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

Ιδιωτικοί Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Μελέτη Ιδιωτικού Υ/Σ 20/0,4 kV Παροχής Τύπου Α1 για την Ηλεκτροδότηση Αντλιοστασίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ι. Ψιμόπουλος

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Νοέμβριος 2006

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

Ιδιωτικοί Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ – Μελέτη Ιδιωτικού Υ/Σ 20/0,4 kV Παροχής Τύπου Α1 για την Ηλεκτροδότηση Αντλιοστασίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ι. Ψιμόπουλος

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27η Νοεμβρίου 2006.

.....	.....	.....
Σ. Καβατζά	Π. Μπούρκας	Κ. Καραγιαννόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π	Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Νοέμβριος 2006

.....

Δημήτριος Ι. Ψιμόπουλος

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

Copyright © Δημήτριος Ι. Ψιμόπουλος, 2006.
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.

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υπεύθυνη της διπλωματικής αυτής εργασίας κα Σ. Καβατζά για την συνεργασία που είχαμε. Επίσης ευχαριστώ τον κ. Αγαπάκη στον τομέα ανάπτυξης και λειτουργίας δικτύου της Δ.Ε.Η για το χρόνο που μου διέθεσε. Τέλος ευχαριστώ την κα Αγγελική Ψιμοπούλου για τις χρήσιμες παρατηρήσεις σχετικά με την οργανωτική βελτίωση της εργασίας αυτής.

Αφιερώνεται
στους γονείς μου
Γιάννη και Αλίκη

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....3

Κεφάλαιο 1: Υποσταθμοί καταναλωτών ΜΤ

1.1 Γενικά……5
1.2 Εξοπλισμός ζεύξης και προστασίας του δικτύου ΜΤ……..…..5
1.3 Τυποποιημένες παροχές ΜΤ.....……..9
1.4 Γειώσεις Υ/Σ καταναλωτών ΜΤ……...13
1.5 Μετασχηματιστές……..14
1.6 Υλικά και διατάξεις ζεύξης και προστασίας Υ/Σ ΜΤ……...22
1.7 Συνδυασμοί μέσων ζεύξης και προστασίας στη ΜΤ……25
1.8 Μετασχηματιστές μέτρησης……..26
1.9 Προστασία των Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ κατά των υπερτάσεων……28
1.10 Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ΧΤ σε υπερτάσεις……...29
1.11 Διατάξεις κυψελών ΜΤ……...30
1.12 Πίνακες ΧΤ……31
1.13 Αντιστάθμιση, διόρθωση συντελεστή ισχύος……32
1.14 Συντήρηση Υ/Σ……...34

Κεφάλαιο 2: Μονωμένοι αγωγοί και καλώδια ΜΤ-ΧΤ

2.1 Γενικά……37
2.2 Καλώδια στη ΧΤ……37
2.3 Καλώδια στη ΜΤ…….. 39
2.4 Πρότυπα –σημάνσεις καλωδίων……40
2.5 Χρήσεις καλωδίων……41
2.6 Τάση των καλωδίων……...41
2.7 Ονομασία κώδικα για διάφορους τύπους καλωδίων……..41

Κεφάλαιο 3: Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας ΧΤ

3.1 Ζεύξη……43
3.2 Απόζευξη……...43
3.3 Μέσα ζεύξης-απόζευξης ΧΤ……43
3.4 Μέσα προστασίας σε υπερρεύματα, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα στη ΧΤ……...46

Κεφάλαιο 4: Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης

4.1 Γενικά……55

Κεφάλαιο 5: Εγκατάσταση κινητήριων συστημάτων

5.1 Γενικά.....57
5.2 Εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων.....58
5.3 Τρόποι εκκίνησης κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.....58
5.4 Πέδηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....61
5.5 Εκλογή κινητήρων σύμφωνα με τις συνθήκες περιβάλλοντος.....61
5.6 Τυποποίηση της μορφής, του μεγέθους και της ψύξης των κινητήρων.....62
5.7 Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη ισχύς.....63
5.8 Υπερφόρτιση του κινητήρα.....63
5.9 Επιλογή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα.....64
5.10 Τυποποίηση της ονομαστικής λειτουργίας.....64
5.11 Προστασία του κινητήρα.....64

5.12 Ακροδέκτες κινητήρα.....65

Κεφάλαιο 6: Βύθιση τάσης

6.1 Γενικά…….67
6.2 Επιτρεπόμενα όρια βύθισης τάσης…….67
6.3 Υπολογισμός της βύθισης τάσης……69

Κεφάλαιο 7: Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας

7.1 Γενικά…….71
7.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων……72
7.3 Προστασία έναντι άμεσης επαφής……75
7.4 Προστασία έναντι έμμεσης επαφής……....75
7.5 Κατάταξη εξοπλισμού σε κλάσεις προστασίας……..80
7.6 Προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας σε σφάλματα σε Υ/Σ……..81
7.7 Γειώσεις εγκαταστάσεων ΜΤ και ΧΤ……82
7.8 Είδη ηλεκτροδίων γείωσης, αντίσταση γείωσης……....83
7.9 Θεμελειακή γείωση ……...83
7.10 Η αντίσταση γείωσης ……..84

Κεφάλαιο 8: Μελέτη Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ παροχής τύπου Α1 για την ηλεκτροδότηση αντλιοστασίου.....…….....…85

Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα

9.1 Ανακεφαλαίωση.....107

9.2 Προτάσεις.....108

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....109

Παράρτημα 1: Πίνακες - σχήματα Κεφ.1-7
Παράρτημα 2: Πίνακες -σχήματα Κεφ.8

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ενός ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ, ενώ μελετάται εκτενέστερα η διαδικασία επιλογής των μέσων εκείνων που είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση ενός φορτίου κίνησης μέσω ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ παροχής τύπου Α1.

Ειδικότερα παρατίθενται οι τύποι παροχής των ιδιωτικών Υ/Σ, ενώ 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, βάσει οικονομικών κριτηρίων. Ακόμη αναφέρονται τα μέσα προστασίας του Μ/Σ και οι κυψέλες μέσα στις οποίες τοποθετούνται τα μέσα προστασίας και ζεύξης ΜΤ του Υ/Σ, ενώ παρουσιάζονται τα είδη γείωσης των ιδιωτικών Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ και οι απαιτήσεις του κτηριοδομικού κανονισμού για την κατασκευή ενός Υ/Σ. Παράλληλα επισημαίνεται η αναγκαιότητα της αντιστάθμισης της αέργου ισχύος και οι τρόποι επίτευξής της. Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες των καλωδίων ΧΤ και ΜΤ, ο τρόπος ονομασίας τους και τα είδη μόνωσής τους. Ταυτόχρονα αναπτύσονται 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. Επίσης αναλύονται τα κινητήρια συστήματα, με εκτενή αναφορά στα κριτήρια βάσει των οποίων εκλέγονται οι κινητήρες, ενώ αναλύονται και οι τρόποι εκκίνησής τους. Παράλληλα διευκρινίζονται τόσο οι τυποποιημένες λειτουργίες των κινητήρων όσο και η τυποποίηση των μεγεθών τους, αναπτύσονται οι τρόποι σύνδεσής τους με το δίκτυο και η διαδικασία που ακολουθείται για την προστασία τους. Επιπρόσθετα, αναφέρονται τα επιτρεπόμενα όρια βύθισης τάσης που πρέπει να πληρεί μια ηλεκτρική εγκατάσταση ώστε να συνδεθεί με το δίκτυο. Γίνεται ακόμη ιδιαίτερη αναφορά στις συνθήκες σφάλματος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση και σε ένα Υ/Σ, ενώ αναπτύσονται 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 ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ παροχής τύπου Α1 που θα ηλεκτροδοτήσει ένα αντλιοστάσιο, τα αποτελέσματα της οποίας ερμηνεύονται με γνώμονα τη βελτιστοποίηση λειτουργίας του Υ/Σ.

Λέξεις Κλειδιά

Υποσταθμοί Μέσης και Χαμηλής Τάσης, Μονωμένοι Αγωγοί, Καλώδια, Μέσα Προστασίας Μέσης και Χαμηλής Τάσης, Μετασχηματιστές, Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος, Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες, Ρεύματα Βραχυκύκλωσης, Βύθιση Τάσης, Γειώσεις, Ηλεκτροπληξία.

Abstract

The present thesis assesses the structures used for the installation of a private Substation M/L Voltage, whilst futher investigating the evaluation process of the structures available for motor installation via Substation M/L Voltage type A1.

Specifically the provision types for the private Substation M/L Voltage are presented and an analysis is made on the Medium Voltage connection and protection structures, focusing on the process of selecting the transformer to be used, based on economic criteria. Furthermore, the structures of transformer protection are citted as well as the cells housing both protection and connection. Moreover, emphasis is given on the grounding methods of the private Substation M/L Voltage allong with the building regulations and construction requirements of the Substation. In parallel, the nececity for counterbalancing the reactive power and ways of achieving this are noted. All the categories of M/L Voltage cables are presented by name along with their insulation types. Connection-Disconnection and Low Voltage protection structures are detailed in terms of functionality and effeciency dealing with potential short circuit currents. Motor systems are also analysed with extensive reference to motor selection criteria, as well as listing the different ways of starting, sizing, functionality, connection to the Voltage Network and protection process. Mention is made of the voltage dip limits which must be incurred for the electrical installation to connect to the Voltage Network. Particular 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 private Substation M/L Voltage type A1 providing electrical power for a pumping station, the results of which are assesed under the scope of substation functionality maximalisation.

Keywords

Substations Medium and Low Voltage, Insulation Wires, Cables, Medium and Low Voltage Protection Structures, Transformers, Counterbalancing Reactive Power, Asynchronous three phase motors, Short Circuit Currents, Voltage Dip, Grounding, Electrocution.

Κεφάλαιο 1

Υποσταθμοί καταναλωτών ΜΤ

1.1 Γενικά

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 ισχείς, 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. Η τροφοδοσία με ΜΤ γίνεται από δίκτυα τάσης 6,6, 15, 20 και 22 kV. Επειδή στο μέλλον σχεδιάζεται όλα τα δίκτυα ΜΤ να μετατραπούν σε δίκτυα των 20 kV θα πρέπει όλα τα υλικά των Υ/Σ ΜΤ να είναι για τάση 20 kV ακόμη και αν το δίκτυο είναι των 15 kV.
Τα εναέρια δίκτυα της ΔΕΗ είναι κατά κανόνα ακτινικά ενώ μπορεί ορισμένα τμήματά τους να είναι καλωδιακά. Τα υπόγεια δίκτυα ΜΤ είναι βροχοειδή (δακτυλιοειδή). Οι καταναλωτές συνδέονται με βρόχο (αλυσωτά) με καλώδια σχ.1.1{12}. Οι εγκαταστάσεις Υ/Σ ΜΤ χωρίζονται σε δύο σύνολα που είναι {12} :

- Η εγκατάσταση ΜΤ 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 το μέσο προστασίας της παροχής σε βραχυκυκλώματα, δηλαδή διακόπτες ή ασφάλειες.
- Η εγκατάσταση του καταναλωτή είναι συνήθως στεγασμένη και περιέχει τα καλώδια, τους ζυγούς ΜΤ, 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 παρόλλο 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, την μελέτη από τον εγκαταστάτη, έγκριση της μελέτης από τη ΔΕΗ, κατασκευή και σύνδεση της παροχής ΜΤ.
Υπάρχουν τέσσερις τυποποιημένες παροχές ΜΤ (A_1,A_2,B_1,B_2) που διαφέρουν ως προς την εγκατάσταση της ΔΕΗ, δηλαδή εναέρια (A_1,A_2) ή στεγασμένη (B_1,B_2), ώς προς την προστασία και την ισχύ. Η ΔΕΗ προσδιορίζει τον τύπο της παροχής.
Τα πρότυπα που προσδιορίζουν τις εγκαταστάσεις ΜΤ και ΥΤ είναι τα DIN VDE 0101 και της CENELEC EN 50179.

1.2 Εξοπλισμός ζεύξης και προστασίας του δικτύου ΜΤ

1.2.1 Αναχώρηση γραμμών ΜΤ

Οι γραμμές διανομής ΜΤ ξεκινούν από το ζυγό των 15 ή 20 kV από Μ/Σ ισχύος 25....50 MVA σχ.1.1. Οι γραμμές διακρίνονται σε εναέριες, υπόγειες (σε συνωστισμένες περιοχές) ή μικτές υπόγειες-εναέριες {9} .
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 εναέρια δίκτυα ΜΤ έχουν δενδροειδή μορφή. Αποτελούνται από τον ‘’κορμό’’

που κατασκευάζεται με αγωγούς μεγάλης διατομής και τις διακλαδώσεις πάνω στις οποίες συνδέονται οι Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ. Οι διακλαδώσεις κατασκευάζονται από αγωγούς μικρότερης διατομής από του κορμού. Τα δίκτυα αυτά λειτουργούν πάντα ακτινικά δηλαδή όλες οι γραμμές τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Η τροφοδότηση του κορμού της γραμμής στο ένα άκρο της γίνεται από τους ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ μέσω ενός Δ/Ι, ενώ στο άλλο άκρο της ο κορμός μπορεί να διασυνδέεται , μετά από χειρισμό, με άλλη γραμμή του ίδιου ή άλλου Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ. Κατά μήκος του κορμού μπορεί να εγκαθίστανται αποζεύκτες, Δ/Φ ή Δ/Ι. Οι δύο πρώτοι χρησιμεύουν στο να έχει τη δυνατότητα ο κορμός να απομονώνεται κατά τμήματα όταν είναι αναγκαίο για λόγους συντήρησης ή αποκατάστασης βλάβης τα υπόλοιπα τμήματα της γραμμής επανατροφοδοτούνται.
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 ιδαίτερα χρονοβόρα διαδικασία γι' αυτό ακολουθείται η πρακτική να υπάρχει η δυνατότητα μετά από βλάβη να επανατροφοδοτούνται οι Υ/Σ ΜΤ-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 ΜΤ σε:

- Βροχοειδές που χαρακτηρίζεται από το ότι οι γραμμές αποτελούν τμήματα βρόχου που αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ.
- Ατρακτοειδές που χαρακτηρίζεται από το ότι οι γραμμές αρχίζουν από ένα Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ και καταλήγουν σε ένα άλλο ή καταλήγουν σε ένα Υ/Σ ζεύξης δηλαδή σε ένα Υ/Σ που δεν μετασχηματίζει την τάση αλλά απλά καταλήγουν και αναχωρούν απ' αυτόν οι γραμμές μεταφοράς.

Οι υπόγειες γραμμές λειτουργούν ακτινικά και ειδικότερα στο βροχοειδές σχήμα δικτύου ένας από τους ΔΦ, συνήθως στο μέσο του βρόχου,παραμένει ανοικτός. Στα ατρακτοειδή παραμένουν συχνά ανοικτοί οι διακόπτες των ζυγών ΜΤ των Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ ή του Υ/Σ ζεύξεως. Σε περίπτωση σφάλματος σε οποιοδήποτε σημείο μιας γραμμής προκαλείται αρχικά το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος που προστατεύει τη γραμμή στην αναχώρησή της από τον Υ/Σ ΥΤ-ΜΤ. Στη συνέχεια αφού εντοπιστεί η θέση του σφάλματος, το αντίστοιχο τμήμα απομονώνεται με το άνοιγμα των εκατέρωθεν ΔΦ ενώ τα υπόλοιπα τμήματα επανατροφοδοτούνται.

1.2.1.1 Προστασία γραμμών αναχώρησης του δικτύου ΜΤ

Σε κάθε αναχώρηση εναέριας ή υπόγειας γραμμής υπάρχει συνήθως ένας διακόπτη ισχύος πτωχού ελαίου (Δ0 σχ.1.1) 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 {12}. 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 ουδετέρου 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 ΜΤ διακρίνονται σε {6}:

- Απλούς Η/Ν υπερεντάσεως που δεν εξαρτώνται από την κατεύθυνση
- Στους 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 ΜΤ. Οι χαρακτηριστικές προσδιορίζουν για κάθε ρεύμα πότε θα ανοίξει ο διακόπτης και ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης. Για λόγους συντονισμού των διακοπτών, ενδείκνυται οι χρόνοι ανοίγματος του διακόπτη της ΔΕΗ να είναι μεγαλύτεροι σε σχέση με αυτούς των διακοπτών 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 μειώσεως του χρόνου διακρίνονται τρείς 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 ΜΤ εκτελούν συνήθως περισσότερους κύκλους λειτουργίας ως εξής {12}:
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 , ξαναανοίγει αν το σφάλμα παραμείνει κ.ο.κ.
Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως O-C-O …(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.

1.2.1.2 Αναχωρήσεις εναέριων καλωδίων ΜΤ

Στα εναέρια δίκτυα οι Η/Ν είναι αντιστρόφου χρόνου σχ.1.2α {12}. 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 διακλαδώσεις 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.

1.2.1.3 Αναχωρήσεις υπόγειων καλωδίων ΜΤ

Για υπόγεια καλώδια προτιμώνται οι Η/Ν υπερεντάσεως χρονικής καθυστερήσεως με χαρακτηριστικές σταθερού χρόνου σχ.1.2β {12}. 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.

1.2.2 Διακλάδωση σε καταναλωτή ΜΤ

Στα σημεία τροφοδότησης των καταναλωτών η ΔΕΗ εγκαθιστά,πριν την εγκατάσταση του καταναλωτή, ένα μέσο προστασίας Δ1 της διακλάδωσης σχ.1.1. 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 {12}:

- ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ,
- διακόπτης απομόνωσης (sectionalizer) ,
- αυτόματος διακόπτης ισχύος με τους κατάλληλους Η/Ν και
- ασφάλειες σκόνης.

1.2.2.1 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 μετά 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.

1.2.2.2 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 1-2cm 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 ψήξης. 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.

1.2.2.3 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 Δ.Ε.Η, δεν προστατεύει πάντα τον Μ/Σ ή την εγκατάσταση ΜΤ του καταναλωτή, αλλά μόνο την παροχή, δηλαδή απομονώνει την παροχή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Εξαίρεση 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 υπόψιν 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 διακοπτών 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.

1.2.3 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 400V 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) {15} .

1.3 Τυποποιημένες παροχές ΜΤ

Υπάρχουν τέσσερις τύποι παροχών ΜΤ {12} :

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.
Τα σχ.1.3-1.7 δείχνουν τους τύπους αυτούς παροχής και τις προδιαγραφές των μέσων προστασίας τους. Τα μέσα αυτά αφορούν προστασία μόνο έναντι βραχυκυκλωμάτων.
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 το Μ/Σ, τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ και από τον κεντρικό πίνακα ΧΤ.

1.3.1 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 30Α (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 που αποζεύξιμοι με διακόπτη φορτίου. Ο διακόπτης φορτίου πρέπει να συνοδεύεται και από ένα αποζεύκτη αν δεν έχει ορατές επαφές. Οι παραλληλισμένοι Μ/Σ είναι συνδεδεμένοι μόνιμα ή μέσω απόζευκτών 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 ένα ή περισσότερους Μ/Σ παράλληλα συνδεδεμένους.
- Δύο ή περισσότεροι κλάδοι μενωμένοι 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 βραβραχυκύκλωμα 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.

1.3.2 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 αναχώρηση της γραμμής ΜΤ του δικτύου, εξαιτίας του Δ/Α.
Η εγκατάσταση της ΔΕΗ περιλαμβάνει αποζεύκτη, Δ/Α(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 πίνακά του 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 ρυθμίζονταν 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.

1.3.3 Παροχή Β1

Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές μικρής ισχύος, όταν αυτοί τροφοδοτούνται από εναέρια ή υπόγεια δίκτυακαι 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 Β2.
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 ΔΦ της ΔΕΗ έχει ορατές επαφές τότε αφού, γειωθούν τα στοιχεία του Υ/Σ, μπορούν να εκτελεστούν εργασίες στον Υ/Σ του καταναλωτή. Αν ο ΔΦ δεν έχει ορατές επαφές τότε πρέπει να τοποθετηθούν ένας αποζεύκτης ή ΔΦ με ορατές επαφές επιπλέον προκειμένου να εκτελεσθούν 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 ΔΦ 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 400Α 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 Β2.

1.3.4 Παροχή Β2

Η παροχή αυτή κατασκευάζεται σε καταναλωτές ισχύος μεγαλύτερης από αυτή της παροχής Β1, 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 ΔΦ. 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 υπόψιν οι εξής απαιτήσεις:

- Συνεργασία με τον Η/Ν αναχώρησης της γραμμής

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

- Εξασφάλιση προστασίας των Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα

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

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

Στην περίπτωση που οι Η/Ν αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου η αδράνεια του Δ/Ι στην παροχή σε ρεύματα ζεύξης είναι εξασφαλισμένη όταν τα στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας του Η/Ν 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 επηρρεάζεται από τα ρεύματα ζεύξης που διαρκούν λιγότερο χρόνο. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση Η/Ν αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

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

Στην περίπτωση που οι Η/Ν αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου, αν υπάρχουν μέσα προστασίας στην 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 Η/Ν αναχώρησης αντιστρόφου χρόνου.

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

Στην περίπτωση που οι Η/Ν αναχώρησης είναι σταθερού χρόνου, για να μην έχουμε πτώση του Δ/Ι της παροχής από υπερφορτίσεις, η ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης στους Η/Ν 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 Η/Ν 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 διακοπτών φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθούν Δ/Ι με αποζεύκτες. Αυτό εφαρμόζεται αν προστατεύσουμε επιπρόσθετα τον κλάδο με διαφορική προστασία, Η/Ν Buchholz, θερμίστορες ή Η/Ν υπερέντασης. Η ΔΕΗ δε συνιστά Η/Ν υπερέντασης γιατί υπάρχει δυσκολία στη συνεργασία με τον Η/Ν 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.

1.4 Γειώσεις Υ/Σ καταναλωτών ΜΤ

Η γείωση στους Υ/Σ είναι απαραίτητη για τους εξής λόγους {12} :

- Προστασία ατόμων κατά επικίνδυνων τάσεων επαφής και βηματικών τάσεων σε βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσης και γης στη ΜΤ (σφάλματα γης). Παράδειγμα είναι το σφάλμα μεταξύ φάσης και δοχείου του Μ/Σ ή και άλλων μεταλλικών μερών του Υ/Σ.
- Χρειάζεται γείωση λειτουργίας του ουδέτερου του Μ/Σ και γείωση προστασίας στην εγκατάσταση της ΧΤ για προστασία ατόμων κατά επικίνδυνων τάσεων επαφής. Η γείωση γίνεται σύμφωνα με τον κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384.

Η γείωση ΧΤ αναπτύσεται στο κεφάλαιο 7. Η γείωση ΜΤ φέρει σημαντικά ρεύματα σε σφάλματα γης.Το ρεύμα γης ρέει μέσω αντιστάσεων που προέρχονται από το δίκτυο των 150 kV ,τον Μ/Σ 150/20 kV και τη γείωσή του, τις γραμμές των 20 kV και την αντίσταση γείωσης του Υ/Σ του καταναλωτή. Μια από τις μεγαλύτερες αντιστάσεις είναι η αντίσταση γείωσης του Μ/Σ 150/20 kV, που συνήθως είναι 12 Ω για ισχύ 50 MVA και 9 Ω στους Μ/Σ 150/15 kV. Αυτή η αντίσταση έχει εκλεγεί ώστε να περιορίζει το ρεύμα σε σφάλματα γης στα 1000 Α. Έτσι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να ρέει σε τέτοια σφάλματα είναι 1000 Α και η διάρκειά του εξαρτάται από τη ρύθμιση των Η/Ν γης.
Τα ρεύματα σε σφάλματα γης στη ΜΤ μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Για την αντιμετώπισή τους χρησιμοποιούνται μικρές αντιστάσεις γείωσης και ισοδυναμικά πλέγματα.

Διακρίνουμε δύο είδη γείωσης ΜΤ σχ.1.8, 1.9:
1. Η συνισταμένη αντίσταση γείωσης της ΜΤ και ΧΤ είναι μικρότερη του 0,7 Ω (παλαιότερα 1Ω) και
2. Η συνισταμένη αντίσταση της ΜΤ και ΧΤ είναι πάνω από 0,7 Ω.

Συγκεκριμένα:

1. Σε παροχές ΜΤ μπορεί η εγκατάσταση γείωσης ΜΤ και ΧΤ να είναι κοινή αν η συνισταμένη αντίσταση είναι μικρότερη του 0,7 Ω.

- Παροχές τύπου Α κοινή γείωση ΜΤ και ΧΤ

Σε παροχές τύπου Α τα αλεξικέραυνα της ΔΕΗ γειώνονται σε ιδιαίτερο γειωτή π.χ πάσσαλο 3 m στο έδαφος, που είναι κατασκευή της ΔΕΗ.

Τα μεταλλικά μέρη της ΜΤ και ΧΤ γειώνονται σε κοινή εγκατάσταση γείωσης. Αυτά είναι οι μετρητές, τα αλεξικέραυνα του καταναλωτή, οι μανδύες των καλωδίων ΜΤ, τα μεταλλικά μέρη των κυψελών ΜΤ του καταναλωτή, το δοχείο του Μ/Σ και ο ουδέτερος της ΧΤ.
Οι εγκαταστάσεις γείωσης είναι τρείς. Η πρώτη είναι αυτή των αλεξικέραυνων της ΔΕΗ(πάσσαλος), η δεύτερη είναι στο στύλο των μετρητών (πάσσαλος) και η τρίτη στον εσωτερικό χώρο του καταναλωτή με πασσάλους από γαλβανισμένο χάλυβα 2 mm διαμέτρου, 3m στο έδαφος. Οι πάσσαλοι ενδείκνυται να είναι τρείς τουλάχιστον σε απόσταση 6 m μεταξύ τους. Συνίσταται αντί πασσάλων να χρησιμοποιείται θεμελειακή γείωση. Στην εγκατάσταση του εσωτερικού χώρου ενδείκνυται η χρησιμοποίηση ισοδυναμικού πλέγματος σε βάθος 5 cm, σε όλο το δάπεδο του Υ/Σ που είναι προσιτό σε ανθρώπους. Σαν ισοδυναμικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα με διάμετρο 5 mm τουλάχιστον ,με ανοίγματα το πολύ 300Χ300 mm^2. Το δομικό πλέγμα βρίσκεται μέσα στο μπετόν του δαπέδου, σε βάθος 5-10 cm. Στο πλέγμα συγκολούνται χαλύβδινες ταινίες 30Χ3,5 mm^2 για σύνδεση με τα μεταλλικά μέρη των κυψελών και τους γειωτές. Ενδείκνυται η χρήση γαλβανισμένου χάλυβα. Αντί δομικού πλέγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα 30Χ3,5 mm^2 μέσα στο μπετόν σε βάθος 5cm. Τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους σε απόσταση 0,5-0,7 m και συνδέονται με βίδες μετωπικά πάλι με ταινίες.
Δεν ενδείκνυται η χρήση πλέγματος από χαλκό σε συνδυασμό με χαλύβδινα ηλεκτρόδια γείωσης, διότι μπορεί να συμβεί ηλεκτροχημική διάβρωση.
Για τη γείωση χρησιμοποιούνται αγωγοί που μπορούν να φέρουν ρεύματα 10000 Α για 1 sec. Η διατομή που αντιστοιχεί είναι 25mm^2. Η αντίσταση γείωσης μετριέται και και πρέπει να είναι <0,7 Ω.

- Παροχές τύπου Β, κοινή γείωση ΜΤ και ΧΤ

Στις παροχές τύπου Β οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ και των καταναλωτών γειώνονται ή σε πασσαλογειωτές όπως στις παροχές Α ή σε θεμελιακή γείωση. Στο χώρο της ΔΕΗ και του καταναλωτή κατασκευάζονται ισοδυναμικά πλέγματα όπως ορίζουν οι προδιαγραφές της ΔΕΗ. Είναι δομικό πλέγμα με σύρματα διαμέτρου 5mm τουλάχιστον και διαστάσεων ανοιγμάτων το πολύ 300Χ300 mm^2.

2 . Η συνισταμένη αντίσταση γείωσης του Υ/Σ είναι μεγαλύτερη του 0,7 Ω.

Στην περίπτωση αυτή οι γειωτές της ΜΤ και ΧΤ δεν ενώνονται. Οι κατασκευές των γειωτών και τα ισοδυναμικά πλέγματα γειώνονται στη ΜΤ όπως και στην περίπτωση Υ/Σ με αντίσταση γείωσης <0,7 Ω. Η αντίσταση γείωσης των γειωτών ΜΤ πρέπει να είναι μικρότερη των 40 Ω για λόγους ασφαλείας των ατόμων.
Η γείωση του ουδέτερου του Μ/Σ και ενδεχομένως οι γειώσεις του ουδέτερου αγωγού στους πίνακες ΧΤ πρέπει να έχουν συνολική συνισταμένη αντίσταση γείωσης μικρότερη των 10 Ω. Οι γειωτές της ΧΤ είναι τουλάχιστο 20 m μακριά από τους γειωτές της ΜΤ ώστε να μην αλληλοεπηρεάζονται οι δύο εγκαταστάσεις γείωσης. Ο ηλεκτρικός διαχωρισμός τους δεν είναι εύκολος, γι' αυτό πρέπει να γίνεται προσπάθεια ώστε η αντίσταση γείωσης του Υ/Σ να είναι χαμηλή. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση ξεχωριστών γειώσεων όπου η αντίσταση γείωσης της ΜΤ είναι μεγάλη π.χ 40 Ω η μόνωση του Μ/Σ καταπονείται σε σφάλματα γης. Για τον λόγο αυτό συνίσταται η προστασία με απαγωγείς υπερτάσεων.

1.5 Μετασχηματιστές

Από κατασκευαστικής άποψης μπορούμε να χωρίσουμε τους Μ/Σ στις εξής κατηγορίες {2}:

- Ανάλογα με το μονωτικό μέσο

1. Μ/Σ με μονωτικό ορυκτέλαιο

Είναι οι πιο συνηθισμένοι Μ/Σ που υπάρχουν στην αγορά. Η επικράτησή τους οφείλεται στο γεγονός ότι είναι οι πιο βέλτιστοι από πλευράς κόστους. Κύριο μειονέκτημά τους είναι η μικρή θερμοκρασία ανάφλεξης (περίπου 140°C) που καθιστά τον Μ/Σ εύφλεκτο , ακατάλληλο για χρήση μέσα σε κτήρια.

2. Μ/Σ με άλλα μονωτικά λάδια

Αντιμετωπίζουν το μειονέκτημα των προηγούμενων Μ/Σ. Υπάρχουν δυο κατηγορίες:
-Με λάδι τύπου Άσκαρελ. Σήμερα δεν χρησιμοποιείται διότι έχει αποδειχθεί ότι είναι καρκινογόνος.
-Με συνθετικά λάδια όπως σιλικονούχα τα οποία είναι σχετικά ακριβά.

3. Ξηροί Μ/Σ

Οι Μ/Σ αυτού του τύπου έχουν το πλεονέκτημα να μην είναι εύφλεκτοι και έχουν προδιαγραφές πυροπροστασίας. Κατατάσσονται και αυτοί σε δύο κατηγορίες:
-Με μόνωση χαρτιού
-Με μόνωση εποξικής ρητίνης

4. Μ/Σ SF_6

Από πλευράς κόστους η σχέση τους με τους υπόλοιπους Μ/Σ είναι:

Κοινοί Μ/Σ	**Σιλικόνης**	**Μόνωση χαρτιού**	**Ξηροί**
1	1,5	1,6	2

- Ανάλογα με τη χρήση

Διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες που έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό την ισχύ:

1. Μ/Σ Διανομής

Χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής για να μεταφέρουν ενέργεια από το δίκτυο ΜΤ στο δίκτυο ΧΤ των καταναλωτών. Η ισχύς τους κυμαίνεται από από 50-1600 kVA.

2. Μ/Σ ισχύος

Χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής για την ανύψωση της τάσης και στους Υ/Σ μεταφοράς είτε για την ανύψωση είτε για τον υποβιβασμό της τάσης μέχρι και την ΜΤ. Η ισχύς τους είναι κυρίως από 1,6 MVA και πάνω.

- Ανάλογα με την ψύξη

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.

