

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1669



ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΣ : **ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΠΑΤΡΑ 2018

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά και αναλύει έναν ιδιοτικό υποσταθμό μέσης τάσης. Αρχικά, γίνεται μια γενική αναφορά στα δίκτυα της ΔΕΗ και την χρησιμότητα των υποσταθμών στη καθημερινότητα. Στη συνέχεια περιγράφονται οι μετασχοιματιστες ισχύος που χρησιμοποιούνται και τα εξαρτήματα που απαρτίζουν τον υποσταθμό. Ακόμα γίνεται ανάλυση στα μέσα προστασίας του υποσταθμού και πόσο απαραίτητα είναι αυτά. Τέλος περιέχονται σχέδια του υπό μελέτη ιδιοτικού υποσταθμού μέσης τάσης, δηλαδή το μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο με όλα τα μεγέθη και τα χαρακτηριστικά στοιχεία.

Πρόλογος/Περίληψη.....	2
1. Γενικά.....	4
2. Μετασχηματιστές	
2.1 Ψύξη Μετασχηματιστή.....	8
2.2 Πραλληλισμος Μετασχηματιστών.....	9
2.3 Εγκατασταση και Ψύξη Μετασχηματιστών.....	10
2.4 Μετασχηματιστές Μέτρησης.....	11
3. Καλώδια μέσης τάσης	
3.1 Αγωγοι καλωδίων.....	12
3.2 Μονωτικά μέσης τάσης.....	13
3.3 Μηχανική καταπόνηση των καλωδίων.....	16
3.4 Εγκατάσταση Καλωδίων.....	17
3.5 Τερματισμός Καλωδίων Μέσης Τάσης.....	17
4. Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας μέσης τάσης	
4.1 Ασφάλειες Μέσης Τάσης.....	19
4.2 Διακόπτες Ισχύος.....	21
4.3 Διακόπτες Φορτίου.....	24
4.4 Αποζεύκτες και Γειωτές.....	26
4.5 Γειώσεις.....	28
5. Μελέτη Ιδιοτηκού Υποσταθμού Μέσης Τάσης	
5.1 Κάτοψη Υποσταθμού (ισχυρά ρεύματα).....	32
5.2 Κάτοψη Υποσταθμού (με προστασία γείωσης).....	34
5.3 Κύκλωμα ισχύος Υποσταθμού.....	35
5.4 Μελέτη χαρακτηριστικής αυτόματου διακόπτη.....	36
6. Βιβλιογραφία.....	40

ΓΕΝΙΚΑ

Οι ηλεκτρικοί υποσταθμοί μέσης τάσης που υπάρχουν σε όλη την Ελλάδα, οι περισσότεροι από αυτούς, έχουν κατασκευαστεί από την ΔΕΗ, όμως κατασκευάζονται υποχρεωτικά και από καταναλωτές ,με την τήρηση των κανόνων κατασκευής –διαδικασιών που εκπονεί η ΔΕΗ με βάση τους κανονισμούς που υπάρχουν.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών υποσταθμοί μέσης τάσης 6,6kV ,15kV και 20kV προς 400V σε όλη την χώρα. Η μελέτη ενός υποσταθμού είναι ένα σχετικά πολυδιάστατο πρόβλημα διότι αντιμετωπίζει διαφορά θέματα τα οποία είναι ηλεκτρολογικά ,κτιριακά και προβλήματα ασφάλειας. Όμως ο αυξανόμενος αριθμός απαιτήσεων ανθρώπινης ανάγκης σε άνεση , εξυπηρέτηση και αυτοματισμό σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει δημιουργήσει αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι καταναλωτές να υπερβαίνουν το όριο τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δυτικό της Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.) των 400V της ΔΕΗ. Έτσι η τροφοδότηση γίνεται από το δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) των 15kV ή 20kV της ΔΕΗ , με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ιδιωτικοί υποσταθμοί (Μ.Τ./Χ.Τ. 15-20/0,4 kV) λαμβάνοντας χώρα σε ιδιωτικούς χώρους καταναλωτών. Ανάλογος την γεωγραφική θέση του καταναλωτή και την φόρτιση του, υπολογίζεται η κρίσιμη ηλεκτρική ισχύς του ιδιωτικού υποσταθμού. Με τον όρο ‘ισχύς’ εννοείται η συμφωνημένη ισχύς και όχι η εγκατεστημένη ισχύς. Η Συμφωνημένη ισχύς είναι η ισχύς με την οποία ο καταναλωτής κατόπιν συμφωνίας με την ΔΕΗ δεν θα πρέπει να τη ξεπεράσει ενώ η Εγκατεστημένη ισχύς είναι το άθροισμα της ονομαστικής ισχύος των επιμέρους φορτίων του καταναλωτή που είναι συνήθως μεγαλύτερη της συμφωνημένης.

Ανάλογα με τον χώρο εγκατάστασης οι παροχές μέσης τάσης διακρίνονται σε εξωτερικού χώρου τύπου Α που χωρίζονται σε υποκατηγορίες Α1 και Α2 και σε εσωτερικού χώρου τύπου Β με υποκατηγορίες Β1 και Β2. Για την μέτρηση στις παροχές τύπου Α μέσης τάσης η ΔΕΗ τοποθετεί εξωτερικά επάνω στον τερματικό στύλο του εναέριου καλωδίου, την εγκατάσταση μέτρησης στο όριο ιδιοκτησίας του πελάτη, κατόπιν συνεννοήσεως με την ΔΕΗ μπορεί ακόμη να γίνει και σε κλειστό χώρο η εγκατάσταση μέτρησης που παρέχεται από τον πελάτη και κατασκευάζεται κατά τις υποδείξεις της ΔΕΗ με υπόγεια καλώδια να αναχωρούν από τον στύλο προς τον χώρο μέτρησης. Για τις παροχές τύπου Β εσωτερικού χώρου η εγκατάσταση μέτρησης μέσης τάσης εγκαθίσταται εσωτερικά σε χώρο που παραχωρεί ο πελάτης και τον διαμορφώνει σύμφωνα με τις υποδείξεις της ΔΕΗ.

Μετασχηματιστές

Ο πρώτος μετασχηματιστής ξεκινά το 19^ο αιώνα μεταξύ 1883 και 1886 έγιναν οι πρώτες δοκιμές σε γραμμές με συνεχές ρεύμα. Υπήρχαν εγγενείς δυσκολίες στο σύστημα συνεχούς ρεύματος υπό υψηλή τάση δεδομένου ότι στην πράξη το οροί στο συλλέκτη μιας μηχανής είναι τα 7000V. Την περίοδο αυτή στην Γαλλία για να υπερβούν τον περιορισμό στην τάση του συνεχούς ρεύματος στο σταθμό παραγωγής συνέδεσαν εν σειρά μερικές γεννήτριες και στους υποσταθμούς της εποχής εν σειρά μερικοί κινητήρες για να τροφοδοτηθεί μια σύγχρονη γραμμή με συνεχές ρεύμα σε τάση 57,6 KV από τη Mautier στη Lyon σε μια απόσταση 180 km και συνολική ισχύ 4650 kW. Το 1886 ο πρώτος στοιχειώδης μετασχηματιστής λειτουργεί στη Μασαχουσέτη. Ο πρώτος εμπορικής χρήσης μετασχηματιστής ξηρού τύπου κατασκευάζεται στη Ρωσία το 1891 καθώς και την ίδια χρονιά στην Ελβετία κατασκευάζεται ο πρώτος μετασχηματιστής λαδιού με τάση 330Kv ενώ στη διεθνή έκθεση Φρανκφούρτης δίνεται φορτίο 200kV από υποσταθμό που βρίσκεται 170 χιλιόμετρα μακριά [1].

Οι μετασχηματιστές συνιστούν μια τεχνολογία που έχει βρει πολλαπλές και ποικίλες εφαρμογές εδώ και πολλές δεκαετίες. Καλύπτουν ανάγκες μιας ευρείας γκάμας εγκαταστάσεων, από τις πλέον μεγάλες είναι οι ηλεκτρικοί υποσταθμοί και από τις πλέον μικρές οι οικιακές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Καθοριστική είναι η ύπαρξη των μετασχηματιστών στην ανύψωση και στον υποβιβασμό της τάσης στα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τα οποία ως γνωστόν είναι εξαιρετικά εκτεταμένα και καλύπτουν τα Κέντρα Κατανάλωσης του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου διανομής.

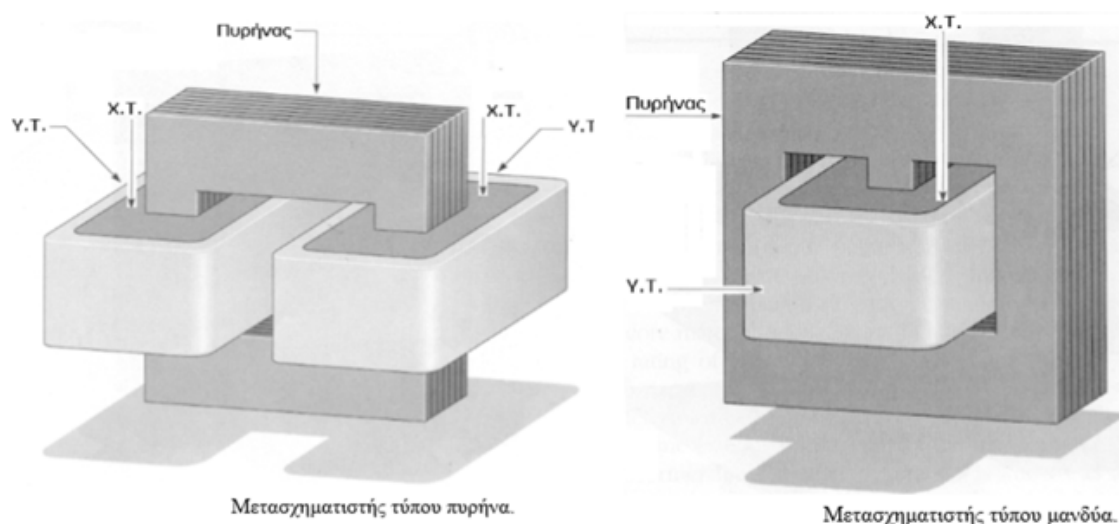
Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή η οποία λειτουργεί και βασίζεται στην αρχή συζευγμένων κυκλωμάτων ή πηνίων. Ένας απλός μετασχηματιστής αποτελείται από δυο τμήματα τον πυρήνα και τα δυο τυλίγματα που έχουν περιελιχθεί σε αυτόν. Είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή χωρίς κινητά μέρη ή εξαρτήματα. Αναλόγως με την λειτουργία οι μετασχηματιστές χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: **Μετασχηματιστές συχνότητας** και σε **Μετασχηματιστές ισχύος**.

Οι **Μετασχηματιστές συχνότητας** έχουν περιορισμένη δυνατότητα ισχύος αλλά έχουν ένα μεγάλο εύρος λειτουργιών ως προς την συχνότητα. Ένα παράδειγμα είναι οι μετασχηματιστές ακουστικής συχνότητας που λειτουργούν ικανοποιητικά από τα 50Hz έως τα 20kHz και χρησιμοποιούνται σε διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Οι **Μετασχηματιστές ισχύος** μπορούν να μετασχηματίσουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργούν σε χαμηλή συχνότητα της τάξης των 50 ή 60 Hz. Ξεκινούν από μερικά VA και φθάνει μέχρι και μερικές εκατοντάδες MVA. Οι εφαρμογή των μετασχηματιστών ισχύων είναι σε υποσταθμούς παραγωγής, διανομής, εργοστάσια, οικίες κλπ. Υπάρχουν και άλλοι τύποι μετασχηματιστών εκτός από αυτές τις δυο κατηγορίες όπως

οι μετασχηματιστές τάσης, μετασχηματιστές ρεύματος και οι αυτομετασχηματιστές που έχουν ειδική κατασκευή και χρήση.

Όπως προαναφέραμε ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Το τύλιγμα που τροφοδοτούμε το ονομάζουμε πρωτεύον και αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση το ονομάζουμε δευτερεύον. Το πηνίο χαμηλής τάσης είναι κατασκευασμένο από χοντρό σύρμα ενώ το πηνίο της υψηλής τάσης από λεπτό σύρμα ανεξάρτητα από το ποιο πηνίο είναι πρωτεύον και πιο δευτερεύον. Η μορφή τους συνήθως είναι κυλινδρική ενώ σε μεγάλους μετασχηματιστές κατασκευάζονται σε δίσκους. Το υλικό του πυρήνα είναι ένας ειδικός τύπος από χάλυβα και κατασκευαστικά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Πυρήνες **πλαισίου** και πυρήνες **μανδύα**. [3]



Σχήμα 1 Πυρήνας πλαισίου , Πυρήνας μανδύα.

