: Ειδικά κεφάλαια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και δικτύων.
4. Μπούρκας Π., 1998: Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων.
5. Σκανδαλίδης Χ., Κεμίδης Π., Μπαργιώτας Δ., 2001: Βιομηχανικές εγκαταστάσεις - υποσταθμοί Α' και Β' τεύχος, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.
6. Ψιμόπουλος Ι.Δ., 2006: Ιδιωτικοί Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ-Μελέτη Ιδιωτικού Υ/Σ 20/0,4 kV Παροχής Τύπου Α1 για την Ηλεκτροδότηση Αντλιοστασίου, Διπλωματική εργασία.
7. Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, 2004.
8. Τεχνικό τετράδιο n°2 Μ/Σ διανομής λαδιού: Schneider – electric.
9. Παπαδιάς Β, 1985: Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τόμος Ι: μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.
10. Παπαδόπουλος Μ., 1997: Προστασία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.
11. Κονταξής Γ. – Βουρνάς Κ., 2001: Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
12. Φακίνος Ν., 1992: Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (Σεμινάριο ΤΕΕ).
13. Σπηλιόπουλος Δ., 1992: Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (Σεμινάριο ΤΕΕ).
14. Σταθόπουλος Ι., 1989: Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων.

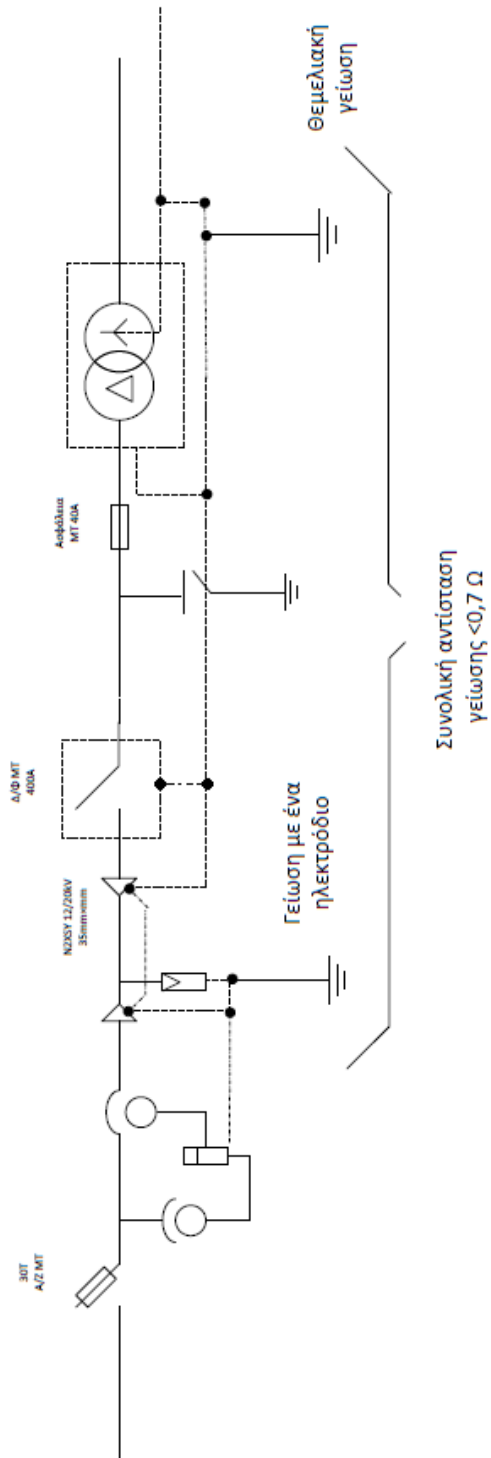
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ DIN 40713 Χρησιμοποιούνται στα σχέδια της οδού για την εγκατάσταση ΜΤ		
1		ΑΠΖ, Αποξεύκτης
2		ΔΦ, Διακόπτης φορτίου
3		Ασφάλεια σκόνης 40 Α
4		ΔΦ/Α, Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες
5		ΔΙ, Διακόπτης ισχύος
6		30 T AZ, Ασφαλειοαποξεύκτης εναερίου δικτύου με τηκτά 30 T.
7		ΔΑ, Διακόπτης απομόνωσης Sectionalizer
8		Μετρητής
9		Αλεξικέραυνο
10		Καλώδιο
11		ΜΣ Τάσης
12		ΜΣ Έντασης

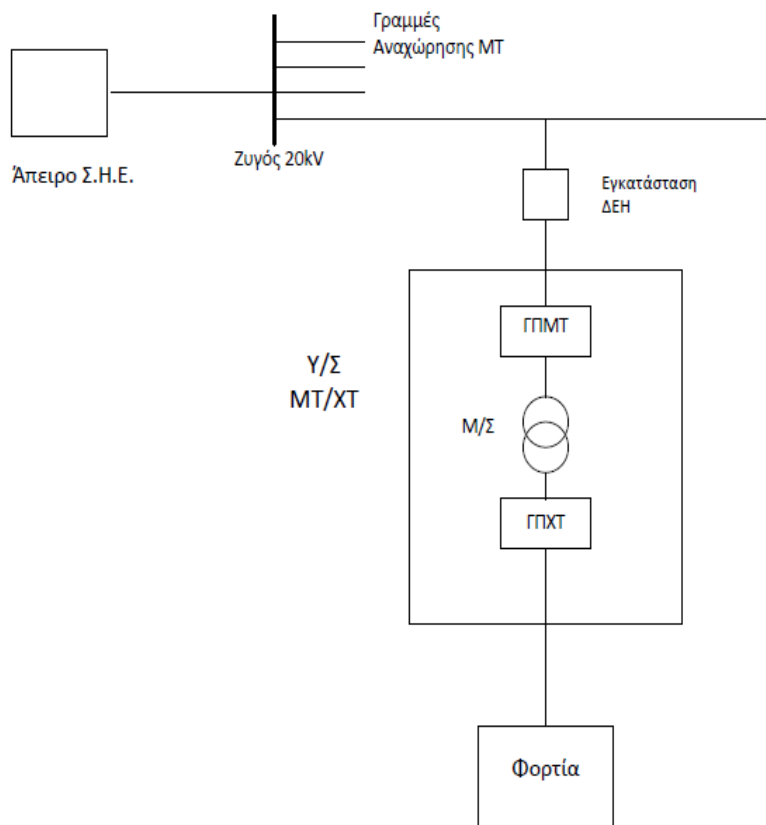
Σχήμα 1
Σύμβολα μονογραμμικών σχεδίων εγκαταστάσεων ΜΤ[1]



Σχήμα 2
Μονογραμμικό σχέδιο εγκατάστασης



Σχήμα 3
Σχέδιο γείωσης Υ/Σ



Σχήμα 4
Εποπτικό σχέδιο εγκατάστασης