1.5.1 Προδιαγραφή αγοράς 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

1.5.2 Επιλογή Μ/Σ

Οι Μ/Σ που προτιμώνται είναι οι ελαιόψυκτοι εκτός αν έχουμε ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος όπως π.χ απαιτήσεις για αποφυγή μόλυνσης περιβάλλοντος, εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Τότε επιλέγονται Μ/Σ με στερεά μόνωση οι οποίοι μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια. Έτσι συναντάμε Μ/Σ στερεάς μόνωσης σε πλατφόρμες πετρελαίου, αποθήκες καυσίμων ή πυρομαχικών και σε εργοστάσια τροφίμων.
Το μέγεθος των Μ/Σ προσδιορίζεται από την προβλεπόμενη μέγιστη ζήτηση μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Μπορεί όμως και από οικονομική άποψη να συμφέρει η αγορά μεγαλύτερου Μ/Σ απ' ότι χρειάζεται, διότι μεγαλύτερος Μ/Σ σημαίνει και χαμηλότερες απώλειες χαλκού. Για λόγους εφεδρείας συνήθως εκλέγονται δύο ή περισσότεροι παράλληλοι Μ/Σ.
Η συνδεσμολογία των Μ/Σ συνίσταται να είναι Dyn 11 ή Dyn 5. Συνδεσμολογία Yzn , όπως και άλλες, γίνονται δεκτές κατόπιν συνεννοήσεως με τη ΔΕΗ. Οι συνδεσμολογίες Dyn 11, Dyn 5 παραλληλίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 1.1. Οι συμβολισμοί των ακροδεκτών φαίνονται στο σχ.1.10.
Δεν επιτρέπεται γείωση του Μ/Σ στην πλευρά της ΜΤ. Ο ουδέτερος της ΧΤ όμως γειώνεται. Η τάση του Μ/Σ εκλέγεται με την πρόβλεψη ότι όλα τα δίκτυα ΜΤ θα εξελιχθούν στην τάση 20 kV. Επίσης ο μεταβλητός λόγος μετασχηματισμού συνίσταται να είναι μεταξύ των ορίων $\pm 2{,}5 \kappa\alpha\iota \pm 5\%$
Ο μεταβλητός λόγος μετασχηματισμού επιτυγχάνεται με διακόπτη μεταγωγέα που αλλάζει τον αριθμό των σπειρών στην πλευρά της ΜΤ όταν ο Μ/Σ δεν φέρει ρεύμα. Η αλλαγή της τάσης γίνεται αφού διακόψουμε την τάση και γειώσουμε τις φάσεις στη ΜΤ και ΧΤ. Ο διακόπτης τοποθετείται στη ΜΤ διότι το ρεύμα στη ΜΤ είναι μικρότερο απ' ότι στη ΧΤ {12}.

1.5.3 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 {12}:

- Η σχέση των ισχύων τους 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 βραχυκυκλωσεως.
- 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 Dy 5 και Dy 11 όταν συμπίπτουν οι τάσεις τους με κατάλληλη αντιστοίχιση ακροδεκτών,όπως στον πιν.1.1.

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 ουδέτερους. Το βολτόμετρο πρέπει να δείχνει το πολύ 0,5% τάση δηλ 0,2 Volt.

1.5.4 Θερμοκρασία Μ/Σ

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

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40^0C,
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30^0C,
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20^0C,
- Υψόμετρο της εγκατάστασης έως 1000μ.

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,όπως φαίνεται στα σχ.1.11α, σχ.1.12 αντίστοιχα {12}. Η μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία του λαδιού είναι 100^0C. Η αντίστοιχη θερμοκρασία στα τυλίγματα είναι 105^0C. Υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τη διάρκεια ζωής του Μ/Σ ή μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή της μόνωσης και βραχυκυκλώματα.

1.5.5 Υπερφόρτιση Μ/Σ

Ο Μ/Σ επιτρέπεται να φορτιστεί παροδικά με μεγαλύτερο ρεύμα απ' ότι το ονομαστικό του. Ο χρόνος υπερφόρτισης εξαρτάται από την προηγούμενη φόρτιση. Στο σχ.1.11β {12} φαίνονται οι επιτρεπόμενοι χρόνοι υπερφόρτισης.

1.5.6 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 προκάλεσει, 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(χαλκού) απώλειες και οι απώλειες σιδήρου αποτελούν τις απώλειες ισχύος ενός Μ/Σ {8}.

1.5.7 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^oC. Αυτή ανοίγεται 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 {10}.

1.5.8 Πτώση τάσης

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 ή επαγωγικό ή χωρητικό φορτίο είναι :

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

,

cosφ=1.

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

,

cosφ=0, (+) για επαγωγικό και (-) για χωρητικό φορτίο.

Για Μ/Σ ισχύος 25-1600 KVA υπολογίζονται {12} :

Για ονομαστικό ρεύμα και ωμικό φορτίο ισχύει:

$\Delta u = u_r = 2{,}5 \ldots 1{,}1\%$, φ=0,

Για ονομαστικό ρεύμα και επαγωγικό φορτίο ισχύει :

$\Delta u = u_x = 3{,}5 \ldots 5{,}4\%$, $\varphi = 90^o$,

Για ονομαστικό ρεύμα και χωρητικό φορτίο ισχύει:

$\Delta u = -u_x = -3{,}5 \ldots -5{,}4\%$, $\varphi = -90^o$ ανύψωση τάσης.

1.5.9 Προστασία Μ/Σ

Ένας Μ/Σ μπορεί να υποστεί σοβαρή βλάβη στις εξής περιπτώσεις {5}:

- 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.

1.5.9.1 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

$$I = \frac{V_N}{Z_t}$$

όπου $Z_t = u_k \frac{V_N^{\ 2}}{100 S_N}$

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

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

όπου το I προσδιορίζεται όπως πριν και
$\kappa*2^{1/2}$=1,51....2,55 αν X/R=1….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 επηρρεάζουν τη διάρκεια ζωής των Μ/Σ.
Η προστασία γίνεται με ασφάλειες σκόνης ή με Δ/Ι 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 λοιώνουν είναι 2-3 φορές η ονομαστική τους ένταση.

Οι ασφάλειες προτιμώνται έναντι των Δ/Ι, 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 Α για ισχύ Μ/Σ 630-1250 kVA. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι Δ/Ι για προστασία. Είναι ακριβότερη λύση αλλά μπορούν να συνδυαστούν και με άλλα μέσα προστασία (Η/Ν Buchholz) και μπορούν να συνεργαστούν πιο εύκολα με τους διακόπτες αναχώρησης της γραμμής ΜΤ. Οι Η/Ν σταθερού χρόνου των Δ/Ι 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 βγούν εκτός τα στιγμιαία στοιχεία {12}.

Τα σφάλματα στους Μ/Σ μπορούν να συμβούν λόγω βραχυκυκλωμάτων προς το κέλυφος τους. Μια αποτελεσματική προστασία φαίνεται στο σχ.1.13. Η προστασία αυτή εφαρμόζεται όταν ο ουδέτερος του ενός από τα τυλίγματα γειώνεται απ' αυθείας ή μέσω αντιστάσεως μικρής τιμής. Η αντίσταση γειώσεως της βάσεως πάνω στην οποία βρίσκεται ο Μ/Σ θα είναι πολύ μεγαλύτερη της αντιστάσεως του ισοδυναμικού πλέγματος του Υ/Σ αν δεν συνδεθεί με αυτό. Η προστασία συνίσταται στη σύνδεση του μεταλλικού κελύφους του Μ/Σ προς το πλέγμα γειώσεως του Υ/Σ, όχι όμως απ' ευθείας,αλλά μέσω ενός αγωγού 2 στο σχ.1.13 ο οποίος συνδέεται με το κέλυφος μόνο σε ένα σημείο. Στον αγωγό αυτό παρεμβάλλεται ένας Μ/Σ εντάσεως 3 ο οποίος τροφοδοτεί ένα Η/Ν υπερεντάσεως 4. Στο σχ.1.13 φαίνεται η ροή του ρεύματος I σε περίπτωση εσωτερικού σφάλματος προς το κέλυφος του Μ/Σ. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση βραχυκυκλώματος του εντός του κελύφους τυλίγματος προς το κέλυφος. Το ρεύμα I μοιράζεται μεταξύ του αγωγού 2 και του κελύφους και συνεπώς εφόσον η ένταση του αγωγού είναι μεγάλη διεγείρεται ο Η/Ν 4. Στην περίπτωση εξωτερικού σφάλματος σχ.1.13β δεν θα πρέπει να διεγερθεί ο Η/Ν 4. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο συσχετισμό των αντιστάσεων γείωσης της βάσης του Μ/Σ και του πλέγματος γείωσης του Υ/Σ {6}.

1.5.9.2 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 (K1),
- Την διάρκεια της υπερφόρτισης(t),
- Την θερμοκρασία του αέρα ψύξεως του Μ/Σ

Στον παρακάτω πίνακα 8α υπάρχουν οι επιτρεπόμενες υπερφορτίσεις για Μ/Σ με φυσικό αερισμό και θερμοκρασία αέρα Θ_α=20°C. Η φόρτιση θεωρείται ότι επαναλαμβάνεται κυκλικά ανά 24h, κατά IEC-354 .

Τιμές	**του**	**K2 για**	**Θα=20°C**	**και K1,t**	**δεδομένα**	
K1	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

Πιν.1α 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 θερμόμετρα 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 θερμόμετρα λαδιού παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού. Σε κάθε θερμόμετρο υπάρχουν συνήθως δυο οριακοί δείκτες, ο μπλέ 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 θερμόμετρων λαδιού. Ωστόσο αυτή η προστασία εφαρμόζεται σε Μ/Σ ξηρής μόνωσης {12}.

1.5.9.3 Προστασία κατά εσωτερικών σφαλμάτων και έλλειψης λαδιού με Η/Ν Buchholz.

Σε ελαιόψυκτους Μ/Σ μπορούν να ανιχνευθούν με τους Η/Ν 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 Η/Ν Buchholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και αν χρειάζεται να επισκευαστεί.
Ο Η/Ν 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 Α1 (κινδύνου). Αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά τότε γεμίζει αέρια ο Η/Ν και κλείνει ο διακόπτης 2 που δίνει σήμα Α2 (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 Η/Ν Buchholz προστατεύει σε σφάλματα μόνωσης, βραχυκυκλώματα και σε διαρροή λαδιού. Συνήθως εφαρμόζεται μόνο σε σχετικά μεγάλους Μ/Σ π.χ. 630 kVA και άνω για οικονομικούς λόγους {12}.

1.5.9.4 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 Η/Ν 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 Η/Ν 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 Η/Ν του Μ/Σ ΜΤ-ΧΤ είτε με πρόσθετες διατάξεις οι οποίες όμως περιπλεκουν 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 1250KVA και άνω {6}.

1.5.10 Εγκατάσταση και ψύξη Μ/Σ

Η εγκατάσταση μπορεί να είναι είτε υπαίθρια είτε στεγασμένα.
Υπαίθριες εγκαταστάσεις, πρέπει να έχουν κατάλληλους μονωτήρες διέλευσης και τα καλώδια κατάλληλες ακροκεφαλές. Οι Μ/Σ πρέπει να βαφούν με αντιοξειδωτικό χρώμα κατά προτίμηση από εποξειδικές ρητίνες. Οι υπαίθριες εγκαταστάσεις είναι εκτεθειμένες σε κινδύνους βραχυκυκλώματος. Επίσης πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο η ηλιακή ακτινοβολία επηρρεάζει την ψύξη τους.
Υπαίθριες ή στεγασμένες εγκατάστασεις 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 έκρηξής 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 σχ.1.14. 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 έως το μέσο του ανοίγματος εξόδου. Στο σχ.1.14 φαίνεται η επιφάνεια εξόδου σαν συνάρτηση του h, για πλήρες άνοιγμα {12}. Αντί για το σχήμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις {10}:

$$A_2=0,19(P_{Fe}+P_{Cu})/h \text{ σε } m^2 \text{ και } A_1=0,92A_2$$

Όπου A_2 το πάνω άνοιγμα και A_1 το κάτω, 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%.

1.6 Υλικά και διατάξεις ζεύξης και προστασίας Υ/Σ ΜΤ

1.6.1 Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση χειρισμών ζεύξης και απόζευξης στη ΜΤ είναι τα εξής:

- Αποζεύκτης (Α/Ζ) 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 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 σφαλμάτων ενώ σε ανοιχτή κατάσταση πρέπει να αντέχουν στις υπερτάσεις τις εγκατάστασης. Δεν πρέπει να χειρίζονται όμως υπό φορτίο. Γι' αυτό πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους Δ/Φ ή ισχύος που ανήκουν {10}.

- Διακόπτες φορτίου (Δ/Φ) 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 ΔΦ 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 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 από 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 {12}.

Χαρακτηριστικά των Δ/Φ είναι :

- ✓ Η ονομαστική τάση
- ✓ Η ονομαστική ένταση η ένταση διακοπής
- ✓ 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.

- Διακόπτες ισχύος (Δ/Ι) 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 διακοπτών ισχύος ΜΤ είναι {3}:

- 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 σβύνει.

- διακόπτης πτωχού ελαίου

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

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

- διακόπτης SF6

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

- Απόζευξη μικρών επαγωγικών και χωρητικών ρευμάτων,
- Κινητήρες,
- Πυκνωτές,

- διακόπτης κενού(vacum).

Στους διακόπτες κενού ,το ηλεκτρικό τόξο αποτελείται από ατμούς μετάλλου. Το τόξο σβείνει στην περιοχή του μηδενισμού του ρεύματος, ενώ οι αγώγιμοι 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,
- Απόζευξη 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' ότι 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 Α περίπου {12}. 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 πρός γη.

Ο Δ/Ι συνοδεύεται και από ένα αποζεύκτη κατάλληλα μανδαλωμένο με αυτόν. Μετά από κάθε διακοπή ισχύος δηλ. βραχυκύκλωμα πρέπει να επιθεωρούνται. Αυτό δεν είναι απαραίτητο μετά από απόζευξη φορτίου. Οι Δ/Ι δεν χρειάζεται να εκτελούν κύκλους επαναφοράς ΟΟΟ 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 συρρόμενου τύπου με λυόμενες συνδέσεις ΥΤ.

- 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 ισχύος που ανήκουν {10}.

1.6.2 Μέσα προστασίας Υ/Σ 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 {12}. 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 {12} :

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ,χαρακτηρίζεται με το γράμμα Τ.
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης,χαρακτηρίζεται με το Κ.

Οι ασφάλειες σκόνης έχουν ένα σώμα από κεραμικό υλικό,πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένος ο αγωγός και το τηκτό. Ο τυλυγμένος 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 ΗΗ 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_κ που μπορεί να διακόψει
- Ισχύς βραχυκύκλωσης
- Ελάχιστο ρεύμα διακοπής I_{min}
- Απώλειες στο ονομαστικό ρεύμα.

Το ονομαστικό ρεύμα στις ασφάλειες ΗΗ 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 Κ. 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 τρείς όχι μόνο η μία διότι μπορεί να έχουν αλλοιωθεί και οι άλλες δυο.

1.7 Συνδυασμοί μέσων ζεύξης και προστασίας στη ΜΤ

Στην πράξη στους πίνακες ΜΤ χρησιμοποιούνται πολύ συχνά συνδυασμοί των παραπάνω μέσων ζεύξης και προστασίας. Οι κυριότεροι είναι {10}:

- Α/Ζ σε συνδυασμό με γειωτή και Δ/Ι. Ο αποζεύκτης χρησιμεύει για την απομόνωση της εγκατάστασης από την τάση και 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 ΔΦ 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 Α/Ζ είναι κλειστός.
- Δεν μπορεί να χειριστεί κανείς τον Α/Ζ, 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 προστασία τη δική του και της εγκατάστασης. Έτσι για χειρισμό διακοπής της τροφοδοσίας της εγκατάστασης πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδοχή χειρισμών:

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

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

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

1.8 Μετασχηματιστές μέτρησης

Χρησιμοποιούνται Μ/Σ για να αποζεύξουμε γαλβανικά και να μονώσουμε τα όργανα μέτρησης τάσης, έντασης, ισχύος κ.λ.π. από το δίκτυο ΜΤ {12}.

1.8.1 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 ασφαλίζονται στο πρωτεύον και δευτερεύον με ασφάλειες των 6 Α και 10 Α αντίστοιχα για προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων. Οι Μ/Σ με στερεά μόνωση (εποξειδικές ρητίνες) δεν ασφαλίζονται 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 $S_r=V_2*I_2$
- Κλάση ακρίβειας δηλαδή το μέγιστο σφάλμα του Μ/Σ για την ονομαστική ισχύ. Συμβολίζεται με cl0,2….cl0,3.
- 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. Οι πόλοι χαρακτηρίζονται κατά IEC,VDE ως εξής, πιν.1β:

ΜΤ	**Πολικές τάσεις**	AB UV
	Φασικές τάσεις	AN UX

ΧΤ	**Πολικές τάσεις**	ab uv
	Φασικές τάσεις	an ux
	Τύλιγμα γης	du,dn e,n

Πιν.1β

1.8.2 Μ/Σ έντασης

Οι Μ/Σ έντασης διέπονται από τα πρότυπα VDE 0414,IEC 185,186. Χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις της ΔΕΗγια 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 $2*I_{pn}$. Οι συμβολισμοί κατά VDE είναι K,L για το πρωτεύον και k, l για το δευτερεύον. Κατά IEC έχουμε P1, P2 και S1, S2 για πρωτεύον και δευτερεύον αντίστοιχα. Αν υπάρχουν πολλά δευτερεύοντα τότε μπαίνουν οι αριθμοί 1, 2, 3 πριν το S1, S2 π.χ 1S1, 2S1.

1.8.2.1 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.

1.9 Προστασία των Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ κατά των υπερτάσεων

Οι εσωτερικές υπερτάσεις λόγω χειρισμών δεν είναι επικίνδυνες γιατί από τις προδιαγραφές τους τα υλικά ΜΤ αντέχουν σε αυτές, (Πίνακας 1γ) {12}:

Ονομαστική τάση	KV	20	(15)
Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη τάση	KV	24	(18)
Ενεργός τάση δοκιμής τυλίγματος (1sec)	KV	50	(45)
Ενεργός τάση δοκιμής μονωτήρων (1 sec)	KV	55	(50)
Κρουστική τάση δοκιμής 1,2/50μs	KV	125	(95)
Αποκομένη κρουστική τάση δοκιμής	KV	145	(108)
Αποστάσεις μεταξύ μονωτήρων διέλευσης	mm	210	(160)
Αποστάσεις μεταξύ φάσεων και γης	mm	215	(165)

Πιν.1γ

Τάσεις δοκιμής Μ/Σ και αποστάσεις κατά VDE 532.Οι τιμές σε παρένθεση είναι για 15 kV.

Οι εξωτερικές υπερτάσεις λόγω κεραυνών είναι τάξη μεγέθους πολλών εκατοντάδων kV και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες στις υπαίθριες παροχές Α1, Α2. 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 την 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....100 μs. 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* 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 σύστημα ώστε να αντικατασταθεί ο απαγωγέας.

1.10 Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ΧΤ σε υπερτάσεις

Οι κεραυνοί μπορούν να προκαλέσουν υπερτάσεις σε μια εγκατάσταση ΧΤ ως εξής {7}:

- 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 γειτνίασης.

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 ότου αρχίσουν να λειτουργούν οι μηχανισμοί αγωγιμότητας.
- Το ρεύμα που μπορεί να περάσει από τον τον απαγωγέα χωρίς αυτός να καταστραφεί.

1.10.1 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 οξείδια του πυριτίου. Προστατεύουν κυκλώματα ονομαστικών τάσεων από 10 V-10000 V, δηλαδή αν εμφανιστεί μια υπέρταση την μειώνουν σε επιτρεπόμενες τιμές. Χαρακτηριστικά τους είναι:

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίαςστο 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 βαρύστορες έως 80 kA. 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 σπινθιριστές που βραχυκυκλώνουν την υπέρταση. Ο χρόνος απόκρισής τους είναι μεγαλύτερος από αυτούς των διόδων 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).

1.11 Διατάξεις κυψελών ΜΤ

Η εγκατάσταση ΜΤ του καταναλωτή γίνεται σχεδόν αποκλειστικά σε κλειστούς χώρους. Πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής {12}:

- Οι χειρισμοί πρέπει να γίνονται απ' έξω χωρίς κίνδυνο της ζωής και να φαίνονται απ' έξω οι ορατές επαφές των αποζευκτών.
- Σε σφάλματα το τόξο πρέπει να περιορίζεται και να μην προκαλεί ζημιές στις γειτονικές συσκευές.
- Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα εκτόνωσης των αερίων σε σφάλματα.
- Πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος για την εκτέλεση εργασιών.

Όλες οι αναχωρήσεις των καλωδίων και τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ εγκαθίστανται σε κυψέλες που ονομάζονται πίνακες ΜΤ σχ.1.15. Οι κυψέλες τοποθετούνται η μια πλάι στην άλλη. Οι κυψέλες αποτελούνται από τρια τμήματα. Στο πρώτο το κάτω τμήμα έχουμε τα στοιχεία της αναχώρησης ή άφιξης, π.χ καλώδια, ασφάλειες, αποζεύκτες, γειωτές. Πιο πάνω στο δεύτερο τμήμα είναι οι ζυγοί,οι οποίοι συνδέονται με τις κυψέλες με μονωτήρες διέλευσης που βρίσκονται πάνω στην οροφή του δεύτερου τμήματος. Το τρίτο τμήμα περιλαμβάνει όργανα και Η/Ν. Τα τοιχώματα των κυψελών γίνονται από ενισχυμένη λαμαρίνα χαλύβδινη ώστε σε περίπτωση που πέσει πάνω της το ηλεκτρικό τόξο να αντέξει. Επειδή οι κυψέλες είναι χωρισμένες με λαμαρένιους τοίχους, οι ζημιές από το ηλεκτρικό τόξο περιορίζονται σε εκείνη την κυψέλη που υπάρχει και το σφάλμα. Για κάθε κυψέλη υπάρχει και μια πόρτα πάνω στην οποία είναι σχεδιασμένο το μονογραμμικό διάγραμμα της κυψέλης. Στην μπροστινή πλευρά επίσης βρίσκονται οι διακόπτες χειρισμού και τα όργανα ένδειξης και σήμανσης. Στο κάτω μέρος της κυψέλης εισέρχονται τα καλώδια οπότε πρέπει να υπάρχει ένα χαντάκι που να οδεύουν τα καλώδια. Τα καλώδια έχουν μια ελάχιστη ακτίνα κάμψης 15*(διάμετρο καλωδίου) $\approx$400...600 mm. Το βάθος του χαντακιού είναι ίσο με την ελάχιστη ακτίνα κάμψης των καλωδίων. Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που χρησιμοποιούνται είναι από εποξειδική ρητίνη. Οι ζυγοί πρέπει να έχουν τέτοιες διαστάσεις

που να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς φορτίου αλλά και σε βραχυκυκλώματα. Οι ελάχιστες αποστάσεις φάσης –φάσης και φάσης-γης καθώς και οι λοιπές τάσεις αντοχής του πίνακα ΜΤ παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα 1δ

Ονομαστική τάση	20 kV
Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη τάση	24 kV
Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση 1 min	50 kV
Αντοχή σε κρουστική τάση 1,2/5μs	125 kV
Ελάχιστη απόσταση φάσης –φάσης ή φάσης -γης	>215 mm

Πιν.1δ

Μπροστά από τις κυψέλες πρέπει να υπάρχει ένας διάδρομος με ελάχιστο πλάτος 0,7 m κατά VDE101. Στο σχ.1.16 υπάρχουν η κάτοψη και η πλάγια όψη του χώρου του Υ/Σ με τις ελάχιστες διαστάσεις.

1.12 Πίνακες ΧΤ

Οι πίνακες ΧΤ διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες {13}:

- Γενικοί πίνακες διανομής
- Πίνακες φωτισμού
- Πίνακες κίνησης

Στο εσωτερικό των πινάκων βρίσκονται τα όργανα προστασίας και ελέγχου των κυκλωμάτων που τροφοδοτούν.
Το μέγεθος των πινάκων εξαρτάται από την ισχύ της παροχής και από τον αριθμό των επιμέρους κυκλωμάτων. Το είδος των πινάκων εξαρτάται από τον βαθμό προστασίας (από νερό, σκόνη, υγρασία κτλ) και από το περιβάλλον που θα τοποθετηθεί. Ακολουθεί ο πιν.1.2.

1.12.1 Γενικοί πίνακες διανομής σε εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος

Ο γενικός πίνακας διανομής μπορεί να περιέχει ένα γενικό Δ/Φ με ασφάλειες ή ένα γενικό αυτόματο Δ/Ι και τροφοδοτεί τους πίνακες φωτισμού και τους πίνακες κίνησης της εγκατάστασης. Οι γενικοί πίνακες διανομής ΧΤ που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, σε μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις και σε Υ/Σ διανομής ΧΤ αμέσως μετά το Μ/Σ λέγονται και πίνακες πεδίου και τυποποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Σταθερού τύπου.

Οι πίνακες σταθερού τύπου έχουν του αυτόματους διακόπτες και του Δ/Φ σταθερά τοποθετημένους σε φορείς χειριζόμενους απ' έξω. Οι μαχαιρωτοί διακόπτες, οι ασφαλειοαποζεύκτες και οι μικροαυτόματοι χειρίζονται από μέσα.Όργανα, μπουτόν και ενδεικτικές λυχνίες είναι πάνω στην πόρτα. Η συρμάτωση προτιμάται να γίνεται μέσω κλεμμών και όχι απ' ευθείας.

- Συρόμενου τύπου.

Οι πίνακες συρόμενου έχουν κάθε αναχώρηση σαν μια ενιαία μονάδα η οποία είναι πλήρως συνδεσμολογημένη και συρματωμένη σε ένα συρτάρι. Το συρτάρι είναι άμεσα εναλλάξιμο με ένα ανταλλακτικό γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο. Η είσοδος προς το διακόπτη και η αναχώρηση προς το φορτίο γίνεται βυσματωτά. Υπάρχουν τέσσερις θέσεις του συρταριού στον πίνακα:θέση λειτουργίας,θέση δοκιμής, θέση stand by, θέση εκτός. Η σύνδεση της γραμμής εισόδου γίνεται απ' ευθείας στον διακόπτη μέσω μπαρών από τον Μ/Σ ή μέσω καλωδίων. Η σύνδεση των καλωδίων αναχωρήσεων γίνεται απ' ευθείας επί των συσκευών και μέσω κλεμμών με καλώδια H07V-R για μέχρι 300 A και πάνω από 300 A με μπάρες κατάλληλης διατομής.

Το ύψος των γενικών πινάκων διανομής κυμαίνεται από 2-2,2 m και το πλάτος από 0,5-0,8 m και έχουν προστασία IP54. Στηρίζονται πάνω στο έδαφος ή σε ιδιαίτερη βάση.
Στις οικιακές εγκαταστάσεις οι γενικοί πίνακες διανομής τοποθετούνται αμέσως μετά το μετρητή της ΔΕΗ. Χρησιμοποιούνται χωνευτοί πλαστικοί ή μεταλλικοί πίνακες. Η παροχή σ' αυτούς τους πίνακες μπορεί να είναι τριφασική ή μονοφασική.

1.12.2 Πίνακες κίνησης

Τα είδη πινάκων κίνησης που χρησιμοποιούνται είναι:

- Εξωτερικός πλαστικός πίνακας προστασίας IP65.

Κατάλληλος για τοποθέτηση σε σκονισμένους χώρους όπως αλευροβιομηχανίες, τσιμεντάδικα και για βρεγμένους χώρους όπως σφαγεία κρεοπωλεία, πλυντήρια αυτοκινήτων κλπ.

- Εξωτερικός πλαστικός πίνακας προστασίας IP41.

Είναι κατάλληλος για τοποθέτηση σε εσωτερικούς ξηρούς χώρους και πρόσκαιρα υγρούς χώρους (υπόγεια) και σε εξωτερικούς μη σκονισμένους χώρους κάτω από στέγη για προστασία από τη βροχή.

- Εξωτερικός πλαστικός πίνακας προστασίας IP30 .

Κατάλληλος για τοποθέτηση σε ξηρούς και εσωτερικούς χώρους.

- Πίνακες κιβωτίων.

Αποτελούνται από πολλά μικρότερα κιβώτια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο.Κατασκευάζονται για προστασία IP55 ή 65 και υπάρχει ειδική κατασκευή με αντιεκρηκτική προστασία.

- Εξωτερικός μεταλλικός πίνακας προστασίας IP54.

1.12.3 Πίνακες φωτισμού

Στις οικιακές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο χωνευτούς πλαστικούς ή μεταλλικούς πίνακες. Τα κυκλώματα που αναχωρούν απ' αυτούς είναι πάντα μονοφασικά.

1.13 Αντιστάθμιση, διόρθωση συντελεστή ισχύος

Οι περισσότερες από τις ηλεκτρικές καταναλώσεις σήμερα περιέχουν τουλάχιστο ένα από τα παρακάτω ηλεκτρικά στοιχεία:

- Ηλεκτρικούς κινητήρες (ψυγεία, κλιματιστικά,μηχανές παραγωγής κλπ)
- Μετασχηματιστές (ηλεκτροσυγκολλήσεις, ηλεκτρονικές συσκευές κλπ)
- Πηνία ισχύος(φωτιστικά για λυχνίες φθορισμού ή εκκένωσης αερίων, ηλεκτρονικές συσκευές κ.λ.π)

Τα παραπάνω ηλεκτρικά στοιχεία χαρακτηρίζονται επαγωγικά και απαιτούν μαγνητικό πεδίο για να λειτουργήσουν. Το μαγνητικό πεδίο, παρότι δεν παράγει έργο, για τη δημιουργία και διατήρησή του απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο πρέπει να παρασχεθεί από τη ΔΕΗ. Το ρεύμα αυτό είναι η «άεργη» συνιστώσα που αθροιζόμενη διανυσματικά με την «πραγματική» συνιστώσα αποτελούν το συνολικό απορροφούμενο ρεύμα μιας εγκατάστασης. Τα ρεύματα αυτά μεταφέρουν την «άεργη ισχύ» που χρησιμοποιείται στη δημιουργία των πεδίων και την «πραγματική ισχύ» που μετατρέπεται στο χρήσιμο έργο, το διανυσματικό άθροισμα των δύο αποτελεί την «φαινόμενη ισχύ».

Η έννοια του «αέργου» έχει στην πραγματικότητα να κάνει με ποσά ενέργειας που παλινδρομούν μεταξύ πηγής (ΔΕΗ) και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Τα μαγνητικά πεδία (επειδή το ρεύμα που τα δημιουργεί είναι εναλλασσόμενο) μεταβάλλονται και εναλλάσσονται συνεχώς, στη φάση της δημιουργίας ή αύξησης της έντασής τους απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια από την πηγή (ΔΕΗ), κατά τη μείωση της έντασης ή την κατάρρευση τους επιστρέφουν το ίδιο ποσό ενέργειας πίσω στην πηγή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιβάρυνση του λογαριασμού του καταναλωτή, τις επιπλέον απώλειες στα καλώδια τροφοδοσίας του δικτύου, την σημαντική πτώση τάσης στο δευτερεύον του Μ/Σ διανομής και την αύξηση των απωλειών του Μ/Σ.

Σκοπός της αντιστάθμισης είναι η μείωση της αέργου ισχύος που απορροφά μια ηλεκτρική εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει όσο το δυνατόν την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει τη μονάδα.
Η αντιστάθμιση επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση πυκνωτών, που τοποθετούνται παράλληλα με τα επαγωγικά φορτία, έτσι ώστε η ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων να μην παλινδρομεί μεταξύ ΔΕΗ και εγκατάστασης αλλά μεταξύ των πηνίων και των πυκνωτών της ίδιας της εγκατάστασης. Οι πυκνωτές δηλαδή παρέχουν στα πηνία την ενέργεια που χρειάζονται κατά τη φάση της δημιουργίας των μαγνητικών τους πεδίων και αποθηκεύουν την ενέργεια που επιστρέφουν τα πηνία όταν τα πεδία τους καταρρέουν για να τους την δώσουν ξανά στον επόμενο κύκλο δημιουργίας – κατάρρευσης κ.ο.κ.

1.13.1 Πλεονεκτήματα από τη βελτίωση της άεργου ισχύος.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος (με στόχο την επίτευξη συν(φ) > 0.95), παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής {10}:

- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής-διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία και τη σημαντική μείωση απωλειών ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Μείωση της Χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης (ΧΜΖ) που εμφανίζεται σε κάποια από τα βιομηχανικά τιμολόγια πελατών μέσης τάσεως της ΔΕΗ , με αποτέλεσμα μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο παροχής (από το μετρητή της ΔΕΗ μιας εγκατάστασης μέχρι τη συστοιχία των πυκνωτών) λόγω της μείωσης του απορροφούμενου ρεύματος.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος συνίσταται να γίνεται για τιμές άνω των 0,85. Αρκεί όμως ένας ΣΙ 0,9-0,95 διότι η περαιτέρω διόρθωση επιβαρύνει υπερβολικά το κόστος σε πυκνωτές. Εκτός αυτού δεν επιτρέπεται η υπεραντιστάθμιση δηλαδή το χωρητικό cosφ. Οι πυκνωτές που απαιτούνται για την αντιστάθμιση έχουν ισχύ $Q_c=P(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2)$ όπου φ_2=τελική γωνία μετά την αντιστάθμιση, φ_1=αρχική γωνία πριν την αντιστάθμιση, P=ενεργός ισχύς του καταναλωτή. Οι πυκνωτές διόρθωσης μπορούν να συνδεθούν κατά αστέρα ή τρίγωνο. Η διόρθωση του ΣΙ γίνεται :

- Τοπικά, δηλαδή σε κάθε συσκευή, π.χ. κινητήρα, αν η συσκευή λειτουργεί συνεχώς με σταθερό φορτίο.
- Ομαδικά, δηλαδή σε ομάδες συσκευών, αν αυτές έχουν συνεχή σταθερή λειτουργία π.χ λαμπτήρες.
- Κεντρικά ή γενικά αν η φόρτιση των διαφόρων συσκευών είναι κυμαινόμενη.

Η κεντρική αντιστάθμιση χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές μονάδες.

