

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1432

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΑΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ

ΓΡΑΜΜΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Μ.Τ. (20kV)

ELECTRICAL STUDY OF 20kV DISTRIBUTION

LINE

ΣΠΙΝΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, Α.Μ :5824

ΠΟΤΑΜΙΤΗΣ ΜΑΛΑΦΟΥΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Α.Μ:5619

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΙΜΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την ηλεκτρολογική μελέτη μιας νέας γραμμής διανομής 20kV, η οποία θα προκύψει από την τροποποίηση υφιστάμενων γραμμών και τη δημιουργία νέων τμημάτων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται ο υπολογισμός της πτώσης τάσης της γραμμής στο χείριστο σημείο της γραμμής και γίνεται υπολογισμός του μέγιστου και του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την ηλεκτρολογική μελέτη μιας νέας γραμμής διανομής 20kV, η οποία θα προκύψει από την τροποποίηση υφιστάμενων γραμμών και τη δημιουργία νέων τμημάτων. Πιο συγκεκριμένα:

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια εκτενής περιγραφή του ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια περιγράφονται οι διάφορες τοπολογίες των δικτύων, οι αγωγοί και τα μέσα ζεύξης και προστασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός της πτώσης τάσης της γραμμής στο χειρίστο σημείο της, το οποίο βρέθηκε κατόπιν υπολογισμών σε όλο το μήκος της. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλη τη γραμμή, όχι μόνο η πτώση τάσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 8% (υπόταση (18,4kV)), αλλά και να μην υπάρχει ούτε και υπέρταση (21,6kV).

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται υπολογισμός του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης της γραμμής στο χειρίστο σημείο της γραμμής το οποίο χρειάζεται για τη ρύθμιση των μέσων προστασίας της γραμμής. Επίσης υπολογίζεται το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που εμφανίζεται στους ζυγούς 20kV, ώστε να γίνει υπολογισμός της ισχύς βραχυκύκλωσης, η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 250MVA.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	vi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	1
1.1. Βασικά μεγέθη του δικτύου ηλεκτρισμού	1
1.2. Μέση τάση	1
1.3. Τύποι παροχών μέσης τάσης	2
1.3.1. Παροχή τύπου A1 και A2	3
1.3.2. Παροχή τύπου B1 και B2	3
1.4. Δίκτυα μέσης τάσης	4
1.4.1. Ακτινικά δίκτυα	4
1.4.2. Βροχοειδή δίκτυα	5
1.5. Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα	6
1.6. Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα	7
1.7. Υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης	8
1.8. Συντήρηση κύριου εξοπλισμού	11
1.8.1. Διακόπτες SF6	11
1.8.2. Μετασχηματιστής λαδιού	11
1.8.3. Έλεγχος λαδιού κάθε χρόνο	11
1.8.4. Μετασχηματιστής ξηρού τύπου	12
1.9. Συντήρηση του βοηθητικού εξοπλισμού	12
1.9.1. Συσσωρευτές μολύβδου	12
1.9.2. Συσσωρευτές καδμίου - νικελίου	13
1.9.3. Φορτιστές	13
1.10. Απώλειες χαλκού και σιδήρου	13
1.11. Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος	14
1.12. Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος.....	15
1.13. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή	17
1.14. Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση	18
1.15. Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα	22

1.16.	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού 23	
1.17.	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης	26
1.18.	Καλώδια Μέσης Τάσης.....	29
1.18.1.	Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος....	31
1.18.2.	Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες	32
1.18.3.	Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης.....	34
1.19.	Διακόπτες ισχύος.....	37
1.20.	Διακόπτες ισχύος επί φορείου	39
1.21.	Τα μέρη του διακόπτη ισχύος	40
1.22.	Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος.....	42
1.22.1.	Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση .42	
1.22.2.	Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα 43	
1.22.3.	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6	44
1.22.4.	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου 44	
1.23.	Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης.....	45
1.24.	Διακόπτης φορτίου	46
1.25.	Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC	46
1.25.1.	Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου	48
1.26.	Διακόπτης Απομόνωσης.....	49
1.27.	Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς (Δ/ΑΕ).....	51
1.27.1.	Τριπολικοί Δ/ΑΕ	51
1.27.2.	Δ/ΑΕ Ξηρού Τύπου	54
1.27.3.	Μονοπολικοί Δ/ΑΕ.....	55
1.27.4.	Recloser Control του Δ/ΑΕ.....	56
1.28.	Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC)	60
1.28.1.	Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC	62
1.29.	Ρύθμιση Τάσης (Voltage Regulation)	63
1.29.1.	Ρύθμιση τάσης σε παθητικά δίκτυα	64
1.29.2.	Συμβατικά μέσα ρύθμισης τάσης	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	70
2.1. Υπολογισμού της πτώσης τάσης σε γραμμή διανομής	70
2.2. Περιγραφή της νέας γραμμής διανομής	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΖΥΓΟ ΤΩΝ 150kV ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ R22 ΜΗΚΟΥΣ 16.32Km.....	83
3.1 Γενικά στοιχεία για τους υπολογισμούς	83
3.2 Τα στοιχεία της γραμμής.....	84
3.2.1 Καλώδια ΜΤ.....	84
3.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά ΜΣ Υ.Τ 150/20 kV	85
3.3 Υπολογισμός των στοιχείων ανοιγμένα στην Μέση Τάση	86
3.3.1 Σύστημα	86
3.3.2 Μετασχηματιστής.....	86
3.3.3 Εναέριοι αγωγοί Μ.Τ.	86
3.4 Υπολογισμός ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης	87
3.5 Υπολογισμός μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την αξιοποίηση διαφορετικών πρωτογενών πηγών ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιγνίτης, λιθάνθρακας, κλπ.), οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή άλλες σύγχρονες τεχνολογίες (μεγάλα υδροηλεκτρικά, αντλησιοταμίευση, κλπ.).

Το τελικώς χρησιμοποιούμενο μίγμα καυσίμων διαφέρει από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους, την εκάστοτε εθνική ενεργειακή πολιτική και στρατηγική που ακολουθείται, τις γεωλογικές, γεωφυσικές, κλιματολογικές, και λοιπές ιδιαιτερότητες αυτής. Το ποσοστό συμμετοχής του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ιδιαίτερα υψηλό σε κάποιες αραβικές πετρελαιοπαραγωγικές χώρες, αλλά η γενικότερη χρήση του στην ηλεκτροπαραγωγή έχει περιοριστεί σημαντικά κατά τις τελευταίες 2 – 3 δεκαετίες. Το φυσικό αέριο αντιθέτως εμφανίζει αυξητικό ποσοστό συμμετοχής στο ενεργειακό μίγμα χωρών της Ευρώπης κατά τα τελευταία χρόνια (Ολλανδία, Ισπανία, Ιρλανδία, Ελλάδα, κλπ.).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς καύσης λιγνίτη (50%). Ακολουθούν οι σταθμοί χρήσης φυσικού αερίου (25%), οι ΑΠΕ και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (17%) και οι πετρελαϊκοί σταθμοί (8%). Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται σημαντικότερο τμήμα της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς σταθμούς. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά της χώρας, έναντι της αυξημένης κατανάλωσης στο Νότο, δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία του Συστήματος. Ο σχεδιασμός τους ωστόσο βασίστηκε κατά τις προηγούμενες δεκαετίες στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη ύλη για αυτούς τους σταθμούς. Κατά την τελευταία δεκαετία, η σταδιακή διεύρυνση του φυσικού αερίου στο ισοζύγιο ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη σημαντικού αριθμού σύγχρονων μονάδων καύσης του ευγενούς καυσίμου, με υψηλή απόδοση και μειωμένες εκπομπές αέριων ρύπων στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Λειτουργού της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας - ΛΑΓΗΕ Α.Ε. (Μηνιαίο Δελτίο Συστήματος Συναλλαγών ΗΕΠ Ιουνίου 2013), για την καθαρή ισχύ των μονάδων του Διασυνδεδεμένου Συστήματος, οι λιγνιτικές ανέρχονταν σε 4456 MW,

οι πετρελαϊκές σε 698 MW, οι μονάδες φυσικού αερίου σε 4906 MW, οι μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες (ΥΗΕ) σε 3017 MW και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) σε 4205 MW. Το σύνολο των θερμικών μονάδων ξεπερνά τα 10.000 MW (10.060 MW), ενώ το σύνολο των μονάδων ΑΠΕ και ΥΗΕ φθάνει τα 7.222 MW. Η συνολική καθαρή ισχύς του συνόλου των μονάδων του Διασυνδεδεμένου Συστήματος, ανέρχεται σε 17.282 MW.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους σταθμούς παραγωγής, αρχικώς μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη Χαμηλή Τάση του ρεύματος σε Υψηλή Τάση. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσω γραμμών μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως εγκατεστημένοι μακριά από τα αστικά κέντρα. Το Δίκτυο Μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια υπό Υψηλή Τάση στους Υποσταθμούς Μέσης και Χαμηλής τάσης, και εκεί μετατρέπεται (υποβιβάζεται) σε Μέση και Χαμηλή Τάση, προκειμένου, με τη βοήθεια εναέριων και υπόγειων γραμμών να διανεμηθεί τελικώς σε βιομηχανίες και μεγάλους εμπορικούς καταναλωτές που χρησιμοποιούν Μέση Τάση και σε κατοικίες ή λοιπούς μικρούς καταναλωτές, που χρησιμοποιούν Χαμηλή Τάση.

Το Σύστημα Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς (Υ/Σ) μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται υπό Υψηλή Τάση, μέσω του δικτύου Υψηλής (150kV) και Υπερ-υψηλής (400kV) Τάσης, για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν Χαμηλή Τάση (220/380V,) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη Μέση Τάση, δηλαδή στα 20 kV του Δικτύου.

Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, εκκινούν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής, όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι τελικοί καταναλωτές. Τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι:

- Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
- Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
- Αγωγοί, κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο.

Το Δίκτυο Διανομής, περιλαμβάνει:

- το δίκτυο διανομής Μέσης Τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους Υποσταθμούς μεταφοράς στους Υποσταθμούς διανομής.
- το δίκτυο διανομής Χαμηλής Τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους Υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

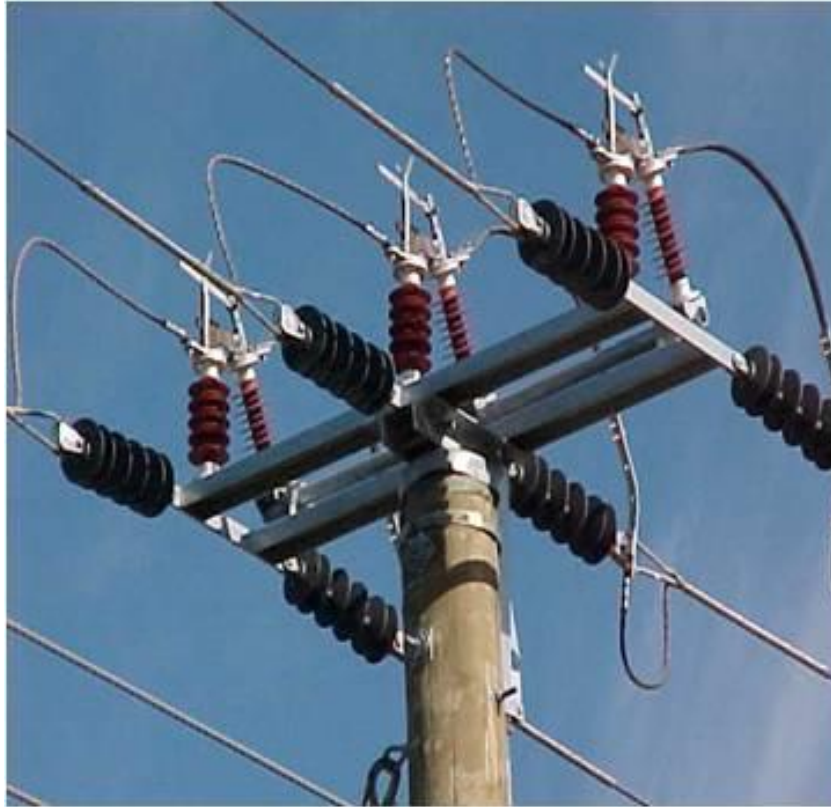
ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1. Βασικά μεγέθη του δικτύου ηλεκτρισμού

- **110.750 χλμ.** Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- **124.575 χλμ.** Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).
- **160.575** Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- **945χλμ.** Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων **200χλμ** στην Αττική και **745χλμ** στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- **225** Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), εκ των οποίων 19 κλειστού τύπου, κατανεμημένοι 199 στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και 26 στα μη Διασυνδεδεμένα νησιά.
- **7.425.244 Πελάτες** (11.418 ΜΤ & 7.413.826 ΧΤ).
- **42.597 GWH Καταναλώσεις Πελατών** (10.818 στη ΜΤ & 31.779 στη ΧΤ).

1.2. Μέση τάση

Στη μέση τάση εντάσσονται εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, με ονομαστική πολική τάση 1000 V και έως 35 kV τριφασικού συστήματος ή άνω των 1400 V και έως 50 kV ονομαστικής τάσης συνεχούς ρεύματος. Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή γίνεται συνήθως από το δίκτυο μέσης τάσης αν ο καταναλωτής έχει προβλεπόμενη ισχύ μεγαλύτερη από 135 kVA. Ακόμα όμως και σε μικρότερες ισχείς, η σύνδεση με την μέση τάση μπορεί να επιβάλλεται από τη ΔΕΗ για τεχνικούς λόγους ή αν συμφέρει οικονομικά λόγω τιμολογίου.



Εικόνα 1:Μια γραμμή Μέσης Τάσης

1.3. Τύποι παροχών μέσης τάσης

Η ΔΕΗ έχει τυποποιήσει τέσσερις τύπους παροχών μέσης τάσης που αναφέρονται στον παρακάτω Πίνακα **Παροχή τύπου A1 και A2** Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο των 20 kV και είναι η απλούστερη σε διατάξεις. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, δηλαδή ασφαλειοαποζεύκτης, Μ/Σ μέτρησης έντασης και τάσης είναι πάνω σε στύλο, δηλαδή υπαίθρια. Οι μετρητές ενέργειας τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Από το στύλο αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον υποσταθμό του καταναλωτή, την οποία κατασκευάζει ο καταναλωτής. Η παροχή A1 ασφαλίζεται με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης μέχρι 30 A. Η παροχή A2 διαφέρει από την A 1 στο ότι χρησιμοποιεί διακόπτη απομόνωσης αντί ασφαλειοαποζεύκτη. Παροχή τύπου B1 και B2 Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές με αυξημένη ζήτηση ισχύος και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού τύπου. Ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να διαθέσει στη ΔΕΗ ένα χώρο διαμορφωμένο σύμφωνα με τις οδηγίες της ΔΕΗ. Στο χώρο αυτό η ΔΕΗ εγκαθιστά έναν προκατασκευασμένο πίνακα 20 kV που περιλαμβάνει εκτός των διακοπών, τους Μ/Σ μέτρησης και τους

μετρητές ενέργειας. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται κατά κανόνα ακτινικά, αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο ή βροχοειδώς, αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στη βροχοειδή σύνδεση έχουμε δύο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από τον προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο της παροχής οδηγεί στον επόμενο καταναλωτή.

Πίνακας 1: Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ		
Τύπος	Εγκατάσταση μέτρησης	Μέγιστη ισχύς μετασχηματιστή
A1	Εξωτερικά (υπαίθρια)	630 Kva
A2	Εξωτερικά (υπαίθρια)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ
B1	Εσωτερικά (στεγασμένη)	1250 Kva
B2	Εσωτερικά (στεγασμένη)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο ΜΤ

1.3.1. Παροχή τύπου A1 και A2

Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο των 20 kV και είναι η απλούστερη σε διατάξεις. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, δηλαδή ασφαλειοαποζεύκτης, μετασχηματιστής μέτρησης έντασης και τάσης είναι πάνω σε στύλο, δηλαδή υπαίθρια. Οι μετρητές ενέργειας τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Από το στύλο αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον υποσταθμό του καταναλωτή, την οποία κατασκευάζει ο καταναλωτής. Η παροχή A1 ασφαλίζεται με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης 30 A. Η παροχή A2 διαφέρει από την A1 στο ότι χρησιμοποιεί διακόπτη απομόνωσης αντί ασφαλειοαποζεύκτη.

1.3.2. Παροχή τύπου B1 και B2

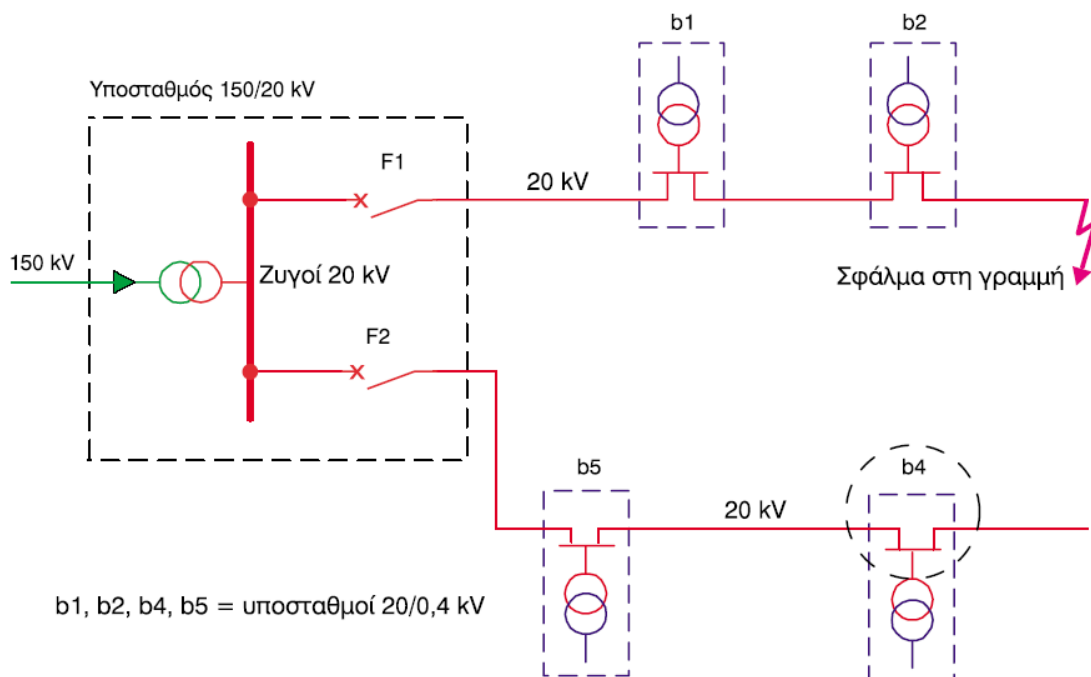
Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές με αυξημένη ζήτηση ισχύος και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού τύπου. Ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να διαθέσει στη ΔΕΗ ένα χώρο διαμορφωμένο σύμφωνα με την οδηγία της ΔΕΗ. Στο χώρο αυτό η ΔΕΗ εγκαθιστά έναν προκατασκευασμένο πίνακα 20 kV που περιλαμβάνει εκτός των διακοπών, τους μετασχηματιστές μέτρησης και τους μετρητές ενέργειας. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται κατά

κανόνα ακτινικά, αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο ή βροχοειδώς, αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στη βροχοειδή σύνδεση έχουμε δύο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από τον προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο της παροχής οδηγεί στον επόμενο καταναλωτή.