Ο πυρήνας κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι μαγνητικές γραμμές στον πυρήνα να έχουν το ελάχιστο δυνατό μήκος. Η εξωτερική θερμοκρασία του πυρήνα δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 35° με 40°C, όμως για να ελαττωθεί η εξωτερική θερμοκρασία των μετασχηματιστών το σώμα του πυρήνα κατασκευάζεται τις περισσότερες φορές από

ελάσματα ειδικού χάλυβα που είναι γνωστός ως χάλυβας μετασχηματιστή. Τα ελάσματα αυτά έχουν πάχος από 0,3mm έως 0,5mm τα οποία είναι ηλεκτρικά μονωμένα μεταξύ τους με διαφορά μονωτικά υλικά. Τέτοια είδους μονωτικά μπορεί να είναι το βαμβάκι, ειδικό βερνίκι, εμποτισμένο χαρτί, μика, ειδικό λαδί. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε την δυνατότητα να μειώσουμε σε μεγάλο βαθμό τα δινορέυματα και τις απώλειες στον πύρινα. **Απώλειες δινορευμάτων** και οι **απώλειες βρόχου υστέρησης** παρατηρούνται στους σιδηροπυρηνες .Οι απώλειες αυτές είναι γνωστές ως απώλειες πυρήνα ή απώλειες σιδήρου. Τα τυλίγματα και ο πυρήνας τοποθετούνται σε μια μεταλλική θήκη για να προστατεύεται και να μπορεί να συγκρατεί το υγρό ψύξης του που συνήθως είναι λαδί. Εκτός από την ψύξη που προσφέρει στον μετασχηματιστή χρησιμεύει και σαν μονωτικό μέσο στα τυλίγματα. [1]

Στους σταθμούς μέσης τάσης , στους σταθμούς παραγωγής και διανομής χρησιμοποιούνται τριφασικοί μετασχηματιστές ενώ οι μονοφασικοί τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται σε ηλεκτρικές τριφασικές γεννήτριες που πρέπει να μετασχηματιστεί για να μεταφερθεί μέσω των γραμμών μεταφοράς και να επαναμετασχηματιστεί πριν διανεμηθεί στους καταναλωτές. Γι' αυτό ο τριφασικός μετασχηματιστής χρησιμοποιείται στα ενεργειακά ηλεκτρικά συστήματα. Είναι σχεδόν πάντα ελαιόψυκτοι εκτός αν ισχύουν ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς, όπου εκεί χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ξηρού τύπου με μόνωση ρητίνης.

Ελαίου



Ξηρού τύπου



Σχήμα 2 Μετασχηματιστής ελαίου και ξηρού τύπου.

2.1 Ψύξη μετασχηματιστή.

Όπως αναφερθήκαμε και πριν τις περισσότερες φορές ο μετασχηματιστής ψύχεται με λαδί . χρειάζεται να ψυχθεί διότι όταν λειτουργεί υπό φορτίο τα τυλίγματα και ο πυρήνας του ζεσταίνονται με συνέπεια να έχουμε υπερβολική θέρμανση του μετασχηματιστή. Το λαδί το χρησιμοποιούμε για μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος , σε μικρότερη ισχύος η ψύξη μπορεί να γίνει και με αέρα είτε με φυσική ροή είτε με εξαναγκασμένη.

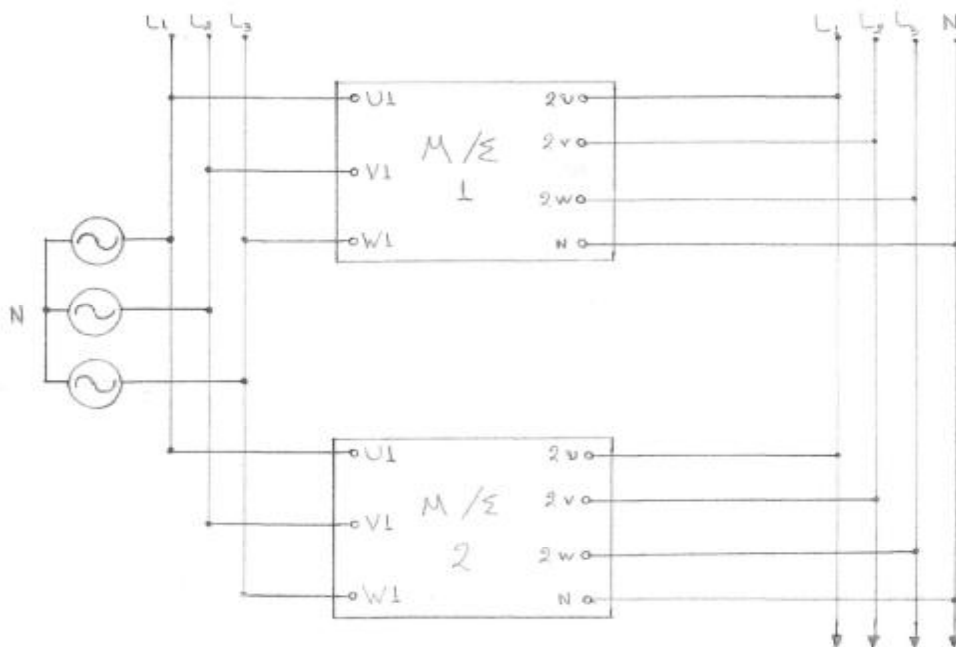
Στην ψύξη με λαδί τα τυλίγματα και ο πυρήνας υπάρχουν μέσα σε αυτό. Το λαδί έχει την ιδιότητα να απορροφάει την θερμότητα του πυρήνα και των τυλιγμάτων και να την αποβάλλει μέσω του εξωτερικού τοιχώματος του δοχείου που έρχονται σε επαφή με τον αέρα. Υπάρχουν διαφορετικές μεθόδους ψύξης όπως *ψύξη με φυσική κυκλοφορία του λαδιού και του αέρα, ψύξη με φυσική κυκλοφορία του λαδιού αλλά με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα και ψύξη με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού και του αέρα*. Το λάδι όταν αρχίζει και απορροφά την θερμότητα από τα τυλίγματα του μετασχηματιστή ζεσταίνεται ανεβαίνει προς τα πάνω και δημιουργείται μια φυσική ροή του λαδιού και με αυτόν τον τρόπο έχουμε την απαγωγή θερμότητας. Από τον αέρα έχουμε φυσική ροή μέσω των ανοιγμάτων που υπάρχουν στον κλειστό χώρο εγκατάστασης τους μετασχηματιστή. Στις εξαναγκασμένες κυκλοφορίες του λαδιού και του αέρα συνήθως έχουμε όταν οι μετασχηματιστές είναι για μεγαλύτερης ισχύος και τοποθετούνται εξωτερικοί ανεμιστήρες για την ροή του αέρα καθώς και αντλίες λαδιού για την ροή του λαδιού μέσα στο δοχείο του μετασχηματιστή, με αυτόν τον τρόπο αυξάνετε η ισχύς του μετασχηματιστή περίπου κατά 25% από την ισχύς που παρέχουν οι μετασχηματιστές με φυσική κυκλοφορία . Όμως κα τακερούς το λάδι στον μετασχηματιστή χρειάζεται αναγέννηση. Πρέπει να γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη ιζημάτων ή οξειδώσεων ,την ύπαρξη νερού (υγρασία) και την θερμοκρασία λειτουργείας του για να υπάρχει η σωστή συντήρηση του μετασχηματιστή για τυχόν βλάβες και βραδύτερο χρόνο γήρανσης του.

2.2 Παραλληλισμός Μετασηματιστών.

Ο Παραλληλισμός μετασηματιστών γίνεται κυρίως σε υποσταθμούς μεγάλων μονάδων για την ομοιόμορφη φόρτιση και για την ενδεχόμενη αύξηση του φορτίου. Όταν υπάρχουν δυο μετασηματιστές και τροφοδοτούν ξεχωριστά κυκλώματα στην ίδια μονάδα δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα στην ταυτόχρονη λειτουργία τους. Για να είναι δυνατός ο παραλληλισμός μετασηματιστών και να διαμοιράζεται το συνολικό φορτίο σωστά ώστε να αποφεύγονται τα φαινόμενα υπερφορτίσεις σε μερικούς από αυτούς θα πρέπει να ισχύουν οι συνθήκες που γράφονται παρακάτω:

- Να έχουν ίσες τάσεις βραχυκύκλωσης.
- Οι ονομαστικές τάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος να είναι ίσες με ανοχή $\pm 0,05\%$.
- Ίδια ακολουθία φάσεων.
- Να ανήκουν στην ίδια ομάδα ζεύξης.

Σε περίπτωση που οι μετασηματιστές δεν ανήκουν στην ίδια ομάδα ζεύξης θα υπάρχει διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δευτερεύοντα τυλίγματα με συνέπεια να αναπτυχθούν σημαντικά ρεύματα ακόμη και στην κενή τους λειτουργεία. [7]

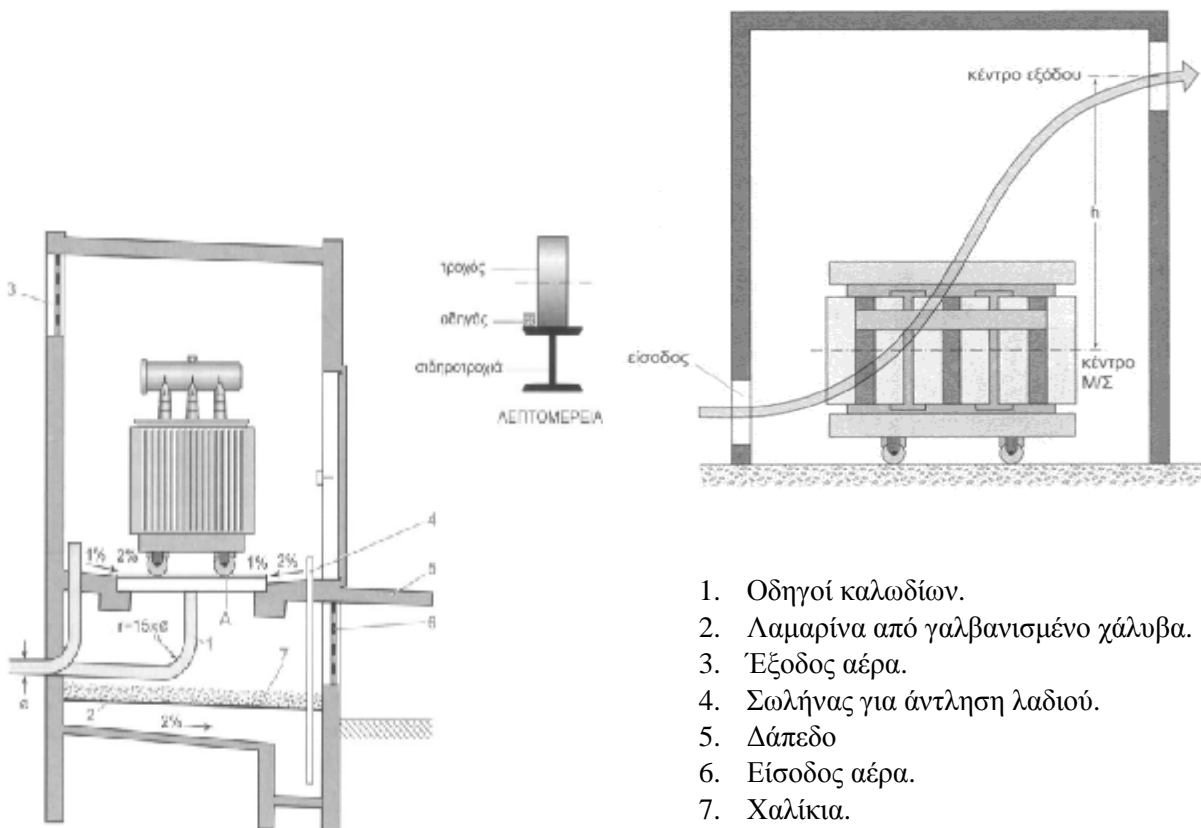


Σχήμα 3 Σκίτσο παραλληλισμού τριφασικών Μετασηματιστών

2.3 Εγκατάσταση και Ψύξη Μετασχηματιστών.

Η εγκατάσταση των υποσταθμών μπορεί να γίνει υπαίθρια ή στεγασμένη αναλόγως με τον τύπο της παροχής της εγκατάστασης. Αυτές που είναι υπαίθριες πρέπει να διαθέτουν τους κατάλληλους μονωτήρες διέλευσης και για τα καλώδια κατάλληλες ακροκέφαλές. Πρέπει να βαφτούν οι μετασχηματιστές με κατάλληλο χρώμα κατά προτίμηση από εποξειδικές ρητίνες διότι είναι εκτεθειμένοι στην ατμόσφαιρα. Οι υπαίθριες εγκαταστάσεις είναι εκτεθειμένες σε κίνδυνους βραχυκυκλώματος και γι' αυτό το λόγο καλό είναι να μην γίνονται. Επίσης θα πρέπει να ελέγχονται κατά ποσόν η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει την ψύξη του μετασχηματιστή.