Η τοπική αντιστάθμιση είναι κατάλληλη για {4} :

1. Επαγωγικούς κινητήρες αφού:

- Με την εγκατάσταση πυκνωτών κοντά στο φορτίο, η άεργη ισχύ περιορίζεται στη μικρότερη δυνατή περιοχή του δικτύου.
- Ο εκκινητής του κινητήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν διακόπτης του πυκνωτή, παρέχοντας σ' αυτόν αυτοματισμό και έτσι περιορίζεται και το κόστος της εγκατάστασης.

Οι πυκνωτές δεν μπορούν να συνδεθούν όταν ο κινητήρας περιστρέφεται. Η σύνδεση πυκνωτή σε επαγωγικό κινητήρα με απ' ευθείας εκκίνηση μπορεί να γίνει μετά την θερμική προστασία του κινητήρα, πριν την θερμική προστασία και με ταυτίχρονη ζεύξη του πυκνωτή και του κινητήρα και με μόνιμη σύνδεση του πυκνωτή στο δίκτυο του φορτίου.
Η σύνδεση πυκνωτή σε επαγωγικό κινητήρα με εκκινητή Υ-Δ γίνεται με συνεχή σύνδεση στο δίκτυο του φορτίου ή με παράλληλη μονοφασική σύνδεση με τα τυλίγματα του κινητήρα αφού δεν επιτρέπεται ο πυκνωτής να μένει συνέχεια συνδεδεμένος σε κινητήρα με Υ.
Η τοπική αντιστάθμιση κινητήρων δεν είναι επικερδής για κινητήρες μικρότερους από 10 kW.

2. Μ/Σ αφού:

- Το φορτίο ενός Μ/Σ διανομής είναι συνήθως άγνωστο καθώς μεταβάλλεται.Έτσι η άεργη ισχύ μεταβάλλεται σύμφωνα με το τύπο και τη σχεδίαση του Μ/Σ.

Για να αποφευχθεί πρόβλημα συντονισμού με αρμονικές πρέπει η συχνότητα συντονισμού μεταξύ της επαγωγής του Μ/Σ και του πυκνωτή να είναι διαφορετική από τις κοινές αρμονικές ($3^η$,$5^η$,$7^η$). Η συχνότητα συντονισμού είναι $f=f_0*P_{cc}/P_c$, όπου f=συχνότητα συντονισμού, f_0=συχνότητα δικτύου, P_c=ισχύς Μ/Σ και P_{cc}=ισχύς βραχυκύκλωσης Μ/Σ. Αν η συχνότητα αυτή είναι πολύ κοντά σε αυτή της αρμονικής πρέπει να αλλάξει η ισχύς του πυκνωτή. Διόρθωση του ΣΙ σε συνδυασμό με την παρουσία αρμονικών στην εγκατάσταση μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή των πυκνωτών. Για τον λόγο αυτό τοποθετούνται επαγωγικά φίλτρα και φίλτρα μείωσης των αρμονικών σε σειρά με τον πυκνωτή αντιστάθμισης ώστε να αποτραπεί περίπτωση συντονισμού.

1.13.1 Προστασία πυκνωτών

Η προστασία των πυκνωτών αντιστάθμισης γίνεται με α) ασφάλεια, β) θερμική ασφάλεια, γ) μηχανική αποσύνδεση, δ) υλικά για απαγωγή θερμοκρασίας, ε) συνδιασμός ψυκτρών αποστατών και άφλεκτων μονωτικών υλικών {4} .

1.14 Συντήρηση Υ/Σ

Η συντήρηση του Υ/Σ πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να περιλαμβάνει ολόκληρο τον Υ/Σ. Είναι απαραίτητο να γίνεται {1} :
1. Στους πίνακες ΜΤ

- Πλήρης έλεγχος όλων των εντός του πίνακα στοιχείων ότι λειτουργούν κανονικά.
- Πλήρης καθαρισμός των μονωτήρων, των επαφων ενώ στις επαφές πρέπει να τοποθετείται λιπαντικό.
- Έλεγχος των αυτόματων διακοπτών και λίπανση των μηχανισμών τους.
- Έλεγχος των ρελέ προστασίας με την χρήση των Μ/Σ εντάσεως.
- Έλεγχος των εντολών των δυο πλωτήρων Buchholz.
- Έλεγχος και σύσφιξη όλων των κοχλίων των ζυγών και συσκευών.

2. Πίνακες χειρισμών

- Έλεγχος της λειτουργίας και όλων των δυνατοτήτων χειρισμών που έχουν.

3. Πίνακες ΧΤ

- Έλεγχος και καθαρισμός μονωτήρων όλων των στοιχείων του πίνακα και ότι λειτουργούν κανονικά.
- Έλεγχος όλων των επαφών και επικάλυψή τους με κατάλληλο λιπαντικό.

4. Μ/Σ
    - Έλεγχος στάθμης ελαίου
    - Έλεγχος και καθαρισμός των μονωτήρων και σύσφιξη των ακροδεκτών.
    - Δειγματοληψία ελαίου από το κάτω μέρος του Μ/Σ για τη διαπίστωση της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού.
5. Κύκλωμα γείωσης
    - Να εξετάζεται αν όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες με τη γείωση.
    - Έλεγχος της συνολικής γείωσης με γέφυρα μετρήσεως της ωμικής αντιστάσεως και καταγραφή της στο βιβλίο συντηρήσεως του Υ/Σ.

Κεφάλαιο 2

Μονωμένοι αγωγοί και καλώδια ΜΤ-ΧΤ

2.1 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 35mm^2. Έχει μικρότερη ειδική αγωγιμότητα σε σχέση με το χαλκό, έχει χαμηλότερη τιμή και μικρότερο βάρος. Μειονεκτήματα του αλουμινίου είναι ότι δεν συγκολλάται 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 (>35mm^2) χρησιμοποιούνται και διατομές κυκλικού τομέα (οι τριγωνικές χαρακτηρίζονται με S). Όσο αφορά την ευκαμψία έχουμε αγωγούς οι οποίοι χαρακτηρίζονται κατά IEC 60228 ώς εξής {12}:

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

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

2.2 Καλώδια στη ΧΤ

2.2.1 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 μονωτικά του πίνακα 2α σύμφωνα με τα πρότυπα HD 361.S2 όπου μέσα στην παρένθεση αναφέρεται, μία κατά VDE 0250, κωδική ονομασία. Από τα μονωτικά του πίνακα 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 παχύρευστη 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 {12}.

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

Πιν.2α

Το χρώμα της μόνωσης των αγωγών είναι:

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

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να υπάρχει στα εξής σημεία:

- Απαγορεύεται η χρήση κιτρινοπράσινου αγωγού σε φάσεις
- Το μπλέ 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 μύροι 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 μύροι 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 μπλέ 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. Ο πίνακας 2β περιέχει τις παλιές ονομασίες με μικρά γράμματα και τις πρόσφατες συντμήσεις κατά HD 308 που συμπίπτουν με τα πρότυπα VDE 0293.

Χρώμα	**Χαρακτηρισμός**	
Μαύρο	blk	BK
Καφέ	br	BN
Κόκκινο	rd	RD
Πορτοκαλί	or	OG
Κίτρινο	yl	YE
Πράσινο	gn	GN
Ανοιχτό μπλε	gbl	LBU
Μπλε	bl	BU
Βιολέτ	vl	VT
Γκρίζο	gr	GY
Άσπρο	wt	WIT
Ροζ	pk	PK
Τυρκουάζ	tq	TQ

πίνακας 2β

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.

2.2.2 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 {12}:

- 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.

2.2.3 Χαρακτηρισμός καλωδίων ΧΤ

Τα καλώδια ΧΤ ομαδοποιούνται σε {12} :

- 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.

2.3 Καλώδια στη ΜΤ

2.3.1 Μονωτικά καλωδίων ΜΤ

Στη ΜΤ (3...20 kV) 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. Σπάνια, κυρίως από τη ΔΕΗ, γινόταν χρήση καλωδίων ΜΤ με μονωτικό από με μάζα.
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. Η αντοχή των μονωτικών της ΜΤ φαίνονται στον πιν.2γ {12}.

Μονωτικά καλωδίων ΜΤ	**Συνεχώς επιτρεπόμενες θερμοκρασίες**	**Βραχυχρόνια (5 sec) επιτρεπόμενες θερμοκρασίες**
Πολυβινυλοχλωρίδιο PVC,V,(Y) μέχρι 6KV /10KW	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

πιν.2γ

2.3.1.1 Ιδιότητες των μονωτικών ΜΤ

Το PVC χρησιμοποιείται εφόσον αυτό επιτρέπεται από τεχνικούς λόγους, γιατί είναι φθηνό και ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη. Το όριό του, από πλευράς τάσης, είναι 6 /10 kV. 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 συνθεκτικά ελαστικά όπως βουτύλιο, οξικό βυνυλαιθύλιο(EVA) και αιθυλενιούχο προπυλένιο (EPR) χρησιμοποιούνται για λόγους ευκαμψίας και αντοχής στη θερμοκρασία. Το EPR χρησιμοποιείται και σε εύκαμπτα καλώδια ΜΤ.
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 ΜΤ 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 ΜΤ 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.

2.3.2 Γείωση των καλωδίων ΜΤ

Σε καλώδια ΜΤ γειώνεται ο μανδύας κάθε καλωδίου στην αναχώρηση από τη ΔΕΗ. Στην άφιξη στις κυψέλες ΜΤ γειώνεται ο μανδύας στη γείωση της ΜΤ, 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.

2.4 Πρότυπα –σημάνσεις καλωδίων

Τα καλώδια που διατίθενται στο εμπόριο προσδιορίζονται από πρότυπα. Αυτά είναι {12}:

Μέση τάση 3....20 kV :ΕΛΟΤ 1099, IEC 502, VDE 0273, VDE 0271

Χαμηλή τάση <1 kV: ΕΛΟΤ 623, ΕΛΟΤ 563, IEC 245, VDE 0250 για τάση μέχρι 450/750V και
ΕΛΟΤ 843, IEC 502, VDE 0244/0271/0298 για τάση μέχρι 600/1000 V

Ουσιαστικά οι κανονισμοί του ΕΛΟΤ έχουν παρθεί από τους αντίστοιχους κανονισμούς IEC ή προέρχονται από έγγραφα εναρμόνισης , Harmonization documents (HD) της CENELEC.

2.5 Χρήσεις καλωδίων

Τα καλώδια κατάλληλα για συνεχή παραμονή στο έδαφος είναι τα καλώδια PVC J1VV ή NYY, τα καλώδια με μολύβδινο μανδύα NKBA, NHKBA, NEKEBA και τα καλώδια πολυαιθυλενίου ΜΤ 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 εγκατάστασεις καλωδίων στον ελεύθερο αέρα και έκθεσης στον ήλιο προτιμούνται καλώδια με μανδύα από νεοπρένιο, πολυχλωροπρένιο γιατί έχει μεγαλύτερη αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία.
Εαν 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 τοποθετειθεί νέο καλώδιο. Τα καλώδια PVC μπορεί να καταστραφούν από τρωκτικά. Μια αποτελεσματική προστασία είναι ο ενταφιασμός του καλωδίου μέσα σε άμμο {12}.

2.6 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 {12}.

2.7 Ονομασία κώδικα για διάφορους τύπους καλωδίων

Στους πίνακες 2.1-2.6 {13} αναφέρονται οι κωδικοί για τους διάφορους τύπους καλωδίων ΧΤ και ΜΤ.

Κεφάλαιο 3

Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας ΧΤ

3.1 Ζεύξη

Όταν κλείνει ένα κύκλωμα (ζεύξη) τότε το ρεύμα που θα περάσει παροδικά, για χρόνους ms έως μερικά sec, το ρεύμα εκκίνησης ή ζεύξης, μπορεί να είναι πολλαπλάσιο του κανονικού. Τυπικά ρεύματα εκκίνησης είναι στον παρακάτω πίνακα 3α {12} .

Φορτίο	**Ρεύματα εκκίνησης/ον.ρεύμα**
Ωμικό φορτίο	1
Λαμπτήρες πυράκτωσης	2-10
Λαμπτήρες φθορισμού	3-13
Κινητήρες (με αναστροφή)	5-7
Μ/Σ	8-20
Πυκνωτές	10-20

Πιν.3α

3.2 Απόζευξη

Σε ένα κύκλωμα αν ανοίξουμε τις επαφές ενός διακόπτη, το ρεύμα δεν θα μηδενισθεί ακαριαία διότι υπάρχουν, έστω και μικρές ,αυτεπαγωγές. Σε μια ακαριαία εξαφάνιση του ρεύματος αυτές θα οδηγούσαν σε υψηλή τάση και διάσπαση του διακένου. Συνεπώς αναγκαία συνθήκη για την απόζευξη είναι η διακοπή του κυκλώματος να γίνεται όταν το ρεύμα μηδενισθεί. Δηλαδή από τη στιγμή που αποχωρίζονται οι επαφές μέχρι και το μηδενισμό του ρεύματος θα ρέει μεταξύ των επαφών το ρεύμα του κυκλώματος διαμέσω του ηλεκτρικού τόξου. Εφόσον μηδενισθεί το ρεύμα και διακοπεί το κύκλωμα, τότε στα άκρα των επαφών του διακόπτη θα εφαρμοσθεί μια τάση που εξαρτάται από το φορτίο(επιστρεφόμενη ή τάση αποκατάστασης). Προφανώς, τόσο η μεγάλη επιστρεφόμενη τάση όσο και η μεγάλη αγωγιμότητα του χώρου μπορούν να οδηγήσουν σε διάσπαση του διακένου μεταξύ των επαφών. Συνεπώς μια δεύτερη συνθήκη αναγκαία για την επιτυχή απόζευξη είναι η επιστρεφόμενη τάση που εφαρμόζεται στα άκρα των επαφών να μην προκαλεί διάσπαση {3}.

3.3 Μέσα ζεύξης-απόζευξης ΧΤ

3.3.1 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 {12}.

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 δυο 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 εκκινητές, σαν αντιστροφείς ή και για αλλαγή ταχύτητας σε κινητήρες.
- Διακόπτες τύπου τυμπάνου.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των διακοπτών 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

Οι κατηγορίες χρήσης των διακοπτών φορτίου σύμφωνα με VDE 0660, IEC 408, δίνονται στους πίνακες 3.3α, 3.3β. Δεν αφορούν διακόπτες που απαιτούνται για τη λειτουργία κινητήρων. Γι ’ αυτούς ισχύον οι κατηγορίες χρήσης του πίνακα 3.1.

3.3.2 Ρελέ ισχύος

Τα ρελέ λέγονται και ρεονόμοι. Είναι διακόπτες που ανοιγοκλείνουν επαφές με τη βοήθεια ενός πηνίου με οπλισμό(ηλεκτρομαγνήτη). Το άνοιγμα και το κλείσιμο του ρελέ μπορεί να γίνει χειτοκίνητα (stop-start) ή να γίνει αυτόματα με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων και βοηθητικών συσκευών(χρονοδιακόπτες,πρεσσοστάτες,θερμοστάτες κλπ). Τα κύρια μέρη ενός ρελέ είναι {13} :

- Το μαγνητικό κύκλωμα από δυναμοελάσματα
- Το πηνίο (ΕΡ ή ΣΡ)
- Το μηχανισμό τους
- Τις επαφές ισχύος 3 ή 4 ζεύγη
- Το θάλαμο σβέσης τόξου για ρελέ μεγάλης ισχύος
- Τις βοηθητικές επαφες

Το πηνίο είναι κατά προτίμηση είναι ΣΡ διότι τα πηνία ΕΡ κάνουν θόρυβο. 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 {12}.

3.3.2.1 Κατηγορίες χρήσης των ρελέ ισχύος

Ανάλογα με τη χρήση τους και τις καταπονήσεις που υφίστανται, χωρίζουμε τα ρελέ στις κατηγορίες που παραθέτονται στους πίνακες 3.1, 3.2 αντίστοιχα {12} .

3.3.2.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία των ρελέ

Τα χαρακτηριστικά των ρελέ, τα εξής {13}:
- Ονομαστική ισχύς σε kw
- Ονομαστική τάση λειτουργίας
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας για κατηγορία AC-3
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας για κατηγορία AC-1
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας για κατηγορία AC-4
- Τάση λειτουργίας κυκλώματος ελέγχου (τάση τροφοδοσίας του πηνίου του ρελέ)
- Αριθμός βοηθητικών επαφών(κλειστές-ανοιχτές)
- Διάρκεια ζωής επαφών ρελέ(αριθμός ανοίγματος –κλεισίματος του ρελέ)

3.3.2.3 Συμβολισμός ρελέ

Τα ρελέ συμβολίζονται σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς DIN EN 50012. Τα ρελέ σχεδιάζονται σε κατάσταση ηρεμίας και ονομάζονται με αρχικό γράμμα K, π.χ K1, K20,....Οι επαφές ισχύος είναι 1-2, 3-4, 5-6. Οι βοηθητικές επαφές έχουν δυο αριθμούς για κάθε επαφή π.χ 13-14, 13 ο ένας πόλος και 14 ο άλλος. Ο πρώτος αριθμός, ο 1 σε αυτή τη περίπτωση, συμβολίζει τη σειρά της βοηθητικής επαφής. Ο δεύτερος αριθμός σημαίνει κλειστή επαφή αν είναι 1 ή 2, ανοιχτή αν είναι 3 ή 4, κλειστή επαφή με καθυστέρηση στο άνοιγμα αν είναι 5 ή 6 και τέλος ανοιχτή επαφή με προήγηση στο κλείσιμο αν είναι 7 ή 8 {12}.

3.3.2.4 Διάρκεια ζωής των ρελέ

Η διάρκεια ζωής αναφέρεται κυρίως στη διάρκεια ζωής των επαφών των ρελέ.

3.3.2.5 Επιλογή ρελέ

Η επιλογή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω {13} :

- Κλάση προστασίας, π.χ IP20 ανοιχτό
- Ενδεχομένως αντιεκρηκτική προστασία EEx
- Ονομαστική τάση δικτύου π.χ 400V
- Κατηγορία χρήσης. Αν δεν υπάρχει άλλη αναφορά παίρνουμε κατηγορία AC4 για πυκνωτές.
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας I_e για την ορισμένη κατηγορία. Αυτό το ρεύμα είναι το ονομαστικό ρεύμα του φορτίου
- Το θερμικό ρεύμα I_{th} δηλαδή το μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα σε οπλισμένη κατάσταση.
- Διάρκεια ζωής για το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας και την κατηγορία χρήσης
- Προστασία των επαφών σε βραχυκυκλώματα με ασφάλειες
- Πηνίο διέγερσης, τάση και ρεύμα, ΕΡ και ΣΡ.
- Βοηθητικές επαφές είδος και πλήθος επαφών π.χ επαφή αυτοσυγκράτησης μια κλειστή (NC) και μια ανοιχτή (NO)

3.3.2.6 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 A_1-A_2 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 αν περάσει από τις βοηθητικές επαφές .
Ο συμβολισμός βοηθητικών επαφών γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα DIN EN 50012 ,IEC 947 {13}.

3.4 Μέσα προστασίας σε υπερρεύματα, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα στη ΧΤ

Οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερεντάσεων (ρευμάτων υπερφόρτισης και ρευμάτων βραχυκύκλωσης) πρέπει {12}:

- 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 συσκεύων, διακόπτες ισχύος, αυτόματοι κινητήρων, ΔΔΡ).

3.4.1 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,IN/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 λοιώνει 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.

3.4.1.1 Κατηγορίες λειτουργίας ασφαλειών

Οι ασφάλειες στην προστασία γραμμών πρέπει να προστατεύουν τόσο σε υπερφόρτιση όσο και σε βραχυκυκλώματα. 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

3.4.1.2 Ασφάλειες τύπου D, Diazed

Στις ασφάλειες αυτές ο αγωγός προς τήξη είναι σύρμα ή ταινία με σταθερή συνήθως διατομή. Οι ασφάλειες κατασκευάζονται από 2-125 A. Οι ασφάλειες D μπορούν να διακόψουν ρεύματα μέχρι 50 kA. Οι χαρακτηριστικές ρεύματος –χρόνου διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή. Οι κανονισμοί VDE 0636, όμως, καθορίζουν τις περιοχές που πρέπει να βρίσκονται οι χαρακτηριστικές τους.
Παλαιότερα υπήρχε η διάκριση σε ασφάλειες βραδείας και ταχείας τήξης. Πλέον δεν ισχύει κάτι τέτοιο, αλλά οι κανονισμοί επιβάλλουν την τήρηση του μικρού και μεγάλου ρεύματος δοκιμής και ανοχές της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για περιπτώσεις όπου επιζητούμε βραδεία τήξη μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει ασφάλειες τύπου αM.

3.4.1.3 Ασφάλειες τύπου DO, Neozed

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αυτών των ασφαλειών δεν διαφέρουν ουσιαστικά από απο αυτά των ασφαλειών D. Οι διάμετροι και το μήκος των DO είναι μικρότερες από των D. Όπως και στις D έτσι και στις DO δεν υπάρχει πλέον διαχωρισμός σε ασφάλειες βραδείας και ταχείας τήξης. Το ρεύμα απόζευξης των DO είναι μικρότερο από αυτό των D.

3.4.1.4 Ασφάλειες τύπου NH

Τέτοιες ασφάλειες χρησιμοποιούνται για μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης π.χ 80 kA. Τα τηκτά τους είναι ταινίες με στενές περιοχές και μια μαλακή συγκόλληση στο μέσον. Αυτά βρίσκονται σε σκόνη χαλαζία. Μετά την τήξη σε βραχυκυκλώματα σχηματίζονται πολλά τόξα σε σειρά. Σε υπερφορτίσεις με ρεύματα λίγο μεγαλύτερα από το μεγάλο ρεύμα δοκιμής, οι ασφάλειες NH λίωνουν στο μέσον, στη θέση της συγκόλλησης. Η κατασκευή αυτή μειώνει την αντίσταση στην κανονική λειτουργία και αυξάνει την ικανότητα διακοπής ρεύματος. Επίσης οι ασφάλειες NH δημιουργούν μεγάλη αντίσταση στο κύκλωμα μετά την τήξη τους. Έτσι περιορίζουν σημαντικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Δεν υπάρχουν ασφάλειες NH βραδείας ή ταχείας τήξης. Οι χαρακτηριστικές ρεύματος χρόνου είναι ενιαίες και δίνονται για τον συνηθισμένο τύπο κατηγορίας gL. Υπάρχουν 7 μεγέθη διαφορετικών διαστάσεων.

3.4.1.5 Μικροασφάλειες τύπου G, σε γυάλινο κύλινδρο

Οι ασφάλειες αυτές είναι κυλινδρικές,διαμέτρου 5mm και μήκους 20 ή 25 ή 30mm. Το τηκτό βρίσκεται μέσα σε γυάλινο κενό σωλήνα με δύο ακροδέκτες. Μπορεί να υπάρχει και σκόνη χαλαζία στο σωλήνα. Χρησιμοποιούνται για την προστασία συσκευών μικρής ισχύος. Οι χαρακτηριστικές ρευμάτων-χρόνου, κατά DIN 41571, χωρίζονται σε 5 κατηγορίες .

- FF πολύ ταχείας τήξης,σπάνια χρήση
- F ταχείας τήξης
- M μεσαίας τήξης
- T βραδείας τήξης
- TT πολύ βραδείας τήξης,σπάνια χρήση.

Η ικανότητα απόζευξης των μικροασφαλειών χωρίζεται σε 5 κατηγορίες.
Ο συμβολισμός τους περιέχει την κατηγορία των χαρακτηριστικών ρεύματος-χρόνου, το ρεύμα σε A την τάση σε V και την κατηγορία απόζευξης π.χ. $F\frac{0,25}{250}C$

3.4.1.6 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 .

3.4.2 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 {15} :

- Η ονομαστική ικανότητα διακοπής του διακόπτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_κ''$ 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 Α –5000 Α. 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 διακοπτών 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 κ.λ.π
- Σύστημα ψύξης επαφών με ανεμιστήρα σε μεγάλους διακόπτες
- Διακόπτες μεγάλης ισχύος μπορεί να απαιτούν βοηθητικές τάσεις που πρέπει να προέρχονται από δίκτυο αδιάλλειπτης τάσης

3.4.2.1 Χρήση αυτόματων διακοπτών ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν {13}:
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.

3.4.2.2 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 {12} :

- 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.

3.4.2.3 Μικροαυτόματοι διακόπτες προστασίας κινητήρων

Οι μικροαυτόματοι διακόπτες προστασίας κινητήρων έχουν χειρισμό δυο μπουτόν (stop-start) και μπορούν να έχουν θερμική και μαγνητική προστασία ή μόνο μαγνητική προστασία με περιστροφικό ή ON-OFF χειριστήριο. Κατασκευάζονται για κινητήρες με ονομαστικό ρεύμα μέχρι 25 Α.
Χαρακτηριστικά στοιχεία είναι:ονομαστική τάση λειτουργίας, ονομαστική ισχύς, κατηγορία λειτουργίας, ρύθμιση θερμικής προστασίας, ρύθμιση μαγνητικής προστασίας {13}.

3.4.2.4 Θερμικά ρελέ προστασίας κινητήρων

Τα θερμικά είναι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την προστασία των κινητήρων από υπερφορτίσεις και όχι από βραχυκυκλώματα για τα οποία πρέπει να υπάρχουν ασφάλειες ή αυτόματοι διακόπτες ισχύος {13}.
Τα θερμικά συνδέονται με τα ρελέ ισχύος των κινητήρων και ελέγχουν τη λειτουργία τους.
Ο απλός τύπος θερμικού αποτελείται από τρεις επαφές εισόδου, τρία διμεταλλικά ελάσματα,τρεις επαφές εξόδου και τις επαφές ελέγχου 95-96 κλειστή και 95-98 ανοικτή ή 95-96 κλειστή και 97-98 ανοιχτή. Στο θερμικό επισης υπάρχουν ο μηχανισμός για την περιοχή ρύθμισης του θερμικού και τα κουμπιά stop, reset.
Χαρακτηριστικά στοιχεία των θερμικών ρελέ είναι η κλάση με βάση το χρόνο διακοπής και η περιοχή ρύθμισης του θερμικού.
Η επιλογή γίνεται με βάση :

- Την κλάση προστασίας
- Το χρόνο διακοπής
- Την περιοχή ρύθμισης
- Την τάση του κυκλώματος ελέγχου
- Την τάση του κυκλώματος ισχύος
- Την προστασία του από βραχυκυκλώματα
- Το ρελέ ισχύος με το οποίο μπορεί να συνδεθεί
- Τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Το θερμικό ρεύμα της κλειστής επαφής του βοηθητικού κυκλώματος (μέγιστο διαρκώς επιτρεπόμενο ρεύμα μέσα από την κλειστή επαφή 95-96)
- Τη δυνατότητα για χειροκίνητο ή αυτόματο reset ή και τα δυο.

3.4.2.5 Μικροαυτόματοι προστασίας γραμμών

Οι μικροαυτόματοι, χρησιμοποιούνται στην αναχώρηση γραμμών για την προστασία τους αφού προσφέρουν {13} :

- Θερμική προστασία (θερμικό στοιχείο)

Σε περίπτωση υπερφόρτισης θερμαίνεται ένα διμεταλλικό στοιχείο, κάμπτεται και διακόπτεται το κύκλωμα.

- Μαγνητική προστασία (μαγνητικό στοιχείο)

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, ο ηλεκτρομαγνήτης προκαλεί την έλξη του οπλισμού και το άνοιγμα των επαφών του αυτομάτου.

Οι μικροαυτόματοι έχουν τυποποιηθεί στους κανονισμούς VDE 0641, EN 60898, IEC 0947,IEC 0898. Τα τυποποιημένα ρεύματά τους είναι 4-63 A. Κατασκευάζονται σε μονοπολική ή τριφασική μορφή για 230/400V και διακόπτουν τα ίδια ρεύματα για τάσεις 60-110V DC. Ο χειρισμός τους μπορεί να γίνει χειροκίνητα (κλείσιμο-άνοιγμα), το άνοιγμά τους όμως γίνεται και αυτόματα μέσω εντολής από το θερμικό ή το ηλεκτρομαγνητικό τους στοιχείο.
Τα βασικά μέρη μιας αυτόματης ασφάλειας είναι η κινητή επαφή, η σταθερή επαφή, το ελατήριο, το θερμικό στοιχείο, το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο, ο θάλαμος σβέσης τόξου.
Τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία είναι {12}:

- ✓ Η τάση
- ✓ Το ονομαστικό ρεύμα I_N
- ✓ Το μικρό και μεγάλο ρεύμα δοκιμής. Αυτά αφορρούν κυρίως το θερμικό στοιχείο .
- ✓ Την ικανότητα διακοπής σε σφάλμα. Χωρίζονται σε τρεις ομάδες I,II,III με αντίστοιχες ικανότητες διακοπής 3,6-10 kA.
- ✓ Η κλάση περιορισμού ροής του ρεύματος.Είναι οι κλάσεις 1,2,3.

- ✓ Οι χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου .

Οι μικροαυτόματοι έχουν περιορισμένη ικανότητα διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Αν το ρεύμα βραχυκύκλωσης υπερβαίνει την ικανότητα διακοπής του μικροαυτόματου πρέπει να προταχθεί μια ασφάλεια που μπορεί να είναι από δυο έως τέσσερις βαθμίδες μεγαλύτερη.
Η σχέση ρεύματος πτώσης σκανδαλισμού και χρόνου λέγεται χαρακτηριστική.
Οι χαρακτηριστικές ονομάζονται A, B, C, D και διαφέρουν στο ηλεκτρομαγνητικό τους στοιχείο. Ειδικότερα η χαρακτηριστική A έχει προβλεφθεί για γραμμές που τροφοδοτούν ημιαγωγούς όπου το ρεύμα που προκαλεί την πτώση είναι τριπλάσιο. Αντί της A μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Z. Η χαρακτηριστική B αφορά κυκλώματα κατοικιών, γραφείων όπου δεν τροφοδοτούνται κινητήρες π.χ κλιματιστικά. Η C έχει προβλεφθεί για κυκλώματα συσκευών με υψηλά ρεύματα εκκίνησης όπως κινητήρες, φωτιστικά ισχύος. Η D για κυκλώματα συσκευών με πολύ υψηλά κρουστικά ρεύματα όπως Μ/Σ ισχύος, πηνία πυκνωτές. Αντί της D μπορεί να χρησιμοποιηθεί η K.

3.4.2.6 Διακόπτες διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ)

Οι διακόπτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας ή και κατά της πυρκαγιας 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 {12}.
Ο ΔΔΡ λειτουργεί ως εξής: Παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη , σχ.3.1. Αν αυτό υπερβεί μια τιμή συνήθως 30 mA τότε αποζεύγει το κύκλωμα σε όλους τους πόλους (φάσεις και ουδέτερο) σε 0,2sec 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 εναλλασομένου ρεύματος. Αν δεν υπάρχει διαρροή ρεύματος τότε το άθροισμα των ρευμάτων είναι μηδέν γιατί το ρεύμα των τριών φάσεων επιστρέφει μέσω του ουδετέρου. 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 ουδετέρου 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(30mA). 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 σχ.3.2.
Ο ΔΔΡ επιτρέπεται να εφαρμόζεται σε δίκτυο TT (άμεσης γείωσης) σαν κύριο μέσο προστασίας διότι έτσι επιτυγχάνεται η προστασία ακόμα και σε μεγάλες αντιστάσεις γείωσης. Εφαρμόζεται επίσης και στο δίκτυο TN-S (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 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 συνίσταται 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 σχ.3.1 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 ουδετέρου 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 ελεγχου 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….100 mA. Στο εμπόριο υπάρχουν τα εξής μεγέθη :

$I_{\Delta N}$ (mA)	10	30	100	300	500	1000
I_N (A)	10/16/25	10/16/25/40/63/100	25.....100	25....224	25.....224	100.....224

Κεφάλαιο 4

Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης

4.1 Γενικά

Οι υπολογισμοί των ρευμάτων βραχυκύκλωσης γίνονται βάσει των προτύπων DIN VDE 57102. Ο υπολογισμός της μέγιστης τιμής και η χρονική διάρκεια του ρεύματος 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 {15}. Για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις καταναλωτών με ιδεατές πηγές, σταθερής εσωτερικής αντίδρασης, δηλαδή χωρίς γεννήτριες ή μεγάλους κινητήρες το ρεύμα βραχυκύκλωσης έχει τη μορφή του σχ.4.1. Το σχήμα δείχνει τη χρονική συνάρτηση του ρεύματος βραχυκυκλώσεως κατά το τριπολικό βραχυκύκλωμα και για τη φάση εκείνη της οποίας η φασική τάση τη στιγμή εμφανίσεως του σφάλματος έχει μηδενική στιγμιαία τιμή. 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 σχ.4.1 φαίνονται τα μεγέθη

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

Κατά τα βραχυκυκλώματα 'κοντά' σε γεννήτριες ,σχ.4.1α, ισχύει

$$I_\kappa'' > I_\kappa' > I_\kappa$$

Όπου I_κ' είναι το μεταβικό 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 σχ.4.1β, και ισχύει

$$I_\kappa'' = I_\kappa' = I_\kappa$$

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 είναι η ενδεικνύμενη τιμή της εναλλασσόμενης εντάσεως με τη συχνότητα του δικτύου,η οποία κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώσεως T_κ παράγει την ίδια θερμότητα απωλειών Q με το ρεύμα βραχυκυκλώσεως $i_\kappa(t)$.
Από υπολογισμούς καταλήγουμε ότι το ρεύμα I_{th} δίνεται από τη σχέση

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

Τα μεγέθη m, n λαμβάνονται από το σχ.4.2.