1.4. Δίκτυα μέσης τάσης

1.4.1. Ακτινικά δίκτυα

Στα ακτινικά δίκτυα οι γραμμές των 20 kV (συνήθως εναέριες) αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ και απλώνονται σαν τις ακτίνες ενός κύκλου, απ' όπου και τ' όνομά τους, δηλαδή ακτινικά. Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται οι καταναλωτές Μέσης Τάσης. Κάθε καταναλωτής Μέσης Τάσης πρέπει να διαθέτει το δικό του ιδιωτικό υποσταθμό για να μπορέσει να συνδεθεί με ασφάλεια στο δίκτυο της Μέσης Τάσης. Βασικό μειονέκτημα των ακτινικών δικτύων είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος κατά μήκος της γραμμής, ο διακόπτης ισχύος (circuit-breaker) F1 που υπάρχει στην αρχή της γραμμής ανοίγει με αποτέλεσμα όλοι οι καταναλωτές που υπάρχουν κατά μήκος της γραμμής να μείνουν χωρίς τάση.



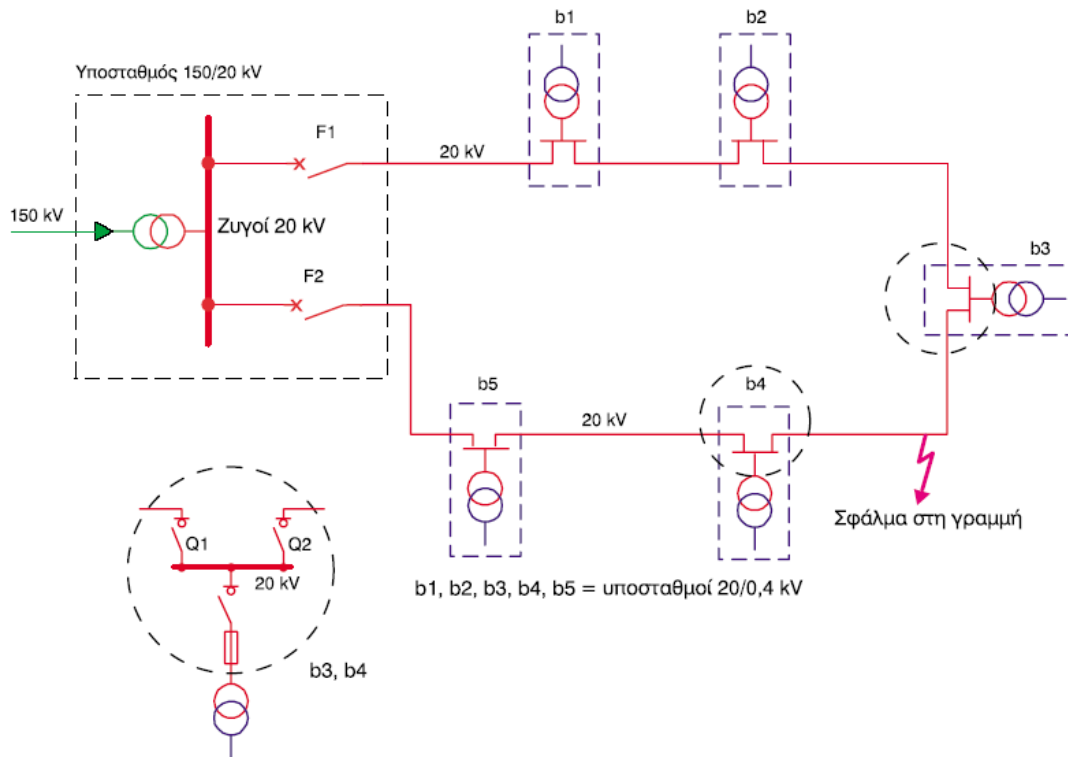
Εικόνα 2:Μορφή ακτινικού δικτύου διανομής

Οι συνέπειες της απώλειας της μέσης τάσης για τους καταναλωτές είναι κρίσιμες και, πολλές φορές, επικίνδυνες. Στην περίπτωση εγκαταστάσεων με ηλεκτρικά φορτία που δεν πρέπει να μείνουν πολύ χρόνο εκτός λειτουργίας, Π.χ νοσοκομεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, ψυγεία, χημικές βιομηχανίες κ.λπ., η απώλεια της μέσης τάσης αντιμετωπίζεται με την ύπαρξη ενός τοπικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (ντηζελομηχανή και γεννήτρια 400 V). Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει τα κρίσιμα φορτία της εγκατάστασης, μέχρι την αποκατάσταση του σφάλματος και την επαναφορά της μέσης τάσης στο δίκτυο της ΔΕΗ. Για το λόγο αυτό τα ακτινικά δίκτυα δεν είναι πολύ διαδεδομένα στη μέση τάση. Αντίθετα, στη χαμηλή τάση, το σύνολο των δικτύων είναι ακτινικού τύπου.

1.4.2. Βροχοειδή δίκτυα

Το βασικό μειονεκτήματα των ακτινικών δικτύων ξεπερνιέται με τα βροχοειδή δίκτυα. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα ,οι γραμμές των 20 kV (εναέριες ή υπόγεια καλώδια) που αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ, σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει στους ζυγούς των 20 kV του υποσταθμού 150/20 kV. Κατα μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές b1, b2, b3, b4, b5. Ο βρόχος προστατεύεται στις δύο άκρες του με τους διακόπτες ισχύος F1, F2. Σε περίπτωση σφάλματος σε κάποιο σημείο του βρόχου, Π.χ στο τμήμα b3, b4 λειτουργούν οι προστασίες των διακοπών F1, F2, οι διακόπτες ανοίγουν και ο βρόχος μένει χωρίς τάση.

Αφού εντοπίσουμε τη θέση του σφάλματος, ανοίγουμε τους διακόπτες φορτίων Q1 στο b3 και Q2 στο b4 και απομονώνουμε το τμήμα b3, b4. Ξανακλείνουμε τους διακόπτες F1, F2 και επανέρχεται η μέση τάση στο δίκτυο. Το βροχοειδές δίκτυο τώρα λειτουργεί σαν δύο ακτινικά δίκτυα. Τα συνεργεία αποκαθιστούν τη ζημιά, οι διακόπτες φορτίου Q1, Q2 ξανακλείνουν και ο βρόχος επανέρχεται στην κανονική του λειτουργία.



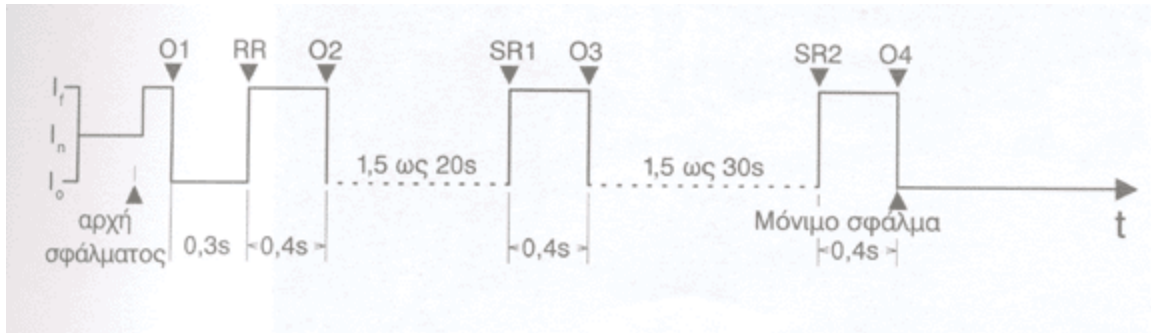
Εικόνα 3:Μορφή βροχοειδούς δικτύου διανομής

1.5. Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα

Τους χειμερινούς μήνες, ο δυνατός άνεμος ή ο σχηματισμός πάγου μπορεί να φέρουν σε επαφή τους αγωγούς των εναέριων γραμμών, δημιουργώντας στιγμιαία ένα προσωρινό βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων ή μεταξύ φάσης και γης. Τους καλοκαιρινούς μήνες, η αστοχία στη μόνωση των ραγισμένων μονωτήρων σε συνδυασμό με τη σκόνη που επικάθεται στους μονωτήρες δημιουργεί υπερπηδήσεις που προκαλούν βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσης και γης. Τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα είναι αυτο-καθαριζόμενα. Για παράδειγμα, ή έντονη ζέστη που δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο έχει σαν αποτέλεσμα να καθαρίσει τη διαδρομή του ρεύματος, Π.χ να λιώσει ο πάγος, με συνέπεια την αποκατάσταση της μόνωσης.

Εν τω μεταξύ η προστασία της γραμμής έχει δώσει εντολή και ο διακόπτης ισχύος στην αρχή της γραμμής ανοίγει (πολλές φορές λέμε πέφτει αντί ανοίγει). Η εμπειρία μας έχει δείξει ότι τις περισσότερες φορές η απλή επαναφορά της τάσης με το ξανακλείσιμο του διακόπτη ισχύος είναι αρκετή για να επαναφέρει το δίκτυο στην κανονική του κατάσταση. Έτσι, είναι δυνατόν να βελτιώσουμε την αξιοπιστία των

εναέριων δικτύων δίνοντας απλά εντολή στο διακόπτη ισχύος να εκτελέσει περισσότερους (συνήθως τρεις) κύκλους λειτουργίας (άνοιγμα-κλείσιμο), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Οι επαναφορές δεν εκτελούνται στα υπόγεια δίκτυα, γιατί τα σφάλματα εκεί είναι κατά κανόνα μόνιμα.



Εικόνα 4: Οι τρεις επαναφορές του δικτύου μέχρι να δοθεί μόνιμο σφάλμα

O	Άνοιγμα διακόπτη
RR	Γρήγορο επανακλείσιμο
SR	Αργό επανακλείσιμο
I_o	Μηδενικό ρεύμα
I_n	Κανονικό ρεύμα γραμμής
I_f	Ρεύμα σφάλματος

1.6. Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα

Στις αστικές περιοχές και ειδικά στα κέντρα των πόλεων τα δίκτυα μέσης τάσης για λόγους αισθητικούς και πρακτικούς δεν μπορούν να είναι εναέρια. Έτσι τα δίκτυα μέσης τάσης κατασκευάζονται υπόγεια χρησιμοποιώντας καλώδια ονομαστικής τάσης 20 kV.

Τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα καλωδίων μερικές φορές οφείλονται στην απροσεξία κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, Π.χ κακές συνδέσεις (μούφες) ή κακό τράβηγμα κατά την εγκατάσταση. Τις περισσότερες φορές οφείλονται σε εκτελούμενες εργασίες από συνεργεία άλλων δημοσίων υπηρεσιών, π.χ. Εταιρεία Ύδρευσης - Αποχέτευσης, που χρησιμοποιούν εκσκαφείς, κομπρεσέρ κ.λπ. Άλλες φορές παρατηρείται λόγω υπερτάσεων, αστοχία στα ακροκιβώτια των καλωδίων 20 kV, στα σημεία που αυτά συνδέονται με εναέριες γραμμές. Οι υπερτάσεις αυτές είναι κατά κανόνα ατμοσφαιρικής προέλευσης

(κεραυνοί). Σε αυτά τα σημεία χρησιμοποιούμε απαγωγείς τάσεις (αλεξικέραυνα), έτσι ώστε το κρουστικό κύμα να εκτονωθεί προς τη γη πριν συναντήσει το υπόγειο καλώδιο.

Τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα είναι πολύ λιγότερα από τα σφάλματα στις εναέριες γραμμές αλλά είναι κατά κανόνα περισσότερο μόνιμα, δηλαδή χρειάζεται πολύ περισσότερος χρόνος για τον εντοπισμό και την αποκατάστασή τους από τα συνεργεία του παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ).

1.7. Υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης

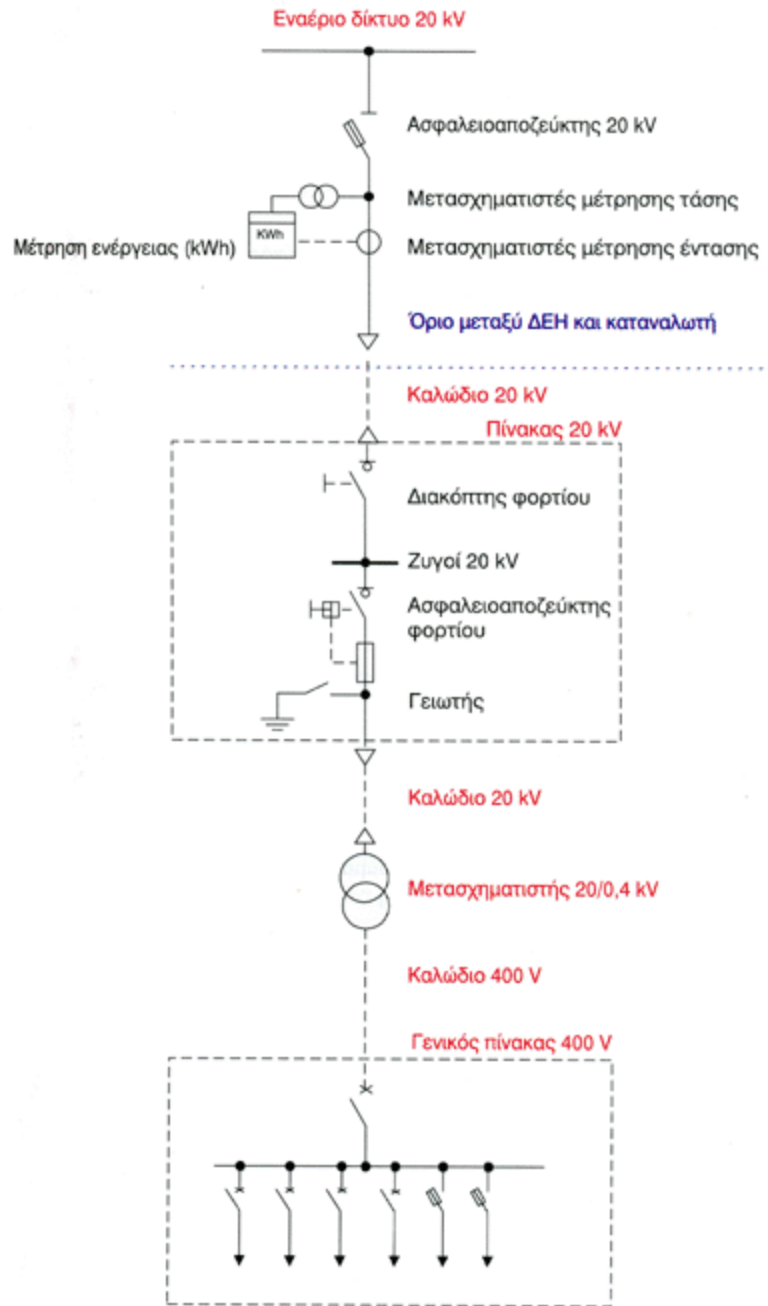
Με τον όρο υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης ή απλά υποσταθμός (γ/Σ) εννοούμε το σύνολο του εξοπλισμού που έχει σαν στόχο τον ασφαλή υποβιβασμό της Μέσης Τάσης (20 kV) σε Χαμηλή Τάση (400 V). Χαμηλή Τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μικρότερη από 1000 V. Μέση Τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μεγαλύτερη από 1000 V και μικρότερη από 30.000 V. Στην Ελλάδα, αλλά και σε όλη την Ευρώπη, η χαμηλή τάση που χρησιμοποιείται είναι η τάση 400/230 V.



Εικόνα 5: Υποσταθμός καταναλωτή Μέσης Τάσης

Όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό διάγραμμα της παρακάτω εικόνας, τα βασικά μέρη ενός υποσταθμού καταναλωτή είναι:

- **Ο Πίνακας 20 kV:** Στον πίνακα 20 kV έρχεται το καλώδιο από το δίκτυο της ΔΕΗ και αναχωρεί το καλώδιο προς το μετασχηματιστή (Μ/Σ). Αν ο υποσταθμός έχει και δεύτερο Μ/Σ τότε για κάθε Μ/Σ υπάρχει ξεχωριστή γραμμή από τον πίνακα 20 kV. Κάθε μετασχηματιστής προστατεύεται με ασφάλειες σκόνης ή διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμους προστασίας.
- **Ο Μετασχηματιστής 20/0,4 kV:** Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση των 20 kV σε τάση διανομής 400 V για τα φορτία του καταναλωτή. Το πρωτεύον τύλιγμά του είναι σε τρίγωνο (Δ) και το δευτερεύον τύλιγμά του σε αστέρα (Υ) με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο.
- **Ο Γενικός Πίνακας 400 V:** Στο γενικό πίνακα 400 V έρχεται το ρεύμα χαμηλής τάσης με τη βοήθεια καλωδίων ή εγκιβωτισμένων ζυγών, αν το ρεύμα είναι πολύ μεγάλο (> 2000 A). Στην άφιξη του πίνακα υπάρχει ένας διακόπτης ισχύος με θερμική και μαγνητική προστασία. Οι αναχωρήσεις προστατεύονται με διακόπτες ισχύος ή τηκτές ασφάλειες και τροφοδοτούν τους πίνακες διανομής 400/230 V που υπάρχουν στην εγκατάσταση του καταναλωτή. Όταν ο Υ/Σ έχει δύο Μ/Σ τότε ο Πίνακας 400 V διαθέτει δύο αφίξεις (εισόδους) και οι ζυγοί του χωρίζονται σε δύο μέρη. Τα δύο μέρη των ζυγών συνδέονται με διακόπτη ισχύος.