Οι υπαίθριες ή στεγασμένες εγκαταστάσεις ελαιόφυκτοι μετασχηματιστών κατασκευάζονται πάνω σε κατάλληλο διαμορφωμένο στεγανό λάκκο από σκυρόδεμα με χοντρό χαλίκι όπως διατυπώνει το **σχήμα 4**. Η κατασκευή αυτή είναι φτιαγμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορεί να διαρρεύσει λάδι στο έδαφος και σε τυχόν έκρηξη και πυρκαγιάς του μετασχηματιστή να μειωθεί η ποσότητα του λαδιού που μπορεί να καεί. Ο χώρος θα πρέπει να είναι σε κατάλληλες διαστάσεις για τυχόν βλάβες και την άμεση αντικατάσταση του μετασχηματιστή.[6]

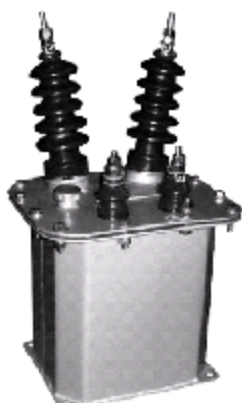


1. Οδηγοί καλωδίων.
2. Λαμαρίνα από γαλβανισμένο χάλυβα.
3. Έξοδος αέρα.
4. Σωλήνας για άντληση λαδιού.
5. Δάπεδο
6. Είσοδος αέρα.
7. Χαλίκια.

Σχήμα 4 Χώρος Μετασχηματιστή.

2.4 Μετασχηματιστές Μέτρησης.

Για τις μετρήσεις εναλλασσόμενων υψηλών τάσεων χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές που ονομάζονται μετασχηματιστές τάσης. Επίσης για τη μέτρηση εναλλασσόμενων ρευμάτων μεγάλης εντάσεως χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές που ονομάζονται μετασχηματιστές έντασης. Οι μετασχηματιστές μετρήσεων είναι όμοιοι με τους γνωστούς μετασχηματιστές οι οποίοι αποτελούνται και αυτοί από ένα πύρινα και δυο τυλίγματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ηλεκτρικός μονωμένα αλλά μαγνητικός συζευγμένα. Επειδή υπάρχουν στο δίκτυο της ΔΕΗ υπερτάσεις το πρωτεύον τύλιγμα πρέπει η μόνωση ως προς τον πύρινα και το δευτερεύον να είναι ισχυρή για να αντέχει, όμως μερικές φορές για λόγους ασφάλειας ο πυρήνας και η μια άκρη από κάθε τύλιγμα στον μετασχηματιστή μέτρησης γειώνονται. Έτσι μπορούμε να έχουμε τον κατάλληλο μετασχηματισμό των διαφόρων μεγεθών ώστε να πραγματοποιηθεί η μέτρηση οποιαδήποτε και αν είναι η πραγματική τάση του πρωτεύοντος κυκλώματος και για να υπάρχει γαλβανική απόξευξη και μόνωση των οργάνων μέτρησης από το δίκτυο μέσης τάσης. Παρακάτω φαίνονται οι μετασχηματιστές μέτρησης σε πραγματική μορφή.



Σχήμα 5 Μετασχηματιστής τάσης.



Σχήμα 6 Μετασχηματιστής έντασης.

Καλώδια Μέσης Τάσης

Τα καλώδια μέσης τάσης χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του υποσταθμού με το δίκτυο μέσης τάσης (εναέριο ή υπόγειο) και τη σύνδεση του πίνακα (κυψέλης) μέσης τάσης με το μετασχηματιστή ισχύος(ακροδέκτες μέσης τάσης). Κατασκευάζονται με μόνωση από XLPE, θωράκιση από ταινία ή σύρματα χαλκού και στρώσεις από θερμοπλαστικά υλικά για μηχανική αντοχή.[8]

3.1 Αγωγοί καλωδίων.

Συνήθως στα καλώδια χρησιμοποιούμε σαν υλικό κατασκευής το χαλκό και σπάνια το αλουμίνιο, διότι η χρήση του αλουμίνιου γίνεται συνήθως για διατομή άνω των 35 mm². Υπάρχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα στα δυο αυτά υλικά, όπως για παράδειγμα το αλουμίνιο σε σχέση με τον χαλκό έχει πολύ μικρότερο βάρος και η κοστολόγηση του είναι φθηνότερη, το αλουμίνιο έχει μεγαλύτερη τιμή αντίστασης σε σχέση με το χαλκό, επίσης το αλουμίνιο δεν μπορεί να συγκολληθεί με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξης όπως η κασσιτεροκόλληση και διαβρώνεται ευκολότερα λόγω ηλεκτροχημικών δράσεων. Η διατομή των αγωγών είναι σε στρογγυλή μορφή, για πολυπολικά καλώδια άνω των 35mm² χρησιμοποιούνται και διατομές τριγωνικές . Κατά IEC 60 228 έχουμε αγωγούς όσον αφορά την ευκαμψία οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Μονόκλωνοι, συμβολίζονται με (U)
- Πολύκλωνοι, συμβολίζονται με (R)
- Υψηλής ευκαμψίας πολύκλωνοι, συμβολίζονται με (K)
- Υπερύψηλης ευκαμψίας πολύκλωνοι, συμβολίζονται με (F).

Οι αγωγοί υψηλής και υπερύψηλης ευκαμψίας χρησιμοποιούνται σε καλώδια για συγκολλήσεις, για κινητές συσκευές και γερανούς δηλαδή εκεί που το καλώδιο υπόκειται σε συνεχείς κάμψεις.[6]

3.2 Μονωτικά Μέσης Τάσης.

Σήμερα στη μέση τάση χρησιμοποιούνται κατεξοχήν μόνωση από χημικά δικτυωμένο πολυαιθυλένιο XLPE. Το πολυαιθυλένιο έχει χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες και είναι μηχανικά και χημικά ανθεκτικό. Η θερμοκρασιακή του συμπεριφορά είναι όμοια με αυτή του PVC. Όμως το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο έχει καλύτερη συμπεριφορά στη διαρκή θερμοκρασιακή καταπόνηση. Αντέχει μέχρι 90°C συνεχώς αλλά είναι ακριβότερο υλικό από το PVC. Το πολυαιθυλένιο ανοικοδομείται σταδιακά από την ηλιακή ακτινοβολία γιατί το λόγο δεν τοποθετείται σαν εξωτερικός μανδύας καλωδίων εξωτερικού χώρου.

Το PVC χρησιμοποιείται εφόσον αυτό επιτρέπεται από τεχνικούς λόγους γιατί είναι φθινό και ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη. Τα όρια του είναι από άποψη τάσης 6/10kV (φασική/πολική τάση). Λόγω των υψηλών διηλεκτρικών απωλειών δεν χρησιμοποιείται σε υψηλότερες τάσεις. Επίσης δεν είναι ανθεκτικό σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες όπως κάτω των -30°C ή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες όπως άνω των 70°C σχηματίζει ρωγμές και γίνεται εύθραυστο. Επιτρέπεται η διαρκής καταπόνηση του μέχρι 70°C.

Η μόνωση χαρτιού-μάζας είναι πιο δοκιμασμένη και προτιμάται από μερικές επιχειρήσεις ηλεκτρισμού γιατί η διάρκεια ζωής των καλωδίων από μόνωση χαρτιού είναι μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου. Η μόνωση αυτή είναι ακριβότερη και δυσκολότερη στο χειρισμό της κατά την κατασκευή από ότι η μόνωση πολυαιθυλενίου. [6]

Όπως προαναφερθήκαμε ο εξωτερικός μανδύας σε καλώδια Μέσης Τάσης είναι από PVC ή από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο ή από πολυχλωροπρένιο όμως σε καλώδια χαρτιού ο μανδύας μπορεί να είναι από μόλυβδο που περιβάλλεται από χαλύβδινες ταινίες, ίνες και πίσσα. Αναμειγνύονται με ουσίες για να διαμορφωθούν κατάλληλες ιδιότητες όπως ελαστικότητα, χρώμα, αντοχή στη θερμοκρασία, μηχανικές καταπονήσεις. Το χρώμα του εξωτερικού μανδύα καλωδίων Μέσης Τάσης με πλαστική μόνωση είναι κόκκινο. Παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα που συναντά κάνεις:

Μείγματα μονωτικών (συνεχής/βραχυχρόνια θερμοκρασία)

TI1	(κύριος PVC) δύσκαμπτο (70°/170°)
TI2	(κύριος PVC) εύκαμπτο (70°/170°)
EI1	κοινό ελαστικό (60°/180°)
EI2	ελαστικό σιλικόνης (180°/400°)
EPR	μείγμα με βάση αιθυλενίου προπυλαινίουχο ελαστικό (90°/250°)
XLP	μείγμα με βάση το χημικά δικτυωμένο προπυλαινίουχο (90°/250°)

Μείγμα μανδύα

- SE1 με βάση πολυχλωροπρένιο ή χλωριοθειούχο πολυαιθυλένιο ή παρόμοια πολυμερή
- ST2 με βάση PVC για Μ.Τ.
- TM1 μανδύας PVC για Χ.Τ., δύσκαμπτος
- TM2 μανδύας PVC για Χ.Τ., εύκαμπτος
- EM1 μανδύας για Χ.Τ. από κοινό ελαστικό
- EM2 μανδύας για Χ.Τ. από πολυχλωροπρένιο (αντέχει στο λαδί)

**NYFGY, VDE 0271,
J1VZ4V-S, ΕΛΟΤ 843, IEC 502 (PVC με μηχανική ενίσχυση)**



- | | |
|--|------------------------|
| 1. μόνωση PVC | 5. αγωγός χαλκού (Cu) |
| 2. ενίσχυση με χαλύβδινα πλατεία σύρματα | 6. κορδόνι PVC, |
| 3. χαλύβδινη ταινία | 7. υλικό πλήρωσης PVC. |
| 4. εξωτερικός μανδύας PVC | |

Σχήμα 7 Καλώδιο NYFGY με μόνωση PVC και χάλκινους αγωγούς.

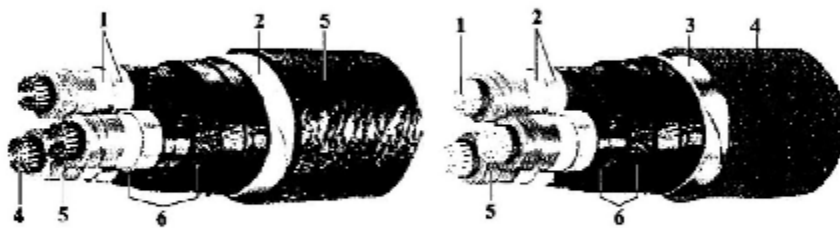
ΝΚΒΑ, ΝΑΚΒΑ (χαρτί, με μηχανική ενίσχυση) VDE 0255



- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. αγωγός | 5. εμποτισμένη μόνωση χαρτιού |
| 2. μολύβδινος μανδύας | 6. συμπληρωματικό υλικό |
| 3. χαλύβδινες ταινίες | 7. μονωτικός εσωτερικός μανδύας περίζωμα |
| 4. μανδύας από γυύτα με άσφαλτο | 8. εσωτερικό προστατευτικό στρώμα. |

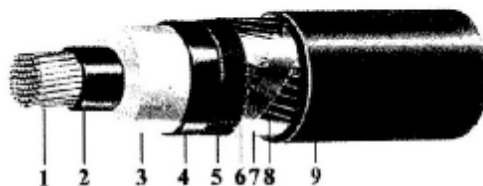
Σχήμα 8 Καλώδιο ΝΑΚΒΑ με μολύβδινο μανδύα και μόνωση από χαρτί.

ΝΕΚΕΒΑ - 12/20 kV (χαρτί), VDE 0255



- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. μολύβδινος μανδύας | 4. αγωγός |
| 2. μηχανική ενίσχυση | 5. εμποτισμένη μόνωση |
| 3. γυύτα-άσφαλτος | 6. συμπληρωματικά υλικά. |

Σχήμα 9 Καλώδιο υψηλής τάσης με μόνωση από χαρτί.



- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. αγωγός αλουμινίου | 6. θωράκιση από χάλκινα σύρματα |
| 2. εσωτερικό αγωγίμο στρώμα | 7. εγκάρσια ένωση από αγωγό χαλκού |
| 3. πολυαιθυλένιο, XLPE | 8. πλαστικό φύλλο |
| 4. εξωτερικό αγωγίμο στρώμα, | 9. μανδύας PVC. |
| 5. αγωγίμο χαρτί | |

Σχήμα 10 Καλώδιο N(A)2XSY με αγωγό αλουμίνιου και XLPE μόνωση.

3.3 Μηχανική καταπόνηση των καλωδίων.

Τα καλώδια μπορεί να καταπονούνται μηχανικά σε ειδικές περιπτώσεις και να καταστραφούν αν δεν έχουν κατάλληλη μηχανική ενίσχυση. Οι καταπονήσεις εμφανίζονται κυρίως κατά την εγκατάσταση και την λειτουργία όταν όταν τραβιέται το καλώδιο από μηχανές έλξης μέσα σε σωλήνες ή χαντάκια σε μεγάλα μήκη (>20m), όταν το καλώδιο κινείται συνεχώς ή φέρει δυνάμεις και το ίδιο βάρος του δηλαδή όπως τα καλώδια γερανών και ανελκυστήρων, όταν τοποθετούνται στη θάλασσα σε μεγάλα βάθη καθώς και όταν αναρτάται σε μεγάλες αποστάσεις. Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλιστεί από τον κατασκευαστή ότι το καλώδιο είναι κατάλληλο για τέτοιες καταπονήσεις.