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

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

R/X:ωμική προς επαγωγική αντίσταση της σύνθετης αντίστασης που διαρρέεται από το ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Δίνεται από το σχ.4.3{12} .
Με το μέγεθος n του σχ.4.2β {15} λαμβάνεται υπόψη η ελάττωση της εναλλασσόμενης συνιστώσας του ρεύματος σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων κοντά σε γεννήτριες. Το n εξαρτάται από τη διάρκεια βραχυκύκλωσης T_κ και το λόγο I_κ''/I_κ {15}.
Σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων μακριά από γεννήτριες είναι $I_\kappa''/I_\kappa=1$, n=1.

- Για βραχυκύκλωμα κοντά στους ακροδέκτες ΧΤ Μ/Σ 20/0,4kv 630 KVA είναι κ=1,5. Για διάρκεια βραχυκυκλώσης $T_k \geq 0{,}5\,\text{sec}$
είναι m=0 και $I_{th}=I_k$.

- Για βραχυκυκλώματα στο δίκτυο ΜΤ ισχύει $k \leq 1{,}8$
Για διάρκεια βραχυκυκλώσεως T_κ=0,5sec 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_κ=0,1 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:

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

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 (X=Lω) στο ορθό σύστημα.

Η ισχύς βραχυκύκλωσης S_k δίνεται από τον τύπο

$$S_k = \sqrt{3} * V_n * I_k = c * \frac{V_n^2}{z}$$

όπου z =η σύνθετη αντίσταση του δικτύου.

Κεφάλαιο 5

Εγκατάσταση κινητήριων συστημάτων

5.1 Γενικά

Η χρήση ενός κινητήρα σε μια εγκατάσταση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το φορτίο που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε για το φορτίο δύο περιπτώσεις ,της σταθερής και της ασταθούς ταχύτητας λειτουργίας {12}:

- Φορτία με περίπου σταθερές στροφές

Όταν το φορτίο εξυπηρετείται με σταθερή περίπου ταχύτητα, τότε γίνεται χρήση των ασύγχρονων κινητήρων βραχυκυκλωμένου κλωβού (δρομέα), διότι είναι η πιο στιβαρή, ανθεκτική, αξιόπιστη και φθηνή λύση. Σαν μειονέκτηματα των ασύγχρονων κινητήρων μπορούν να αναφερθούν τα υψηλά ρεύματα εκκίνησης, η απαιτούμενη άεργη ισχύς και η πρακτικά άκαμπτη ταχύτητά τους. Στην πράξη εφαρμόζονται συνήθως:

- Ασύγχρονοι κινητήρες μιας ταχύτητας
- Ασύγχρονοι κινητήρες δύο και τριών ταχυτήτων. Ο αριθμός πόλων είναι μεταβλητός με διακόπτη ή ρελέ και χρησιμοποιείται γι' αυτό ειδική συνδεσμολογία, Dahlander ή συνδεσμολογία PAM (pole amplitude modulation).

Το πεδίο εφαρμογής των ασύγχρονων κινητήρων είναι αντλίες ,ανυψωτικά μηχανήματα, ανελκυστήρες, συμπιεστές, μεταφορικές ταινίες, ανεμιστήρες κτλ.
Η σύμπλεξη των ασύγχρονων κινητήρων με τη μηχανή που πρέπει να κινήσουν γίνεται :

- Απ' ευθείας σύμπλεξη των αξόνων με συμπλέκτη (Koppler) η οποία μπορεί να γίνει και ελεγχόμενη με ηλεκτρομαγνητικούς συμπλέκτες.
- Σύμπλεξη με ιμάντα ώστε να μην μεταδίδονται κραδασμοί και να υπάρχει καλύτερη προσαρμογή της ταχύτητας φορτίου και κινητήρα όχι όμως για για μεγάλους λόγους μετάδοσης δηλαδή πάνω από λόγο 1:3.
- Σύμπλεξη με γρανάζια (μειωτήρα) ώστε να έχουμε χαμηλές ταχύτητες και αυξημένη ροπή φορτίου.

- Φορτία με μεταβλητές, ρυθμιζόμενες ή ελεγχόμενες στροφές.

Όταν η ταχύτητα του φορτίου είναι μεταβλητή ή απαιτείται μία ακρίβεια στη ρύθμισή της προτιμούνται οι παρακάτω λύσεις:

- Κινητήρες ασύγχρονοι βραχυκυκλωμένου κλωβού με τροφοδοσία από μεταροπέα συχνότητας (DRIVES).
- Κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος, συνδεσμολογίας σειράς κατά την οποία σε υψηλές στροφές έχουμε χαμηλή ροπή και σε χαμηλές στροφές υψηλή ροπή.
- Κινητήρες DC χωρίς ψήκτρες, όπου το ρόλο των ψηκτρών τον αναλαμβάνουν ελεγχόμενοι δίοδοι.
- Κινητήρες DC με ψύκτρες και τροφοδοσία ελεγχόμενης ή ρυθμιζόμενης συνεχούς τάσης.

- Ειδικές περιπτώσεις

Σε ειδικές περιπτώσεις γίνεται χρήση και των εξής κινητήρων:

- Χρησιμοποιούνται σύγχρονοι κινητήρες αντί των ασύγχρονων για μεγάλες ισχείς (π.χ >1 MW) και ταυτόχρονη παραγωγή αέργου ισχύος.
- Σε περιοχές χαμηλής ισχύος (<1 kW) που ανήκουν συσκευές όπως εργαλεία χειρός, ανεμιστήρες, πλυντήρια κλπ κατάλληλοι είναι οι κινητήρες αντίδρασης, κινητήρες υστέρησης, κινητήρες διαχωρισμένων πόλων και οι κινητήρες δύο ρευμάτων (universal).

Η τάση των κινητήρων εξαρτάται από το δίκτυο τροφοδοσίας. Αν δεν υπάρχει δεύσμευση από το δίκτυο, δηλαδή αν πρόκειται να γίνει ιδιαίτερο δίκτυο, τότε η εκλογή της τάσης γίνεται προσεγγιστικά ως εξής: Για ισχύ κινητήρα 0-300 kW εκλέγουμε τάση 400 V ενώ για ισχύ >300 kW εκλέγουμε 6 ή 10 kV.

5.2 Εκκίνηση ασύγχρονων κινητήρων

Κατά την εκκίνηση κινητήρων έχουμε αύξηση των στροφών από 0 έως τις ονομαστικές στροφές και μείωση της ολίσθησης από 100% έως 1-8% περίπου. Το ρεύμα εκκίνησης είναι 4-7 φορές του κανονικού και μειώνεται στο κανονικό όταν ο κινητήρας φθάσει στο ονομαστικό του φορτίο. Κατά την εκκίνηση οι απώλειες του κινητήρα μπορεί να είναι 40 φορές επί τις απώλειες στην κανονική λειτουργία. Έτσι συνήθως δεν επιτρέπεται απεριόριστη διάρκεια εκκίνησης ή απεριόριστες εκκινήσεις η μία αμέσως μετά την άλλη. Από τα διάφορα φορτία οι συμπιεστές έχουν δύσκολη εκκίνηση, αντίθετα με τους ανεμιστήρες και τις αντλίες που έχουν εύκολη εκκίνηση. Αν ο κινητήρας είναι χωρίς φορτίο τότε όλη η ροπή του κινητήρα επιταχύνεται διαρκώς. Κατά την διάρκεια εκκίνησης ο κινητήρας διαρρέεται από μεγάλο ρεύμα επειδή η ολίσθηση είναι μεγάλη. Έτσι θερμαίνεται και μπορεί να καεί. Χαρακτηριστικό μέγεθος της εκκίνησης είναι το μέγιστο ρεύμα εκκίνησης I_A σε στάση καθώς και το σχετικό ρεύμα εκκίνησης I_A/I_N. Το σχετικό ρεύμα εκκίνησης είναι για κινητήρες 0,2....200 kW {12} :

- I_A/I_N=2,5...7,5 για απ' ευθείας εκκίνηση,
- I_A/I_N =0,8...2,33 για εκκίνηση αστέρα τριγώνου.

5.3 Τρόποι εκκίνησης κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

Η μεγάλη ένταση κατά την εκκίνηση εκτός από την υπερθέρμανση που προκαλεί στον κινητήρα προκαλεί σοβαρά προβλήματα βύθισης τάσης στο δίκτυο τροφοδοσίας και στους πλησιέστερους καταναλωτές. Η ένταση εκκίνησης περιορίζεται αν μειωθεί η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα κατά τη στιγμή αυτή. Κατά την εκκίνηση εφαρμόζουμε τις εξής μεθόδους εκκίνησης {13} :

- Απ' ευθείας εκκίνηση, με σταθερή τάση,στο δίκτυο διανομής ΧΤ της ΔΕΗ.

Εφαρμόζεται για τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού μέχρι 2 kW, λόγω κανονισμών της ΔΕΗ. Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ένας τριπολικός Δ/Φ (τύπου τυμπάνου), τρείς ασφάλειες βραδείας τήξης και ένα αυτόματο διακόπτη προστασίας.
Πολλές φορές στην πράξη είναι αναγκαία η αριστερόστροφη ή η δεξιόστροφη λειτουργία του κινητήρα. Η φορά περιστροφής ενός τριφασικού κινητήρα αλλάζει αν αλλάξουμε τη σειρά τροφοδοσίας δυο από τους τρείς τροφοδοτικούς αγωγούς. Η αλλαγή μπορεί να γίνει με τη βοήθεια χειροκίνητου διακόπτη ή με τη βοήθεια ρελέ ισχύος και θερμικού. Επειδή ο χειροκίνητος διακόπτης αλλαγής φοράς περιστροφής δεν έχει δυνατότητα χρήσης από απόσταση μπορεί να αντικατασταθεί από ένα αυτόματο διακόπτη αλλαγής φοράς περιστροφής με χρήση ρελέ ισχύος και θερμικού .
Ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να κατασκευαστεί με δυο τυλίγματα με διαφορετικά ζεύγη πόλων οπότε να δώσει δύο διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Μπορούμε να έχουμε απ' ευθείας μετάβαση από τη χαμηλή στην υψηλή ταχύτητα αν τοποθετήσουμε μπουτόν με εντολή stop-start και επιπλέον βοηθητικές επαφές .

- Εκκίνηση με μειωμένη τάση στα τυλίγματα, (εκκίνηση Υ-Δ) δηλαδή εκκίνηση με Υ που καταλήγει σε Δ.

Η ροπή είναι το 1/3 της ροπής της απ' ευθείας εκκίνησης γεγονός που μειώνει το ρεύμα στο 1/3. Ο εκκινητής που χρειάζεται είναι ένας διακόπτης Υ-Δ. Η μεταγωγή Υ-Δ πρέπει να γίνει τη σωστή στιγμή, σχεδόν υπό ονομαστικές στροφές, αλλιώς έχουμε μεγάλα ρεύματα εκκίνησης. Αν η μετάβαση γίνει πρόωρα δηλαδή όταν ο κινητήρας βρίσκεται στο 25% των στροφών του τότε ο διακόπτης Υ-Δ δεν θα έχει καμία επίδραση. Η μεταγωγή γίνεται χειροκίνητα ή αυτόματα. Ένας κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει με συνδεσμολογία Υ-Δ μόνο σε δίκτυα με πολική τάση ίση με την τάση τριγώνου του κινητήρα. Ο παρακάτω πίνακας 5α {12} δείχνει τις διάφορες δυνατότητες σύνδεσης και εκκίνησης ανάλογα με τις τάσεις των τυλιγμάτων του κινητήρα και του δικτύου:

Τάσεις τυλιγμάτων στην πινακίδα του κινητήρα	**Τάσεις τριφασικού δικτύου που μπορεί να συνδεθεί ο κινητήρας**	**Τάσεις δικτύου για απ' ευθείας εκκίνηση**	**Τάσεις δικτύου για εκκίνηση Υ-Δ**
(V)	(V)	(V)	(V)
230Δ/400Υ	230 400	230Δ 400Υ	230Δ -
400Υ 400Δ	400 400	230Υ 400Δ	- 400Δ
400Δ/690Υ	400 690	400Δ 690Υ	400Δ -
690Υ 690Υ	690	690Υ 690Δ	- 690Δ

Πιν.5α

(Το / σημαίνει ότι λειτουργεί εξίσου καλά και στις δυο τάσεις)

Ο διακόπτης Υ-Δ μπορεί να είναι χειροκίνητος και να συνδέεται με τον κινητήρα.
Επειδή ο χειροκίνητος διακόπτης Υ-Δ κατασκευάζεται για ορισμένη ένταση, συνήθως μέχρι 160 Α και δεν έχει τη δυνατότητα χρήσης από απόσταση μπορεί να αντικατασταθεί από τον αυτόματο διακόπτη Υ-Δ. Για αλλαγή της φοράς περιστροφής στην εκκίνηση με διακόπτη Υ-Δ χρησιμοποιείται διαφορετικό κύκλωμα .

Στην εκκίνηση με Υ-Δ αξίζει να επισημάνουμε τα εξής :

- Κανένας τριφασικός κινητήρας δεν πρέπει να συνδέεται στο δίκτυο χωρίς αυτόματο διακόπτη θερμικής προστασίας διότι σε περίπτωση διακοπής μιας τροφοδοτικής γραμμής θα καεί.
- Αν ο αυτόματος διακόπτης προστασίας του κινητήρα δεν έχει χειροκίνητες εντολές stop-start και σε διακοπή ρεύματος, ο χειροκίνητος διακόπτης Υ-Δ βρίσκεται στη θέση Δ, στην επενατροφοδότηση του ρεύματος ο κινητήρας θα ξεκινήσει με τα τυλίγματά του συνδεδεμένα σε Δ.
- Η αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα γίνεται αν αλλάξουμε τη σειρά συνδεσμολογίας των αγωγών R-S-T στην είσοδο του διακόπτη Υ-Δ δηλαδή αλλάζουμε τη σειρά σε δυο από τους τρεις αγωγούς τροφοδοσίας.
- Αν σε περίπτωση απ' ευθείας εκκίνησης ή εκκίνησης με χειροκίνητο διακόπτη Υ-Δ, επιλέξουμε για την προστασία του κινητήρα αυτόματο Δ/Ι, δε χρειάζεται να τοποθετηθεί Δ/Φ, ασφάλειες, αυτόματος προστασίας κινητήρων (μικροαυτόματος), ρελέ ισχύος με θερμικό.
- Για την απ' ευθείας εκκίνηση του κινητήρα ή την εκκίνηση με χειροκίνητο διακόπτη Υ-Δ ή θα επιλέξουμε αυτόματο προστασίας κινητήρων ή ρελέ ισχύος με θερμικό.

- Για την περίπτωση εκκίνησης με αυτόματο διακόπτη Υ-Δ δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόματος προστασίας κινητήρων αλλά μόνο ρελέ ισχύος με θερμικό (τρία ρελέ και ένα θερμικό).
- Όταν χρησιμοποιούμε αυτόματες τριπολικές ασφάλειες είναι προτιμότερο ο Δ/Φ να είναι ραγοδιακόπτης.

❖ Όταν δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση διακόπτη Υ-Δ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ωμικές αντιστάσεις κατάλληλα υπολογισμένες με βάση την ισχύ και το ρεύμα του κινητήρα.

Οι αντιστάσεις μπορούν να συνδεθούν πριν τα τυλίγματα του στάτη (σύνδεση τυλιγμάτων σε Υ-Δ) ή να συνδεθούν μετά τα τυλίγματα του στάτη (σύνδεση τυλιγμάτων σε Υ). Οι αντιστάσεις κατά την εκκίνηση συνδέονται σε σειρά με τα τυλίγματα του κινητήρα ,διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα και πρέπει να υπολογίζονται με βάση την τιμή αυτού του ρεύματος. Οι αντιστάσεις αφαιρούνται σταδιακά με την αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα από το κύκλωμα και ο χρόνος παραμονής τους σ' αυτό είναι προκαθορισμένος.

❖ Αντί των ωμικών αντιστάσεων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στραγγαλιστικά πηνία κατάλληλα υπολογισμένα με βάση την ισχύ και το ρεύμα του κινητήρα.

Τα στραγγαλιστικά πηνία όπως και οι ωμικές αντιστάσεις μπορούν να συνδεθούν πριν τα τυλίγματα του στάτη (σύνδεση τυλιγμάτων σε Υ ή σε Δ) ή να συνδεθούν μετά τα τυλίγματα του στάτη (σύνδεση τυλιγμάτων σε Υ). Τα στραγγαλιστικά πηνία κατά την εκκίνηση συνδέονται σε σειρά με τα τυλίγματα του κινητήρα, διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα και πρέπει να υπολογίζονται με βάση την τιμή αυτού του ρεύματος. Αφαιρούνται σταδιακά με την αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα από το κύκλωμα και ο χρόνος παραμονής τους σ' αυτό είναι προκαθορισμένος και περίπου ίσος με το χρόνο ρύθμισης του διακόπτη Υ-Δ. Οι συνδεσμολογίες για την εκκίνηση με στραγγαλιστικά πηνία είναι ίδια με την περίπτωση εκκίνησης με αντιστάσεις.

❖ Για την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα χρησιμοποιούμε συνήθως τριφασικούς αυτομετασχηματιστές.

Ο κινητήρας ξεκινά με την ενδιάμεση λήψη του ΑΜΣ που δίνει περίπου το 50% της ονομαστικής τάσης του κινητήρα. Η ένταση που απορροφά ο κινητήρας στην περίπτωση αυτή είναι το 50% της έντασης που θα απορροφούσε αν ξεκινούσε με την ονομαστική του τάση. Το ρεύμα στο πρωτεύον που απορροφά στην περίπτωση αυτή ο ΑΜΣ από το δίκτυο είναι το 25% του ρεύματος που θα απορροφούσε ο κινητήρας αν συνδεόταν απ' ευθείας στο δίκτυο. Οπότε το ρεύμα που απόρροφά κατά την εκκίνηση ο κινητήρας από το δίκτυο ελλατώνεται με το τετράγωνο της σχέσης μεταφοράς του ΑΜΣ. Το πρόβλημα που υπεισέρχεται εδώ είναι η μειωμένη ροπή εκκίνησης λόγω της μείωσης της τάσης κάτι όμως που δεν θα υφίσταται αν ο κινητήρας ξεκινήσει χωρίς φορτίο ή με ελαττωμένο φορτίο. Το μέγεθος του τριφασικού ΑΜΣ έχει σχέση με το μέγεθος του κινητήρα οπότε η εκλογή του γίνεται με βάση την ισχύ και το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

❖ Εκκίνηση με ηλεκτρονικό ρυθμιστή τάσης (soft starter). Εδώ η εναλλασσόμενη τάση τροφοδοσίας ρυθμίζεται με θυρίστορς .

❖ Εκκίνηση με μετατροπέα συχνότητας δηλαδή η τροφοδότηση γίνεται κατά την εκκίνηση με μεταβλητή συχνότητα έτσι έχουμε υψηλή ροπή και χαμηλό ρεύμα.

Οι τρόποι Γ, Δ, Ε εφαρμόζονται σπάνια σε κινητήρες ΧΤ. Εκκινήσεις με μειωμένη τάση (τρόποι Β, ΣΤ) γενικά δεν ενδείκνυται για περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντικό φορτίο πάνω στον κινητήρα. Έτσι πρέπει το φορτίο να μειώνεται ή να αποσυμπλέκεται σε αυτές τις περιπτώσεις π.χ σε κομπρεσσέρ αυτό γίνεται με μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που ανοίγει τη γραμμή συμπίεσης κατά τη διάρκεια εκκίνησης. Σε άλλα φορτία μπορεί να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρομαγνητικοί συμπλέκτες. Σε αντλίες μπορεί να κλείνει η βάνα της εξόδου. Αν δεν ξεκινά ή ξεκινά αργά ο κινητήρας τα αίτια πρέπει να αναζητηθούν στα εξής {12}:

- Το φορτίο έχει μεγαλύτερη ροπή απ' ότι η ροπή εκκίνησης του κινητήρα.
- Ο δρομέας του κινητήρα έχει σφηνώσει.
- Η ροπή αδράνειας είναι μεγάλη.

- Λείπει μια φάση.
- Έχουμε μειωμένη τάση ή μεγάλη πτώση τάσης λόγω μακριάς γραμμής τροφοδότησης. Γι' αυτό το λόγο προτείνεται η πτώση τάσης σε γραμμές κινητήρων να είναι έως 4% ώστε στα υψηλά ρεύματα εκκίνησης να υπάρχει αρκετή τάση στον κινητήρα.

Σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστούν κινητήρες αυξημένης ροπής εκκίνησης π.χ με διπλό κλωβό ή αγωγούς κλωβού με ιδιαίτερη μορφή (κλωβός από στρογγυλές ράβδους, κλωβός από υψίκορμες παραλληλόγραμμες ράβδους). Η δυνατότητα του κινητήρα να ξεκινήσει με αυξημένη ροπή φορτίου έχει ομαδοποιηθεί από μερικούς κατασκευαστές σε 4 κλάσεις KL16, K 13, KL 10, Kl 7. Αυτές επιτρέπουν εκκίνηση με φορτία ροπής ακόμη και αν η τάση είναι κατά 5% μειωμένη:

$1,6M_N$ για KL 16	$1,00M_N$ για KL 1
$1,3M_N$ για KL 13	$0,7M_N$ για KL 7

Όπου M_N =ονομαστική ροπή κινητήρα.

5.4 Πέδηση των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

Ένας ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας μπορεί να πεδηθεί, αν αυτό επιβάλλεται από τις συνθήκες εργασίας του π.χ σε ανυψωτικές μηχανές με τρόπους που βασίζονται είτε σε εξωτερική πέδηση είτε στη λειτουργία μηχανής με αντίστροφα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο είτε στη λειτουργία της ασύγχρονης γεννήτριας. Οι συνηθέστεροι στην πράξη τρόποι είναι {12}:

- Μηχανική πέδηση του άξονα, π.χ με ειδική ηλεκτρομαγνητική πέδη που είναι στον ίδιο άξονα. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν υπερθερμαίνεται ο κινητήρας.
- Εναλλαγή δύο φάσεων. Επάγεται τότε ένα αντίθετα στρεφόμενο πεδίο που φρενάρει τον κινητήρα. Η θερμική καταπόνηση του κινητήρα είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην εκκίνηση. Αν η πέδηση διαρκεί πάνω από 5 sec πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο υπερθερμαίνεται ο κινητήρας. Σε δακτυλιοφόρους κινητήρες η πέδηση μπορεί να γίνει με εναλλαγή δυο φάσεων και με αντιστάσεις στο δρομέα.
- Πέδηση με συνεχές ρεύμα. Ο κινητήρας αποσυνδέεται από το δίκτυο και συνδέεται με πηγή συνεχούς ρεύματος. Η πέδηση επιτρέπεται να γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια $t<10$ sec. αλλιώς υπερθερμαίνεται ο κινητήρας.
- Πέδηση με αλλαγή του αριθμού των πόλων. Σε κινητήρες δυο ταχυτήτων αν βάλουμε τη χαμηλότερη ταχύτητα ο κινητήρας φρενάρει λειτουργώντας έτσι σαν γεννήτρια. Η θερμική καταπόνηση της μηχανής είναι ίση με αυτή κατά την εκκίνηση με χαμηλή ταχύτητα. Η πέδηση με αλλαγή της ταχύτητας δεν προχωρά μέχρι τη μηδενική ταχύτητα αλλά σταματά στην ταχύτητα που έχουμε βάλει.
- Κινητήρες πέδησης για συνδυασμένη λειτουργία και γρήγορη πέδηση, όπως αυτοί των ανυψωτικών μηχανών, είναι ειδικής κατασκευής και λειτουργούν συνήθως σύμφωνα με τη πρώτη μέθοδο που προαναφέρθηκε.

5.5 Εκλογή κινητήρων σύμφωνα με τις συνθήκες περιβάλλοντος

Οι κινητήρες επιλέγονται, εκτός του φορτίου που πρέπει να εξυπηρετήσουν και με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος που βρίσκονται δηλαδή την κλάση μόνωσης και του βαθμού προστασίας σε είσοδο ξένων σωμάτων και νερού {12}.

5.5.1 Κλάση μόνωσης

Οι κινητήρες κατασκευάζονται με μονώσεις που μπορεί να αντέξουν μέχρι μια οριακή θερμοκρασία. Τα συστήματα μόνωσης είναι ταξινομημένα σε κλάσεις Y,A,E,B,F,H,C όπως

δείχνει ο πίνακας 5.1. Κάθε κλάση έχει ως χαρακτηριστικό τη μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενης θερμοκρασίας. Συνεχής υπέρβαση αυτής της θερμοκρασίας κατά 10^oC μπορεί να επιφέρει μείωση της διάρκειας ζωής της μόνωσης κατά 50%. Στις κλάσεις B,F,H όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλή (40^oC) πρέπει να λαμβάνεται κινητήρας με την επόμενη κλάση μόνωσης. Πρέπει όμως για $\theta>40^oC$ να υπάρξουν διευκρινηστικές πληροφορίες από τον κατασκευαστή για τη λειτουργία του κινητήρα διότι εκτός της μόνωσης και τα έδρανα μπορεί να υποφέρουν από την υπερθέρμανση.

5.5.2 Βαθμοί προστασίας σε είσοδο ξένων σωμάτων και νερού

Το περιβάλλον, δηλαδή η υγρασία, το νερό και η σκόνη προσδιορίζουν σε ένα κινητήρα τη μορφή του κελύφους, τη στεγανότητά του και τις συνθήκες ψύξης του. Η προστασία κατά των επιβλαβών επιδράσεων του περιβάλλοντος έχει βαθμονομηθεί. Ο βαθμός προστασίας προσδιορίζεται με το σύμβολο IP ακολουθούμενο από δυο αριθμούς. Ο πρώτος αριθμός δίνει το βαθμό προστασίας απέναντι στην εισχώρηση ξένων σωμάτων π.χ σκόνης, και στην τυχαία επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Ο δεύτερος αριθμός αφορά την εισχώρηση του νερού. Ο πίνακας 5.2 δίνει τους βαθμούς προστασίας για μηχανές και για ηλεκτρικές συσκευές. Μερικοί επικρατέστεροι τύποι προστασιών είναι:

- IP21...IP23 Κινητήρες ανοιχτού τύπου ή κινητήρες άμεσης ψύξης ή εξωτερικής ψύξης.

Ο κινητήρας είναι φθηνός αλλά είναι κατάλληλος μόνο για στεγασμένους χώρους χωρίς σκόνη και πιτσιλιές νερού.

- IP44...IP54 Κινητήρες κλειστού τύπου ή κινητήρες έμμεσης ψύξης ή επιφανειακής ψύξης ή εσωτερικής ψύξης.
- IP44

Είναι κατάλληλος για στεγασμένους χώρους,και σε αστέγαστους χώρους υπό προϋποθέσεις. Στην ύπαιθρο υπάρχει κίνδυνος σε δυνατή βροχή να μπεί νερό στον άξονα γι' αυτό πρέπει να τοποθετηθεί μικρό στέγαστρο που να μην περιορίζει όμως την ψύξη του. Δεν είναι κατάλληλος για περιβάλλον με επιβλαβή σκόνη ή χημικά αέρια.

- IP54

Είναι κατάλληλος για υπαίθρια εγκατάσταση αφού βαφεί με αντιδιαβρωτικό και αντέχει σε περιβάλλον με επιβλαβείς ατμούς. Όταν βρίσκεται στην ύπαιθρο χρειάζεται μικρό υπόστεγο για να προστατεύεται από τη βροχή.
Οι κινητήρες σε υπαίθριες εγκαταστάσεις πρέπει να προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία γιατί μπορούν να υπερθερμανθούν.

- IP55

Μπορεί ο κινητήρας να εγκατασταθεί σε αστέγαστο χώρο, στην ύπαιθρο αφού βαφεί με αντιδιαβρωτικό. Είναι κατάλληλος και σε εκρηκτικό περιβάλλον. Το κόστος του είναι δυσανάλογο της ισχύς που προσφέρει.

5.6 Τυποποίηση της μορφής, του μεγέθους και της ψύξης των κινητήρων

Οι κινητήρες τυποποιούνται σύμφωνα με τη μορφή, την έδραση, το μέγεθος και τον τρόπο ψύξης τους {12}.

5.6.1 Μορφή –Έδραση κινητήρων

Η μορφή των κινητήρων εξαρτάται από τον τρόπο στήριξή τους. Υπάρχουν εκτός της κλασσικής στήριξης πάνω σε βάση σε οριζόντιο επίπεδο και άλλες όπως στήριξη στον τοίχο κλπ. Οι διάφοροι κανονισμοί δίνουν τους τρόπους στήριξης στους πίνακες 5.3,5.4.
Οι τρόποι διακρίνονται σε:

- Κινητήρες με βάση και πόδια π.χ IM-B3, IM-B6, IM-B7, IM-B8, IM-V5, IM-V6.

- Κινητήρες με οριζόντιο άξονα π.χ IM-B3, IM-B6.
- Κινητήρες με κατακόρυφο άξονα π.χ IM-V1, IM-V2, IM-V3.

5.6.2 Μέγεθος κινητήρα

- Κινητήρες με πέλματα (π.χ IM-B3)

Το μέγεθος δίνεται από την απόσταση σε mm του κέντρου του άξονα από το επίπεδο έδρασης. Μερικά συνηθισμένα μεγέθη μικρών κινητήρων είναι :
71,80,90,100,112,132,160,180,200,225,250,280,315,355,400.
Τα μεγέθη συνοδεύονται και από τα εξής γράμματα μετά το μέγεθός τους:
S=μικρό, M=μέσο, L=μακρύ μέγεθος.

- Κινητήρες με φλάντζα(π.χ. IM-V5)

Τα μεγέθη καθορίζονται από της διαστάσεις της φλάντζας. Το μέγεθος ισούται περίπου με την ακτίνα της φλάντζας σε mm.

5.6.3 Τρόπος ψύξης των κινητήρων

Οι κινητήρες κατασκευάζονται με διάφορους τρόπους ψύξης:

- Με ελεύθερη είσοδο και έξοδο αέρα π.χ IP21,
- Με είσοδο και έξοδο αέρα μέσω αεραγωγών,
- Με επιφανειακή ψύξη, π.χ IP54.
- Με εσωτερική ψύξη και εναλλάκτη θερμότητας.
- Με διαφορετικά ψυκτικά όχι αέρα.

Το ψυκτικό μπορεί να διακινείται με ανεμιστήρα ή όχι, ενώ ο ανεμιστήρας μπορεί να κινείται από τον κινητήρα ή όχι. Σε κινητήρες μεταβλητών στροφών οι ανεμιστήρες κινούνται με ξένη πηγή έτσι διασφαλίζεται καλή ψύξη και σε χαμηλές στροφές του κινητήρα. Η κωδικοποίηση της ψύξης αποτελείται από τα αρχικά IC συνεδευόμενα από δυο αριθμούς: ο πρώτος χαρακτηρίζει τον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού και ο δεύτερος χαρακτηρίζει την κινητήρια μηχανή που χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του αέρα. Η σημασία των αριθμών δίνεται στον πιν.5.5.

5.7 Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη ισχύς

Η ονομαστική ισχύς και το ρεύμα στα οποία αντέχει διαρκώς ο κινητήρας, αν δεν υπάρχει άλλη σημείωση από τον κατασκευαστή, είναι υπό τις εξής συνθήκες {12} :

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (ψυκτικού) μέχρι 40°C.
- Υψόμετρο μέχρι 1000 m.
- Η ψύξη δηλαδή ο αερισμός δεν εμποδίζεται.
- Για υψόμετρα πάνω από 1000 m η ισχύς του κινητήρα μειώνεται σύμφωνα με τον πίνακα 5.6.

5.8 Υπερφόρτιση του κινητήρα

Η καταπόνηση του κινητήρα είναι κυρίως θερμική και οφείλεται στο ρεύμα. Για δοσμένη ισχύ της κινούμενης μηχανής P και τάση του δικτύου V_N ο κινητήρας ρυθμίζει από μόνος του το ρεύμα του ώστε να ανταποκριθεί στο φορτίο. Καθώς αυξάνεται το φορτίο P αυξάνεται η ολίσθηση και το ρεύμα. Υπερφόρτιση σημαίνει ότι η ισχύς του φορτίου αυξάνεται πέρα της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα ή ότι το ρεύμα αυξάνεται πέρα του ονομαστικού. Αν δεν δίνεται η δυνατότητα υπερφόρτισης από τον κατασκευαστή τότε μπορεί να γίνει μια εκτίμηση κατά VDE 0530,IEC34 {12}:

- Υπερφόρτιση επιτρέπεται παροδικά μέχρι και στο 1,5 του κανονικού ρεύματος για 2min. Συγχρόνως επιτρέπεται η φόρτιση με το 1,6 της ονομαστικής ροπής για 15sec υπό ονομαστική τάση και συχνότητα.
- Διαρκής υπερφόρτιση επιτρέπεται μόνο αν αυτό έχει προβλεφτεί από τον κατασκευαστή. Εμφανίζεται πάνω στην πινακίδα του κινητήρα με ένα συντελεστή λειτουργίας s :Μέγιστη διαρκής ισχύς $P_{max}=s*P_r$,όπου s=1….1,15.