Εικόνα 6: Το δίκτυο διανομής στην Ελλάδα

1.8. Συντήρηση κύριου εξοπλισμού

Οι κατασκευαστές του εξοπλισμού του υποσταθμού, συνοδεύουν τον εξοπλισμό με αναλυτικά εγχειρίδια οδηγιών για τη σωστή χρήση αλλά και συντήρησή του. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία συντήρησης για το βασικό εξοπλισμό του υποσταθμού, όπως έχει καθιερωθεί από τη διεθνή πρακτική.

1.8.1. Διακόπτες SF6

Η γενική συντήρηση των διακοπών SF6, γίνεται με βάση τις καταπονήσεις που υπέστησαν και όχι ανά σταθερά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα η γενική επιθεώρηση γίνεται ύστερα από 5.000 λειτουργίες (άνοιγμα-κλείσιμο) με εντάσεις μέχρι την ονομαστική ένταση. Σε περίπτωση λειτουργίας με ρεύμα σφάλματος, καλό είναι να γίνεται έκτακτη επιθεώρηση του διακόπτη. Έκτακτη συντήρηση του διακόπτη γίνεται, αν π.χ. αυτό υποδειχθεί από συσκευή παρακολούθησης της κατάστασής του - εφόσον υπάρχει τέτοια συσκευή - ή αν εμφανιστεί κάποια ανώμαλη συνθήκη στο διακόπτη. Στη γενική συντήρηση ελέγχουμε τα παρακάτω:

- Συνεχής παρακαλούθηση της πυκνότητας (πίεσης) του αερίου SF6
- Δοκιμές καλής λειτουργίας με μηδενικό φορτίο
- Επιθεώρηση του μηχανισμού κίνησης του διακόπτη

1.8.2. Μετασχηματιστής λαδιού

- Οπτικός έλεγχος κάθε τρεις μήνες
- Καθαρίζουμε τη σκόνη από τους μονωτήρες (σκόνη και υγρασία βοηθούν σε υπερπηδήσεις)
- Ελέγχουμε για πιθανή διαρροή λαδιού
- Ελέγχουμε τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.
- Ελέγχουμε την κατάσταση του αφυγραντήρα ως εξής:
 - γαλάζιο χρώμα -> καλή κατάσταση
 - ροζ χρώμα -> πρέπει να αντικαταθεί το Silica Gel (ζελατίνα πυριτίου) ή να ξηρανθεί.

1.8.3. Έλεγχος λαδιού κάθε χρόνο

Το ορυκτό μονωτικό λάδι, σε συνδυασμό με υλικά από κυτταρίνη (χαρτί, ταινίες βαμβακερές κ.λπ.) έχει αποδειχθεί εδώ και 100 χρόνια ως ένας πολύ καλός, συνδυασμός ηλεκτρικής μόνωσης. Παρόλα αυτά, κάθε χρόνο, πρέπει να γίνεται έλεγχος της ποιότητας του λαδιού. Ο έλεγχος γίνεται βάσει δείγματος που παίρνουμε από τη βάνα εκκένωσης του μετασχηματιστή. Το δείγμα πρέπει να είναι τουλάχιστον ένα λίτρο. Τα δοχεία, μπουκάλια, χωνιά που θα χρησιμοποιήσουμε,

πρέπει να είναι καθαρά και στεγνά. Το δοχείο ή μπουκάλι πρέπει να σφραγιστεί ερμητικά μετά το γέμισμα. Αν ο εργαστηριακός έλεγχος, δείξει ότι η διηλεκτρική αντοχή αλλά και τα άλλα χαρακτηριστικά του λαδιού δεν είναι εντάξει, το λάδι πρέπει να αντικατασταθεί ή να αναγεννηθεί με ειδική μηχανή καθαρισμού. Την εργασία αυτή την αναλαμβάνουν εξειδικευμένα συνεργεία. Για την επιμήκυνση της ωφέλιμης ζωής του λαδιού, συνήθως χρησιμοποιούνται πρόσθετα (π.χ TOPANOL σε αναλογία 0,3%), τα οποία αναμιγνύονται με το καινούργιο ή το αναγεννημένο λάδι.

1.8.4. Μετασχηματιστής ξηρού τύπου

Η συντήρηση του μετασχηματιστή ξηρού τύπου είναι μόνο εξωτερική επιθεώρηση μια φορά το χρόνο.

1.9. Συντήρηση του βοηθητικού εξοπλισμού

Κάθε υποσταθμός χρειάζεται για τη λειτουργία του, μια βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, που πρακτικά είναι μια συστοιχία συσσωρευτών και ένας (ή δύο για λόγους ασφαλείας) φορτιστής. Το σύστημα συσσωρευτής - φορτιστής παράγει συνεχές ρεύμα με ονομαστική τάση 24 V, 48 V, 110 V ή 220 V, που χρησιμοποιείται για τους χειρισμούς των διακοπών αλλά και τις ενδείξεις του υποσταθμού. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία συντήρησης των συσσωρευτών.

1.9.1. Συσσωρευτές μολύβδου

Κατά τη συντήρηση των παραδοσιακών συσσωρευτών μολύβδου γίνονται γενικά:

- Καθαρισμός
- Μηνιαίος έλεγχος στεγανοποίησης και στάθμης ηλεκτρολύτη
- Εκφόρτιση και επαναφόρτιση ανά δύο χρόνια με ταυτόχρονη μέτρηση των ηλεκτρικών μεγεθών

Στους ανοικτούς συσσωρευτές μολύβδου ελέγχεται η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ανά μήνα και αυτό αποτελεί μέρος της χωρητικότητας του συσσωρευτή.

Στους κλειστούς συσσωρευτές μολύβδου ελέγχονται οι βαλβίδες τους για τυχόν απώλεια ηλεκτρολύτη. Δε γίνεται μέτρηση της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη.

1.9.2. Συσσωρευτές καδμίου - νικελίου

Στους ανοικτούς συσσωρευτές καδμίου - νικελίου γίνεται έλεγχος της τάσης της συστοιχίας και της τάσης κάθε συσσωρευτή κάθε 2-4 μήνες. Παράλληλα ελέγχουμε τη συγκέντρωση του ανθρακικού καλίου.

1.9.3. Φορτιστές

Οι φορτιστές έχουν ελάχιστη συντήρηση λόγω της μεγάλης αξιοπιστίας των ηλεκτρονικών τους συστημάτων. Τελευταία, χρησιμοποιούνται διατάξεις παροκολούθησης της κατάστασης των συσσωρευτών, των γεφυρών, των ασφαλειών και των διακοπών που αντιστοιχούν στους συσσωρευτές. Οι διατάξεις αυτές εποπτεύουν την ολική τάση του συστήματος και αυτόματα δίνουν εντολές για βραχυχρόνιες περιοδικές εκφορτίσεις της συστοιχίας. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η καλή κατάσταση των επαφών και την εκφόρτιση διαδέχεται η επαναφόρτιση.

1.10. Απώλειες χαλκού και σιδήρου

Οι απώλειες στο εσωτερικό του Μ/Σ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μαγνητικές απώλειες
- Ηλεκτρικές απώλειες

Οι μαγνητικές απώλειες οφείλονται στη μαγνητική υστέρηση και τα δινορρέυματα που εμφανίζονται στο σιδερένιο πυρήνα του Μ/Σ. Γι' αυτό ονομάζονται και απώλειες σιδήρου (P_{Fe}) ή απώλειες κενού, διότι υπάρχουν όσο ο Μ/Σ είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο μέσης τάσης, ανεξάρτητα από το φορτίο που υπάρχει στην πλευρά της χαμηλής τάσης.

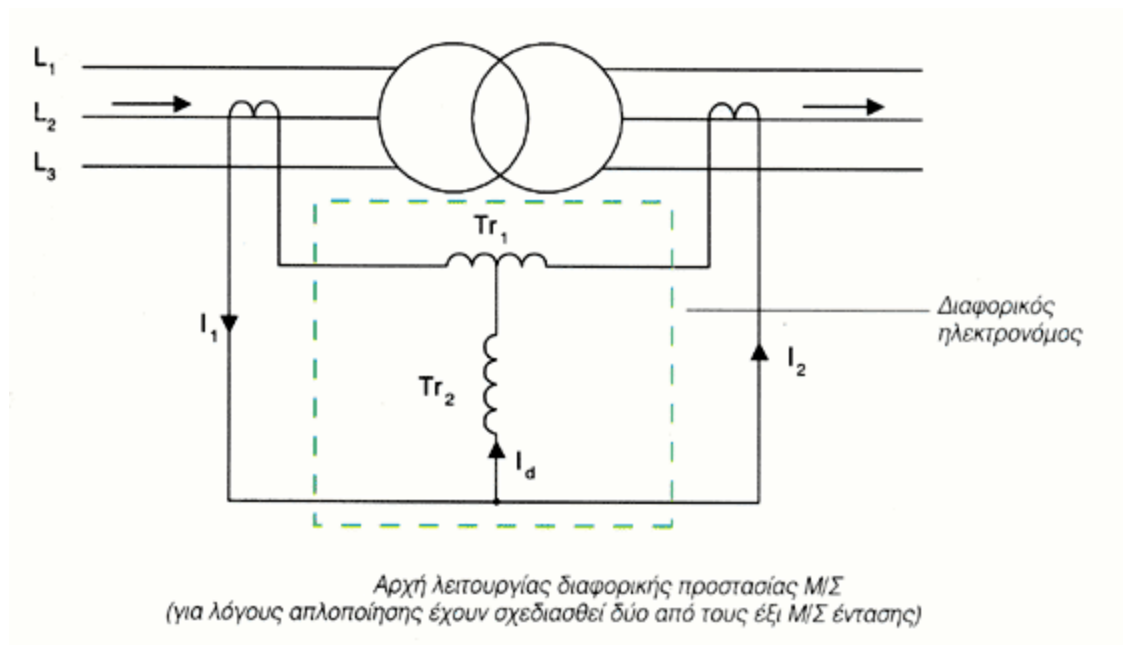
Οι ωμικές αντιστάσεις στα χάλκινα τυλίγματα της μέσης και της χαμηλής τάσης του Μ/Σ δημιουργούν ηλεκτρικές απώλειες που αυξάνονται με το τετράγωνο του ρεύματος ($P_{Cu} = R \cdot I^2$). Οι απώλειες αυτές ονομάζονται και απώλειες χαλκού και είναι συνάρτηση του φορτίου, δηλαδή, όταν ο Μ/Σ λειτουργεί εν κενώ είναι μηδενικές ενώ σε πλήρες φορτίο φθάνουν στη μέγιστη τιμή τους. Το σύνολο των απωλειών χαλκού και σιδήρου φθάνει για μικρούς Μ/Σ μέχρι το 5% και για μεγάλους μέχρι το 2.5% του ονομαστικού φορτίου.

1.11. Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος

Στη διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ανηγμένων ρευμάτων, πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Για να γίνει αυτό χρειαζόμαστε από τρεις Μ/Σ έντασης στη μέση και χαμηλή τάση αντίστοιχα. Τα δευτερεύοντα των έξι Μ/Σ καταλήγουν στο διαφορικό Η/Ν, που ελέγχει ότι τα ανηγμένα εισερχόμενα ρεύματα είναι ίσα με τα εξερχόμενα ρεύματα. Αν η διαφορά των δύο ρευμάτων (απ' όπου και το όνομα διαφορικός Η/Ν) ξεπερνά ένα όριο, π.χ. 100 mA, τότε ο Η/Ν δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά μέσης τάσης.

Η διαφορική προστασία έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει τη ζημιά στο ελάχιστο, σε σχέση με την προστασία του Η/Ν Buchholz. Επειδή όμως είναι μια σχετικά ακριβή προστασία τη συναντάμε σε πολύ μεγάλους Μ/Σ (πάνω από 1600 kV A).

Αξίζει να σημειώσουμε ότι, η διαφορική προστασία θυμίζει το γνωστό Δ.Δ.Ε. (διακόπτη διαρροής έντασης) που συναντάμε στους ηλεκτρικούς πίνακες των Ε.Η.Ε. Ο Δ.Δ.Ε. συγκρίνει το ρεύμα της φάσης με το ρεύμα του ουδετέρου (για μονοφασικούς πίνακες). Αν η διαφορά των δύο ρευμάτων ξεπεράσει τα 30 mA, τότε ανοίγει αυτόματα, δηλαδή δίνει εντολή απόζευξης στον εαυτό του.



Εικόνα 7: Αρχή λειτουργίας διαφορικής προστασίας ΜΣ

1.12. Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος

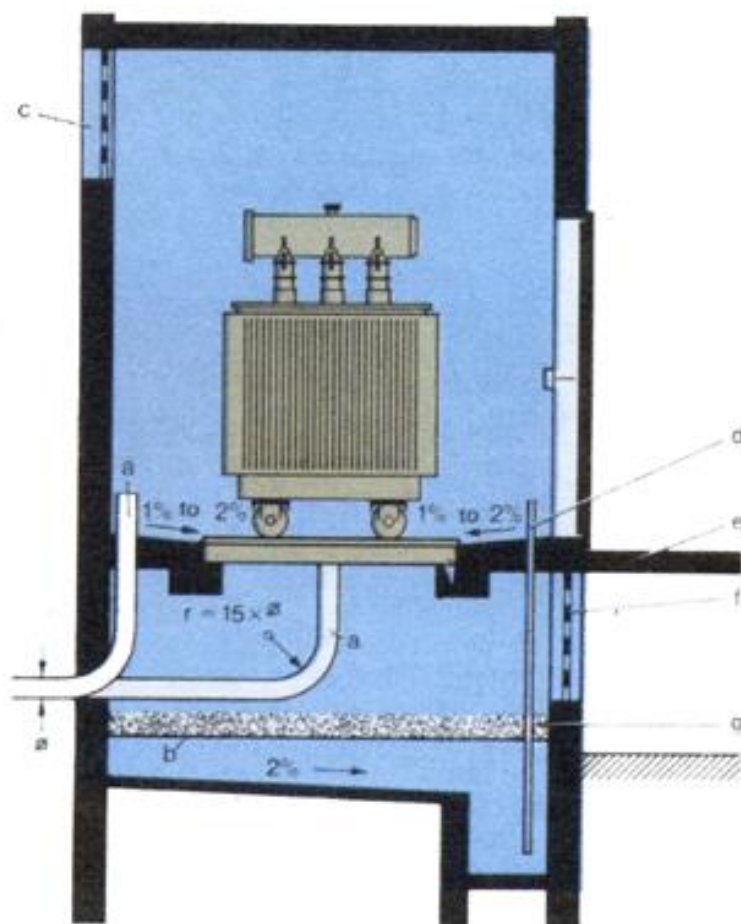
Οι Μ/Σ εγκαθίστανται πάντοτε σε δικό τους ανεξάρτητο χώρο.

Οι Μ/Σ λαδιού εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητο οικίσκο, ενώ οι Μ/Σ ξηρού τύπου μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε όροφο του κτιρίου. Βασική απαίτηση για την απρόσκοπτη λειτουργία του Μ/Σ είναι ο σωστός φυσικός ή τεχνητός αερισμός του χώρου εγκατάστασής του, για να απάγεται η θερμότητα (= απώλειες) που δημιουργείται.

Στην εικόνα βλέπουμε την τομή του δωματίου ενός Μ/Σ λαδιού. Κάτω από το Μ/Σ υπάρχει ένας στεγανός λάκκος από σκυρόδεμα για τη συγκέντρωση του λαδιού σε περίπτωση διαρροής. Η στρώση με τα χαλίκια (g) έχει σκοπό να μειωθεί η ποσότητα του λαδιού που μπορεί να καεί σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ο Μ/Σ πατάει πάνω σε σιδηροτροχιές. Η είσοδος του αέρα είναι στο χαμηλότερο σημείο (f) και η έξοδος στο υψηλότερο σημείο (c). Το μέγεθος των ανοιγμάτων υπολογίζεται από το μελετητή και είναι ανάλογο των ονομαστικών απωλειών του Μ/Σ. Έτσι σχηματίζεται ένα φυσικό ρεύμα αέρα γύρω από το Μ/Σ που είναι απαραίτητο για τη σωστή ψύξη του.

Οι διαστάσεις του δωματίου πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να εξασφαλίζεται διάδρομος πλάτους τουλάχιστον 70 cm γύρω από το Μ/Σ.



Εικόνα 8: Τομή ενός Υποσταθμού Μέσης Τάσης

- a. Σωλήνας προστασίας καλωδίων**
- b. Γαλβανισμένη διάτρητη σχάρα**
- c. Άνοιγμα αερισμού με προστατευτικό πλέγμα (έξοδος αέρα)**
- d. Σωλήνας για άντληση λαδιού**
- e. Επίπεδο δωματίου μετασχηματιστή**
- f. Άνοιγμα αερισμού με προστατευτικό πλέγμα (είσοδος αέρα)**
- g. Στρώση με χοντρά χαλικάκια**

1.13. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή

Μια από τις βασικές απαιτήσεις της προστασίας ενός Μ/Σ είναι η επιλεκτική (ή επιλογική) συνεργασία (discriminative operation) μεταξύ των ασφαλειών στην πλευρά μέσης τάσης και του διακόπτη ισχύος ή των ασφαλειών στην πλευρά της χαμηλής τάσης.