Για καλώδια μόνιμης εγκατάστασης επιτυγχάνεται μηχανική προστασία με χαλύβδινες ταινίες Τα καλώδια που έχουν πλαστική μόνωση σε αντίθεση με τα καλώδια με μόνωση χαρτιού είναι συνήθως ανθεκτικά και ενισχύονται μόνο για την περίπτωση υψηλών καταπονήσεων. Τα καλώδια με εναλλασσόμενες καταπονήσεις κατασκευάζονται από αγωγούς με υψηλή ευκαμψία και φέρουν ένα χαλύβδινο συρματόσχοινο που απορροφά το μηχανικό φορτίο όπως για παράδειγμα οι ανελκυστήρες. Αν χρειαστεί σε μόνιμη εγκατάσταση να κρεμαστεί ένα καλώδιο με μεγάλο άνοιγμα άνω των 8 μέτρων τότε πρέπει να ελεγχθεί η μηχανική καταπόνηση. Αν δεν αρκεί η ίδια αντοχή του καλωδίου θα πρέπει να αναρτηθεί επάνω σε βοηθητικό συρματόσχοινο από χάλυβα.[6].

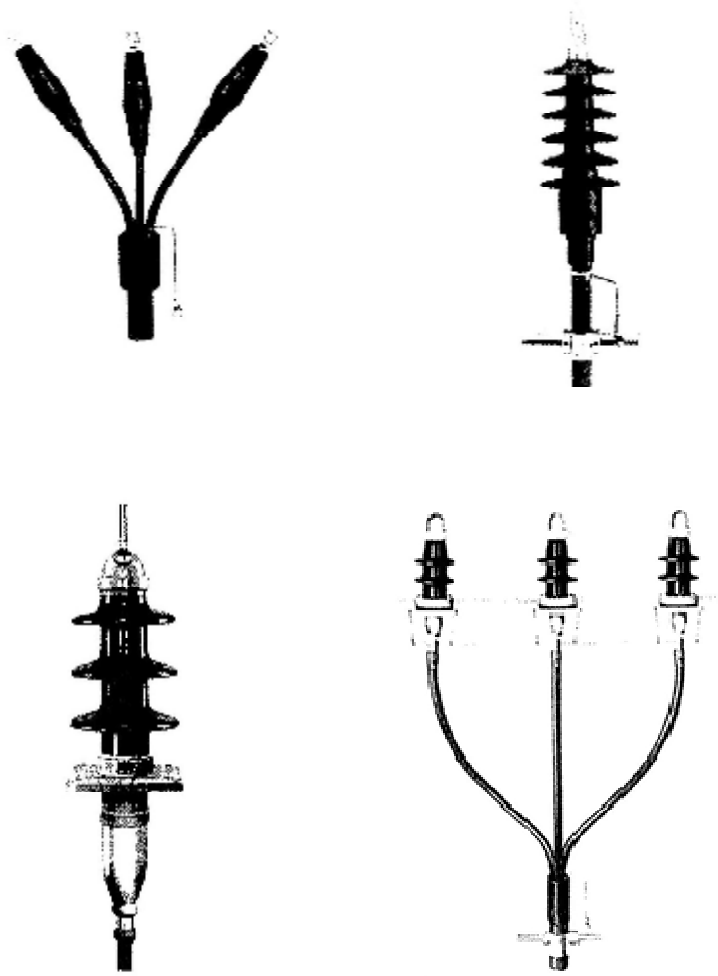
3.4 Εγκατάσταση καλωδίων

Γενικά σε κάθε περίπτωση εγκατάστασης καλωδίων θα πρέπει να λαμβάνουμε μέτρα προστασίας ειδικά πιο πολύ σε μεγάλες τάσης όπως είναι τα παρακάτω: να αποφεύγεται η κάθε κακοποίηση που μπορεί να μειώσει την αντοχή της μόνωσης του καλωδίου, να γίνεται η εγκατάσταση τους μέσα σε ειδικές κλειστές σχάρες και κανάλια και τα καλώδια μέσης τάσης να βρίσκονται μακριά από τα καλώδια χαμηλής τάσης μέσα στον υποσταθμό. Επίσης τα πεδία μέσης τάσης να είναι τοποθετημένα καταλληλά με τέτοιο τρόπο ώστε να σφραγίζονται και να γίνεται αδύνατη η είσοδος από νερό , σκόνη , ποντίκων και εντομών, γενικά πρέπει να προστατεύονται τα καλώδια από προσέγγιση ατόμων όταν αυτά βρίσκονται υπό τάση. Τα καλώδια θα πρέπει να δένονται σε τακτά διαστήματα με ειδικές δέστρες καλωδίων μέσης τάσης και οι κάμψεις των καλωδίων θα πρέπει να μην έχουν μικρή ακτίνα καμπυλότητας διότι θα προκαλέσει καταπόνηση των μονώσεων.

Τα καλώδια του μετασχηματιστή θα πρέπει να στηρίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορούν να δεχτούν καταπονήσεις κατά την αντικατάσταση του μετασχηματιστή ,όπως πατήματα πτώση εργαλείων πάνω σε αυτά ή ακόμη και η καταστροφή τους από τον μετασχηματιστή. Θα πρέπει να είναι ελεύθερα τα καλώδια κοντά στον μετασχηματιστή περίπου 1 με 1,50 m από τους ακροδέκτες του χωρίς μεταλλικά στηρίγματα και μεταξύ τους να υπάρχει η κατάλληλη απόσταση όσο απέχουν μεταξύ τους τα σημεία συνδέσεις τους με τους ακροδέκτες του μετασχηματιστή ώστε αν προκληθεί τόξο σε ένα από αυτά να μην προκαλέσει ζημιά στα υπόλοιπα.

3.5 Τερματισμός Καλωδίων Μέσης Τάσης

Όπως αναφερθήκαμε πιο πάνω, και γίνει η σωστή τοποθέτηση και εγκατάσταση των καλωδίων στον τερματισμό τους εφαρμόζονται καταλληλά ακροκιβώτια . Συνηθίζεται να αποκαλούνται τα ακροκιβώτια σαν ακροκέφαλες. Οι ακροκέφαλες διαφέρουν αρκετά με την πάροδο του χρόνου από τα ακροκιβώτια. Η διαφορά τους είναι ότι κάθε κλώνος του καλωδίου διαθέτει έναν ξεχωριστό ακροδέκτη, δηλαδή τα ακροκιβώτια και οι ακροκέφαλες τοποθετούνται ακριβώς για τον ίδιο σκοπό που είναι η σωστή μόνωση του γυμνού αγωγού και η απαγόρευση της υγρασίας μέσα σε αυτόν. Οι ακροδέκτες προσφέρουν ένα αποτελεσματικό τρόπο σύνδεσης του αγωγού με κάθε άλλο εξάρτημα (μετασχηματιστές, διακόπτες, ζυγοί) και την παράλληλη μόνωση του. Συμπιέζονται με χειροκίνητες ή υδραυλικές πρέσες ακροδεκτών. Ποτέ δεν γίνεται η συγκόλληση των ακροδεκτών σε καλώδια πλαστικά μέσης τάσης διότι υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί η μόνωση. Μόνο στην χαμηλή τάση μπορούμε να κάνουμε κασσιτεροκόλληση των ακροδεκτών πάνω στους αγωγούς.



Σχήμα 11 Τύποι ακροκέφαλων από πορσελάνη, σιλικόνη και ρητίνης.

Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασία μέσης τάσης

Χρησιμοποιούνται διαφορά μέσα για την διακοπή, την απομόνωση, την προστασία και των έλεγχο των κυκλωμάτων που λειτουργούν με φορτίο ή ακόμα και δίχως φορτίο στην τάξη των 20 kV.

4.1 Ασφάλειες Μέσης Τάσης

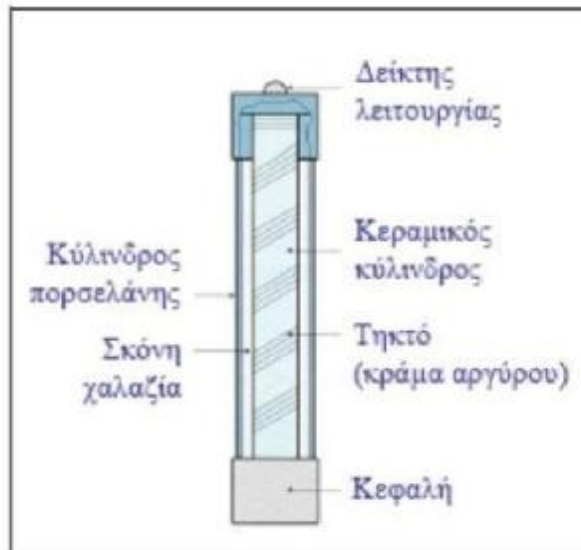
Οι ασφάλειες μέσης τάσης (τηκτές) χρησιμοποιούνται σε καταναλωτές μόνο για την προστασία της εγκατάστασης από βραχυκυκλώματα και όχι από υπερφόρτιση. Χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτική φθηνή λύση αντί των διακοπών ισχύος. Όταν στην εγκατάσταση υπάρχουν ασφάλειες, για να υπάρξει αποζευξιμότητα υπό φορτίο εγκαθίσταται σε σειρά και ένας διακόπτης φορτίου. Διακρίνονται δυο είδη ασφαλειών μέσης τάσης ανάλογα με την λειτουργία τους. Είναι οι **ασφάλειες εκτόνωσης** και οι **ασφάλειες σκόνης**, είναι κυλινδρικές με σώμα από πορσελάνη ή άλλο μονωτικό υλικό κατασκευάζονται για διάφορες ονομαστικές τάσεις και εντάσεις. Το μήκος τους είναι ανάλογο της ονομαστικής τάσης και διάμετρος ανάλογη με την ονομαστική ένταση [6].

Ασφάλειες εκτόνωσης υπάρχουν σε δυο τύπους με διαφορετικές χαρακτηριστικές ρεύματος και χρόνου, σε **ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης** που συμβολίζονται με το γράμμα **T** και σε **ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης** που συμβολίζονται με το γράμμα **K**. Αποτελούνται από έναν μονωτικό σωλήνα που διαθέτει εσωτερικά ένα στρώμα βορικού οξέος και ένα αγωγό ο οποίος είναι τανυσμένος από ελατήρια. Όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή ο αγωγός αυτός λειώνει και δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο με συνέπεια να κόβεται το κύκλωμα. Το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται έρχεται σε επαφή με τα τοιχώματα του σωλήνα που υπάρχει το βορικό οξύ δημιουργώντας υδρατμούς και τοξικά αέρια που συντελούν στην σβέση του. Οι ασφάλειες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται από την ΔΕΗ στις υπαίθριες εγκαταστάσεις για την ασφάλιση διακλαδώσεων δικτύων μέσης τάσης.



Σχήμα 12 Ασφάλειες εκτόνωσης διαφόρων ειδών.

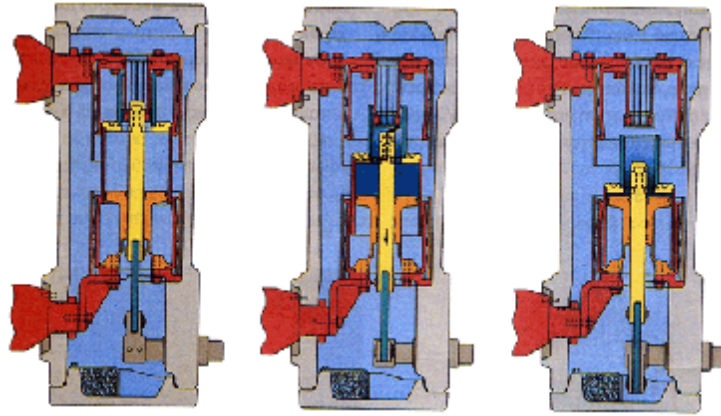
Οι **ασφάλειες σκόνης** κατασκευάζονται από κεραμικό υλικό που πάνω του είναι τυλιγμένος ο αγωγός (τηκτο) που μπορεί να είναι αργυρός ή κάποιο κράμα του για να έχουμε καλή αγωγιμότητα. Ο αγωγός αυτός βρίσκεται μέσα σε σκόνη χαλάζια, εξωτερικά υπάρχει ένα περίβλημα από πορσελάνη που είναι μονωτικό υλικό για την διαρροή του ρεύματος. Η σβέση του τόξου γίνεται με ψύξη μέσα στην σκόνη χαλάζια και μπορούμε να καταλάβουμε την ασφάλεια όταν είναι καμένη από τον δείκτη λειτουργίας. Οι ασφάλειες αυτές χαρακτηρίζονται κατά **DIN VDE 670** σαν ασφάλειες **τύπου HH (Hochleistungs-Hochspannungs-Sicherungen)** ή κατά **IEC 282-1** σαν ασφάλειες **τύπου HRC (High Rupturing Capacity Fuses)**. Όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή ο αγωγός λιώνει και λόγω της έντονης ψυκτικής ικανότητας της σκόνης χαλάζια δημιουργείται μια μεγάλη αντίσταση κατά μήκος της ασφάλειας με σκοπό τον περιορισμό του βραχυκυκλώματος μέχρι να φτάσει στο μηδέν. Οι ασφάλειες σκόνης διακόπτουν το κύκλωμα πρώτου το ρεύμα προλάβει να φτάσει στην κορυφή του και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις υποσταθμών για την προστασία των μετασχηματιστών ισχύος.