5.9 Επιλογή της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα

Ένας κινητήρας δεν υποφέρει αν λειτουργεί σε μικρότερα φορτία απ' ότι το ονομαστικό. Το γεγονός αυτό όμως μπορεί να μειώνει την απόδοση του κινητήρα. Επειδή επιτρέπεται ο κινητήρας να λειτουργεί συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ δεν πρέπει να υπόφορτίζεται. Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα πρέπει να εκλέγεται όσο το δυνατό ίση με το μέγιστο φορτίο που έχει να εξυπηρετήσει στις χειρότερες συνθήκες τάσης, φόρτισης και εκκίνησης, διαφορετικά προκύπτουν τα εξής μειονεκτήματα αν εκλεγεί πολύ μεγαλύτερη ισχύς απ' ότι χρειαζόμαστε {12} :

- Μειωμένος ΣΙ,
- Αυξημένο ρεύμα εκκίνησης,
- Ενδεχομένως χαμηλότερος συντελεστής ενεργειακής απόδοσης,
- Αυξημένα έξοδα εγκατάστασης.

Ωστόσο αν λόγοι δύσκολης εκκίνησης το επιβάλλουν μπορεί, για να έχουμε άνεση στην εκκίνηση, να εκλέξουμε κινητήρες με μεγαλύτερη ισχύ απ' αυτή που χρειαζόμαστε.

5.10 Τυποποίηση της ονομαστικής λειτουργίας

Υπάρχουν 8 τυποποιημένες λειτουργίες S1, S2,…S8 κατά VDE 0530 {15}:
S1=συνεχή λειτουργία
S2=βραχυχρόνια λειτουργία,π.χ. 5min,
S3…S8=περιοδικές λειτουργίες με εκκινήσεις , πεδήσεις κλπ.
Οι πίνακες 5.7-5.9 {12} δίνουν τις διάφορες τυποποιημένες λειτουργίες και τις θερμοκρασίες τους.
Βασικό στοιχείο των περιοδικών λειτουργιών είναι ο συντελεστής χρόνου λειτουργίας.Αυτός είναι ο χρόνος φόρτισης διά της περιόδου φόρτισης. Τα ονομαστικά στοιχεία του κινητήρα, αν δεν γίνεται ιδιαίτερη αναφορά,αναφέρονται στη συνεχή λειτουργία S1.

5.11 Προστασία του κινητήρα

Η υπερθέρμανση του κινητήρα μπορεί να προέλθει ή από ανεπαρκή ψύξη ή από συνεχή υπερφόρτιση ή από βραχυκύκλωμα. Η συνεχής υπερφόρτιση μπορεί να οφείλεται σε {12}:

- Μεγάλη ροπή φορτίου,
- Μειωμένη τάση,
- Βαρειά εκκίνηση,
- Επανειλλημένες εκκινήσεις,
- Έλλειψη μιας φάσης, η οποία ισοδυναμεί με επιβολή αντίστροφου συστήματος,
- Λάθος ακολουθίας φάσεων.

Η υπερθέρμανση αποδίδεται, στις εξής απώλειες {15}:

- Οι απώλειες χαλκού στα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος.
- Οι απώλειες σιδήρου (υστερήσεως και δινορρευμάτων) και οι μηχανικές απώλειες (τριβές αέρα, τριβές εδράνων) είναι σταθερές για σταθερή τάση και σταθερό αριθμό στροφών).

Κατά την ονομαστική λειτουργία ασύγχρονων κινητήρων ΧΤ οι απώλειες χαλκού αποτελούν το 70% των συνολικών απωλειών. Κατά την υπερφόρτιση με το διπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος οι απώλειες χαλκού τετραπλασιάζονται και απότελούν το 90% των συνολικών απωλειών. Επομένως το ρεύμα καθορίζει ουσιαστικά τις απώλειες και την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό και καθορίζει την προστασία του κινητήρα. Η διάταξη προστασίας κινητήρων πρέπει να πληρεί τις εξής απαιτήσεις:

- Η προστασία πρέπει να ενεργοποιείται και να διακόπτει την παροχή ισχύος όταν η θερμοκρασία των τυλιγμάτων του κινητήρα υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Έτσι αποφεύγεται η υπερθέρμανση η οποία προκαλεί περιορισμό της διάρκειας ζωής ή και σοβαρές βλάβες στη μόνωση.
- Η προστασία δεν πρέπει να ενεργοποιείται όταν:
    - Ο κινητήρας σε συνεχή φόρτιση λειτουργεί με την ονομαστική του ισχύ,
    - Ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο το ρεύμα εκκινήσεως χωρίς να γίνεται υπέρβαση της διάρκειας εκκινήσεως,
    - Ο κινητήρας λειτουργέι σύμφωνα με τα είδη λειτουργίας S2-S8 χωρίς να γίνεται υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας,
    - Ο κινητήρας υπερφορτίζεται μέσα στα επιτρεπόμενα από τους κανονισμούς πλαίσια. Οι κανονισμοί VDE 0530 επιτρέπουν υπερφόρτιση με $1,5I_n$ επί 2 λεπτά,ακόμη και αν ο κινητήρας είχε αποκτήσει την κανονική του θερμοκρασία από την ονομαστική του φόρτιση πριν την υπερφόρτιση αυτή.

Η προστασία κατά της συνεχούς υπερφόρτισης γίνεται με {12}:

- θερμικά στοιχεία δημεταλλικά ή ηλεκτρονικά που διαρρέονται από το ρεύμα γραμμής ή το ρεύμα τυλιγμάτων.
- Ψυχρούς αγωγούς ή θερμούς αγωγούς η οποίοι λέγονται θερμίστορες, τοποθετούνται στις κεφαλές των τυλιγμάτων και προστατεύουν γενικά τον κινητήρα από υπερθέρμανση ακόμη και αν αυτή προέρχεται από ανεπαρκή ψύξη.
- θερμομετρικές αντιστάσεις,
- Η/Ν κινητήρων.

Οι ασφάλειες δεν παρέχουν προστασία έναντι υπερφορτίσεως στους κινητήρες διότι {15} :

- Οι ασφάλειες επιτρέπουν επί πολύ χρόνο τη ροή ρευμάτων μεγαλύτερων του ονομαστικού τους ρεύματος, τα οποία προκαλούν μη επιτρεπόμενες υπερθερμάνσεις των τυλιγμάτων του κινητήρα.
- Οι ονομαστικές εντάσεις των ασφαλειών είναι τυποποιημένες και δεν μπορούν να προσαρμόζονται άμεσα προς τις ονομαστικές εντάσεις των κινητήρων.
- Όταν η ονομαστική ένταση των ασφαλειών δεν είναι αρκετά μεγαλύτερη από την ονομαστική ένταση του κινητήρα και όταν δεν χρησιμοποιούνται διατάξεις περιορισμού του ρεύματος εκκινήσεως οι ασφάλειες συνήθως τήκονται κατά τη διάρκεια εκκινήσεως.

Η προστασία κατά των βραχυκυκλωμάτων γίνεται με {12} :

- ασφάλειες ή με αυτόματους Δ/Ι. Σε κινητήρες άνω των 10 kW εκτός του Δ/Ι μπαίνουν και ασφάλειες για εφεδρεία. Ασφάλειες προ του Δ/Ι μπαίνουν επίσης και για την περίπτωση που το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να διακόψει το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του Δ/Ι.

5.12 Ακροδέκτες κινητήρα

Τα άκρα των τυλιγμάτων ενός κινητήρα απολήγουν στο κιβώτιο ακροδεκτών. Εκεί π.χ για τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα και μιας ταχύτητας βλέπουμε 6 ακροδέκτες, δυο ανά τύλιγμα. Η αρχή του τυλίγματος της μιάς φάσης, ονομάζεται U1 και το

τέλος U2. Ομοίως για την δεύτερη και τρίτη φάση V1, V2 και W1, W2. Στα σχήματα 5.1, 5.2 {12}, φαίνονται οι συνδεσμολογίες Υ-Δ και οι συνδεσμολογίες κινητήρων μιας ή δυο ταχυτήτων αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 6

Βύθιση τάσης

6.1 Γενικά

Επειδή οι κινητήρες κατά την εκκίνηση απορροφούν από το δίκτυο μεγάλη ένταση ρεύματος, εμφανίζονται στα δίκτυα διανομής υπερεντάσεις μικρής διάρκειας που έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία στιγμιαίων πτώσεων τάσης, που ονομάζονται βυθίσεις τάσεων.
Η βύθιση τάσης ενοχλεί το φωτισμό των καταναλωτών, δημιουργεί προβλήματα στις ηλεκτρονικές συσκευές και σε περίπτωση μεγάλης βύθισης τάσης προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία του δικτύου διανομής.
Όταν ένας κινητήρας πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται έλεγχος για να εξακριβωθεί αν η βύθιση τάσης που προκαλεί είναι ανεκτή για τους άλλους καταναλωτές και το δίκτυο, με βάση το μέγεθος και τη συχνότητα εμφάνισης αλλά και την ένταση ρεύματος που απορροφά ο κινητήρας.
Για να γίνει καθορισμός των επιτρεπόμενων ορίων βύθισης τάσης σ' ένα δίκτυο χωρίζονται οι περιοχές σε τρείς κατηγορίες {13}:
Κατηγορία Α : Αστικές περιοχές ή περιοχές με μεγάλη πυκνότητα οικιακού και εμπορικού φορτίου.
Κατηγορία Β : Βιομηχανικές και αγροτικές περιοχές ή περιοχές με μικρή πυκνότητα οικιακού και εμπορικού φορτίου.
Κατηγορία Γ : Καταναλωτές που τροφοδοτούνται από αρδευτικά δίκτυα ή από ιδιαίτερο Υ/Σ.

6.2 Επιτρεπόμενα όρια βύθισης τάσης

Η βύθιση τάσης στο δίκτυο διανομής, κοντά στο σημείο του προς σύνδεση καταναλωτή, λόγω εκκίνησης ηλεκτροκινητήρα, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα ποσοστά του παρακάτω πίνακα 6α, πάνω από την ονομαστική τάση του δικτύου.

Κατηγορία	**Σπάνιες εκκινήσεις**	**Συχνές εκκινήσεις**	**Πολύ συχνές εκκινήσεις**
Α	3,5%	2%	1,3%
Β	6%	3,5%	2,3%
Γ	10%	5%	3,5%

Πιν.6α

Οι εκκινήσεις θεωρούνται συχνές όταν εμφανίζονται μέχρι μια εκκίνηση ανά λεπτό, πολύ συχνές όταν εμφανίζονται με συχνότητα πάνω από μια εκκίνηση ανά λεπτό.
Οι κατηγορίες είναι:
Α=αστικά φορτία, υψηλή πυκνότητα φορτίουκαι καταναλωτές ΜΤ,
Β=μικρή πυκνότητα φορτίου (βιομηχανικές, αγροτικές περιοχές),
Γ=καταναλωτές με ίδιο Υ/Σ.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα εξής {13}:

- Δεν απαιτείται έγκριση για την εγκατάσταση και σύνδεση ηλεκτροκινητήρα στο δίκτυο, όταν η ένταση εκκίνησης δεν υπερβαίνει τις τιμές του παρακάτω πίνακα Πιν.6β

Είδος κινητήρα	Είδος δικτύου	Συχνότητα εκκινήσεων	Μέγιστη ένταση εκκίνησης
Μονοφασικός	Εναέριο	-	27A(1 PS)
‘’	Υπόγειο	-	40A(1,5 PS)
Τριφασικός	Εναέριο	Σπάνιες	50A(4/12,55 PS)
‘’	‘’	Συχνές	30A(2,5/7,5 PS)
‘’	Υπόγειο	Σπάνιες	70A(6/17 PS)
‘’	‘’	Συχνές	50A(4/12,5 PS)

Πιν.6β

Οι δύο τιμές π.χ 6/17PS σημαίνει 6 PS για απ’ ευθείας εκκίνηση και 17 PS για Υ-Δ.
Για τους συνηθισμένους τύπους μονοφασικών κινητήρων τάσης λειτουργίας 220V ή 230V επιτρέπεται η απευθείας εκκίνηση για ισχύ έως 1,5 HP για υπόγειο δίκτυο και ισχύ έως 1 HP για εναέριο δίκτυο.
Για τους συνηθισμένους τύπους τριφασικών κινητήρων (3000-1000 ΣΑΛ) με σχέση εκκίνησης μέχρι 7 η ένταση εκκίνησης είναι:

- Μικρότερη των 30 A για τα παρακάτω μεγέθη :
  - Βραχυκυκλωμένου δρομέα
    Για απευθείας ζεύξη μέχρι 2,5 HP.
    Με διακόπτη Υ-Δ μέχρι 7,5 HP.
  - Με δακτυλίδια μέχρι 12,5 HP
- Μικρότερη των 50 A για τα παρακάτω μεγέθη:
  - Βραχυκυκλωμένου δρομέα
    Για απευθείας ζεύξη μέχρι 4 HP.
    Με διακόπτη Υ-Δ μέχρι 12,5 HP.
  - Με δακτυλίδια μέχρι 21 HP
- Μικρότερη των 70 A για τα παρακάτω μεγέθη:
  - Βραχυκυκλωμένου δρομέα
    Για απευθείας ζεύξη μέχρι 6 HP.
    Με διακόπτη Υ-Δ μέχρι 17 HP.
  - Με δακτυλίδια μέχρι 29 HP.

Ακόμη δεν απαιτείται έγκριση για την εγκατάσταση και σύνδεση κινητήρα όταν η σχέση ρεύματος εκκίνησης προς ονομαστικό ρεύμα είναι μικρότερη του 2 για ισχύ μέχρι 10 HP και του 1,6 για ισχύ μεγαλύτερη του 10 HP.

- Κινητήρες ανελκυστήρων

Δεν απαιτείται έγκριση για την εγκατάσταση και σύνδεση κινητήρων ανελκυστήρων όταν η ισχύς δεν υπερβαίνει τους 5HP για εναέριο δίκτυο και τους 8,5 HP για υπόγειο δίκτυο και επιπλέον η σχέση ρεύματος εκκίνησης προς ονομαστικό ρεύμα δεν υπερβαίνει το 3,5.

- Κινητήρες μεταβαλλόμενου φορτίου

Δεν απαιτείται έγκριση όταν η ισχύς δεν υπερβαίνει τους 5 HP για τριφασικούς ή τους 1,5 HP για μονοφασικούς σε εναέρια δίκτυα και τους 8,5 HP για τριφασικούς ή 2,5 HP για μονοφασικούς σε υπόγεια δίκτυα.

- Δίκτυα ηλεκτροσυγκολήσεων

Δεν απαιτείται έγκριση για την εγκατάσταση και σύνδεση των συσκευών ηλεκτροσυγκολήσεων στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Σε συσκευές με στατούς Μ/Σ ή ανορθωτικές διατάξεις :
  Μονοφασικές 220 ή 230 V έως 3 kVA
  Τριφασικές 380 ή 400 V έως 7,5 kVA
- Σε συσκευές με ζεύγος κινητήρα –γεννήτρια , επιτρέπεται η εγκατάσταση συσκευών οποιουδήποτε μεγέθους , εφόσον για τον κινητήρα ισχύουν τα όσα προαναφέρθηκαν.

➢ Καταναλωτές που ηλεκτροδοτούνται από ιδιαίτερο Μ/Σ ή καταναλωτές με ιδιωτικό Υ/Σ.

Στους καταναλωτές αυτούς το ρεύμα ζεύξης οποιασδήποτε συσκευής δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του παρακάτω πίνακα 6γ

Ισχύς Μ/Σ σε KVA	15	25	50	75	100	150	200	250	400	500	600
Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ζεύξης σε Α	30	42	85	127	170	255	300	300	300	300	300

Πιν.6γ

6.3 Υπολογισμός της βύθισης τάσης

Για να υπολογίσουμε τη βύθιση τάσης πρέπει να γνωρίζουμε τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής τροφοδοσίας (ωμική και επαγωγική), το συντελεστή ισχύος τη στιγμή της υπερένταση καθώς και το μέγεθος της υπερένταση.

Κεφάλαιο 7

Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας

7.1 Γενικά

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, όπως απεικονίζουν τα σχήματα 7.1 α και 7.1 β αντίστοιχα {12}. Άμεση επαφή έχουμε όταν ακουμπήσει κάποιος ένα ηλεκτροφόρο αγωγό ενώ στέκεται στο έδαφος σχ.7.1α. Έμμεση επαφή έχουμε, όπως φαίνεται στο σχ.7.1α, όταν λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταλλικά αγείωτα 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. Άν 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 σχ.7.1β, 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 {12} :

- 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 απομωνομένα)

- Χρήση πολύ χαμηλών τάσεων

Δηλαδή για τάσεις λειτουργίας αρκετά κάτω από τα 50V ΕΡ ή 120V ΣΡ. Οι τιμές αυτές πρέπει να εξασφαλίζονται και σε ανώμαλες καταστάσεις.

- Ταχεία απόζευξη επικίνδυνων τάσεων.

Τα πρότυπα HD 384 καθορίζουν τα μέτρα αυτά προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας και ισχύουν σ' όλη την Ε.Ε. Στην ελληνική νομοθεσία επιβάλλονται οι τρόποι προστασίας από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.

7.2 Συστήματα σύνδεσης γειώσεων

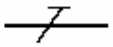
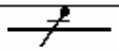
Πριν μελετήσουμε τα μέτρα προστασίας έναντι της ηλεκτροπληξίας πρέπει πρώτα να προσδιορισθεί το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα τροφοδότησης. Για λόγους τυποποίησης χρησιμοποιείται η ακόλουθη κωδικοποίηση.
Κάθε σύστημα σύνδεσης γειώσεων, βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, 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 εκτειθέμενων 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 ουδέτερου και του αγωγού προστασίας.

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

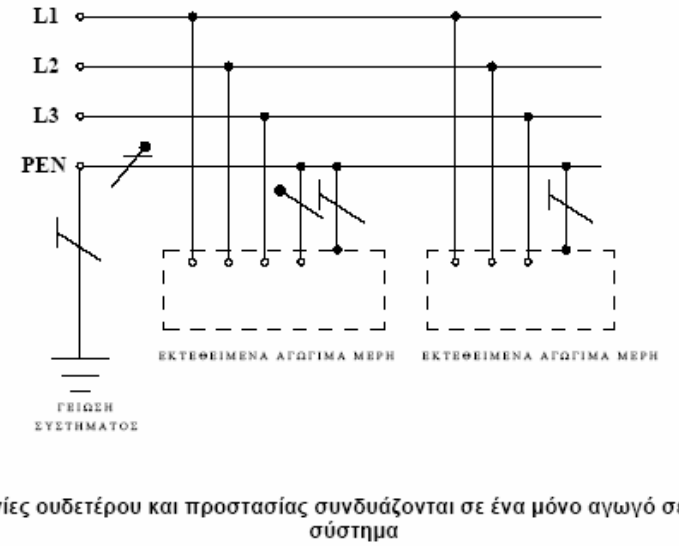
- Σύστημα TN-S

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

σχ.Α Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-S

- Σύστημα TN-C

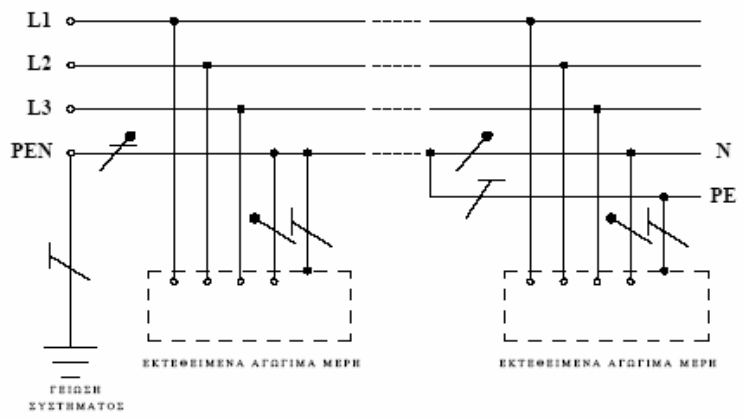
Στο σύστημα TN-C οι λειτουργίες του ουδετέρου (N) και του αγωγού προστασίας (PE) συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό (PEN) σε ολόκληρο το σύστημα (C=common) όπως φαίνεται στο σχ.Β.



σχ.Β Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C

- 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 σχ.Γ.

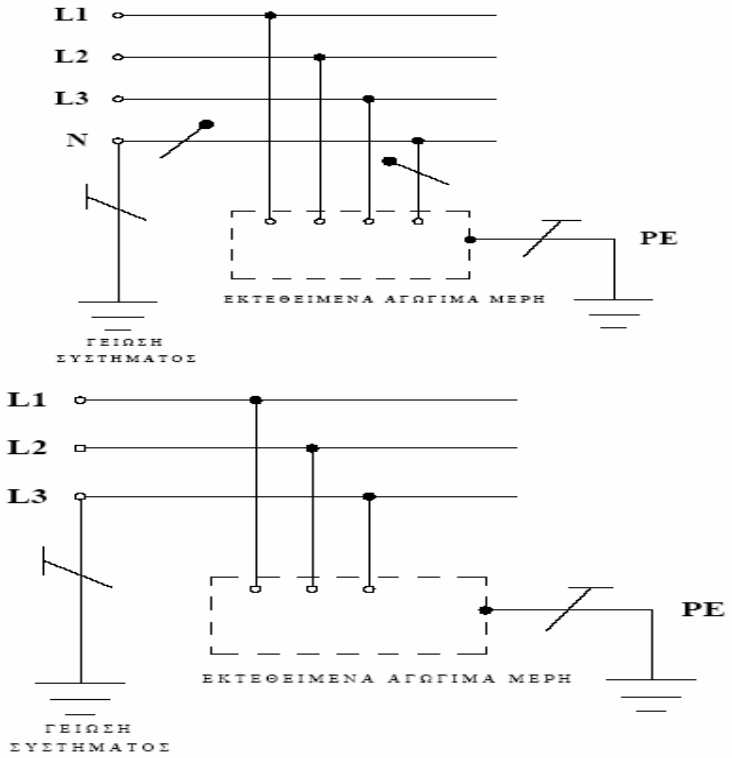


Οι λειτουργίες ουδετέρου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος

σχ.Γ Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C-S

- Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TT

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

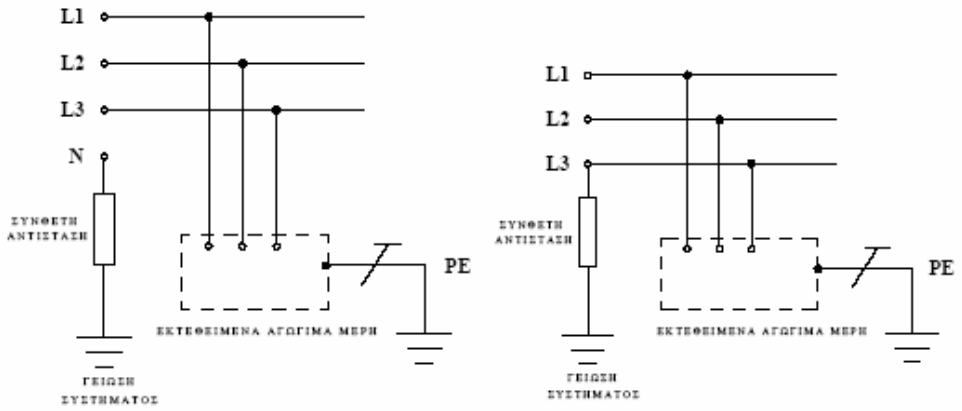


Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

σχ.Δ Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TT

- 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 σχ.Ε.



Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

σχ.Ε Σύστημα σύνδεσης γειώσεων IT

7.3 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 {12}:

- 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.

7.4 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 {12} :

- ✓ Η αποσύνδεση της τροφοδότησης του σφάλματος
- ✓ Η χρήση υλικού με διπλή ή ενισχυμένη μόνωση
- ✓ Η χρήση μη αγώγιμων χώρων για τη εγκατάσταση
- ✓ Η χρήση αγείωτων ισοδυναμικών συνδέσεων
- ✓ Ο ηλεκτρικός, γαλβανικός διαχωρισμός

Αναλυτικά οι μέθοδοι είναι:

7.4.1 Προστασία με αυτόματη διακοπή της τροφοδότησης

Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη, και σε συνδυασμό με ένα διαφορικό διακόπτη ρεύματος διαφυγής έντασης, οδηγεί σε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εφαρμόζεται σε όλες τις μορφές των δικτύων (TN, TT, IT).
Η τάση επαφής και η διάρκεια των σφαλμάτων ρεύματος παίζουν σημαντικό ρόλο. Επικίνδυνες καταστάσεις δεν υφίστανται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- ➢ Τάσεις επαφής κάτω των 50V ενδεικνύμενης τιμής εναλλασσομένου ρεύματος 15Hz έως και 1000 Hz ή κάτω των 120V τιμής συνεχούς ρεύματος. Το πρότυπο της CENELEC HD 384.4.41 καθορίζει ότι η μέγιστη διάρκεια επαφής σε τάση 50 V είναι τα 5sec.
- ➢ Ο χρόνος εφαρμογής των τάσεων να είναι τέτοιος που να μην προκαλεί ηλεκτροπληξία. Ο παρακάτω πιν.7β δίνει τους επιτρεπόμενους χρόνους και ισχύει για εγκαταστάσεις σε σύστημα TN, καταναλωτών, όχι όμως σε εγκαταστάσεις διανομής όπου ο χρόνος μπορεί να είναι μεγαλύτερος.

Ονομαστική τάση (V)	127	230	400	>400
Χρόνος διακοπής (sec)	0.8	0.4	0.2	0.1

Πιν.7β σε σύστημα TN

Τα μέσα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να προκαλέσουν απόζευξη είναι:

- o Το όργανο προστασίας σε υπερεντάσεις ,ασφάλεια ή μικροαυτόματος.
- o Επικουρικά συνίσταται από τα πρότυπα HD 384.4.413 να γίνεται χρήση του διαφορικού διακόπτη ρεύματος (ΔΔΡ) σαν μέσου απόζευξης.

Στη μέθοδο της αυτόματης απόζευξης πρέπει να γειώνονται τα εκτιθέμενα εξωτερικά μέρη ως εξής:

- o Ένας αγωγός προστασίας PE ή PEN συνδέεται με τα εκτιθέμενα αγώγιμα μέρη. Ο αγωγός συνδέεται με ηλεκτρόδιο γείωσης.
- o Σε κάθε κτήριο πρέπει να υπάρχει μια κύρια ισοδυναμική σύνδεση, μια αγώγιμη μπάρα, εκεί θα συνδέονται όλα τα υπό προστασία μέρη, στο ηλεκτρόδιο γείωσης και στα συστήματα TN επιπλέον ο ουδέτερος. Τα στοιχεία που συνδέονται στο ζυγό γείωσης είναι αναλυτικά ως εξής:
  - ▪ ο κύριος αγωγός προστασίας (PE)
  - ▪ ο κύριος αγωγός γείωσης

Επίσης τα ακόλουθα ξένα αγώγιμα στοιχεία, δηλαδά αυτά που δεν είναι στοιχεία συσκευών όπως:

- ➢ Σωληνώσεις μεταλλικού νερού
- ➢ Μεταλλικά στοιχεία κατασκευής κτηρίου
- ➢ Οπλισμός του σκυροδέματος αν αυτό είναι δυνατόν
- ➢ Μανδύας του καλωδίου τροφοδότησης

- Μεταλλικός μανδύας των καλωδίων τηλεπικοινωνιών

Σε ένα χώρο όλα τα ταυτόχρονα προσιτά μεταλλικά μέρη πρέπει να γεφυρώνονται στις εξής περιπτώσεις υποχρεωτικά :

- Όταν οι χρόνοι απόζευξης είναι μεγαλύτεροι των των επιτρεπόμενων
- Σε περιορισμένους και ειδικούς χώρους, μπάνια κ.λ.π

7.4.1.1 Απαιτήσεις για προστασία έναντι έμμεσης επαφής στο σύστημα TN

Οι απαιτήσεις για προστασία έναντι έμμεσης επαφής στο σύστημα TN είναι οι ακόλουθες :

1. Όλα τα αγώγιμα μέρη πρέπει να είναι γειωμένα με αγωγό προστασίας (PE) που συνδέεται με τη γείωση του συστήματος, δηλαδή του ουδέτερου. Δεν πρέπει να έχουμε μερικά μεταλλικά τμήματα γειωμένα στον αγωγό PE και άλλα κατευθείαν. Δηλαδή δεν πρέπει να υπάρχει ανάμιξη συστημάτων TN και TT. Γενικά γειωμένος αγωγός του συστήματος είναι ο ουδέτερος. Αν το σύστημα έχει μια φάση γειωμένη τότε αυτή η φάση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αγωγός προστασίας. Συνίσταται η γείωση του ουδέτερου ή και του αγωγού PEN να γίνεται σε πολλά. Ιδιαίτερα δεν πρέπει να υπάρχει γείωση στο πλησιέστερο σημείο της κατανάλωσης.
2. Στο σύστημα TN-S όπου υπάρχει ιδιαίτερος αγωγός προστασίας, αυτός μπορεί να υπάρχει τόσο σε σταθερές όσο και σε μετακινούμενες γραμμές
3. Επιτρέπεται ένα τμήμα της εγκατάστασης να φέρει κοινό αγωγό προστασίας –ουδέτερο οπότε έχουμε TN-C ή TN-C-S σύστημα. Κοινός αγωγός ουδέτερου –προστασίας TN-C επιτρέπεται σε μόνιμες εγκαταστάσεις όπου η διατομή δεν είναι μικρότερη των 10 mm^2. Συνιστάται η αποφυγή του συστήματος TN-C όπου αυτό είναι δυνατόν διότι στην περίπτωση διακοπής της συνέχειας του ουδέτερου τότε ακόμα και χωρίς σφάλμα μπορεί να συμβεί ηλεκτροπληξία. Ένας διακόπτης διαφυγής ρεύματος θα προστάτευε, στην περίπτωση αυτή, από ηλεκτροπληξία.
4. Σύμφωνα με τα πρότυπα HD 384 τα μέσα για την απόζευξη των επικίνδυνων τάσεων επαφής είναι διατάξεις προστασίας σε υπερεντάσεις (π.χ. ασφάλειες, μικροαυτόματοι) και επικουρικά (back up) ΔΔΡ.
5. Η αυτόματη απόζευξη πρέπει να γίνεται σε χρόνο διακοπής μικρότερο από αυτόν στον πινακα 7β.
6. Για τους χρόνους απόζευξης του πίνακα 7β υπάρχουν εξαιρέσεις όπου μπορεί να φθάσουν μέχρι τα 5sec. Αυτές είναι :

α) Κυκλώματα όπου η τάση στα μεταλλικά προσβάσιμα τμήματα δεν ανέρχεται πάνω από 50 V και υπάρχουν στον πίνακα ισοδυναμικές συνδέσεις των αγωγών προστασίας και του κύριου ζυγού γείωσης.

β) Κυκλώματα τροφοδοσίας πινάκων, δηλαδή αν από τον κεντρικό πίνακα οδεύουμε σε ένα δευτερεύοντα πίνακα τότε επιτρέπεται ο χρόνος απόζευξης των 5sec.

7. Οι παραπάνω απαιτήσεις ικανοποιούνται αν το ρεύμα σφάλματος είναι μεγαλύτερο του ρεύματος απόζευξης I_a που αντιστοιχεί στους παραπάνω χρόνους, δηλαδή

$$I_f > I_a$$

Όπου $I_f = V_0/z_s$.

V_0=ονομαστική τάση

z_s=η συνολική αντίσταση του βρόχου σφάλματος όπου η αντίσταση του σφάλματος θεωρείται αμελητέα.

Αν το ρεύμα σφάλματος δεν πληρεί την παραπάνω συνθήκη με τα μέσα προστασίας τότε πρέπει να γίνει συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση ή να χρησιμοποιηθεί και ΔΔΡ.

Επειδή ο προσδιορισμός του ρεύματος σφάλματος I_f δεν μπορεί να γίνει με ιδιαίτερη ακρίβεια, συνίσταται το εξής :

Εφαρμογή του συστήματος TN- S με αγωγό προστασίας, πρόσθετες συμπληρωματικές ισοδυναμικές σύνδεσεις και ΔΔΡ.