Με τον όρο επιλεκτική συνεργασία εννοούμε ότι το όργανο προστασίας που είναι πλησιέστερο στο σφάλμα πρέπει να διακόπτει πρώτο. Για παράδειγμα, αν το σφάλμα (βραχυκύκλωμα) γίνει στην πλευρά της χαμηλής τάσης του Μ/Σ πρέπει να ανοίξει μόνο ο διακόπτης ισχύος της Χ.Τ., ενώ οι ασφάλειες της ΜΤ πρέπει να μείνουν ανεπηρέαστες.

Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε την επιλεκτική συνεργασία χρησιμοποιούμε τις χαρακτηριστικές απόζευξης (tripping characteristics) που περιγράφουν το κάθε όργανο προστασίας.

Στην εικόνα έχουμε σχεδιάσει σε κοινό σύστημα αξόνων:

- τη χαρακτηριστική απόζευξης της ασφάλειας μέσης τάσης (κόκκινη καμπύλη)
- τη χαρακτηριστική απόζευξης του διακόπτη ισχύος χαμηλής τάσης (μπλε καμπύλη)

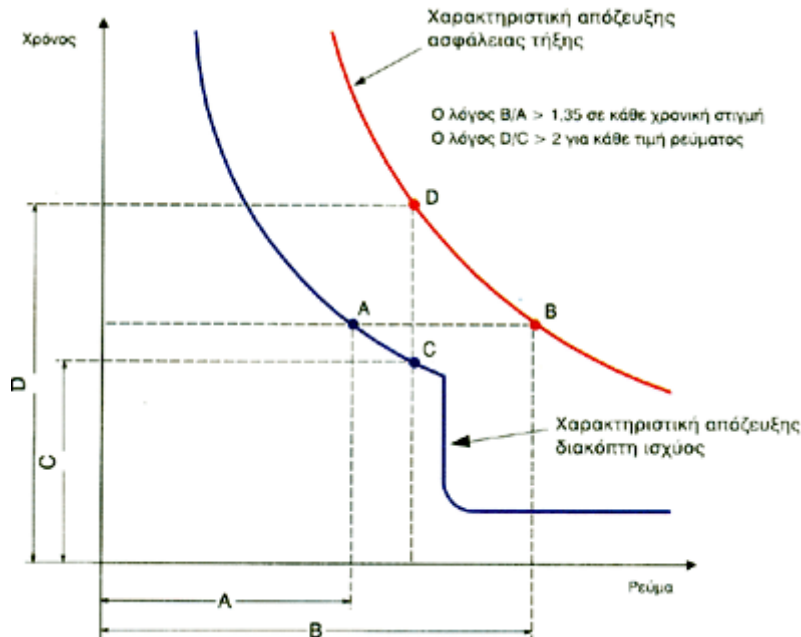
Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA ενώ ο κατακόρυφος σε s.

Και οι δύο χαρακτηριστικές έχουν την ιδιότητα του αντίστροφου χρόνου, δηλαδή όσο μεγαλώνει το ρεύμα τόσο ελαττώνεται ο χρόνος απόζευξης. Η χαρακτηριστική της ασφάλειας είναι μια συνεχής καμπύλη ενώ η χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη έχει ένα απότομο σκαλοπάτι που οφείλεται στη λειτουργία του μαγνητικού στοιχείου.

Για να πετύχουμε την επιλεκτική συνεργασία πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Όλα τα σημεία της καμπύλης της ασφάλειας να είναι πάνω και δεξιά από την καμπύλη του αυτόματου διακόπτη.
- Αν φέρουμε μια οριζόντια ευθεία, που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία Α και Β αντίστοιχα, πρέπει $B/A > 1,35$, δηλαδή, αν το ρεύμα στο σημείο Α είναι 1000 Α, το ρεύμα στο σημείο Β της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 1350 Α.
- Αν φέρουμε μια κάθετη ευθεία που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία C και D αντίστοιχα, πρέπει

$D/C > 2$, δηλαδή, αν ο χρόνος στο σημείο C είναι 1,5s ο χρόνος στο σημείο D της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 3,0s.



Εικόνα 9: Επιλεκτικότητα μεταξύ των ασφαλειών ΜΤ και του διακόπτη ισχύος Χ.Τ που χρησιμοποιούνται στην προστασία ενός μετασχηματιστή.

1.14. Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση

Οι απώλειες χαλκού και σιδήρου του Μ/Σ μετατρέπονται στο εσωτερικό του σε θερμότητα που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού (αν ο Μ/Σ είναι ελαιόψυκτος) ή της χυτορητίνης (αν ο Μ/Σ είναι ξηρού τύπου).

Μια από τις βασικές απαιτήσεις της σωστής προστασίας του Μ/Σ είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας (λαδιού ή χυτορητίνης), ώστε να μην ξεπεράσει τα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής του Μ/Σ.

Για Μ/Σ λαδιού χρησιμοποιούνται τα θερμομέτρα λαδιού (βλ.εικόνα) που παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού. Αυτή πρέπει να είναι μικρότερη των 100°C.

Το θερμόμετρο είναι εφοδιασμένο με δύο ανοικτές επαφές. Όταν η βελόνα ξεπεράσει το πρώτο όριο των 90°C , τότε κλείνει η πρώτη επαφή και κτυπά ο συναγερμός του υποσταθμού.

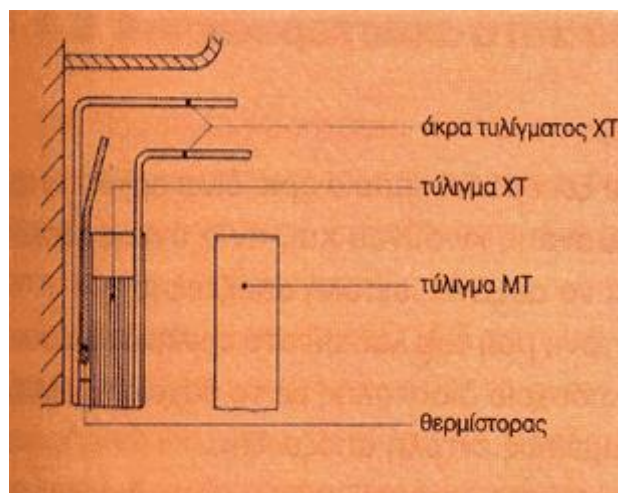
Ο συντηρητής θα πρέπει αμέσως να ελέγξει, αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο σύστημα ψύξης του Μ/Σ ή, στην ανάγκη, να απορρίψει άμεσα κάποια από τα φορτία του Μ/Σ.

Αν η θερμοκρασία του λαδιού συνεχίζει να ανεβαίνει και η βελόνα του θερμομέτρου ξεπεράσει το δεύτερο όριο, π.χ 100°C , αυτόματα δίνεται εντολή απόζευξης (trip) του διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

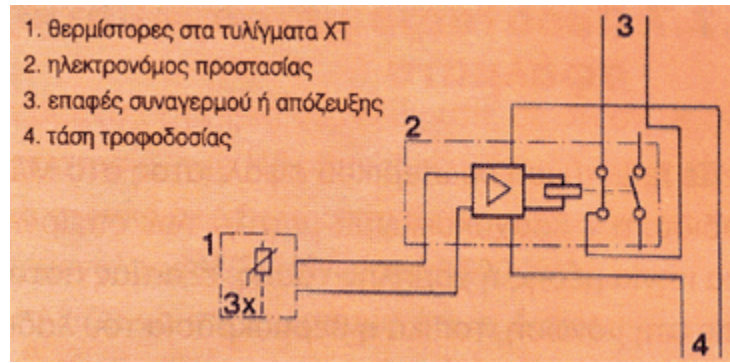
Στους Μ/Σ χυτορητίνης υπάρχουν τοποθετημένοι μέσα στα τυλίγματα της χαμηλής τάσης θερμίστορες (συνήθως δύο θερμίστορες σε κάθε φάση). Οι θερμίστορες είναι ηλεκτρονικά στοιχεία που η αντίστασή τους μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία τους.

Όπως φαίνεται στην εικόνα (δ) οι θερμίστορες είναι οργανωμένοι σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα δίνει εντολή οπτικού και ηχητικού συναγερμού (ρελέ K2) και η δεύτερη ομάδα δίνει εντολή απόζευξης (trip) (ρελέ K1) του διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

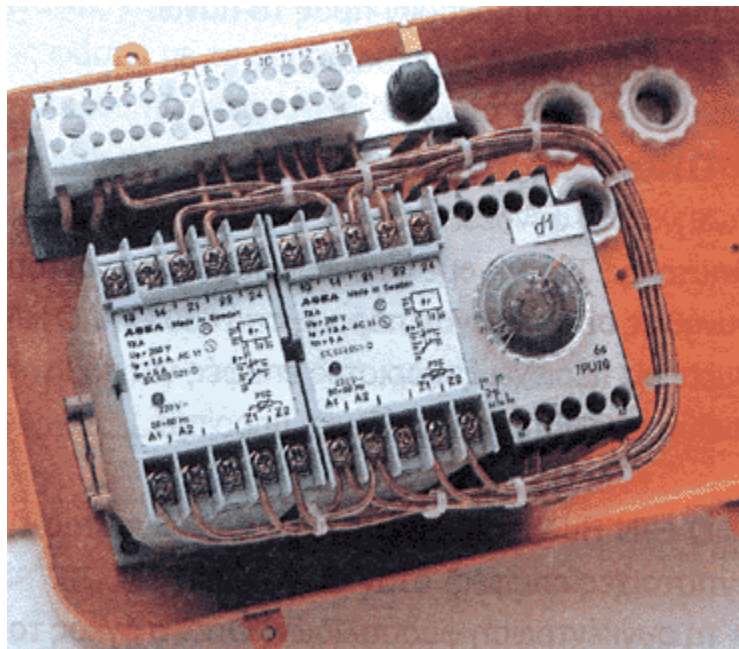
Το θερμόμετρο (στους Μ/Σ λαδιού) ή οι θερμίστορες (στους Μ/Σ χυτορητίνης) δίνουν εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης.



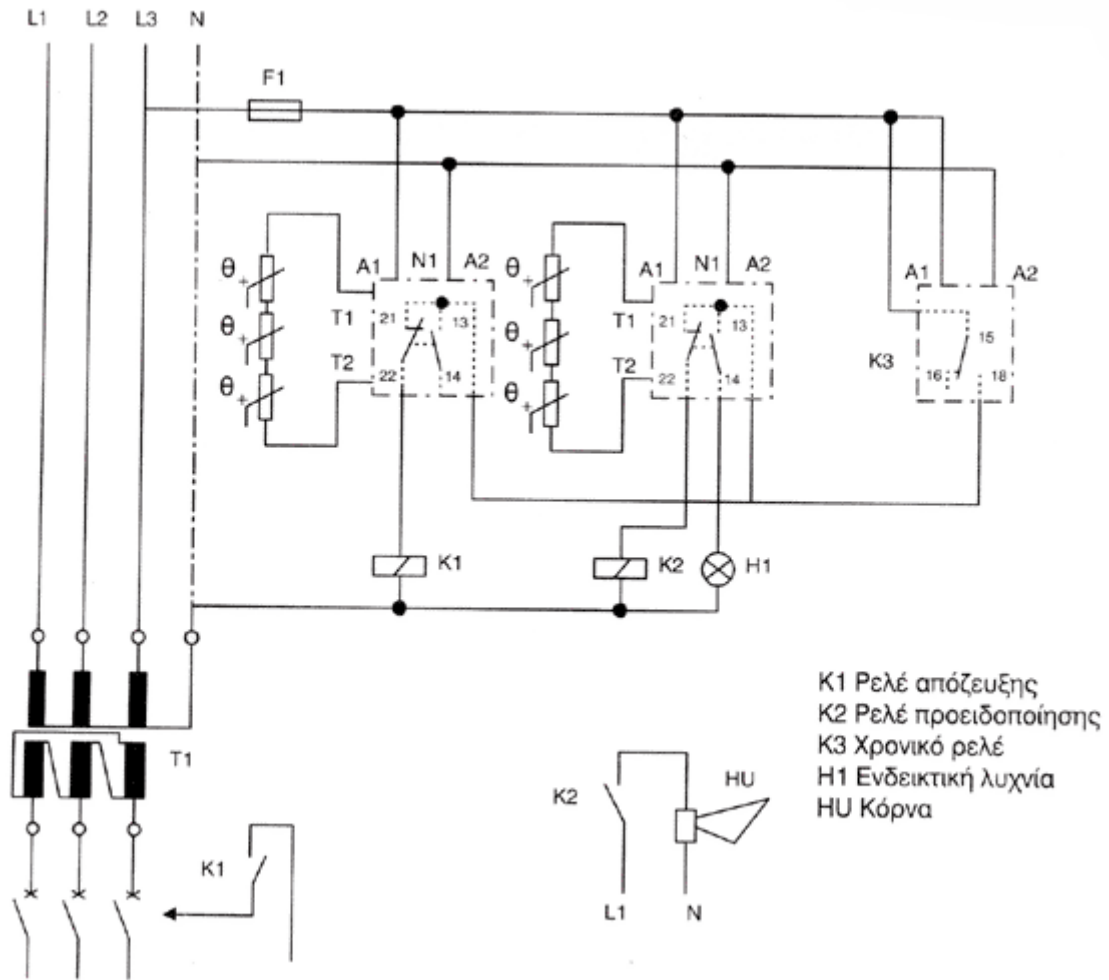
Εικόνα 10: Τοποθέτηση θερμιστόρων στα τυλίγματα χαμηλής τάσης



Εικόνα 11: Αρχή λειτουργίας της προστασίας με θερμίστορες



Εικόνα 12: Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας



Εικόνα 13: Λειτουργικό διάγραμμα προστασίας ΜΣ με θερμίστορες

1.15. Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα

Σε περίπτωση εσωτερικού σφάλματος στο Μ/Σ λαδιού, π.χ. βραχυκύκλωμα μεταξύ των σπειρών στα πηνία μέσης ή χαμηλής τάσης, εξαιτίας αστοχίας στη μόνωση, τοπικά η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει απότομα με συνέπεια:

- την εξάτμισή του και τη δημιουργία φυσαλίδων (αερίου) που οδεύουν προς τα πάνω.
- την έντονη ροή του λαδιού.

Ο Ηλεκτρονόμος (H/N) Buchholz τοποθετείται στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο του Μ/Σ με το δοχείο διαστολής. Για λόγους οικονομικούς τον συναντάμε συνήθως σε Μ/Σ μεγαλύτερους από 630 kVA. Ο H/N Buchholz περιέχει ξεχωριστές επαφές για σήμανση κινδύνου (alarm) και απόζευξη (tripping).

Ο H/N Buchholz δίνει εντολές (κλείνοντας τις αντίστοιχες επαφές) όταν ανιχνεύσει:

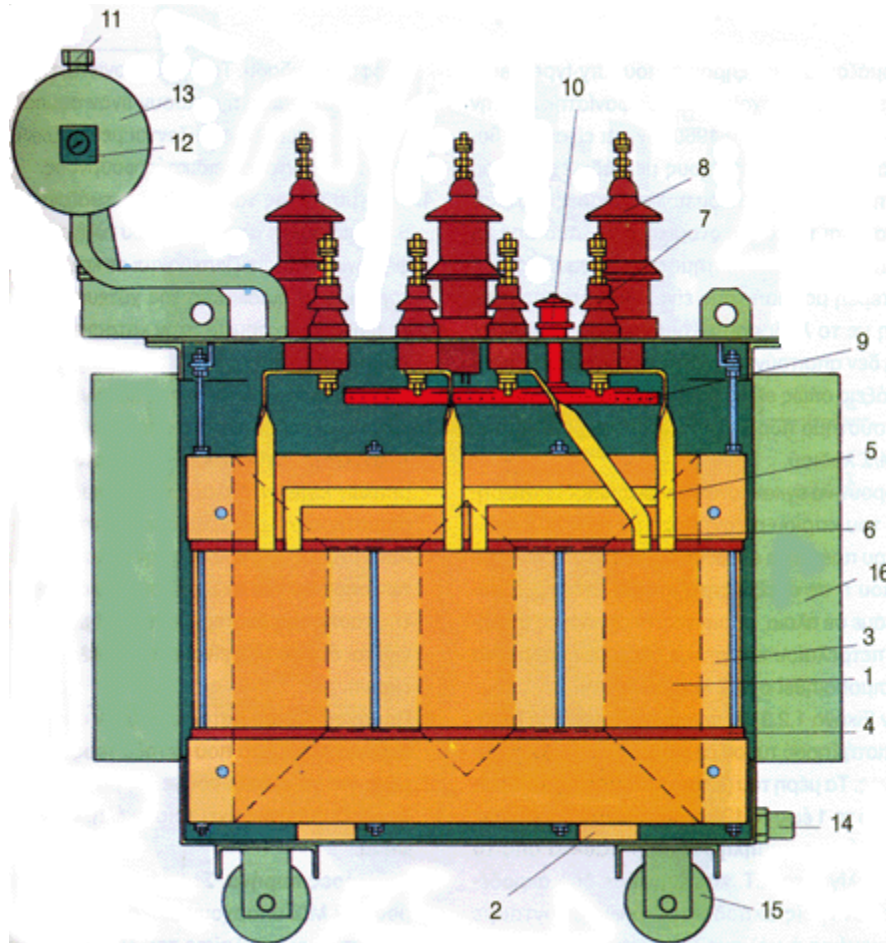
- Τη συγκέντρωση φυσαλίδων. Όταν ο όγκος του αερίου ξεπεράσει κάποιο όριο δίνει αρχικά εντολή σήμανσης κινδύνου και, αν ο όγκος εξακολουθεί να αυξάνει, εντολή απόζευξης.
- Την έντονη ροή του λαδιού στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του Μ/Σ. Δίνει αμέσως εντολή απόζευξης.
- Την πτώση στάθμης του λαδιού (λόγω διαρροής). Όταν η στάθμη του λαδιού κατέβει κάτω από το επιτρεπτό όριο δίνει αρχικά σήμανση κινδύνου. Αν η στάθμη εξακολουθεί να κατεβαίνει και πέσει κάτω και από το όριο ασφαλείας τότε δίνει εντολή απόζευξης.