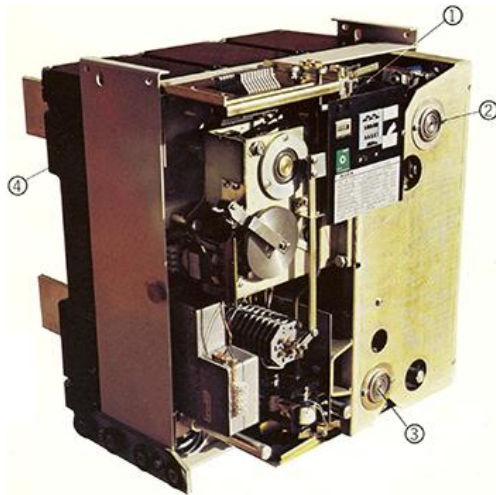
Σχήμα 13 Ασφάλεια σκόνης.

4.2 Διακόπτες Ισχύος

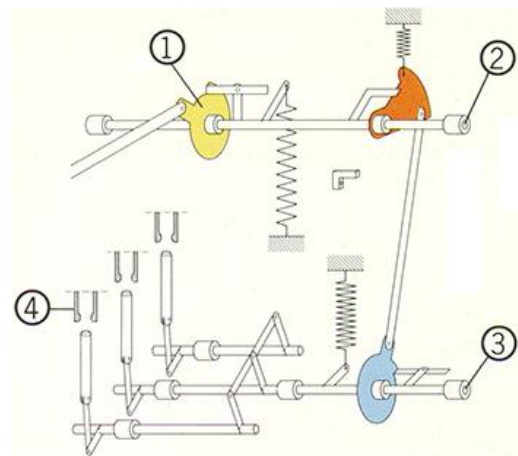
Οι **διακόπτες ισχύος** (Circuit Breaker, Leistungsschalter) ή **αυτόματοι διακόπτες ισχύος** έχουν την δυνατότητα να ανοίγουν ή να κλείνουν χειροκίνητα ακόμα και αυτόματα σε οποιαδήποτε συνθήκη λειτουργίας, δηλαδή τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκυκλώματα. Έτσι αυτοί χρησιμοποιούνται συνήθως στην προστασία κατά των βραχυκυκλωμάτων και των υπερεντάσεων που δημιουργούνται σε βραχυκυκλώματα της τάξης των 7 kA για το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη χώρα μας. Η θεωρητική μέγιστη κρουστική τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί στα 7 kA είναι τα 20 kA. Ο διακόπτης ισχύος κατασκευαστικά είναι σε θέση να αντέξει τις υπερεντάσεις και την ικανότητα επανασύνδεσης μετά τη σβέση του τόξου στην τάση του δικτύου. Οι διακόπτες μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προστασία των καταναλωτών στην μέση τάση είναι σχεδόν κατεξοχήν **διακόπτες φτωχού ελαίου**. Με την λέξη φτωχού εννοούμε ότι η σβέση μπορεί να γίνει με αρκετά μικρότερη ποσότητα λαδιού σε αντίθεση με τους παλαιούς διακόπτες ισχύος. Οι επαφές των διακόπτων συγκρατούνται στη θέση τους με ένα ελατήριο [6].



Σχήμα 14 Τα στάδια διακοπής φορτίου



Σχήμα 15 Τομή διακόπτη ισχύος



Σχήμα 16 Μηχανική λειτουργία διακόπτη ισχύος.

Σε ελάχιστες περιπτώσεις τοποθετούνται στην μέση τάση διακόπτες που στηρίζονται σε άλλες μεθόδους σβέσης του τόξου όπως οι **διακόπτες SF6** , **διακόπτες κενού** ή και **διακόπτες αέρος μαγνητικού φουσίματος**.

Ο διακόπτης ανοίγει αυτόματα παίρνοντας εντολή από ηλεκτρονόμους και κλείνει με την επανένταξή του ελατήριου με κινητήρα ή χειροκίνητα. Αντί του ηλεκτρονόμου ο Διακόπτης Ισχύος μπορεί να διεγείρεται από ενσωματωμένο θερμικό στοιχείο ή και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας από το ίδιο ρεύμα (πρωτογενώς). Έτσι οι αυτόματοι διακρίνονται σύμφωνα με τον τρόπο προστασίας τους σε **αυτόματους με δευτερογενή προστασία** και **αυτόματους με πρωτογενή προστασία**.

Η δευτερογενής προστασία είναι κατά 30-40% ακριβότερη απ' ό τι η πρωτογενής αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι συνεργάζεται καλύτερα με τα μέσα προστασία της ΔΕΗ. Εξάλλου η πρωτογενής προστασία μπορεί να εφαρμοστεί για ονομαστικά ρεύματα άνω των 50 A περίπου.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος είναι τα παρακάτω:

- **Η ονομαστική τάση (rated voltage)**, που συνήθως είναι **24kV**
- **Το ονομαστικό ρεύμα (rated current)**, το οποίο θεωρείται σαν μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα που είναι συνήθως **$I_r = 630A$** .
- **Το ονομαστικό ρεύμα ζεύξης** σε βραχυκύκλωμα **20kA**. Αυτό είναι το ρεύμα που ρέει όταν ο διακόπτης κλείνει σε βραχυκύκλωμα.
- **Ονομαστική διάρκεια βραχυκυκλώματος**, της τάξης των 3 sec.
- **Το ονομαστικό ρεύμα απόζευξης I_k** το οποίο χαρακτηρίζεται από ορισμένο συντελεστή ισχύος. Το ρεύμα αυτό κυμαίνεται από 8 μέχρι 20 kA για $\cos\phi=0,7$ επαγωγικό.
- **Η ισχύς απόζευξης** που δίνεται από την σχέση (1):

$$S_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_k \quad (1)$$

και είναι συνήθως από 350 μέχρι 560 MVA. Αυτή η ισχύς υπολογίζεται με τα καλώδια και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 250MVA.

Οι επαφές θα πρέπει να αντέχουν σε χειρισμούς στο ονομαστικό ρεύμα, σε ρεύμα 500 φορές του ονομαστικού και 1.000 φορές του μισού του ονομαστικού.

Θα πρέπει να έχουν αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση της τάξης των 50 kV ανά 1 min και 125 kA κρουστική τάση από πόλο σε πόλο και από πόλο προς γη.

Γενικά ένα σύστημα προστασίας με διακόπτη ισχύος αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Τον τριπολικό διακόπτη με τις επαφές
- Τις βοηθητικές επαφές που είναι 5 NC δλδ κλειστές σε κατάσταση ηρεμίας , 5 NO δλδ ανοικτές σε κατάσταση ηρεμίας και μια παροδική επαφή των 10A και τάσης 500V.
- Τον μηχανισμό του ελατήριου. Που ασκεί δύναμη για να αποχωριστούν οι επαφές με επαρκή ταχύτητα μετά την απόζευξη. Η ένταση του ελατήριου μπορεί να γίνει χειροκίνητα με μοχλό ή ηλεκτροκίνητα με ηλεκτρικό κινητήρα. Δηλαδή μετρά από κάθε απόζευξη το ελατήριο πρέπει να ενταθεί. Το ελατήριο αφού ενταθεί αυτοσυγκρατείται.

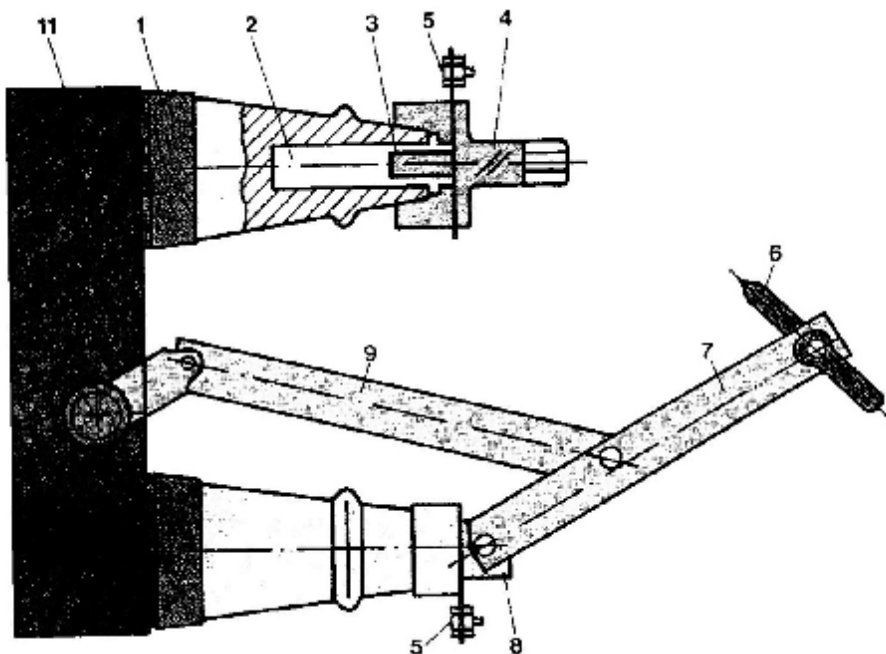
- Το πηνίο εργασίας που στην ουσία είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης που κλείνει τον διακόπτη ***closing solenoid***.
- Ακόμα ένα πηνίο που ελευθερώνει το ελατήριο δηλαδή επενεργεί την απόξευξη ***shunt release***.
- Ενδεχόμενος να υπάρχει και πηνίο έλλειψης τάσης ***under voltage release coil***.
- Το σύστημα ελέγχου, δηλαδή τους ηλεκτρονόμους που διεγείρουν το σύστημα συγκράτησης του ελατηρίου.
- Τους μετασχηματιστές έντασης, ειδικούς για προστασία κλάσης ***10P10, 5P20*** ή ***5P10***.
- Το σύστημα τροφοδοσίας. Στην περίπτωση που οι ηλεκτρονόμοι ή το σύστημα ελέγχου χρειάζεται τροφοδοσία, τότε αυτή προφανώς δεν μπορεί να προέλθει από το σύστημα που διακόπτει ο διακόπτης ισχύος. Τότε χρειάζεται ανεξάρτητο σύστημα τροφοδοσίας όπως μια πηγή συνεχούς ρεύματος των 110V.
- Ο διακόπτης ισχύος συνοδεύεται και από έναν αποφευκτική καταλληλά μανδαλωμένο με τον διακόπτη ισχύος.

Όλα αυτά αποτελούν το σύστημα προστασίας με διακόπτη ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος καταναλωτών πρέπει συνήθως να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή ισχύος δηλαδή ένα βραχυκύκλωμα. Οι κατασκευαστές δίνουν τις ανάλογες οδηγίες γι' αυτό. Όμως δεν χρειάζεται επιθεώρηση μετά από απόξευξη φορτίου.

Οι διακόπτες ισχύος σε καταναλωτές δεν χρειάζεται να εκτελούν κύκλους αυτομάτων επαναφορών, ***OCO***, όπως οι διακόπτες των αναχωρήσεων γραμμών. Επειδή οι διακόπτες ισχύος δεν έχουν ορατές επαφές και επειδή θεωρείται ότι η μόνωση του θαλάμου σβέσης δεν είναι ικανοποιητική, πρέπει να συνδέονται σε σειρά με έναν αποξέυκτη. Σε αυτήν την περίπτωση κατά το άνοιγμα πρώτα ανοίγει ο διακόπτης ισχύος και μετά ακολουθεί ο αποξέυκτης, ενώ κατά το κλείσιμο, πρώτα κλείνει ο αποξέυκτης και μετά ο διακόπτης ισχύος. Αυτό γίνεται γιατί ο αποξέυκτης δεν μπορεί να διακόψει ρεύματα βραχυκύκλωσης, αλλά τον χρησιμοποιούμε μόνο για την ορατή απομόνωση του κυκλώματος. Πρέπει να υπάρχει κατάλληλη μανδάλωση του ισχύος με τον αποξέυκτη. Αποξέυκτες δεν απαιτούνται πάντα. Για παράδειγμα, οι Αποξέυκτες είναι περιττοί όταν έχουμε κατασκευές συρόμενου τύπου με λυόμενες συνδέσεις υψηλής τάσης [6].

4.3 Διακόπτες φορτίου

Οι **διακόπτες φορτίου** ή **load switches** μπορούν να χειρίζονται υπό κανονικές ονομαστικές συνθήκες. Διακόπτουν ή συνδέουν κυκλώματα υπό ονομαστικό φορτίο, αλλά ποτέ σε μεγαλύτερα ρεύματα. Για να διακόψουν το κύκλωμα χρειάζονται έναν θάλαμο σβέσης. Για μικρό αριθμό χειρισμών π.χ. 500, χρησιμοποιούνται συνήθως διακόπτες φόρτου με αέρα ή μονωτικά τοιχώματα. Το τόξο ψύχεται επάνω στα τοιχώματα. Για μεγάλο αριθμό χειρισμάτων, όπως σε κινητήρες 6kV, χρησιμοποιούνται συνήθως διακόπτες κενού ή SF6. Στους ιδιωτικούς υποσταθμούς των καταναλωτών χρησιμοποιούνται διακόπτες με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές, για τη επιβεβαίωση της διακοπής. Δηλαδή μπορεί να δι κάποιος από έξω τη θέση του διακόπτη αν αυτή είναι εκτός.