Στο σύστημα TN-S μπορεί να συμβούν σφάλματα σε μεταλλικά αντικείμενα που δεν συνδέονται με τον αγωγό προστασίας. Μπορεί π.χ. να γίνει σφάλμα μεταξύ σωλήνα ύδρευσης και φάσης ή να πέσει ένα καλώδιο στη γη. Αν είναι μικρή η αντίσταση τουσφάλματος π.χ. z_f=0 τότε όλη η τάση των 230 V εφαρμόζεται μεταξύ ουδέτερου του Μ/Σ και γης. Τα όργανα δεν αποζεύγουν διότι το ρεύμα είναι μικρό, μερικά Α. Τότε εμφανίζεται σε όλους τους καταναλωτές μια επικίνδυνη τάση μεταξύ του αγωγού PE και γης ίση με την τάση του ουδέτερου. Η λύση που προτείνεται είναι να προτάσσεται ένας ΔΔΡ ο οποίος αποζεύγει και τον ουδέτερο. Θα πρέπει όμως πρώτα να εξασφαλιστεί ότι η τάση επαφής είναι μικρότερη των 50V. Για να ισχύει αυτό πρέπει, σύμφωνα με την ανάλυση σφαλμάτων που έγινε, να ισχύει

$$\frac{50}{V_0 - 50} = \frac{R_{GN}}{R_f}$$

όπου R_{GN}=η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδέτερου του δικτύου
και R_f=η αντίσταση γείωσης στη θέση του σφάλματος
Καθότι όμως αυτά είναι δύσκολο να επιτευχθούν γι' αυτό πρέπει να απαιτείται η συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση όλων των προσβάσιμων μεταλλικών μερών και να χρησιμοποιείται ΔΔΡ.
Σε κυκλώματα εκτός της επιρροής της ισοδυναμικής σύνδεσης του κτιρίου ο αγωγός προστασίας δεν πρέπει να συνδέεται με την κύρια γείωση του ουδέτερου. Ο λόγος είναι ότι σε σφάλμα φάσης-γης ο ουδέτερος μπορεί να έχει τάση 230V ως προς το σημείο του σφάλματος. Σε μεταλλικά εκτεθειμένα μέρη που μπορεί να βρίσκονται υπό τάση η προστασία γίνεται με σύνδεση σε αγωγό προστασίας που γειώνεται άμεσα και στη γραμμή τροφοδότησης υπάρχει ΔΔΡ. Δηλαδή λειτουργούμε σαν σύστημα TT με απευθείας γείωση και με ΔΔΡ.

7.4.1.2 Απαιτήσεις για προστασία έναντι έμμεσης επαφής στο σύστημα TT

Οι απαιτήσεις για προστασία έναντι έμμεσης επαφής στο σύστημα TT συνοψίζονται στα παρακάτω :
Τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη συνδέονται με αγωγό προστασίας ο οποίος γειώνεται. Γειώνεται επίσης ο ουδέτερος της πηγής ή αν δεν υπάρχει ουδέτερος γειώνεται η μια φάση, δηλαδή γειώνεται ο ουδέτερος του Μ/Σ ή της γεννήτριας.
Η απόζευξη γίνεται κατά προτίμηση με ΔΔΡ ή με διακόπτη προστασίας έναντι υπερεντάσεων οι οποίοι ανοίγουν στο ρεύμα απόζευξης I_α.
Η συνθήκη που πρέπει να πληρούται είναι ο χρόνος απόζευξης να είναι για τον ΔΔΡ αυτός που αντιστοιχεί στο διαφορικό ρεύμα I_α. Για το διακόπτη προστασίας έναντι υπερεντάσεων αντίστοιχα ο χρόνος να είναι μικρότερος των 5sec για στοιχεία θερμικά και ακαριαίος για στοιχεία μαγνητικά στιγμιαία. Το ρεύμα I_α που προκαλεί την παραπάνω απόζευξη πρέπει πολλαπλασιαζόμενο με την αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης του αγωγού προστασίας να προκαλεί τάση επαφής έως 50V,

$$R_{GP} * I_a \leq 50V$$

Από 50 Α και άνω αντίσταση γείωσης R_{GP} είναι δύσκολο να επιτευχθεί για διακοπτικά μέσα προστασίας έναντι υπερεντάσεων. Για το λόγο αυτό προτιμάται η χρήση ΔΔΡ. Αν δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι παραπάνω συνθήκες είναι απαραίτητο να γίνει συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση δηλαδή όλα τα εκτιθέμενα μεταλλικά μέρη που μπορούν να έλθουν ταυτόχρονα σε επαφή με τον άνθρωπο πρέπει να ενωθούν με ισοδυναμικές συνδέσεις.

7.4.1.3 Απαιτήσεις για προστασία έναντι έμμεσης επαφής στο σύστημα IT

Στο σύστημα μονωμένου ουδέτερου IT η σύνδεση με τη γη γίνεται με πολύ μεγάλη αντίσταση, έτσι ώστε τα ρεύματα σφαλμάτων να είναι αμελητέα (<0.5 mA). Στο σύστημα IT

δεν υπάρχει γείωση του συστήματος, ενώ το κύκλωμα γειώνεται εναλλακτικά με αρκετά μεγάλη αντίσταση στον ουδέτερο ή σε μια φάση ή σε τεχνητό ουδέτερο.
Τα εκτιθέμενα αγώγιμα μέρη π.χ. κελύφη συσκευών κ.λ.π συνδέονται σε αγωγό προστασίας έναν ή πολλούς οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το ζυγό γείωσης. Η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης R_{GP} επί το ρεύμα διαρροής ισούται με την τάση επαφής και πρέπει να είναι έως 50V. Το ρεύμα απόζευξης I_a είναι το ρεύμα που πρέπει να ρέει στο σφάλμα φάσης –κελύφους μιας συσκεύης ώστε να ισχύει

$$R_{GP} * I_a \leq 50V$$

Εάν συμβεί ένα σφάλμα τότε δεν απαιτείται απόζευξη του συστήματος .Πρέπει να υπάρχει όμως συσκευή ανίχνευσης του πρώτου σφάλματος. Η συσκευή θα δίνει με την εμφάνιση του σφάλματος επαρκές ηχητικό ή οπτικό σήμα. Μετά το πρώτο σφάλμα ,δηλαδή σε επιπρόσθετο δεύτερο σφάλμα,η προστασία πρέπει να επιτυγχάνεται όπως ακριβώς στο σύστημα TN με απόζευξη. Οι χρόνοι απόζευξης φαίνονται στον πινακα 7γ:

Ονομαστική τάση V_0/V	**Χρόνος σε sec Μη διανεμημένος ουδέτερος**	**Χρόνος σε sec διανεμημένος ουδέτερος**
230/400	0.4	0.8
400/610	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.1

Πιν.7γ για δεύτερο σφάλμα σε σύστημα IT

Σαν μέσα ανίχνευσης και προστασίας στο σύστημα IT έχουμε:

- Συσκευές ανίχνευσης σφαλμάτων
- Συσκευές προστασίας υπερρευμάτων
- ΔΔΡ

Οι συσκευές ανίχνευσης σφαλμάτων λειτουργούν ως εξής:
Μία πηγή συνεχούς ρεύματος συνδέεται μεταξύ γης και ενός οποιουδήποτε σημείου του κυκλώματος. Σε περίπτωση σφάλματος προς γη ρέει ένα συνεχές ρεύμα το οποίο ενεργοποιεί τη σήμανση.

Το μεγάλο προτέρημα του συστήματος IT είναι ότι δεν αποζεύγεται η πηγή στο πρώτο σφάλμα. Δηλαδή έχουμε μια αδιάλειπτη λειτουργία που είναι ιδιαίτερα κατάλληλη ακόμα και εκεί που αναμένονται σφάλματα. Αυτή η προστασία αν συνδυαστεί με μια πηγή αδιάλειπτης τροφοδοσίας π.χ. UPS προσφέρει μεγάλη αξιοπιστία σε εγκαταστάσεις που απαιτούν αξιοπιστία όπως οι ιατρικές εγκαταστάσεις, θάλαμοι εντατικής, χειρουργεία κτλ.

7.4.2 Προστασία με συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση

Η συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση είναι τοπικά εφαρμοζόμενη και περιλαμβάνει τη βραχυκύκλωση όλων των μεταλλικών μερών (συνήθως με αγωγούς $4mm^2$) ενεργών ή όχι που μπορούν να έλθουν σε επαφή με τον άνθρωπο. Χρησιμοποιείται όταν ύπαρχει αβεβαιότητα στην εφαρμογή άλλων μέσων προστασίας. Η αντίσταση R της ισοδυναμικής σύνδεσης πρέπει να είναι τέτοια που να ισχύει

$$R * I_a \leq 50V$$

όπου I_α είναι το διαφορικό ρεύμα αν ως μέσο προστασίας είναι ΔΔΡ. Αν υπάρχει στοιχείο υπερέντασης το I_α είναι αυτό που αντιστοιχεί σε χρόνο 5sec. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν το δάπεδο δεν είναι από μονωτικό υλικό τότε πρέπει να συμπεριληφθεί στην ισοδυναμική σύνδεση δηλαδή το πλέγμα του σκυροδέματος να ενωθεί με τα αγώγιμα μέρη .

7.4.3 Προστασία με υλικό κλάσης ΙΙ, υλικό με ενισχυμένη μόνωση

Στην περίπτωση αυτή η μόνωση είναι τόσο ισχυρή ώστε πρακτικά να αποκλείεται η καταστροφή της. Αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Ενισχυμένη μόνωση (με προδιαγραφές EN 60335.1)
- Βασική και συμπληρωματική μόνωση π.χ καλώδια
- Η συμπληρωματική μόνωση μπορεί να είναι μονωτικά περιβλήματα IP2X

7.4.4 Προστασία με μη αγώγιμους χώρους

Για την προστασία έναντι έμμεσης επαφής πρέπει να αποκλείεται η ταυτόχρονη επαφή του ανθρώπου με δυο εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη ή ένα εκτεθειμένο αγώγιμο μέρος και ένα ξένο αγώγιμο μέρος στην περίπτωση που έχουμε σφάλμα στην βασική μόνωση των ενεργών αγωγών. Εδώ η σύνδεση του αγωγού προστασίας PE αποκλείεται. Οι συνθήκες για την προστασία θεωρούνται ότι ικανοποιούνται αν το δάπεδο και οι τοίχοι είναι μονωμένοι και επιπλέον ισχύουν:

- Οι αποστάσεις μεταξύ αγώγιμων μερών πρέπει να είναι άνω των 2 m. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φράγματα ή κάγκελα
- Οι μονώσεις πρέπει να αντέχουν 2000 V. Το δάπεδο πρέπει να παρουσιάζει αντίσταση μεγαλύτερη των 50 kΩ για 500 V ή 100 kΩ για 500 V τάση τροφοδοσίας.

7.4.5 Προστασία με αγείωτες ισοδυναμικές συνδέσεις

Η προστασία με αυτό τον τρόπο προβλέπει ισοδυναμική σύνδεση όλων των εκτεθειμένων και εξωτερικών μεταλλικών μερών.Δεν πρέπει, σε περιοχές ισοδυναμικών συνδέσεων να μεταφέρονται δυναμικά με εύκαμπτες συνδέσεις (μπαλαντέζες) από άλλα συστήματα .

7.4.6 Προστασία με ηλεκτρικό διαχωρισμό (Μ/Σ απομόνωσης)

Το κύκλωμα που θέλουμε να προστατεύσουμε τροφοδοτείται μέσω Μ/Σ απομόνωσης (μονοφασικό ή τριφασικό). Σαν πηγές μπορεί επίσης να χρησημοποιηθούν οποιεσδήποτε πηγές είναι αγείωτες, (σύστημα κινητήρας γεννήτρια, μπαταρίες κτλ). Εφαρμογές της μεθόδου αυτής έχουμε σε εργοτάξια ή σε μικρές προσωρινές εγκαταστάσεις. Το δευτερεύον του Μ/Σ απομόνωσης δεν πρέπει να έχει σύνδεση ούτε με το πρωτεύον ούτε με τη γη. Η ονομαστική τάση του κυκλώματος μπορεί να είναι μέχρι 500V. Αν το περιβάλλον εργασίας είναι επικίνδυνο όπως σε εργοτάξια προτείνεται η ηλεκτρική απομόνωση να περιορίζεται σε ένα μόνο καταναλωτή. Ωστόσο αν οι καταναλωτές είναι δυο προτείνεται αγωγός προστασίας μη γειωμένος και συνθήκες μη γειωμένης ισοδυναμικής σύνδεσης. Προφανώς δεν πρέπει να συνδέεται ο αγωγός ο αγωγός PE άλλων κυκλωμάτων στη γείωση του εξοπλισμού που τροφοδοτείται από το Μ/Σ απομόνωσης. Σε περίπτωση μιας διαρροής προς τον άνθρωπο το κύκλωμα κλείνει μέσω των χωρητικοτήτων του κυκλώματος και των γραμμών. Έτσι για πολύ μεγάλα μήκη τροφοδοσίας το ρεύμα που θα περάσει από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να φθάσει σε επικίνδυνα όρια. Γι' αυτό δεν επιτρέπεται η έκταση του κυκλώματος να είναι μεγάλη. Γενικά το γινόμενο το γινόμενο μήκος επί τάση πρέπει να είναι μικρότερο των 100.000 V*m. Η διαφορά από ένα σύστημα IT είναι ότι στη γαλβανική απομόνωση αποκλείουμε παραμένον σφάλμα στη μόνωση με την επιβολή του οπτικού ελέγχου του συστήματος .

7.5 Κατάταξη εξοπλισμού σε κλάσεις προστασίας

Όλες οι συσκευές και ο γενικότερος εξοπλισμός πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να προσφέρουν ασφάλεια κατά της ηλεκτροπληξίας. Για την προστασία σε έμμεση επαφή

υπάρχουν 4 κλάσεις (O,I,II,III) πιν.7.1 ενώ σε άμεση επαφή υπάρχουν 3 κλάσεις (K,L,M) πιν.7.2 {12} .

7.6 Προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας σε σφάλματα σε Υ/Σ

Βραχυκυκλώματα στο δίκτυο ΜΤ επηρρεάζουν 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 {12} :

- Καταπόνηση των μονώσεων του Μ/Σ και των συσκεύων ΧΤ (Πίνακα 7α)
- Επικίνδυνες τάσεις επαφής στους καταναλωτές ΧΤ

Οι επιτρεπόμενες καταπονήσεις των μονώσεων σε τάση V_P απεικονίζονται ακόλουθα, ενώ οι επιτρεπόμενες τάσης επαφής V_F , σε σφάλμα γης εντός ενός Υ/Σ, είναι συνάρτηση του χρόνου .

Τάση βιομηχανικής συχνότητας V_{rms}	**Χρόνος απόζευξης t_d**
$V_P \le V_0 + 250$	$t_d > 5\,\text{sec}$
$V_P \le V_0 + 1200$	$t_d \le 5\,\text{sec}$

Όπου V_0:τάση φάση-γης,V_0:τάση γραμμής για ΙΤ συστήματα
Πιν.7α

Η προστασία στον Υ/Σ διασφαλίζεται με ΗΝ γης, οι οποίοι τοποθετούνται στις γραμμές αναχώρησης ΜΤ από τον παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας (Δ.Ε.Η).
Επιπρόσθετα, στην περίπτωση συστημάτων TN-S, τοποθετούνται εγκαταστάσεις γειώσεων εντός του Υ/Σ. Οι επιτρεπόμενες τιμές γείωσης εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες {12} :

- Κοινή γείωση R_k (σχήματα 7.2,7.3, 7.4)
- Μη κοινές γειώσεις R_{MT},R_{XT} (σχήματα 7.5, 7.6)

➢ 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, όπως προκύπτει από τα σχήματα 7.2 και 7.3.
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

$$V_{NG} = I_f * R_{GT}$$

όπου I_f το ρεύμα σφάλματος και R_{GT} η αντίσταση γείωσης του Ν του Μ/Σ. Αν τότε γίνει σγάλμα 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 ουδετέρου 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:

$$V_T = V_{NG} = I_f * R_{GT} ,$$

δηλαδή δημιουργείται επικίνδυνη τάση επαφής στη ΧΤ.
Χρησιμοποιώντας την καμπύλη του ΗΝ 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, σχ.7.4. Στο σχήμα αυτό οι τάσεις επαφής V_F πρέπει να είναι κάτω από την καμπύλη $V_{επ}$ ώστε να υπάρχει ασφάλεια έναντι

ηλεκτροπληξίας. 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 Ν του Μ/Σ στον Υ/Σ που δεν είναι απολύτως σαφή. Αν χρησιμοποιηθεί όμως η ισοδυναμική σύνδεση του Ν τότε:
Η $V_{NG'}$ που εφαρμόζεται μεταξύ του γειωμένου ουδέτερου και γης στην είσοδο μιας εγκατάστασης με σύστημα γείωσης TNS 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 ΡΕ έχει αμεληθεί λόγω της μικρής τιμής αντίστασης του). Στην περίπτωση αυτή η προστασία, έναντι ηλεκτροπληξίας στη ΧΤ, επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση του ΔΔΡ και κατάλληλη επιλογή της αντίστασης γείωσης του καταναλωτή με την προυπόθεση πάντα ότι υπάρχει, στην εγκατάσταση ΧΤ ισοδυναμική συνδέση του ουδέτερου με τη γη. Η κοινή γείωση ΜΤ-ΧΤ εφαρμόζεται σε Υ/Σ όπου εκτός των εγκαταστάσεων της ΜΤ 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 ΜΤ-ΧΤ και ΧΤ σε σύστημα γειώσεων TN-S.

Αυτή είναι η περίπτωση όπου δεν μπορεί να επαχθεί τάση μεταξύ ουδέτερου του δικτύου και γης σχ.7.5. 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 αγώγιμα μέρη της ΜΤ. Έτσι επάγεται τάση

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

μεταξύ του γειωμένου κέλυφους του Μ/Σ και των ενεργών αγωγών της ΧΤ στο δευτερεύον του 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 ΜΤ σχ.7.6.
Οι ξεχωριστές γειώσεις της ΜΤ και ΧΤ δεν συζεύγονται όταν απέχουν πάνω από 20 m μεταξύ τους.
Επειδή η υπέρταση στα τυλίγματα του Μ/Σ πρέπει να περιορισθεί στις τιμές του πίνακα 1α πρέπει η αντίσταση γείωσης του Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ να πληρεί τις συνθήκες

$$I_f*R_{GT}<250V \text{ για } t_d>5sec$$
$$I_f*R_{GT}<1200V \text{ για } t_d<5sec$$

7.7 Γειώσεις εγκαταστάσεων ΜΤ και ΧΤ

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, όπως απεικονίζονται στο σχ.7.7 {12} :

- 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 γραμμή γείωσης μπορεί να έχει αυτεπαγωγές ή αντιστάσεις στα δίκτυα ΙΤ ή να είναι ένας συνεχής αγωγός στα δίκτυα TN.
- 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. Είναι πάντα συνεχής δηλαδή δεν παρεμβάλλονται αντιστάσεις ή διάκενα. Παράδειγμα αποτελεί η γείωση των μεταλλικών μερών ενός Υ/Σ ΜΤ.

- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας είναι η ανοιχτή ή η συνεχής γείωση του συτήματος 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 κτήριο, 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 {12}:

- Το βάθος έμπηξης του γειωτή (ηλεκτροδίου γείωσης) πρέπει να είναι αρκετό (>0.5m) 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 θαμένων 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.

7.8 Είδη ηλεκτροδίων γείωσης, αντίσταση γείωσης

Τα ηλεκτρόδια γείωσης (γειωτές) απεικονίζονται στο σχ.7.8 {12}.

7.9 Θεμελειακή γείωση

Η θεμελειακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτηρίων, 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 συνήθεις 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.7.9 {12} 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 κτιρίου. Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή. Το μήκος τους είναι 1,5m 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 $16mm^2$. Αν υπάρχει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, συνδέεται αυτό στη θεμελιακή γείωση και τα αλεξικεύρανα ενδεχομένως μέσω σπινθηριστών {12}.

7.10 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 σα σημείο αναφοράς των δυναμικών και θεωρείται ότι είναι μηδέν.
Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση V ώς 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 σχ.7.10 , 7.11 ,7.12 {12}. 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 επηρρεάζεται από τα εξής {12}:

- 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 θφάνει 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.

Κεφάλαιο 8

Μελέτη Υ/Σ 20/0,4 kV παροχής τύπου Α1 για την ηλεκτροδότηση αντλιοστασίου

8.1 Πρόβλημα

Στη μελέτη που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαδικασία επιλογής των μέσων εκείνων που είναι αναγκαία για την ηλεκτροδότηση ενός αντλιοστασίου. Εντός του αντλιοστασίου, το οποίο βρίσκεται σε αγροτική περιοχή, υπάρχουν δυο αντλίες της τάξης των 70 kW η καθεμία.

Αναλυτικότερα, αρχικά γίνεται επιλογή κινητήρων επαρκούς ισχύος ώστε να εξυπηρετηθεί το φορτίο των αντλιών. Κατόπιν επιλέγεται η γραμμή τροφοδοσίας, με τη χρήση του προτύπου VDE 0298, η οποία θα συνδέσει το φορτίο του αντλιοστασίου με τον Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ και ακόλουθα με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Παράλληλα επιλέγονται τα μέσα προστασίας της γραμμής τροφοδοσίας και των κινητήρων με τις απαιτήσεις του προτύπου HD384. Επίσης προσδιορίζεται το είδος της παροχής από την Δ.Ε.Η και ο Μ/Σ που θα χρησιμοποιηθεί για την ζεύξη του Υ/Σ με το δίκτυο, βάσει οικονομικών κριτηρίων, ενώ 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 όπως και η βύθιση τάσης που προκαλούν στο δίκτυο οι κινητήρες του αντλιοστασίου. Το μέγεθος και οι απαιτήσεις κατασκευής του Υ/Σ καθορίζονται από τον κτιριοδομικό κανονισμό. 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 αέργου ισχύος της εγκατάστασης. Ακόμη επιλέγεται το καλώδιο παροχής για την σύνδεση του Υ/Σ με το δίκτυο, βάσει του προτύπου VDE 0298, όπως και το μέσο προστασίας του.

Τέλος, παρατίθεται γραφικά η επιλογική συνεργασία όλων των μέσων ΧΤ και ΜΤ που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση, ενώ στο παράρτημα απεικονίζονται το εσωτερικό σχέδιο του Υ/Σ, το μονογραμμικό και το εποπτικό σχέδιο της συνολικής εγκατάστασης .

8.2 Επιλογή κινητήρα

Το αντλιοστάσιο περιέχει δύο αντλίες. Κάθε αντλία απαιτεί ισχύ στον άξονά της ίση με 70 kW, με στροφές περίπου 1460 ΣΑΛ. Τα δεδομένα είναι:

- Άξονας της αντλίας οριζόντιος ,
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C,
- Περιβάλλον σκονισμένο (όχι εκρηκτικό) με πιτσιλιές νερού.
- Στεγασμένη εγκατάσταση,
- Υψόμετρο 100 m,
- Θεωρούμε εκκίνηση του κινητήρα απευθείας,
- Συνεχής λειτουργία S_1.

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι 35°C συνεπώς, βάσει του πίνακα 1 {12}, οι κινητήρες, που θα εξυπηρετήσουν το φορτίο του αντλιοστασίου, δεν χρειάζεται να λειτουργήσουν σε μειωμένο φορτίο λόγω της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
Το υψόμετρο είναι κάτω των 1000 m οπότε, σύμφωνα με τον ίδιο πίνακα, δεν επηρρεάζει την ισχύ τους λόγω του υψόμετρου της εγκατάστασης.
Επειδή το περιβάλλον που θα εγκατασταθούν οι κινητήρες είναι σκονισμένο με πιτσιλιές νερού, εκλέγουμε προστασία IP54. Στην προστασία αυτού του τύπου το κέλυφος του κινητήρα είναι κλειστό. Δεν μπορεί να κυκλοφορήσει απ' έξω προς τα μέσα αέρας ή το αντίθετο. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται από τα ενεργά μέρη του κινητήρα προς το κέλυφος με εσωτερική κυκλοφορία αέρα. Στη συνέχεια η θερμότητα μεταφέρεται στον εξωτερικό χώρο με απαγωγή από το κέλυφος με φυσική κυκλοφορία αέρα. Η εσωτερική ψύξη γίνεται με την ανάδευση του αέρα λόγω περιστροφής ή και με πτερωτή εσωτερικά του κινητήρα. Αν χρειαστεί επιπλέον ψύξη με τη χρήση ειδικού ψυκτικού μέσου εκτός του αέρα τότε επιλέγουμε τρόπο ψύξης από τον πίνακα 2 {12}.
Ο οριζόντιος άξονας της αντλίας επιβάλει μορφή έδρασης IM-B3 κατά DIN-IEC από τον πίνακα 3 {12} .
Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του φορτίου είναι 1460 ΣΑΛ και δίνει:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \Rightarrow 1460 = \frac{120 \cdot 50}{p} \Rightarrow p = 4.12 \pi\acute{o}\lambda o\iota$$

δηλαδή 4 πόλοι ή 2 ζεύγη πόλων για τον κινητήρα.
Πρέπει να εκλεγεί κινητήρας κοντά στην ισχύ του φορτίου των 70 kW. Η πλησιέστερη τυποποιημένη ισχύς κινητήρα, στα 70 kW της αντλίας, είναι τα 75 kW. Επιλέγουμε από τον πίνακα 5 {12} τον ακόλουθο τριφασικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού :

P_N=75 kW ή 100 HP , n_N=1480 ΣΑΛ , I_N=140 A ,cosφ_N=0,86 , μέγεθος 280S, 220Δ/380 Y.

Επειδή πιθανόν να χρειαστεί να γίνει εκκίνηση του κινητήρα με διακόπτη Y-Δ γι' αυτό η τάση του κινητήρα θα πρέπει να είναι τέτοια που να επιτρέπει αυτό τον τρόπο εκκίνησης. Από τον πίνακα 6 {12}, για τάση δικτύου 380Δ και για εκκίνηση Y-Δ ο κινητήρας θα πρέπει να έχει στην πινακίδα του ένδειξη 380Δ/660Y.
Εφόσον ο κινητήρας είναι μικρού μεγέθους η μόνωσή του βάσει του πίνακα 7 {12}, θα είναι τύπου B.
Ο κινητήρας των 75 kW που επιλέξαμε, από πίνακα 5, έχει ροπή ανατροπής

$$M_{max}=2,5M_N$$

όπου M_N η ονομαστική ροπή του κινητήρα.
Στην προκειμένη περίπτωση

$$M_{max}=2,5M_N=2,5*484\ Nm=1210\ Nm.$$

Η κάθε αντλία (φορτίο) έχει ροπή

$$M_a = \frac{P}{\omega} = \frac{70kw}{\frac{2\pi 1460}{60}} = 457,87Nm$$

Με περιθώριο 50% στην εκκίνηση του φορτίου (αντλία) έχουμε

$$1,5M_\alpha=686,8\ Nm$$

Το περιθώριο 50% είναι μεγάλο όμως κατά την εκκίνηση έχουμε μειωμένη τάση κατά 10% οπότε ουσιαστικά το περιθώριο των 50% μειώνεται σε 21% περίπου.
Άρα η συνθήκη $M_{max}>1,5*\ M_\alpha$ ισχύει δηλαδή διαπιστώνουμε ότι η σε απευθείας εκκίνηση του κινητήρα αυτού επιτρέπεται και η απευθείας εκκίνηση του φορτίου.
Για λειτουργία του κινητήρα στα ονομαστικά του μεγέθη δηλαδή τα 75 kW και σε απευθείας εκκίνηση του κινητήρα έχουμε:
η ονομαστική φαινόμενη ισχύς του κινητήρα είναι

$$S_N=1,73*V_N*I_N= 1,73*380*140=92,036\ kVA$$

η ισχύς εισόδου του κινητήρα

$$P_{in}=1,73*V_N*I_N*\cos\varphi=1,73*380*140*0,86= 79,150\ kW$$

ο συντελεστής απόδοσης είναι

$$a_n= P_N/ P_{in}=0,947$$

η ονομαστική άεργος ισχύς

$$Q_N=S_N*\sin\varphi_N=42,965\ kVar$$

η μέγιστη επιτρεπόμενη υπερφόρτιση είναι

$$I_{max}=1,5*I_N=210A\ \text{για 2 min,}$$

Ρεύμα στην απευθείας εκκίνηση του κινητήρα

$$I_{εκκ}=6,7*I_N=938\ A$$

Για λειτουργία του κινητήρα των 75 kW στο μέγιστο φορτίο δηλαδή τα 70 kW , σε απευθείας εκκίνηση του κινητήρα, έχουμε:

Ισχύς μέγιστου φορτίου

$$P_{max}=70\ kW$$

Ο βαθμός απόδοσης , βάσει του πίνακα 8 {12}, παραμένει
σταθερός a=0,947 καθότι το φορτίο είναι πολύ κοντά στην ονομαστική ισχύ
του κινητήρα, η ισχύς εισόδου του κινητήρα είναι

$$P_{in}= P_{max}/a=73,917\ kW$$

Ο συντελεστής ισχύος δίνεται από τον πίνακα 8, για a=0,94

και φόρτιση 4/4 έχουμε cosφ=0,91.
Το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας είναι

$$I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{73917}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}91} = 123{,}55A$$

η φαινόμενη ισχύς που απορροφά ο κινητήρας σε λειτουργία υπό μέγιστο φορτίο είναι

$$S=1{,}73*V*I=1{,}73*380*123{,}55=81{,}228 \text{ kVA}$$

ενώ η άεργος που απορροφά ο κινητήρας είναι

$$Q=S*\sin\varphi=S*(1-(\cos\varphi)^2)^{1/2}=33{,}677 \text{ kVar}$$

Ρεύμα στην απευθείας εκκίνηση του κινητήρα

$$I_{εκκ}=6{,}7*I=827{,}78 \text{ A}$$

Αν επιλέγαμε το επόμενο μέγεθος κινητήρα 280M , για απευθείας εκκίνηση, με ονομαστική ισχύ P_r=90 kW, απόδοση a_r=94,6% , $\cos\varphi_r$=0,86 , ρεύμα εκκίνησης $I_{εκκ.r}=6{,}7*I_r$=1125,6 A, σε λειτουργία σε μέγιστο φορτίο 70 kW θα είχαμε
Ισχύς μέγιστου φορτίου

$$P_{max}=70 \text{ kW}$$

Ο βαθμός απόδοσης, βάσει του πίνακα 8, γίνεται a_r=0,95, για cosφ=0,91, αλλά για φόρτιση 3/4 τώρα και η ισχύς εισόδου του κινητήρα είναι

$$P_{in,r}= P_{max}/a_r=73{,}684 \text{ kW}$$

Ο συντελεστής ισχύος δίνεται από τον πίνακα 8, για a_r=0,95 και φόρτιση ¾

$$\cos\varphi_r=0{,}88$$

Το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας των 75 kW είναι

$$I_r = \frac{P_{in,r}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi_r} = \frac{73684}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}88} = 127{,}36A$$

η φαινόμενη ισχύς που απορροφά ο κινητήρας σε λειτουργία υπό μέγιστο φορτίο είναι

$$S_r=1{,}73*V*I_r=1{,}73*380*127{,}36=83{,}73 \text{ kVA}$$

ενώ η άεργος που απορροφά ο κινητήρας είναι

$$Q_r=S_r*\sin\varphi_r=S_r*(1-(\cos\varphi_r)^2)^{1/2}=39{,}718 \text{ kVar}$$

Ρεύμα στην απευθείας εκκίνηση του κινητήρα είναι

$$I_{εκκ.r}=6{,}7*I_r=853{,}3 \text{ A.}$$

Παρατηρούμε ότι με τον κινητήρα των 90 kW θα έχουμε, σε σχέση με τον κινητήρα των 75 kW, μεγαλύτερο ονομαστικό ρεύμα εκκίνησης και περισσότερη κατανάλωση αέργου ισχύος

σε λειτουργία υπό μέγιστο φορτίο 70 kW. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει την αύξηση της τιμής αγοράς και εγκατάστασης του κινητήρα των 90 kW. Αυτά όμως αφορούν την απευθείας εκκίνηση των δυο αυτών κινητήρων. Εάν η εκκίνησή τους γίνεται με διακόπτες Y-Δ ενδεχομένως να συμφέρει η χρησιμοποίηση του κινητήρα των 90 kW ή και μεγαλύτερου. Αυτό θα φανεί παρακάτω όταν υπολογίσουμε τη βύθιση τάσης της εγκατάστασης.
Αν μετά τον υπολογισμό της βύθισης τάσης είμαστε εκτός των επιτρεπτών ορίων τότε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε διάταξη εκκίνησης των κινητήρων π.χ με διακόπτη Y-Δ.
Εδώ πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, σε εκκίνηση κινητήρων με διακόπτη Y-Δ, για να έχουμε επαρκή ροπή εκκίνησης πρέπει η ροπή ανατροπής να είναι με επαρκή περιθώρια πάνω από το τριπλάσιο του ονομαστικού φορτίου. Ας υποθέσουμε περιθώριο 50% και ροπή ανατροπής ίση με το τριπλάσιο του ονομαστικού φορτίου. Το περιθώριο 50% είναι μεγάλο όμως κατά την εκκίνηση έχουμε μειωμένη τάση κατά 10% οπότε ουσιαστικά το περιθώριο των 50% μειώνεται σε 21% περίπου.
Άρα θα πρέπει να έχουμε για τον κινητήρα των 75 kW, σε εκκίνησή του σε Y-Δ, τα εξής, με ονομαστική ροπή M_N=484 Nm του κινητήρα των 75 kW από πίνακα 5 και M_α=457,87 Nm του φορτίου των 70 kW:

$$M_{max}>1,5*(3*M_a)=>2,5*M_N> 1,5*(3*M_a)=>M_N>1,8*M_a=>484>824,16$$

άτοπο,συνεπώς η εκκίνηση του κινητήρα 75 kW, με Y-Δ, δεν πληρεί την προυπόθεση ικανής εκκίνησης του φορτίου με τον κινητήρα αυτό διότι δεν δίνει επαρκή ροπή για να εκκινήσει το φορτίο των 70 kW . Εξετάζουμε τον επόμενο κινητήρα των 90 kW αν έχουμε ικανή ροπή για το φορτίο με εκκίνηση του κινητήρα σε Y-Δ : με ονομαστική ροπή M_N=581 Nm του κινητήρα των 90 kW από πίνακα 5, και M_α=457,87 Nm του φορτίου 70 kW:

$$M_{max}>1,5*(3*M_a)=>2,5*M_N> 1,5*(3*M_a)=>M_N>1,8*M_a=>581>824,16$$

κάτι που δεν ισχύει. Αναζητώντας από τον πίνακα 5 τον κατάλληλο κινητήρα διαπιστώνουμε ότι ο 132 kW με M_N=849 Nm πληρεί τη συνθήκη :

$$M_{max}>1,5*(3*M_a)=>2,5*M_N> 1,5*(3*M_a)=>M_N>1,8*M_a=>849>824,16.$$

Άρα για εκκίνηση του κινητήρα σε Y-Δ ο κατάλληλος κινητήρας για την κίνηση του φορτίου είναι ο 132 kW.
Αρχικά επιλέγουμε κινητήρα 75 kW για την αντλία των 70 kW σε απευθείας
εκκίνηση του κινητήρα 75 kW.
Τα ονομαστικά στοιχεία του καθενός εκ των δύο κινητήρων που θα χρησιμοποιήσουμε είναι από πιν.5:
P=75 kW , n=1480 ΣΑΛ , α=94,3% , cosφ=0,86 , I=140A, 220Δ/380 Y , $I_{εκ}$=6,7*I σε απευθείας εκκίνηση .
Οι συνθήκες εγκατάστασης του κινητήρα (υψόμετρο 100 m και θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C) , βάσει του πίνακα 1, δίνουν αντίστοιχους συντελεστές 1 άρα η ισχύς των 75 kW θα παραμείνει ως έχει.