Η ανίχνευση δεν διορθώνει προφανώς το σφάλμα, αλλά μας προειδοποιεί να σταματήσουμε άμεσα το Μ/Σ, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος μεγάλης ζημιάς.

Πρακτικά, η απόζευξη με H/N Buchholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και, ενδεχομένως, να επισκευαστεί.

1.16. Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού

Στην Εικόνα βλέπουμε την τομή ενός τριφασικού Μ/Σ λαδιού. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 16 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 14: Τομή ενός 3Φ ΜΣ λαδιού

1. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

2. Στηρίγματα πυρήνα (Core support)

Μεταξύ του πυρήνα του δοχείου και του πυρήνα μεσολαβεί κάποια απόσταση για να μπορεί να κυκλοφορεί το λάδι.

3. Τυλίγματα (Winding)

Σε κάθε σκέλος του πυρήνα υπάρχουν δύο τυλίγματα (πηνία). Στο εσωτερικό βρίσκεται το τύλιγμα της χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) και εξωτερικά το τύλιγμα της μέσης τάσης. Το τύλιγμα Χ.Τ. είναι κατασκευασμένο από χάλκινες ή αλουμινένιες μπάρες, ενώ το τύλιγμα της Μ.Τ. είναι από χάλκινο σύρμα.

4. Στηρίγματα τυλιγμάτων (winding support)

Η στερέωση των τυλιγμάτων Χ.Τ. και Μ.Τ. τόσο μεταξύ τους όσο και πάνω στον πυρήνα είναι πολύ κρίσιμη και γίνεται με μονωτικά στηρίγματα. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται στα τυλίγματα μεγάλες δυνάμεις Laplace που μπορούν να καταστρέψουν το Μ/Σ.

5. Άκρα των τυλιγμάτων (α)

Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης γεφυρώνονται με χάλκινη μπάρα και δημιουργείται ο ουδέτερος κόμβος. Ο ουδέτερος συνδέεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα διέλευσης και προκύπτει έτσι ο ακροδέκτης του ουδετέρου (n).

6. Άκρα των τυλιγμάτων (β)

Τα τρία άλλα άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης συνδέονται στους μονωτήρες διέλευσης και προκύπτουν οι ακροδέκτες 2U, 2V, 2W.

7. Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. (LV bushing) από πορσελάνη

Ονομάζονται μονωτήρες διέλευσης, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα Χ.Τ.. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Χ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Χ.Τ. που αναχωρούν από το Μ/Σ.

8. Μονωτήρες διέλευσης Μ.Τ. (MV bushing) από πορσελάνη.

Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Μ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Μ.Τ. που έρχονται από την κυψέλη προστασίας του Μ/Σ.

9. Ρυθμιστής τάσης (off-circuit tap changer)

Τα τυλίγματα μέσης τάσης έχουν ενδιάμεσα λήψεις που καταλήγουν σε ένα περιστροφικό διακόπτη. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).

10. Χειριστήριο ρυθμιστή τάσης

11. Δοχείο διαστολής (expansion vessel)

Η θερμοκρασία του λαδιού σε κανονική λειτουργία του Μ/Σ φτάνει τους 100°C, με αποτέλεσμα τη διαστολή του. Το δοχείο διαστολής συνδέεται με σωλήνα με το δοχείο του Μ/Σ και όσο η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει, ανεβαίνει η στάθμη του λαδιού, διώχνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοχείου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του λαδιού κατεβαίνει. Σήμερα κατασκευάζονται στεγανοί Μ/Σ λαδιού, με ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια ψύξης που παίρνουν τις διαστολές του λαδιού και, συνεπώς, δεν χρειάζονται δοχείο διαστολής. Οι στεγανοί (sealed tank) Μ/Σ δεν χρειάζονται συντήρηση, διότι το λάδι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και έτσι δεν αλλοιώνεται.

12. Δείκτης στάθμης λαδιού (oil-level indicator)

Μάς δείχνει τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.

13. Τάπα αερισμού και πλήρωσης με λάδι (Ventilation and filling cap)

Από εδώ εξέρχεται ο αέρας που υπάρχει στο δοχείο διαστολής όταν θερμαίνεται το λάδι του Μ/Σ.

14. Βάνα αποχέτευσης του λαδιού (Drain plug)

Από εδώ γίνεται η εκκένωση του λαδιού.

15. Τροχό κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

16. Ψυκτήρες (cooling ribs)

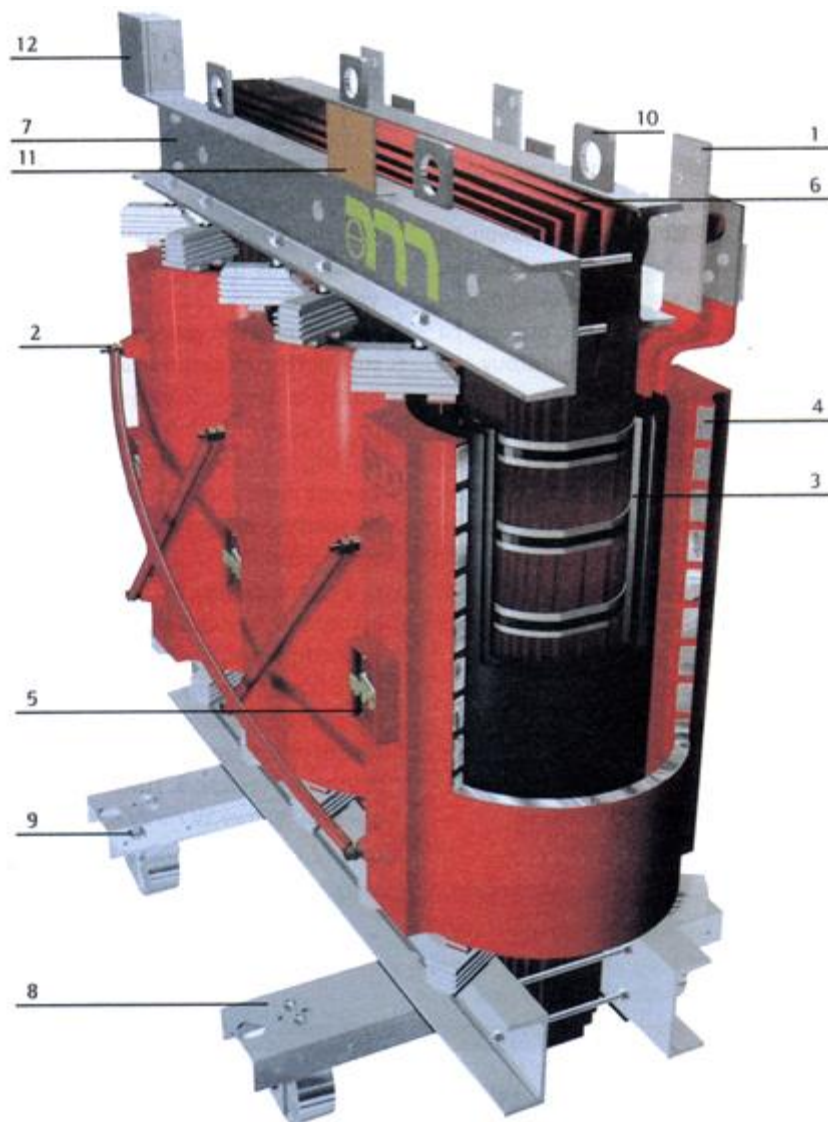
Μοιάζουν με τις φέτες των θερμαντικών σωμάτων ακτινοβολίας και χρησιμοποιούνται για τη φυσική ψύξη του λαδιού.

1.17. Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης

Ονομάζονται Μ/Σ ξηρού τύπου (dry-type transformers) διότι δεν έχουν λάδι. Εμφανίστηκαν στην αγορά τη δεκαετία του 1960. Αν και είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους με λάδι, έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα που πολλές φορές τους κάνουν να είναι τελικά οικονομικότεροι. Δύο από τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η στερεή μόνωσή τους είναι άκαυστη, σε αντίθεση με το λάδι που είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Έτσι δεν απαιτούνται μια σειρά από ειδικές προφυλάξεις όπως ελαιοδεξαμενή, τοίχοι πυράντοχοι, σύστημα πυρόσβεσης κ.ά. που συναντάμε σε Μ/Σ λαδιού.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο του κτιρίου σε αντίθεση με τους Μ/Σ λαδιού που πρέπει να εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητα κτίρια. Έτσι τους συναντάμε σε πλοία, σήραγγες, πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και γενικά όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Μ/Σ λαδιού.

Στην εικόνα βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 12 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 15: Τομή ενός 3Φ ΜΣ ξηρού τύπου

1. Ακροδέκτες χαμηλής τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Χ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι τρεις ακροδέκτες γεφυρώνονται με αλουμινένια ή χάλκινη μπάρα και προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδετέρου. Τα υπόλοιπα τρία άκρα καταλήγουν στους ακροδέκτες Χ.Τ., όπου συνδέονται τα καλώδια των 400 V.

2. Ακροδέκτες μέσης τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Μ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες γεφυρώνονται χιαστί με μονωμένους αγωγούς για να δημιουργήσουν το τρίγωνο (Δ) των τυλιγμάτων της μέσης τάσης.

3. Τύλιγμα χαμηλής τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή κυλίνδρου. Τα φύλλα μονώνονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Κατόπιν εμποτίζονται με εποξεική ρητίνη και ψήνονται σε ειδικούς φούρνους.

4. Τύλιγμα μέσης τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή πηνίου. Κατόπιν χυτεύονται σε καλούπια με χυτορητίνη. Η διαδικασία της χύτευσης αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του Μ/Σ.

5. Ρυθμιστής τάσης

Κάθε τύλιγμα μέσης τάσης έχει ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε ένα κιβώτιο ακροδεκτών στο μπροστινό μέρος κάθε τυλίγματος. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (offcircuit).

6. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

7. Σφικτήρες πυρήνα

Στο πάνω και στο κάτω μέρος του Μ/Σ υπάρχουν σιδερένια δοκάρια που σχηματίζουν το πλαίσιο του Μ/Σ και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται για τη σύσφιξη των ελασμάτων του πυρήνα.

8. Τροχοί κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

9. Ακροδέκτης γείωσης

Στον ακροδέκτη αυτό γειώνονται όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ (πυρήνας, πλαίσιο κ.λπ.) που δε διαρρέονται από ρεύμα.

10. Αγκίστρα ανύψωσης

Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του Μ/Σ.

11. Πινακίδα

Στην πινακίδα αυτή αναγράφονται τα τεχνικά στοιχεία του Μ/Σ, το εργοστάσιο και το έτος κατασκευής του.

12. Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας

Στο κουτί αυτό καταλήγουν τα καλώδια από τους θερμίστορες που υπάρχουν στα τυλίγματα Χ.Τ. και μας επιτρέπουν να προστατεύουμε το Μ/Σ από υπερφόρτιση.

1.18. Καλώδια Μέσης Τάσης

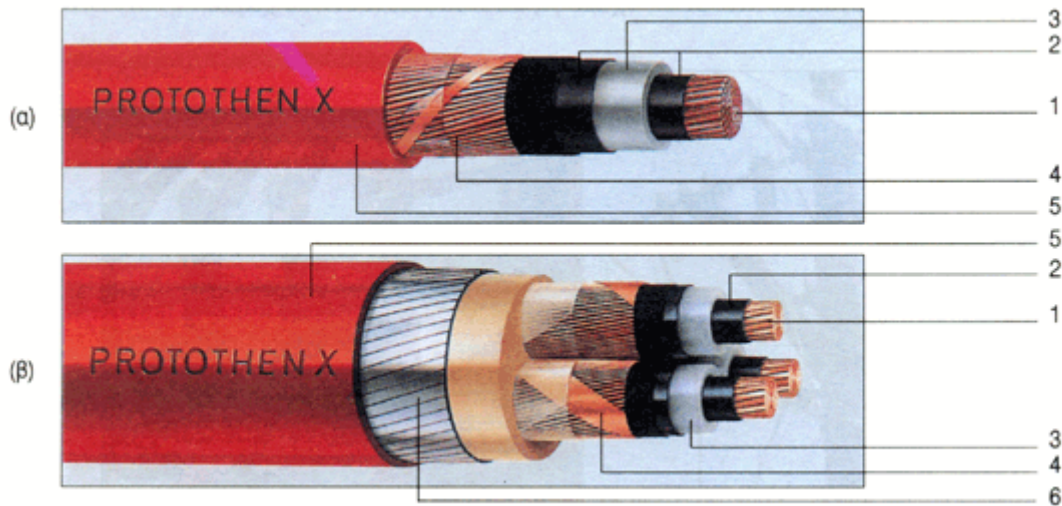
Παρακάτω περιγράφονται κάποια από τα κατασκευαστικά στοιχεία των καλωδίων μέσης τάσης. Οι αγωγοί τους είναι από χαλκό (σπάνια από αλουμίνιο) και περιβάλλονται από μία μαύρη ημιαγώγιμη ταινία που σκοπό έχει την εξομάλυνση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο εσωτερικό του καλωδίου, μεταξύ του αγωγού και της θωράκισης.

Η μόνωσή τους είναι από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE), δηλαδή ένα πλαστικό μίγμα που έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες για να αντέχει στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο εσωτερικό του αγωγού. Η μόνωση αυτή αντέχει για συνεχή λειτουργία σε 90°C και για χρόνο 5s (δηλαδή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος) τους 250°C.

Η θωράκιση είναι απαραίτητη στα καλώδια Μ.Τ. διότι δημιουργεί μαζί με τον αγωγό του καλωδίου, ένα ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Αυτή γειώνεται και στις δύο άκρες του καλωδίου στο σύστημα γείωσης μέσης τάσης. Η ύπαρξη των δύο αγωγίμων επιφανειών, δηλαδή του αγωγού φάσης και της θωράκισης με το διηλεκτρικό (= μονωτικό) μεταξύ τους δημιουργεί εκ των πραγμάτων ένα παρασιτικό πυκνωτή. Έτσι τα καλώδια μέσης τάσης χαρακτηρίζονται από τη χωρητικότητά τους (C), κάτι που δεν ισχύει στα κοινά καλώδια χαμηλής τάσης. Για καλώδια διατομής 50 mm² είναι C = 0.25 μF/km. Έτσι, όταν διακόπτεται η τάση σε ένα καλώδιο, ο παρασιτικός πυκνωτής παραμένει φορτισμένος για

αρκετές ώρες. Γι' αυτό πρέπει να γειώνουμε προσεκτικά τα καλώδια, προτού εργαστούμε στα δίκτυα των 20 kV.

Το εξωτερικό τους περίβλημα είναι πάντοτε από κόκκινο PVC για να ξεχωρίζουν από τα καλώδια χαμηλής τάσης $U_0/U = 0.6/1$ kV που έχουν πάντα μαύρο μανδύα από PVC.



Εικόνα 16: Καλώδια μέσης τάσης με μόνωση από XLPE

α. μονοπολικό τύπου N2XS_Y

β. τριπολικό τύπου 2XSEYFY

1. χάλκινος αγωγός

2. ημιαγώγιμη θωράκιση κάτω και πάνω από τη μόνωση από XLPE

3. μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο

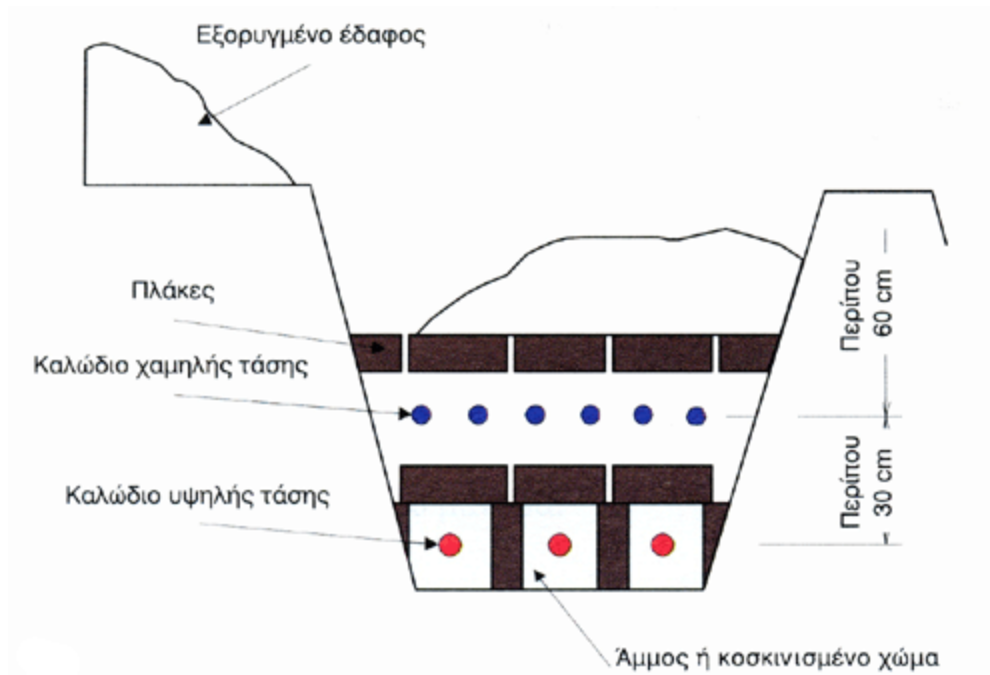
4. πλέγμα από χάλκινα συρματίδια

5. περίβλημα από PVC

6. θώρακας από πεπλατυσμένα ατσάλινα συρμάτινα

1.18.1. Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος

Η εγκατάσταση των καλωδίων στο έδαφος γίνεται μέσα σε ειδικά χαντάκια που ανοίγονται κατά μήκος των δρόμων. Αν στο χαντάκι οδεύουν και καλώδια χαμηλής τάσης, τότε τα καλώδια μέσης τάσης τοποθετούνται στο κάτω μέρος του χαντακιού και διαχωρίζονται μεταξύ τους και με τα καλώδια χαμηλής τάσης με τσιμεντένιες πλάκες (Εικόνα α).