1.Μονωτηρας 2.θαλαμος σβέσης 3.επαφη κινουμένη με ελατήριο 4.επαφη 5.ακροδεκτης
6.επαφη τόξου 7.κοινουμενο μαχαίρι 8.κατω επαφή 9.μοχλος 10.κινητηριος άξονας
11.πλαισιο στήριξης

Σχήμα 17 Διακόπτης φορτίου με ορατές επαφές

Οι διακόπτες φορτίου αν δεν έχουν ορατές επαφές πρέπει να συνοδεύονται από Αποζεύκτες για να εξασφαλίζεται η διακοπή δια της όρασης. Οι Αποζεύκτες τοποθετούνται για να εξασφαλίζεται η διακοπή δια της όρασης. Οι Αποζεύκτες τοποθετούνται πριν από τους διακόπτες φορτίου και πάντα από την πλευρά του δικτύου. Διακόπτες φορτίου και Αποζεύκτες είναι όπως και πριν αλληλομανδαλώμενοι για την αποφυγή λανθασμένων χειρισμών που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες τόσο στην εγκατάσταση όσο και στον ανθρώπινο παράγοντα. Ο διακόπτης φορτίου και ο αποζευκτης συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν συνδυασμένη μονάδα.

Χαρακτηριστικά των διακόπτων φορτίου :

- **Ονομαστική τάση** συνήθως $U_r=20/24kV$
- **Ονομαστική ένταση** $I_r=400 A$ είναι διαρκώς επιτρεπόμενη ένταση.
- **Ένταση διακοπής** είναι συνήθως $400 A$ με $\cos\phi = 0,7$. Αυτή είναι η ένταση που μπορεί να διακοπεί υπό ορισμένο $\cos\phi$ και αριθμό κύκλων, για παράδειγμα 500 φορές.

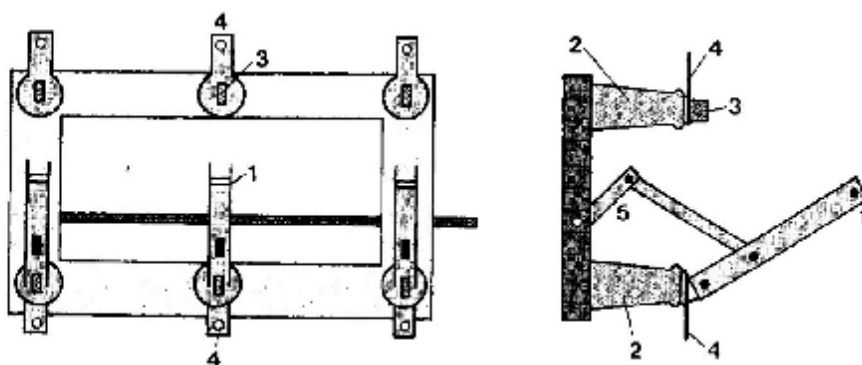
- Ένταση διακοπής ρευμάτων μαγνητίσεις του μετασχηματιστή που μπορεί να είναι 40A.
- Ένταση ζεύξης , είναι η ένταση που διαρρέει το κύκλωμα αμέσως μετά την ζεύξη για παράδειγμα 40kA.
- Ένταση διακοπής χωρητικού φορτίου π.χ. 40A
- Θερμική αντοχή ενός δευτερολέπτου (1 sec). Είναι το ρεύμα που αντέχει ο διακόπτης για ένα second όπως 16 kA .
- Ηλεκτροδυναμική αντοχή για παράδειγμα 40kA

Οι διακόπτες φορτίου χειρίζονται χειροκίνητα ή με πηνίο εργασίας και μοχλίσμους.

Σε περιπτώσεις συχνών και πολλών κύκλων εργασίας όπως στις ζεύξεις κινητήρων υψηλής τάσης, χρησιμοποιούνται ρελέ υψηλής τάσης ή High Voltage Contactors. Αυτά τα ρελέ κατασκευάζονται για 6, 10 και 20 kV με μέσο σβέσης τόξου το μονωτικό SF6 ή το κενό. Οι κύκλοι λειτουργίας ανέρχονται στις 10^4 έως 10^5 φορές υπό ονομαστικό ρεύμα. Τέτοιοι διακόπτες χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε ηλεκτροκίνητα τρένα και η κίνηση τους είναι ηλεκτρομαγνητική [6].

4.4 Αποζεύκτες και Γειωτές

Οι αποζεύκτες και γειωτές είναι διακόπτες που ανοίγουν ένα κύκλωμα υπό ελάχιστο φορτίο και κλείνουν υπό ελάχιστη τάση. Δηλαδή πρέπει να χειρίζονται χωρίς ρεύμα ή τάση στους πόλους τους. Χρησιμοποιούνται για να δημιουργούνται ορατές επαφές και να απομονώνεται σιγουρά ένα κύκλωμα έτσι ώστε να γίνουν εργασίες σε αυτό. Επίσης χρησιμοποιούνται για να γειώνεται ένα κύκλωμα οπότε ο αποζευκτης λέγεται γειωτής.



1.ΜΑΧΑΙΡΙ 2. ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ 3. ΕΠΑΦΗ 4. ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ 5. ΚΙΝΗΤΗΡΙΟΣ ΜΟΧΛΟΣ

Σχήμα 18 Αποζευκτης-γειωτής



Σχήμα 19 Ασφαλειοαποζευκτης

Σε κλειστή κατάσταση πρέπει οι Αποζεύκτες να αντέχουν στα ρεύματα σφαλμάτων. Σε ανοικτή κατάσταση πρέπει οι αποζεύκτες να αντέχουν στις υπερτάσεις της εγκατάστασης. Οι αποζεύκτες δεν πρέπει ποτέ να χειρίζονται υπό φορτίο. Γι'αυτό πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους διακόπτες φορτίου ή ισχύος οπού ανήκουν. Στην περίπτωση που οι αποζεύκτες λειτουργούν ως γειωτές ισχύει ακριβώς το ίδιο.

Όσον αφορά το άνοιγμα του κυκλώματος πρώτα ανοίγει ο διακόπτης φορτίου και έπειτα ο αποζευκτης. Τέλος κλείνει ο γειωτής και τα διαφορά ρεύματα που τυχόν να υπάρχουν στο κύκλωμα οδηγούνται στη γη. Κατά το κλείσιμο του κυκλώματος πρώτα ανοίγει ο γειωτής έπειτα κλείνει ο αποζευκτης και τέλος κλείνει και ο διακόπτης φορτίου ο οποίος θέτει την εγκατάσταση υπό τάση. Στο εμπόριο πολλές φορές χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου αντί αποζεύκτες επειδή η διαφορά στην τιμή είναι ασήμαντη [6].

4.5 Γειώσεις

Γείωση ονομάζουμε την ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή μεταλλικού αντικειμένου με μια εγκατάσταση γείωσης. Η εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Δηλαδή είναι η εγκατάσταση αγωγίμης σύνδεσης κάποιου εξαρτήματος με αγωγίμα μέρη με την γη. Μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή η οποία είναι η ανοικτή γείωση.

Υπάρχουν τριών ειδών γειώσεις και διαχωρίζονται ανάλογα με την χρήση τους:

- **Γείωση λειτουργίας**
- **Γείωση προστασίας**
- **Γείωση αντικεραυνικής προστασίας**

Γείωση λειτουργίας, είναι η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος. Αυτή η γείωση έχει ως σκοπό την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του ηλεκτρικού κυκλώματος μιας εγκατάστασης και αποτελεί μέρος αυτού. Για παράδειγμα η γείωση του ουδέτερου κόμβου ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης 20/0,4 kV, η γείωση του ουδέτερου αγωγού του δικτύου χαμηλής τάσης και σε άλλες περιπτώσεις μπορεί ακόμη να είναι η γείωση της σιδηροτροχιάς του ηλεκτρικού σιδηρόδρομου. Η γραμμή γείωσης μπορεί γενικά να έχει αυτεπαγωγές ή αντιστάσεις στα δίκτυα, ή να είναι ένας συνεχής αγωγός.

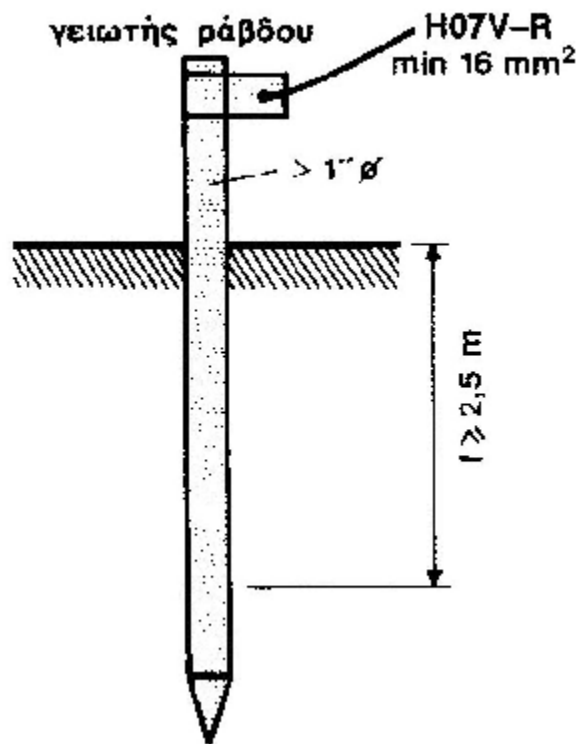
Γείωση προστασίας, είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος για παράδειγμα η γείωση του κελύφους μιας μεταλλικής συσκευής. Η γείωση προστασίας μειώνει τις τάσεις επαφής. Είναι πάντα συνεχής και παρεμβάλλεται από αντιστάσεις ή διάκενα.

Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας, είναι ανοικτή ή συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς την γη. Ανοικτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση και παρεμβάλλεται και ένας σπινθηριστής.

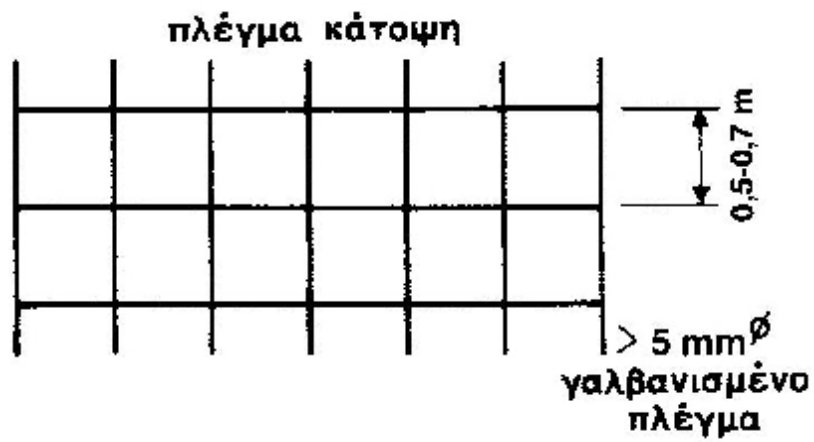
Τα τρία είδη γειώσεων συνυπάρχουν συνηθώς στις εγκαταστάσεις. Μπορεί οι γειωτές που χρησιμοποιούνται να είναι κοινά με κοινά ηλεκτρόδια και για τα τρία είδη. Προτιμότερο είναι και τα τρία είδη γειώσεων να καταλήγουν στο ίδιο ηλεκτρόδιο ή στην εγκατάσταση γείωσης.

Σε έναν υποσταθμό ο βασικός ρόλος της γείωσης είναι η προστασία των ανθρώπων από τάσεις επαφής. Τάση επαφής εννοούμε την τάση μεταξύ δυο μεταλλικών σημείων ή ενός μεταλλικού σημείου και του εδάφους που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος. Σε έναν υποσταθμό θεωρείται ως καλύτερη γείωση η θεμελιακή γείωση. Η διατομή του αγωγού γείωσης καθορίζεται από την αντοχή του αγωγού αυτού στο προσδοκώμενο ρεύμα κατά τη διάρκεια μονοφασικού βραχυκυκλώματος και για όσο χρόνο διαρκεί αυτό το βραχυκύκλωμα. Όταν δεν είναι εφικτή η υλοποίηση θεμελιακής γείωσης τότε κατασκευάζονται τρίγωνα γείωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντίσταση γείωσης για την μέση τάση πρέπει να είναι μικρότερη των 40 Ω και για τη χαμηλή τάση μικρότερη των 10 Ω.