8.3 Επιλογή της προστασίας και της διατομής της κεντρικής γραμμής τροφοδοσίας των κινητήρων

Δεδομένα:
- σύστημα 380V τριφασικό TNS,
- θερμική φόρτιση στην κανονική λειτουργία και βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής ,
- πτώση τάσης 4% βάσει του προτύπου HD384,

- εκκίνηση κινητήρα διάρκειας 10sec., ονομαστικά στοιχεία των 2 κινητήρων: P=75 kW , n=1480 ΣΑΛ , α=94,3% , cosφ=0,86 , I=140 A στα 380V , $I_{εκ}$=6,7*I σε απευθείας εκκίνηση,τριφασική λειτουργία κινητήρων,
- εντός του αντλιοστασίου τα επιμέρους καλώδια τροφοδότησης των κινητήρων και των φώτων θα βρίσκονται πάνω στον τοίχο σε απόσταση 30 cm τουλάχιστον το ένα από το άλλο,
- τα μήκη των καλωδίων των δυο κινητήρων είναι αντίστοιχα 2 και 4 m ενώ το καλώδιο με τις λάμπες φθορισμού έχει μήκος συνολικά 6 m,
- απόσταση του χώρου εγκατάστασης των κινητήρων (αντλιοστάσιο) έως το δευτερεύον του Μ/Σ:10 m. Το καλώδιο της κεντρικής τροφοδοσίας του αντλιοστασίου θα είναι ενταφιασμένο μέσα σε τούβλα, όχι σε σωλήνα και σε βάθος 50 cm από το δευτερεύον του Μ/Σ έως την είσοδο του αντλιοστασίου και θα διακλαδίζεται, εντός του αντλιοστασίου, στους 2 κινητήρες και στα φώτα,
- θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C, θερμοκρασία εδάφους 25°C για τροπικά κλίματα και ειδική θερμική αντίσταση εδάφους σ=1,0K*m/W για κανονική βροχόπτωση,
- η φόρτιση είναι σταθερή για 12h ενώ είναι 0 τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου.

8.3.1 Προσδιορισμός της διατομής του καλωδίου της κεντρικής τροφοδοσίας των φορτίων της εγκατάστασης του αντλιοστασίου (πρότυπο VDE 0298)

8.3.1.1 Τύπος καλωδίου

Οι συνθήκες εγκατάστασης και ο τύπος του φορτίου που θα εξυπηρετηθεί (αντλίες με κινητήρες) οδηγούν στην επιλογή του πενταπολικού καλωδίου (τρείς φάσεις ουδέτερος και αγωγός προστασίας) J1VV, 0,6/1 kV, με μόνωση PVC,σχ.3 {12}.

8.3.1.2 Θερμική καταπόνηση στην κανονική λειτουργία

Επειδή το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί είναι κάλωδιο ΧΤ βαρεώς τύπου οι πίνακες που θα χρησιμοποιήσουμε στην κανονική λειτουργία βασίζονται στο πρότυπο VDE0298.

Στην εγκατάσταση εντός του αντλιοστασίου για θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C από πίνακα 11 {12}, έχουμε n_1=0,94. Για επαφή του καλωδίου πάνω στον τοίχο και χωρίς να γειτνιάζει με άλλο από πίνακα 12 {12}, n_2=0,95. Αφού το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί είναι πενταπολικό άρα n_3=1. Συνεπώς έχουμε γινόμενο συντελεστών λόγω των συνθηκών εγκατάστασης του καλωδίου τροφοδοσίας

$$n_1 * n_2 * n_3 = 0,893.$$

Το ονομαστικό ρεύμα του κάθε κινητήρα των 75 kW είναι :

$$P_{in} = P/\alpha = 75000/0,943 = 79,533 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{79533}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,86} = 140A$$

ο Σ.Ι. του κινητήρα είναι cosφ=0,86 άρα sinφ=0,51.
Επίσης οι λαμπτήρες φθορισμού που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι 6 των 36 W οπότε με Σ.Ι 0,6 θα απορροφούν ρεύμα

$$I_\varphi = 6*36/1,73*380*0,6 = 0,55 \text{ A}.$$

Άρα η βαττική συνιστώσα του ρεύματος που διαρρέει την κεντρική γραμμή τροφοδοσίας ΑΒ με τους δύο κινητήρες των 75 kW και τους λαπμτήρες φθορισμού θα είναι :

$$I_\beta=2*I*\cos\varphi+I_\varphi*\cos\varphi_\varphi=241,33\ A$$

και η άεργη συνιστώσα είναι :

$$I_\alpha=2*I*\sin\varphi+I_\varphi*\sin\varphi_\varphi=143,44\ A$$

Οπότε το ρεύμα που θα διαρρέει την κεντρική γραμμή τροφοδοσίας θα είναι :

$$I_{AB}=(I_\beta^2+I_\alpha^2)^{1/2}=280,74\ A$$

και ο μέσος Σ.Ι είναι

$$\cos\varphi_M=I_B/I_{AB}=0,859.$$

Με την προσαύξηση κατά 25% των φορτίων κίνησης έχουμε:

$$I_\beta'=2*I*1,25*\cos\varphi+I_\varphi*\cos\varphi_\varphi=301,6\ A$$

και η άεργη συνιστώσα είναι :

$$I_\alpha'=2*I*1,25*\sin\varphi+I_\varphi*\sin\varphi_\varphi=179,19\ A$$

Οπότε το ρεύμα που θα διαρρέει την κεντρική γραμμή τροφοδοσίας θα είναι :

$$I_{AB}'=(I'_\beta{}^2+I'_\alpha{}^2)^{1/2}=350,8\ A$$

και ο μέσος Σ.Ι είναι

$$\cos\varphi'_M=I'_B/I_{AB}'=0,859.$$

Σύμφωνα με τις συνθήκες εγκατάστασης εντός του αντλιοστασίου το ρεύμα θα γίνει :

$$I_{AB}''=I_{AB}'/n_1*n_2*n_3=392,8\ A$$

Εφόσον έχουμε πενταπολικό καλώδιο ΧΤ βαρέως τύπου και ο τοίχος πάνω στον οποίο στηρίζεται ο σωλήνας που περιέχει το καλώδιο δεν είναι μονωμένος οπότε από τον πίνακα 13 {12}, για ρεύμα I_{AB}'' επιλέγουμε καλώδιο με διατομή 4x240 mm^2 με αγωγό προστασίας PE (η διατομή του PE θα υπολογιστεί πιο κάτω) για το καλώδιο της κεντρικής τροφοδοσίας των 2 κινητήρων και των λαμπτήρων φθορισμού. Επειδή το μήκος των καλωδίων των 3 φορτίων μετά το διακλαδωτήρα είναι μικρό οπότε μπορούμε να διατηρήσουμε την ίδια διατομή με του κεντρικού καλωδίου παροχής και στα 3 φορτία.

<u>8.3.1.3 Έλεγχος της θερμικής καταπόνησης της γραμμής τροφοδοσίας σε υπερφόρτιση κατά την εκκίνηση του κινητήρα:</u>

Η ένταση εκκίνησης του κάθε κινητήρα είναι

$$I_{\varepsilon\kappa}=6,7*I=6,7*140=938\ A.$$

Άρα και των δύο είναι

$$I_{o\lambda}=2*I_{\varepsilon\kappa}=1876\ A$$

Τα 240mm^2 , από τον πίνακα 13, αντιστοιχούν σε ρεύμα αναφοράς
I_α=436 Α. Λόγω των συνθηκών εγκατάστασης με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν και πρίν, η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης του καλωδίου θα είναι

$$I_2=I_\alpha * n_1 * n_2 * n_3 = 389,34 \text{ A}.$$

Ο συντελεστής υπερφόρτισης θα είναι

$$n= I_{ολ}/ I_2=4,81$$

Η χρονική σταθερά του καλωδίου, με βάση τον πίνακα 14 {13}, για διατομή 240 mm^2 είναι T=43 min=2580 sec. Οπότε ο ανηγμένος χρόνος υπερφόρτισης είναι $t_{εκ}/T=10/2580=0,0038$.
Από τη σχέση

$$n = \sqrt{\frac{1}{1-e^{-\frac{t}{T}}}}$$

για $t_{εκ}/T=0,0038$, έχουμε n=16,24.

Παρατηρούμε ότι 16,24>4,81 άρα η διατομή των 240 mm^2 είναι επαρκής σε υπερφόρτιση κατά τη διάρκεια εκκίνησης των 10sec. του κινητήρα. Επίσης επειδή η τυποποιημένη λειτουργία του κινητήρα είναι S_1 δεν χρειάζεται έλεγχος σε υπερφόρτιση λόγω της λειτουργίας του κινητήρα.

8.3.1.4 Έλεγχος πτώσης τάσης

Ο έλεγχος της πτώσεως τάσης είναι απαραίτητος διότι μεγάλη πτώση τάσης σε κινητήρες προκαλεί μείωση της ισχύος και άρα δυσκολίες εκκίνησής τους ενώ στο φωτισμό προκαλεί τρεμόπεγμα.
Η πτώση τάσης προκαλείται κυρίως από την ωμική αντίσταση του καλωδίου.Θεωρούμε ότι το καλώδιο είναι στα όρια φόρτισής του όπου η θερμοκρασία στον αγωγό J1VV με μόνωση PVC είναι 70^0C. Η ωμική αντίσταση του καλωδίου στους 70^0C λαμβάνεται από τον πίνακα 15 {12}, για διατομή 240mm^2 και είναι R'=Ψ'=0,0922 Ω/km. Άρα

$$R'*L=0,0922*0,014=0,00129 \ \Omega \text{ όπου } L=10+4=14 \text{ m}$$

η συνολική απόσταση του Υ/Σ έως τον πιο απομακρυσμένο κινητήρα καθότι αν η πτώση τάσης στον πιο απομακρυσμένο είναι ανεκτή τότε θα είναι και στον πιο κοντινό ανεκτή.
Η πτώση τάσης για τριφασικό φορτίο θα είναι

$$\varepsilon=\Delta V/V=3^{1/2}*\Psi'*L*I*(\cos\varphi/V)=1,73*0,0922*0,014*140*0,86/380=0,000707 \text{ ή } 0,0707\%<4\% ,$$

βάσει του προτύπου HD384, άρα η πτώση τάσης είναι αποδεκτή.

8.3.2 Επιλογή μέσου προστασίας της κεντρικής γραμμής τροφοδοσίας (Τα μέσα αυτά θα τοποθετηθούν εντός του γενικού πίνακα ΧΤ στον Υ/Σ).

8.3.2.1 Ασφάλεια σε συνδιασμό με διακόπτη φορτίου τύπου τυμπάνου :

Για διατομή 240 mm^2 από τον πίνακα 16 {13}, έχουμε ονομαστική ένταση ασφάλειας 425A μαχαιρωτής NH gL.
Στη συνέχεια από τον πίνακα 17 {13}, και για κατηγορία χρήσης AC 23 από πίνακα 18 {12}, επιλέγουμε διακόπτη φορτίου τύπου τυμπάνου 500 A κατηγορίας 4.
Όπως βλέπουμε η ασφάλεια ΧΤ που έχουμε επιλέξει λόγω του μεγάλου μεγέθους της δεν βοηθά την επιλογική συνεργασία με τα άλλα μέσα προστασίας ΧΤ και ΜΤ. Για τον λόγο αυτό είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθεί Δ/Ι ΧΤ. Ο διακόπτης ισχύος θα έχει τις εξής ρυθμίσεις :

Τα 240 mm^2 , από τον πίνακα 13, για πενταπολικό καλώδιο J1VV αντιστοιχούν σε ρεύμα αναφοράς I_α=436 A. Λόγω των συνθηκών εγκατάστασης εντός του αντλιοστασίου, με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν και πρίν, η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης του καλωδίου θα είναι

$$I' = I_\alpha * n_1 * n_2 * n_3 = 389{,}34 \text{ A}.$$

Οπότε από τον πίνακα 20 {13}, για ρεύμα I' επιλέγουμε Δ/Ι 400 A με περιοχή ρύθμισης των πηνίων υπερφόρτισης (θερμικό στοιχείο) 160-400 A και ρύθμιση στα 392 A. Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του διακόπτη ισχύος, για την προστασία σε βραχυκυκλώματα , ρυθμίζεται, σε ρεύμα I_3=2,352 kA και με χρονική καθυστέρηση Δt=750 ms. Η ονομαστική ικανότητα διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης του Δ/Ι αυτού είναι 28 kA με βάση τον πίνακα 20. Επειδή το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον του Μ/Σ, όπως υπολογίζεται παρακάτω,είναι $I_{K\Delta}$=32,99 kA δηλαδή είναι μεγαλύτερο της ονομαστικής ικανότητας διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης του Δ/Ι γι' αυτό θα πρέπει να προταθεί, του Δ/Ι, ασφάλεια μαχαιρωτή NH aL 630 A, από τον πίνακα 27 {12} , ώστε να προστατεύεται ο Δ/Ι και η γραμμή τροφοδοσίας σε πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης .

<u>8.3.2.2 Έλεγχος αν τα μέσα προστασίας της γραμμής πληρούν τις προυποθέσεις του προτύπου HD 384 για την προστασία των γραμμών σε υπερφορτίσεις.</u>

Τα 240 mm^2 , από τον πίνακα 13 για πενταπολικό καλώδιο J1VV, αντιστοιχούν σε ρεύμα αναφοράς I_α=436 A. Λόγω των συνθηκών εγκατάστασης εντός του αντλιοστασίου, με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν και πρίν, η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης του καλωδίου θα είναι

$$I_Z = I_\alpha * n_1 * n_2 * n_3 = 389{,}34 \text{ A}.$$

Για την προστασία της γραμμής χρησιμοποιούμε Δ/Ι των I_N=400 A και παρατηρούμε ότι

$$I_B < I_N < I_Z$$

δηλ. ισχύει προσεγγιστικά, με I_B=140 A το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα και

$$I_2 < 1{,}45 * I_Z$$

όπου I_2=392 A η ρύθμιση των πηνίων υπερφόρτισης άρα 392<1,45*389,34 που ισχύει.
Παρατηρούμε ότι δεν πληρούνται απόλυτα οι προυποθέσεις του προτύπου HD 384 εντούτις επιλέγουμε το Δ/Ι των 400 A διότι είναι κατάλληλος για την προστασία της γραμμής έναντι βραχυκυκλωμάτων σε συνδυασμό με την μαχαιρωτή ασφάλεια όπως αποδείχτηκε προηγουμένως.

<u>8.3.2.3 Έλεγχος προστασίας της γραμμής τροφοδοσίας σε βραχυκύκλωμα στη ΧΤ από το μέσο προστασίας της, για τη δυσμενέστερη περίπτωση δηλαδή έναρξη του βραχυκυκλ. σε μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού:</u>

Για χρόνο βραχυκύκλωσης 1 sec, για καλώδιο J1VV και διατομή 240 mm^2 με συντελεστή πυκνότητας ρεύματος κ=115 $A * \frac{\sqrt{s}}{mm^2}$ από πίνακα 22 {12}, για μόνωση PVC έχουμε το μέγιστο θερμικά επιτρεπόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης του καλωδίου

$$I_{th}' = \frac{k \cdot A}{\sqrt{t}}$$

Άρα I_{th}'=27,6 kA. Επίσης από σχ.12 {12} έχουμε I_{1sec} =7 kA άρα I_{th}'> I_{1sec} και από πιν.40 {12} η ονομαστική ικανότητα διακοπής ρευμάτων βραχυκ. της 630 A είναι :
50 kA >$I_{κΔ}$=32,99 kA όπου $I_{κΔ}$=32,99 kA το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον του Μ/Σ, όπως υπολογίζεται πιο κάτω, άρα το καλώδιο προστατεύεται σε ρεύμα βραχυκύκλωσης από την ασφάλεια ΝΗ 630 A.

8.3.3 Υπολογισμός βύθισης τάσης .

Το ρεύμα εκκίνησης που απορροφά ο κάθε κινητήρας των 75 kW ανηγμένο στα 20 kV είναι

$$I_{MT}=\frac{20000}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R_{L1MT}+R_{L2MT}+R_{L3MT}+R_{M/\Sigma MT}+R_{MMT})^2+(X_{\Delta MT}+X_{L1MT}+X_{L2MT}+X_{L3MT}+X_{M/\Sigma MT}+X_{MMT})^2}}$$

όπου τα στοιχεία R_{MMT},X_{MMT} του κινητήρα 75 kW είναι :

$$\sqrt{R_{MXT}{}^2+X_{MXT}{}^2}=\frac{V_n}{\sqrt{3}*I_{\varepsilon\kappa}}=0{,}234\Omega$$

από πίνακα 5, $I_{εκ}$=6,7*140=938 A.
Ο κινητήρας κατά την εκκίνηση έχει $\cos\varphi_{εκ}$=0,4=>$\varphi_{εκ}$=66,42^o. Άρα $\sin\varphi_{εκ}$=0,91 και $\tan\varphi_{εκ}$=2,29.
Επίσης ισχύει $\tan\varphi_{εκ}=X_{MXT}/R_{MXT}$.

Επομένως R_{MXT}=0,093 Ω και X_{MXT}=0,214 Ω στα 400 V

ενώ στα 20 kV γίνονται R_{MMT}=232,5 Ω και X_{MMT}=535 Ω.

Θεωρούμε στο ζυγό των 20 kV ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου 250 MVA οπότε η αντίσταση του δικτύου είναι

$$z_{\Delta MT}=\frac{1{,}1\cdot(20kV)^2}{250MVA}=1{,}76\Omega$$

Αν παραλείψουμε το ωμικό μέρος τότε $x_{ΔMT}$= $z_{ΔMT}$ και στα 400 V γίνεται $x_{ΔXT}$=0,000704 Ω.
Η απόσταση του ζυγού 20 kV έως το σημείο παροχής του καταναλωτή είναι L_1=10 km, από το σημείο παροχής έως τον Υ/Σ L_2=200 m και από τον Υ/Σ έως τα φορτία L_3=14 m.

Η αντίσταση του εναερίου καλωδίου ACSR 95 mm^2 στα 20 kV,από πίνακα 35 {13} για L_1

είναι R_{L1MT}=1,8 Ω ,X_{L1MT}=3,46 Ω

και στα 400V γίνονται

R_{L1XT}=0,00072 Ω ,X_{L1XT}=0,001384 Ω.

Θεωρώντας τη δυσμενέστερη περίπτωση δηλαδή έναρξη του βραχυκυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού, η αντίσταση του καλωδίου παροχής N2XSY 35 mm^2 προκύπτει από πινακα 39 {12} για L_2 είναι

R_{L2MT}=0,1318 Ω και από σχ.7 {12} για L_2, X_{L2MT}=0,032 στα 20 kV.

Στα 400 V γίνονται

$$R_{L2XT}=0,000052\ \Omega \text{ και } X_{L2XT}=0,0000128\ \Omega.$$

Το καλώδιο τροφοδοσίας των κινητήρων J1VV 240mm^2 από πίνακα 15 για L_3 στα 400V έχει

$$R_{L3XT}=0,00129\ \Omega \text{ και από σχ.7 } X_{L3XT}=0,00105\ \Omega.$$

Στα 20 kV γίνονται

$$R_{L3MT}=3,225\ \Omega \text{ και } X_{L3MT}=2,625\ \Omega.$$

Για τον Μ/Σ 250 kVA έχουμε :

Απώλειες φορτίου στα 20 kV =3150 W και Απώλειες κενού=415W.Οι απώλειες χαλκού είναι

$$P_{Cu}=(\text{Απωλ.φορτίου})*(S_{\varphi o\rho\tau\iota o\upsilon}/S_{M/\Sigma})^2=3150*(185/250)^2=1725\ W$$

ενώ οι απώλειες σιδήρου P_{Fe}=415 W. Συνεπώς η σχετική ωμική τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Σ είναι

$$u_r=P_{Cu}/S_{M/\Sigma}=0,0069$$

και η σχετική επαγωγική τάση βραχυκύκλωσης

$$u_b=P_{Fe}/S_{M/\Sigma}=0,00166$$

άρα η αντίσταση του Μ/Σ θα έχει

$$X_{M/\Sigma XT}=u_b*(V^2{}_{XT}/S_{M/\Sigma})=0,00106 \text{ στα } 400\ V$$

ενώ στα 20 kV γίνεται $X_{M/\Sigma MT}$=2,56 Ω και

$$R_{M/\Sigma XT}=u_r*(V^2{}_{XT}/S_{M/\Sigma})=0,0044\ \Omega \text{ στα } 400\ V$$

ενώ στα 20 kV $R_{M/\Sigma MT}$=11,04 Ω.
Άρα

$$I_{MT}=19,28\ A.$$

Ο Σ.Ι στο δευτερεύον του Μ/Σ, στο διάστημα εκκίνησης του κινητήρα, είναι ίδιος με το $\Sigma.I_{\varepsilon\kappa}$ του κινητήρα. Οι Σ.Ι στο ζυγό 20 kV του δικτύου , στο σημείο παροχής ή διακλάδωσης, στο πρωτεύον του Μ/Σ και στο δευτερεύον του Μ/Σ διαφέρουν λίγο μεταξύ τους οπότε λαμβάνονται κατά προσέγγιση με το $\Sigma.I_{\varepsilon\kappa}$ του κινητήρα. Συνεπώς η βύθιση τάσης που προκαλούν τα φορτία του καταναλωτή είναι:

$$\frac{\Delta u}{U}=\frac{\sqrt{3}}{V_{MT}}\cdot I_{MT}\cdot(R\cdot\cos\phi_{\varepsilon\kappa}+X\cdot\sin\phi_{\varepsilon\kappa})=0,00912\acute{\eta}0,912\%$$

όπου $R=R_{L1MT}$=1,8 Ω και $X=X_{\Delta MT}+X_{L1MT}$=5,22 Ω.
Για σπάνιες εκκινήσεις και κατηγορία Β από πινακα 24 {12} έχουμε όριο βύθισης 6% οπότε αφού 0,912%<6% άρα η βύθιση είναι ανεκτή και για τον λόγο αυτό δεν χρειάζεται διάταξη εκκίνησης.

8.4 Προστασία κάθε κινητήρα

Στον πίνακα προστασίας του κινητήρα θα υπάρχουν:

1. Διακόπτη ισχύος. Από τον πίνακα 20 με βάση το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα, τα 140 Α, επιλέγουμε Δ/Ι 160 Α με περιοχή ρύθμισης των πηνίων υπερφόρτισης 100-160 Α και ρύθμιση στα 145 Α. Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του διακόπτη ισχύος,για την προστασία σε βραχυκυκλώματα, ρυθμίζεται, σε ρεύμα z_I=1740 Α και με χρονική καθυστέρηση Δt=600 ms. Η ονομαστική ικανότητα διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης του Δ/Ι αυτού είναι 15 kA με βάση τον πίνακα 20. Όμως το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης στο δευτερεύον του Μ/Σ είναι $I_{thΔ}=I_{κΔ}$=32,99 kA, όπως υπολογίζεται παρακάτω, οπότε πρέπει να προταθεί, στο Δ/Ι,ασφάλεια. Έτσι επιλέγουμε μαχαιρωτή NH aM 400 Α από τον πίνακα 27 {12} και όχι την 500 Α διότι δεν υπάρχει επιλογική συνεργασία της 500 Α του κινητήρα με την ασφάλεια 630 Α της γραμμής τροφοδοσίας του κινητήρα. Οπότε τελικά επιλέγουμε το Δ/Ι σε συνδυασμό με την ασφάλεια.

Αντί για διακόπτη ισχύος-ασφάλεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον εξής συνδιασμό:διακόπτης φορτίου με ασφάλειες, ρελέ ισχύος και θερμικό ρελέ. Η ασφάλεια και ο Δ/Φ είναι : Ασφάλεια μαχαιρωτή ονομαστικής τιμής μαχαιρωτή NH aM 200 Α βάσει του πίνακα 25 {12} για κινητήρα 75 kW και απευθείας εκκίνηση. Η ασφάλεια συνοδεύεται από τριπολικό διακόπτη φορτίου τύπου τυμπάνου 200 Α, κατηγορίας 3 από τον πίνακα 26 {13} για φορτία κατηγορίας AC 23 από πινακα 18.
Η ρύθμιση του ρελέ ισχύος θα γίνει στα 140 Α οπότε από τον πίνακα 28 {13} για τάση 380-400 V, κατηγορία AC 23 και ισχύ 100 HP ή 75 kW άρα επιλέγουμε ρελέ ισχύος CK75/150A. Για το θερμικό ρελέ, από τον πίνακα 29 {13}, επιλέγουμε τύπο RT3, κλάσης 10 Α, με περιοχή ρύθμισης 140-180 Α και ρύθμιση στα 145 Α.

2. Διάταξη εκκίνησης για τους κινητήρες δεν χρειάζεται διότι, όπως αποδείχθηκε πιο πάνω, δεν προκαλούν βύθιση τάσης εκτός των ορίων που ορίζει η ΔΕΗ.

3. Ο διακόπτης ζεύξης –απόζευξης του κάθε κινητήρα θα επιλεγεί ως εξής :
Με δεδομένο ότι ο κινητήρας έχει 15 κύκλους λειτουργίας την ώρα (δηλαδή σταματήματα και ξεκινήματα) υπό πλήρες φορτίο, λειτουργεί καθημερινά για 12 ώρες, η διάρκεια ζωής πρέπει να είναι 5 χρόνια και απόζευξη κατά την εκκίνηση έχουμε σπάνια τότε θα έχουμε :
Οι κύκλοι λειτουργίας το χρόνο θα είναι

$$n=15*5*8760*(12/24)=328500 \text{ κύκλοι.}$$

Η κατηγορία χρήσης είναι AC-3 σύμφωνα με τον πίνακα 30 {12} διότι κατά την εκκίνηση έχουμε σπάνειες αποζεύξεις. Από το σχήμα 2α {12} για n=328500 και πλήρες φορτίο 75 kW επιλέγουμε το ρελέ DIL4. Η προστασία του ρελέ είναι IP 20 ανοιχτό αφού πρόκειται να τοποθετηθεί εντός του πίνακα προστασίας του κινητήρα. Το ονομαστικό ρεύμα του διακόπτη θα είναι από τον πίνακα 25 {12} για ισχύ κινητήρα 75 kW, 200 Α. Από τον ίδιο πίνακα βλέπουμε ότι ο διακόπτης αυτός συνεργάζεται με τις ασφάλειες που έχουν επιλεγεί για την προστασία του κινητήρα.

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

Η συνολική φαινόμενη ισχύς των φορτίων της εγκατάστασης, δηλαδή των κινητήρων των 75 kW, είναι 185 kVA συνεπώς αναζητούμε Μ/Σ κοντά στην ισχύ αυτή. Η τυποποιημένη τιμή Μ/Σ είναι 250 kVA. Παρακάτω παρατίθενται οι προσφορές δυο Μ/Σ 250 kVA από τις εταιρίες SCHNEIDER-ELECTRIC και ABB με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά :

Μ/Σ	**SCHNEIDER-ELECTRIC**	**ABB**
Ισχύς ,κVA	250	250
Απώλειες κενού ,W	425	415
Απώλειες φορτίου στα 20κV,W	3250	3150
Τάση βραχυκύκλωσης	4%	4%
Απόδοση σε πλήρες φορτίο	98,2%	98,77%
Τιμή K_A,ευρώ	1050	1176
Έξοδα συντήρησης ,ευρώ	100	100

Επίσης κάνουμε τις εξής παραδοχές :

- Φόρτιση :5000 ώρες με 185 kVA, ενώ τις υπόλοιπες 3760 ώρες η λειτουργία είναι στο κενό,
- Τιμολόγιο: XZ=2,6521 ευρώ/kW ή 0,05561 ευρώ/kWh,
- Χρόνος απαξίωσης :20 έτη,
- Επιτόκιο αναγωγής :ρ=10%.

Αρχικά υπολογίζουμε τις ισχείς και ενέργειες απωλειών χαλκού:
Για τον Μ/Σ της SCHNEIDER-ELECTRIC:

P_{Cu}=3250*(185/250)^2=1778 W
W_{Cu}=1778 *5000=8890 kWh
P_{Fe}=425 W
W_{Fe}=425*(5000+3760)=3723 kWh
Για τον Μ/Σ της ABB:
P_{Cu}=3150*(185/250)^2=1725 W
W_{Cu}=1724,94*5000=8624,7 Wh
P_{Fe}=415 W
W_{Fe}=415*(5000+3760)=3635,4 kWh

Συνολικά για τις απώλειες έχουμε :

Μ/Σ	**SCHNEIDER-ELECTRIC**	**ABB**
Ισχύς απωλειών P_{Cu}+P_{Fe},(W) για XZ	2203	2140
Ενέργεια απωλειών το έτος W_{Fe}+W_{Cu},(Wh)	12613	12260

Οι απώλειες ενέργειας και ισχύος μένουν σταθερές σε όλα τα χρόνια. Δεχόμαστε ότι η χρεωστέα ζήτηση (XZ) είναι ίση με τη μέγιστη ζήτηση. Έτσι το κόστος ισχύος απωλειών είναι 2,6521 ευρώ/kW. Η παρούσα αξία στο χρόνο t=0 είναι η τιμή K_A συν τα ανηγμένα έξοδα λειτουργίας για 20 χρόνια:

$$K_0=K_A+(K_\rho+K_w+K_\Sigma)/r_{20}$$

όπου
K_ρ=έξοδα ισχύος =XZ*(P_{Cu}+P_{Fe})*12=(2,6521 ευρώ/kW)* (P_{Cu}+P_{Fe})*12
K_w=έξοδα ενέργειας=XZ*(W_{Fe}+W_{Cu})=(0,05561 ευρώ/kWh)*(W_{Fe}+W_{Cu})

K_Σ=έξοδα συντήρησης=100ευρώ,
r_{20}=0,1174=συντελεστής τοκοχρεωλυσίου για n=20χρόνια, ρ=0,1.

Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω:

Μ/Σ	SCHNEIDER-ELECTRIC	ABB
K_A,ευρώ	1050	1176
P,(W)	2203	2140
K_p,(ευρώ/έτος)	70111	68105,9
W,(Wh/έτος)	12613	12260
K_w,(ευρώ/έτος)	714	681,77
$K_p+K_w+K_\Sigma$,(ευρώ/έτος)	70925	68887,67
Παρούσα αξία ετήσιων εξόδων $E=(K_p+K_w+K_\Sigma)/r_{20}$	604131,17	586777,5
Συνολική παρούσα αξία ,(ευρώ) $K_0=K_A+E$	605181,17	587953,5

Συνεπώς συμφέρει ο Μ/Σ της ABB που είναι μεν ακριβότερος αλλά τα ετήσια έξοδά του και η συνολική παρούσα αξία των εξόδων του είναι μικρότερη. Ο φόρος επηρεάζει αναλογικά και τις δύο περιπτώσεις γι' αυτό και αμελείται. Το ίδιο ισχύει και για τα έξοδα συντήρησης,τα οποία αμελήθηκαν διότι είναι ίδια και για τους δύο Μ/Σ.

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 $<40^0$C,
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία $<30^0$C,
- Μέση ετήσια θερμοκρασία $<20^0$C,
- Υψόμετρο εγκατάστασης μέχρι τα 1000μ.

Η εγκατάστασής μας βρίσκεται εντός των συνθηκών αυτών :υψόμετρο 100 m, θερμοκρασία περιβάλλοντος 35^0C άρα δεν χρειάζεται καμία αλλαγή η ισχύ της από τα σχήματα 4 και 5 {12} άρα τα 250 kVA θα είναι η πραγματική ισχύς του Μ/Σ που θα χρησιμοποιήσουμε. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς της εγκατάστασης είναι 150 kW ενώ η συμπεφωνημένη ισχύς είναι 250 kVA.