Εικόνα 17: Τοποθέτηση καλωδίων εντός του εδάφους

Τα καλώδια παραδίδονται από το εργοστάσιο κατασκευής τους τυλιγμένα σε ξύλινα στροφεία (Εικόνα β). Η τοποθέτηση των καλωδίων στο χαντάκι γίνεται με προσεκτικό ξετύλιγμα από το στροφείο και με τη βοήθεια ειδικών κυλιστήρων (ράουλα) που επιτρέπουν το τράβηγμα του καλωδίου χωρίς να τραυματίζεται η μόνωσή τους (Εικόνα β).



Εικόνα 18: Διαδικασία τοποθέτησης καλωδίων εντός του εδάφους

Σε όλο το μήκος της διαδρομής τους τα καλώδια τοποθετούνται απ' ευθείας μέσα στο χαντάκι και καλύπτονται με άμμο ή κοσκινισμένο χώμα. Στα σημεία που το χαντάκι διασχίζει κάποιο δρόμο, τοποθετούνται σε πλαστικούς σωλήνες από PVC διαμέτρου $D > 100$ mm. Έτσι σε περίπτωση ζημιάς και αντικατάστασής τους, δε χρειάζεται να ξανασκαφτεί ο δρόμος.

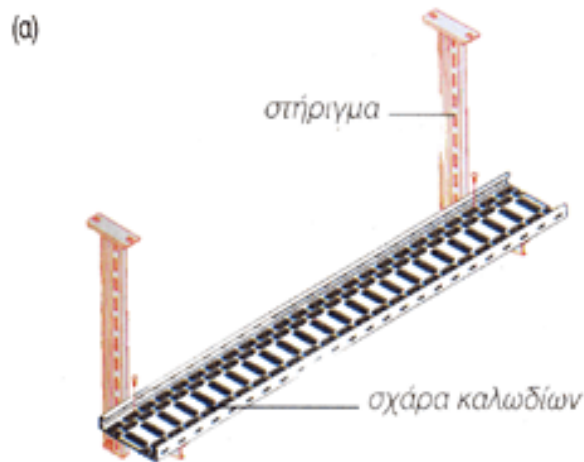
1.18.2. Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες

Η εγκατάσταση των καλωδίων μέσης τάσης στον αέρα γίνεται πάνω σε προκατασκευασμένες διάτρητες μεταλλικές σχάρες καλωδίων (Εικόνα α). Οι σχάρες είναι διάτρητες για να μην εμποδίζουν το φυσικό αερισμό (ψύξη) των καλωδίων.

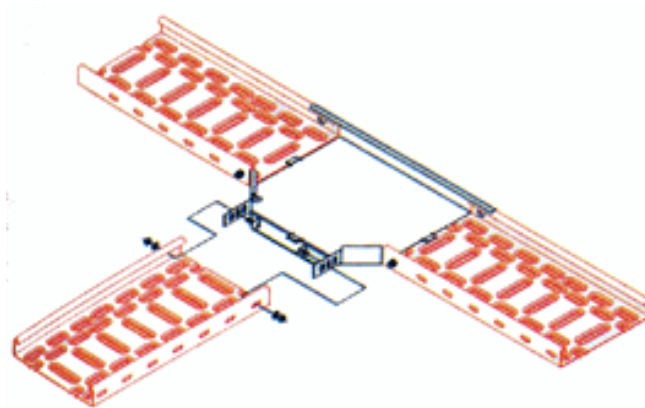
Κατασκευάζονται από γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους 0,5 έως 2 mm και σε μήκη από 2 έως 4 m. Οι σχάρες στηρίζονται στον τοίχο ή στην οροφή, ανά 1,5m περίπου, με ειδικά μεταλλικά στηρίγματα. Οι κατασκευαστές σχαρών καλωδίων, κατασκευάζουν και μια σειρά από εξαρτήματα όπως γωνίες, ταυ, σταυρούς κ.λπ (Εικόνα β και γ), που μας επιτρέπουν να συνδέσουμε τις σχάρες μεταξύ τους και να

δημιουργήσουμε το δίκτυο των σχαρών καλωδίων μέσης και χαμηλής τάσης. Πάνω στις σχάρες μέσης τάσης τοποθετούνται μόνο τα καλώδια μέσης τάσης, ενώ στις σχάρες χαμηλής τάσης μόνο τα καλώδια χαμηλής τάσης.

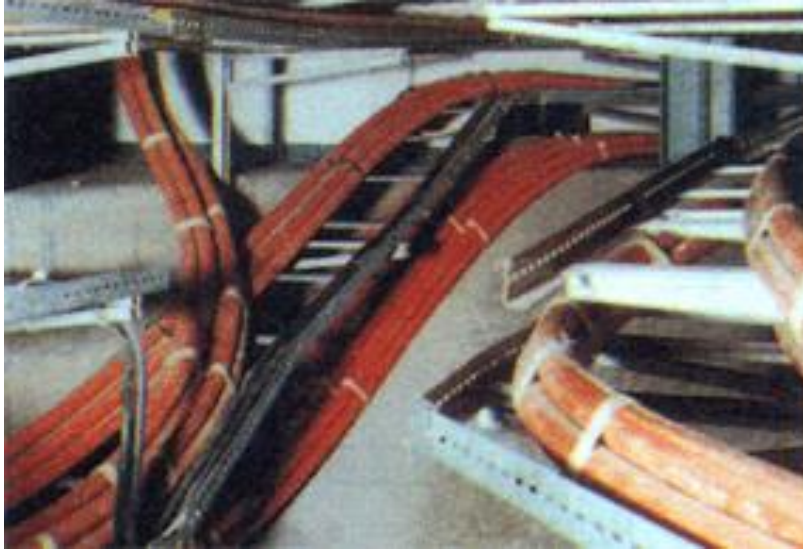
Τα καλώδια δένονται με πλαστικά κολάρα πάνω στις σχάρες ανά 20 cm περίπου. Μεταξύ των καλωδίων αφήνουμε απόσταση όση είναι περίπου η διάμετρος τους.



Εικόνα 19:Σχάρα καλωδίων με τα στηρίγματά της



Εικόνα 20:Εξάρτημα ταυ για τη σύνδεση τριών σχαρών



Εικόνα 21: Δέσιμο καλωδίων πάνω στις σχάρες

1.18.3. Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης

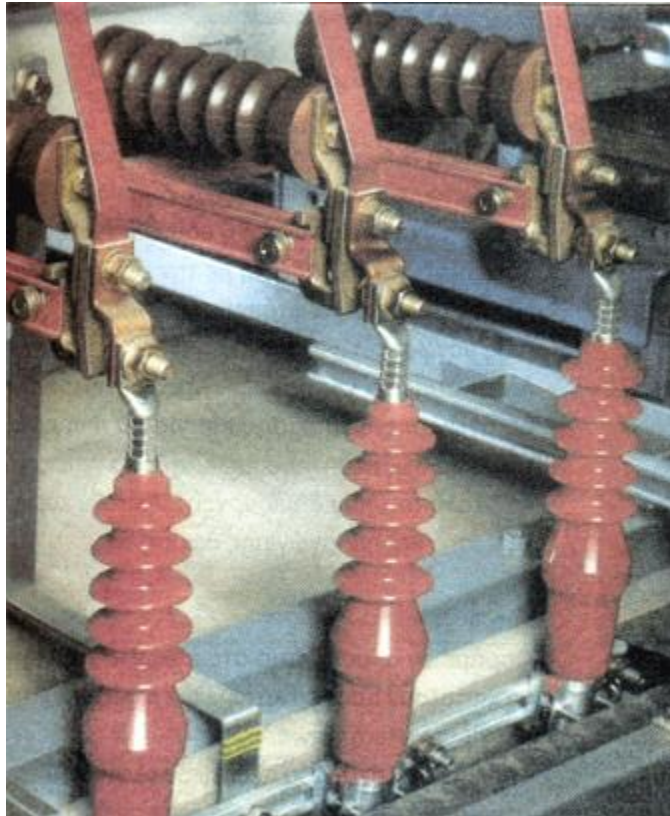
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον τερματισμό (termination) των καλωδίων μέσης τάσης. Ο λόγος είναι ότι στο σημείο που διακόπτεται η θωράκισή του, το ηλεκτρικό πεδίο γίνεται ανομοιογενές και πολύ ισχυρό. Έτσι με την πρώτη καταπόνηση του καλωδίου (π.χ υπέρταση), η μόνωσή του καταστρέφεται (τρυπάει) και έχουμε σφάλμα μεταξύ του αγωγού φάσης και της γειωμένης θωράκισης, δηλαδή σφάλμα φάσης-γης.

Για να αποφύγουμε τα παραπάνω προβλήματα χρησιμοποιούμε, και στις δύο τις άκρες του καλωδίου, ειδικά σύνολα (κιτ) εξαρτημάτων που ονομάζονται ακροκεφαλές ή ακροκιβώτια. Πρέπει να ακολουθήσουμε προσεκτικά τις οδηγίες που υπάρχουν στο κιτ της ακροκεφαλής. Στην εικόνα (α) βλέπουμε τα μέρη μιας πλαστικής ακροκεφαλής που χρησιμοποιείται για τον τερματισμό καλωδίων με πλαστική μόνωση.

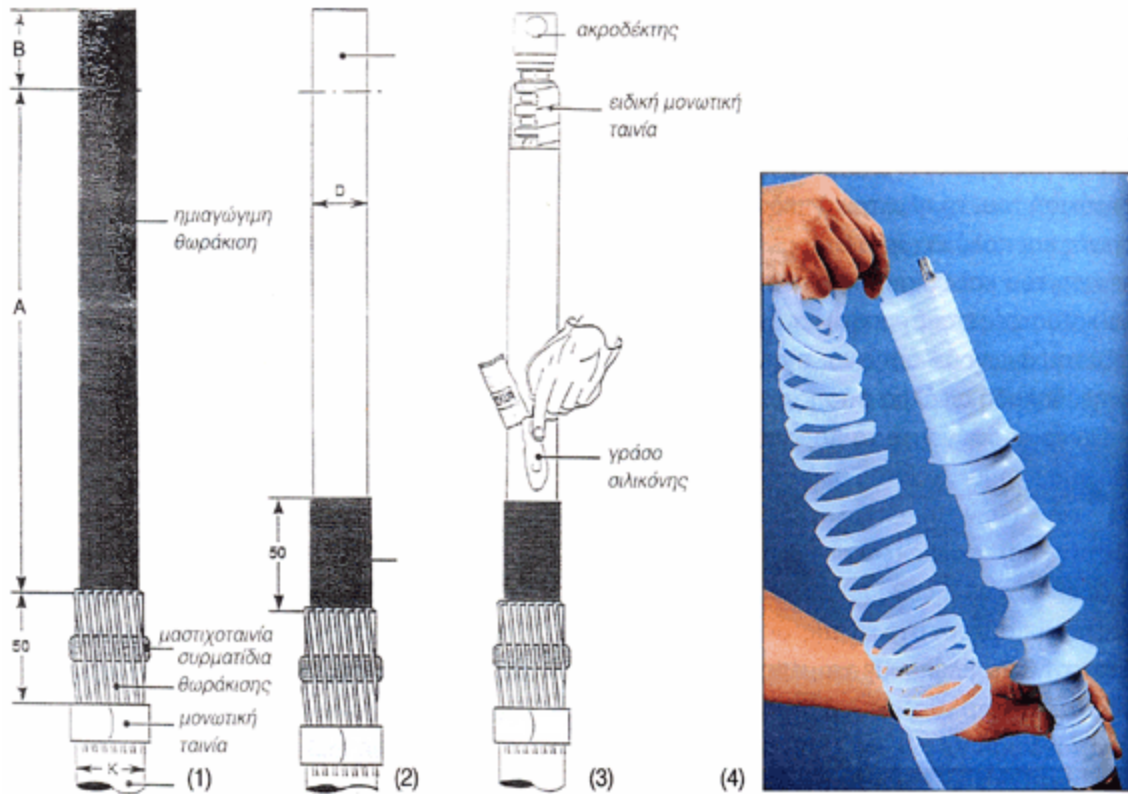
Σε γενικές γραμμές η σειρά των εργασιών για την εφαρμογή μιας πλαστικής ακροκεφαλής είναι:

- Αφαιρείται η θωράκιση σε μήκος περίπου 200 mm
- Καθαρίζεται προσεκτικά η μόνωση από την ημιαγωγή στρώση.
- Τοποθετείται το ειδικό δακτυλίδι.
- Τοποθετείται ο κώνος εξομάλυνσης (stress cone)

Σε παλιότερες εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν καλώδια με χάρτινη μόνωση, θα συναντήσουμε ακροκεφαλές από πορσελάνη γεμάτες με μονωτικό λάδι. Σε πολλούς υποσταθμούς συναντάμε πλαστικές θερμοσυστελλόμενες ακροκεφαλές (εικόνα β). Σήμερα είναι πολύ διαδεδομένες οι ψυχοσυστελλόμενες ακροκεφαλές.



Εικόνα 22: Τερματισμός και σύνδεση καλωδίων σε κυψέλη μέσης τάσης



Εικόνα 23: Μονοπολικό πλαστικό θερμοσυστελλόμενο ακροκιβώτιο

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα για την κατασκευή μιας ψυχοσυστελλόμενης ακροκεφαλής:

1. Αφαιρούμε τον εξωτερικό μανδύα σε μήκος $A + B$. Οι διαστάσεις A , B υπάρχουν στις οδηγίες που συνοδεύει το ακροκιβώτιο. Για ακροκιβώτια των 20kV είναι, $A = 200$ mm και $B = 40$ mm.
2. Τοποθετούμε τη μασιχотαινία και λυγίζουμε τα συρματίδια της θωράκισης πάνω στη μασιχотαινία. Τα στερεώνουμε με μονωτική ταινία.
3. Αφαιρούμε την ημιαγώγιμη θωράκιση μέχρι 50 mm μπροστά από την άκρη του μανδύα.
4. Αφαιρούμε την κύρια μόνωση σύμφωνα με τη διάσταση B .
5. Τοποθετούμε και συμπιέζουμε τον ακροδέκτη χρησιμοποιώντας χειροκίνητη ή υδραυλική πρέσα.
6. Τυλίγουμε τον ακροδέκτη με την ειδική μονωτική ταινία, μέχρι να φτάσει τη διάμετρο της κύριας μόνωσης.
7. Απλώνουμε το γράσο σιλικόνης στο τέλος της ημιαγώγιμης θωράκισης και για 40 mm πάνω στην κύρια μόνωση,

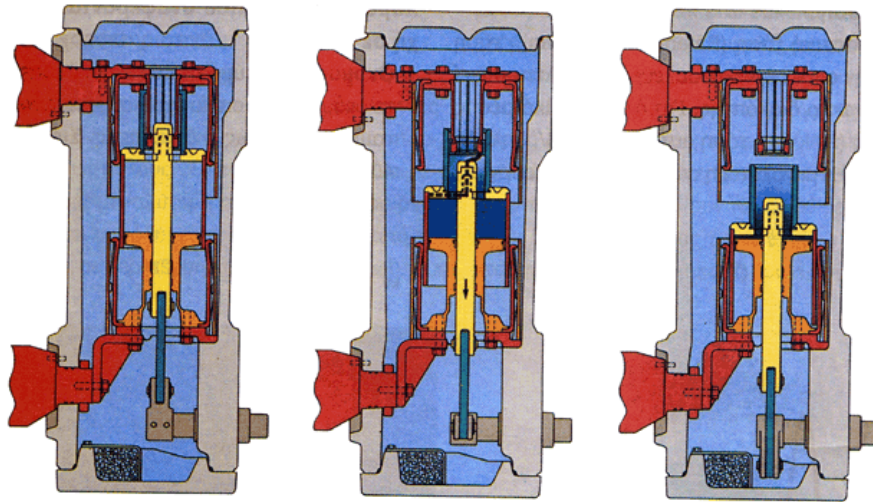
- προσπαθώντας να γεμίσουμε το σκαλοπάτι που δημιουργείται μεταξύ κύριας μόνωσης και ημιαγωγίμης θωράκισης.
8. Φοράμε το ακροκιβώτιο στο καλώδιο (τα πιάτα να κοιτάζουν προς τα κάτω) και το φέρνουμε μέχρι τη μονωτική ταινία.
 9. Τραβάμε την άκρη του πλαστικού ελατηρίου προσέχοντας το ακροκιβώτιο να είναι στη θέση του.

1.19. Διακόπτες ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος (circuit-breaker) ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα σε οποιαδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλ. τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν είναι πάνω από 7 kA, δηλαδή, όσο το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα. Ο διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει, αμέσως μετά τη σβέση του τόξου, στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου. Οι διακόπτες ισχύος, ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

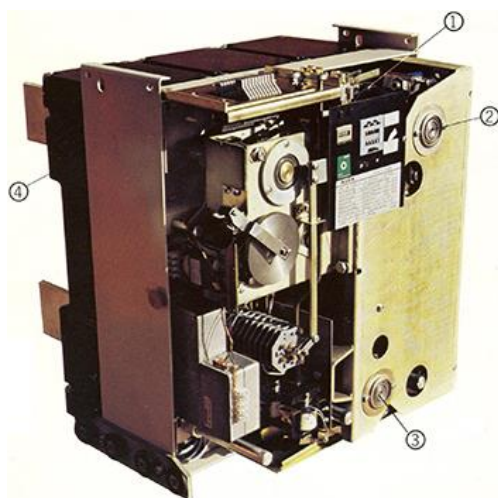
- Πτωχού ελαίου (oil-minimum)
- Εξα-φθοριούχου θείου (SF₆) (προφέρεται ες εφ σιξ)
- Κενού (vacuum)

Στις δεκαετίες 1970-1990 κυριάρχησε ο διακόπτης πτωχού ελαίου (ονομάστηκε έτσι σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού). Στην τελευταία δεκαετία αντικαταστάθηκε από το διακόπτη ισχύος με SF₆. Το αέριο SF₆ είναι ένα αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ιδιότητες που βρίσκεται μέσα στους πόλους του διακόπτη ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος με κενό χρησιμοποιούν σαν μονωτικό το κενό, δηλαδή την έλλειψη οποιουδήποτε αερίου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το απόλυτο κενό είναι το τέλειο μονωτικό.