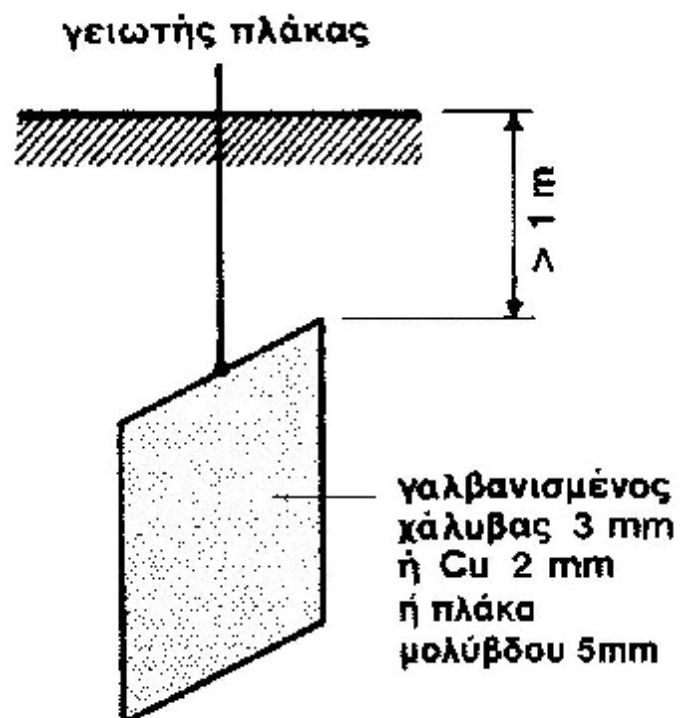
Ειδικά σε παροχές τύπου Α απαιτείται επιπλέον η κατασκευή ισοδυνμικού πλέγματος στο χώρο του υποσταθμού για την αποφυγή τάσεων επαφής. Οι δυο γειώσεις πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους που σημαίνει ότι πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 20 μετ. η μια από την άλλη που είναι πρακτικά δύσκολο. Για το λόγο αυτό πρέπει να κατασκευάζονται σε κοινή γείωση με αντίσταση μικρότερη του 1 Ω.



Σχήμα 20 Γειωτής Ράβδου.

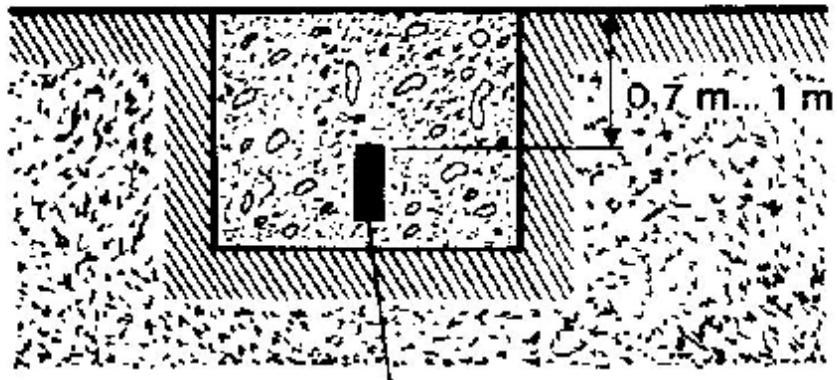


Σχήμα 21 Γειωτής πλέγματος.



Σχήμα 22 Γειωτής πλάκας.

γειωτής ταινίας



ταινία 30 x 4 mm² από
γαλβανισμένο, ή επιμολυβδομένο
ή επιχαλκωμένο χάλυβα

Σχήμα 23 Γειωτής πλάκας (θεμελιακή γείωση).

Μελέτη ιδιωτικού Υποσταθμού Μέσης Τάσης

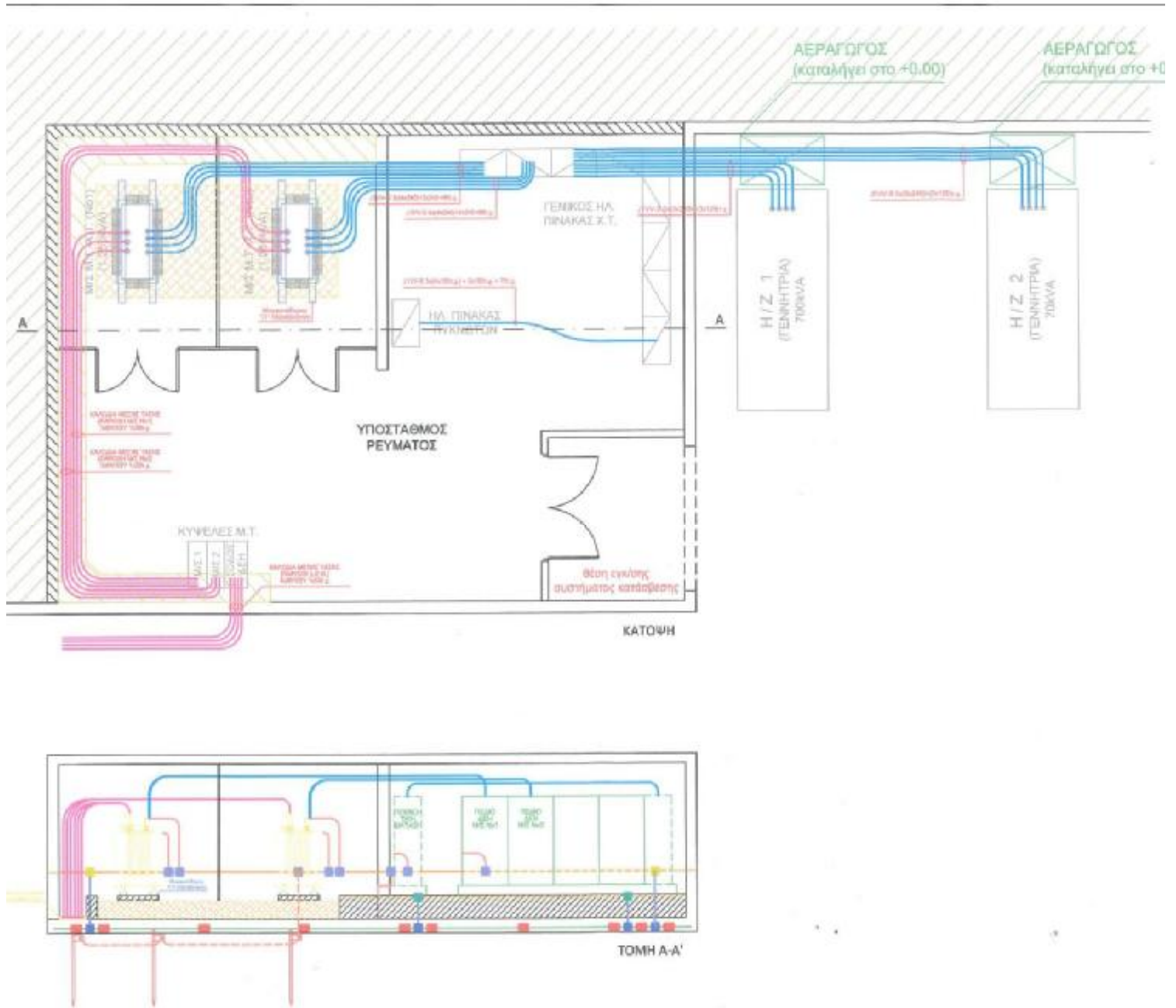
Συγκεκριμένα στην μελέτη θα εστιάσουμε στην χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη ισχύος μέσης τάσης ο οποίος βρίσκεται πάνω στον ένα μετασχηματιστή από τους δυο διότι ο ένας τροφοδοτεί την εγκατάσταση προσωρινά και ο δεύτερος θα χρησιμοποιηθεί για μελλοντικά φορτία της εγκατάστασης τα οποία είναι σχεδιασμένα να εφαρμοστούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

5.1 Κάτοψη Υποσταθμού (ισχυρά ρεύματα).

Όπως βλέπουμε τα ηλεκτροπαράγωγα ζεύγη σε περίπτωση διακοπής του δικτύου από την ΔΕΗ θα μπορέσουν να τροφοδοτήσουν ένα μέρος της εγκατάστασης για τα πιο κρίσιμα φορτία ώστε να μην υπάρξουν σοβαρά προβλήματα στην επιχείρηση και κυρίως στους ανθρώπους οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο κτίριο. Υπάρχει και ηλεκτρικός πίνακας πυκνωτών ώστε να παρέχει στο δίκτυο αντιστάθμιση για την αποφυγή άεργων ρευμάτων στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Τα παροχηκά καλώδια μέσης τάσης **3x NYXSJ 1x50mm²** οδηγούνται στις κυψέλες οι οποίες μας δίνουν τον σωστό έλεγχο των μετασχηματιστών με υπόγεια εγκατάσταση. Στην συνέχεια με διάτρητα κανάλια κατευθύνονται προς τους μετασχηματιστές με σωστή τοποθέτηση και σύνδεση στους ακροδέκτες των μετασχηματιστών οι οποίοι είναι στα **1.250 KVA** ο ένας.

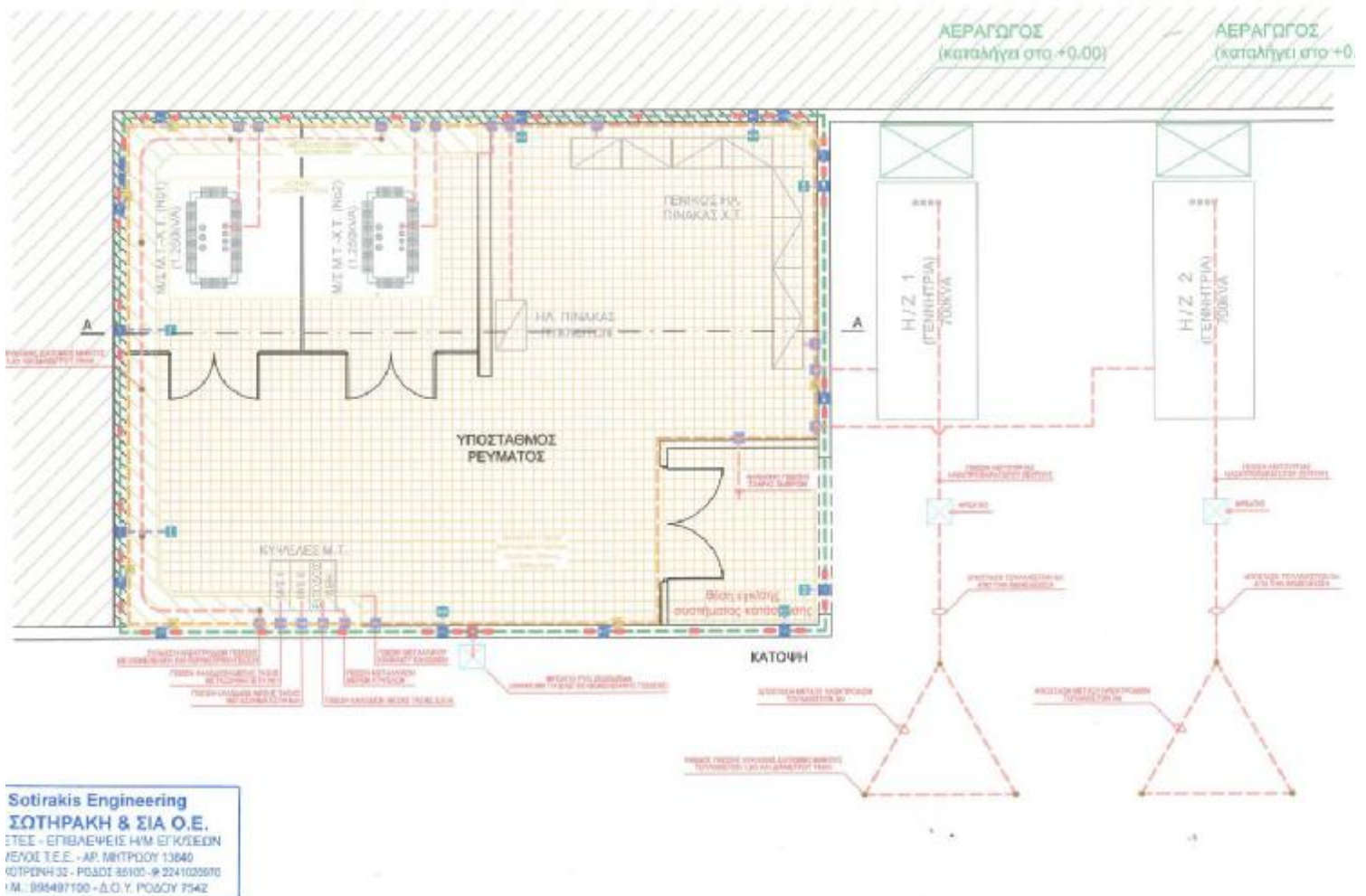
Στην χαμηλή τάση δηλαδή μετά την έξοδο των μετασχηματιστών καλώδια **3x(4x240)+2x240+95mm²** φεύγουν με διάτρητα κανάλια και πηγαίνουν στο πεδίο της χαμηλής τάσης που εκεί έχουμε τον γενικό καταμερισμό των φορτίων και την σύνδεση των ηλεκτροπαράγωγων ζευγών και την παράλληλα πυκνωτική διάταξη.



Σχήμα 24 Πολυγραμικό σχέδιο υποσταθμού.

5.2 Κάτοψη Υποσταθμού (με προστασία γείωσης).