8.5.1 Προστασία Μ/Σ

Επειδή η παροχή του καταναλωτή θα είναι τύπου Α1 θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες σκόνης (ΜΤ) για την προστασία του Μ/Σ. Η επιλογή της ασφάλειας θα γίνει με βάση την ονομαστική ισχύ του Μ/Σ από τον πίνακα 31 {12} . Οπότε για ισχύ 250 kVA επιλέγουμε ασφάλεια σκόνης 25 A Siemens. Η ασφάλεια ΜΤ συνοδεύεται από διακόπτη φορτίου ΜΤ των 400 A ,στα 20 kV, με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές, οπότε δεν χρειάζεται η χρήση αποζεύκτη, ώστε να βλέπουμε αν είναι ανοιχτός ή κλειστός.
Η παροχή μας θα είναι τύπου A_1. Στην παροχή αυτή η ΔΕΗ, πάνω στο στύλο παροχής, τοποθετεί ασφαλειοαποζεύκτη με ασφάλεια εκτόνωσης βραδείας τήξης 30Τ. Είναι απαραίτητο να εξετάσουμε αν το ρεύμα ζεύξης διεγείρει ή όχι τις ασφάλειες του Μ/Σ και της ΔΕΗ. Το ρεύμα ζεύξης του Μ/Σ είναι

$$I_{ZM/\Sigma}=12*I_{n\pi}$$

όπου $I_{n\pi}=S/1,73*V_{n\pi}$
το ρεύμα πρωτεύοντος του Μ/Σ. Έχουμε $I_{n\pi}=7,22$ A και $I_{ZM/\Sigma}=12*7,22=87$ A.
Για την ασφάλεια ΜΤ του Μ/Σ τα 87 A απαιτούν, από το σχ.11 {12}, ελάχιστη ασφάλεια ΜΤ 25 A ώστε αυτή να μην διεγείρεται από το ρεύμα ζεύξης του Μ/Σ. Ακόμη για την

ασφάλεια της ΔΕΗ στο σημείο παροχής τα 87 Α από το σχ.6 {12}, απαιτούν ελάχιστη ασφάλεια εκτόνωσης 6Τ.
Συνεπώς στις επιλογές μας είμαστε εντός ορίων άρα οι δυο ασφάλειες δεν ενεργοποιούνται από το ρεύμα ζεύξης του Μ/Σ.
Η προστασία του Μ/Σ από υπερφορτίσεις γίνεται με θερμίστορες που τοποθετούνται στο εσωτερικό του Μ/Σ.

8.5.2 Πτώση τάσης Μ/Σ

Η πτώση τάσης δίνεται από τον τύπο

$$V_{drop} = \frac{S}{S_B}(u_r \cdot \cos\phi + u_x \cdot \sin\phi) + \frac{1}{2}\cdot(\frac{S}{S_B})^2(u_r \cdot \sin\phi - u_x \cdot \cos\phi)^2$$

όπου

$$u_r = \frac{\text{Α}\pi\acute{\omega}\lambda\epsilon\iota\epsilon\varsigma\phi o\rho\tau\acute{\iota}o\upsilon}{\text{Ι}\sigma\chi\acute{\upsilon}\varsigma\text{Μ}/\Sigma}$$

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

με cosφ=0,8 άρα sinφ=0,6 και φορτίο 75% ή S/S_B=0,75 , με τάση βραχυκύκλωσης U_k=4%.
Έχουμε u_r=3150/250000=0,0126 και u_x=0,0379. Άρα η πτώση τάσης θα είναι :
V_{drop}=0,0247 ή 2,47% που είναι αποδεκτή.

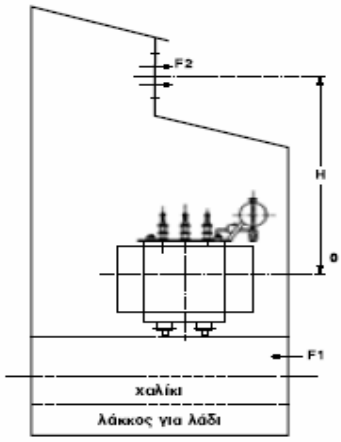
8.5.3 Αερισμός Μ/Σ

Τα ανοίγματα μπροστά και πίσω στο χώρο του Μ/Σ, εντός του Υ/Σ, υπολογίζονται προσεγγιστικά από τις σχέσεις :

$$F_2=0,19*(P_{Fe}+P_{Cu})/H=0,19*2,140\text{κW}/2=0,203\ m^2$$

ενώ

$$F_1=0,92*A_2=0,187\ m^2\text{ , για H=2 m και } P_{Fe}+P_{Cu}=2,14\text{ kW.}$$



8.6 Προσδιορισμός διατομής και προστασίας καλωδίου παροχής της εγκατάστασης

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως το συνολικό ονομαστικό ρεύμα είναι I=350,8 A. Επειδή αυτό είναι στη ΧΤ το ανοίγουμε στη ΜΤ οπότε γίνεται I_1=(0,4/20)*I=7 A. Το καλώδιο που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι το N2XSY ονομαστικής τάσης 12/20KV με μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου.
Η απόσταση του Υ/Σ από το σημείο παροχής είναι 200 m. 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, συντελεστή φόρτισης

$$m=(I_{max}*12h+I_{max}*0h)/24*I_{max}=0,5$$

και ειδική θερμική αντίσταση εδάφους σ=1,0K*m/W, από τον πίνακα 9 {12}, έχουμε f_1=1,03. Από πίνακα 10 {12}, για τα ίδια στοιχεία και μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου έχουμε f_2=0,89. Επίσης f_3=1 ,επειδή το κάθε καλώδιο δεν βρίσκεται μέσα σε σωλήνα. Ακόμη εφόσον το κάθε καλώδιο είναι μέσα σε τούβλα που εμποδίζουν την ψύξη τους θα έχουμε f_4=0,9. Συνεπώς έχουμε γινόμενο συντελεστών λόγω των συνθηκών εγκατάστασης του καλωδίου παροχής (πρότυπο VDE 0298)

$$f_1* f_2* f_3* f_4=0,825.$$

Συνεπώς το ρεύμα στη μόνιμη φόρτιση θα είναι

$$I_2=I_1/ f_1* f_2* f_3* f_4=8,48 \text{ A} .$$

Από τον πίνακα 34 {12} για 8,48 A επιλέγουμε διατομή 35 mm^2. Επιλέγουμε 6 μονοπολικά καλώδια αντί για 3 για λόγους εφεδρίας.
Η παροχή μας θα είναι τύπου A_1. Στην παροχή αυτή, η ΔΕΗ στο σημείο παροχής τοποθετεί ασφαλειοαποζεύκτη με ασφάλεια εκτόνωσης βραδείας τήξης 30Τ. Για να διαπιστώσουμε αν η ασφάλεια αυτή προστατεύει το καλώδιο παροχής σε βραχυκυκλώματα ενεργούμε ώς εξής:
Για τη δυσμενέστερη περίπτωση δηλαδή έναρξη του βραχυκυκλ. σε μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού, για χρόνο βραχυκύκλωσης 1 sec, για διατομή 35 mm^2 , για αγωγούς χαλκού από πίνακα 22 {12} με μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου ο συντελεστής πυκνότητας ρεύματος είναι

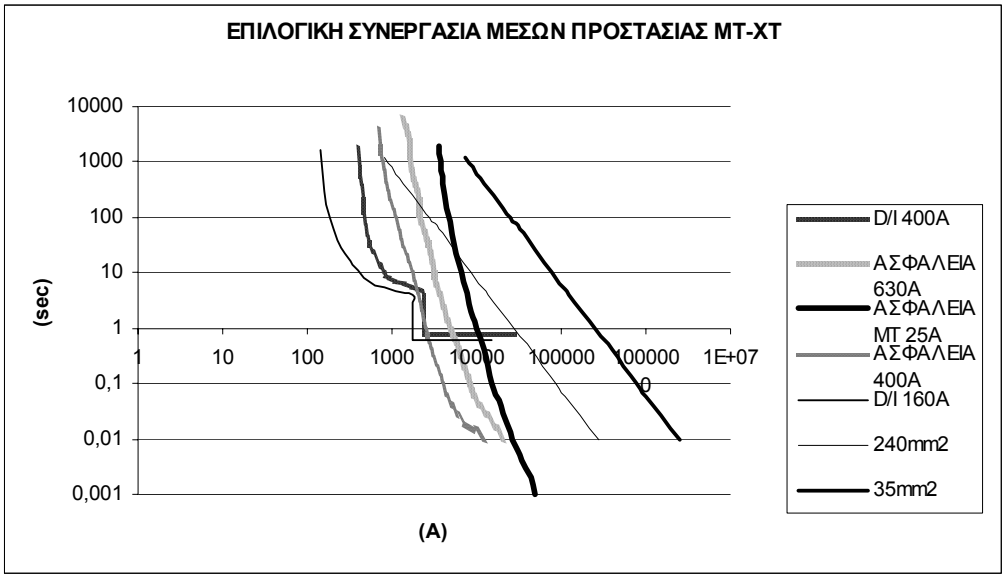
κ=143 $A*\frac{\sqrt{s}}{mm^2}$ άρα θα έχουμε για το μέγιστο θερμικά επιτρεπόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης του καλωδίου

$$I_{th}' = \frac{k \cdot A}{\sqrt{t}} = 3,57kA$$

Επίσης από σχ.6 {12} έχουμε I_{1sec}=260 A άρα $I_{th}'>I_{1sec}$. Επομένως η προστασία του καλωδίου παροχής σε βραχυκυκλώματα είναι εξασφαλισμένη με ασφάλεια 30Τ εκτόνωσης βραδείας τήξης.

8.7 Επιλογική συνεργασία μέσων προστασίας ΧΤ – ΜΤ

Η επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας της ΜΤ – ΧΤ απεικονίζεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας. Όπως παρατηρούμε δεν υφίσταται η επιλογικότητα μεταξύ της ασφάλειας 400 A του κάθε κινητήρα και του Δ/Ι 400 A της γραμμής. Όμως η χρήση της ασφάλειας 400 A, για την προστασία τόσο του κινητήρα όσο και του Δ/Ι 160 A έναντι βραχυκυκλωμάτων, είναι επιβεβλημένη διότι το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης στη ΧΤ είναι μεγαλύτερο της ονομαστικής ικανότητας διακοπής ρευμάτων βραχυκύκλωσης του Δ/Ι 160 A.



8.8 Υπολογισμός αναμενόμενου τριφασικού ρεύματος βραχυκύκλωσης

Θεωρούμε στο ζυγό των 20 kV ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου 250 MVA οπότε η αντίσταση του δικτύου είναι

$$z_{\Delta MT} = \frac{1{,}1 \cdot (20kV)^2}{250MVA} = 1{,}76\Omega$$

Αν παραλείψουμε το ωμικό μέρος τότε $x_{\Delta MT}= z_{\Delta MT}$ και στα 400 V γίνεται $x_{\Delta XT}$=0,000704 Ω. Η απόσταση του ζυγού 20 kV έως το σημείο παροχής του καταναλωτή είναι L_1=10 km, από το σημείο παροχής έως τον Υ/Σ L_2=200 m και από τον Υ/Σ έως τα φορτία L_3=14 m.

Η αντίσταση του εναερίου καλωδίου ACSR 95 mm^2 στα 20 kV,από πίνακα 35 {13} για L_1

είναι R_{L1MT}=1,8 Ω , X_{L1MT}=3,46 Ω

και στα 400V γίνονται

R_{L1XT}=0,00072 Ω , X_{L1XT}=0,001384 Ω.

Θεωρώντας τη δυσμενέστερη περίπτωση δηλαδή έναρξη του βραχυκυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού, η αντίσταση του καλωδίου παροχής N2XSY 35 mm^2 προκύπτει από πινακα 39 {12} για L_2 είναι

R_{L2MT}=0,1318 Ω και από σχ.7 {12} για L_2,X_{L2MT}=0,032 στα 20 kV.

Στα 400V γίνονται

R_{L2XT}=0,000052 Ω και X_{L2XT}=0,0000128 Ω.

Το καλώδιο τροφοδοσίας των κινητήρων J1VV 240mm^2 από πίνακα 15 για L_3 στα 400V έχει

R_{L3XT}=0,00129 Ω και από σχ.7 X_{L3XT}=0,00105 Ω.

Στα 20 kV γίνονται

R_{L3MT}=3,225 Ω και X_{L3MT}=2,625 Ω.

Για τον Μ/Σ 250 kVA έχουμε :
Απώλειες φορτίου στα 20 kV =3150 W και Απώλειες κενού=415W.Οι απώλειες χαλκού είναι

$$P_{Cu}=(\text{Απωλ.φορτίου})*(S_{\varphi o\rho\tau\iota o\upsilon}/S_{M/\Sigma})^2=3150*(185/250)^2=1725\ W$$

ενώ οι απώλειες σιδήρου P_{Fe}=415 W. Συνεπώς η σχετική ωμική τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Σ είναι

$$u_r=P_{Cu}/S_{M/\Sigma}=0,0069$$

και η σχετική επαγωγική τάση βραχυκύκλωσης

$$u_b=P_{Fe}/S_{M/\Sigma}=0,00166$$

άρα η αντίσταση του Μ/Σ θα έχει

$$X_{M/\Sigma XT}=u_b*(V^2_{XT}/S_{M/\Sigma})=0,00106 \text{ στα } 400V$$

ενώ στα 20 kV γίνεται

$$X_{M/\Sigma MT}=2,56\ \Omega$$

και

$$R_{M/\Sigma XT}=u_r*(V^2_{XT}/S_{M/\Sigma})=0,0044\ \Omega \text{ στα } 400V$$

ενώ στα 20 kV $R_{M/\Sigma MT}=11,04\ \Omega$.

Επομένως για σφάλμα στο πρωτεύον του Μ/Σ το στάσιμο ρεύμα του τριφασικού βραχυκυκλώματος θα είναι:

$$I_{th\pi}=I_{k\pi}=\frac{1,1\cdot 20kV}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R_{L1MT}+R_{L2MT})^2+(X_{\Delta MT}+X_{L1MT}+X_{L2MT})^2}}=2,27kA$$

ενώ για σφάλμα στο δευτερεύον του Μ/Σ θα έχουμε:

$$I_{th\Delta}=I_{k\Delta}=\frac{1,1\cdot 400V}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(R_{L1XT}+R_{L2XT}+R_{L3XT}+R_{M/\Sigma XT})^2+(X_{\Delta XT}+X_{L1XT}+X_{L2XT}+X_{L3XT}+X_{M/\Sigma XT})^2}}=$$
$$=32,99kA$$

8.9 Υπολογισμός διατομής ζυγού ισοδυναμικής σύνδεσης στον γενικό πίνακα ΧΤ, ζυγού γείωσης και αγωγού προστασίας PE του καλωδίου τροφοδοσίας των φορτίων.

Από τον πίνακα 22 για εύτηκτες συγκολλήσεις και θερμοκρασία περιβάλλοντος 30^0C ο συντελεστής πυκνότητας ρεύματος θα είναι κ=143 $(A/mm^2)*s^{1/2}$. Για χρόνο βραχυκύκλωσης 1 sec. το μέγιστο θερμικά επιτρεπόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης των αγωγών αυτών, βάσει του προτύπου HD384, θα είναι

$$I_{th}'=\frac{k\cdot A}{\sqrt{t}}=143\cdot A$$

Η κατάλληλη διατομή ,των αγωγών αυτών,που μπορεί να αντέξει το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{th\Delta}=I_{\kappa\Delta}$=32,99 kA για χρόνο t=1sec είναι $I_{th}=I_{th}'$=>A=230,7 mm^2.

8.10 Βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης-Αντιστάθμιση

Ο συντελεστής ισχύος των κινητήρων ,στην ονομαστική τους λειτουργία, είναι cosφ=0,86. Η άεργη ισχύς που απορροφούν είναι

$$Q_M = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \sqrt{1-\cos^2\phi} = 1{,}73 \cdot 380 \cdot 140 \cdot \sqrt{1-0{,}86^2} = 46965 \text{ var}$$

Η άεργη ισχύς που απορροφά ο Μ/Σ στην λειτουργία του με τους δυο κινητήρες είναι

$$Q_T = Q_0 + (\frac{2 \cdot I_n}{I_r})^2 \cdot u_k \cdot S_r = 0{,}015 \cdot S_r + (\frac{2 \cdot I_n}{I_r})^2 \cdot u_k \cdot S_r = 6006{,}8 \text{ var}$$

όπου Q_0=η άεργος ισχύς εν κενώ (δηλαδή χωρίς φορτίο)του Μ/Σ=(0,015~0,03)*S_r,
I_n=το ονομαστικό ρεύμα των κινητήρων=140 Α,
I_r=το ονομαστικό ρεύμα του Μ/Σ=S_r/1,73*$V_{r,\delta\epsilon\upsilon\tau\epsilon\rho.}$,
S_r=η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ=250 kVA,
u_k=η σχετική τάση βραχυκύκλωσης του Μ/Σ=4%,
(έχουμε θεωρήσει ότι ο Μ/Σ έχει μόνο τη σχετική επαγωγική τάση βραχυκύκλωσης u_k=u_b).

Για 2 κινητήρες και 1 Μ/Σ η συνολική άεργη ισχύς ,στην ονομαστική λειτουργία των κινητήρων, θα είναι:

$$Q_{o\lambda}=2*Q_M+Q_T=99936{,}8 \text{ var.}$$

Πρέπει όμως να ελεγχθεί αν ο κινητήρας έχει μεγαλύτερη αντιστάθμιση από τα 90% εν κενώ απαιτούμενη ισχύ, ώστε να αποκλεισθεί η αυτοδιέγερση του κινητήρα. Η εν κενώ άεργη ισχύς του κινητήρα είναι:

$$Q_{0M}=3^{1/2}*V_n*I_{0M}=23009 \text{ var,}$$

Όπου I_{0M}=το ρεύμα εν κενώ του κινητήρα=(0,25~0,3)*I_n=0,25*140=35 Α.
Συνεπώς

$$0{,}9*Q_{0M}=0{,}9*23009=20708 \text{ var}<Q_M=46965 \text{ var}$$

άρα αποκλείεται η αυτοδιέγερση του κινητήρα.
Η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι:
η συνολική ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των δύο κινητήρων και οι απώλειες του Μ/Σ (οι απώλειες ισχύος του Μ/Σ υπολογίστηκαν παραπάνω και είναι 2203 W) είναι :

$$P_{o\lambda}=2*P_e+P_{\alpha\pi\omega\lambda.M/\Sigma}=2*3^{1/2}*V_\Pi*I_n*\cos\varphi_n+P_{\alpha\pi\omega\lambda.M/\Sigma}$$
$$=2*1{,}73*380*140*0{,}86W+2203W=160504{,}92 \text{ W.}$$

Για διόρθωση του Σ.Ι έως $\cos\varphi_\mu$=0,95 , σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΔΕΗ, απαιτείται ισχύς

$$Q= Q_{o\lambda}- P_{o\lambda}*\tan\varphi_\mu=99936{,}8 \text{ var}-160504{,}92 \text{ var}*0{,}32=48575{,}2 \text{ var.}$$

Επιλέγεται, για τοπική αντιστάθμιση στο δευτερεύον του Μ/Σ, ένας πυκνωτής των 50 kvar.

8.11 Γείωση Υ/Σ για παροχή τύπου Α σε δίκτυο γείωσης TNS

Επιλέγουμε την κοινή γείωση ΜΤ-ΧΤ στον Υ/Σ διότι η χωριστή γείωση απαιτεί ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δυο γειώσεων τουλάχιστον 20 m κάτι που είναι πρακτικά δύσκολο. Για να έχουμε όμως κοινή τάση είναι αναγκαίο να έχουμε συνολική αντίσταση γείωσης <0,7 Ω.

Επειδή το δίκτυο είναι εναέριο εγκαθίστανται στην κυψέλη εισόδου των καλωδίων ΜΤ της ΔΕΗ τρείς απαγωγείς τάσεων των 10 kA. Αν αποφασιστεί προστασία με ακίδες στους ακροδέκτες ΜΤ του Μ/Σ ,αυτές θα έχουν απόσταση 150 mm.
Σε παροχές τύπου Α τα αλεξικέραυνα της ΔΕΗ γειώνονται σε ιδιαίτερο γειωτή π.χ πάσσαλο 3 m στο έδαφος, που είναι κατασκευή της ΔΕΗ.
Τα μεταλλικά μέρη της ΜΤ και ΧΤ γειώνονται σε κοινή εγκατάσταση γείωσης . Αυτά είναι οι μετρητές, τα αλεξικέραυνα του καταναλωτή, οι μανδύες των καλωδίων ΜΤ, τα μεταλλικά μέρη των κυψελών ΜΤ του καταναλωτή, το δοχείο του Μ/Σ και ο ουδέτερος της ΧΤ σχ.8 {12} .
Οι εγκαταστάσεις γείωσης είναι τρείς.Η πρώτη είναι αυτή των αλεξικέραυνων της ΔΕΗ αν η περιοχή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση του Υ/Σ είναι κεραυνόπληκτη (πάσσαλος 2΄΄ σε 3 m βάθος), η δεύτερη είναι στο στύλο των μετρητών (πάσσαλος 2΄΄ σε 3 m βάθος) και η τρίτη στον εσωτερικό χώρο του καταναλωτή με πασσάλους από γαλβανισμένο χάλυβα 2΄΄ διαμέτρου, 3 m στο έδαφος. Στην τελευταία οι πάσσαλοι ενδείκνυται να είναι τρείς τουλάχιστον σε απόσταση 6 m μεταξύ τους. Συνίσταται αντί πασσάλων να χρησιμοποιείται θεμελειακή γείωση.
Στην εγκατάσταση του εσωτερικού χώρου ενδείκνυται η χρησιμοποίηση ισοδυναμικού πλέγματος 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 ισοδυναμικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα με διάμετρο 5 mm τουλάχιστον, με ανοίγματα το πολύ 300Χ300 mm^2. Το δομικό πλέγμα βρίσκεται μέσα στο μπετόν του δαπέδου, σε βάθος 5-10 cm. Στο πλέγμα συγκολούνται χαλύβδινες ταινίες 50Χ3,5 mm^2 για σύνδεση με τα μεταλλικά μέρη των κυψελών και τους γειωτές. Ενδείκνυται η χρήση γαλβανισμένου χάλυβα.
Στην περίπτωση που η συνολική αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη του 0,7 Ω υποχρεωνόμαστε να τοποθετήσουμε στο έδαφος ράβδους γείωσης μήκους 2,5 m και διαμέτρου 1 ίντσας σε απόσταση 6 m μεταξύ τους. Οι ράβδοι θα συνδεθούν μέσω αγωγού γείωσης με τον ουδέτερο στο μετρητή της ΔΕΗ. Το πλήθος τους θα πρέπει να είναι τέτοιο που να πέσει η αντίσταση γείωσης κάτω του 0,7 Ω.
Αντί δομικού πλέγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα 50Χ3,5 mm^2 μέσα στο μπετόν σε βάθος 5 cm. Τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους σε απόσταση 0,5-0,7 m και συνδέονται με βίδες μετωπικά πάλι με ταινίες.
Δεν ενδείκνυται η χρήση πλέγματος από χαλκό σε συνδυασμό με χαλύβδινα ηλεκτρόδια γείωσης, διότι μπορεί να συμβεί ηλεκτροχημική διάβρωση. Η συνολική αντίσταση γείωσης μετριέται και και πρέπει να είναι <0,7 Ω.

8.11.1 Προστασία έναντι σφαλμάτων

Πιθανό σφάλμα φάσης –γης στην πλευρά ΜΤ εντός του Υ/Σ επάγει τάση μεταξύ ουδέτερου και γης $V_{N-G}=I_F*R_{GT}$, όπου R_{GT}=αντίσταση γείωσης του Ν του Υ του Μ/Σ. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η ισοδυναμική σύνδεση του ουδέτερου εντός του ΓΠΧΤ με το ισοδυναμικό πλέγμα του Υ/Σ.
Ένα ακόμη πιθανό σφάλμα που μπορεί να συμβεί είναι μεταξύ φάσης και κελύφους σε ένα από τους κινητήρες του αντλιοστασίου. Στην περίπτωση αυτή επάγεται τάση επαφής ανάμεσα στο κέλυφος και τη γη που μπορεί να είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο. Η προστασία σε ένα τέτοιο σφάλμα παρέχεται από την ασφάλεια του κάθε κινητήρα, από τον αγωγό προστασίας και τον γειωμένο ουδέτερο της γραμμής τροφοδοσίας. Επικουρικά είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένας ΔΔΡ 100-224 Α με ρύθμιση στα 1000 mA και χρόνο απόζευξης τα 0,1 sec.

8.12 Διαστάσεις Υ/Σ βάσει του κτηριοδομικού κανονισμού

Ο καταναλωτής, εφόσον η παροχή του Υ/Σ είναι τύπου Α1, είναι υποχρεωμένος να κατασκευάσει στύλο πάνω στον οποίο η ΔΕΗ εγκαθιστά τα μέσα προστασίας και μέτρησης.

Ο καταναλωτής πρέπει επίσης να προβλέψει ιδιαίτερο χώρο για τη στέγαση του δικού του τμήματος του υποσταθμού. Είναι προτιμότερο ο καταναλωτής να προβλέψει τρεις ανεξάρτητους χώρους για την εγκατάσταση αντίστοιχα του τμήματος μέσης τάσης, του ή των μετασχηματιστών ισχύος και του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης. Είναι δυνατή η εγκατάσταση στον ίδιο χώρο του πίνακα μέσης τάσης και των μετασχηματιστών ισχύος. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης 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. Οπότε θεωρούμε 4x4 m^2 το εμδαδό της κάτοψης του Υ/Σ. 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. Το ελάχιστο καθαρό ύψος (κάτω από τις δοκούς κτλ.) του χώρου της ΔΕΗ είναι 3 m. 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. Για τους ιδιωτικούς χώρους του υποσταθμού ισχύουν όσα αναφέρονται στον Κτιριοδομικό Κανονισμό, άρθρο 30, παράγραφος 2. Σύμφωνα λοιπόν με τον Κτιριοδομικό Κανονισμό 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 σκύρων 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 υποσταθμού (π.χ. σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεων, σωλήνες θέρμανσης κτλ.) μέσα από τους χώρους του υποσταθμού (περιμετρικά τοιχία, κάτω από το δάπεδο, πλάκα επικάλυψης). Σχετική κάτοψη του Υ/Σ που θα κατασκευαστεί παρατίθεται στο παράρτημα της μελέτης (σχ.9(Δ.Ε.Η), σχ.10 {12}) .

8.13 Παραδοχές

- Έλεγχος του χρόνου απόζευξης της ασφάλειας που προστατεύει τη γραμμή τροφοδοσίας και το Δ/Ι της από βραχυκυκλώματα, βάσει του προτύπου HD 384, δεν χρειάζεται να γίνει διότι η απόσταση από τον Υ/Σ έως το αντλιοστάσιο είναι πολύ μικρή οπότε η πτώση τάσης είναι αμελητέα.
- Ζυγός ΧΤ δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω της ύπαρξης ενός κλάδου στη ΧΤ.
- Η συνολική αντίσταση γείωσης του Υ/Σ δεν υπολογίστηκε διότι ο υπολογισμός της αντίστασης του ισοδυναμικού πλέγματος στο δάπεδο του Υ/Σ είναι ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό η συνολική αντίσταση γείωσης του Υ/Σ θεωρήθηκε μικρότερη του 0,7 Ω.
- Η επιλογή των μέσων προστασίας ΜΤ, ΧΤ έγινε με γνώμονα την όσο το δυνατόν καλύτερη επιλογική συνεργασία μεταξύ τους.

Κεφάλαιο 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Ανακεφαλαίωση

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάστηκαν τα μέσα υλοποίησης ενός ιδιωτικού Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ. Συγκεκριμένα έγινε εκτενή αναφορά στους τύπους των ιδιωτικών Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ που αδειοδοτούνται από τη Δ.Ε.Η όπως και στα μέσα προστασίας ΜΤ, ΧΤ και ζεύξης που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του Υ/Σ με το δίκτυο. Συγχρόνως αναφέρθηκαν τα κινητήρια συστήματα που επιλέγονται για την εξυπηρέτηση των διάφορων φορτίων, οι τρόποι εκκίνησης, πέδησης, προστασίας και ζεύξης τους με τον ιδιωτικό Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ. Παράλληλα επισημάνθηκε η αναγκαιότητα προστασίας των ατόμων έναντι ηλεκτροπληξίας σε πιθανά ρεύματα βραχυκύκλωσης όπως και οι τρόποι αποφυγής της. Τέλος μελετήθηκε η υλοποίηση ενός ιδιωτικού Υ/Σ 20/0,4 kV παροχής τύπου Α1 για την ηλεκτροδότηση ενός αντλιοστασίου.
Κατόπιν της μελέτης που έγινε καταλήξαμε στις εξής επιλογές:

1.Εντός του αντλιοστασίου:

- Δυο τριφασικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού με χαρακτηριστικά: P_N=75 kW ή 100 HP , n_N=1480 ΣΑΛ , I_N=140 A , $\cos\varphi_N$=0,86 , μέγεθος 280S, 220Δ/380 Y,
- Φωτισμός : έξι λαμπτήρες φθορισμού των 36 kW,
- Πίνακας προστασίας κάθε κινητήρα :Δ/Ι ΧΤ 160 Α με θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο με χρονική καθυστέρηση, ασφάλεια μαχαιρωτή NH aM 400 A, διακόπτης ζεύξης- απόζευξης του κινητήρα: ρελέ DIL4 ονομαστικού ρεύματος 200 A, ΔΔΡ 100-224 A,
- Καλώδιο τροφοδοσίας των φορτίων : ΧΤ βαρέως τύπου J1VV 0,6/1 kV μόνωσης PVC πενταπολικό διατομής 240 mm^2 .

2.Εντός του Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ

- ΓΠΧΤ: Δ/Ι ΧΤ 400 Α με θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο με χρονική καθυστέρηση, ασφάλεια μαχαιρωτή NH aL 630 A ,
- Μ/Σ ελαίου: 250 kVA 20/0,4 kV, σχετική τάση βραχυκύκλωσης 4 %,
- Προστασία Μ/Σ : ασφάλεια σκόνης ΜΤ 25 Α , Δ/Φ ΜΤ 400 Α με ορατές επαφές,
- Γείωση του Υ/Σ: ισοδυναμικό πλέγμα στο δάπεδο του Υ/Σ και πασσαλογειωτές με συνολική αντίσταση <0,7 Ω.
- Πυκνωτής αντιστάθμισης : 50 kvar.

3.Εκτός του Υ/Σ ΜΤ-ΧΤ:

- Καλώδιο παροχής: N2XSY 12/20 kV μόνωσης δικτυωμένου πολυαιθυλενίου έξι μονοπολικά διατομής 35 mm^2 ,
- Στύλος ΔΕΗ:ασφάλεια εκτόνωσης 30Τ βραδείας τήξης.

Στο παράρτημα 2 παρατίθενται το εσωτερικό σχέδιο του Υ/Σ, το μονογραμμικό, το σχέδιο γείωσης του Υ/Σ και το εποτικό σχέδιο της συνολικής εγκατάστασης .

9.2 Προτάσεις

- Για την καλύτερη επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας της γραμμής τροφοδοσίας με τα μέσα προστασίας του κάθε κινητήρα μπορούμε, αντί για Δ/Ι-ασφάλεια, να επιλέξουμε για την προστασία των κινητήρων τον εξής συνδυασμό : Δ/Φ – ασφάλεια - θερμικό ρελέ - ρελέ ζεύξης με τα μεγέθη που υπολογίστηκαν στη μελέτη.
- Για την καλύτερη επιλογική συνεργασία των μέσων προστασίας ΜΤ του καταναλωτή με τα μέσα προστασίας που τοποθετεί η Δ.Ε.Η στο σημείο παροχής είναι απαραίτητη η απευθείας συνεννόηση Δ.Ε.Η και καταναλωτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **1.Σαββόπουλος, Ι. , 1991:** *Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (*Σεμινάριο ΤΕΕ).
- **2.Σπηλιόπουλος Δ. , 1992:** *Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (*Σεμινάριο ΤΕΕ).
- **3.Φακίνος Ν. ,1992:** *Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (* Σεμινάριο ΤΕΕ).
- **4.Πετρόπουλος Α. ,1992:** *Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (*Σεμινάριο ΤΕΕ).
- **5.Παπαδόπουλος Μ. ,1991:** *Ηλεκτρικοί Υ/Σ μεγάλων εγκαταστάσεων (*Σεμινάριο ΤΕΕ).
- **6.Παπαδόπουλος Μ. ,1997:***Προστασία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.*
- **7.Σταθόπουλος Ι. ,1989:***Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων.*
- **8.Κονταξής Γ.-Βουρνάς Κ. ,2001:***Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.*
- **9.Παπαδιάς Β. ,1985:***Ανάλυση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τόμος Ι:Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.*
- **10.Μπούρκας Π. ,1998:***Εφαρμογές κτηριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων.*
- **11.Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 ,2004**.
- **12.Ντοκόπουλος Π. ,2005:***Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών.*
- **13.Μπιτζιώνης Β.** ,**2003:***Σύγχρονες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις(κίνηση-αυτοματισμός).*
- **14.Τεχνικό τετράδιο n°2 Μ/Σ διανομής λαδιού:***Schneider-electric*.
- **15**.**Τσανάκας Δ. ,1991:***Ειδικά κεφάλαια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και δικτύων.*