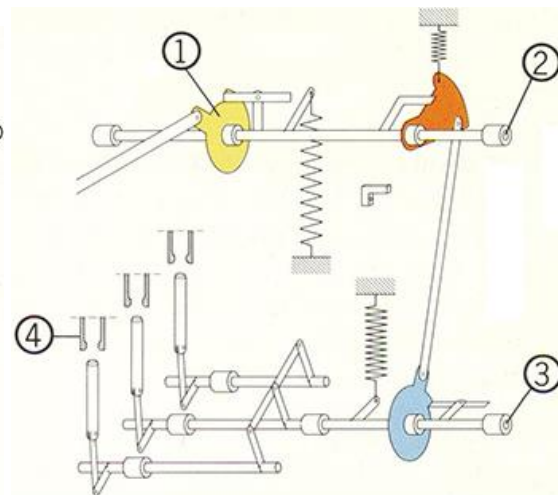
Εικόνα 24: Οι φάσεις κατά την σβέση του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη ισχύος SF6

Η ΔΕΗ έχει υπολογίσει για το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο μέσης τάσης της χώρας μας, την τιμή του αναμενόμενου βραχυκυκλώματος σε 7 kA. Στον υπολογισμό αυτό συμμετέχουν όλες τις γεννήτριες, οι αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς και πολλές άλλες παράμετροι. Πολλές φορές το συναντάμε και σαν ισχύ συμμετρικού βραχυκυκλώματος στη μέση τάση $S = 250 \text{ MVA}$. Αυτό προκύπτει από τον γνωστό τύπο $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot (20 \text{ kV}) \cdot (7 \text{ kA}) \approx 250 \text{ MVA}$



Εικόνα 25α

Τομή ενός διακόπτη ισχύος



Εικόνα 25β

Αρχή μηχανικής λειτουργίας διακόπτη ισχύος

1.20. Διακόπτες ισχύος επί φορείου

Τους διακόπτες ισχύος επί φορείου τους συναντάμε και με το όνομα συρόμενοι ή συρταρωτοί. Όπως φαίνεται στην Εικόνα ,ο διακόπτης ισχύος πτωχού ελαίου είναι τοποθετημένος σε φορείο με ρόδες. Κάθε πόλος του διακόπτη περιλαμβάνει δύο βυσματωτές επαφές που του επιτρέπουν να συνδέεται και να αποσυνδέεται από το κύριο κύκλωμα. Μετά το άνοιγμα (opening) του διακόπτη ισχύος μπορούμε να τον τραβήξουμε και να δημιουργήσουμε έτσι μια ικανή απόσταση (περίπου 20 cm). Η απόσταση αυτή θεωρείται απόσταση ασφαλείας για τη δημιουργία απομόνωσης. Έτσι οι κυψέλες μέσης τάσης που φιλοξενούν τους διακόπτες ισχύος επί φορείου δε χρειάζεται να περιλαμβάνουν διακόπτη απομόνωσης (αποζεύκτη), τόσο στην πλευρά των ζυγών όσο και στην πλευρά του καλωδίου. Το κόστος του διακόπτη αυτού σε συνδυασμό με την αντίστοιχη κυψέλη που θα τον φιλοξενήσει, είναι αρκετά υψηλότερο από το συνδυασμό του σταθερού διακόπτη ισχύος και του αποζεύκτη φορτίου. Έτσι τον συναντάμε στα πρωτογενή δίκτυα διανομής μέσης τάσης, δηλαδή στους κεντρικούς υποσταθμούς της ΔΕΗ ή στους σταθμούς παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.



Εικόνα 26: Διακόπτης ισχύος επί φορείου

1.21. Τα μέρη του διακόπτη ισχύος

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο (λάδι, SF6, κενό) που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου και το εργοστάσιο κατασκευής τους, όλοι οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από τα ίδια μέρη. Στην Εικόνα βλέπουμε ένα διακόπτη ισχύος SF6 ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικού ρεύματος 400 A. Στην εικόνα έχουν σημειωθεί με αριθμούς από το 1 ως το 10 τα μέρη του διακόπτη ισχύος που ενδιαφέρουν άμεσα το συντηρητή του υποσταθμού. Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται οι αριθμοί που υπάρχουν στην Εικόνα. Διατηρήσαμε και τις αγγλικές εκφράσεις, διότι τα τεχνικά φυλλάδια που συνοδεύουν τους διακόπτες, σπάνια είναι μεταφρασμένα στα Ελληνικά. Εκτός από τα μέρη του διακόπτη ισχύος που φαίνονται στην Εικόνα, υπάρχουν μια σειρά από εξαρτήματα που αποτελούν το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος και τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

Ο μηχανισμός λειτουργίας του διακόπτη ισχύος βασίζεται σε δύο ελατήρια που αποθηκεύουν μηχανική ενέργεια, όταν τανυστούν (τεντωθούν). Τα δύο ελατήρια είναι:

- το ελατήριο κλεισίματος
- το ελατήριο ανοίγματος

Τα δύο ελατήρια ξεχωρίζουν από το μέγεθός τους. Το ελατήριο κλεισίματος είναι μεγαλύτερο και, συνεπώς, ισχυρότερο από το ελατήριο ανοίγματος, επειδή το ελατήριο κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος.

Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό, οι κινητές επαφές του διακόπτη ισχύος. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος περιστρέφει τον άξονα, έτσι ώστε οι κινητές επαφές να έλθουν σε επαφή με τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης κλείνει.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος περιστρέφει τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, ώστε οι κινητές επαφές να απομακρυνθούν από τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης ανοίγει.

Η λειτουργία του αυτόματου διακόπτη ξεκινά με την τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος. Η τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με ένα μοχλό (μανιβέλα) (2)
- Ηλεκτρικά με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ΣΡ ή ΕΡ

Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται.

Απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί κλεισίματος (4)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη κλεισίματος (closing solenoid)

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος που αυτοσυγκρατείται.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί ανοίγματος (3)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη ανοίγματος (opening solenoid, shunt release, trip coil)



Εικόνα 27: Διακόπτης ισχύος SF6

- 1 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης**
- 2 Μοχλός για τη μηχανική τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος**
- 3 Κουμπί ανοίγματος**

- 4 Κουμπί κλεισίματος
- 5 Ένδειξη ότι το ελατήριο κλεισίματος είναι: -
τανυσμένο (κίτρινο) - ατάνυστο (λευκό)
- 6 Συσκευή μπλοκαρίσματος και ένδειξης της πίεσης του
αερίου SF6
- 7 Ένδειξη ανοικτός / κλειστός διακόπτης ισχύος
- 8 Ακροδέκτες μέσης τάσης
- 9 Μετασχηματιστές έντασης για τον ΗΝ υπερέντασης
- 10 Πόλος διακόπτη ισχύος

1.22. Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος

Στα φυλλάδια των κατασκευαστών υλικών μέσης τάσης (διακόπτες ισχύος, μετασχηματιστές ισχύος και μέτρησης, καλώδια κ.ά.) συναντάμε μια σειρά από έννοιες που χαρακτηρίζουν τις δυνατότητες αλλά και την αντοχή του υλικού. Η γνώση των εννοιών αυτών είναι καθοριστική στο μελετητή για να κάνει τη σωστή επιλογή των υλικών. Στο συντηρητή ηλεκτρολόγο, η γνώση των εννοιών αυτών είναι απαραίτητη για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του υποσταθμού αλλά και της ίδιας του της ζωής. Τις έννοιες (=χαρακτηριστικά) αυτές τις χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες:

- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή της μόνωσης (αντοχή τάσης), και
- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή στη διέλευση του ρεύματος.

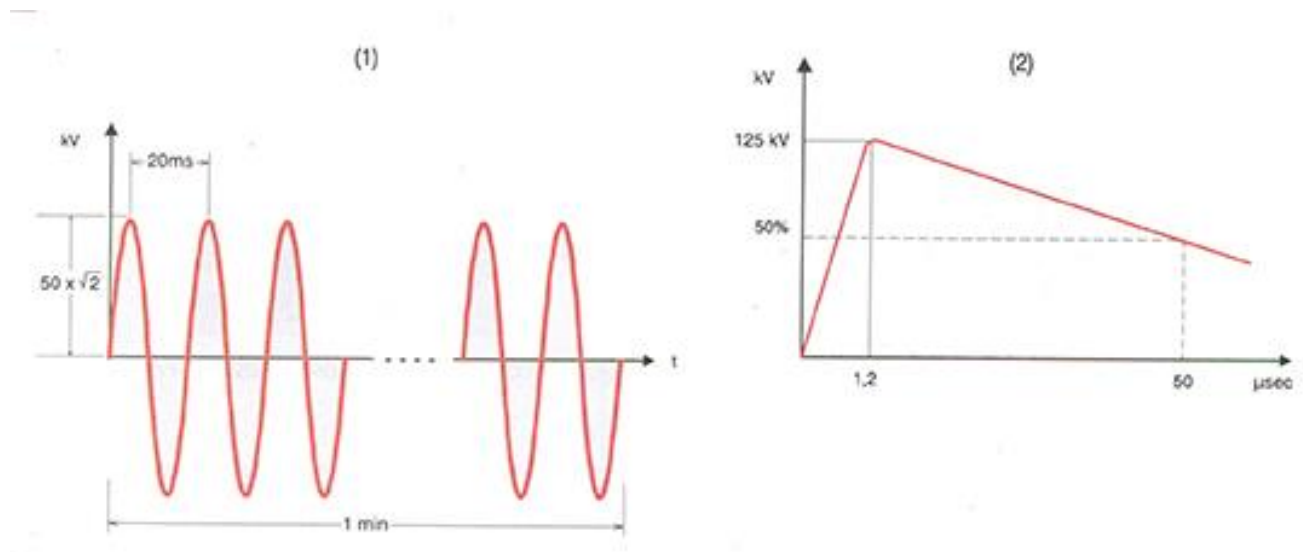
1.22.1. Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση

- **Ονομαστική τάση (Rated voltage)** είναι η τάση για την οποία έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Για όλα τα υλικά μέσης τάσης (20 kV) η τάση αυτή είναι 24 kV, δηλαδή είναι 20% μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας.

- **Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 HZ (Withstand voltage at 50 HZ)** είναι η τάση στη οποία αντέχει ο διακόπτης ισχύος για χρόνο 1 min. Με την τάση αυτή δοκιμάζεται στο εργοστάσιο κατασκευής του κάθε πίνακας μέσης τάσης, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή σειράς. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τάση δοκιμής είναι 50 kV.
- **Αντοχή σε κρουστική τάση (Impulse ithstand voltage)** είναι η κρουστική τάση (παρόμοια με την τάση που δημιουργεί ένας κεραυνός). Με την τάση αυτή δοκιμάζεται σε ειδικά εργαστήρια ένας πρότυπος διακόπτης ισχύος, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή τύπου. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τιμή της κρουστικής τάσης είναι 125 kV.

1.22.2. Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα

- **Ονομαστικό ρεύμα (Rated normal current)** είναι το ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Συνήθως είναι 400 A και πάνω.
- **Ονομαστικό ρεύμα απόξευξης σε βραχυκύκλωμα (Rated breaking capacity)** είναι το ρεύμα του βραχυκυκλώματος που μπορεί να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος με ασφάλεια, δηλαδή χωρίς να καταστραφεί. Συνήθως είναι 8 kA και πάνω. Το ρεύμα αυτό πρέπει να το αντέξει για τουλάχιστον 3 s, δηλαδή όσο χρόνο θα χρειαστούν οι διάφορες προστασίες για να δώσουν την εντολή απόξευξης. Αν η προστασία δε δουλέψει και το ρεύμα βραχυκυκλώματος ξεπεράσει τα 3 s τότε το σίγουρο είναι ότι ο διακόπτης ισχύος θα καταστραφεί δημιουργώντας μεγάλες υλικές ζημιές και ίσως ανθρώπινες απώλειες.
- **Ονομαστικό ρεύμα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα (Making breaking capacity)** είναι το ρεύμα που μπορεί να κλείσει με ασφάλεια ο διακόπτης ισχύος, στην περίπτωση που κλείνει σε βραχυκύκλωμα. Συνήθως είναι από 20 kA και πάνω.



Εικόνα 28:(1) Εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz ενεργούς τιμής 50kV

(2) Κρουστική τάση 1,2/50 μ s

1.22.3. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος SF6 είναι η πίεση του αερίου SF6 που υπάρχει μέσα στους πόλους. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0,5 bar μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αν και οι πόλοι είναι σφραγισμένοι από το εργοστάσιο, σε περίπτωση που έχουμε διαρροή του αερίου σε κάποιον από τους τρεις πόλους, τότε ο διακόπτης ισχύος θα αστοχήσει στην επόμενη εντολή διακοπής και αυτό μπορεί να είναι μοιραίο. Συνήθως οι διακόπτες ισχύος SF6 είναι εφοδιασμένοι με ειδικό μηχανισμό που ελέγχει την πίεση του αερίου. Σε περίπτωση ελαττωμένης πίεσης σε κάποιον από τους πόλους δίδεται ένδειξη και ταυτόχρονα μπλοκάρεται το κλείσιμο του διακόπτη ισχύος.

1.22.4. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου είναι ο έλεγχος της στάθμης και η ποιότητα του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στους πόλους. Αυτό γίνεται εύκολα, διότι οι μπουκάλες των πόλων είναι από διαφανές υλικό (πλεξιγκλάς ενισχυμένο με υαλόνημα) και έτσι εύκολα μπορούμε να ελέγχουμε τη στάθμη. Η συμπλήρωση με ειδικό λάδι γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η ποιότητα του λαδιού ελέγχεται συνήθως οπτικά βλέποντας το χρώμα του. Αντικατάσταση στο λάδι πρέπει να γίνεται μετά από έναν αριθμό

κανονικών χειρισμών (συνήθως 500 χειρισμοί). Οι διακόπτες ισχύος θα πρέπει να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή βραχυκυκλώματος.

1.23. Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης

Τις ασφάλειες εκτόνωσης τις συναντάμε στα σημεία διακλαδώσεων των εναέριων δικτύων της ΔΕΗ. Αποτελούνται από ένα κοίλο μονωτικό σωλήνα διαμέτρου 2-3 cm και μήκους 30-35 cm (Εικόνα) το εσωτερικό του οποίου είναι καλυμμένο με βορικό οξύ. Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει ένας αγωγός, το τηκτό, τανυσμένος με ελατήριο. Σε περίπτωση υπερέντασης, το τηκτό τήκεται (λιώνει), δημιουργείται τόξο στο εσωτερικό του σωλήνα, το οποίο παράγει υδρατμούς που βοηθούν στη σβέση του τόξου.

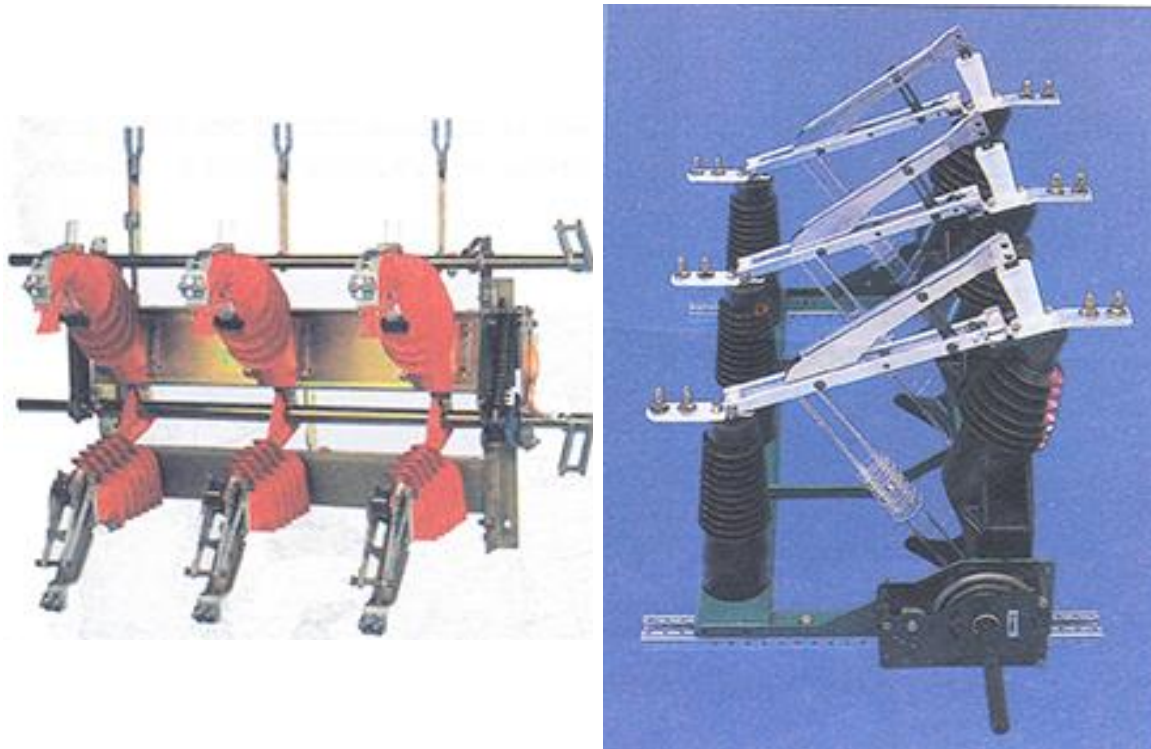


Εικόνα 29: Στύλος μέσης τάσης όπου φαίνονται οι ασφάλειες εκτόνωσης

1.24. Διακόπτης φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου είναι κατασκευασμένοι για να διακόπτουν με ασφάλεια ρεύματα μέχρι το ονομαστικό τους ρεύμα (συνήθως 400 A). Έτσι δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακοπή σφαλμάτων, δηλαδή ρεύμα βραχυκυκλώματος που φθάνει τα 7 kA, όπως συμβαίνει με τους διακόπτες ισχύος. Ο μηχανισμός λειτουργίας για το κλείσιμο και το άνοιγμα ενός διακόπτη φορτίου είναι παρόμοιος με το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος.