Εδώ υπάρχει σε όλο των υποσταθμού **βηματική γείωση** με μεταλλικό πλέγμα 20x20cm / Φ6mm σε βάθος 5cm , **περιμετρική γείωση** με διάφορες αναμονές σε σημεία στα οποία θα τοποθετηθούν τα μεταλλικά αντικείμενα όπως τα κανάλια ,οι μετασχηματιστές, τα μεταλλικά μέρει των κυψελών , το πεδίο των πυκνωτών και το πεδίο της χαμηλής τάσης. Επίσης την γείωση των καλωδίων μέσης τάσης των μετασχηματιστών και των καλωδίων μέσης τάσης της ΔΕΗ κάθε ένα ξεχωριστά συνδεδεμένο στην γείωση τις κυψέλης , όλα αυτά είναι συνδεδεμένα στα **ηλεκτρόδια γείωσης** που υπάρχουν στον χώρο όπως φαίνεται στο **σχήμα 24** πιο πάνω . Το κάθε ηλεκτροπαράγωγό ζεύγος έχει την δική του ξεχωριστή γείωση σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 μέτρων από τα ηλεκτρόδια γείωσης.



Σχήμα 25 Υποσταθμός

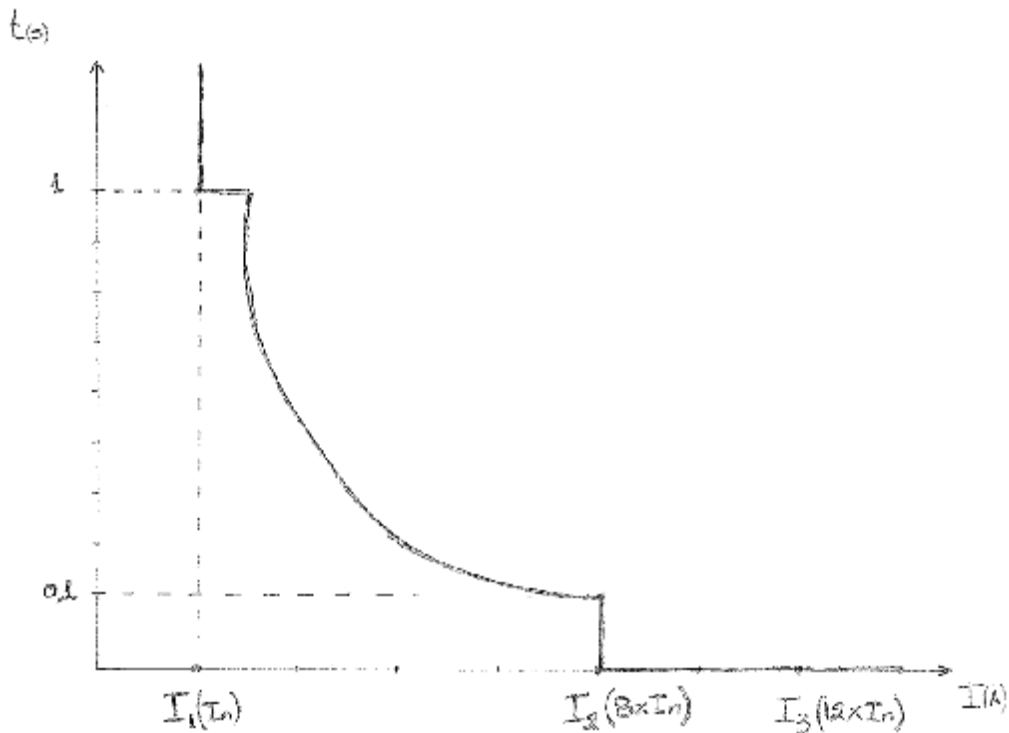
5.3 Μελέτη χαρακτηριστικής αυτόματου διακόπτη

Έχουμε αυτόματο διακόπτη ισχύος χαμηλής τάσης (400V) με ενσωματωμένο ηλεκτρομηχανικό ρελέ για προστασία έναντι υπερφορτίσεων τετραπολικός των **2000 A** (**4x2000A**) με ανοχή στα **40kA** και με ρυθμιζόμενο χρόνο t_1 και t_2 .

Ονομαστικό ρεύμα αυτόματου διακόπτη $I_n=2000\text{ A}$ (I_1)

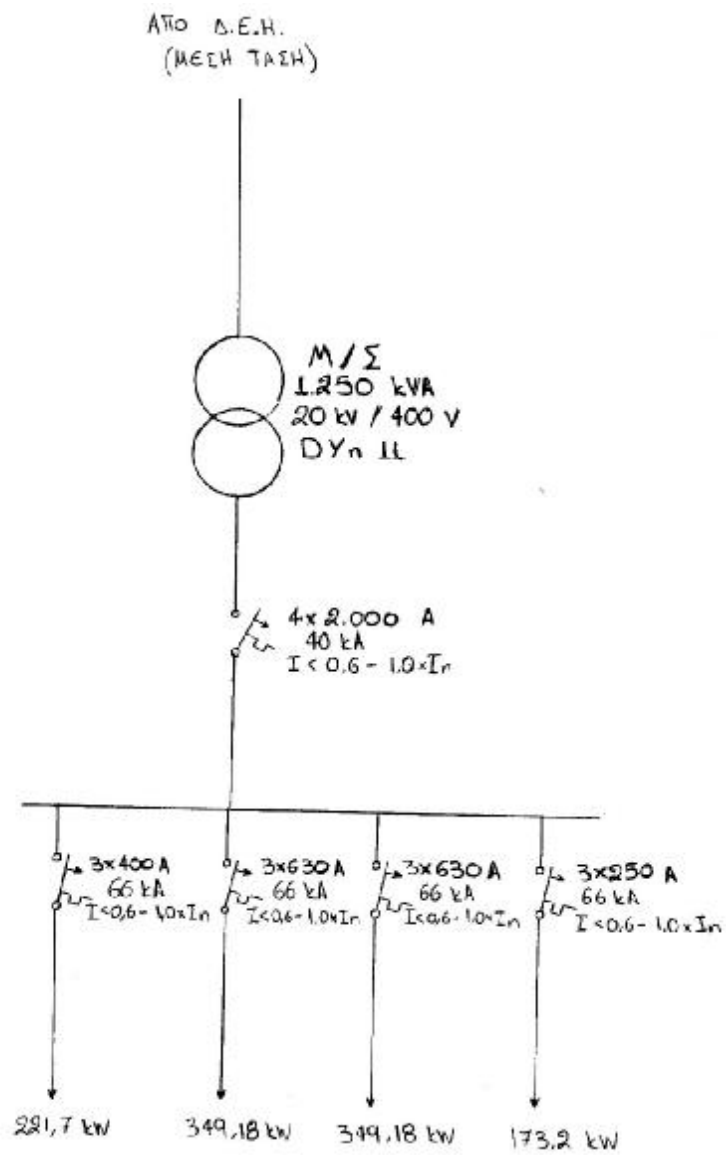
Ρυθμιζόμενο ρεύμα αυτόματου διακόπτη $8 \times I_n$ (I_2)

Μέγιστο ρεύμα αυτόματου διακόπτη $12 \times I_n$ (I_3)



Σχήμα 27. Διάγραμμα Χαρακτηριστικής καμπύλης αυτόματου διακόπτη ισχύος.

Μονογραμμικό κύκλωμα ισχύος του ενός μετασχηματιστή με τους ζυγούς.



Σχήμα 28. Σκίτσο μονογραμμικού κυκλώματος ισχύος.

$$P_{\text{о}\lambda} = 221,7 + 349,18 + 349,18 + 173,2 = \mathbf{1.093,26 \text{ kW}}$$

$$Q_{\text{о}\lambda} = 3,6 + 5,67 + 5,67 = \mathbf{14,94 \text{ Kvar}}$$

$$S = \sqrt{(P_{\text{о}\lambda}^2 + Q_{\text{о}\lambda}^2)} = \sqrt{(1.093,26^2 + 14,94^2)} = \mathbf{1.093,362 \text{ kVA}}$$

$$I_{\text{гп}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{1.093,362}{692,82} = \mathbf{1.578,13 \text{ A}}$$

$$I_{\text{MT}} = \frac{1.578,13}{\alpha} = \frac{1.578,13}{20/0,4} = \frac{1.578,13}{50} = \mathbf{31,56 \text{ A}}$$

Στην μεριά της μέσης τάσης έχουμε αυτόματο διακόπτη ισχύος των **24kV/630A/12.5kA** εξαφθοριουχου θείου οι λεγόμενοι **SF6**.

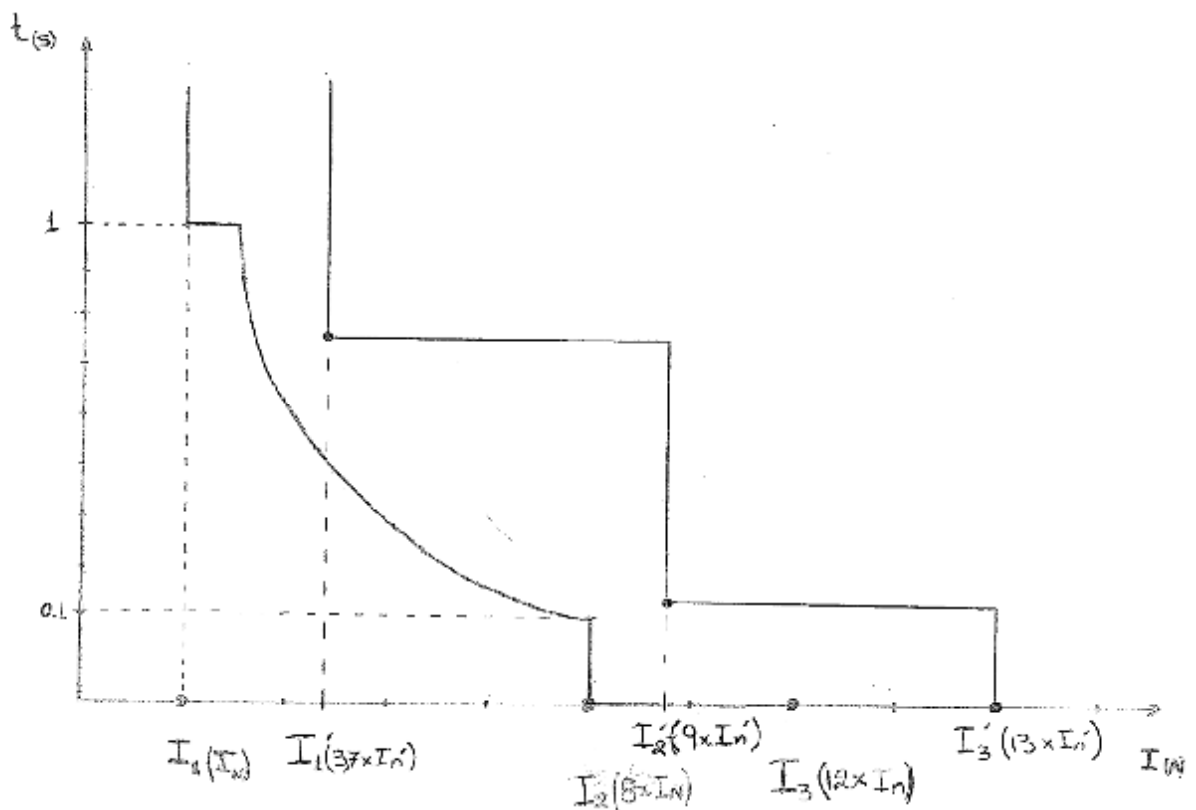
Με βάση την καμπύλη του αυτομάτου διακόπτη ισχύος χαμηλής τάσης η χαρακτηριστική του αυτομάτου διακόπτη ισχύος μέσης τάσης ρυθμίζετε ως εξής:

Ρεύμα αυτόματου διακόπτη $I_n' = 31,56 \text{ A}$

$I_1' (3,7 \times I_n')$

$I_2' (9 \times I_n')$

$I_3' (13 \times I_n')$



Σχήμα 29 Σκίτσο, χαρακτηριστικές αυτόματων διακοπών μέσης και χαμηλής τάσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ιστορική Αναδρομή και Δομή Μετασχηματιστών, <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=89> , (22/11/18).
- [2] Είδη Παροχών ΔΕΗ, https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2016/12/blog-post_33.html , (10/11/18).
- [3] Είδη Μετασχηματιστών, <http://www.electroniccircuits.gr/metaximatistes.html> , (1/12/18).
- [4] Πληροφορίες, <https://www.ti-soft.com/el/support/help/electrical/knowledgebase> , (23/12/18).
- [5] <http://www.deddie.gr/Documents2/DIAVOULEYSEIS/DD%20TRIFASIKOI%20MS%20DIANOMHS/%CE%A4%CE%A0%20%CE%9C%CE%A3%20%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%97%CE%A3%202014.pdf> (25/12/18).
- [6] Πέτρος Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Α' Έκδοση , ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, 2005.
- [7] Παντελής Β.Μαλατέστας , Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας , 2^η Έκδοση , ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2016.
- [8] Βασίλης Δ.Μπιτζιώνης , Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις , 2^η Έκδοση , ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2015.
- [9] Εικόνες , <https://www.google.com/search?q>
- [10] Εικόνα, <http://www.kmelkat.gr/erga/item/513-mesi-tasi-meros-8o-kalodia> (2/1/19).