Κατά κανόνα, οι διακόπτες φορτίου, λειτουργούν και ως αποζεύκτες (απομονωτές), ώστε να μας επιτρέπουν να εργαστούμε με ασφάλεια στο κύκλωμα μετά τη διακοπή του. Στην περίπτωση αυτή ονομάζονται διακόπτες φορτίου - αποζεύκτες ή απλά αποζεύκτες φορτίου.



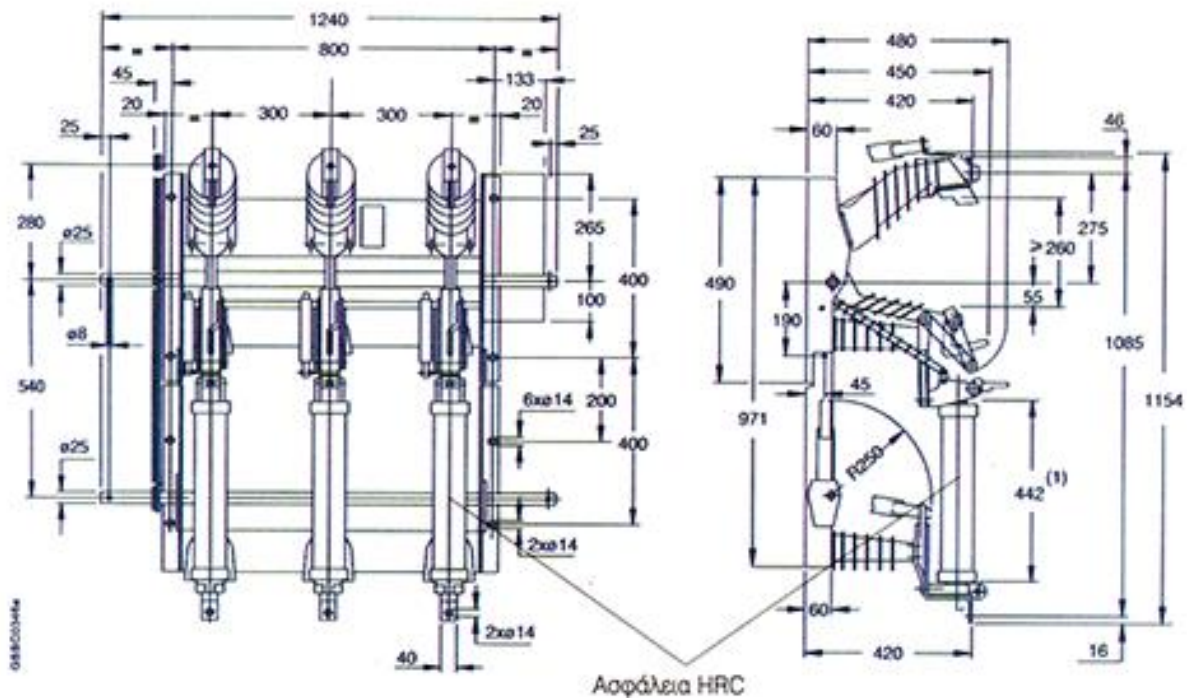
Εικόνα 30: Διάφοροι τύποι διακοπτών φορτίων – αποζευκτών μέσης τάσης

1.25. Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC

Ο διακόπτης φορτίου από μόνος του - επειδή δεν έχει την ικανότητα να διακόψει το ρεύμα βραχυκυκλώματος - δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο προστασίας. Σε συνδυασμό όμως με ασφάλειες HRC μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο προστασίας των καλωδίων ή του μετασχηματιστή ισχύος. Ο συνδυασμός αυτός ονομάζεται και ασφαλειο-διακόπτης

φορτίου ή ασφαλειο-αποζεύκτης φορτίου (Fuse-Load switch). Τον συναντάμε κατά κανόνα ως μέσο προστασίας μετασχηματιστών μέχρι 630 kV A. Σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκυκλώματος) τήκεται κάποια από τις τρεις ασφάλειες και απελευθερώνεται ο δείκτης λειτουργίας της (striker). Ο δείκτης κτυπά με δύναμη ένα μηχανισμό από μοχλούς που καταλήγει στην απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος και στο αυτόματο άνοιγμα του διακόπτη φορτίου.

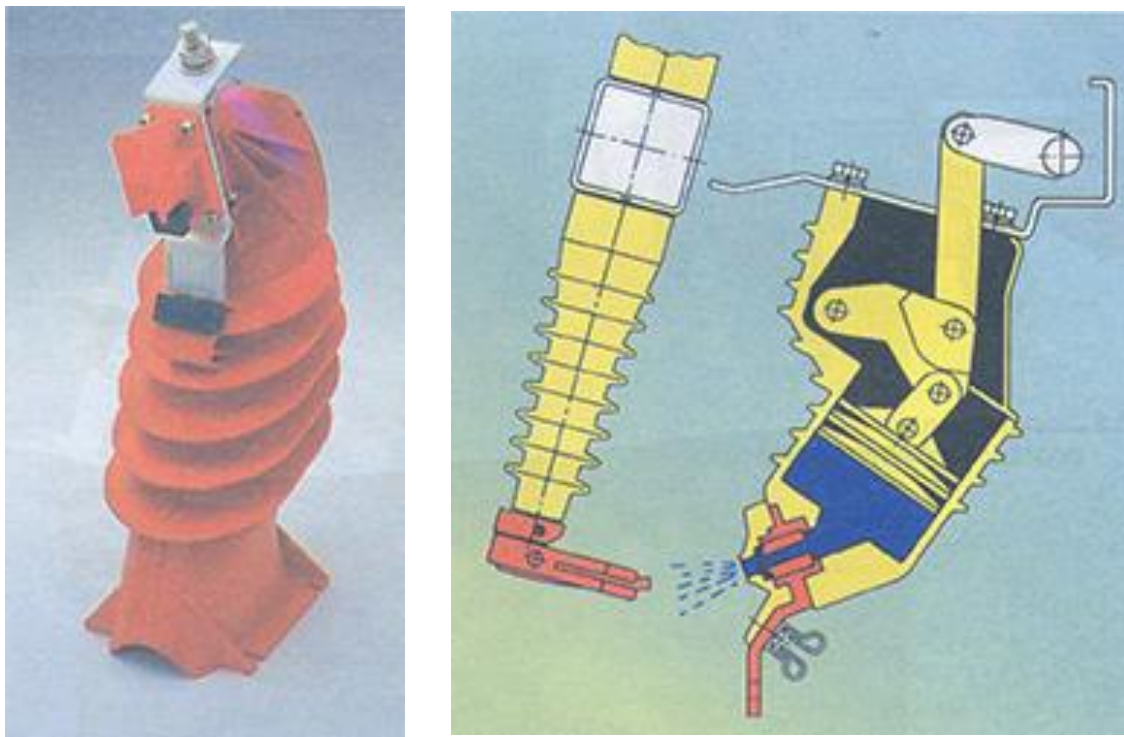
Ο διακόπτης φορτίου ανοίγει χωρίς να διακόπτει το ρεύμα σφάλματος, το οποίο έχει ήδη διακοπεί από την τηκτή ασφάλεια. Για να μπορέσει να ξαναλειτουργήσει η εγκατάστασή μας, πρέπει να αντικαταστήσουμε και τις τρεις ασφάλειες με νέες, διότι το ρεύμα σφάλματος μπορεί να έχει αλλοιώσει το τηκτό και σε κάποια άλλη φάση.



Εικόνα 31: Διαστάσεις σε mm ασφαλειοαποζεύκτη φορτίου ονομαστικής τάσης 24 kV

1.25.1. Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου

Τη χρονική στιγμή της αποχώρησης των επαφών ενός διακόπτη δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο. Η ασφαλής σβέση του τόξου αποτελεί το πλέον κρίσιμο σημείο στη λειτουργία ενός διακόπτη φορτίου. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον ειδικό μονωτήρα που υπάρχει σε κάθε πόλο του διακόπτη φορτίου που χρησιμοποιεί την τεχνική του φυσήματος αέρα για τη σβέση του τόξου. Ο μονωτήρας είναι κούφιος και το εσωτερικό του σχηματίζει ένα κύλινδρο. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει ένα έμβολο, που παίρνει κίνηση από τον κύριο άξονα του διακόπτη, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μοχλών από μονωτικό υλικό. Με το άνοιγμα του διακόπτη, αρχίζει η συμπίεση του αέρα με τη βοήθεια του εμβόλου. Ο αέρος αυτός εξέρχεται από ειδικά ακροφύσια που υπάρχουν στην ακίνητη επαφή. Η κίνηση του εμβόλου συγχρονίζεται με την κίνηση των κύριων επαφών του διακόπτη, ώστε η παροχή του αέρα να είναι πολύ δυνατή, τη στιγμή που αποχωρίζονται οι επαφές και το ηλεκτρικό τόξο είναι πολύ έντονο. Ο δυνατός αέρας βοηθά στη διάχυση του τόξου και την ταυτόχρονη ψύξη του, με αποτέλεσμα να σβήνει γρήγορα.



Εικόνα 32:Εξωτερική όψη κούφιου μονωτήρα και τομή μονωτήρα και αρχή λειτουργίας

1.26. Διακόπτης Απομόνωσης

Ο Διακόπτης Απομόνωσης (ΔΑ) στην αγγλική ορολογία αναφέρεται ως «Sectionalizer». Ο ΔΑ μπορεί να ανοίξει και να κλείσει όταν διαρρέεται από ονομαστικό ρεύμα δεν μπορεί όμως να ανοίξει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Η διαφορά του ΔΑ από έναν ΔΦ βρίσκεται στο γεγονός ότι μπορεί να «αντιλαμβάνεται» και να «θυμάται» μια υπερένταση λόγω βραχυκυκλώματος καθώς επίσης και την διακοπή που ακολουθεί. Ο ΔΑ συνεργάζεται με έναν ΔΙ και πιο συγκεκριμένα με τους κύκλους επαναφοράς που εκτελεί αυτός με την βοήθεια του ΗΝ.



Εικόνα 33: Διακόπτης απομόνωσης μέσης τάσης

Μια βασική ρύθμιση του ΔΑ είναι τα ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής» που θα μετρήσει ο ΔΑ και στη συνέχεια θα ανοίξει. Η ρύθμιση μπορεί να πάρει τιμή 1,2,3. Για παράδειγμα αν η ρύθμιση πάρει την τιμή 2 ο ΔΑ θα ανοίξει εφόσον μετρήσει 2 ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής». Στην συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα για την κατανόηση της λειτουργίας ενός ΔΑ.

Έστω ότι συμβαίνει κάποιο σφάλμα σε μια εναέρια γραμμή ΜΤ που τροφοδοτεί καταναλωτές και προστατεύεται στην αρχή της από έναν ΔΙ(Σχ.2.25). Ο ΔΙ μπορεί να εκτελεί κύκλους επαναφοράς σύμφωνα με το Σχ.2.21. Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε μια διακλάδωση της γραμμής υπάρχει καταναλωτής που έχει σαν μέσο προστασίας έναν ΔΑ και ότι το σφάλμα υπάρχει μετά από τον ΔΑ.. Στην περίπτωση αυτή, ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια υπερένταση χωρίς όμως να μπορεί να ανοίξει. Ο ΔΙ όμως μετά το σφάλμα θα ανοίξει και θα εκτελέσει τους κύκλους επαναφοράς. Την διακοπή όμως την αντιλαμβάνεται και ο ΔΑ, ο οποίος θυμάται ότι υπήρξε ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Ο ΔΙ κλείνει μετά από κάποιο χρόνο ενώ το αρχικό σφάλμα εξακολουθεί να υπάρχει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται και πάλι μια υπερένταση. Στη συνέχεια, ο ΔΙ ξανανοίγει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια διακοπή. Ο ΔΑ μετράει τώρα ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Εάν ο ΔΑ είναι ρυθμισμένος να ανοίξει αφού μετρήσει 2 ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής» τότε ανοίγει κατά το διάστημα που ο ΔΙ είναι ανοιχτός, Σε αντίθεση περίπτωση συνεχίζεται ο κύκλος επαναφοράς μέχρι να μετρήσει ο ΔΑ 3 ζεύγη επαναφοράς, η οποία είναι και η μέγιστη ρύθμιση του.

Ο μηχανισμός καταμέτρησης ενός ζεύγους «υπερέντασης – διακοπής» λειτουργεί με τη λογική της μνήμης. Έτσι ο ΔΑ μπορεί να «θυμάται» για κάποιο χρόνο την κατάσταση λειτουργίας του. Αν όμως ο ΔΑ έχει μετρήσει μόνο ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» και στην συνέχεια σταματήσει να υφίσταται το σφάλμα, ο ΔΑ σε ένα νέο διαφορετικό σφάλμα από το προηγούμενο, το οποίο συμβαίνει μετά από αρκετή ώρα θα μετρήσει ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» , αφού θα «θυμάται» το πρώτο. Έτσι, αν η ρύθμιση είναι στο 2 θα ανοίξει ο ΔΑ ενώ στην πραγματικότητα έχει δημιουργηθεί ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» που αφορά το νέο σφάλμα. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να «ξεχνάει» ο ΔΑ μετά από κάποιο χρόνο επαναφοράς. Επίσης υπάρχει και ο χρόνος ανοίγματος δηλαδή ο χρόνος που θα μεσολαβήσει μέχρι να δοθεί εντολή να ανοίξει ο ΔΑ εφόσον φυσικά έχει μετρήσει τον αριθμό ζευγών στον οποίο έχει ρυθμιστεί. Κατά το κλείσιμο του διακόπτη, σε ένα κύκλωμα δημιουργείται για πολύ μικρό χρόνο ρεύμα πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα ζεύξης, το οποίο είναι πολύ μεγάλο όταν υπάρχει κάποιος μετασχηματιστής. Επειδή το ρεύμα αυτό δεν αποτελεί σφάλμα, υπάρχει ρύθμιση ώστε να αμελείται για κάποιο χρόνο και να μην το αντιλαμβάνεται ο ΔΑ ως υπερένταση. Το ρεύμα ζεύξης ρυθμίζεται σε πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Μπορεί να πάρει τιμές 1, 2, 4, 6, 8 φορές του ονομαστικού ρεύματος. Σε ένα ΔΑ υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμιστεί και η τιμή του ρεύματος που θα θεωρηθεί ως σφάλμα από τον διακόπτη. Επειδή έχουμε σφάλματα ως προς γη και σφάλματα μεταξύ φάσεων υπάρχουν αντίστοιχα δυο διαφορετικές ρυθμίσεις: μια ρύθμιση για τα σφάλματα γης και μια για τα σφάλματα

μεταξύ φάσεων. Γενικά, η ρύθμιση της έντασης γίνεται με βυσματικές αντιστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται πάνω στην ηλεκτρονική πλακέτα του ΔΑ. Υπάρχουν πίνακες που δείχνουν το κατάλληλο μέγεθος της αντίστασης που πρέπει να τοποθετηθεί για να ρυθμιστεί το ρεύμα σφάλματος στην επιθυμητή τιμή. Επισημαίνεται ότι το ρεύμα σφάλματος γης ρυθμίζεται σε μικρότερες τιμές σε σχέση με το ρεύμα σφάλματος φάσεων. Συνοπτικά ένας ΔΑ έχει τις εξής ρυθμίσεις: □ ρύθμιση του αριθμού των ζευγών «υπερέντασης – διακοπής» □ χρόνο μνήμης σε sec που είναι ο χρόνος, που μπορεί ο ΔΑ να «θυμάται» □ χρόνος επαναφοράς σε sec, που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να «ξεχάσει» τις καταμετρήσεις και να έρθει στην αρχική του κατάσταση □ χρόνος ανοίγματος σε κύκλους, ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να ανοίξει ΔΑ □ ρεύμα ζεύξης που πρέπει να αμεληθεί από τον διακόπτη Η τάση έχει συχνότητα 50 Hz δηλαδή η κυματομορφή της τάσης επαναλαμβάνεται 50 φορές το δευτερόλεπτο. Έτσι ο χρόνος σε κύκλους δείχνει τους κύκλους που θα κάνει η τάση μέχρι να δοθεί εντολή να ανοίξει ο διακόπτης, και φυσικά είναι κάτω των 50. Στο κεφάλαιο 4 υπάρχουν φωτογραφίες, στις οποίες παρουσιάζονται οι ΔΑ και οι ρυθμίσεις των ΔΑ u960 που αναφέρονται παραπάνω.

1.27. Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς (Δ/ΑΕ)

Ένας Δ/ΑΕ συνοδεύεται πάντα από έναν ηλεκτρονικό πίνακα ελέγχου ή «Reclose Controls», κατάλληλο για την λειτουργία του διακόπτη. Τα τεχνικά συνεργεία της Δ.Ε.Η το ονομάζουν «Controller» Από τον «Controller» γίνονται οι χειρισμοί ηλεκτρονικά για να ανοίξει ή να κλείσει ο διακόπτης. Στον Controller γίνονται όλες οι ρυθμίσεις για τους ΔΙ. Ο Controller περιέχει δηλαδή τους ηλεκτρονόμους του διακόπτη, που ελέγχουν την λειτουργία του διακόπτη και είναι σε θέση να δώσουν εντολή να ανοίξει σε περίπτωση σφάλματος. Στο κυρίως σώμα του διακόπτη διακρίνει κανείς εύκολα τους μονωτήρες που συνδέονται οι αγωγοί και το χώρο μέσα στον οποίο γίνεται η σβέση του τόξου. Ο διακόπτης παίρνει εντολές από τον Controller για να ανοίξει ή να κλείσει. Ο διακόπτης συνδέεται με τον Controller με ένα καλώδιο έτσι ώστε να γίνονται οι χειρισμοί του διακόπτη από απόσταση, προσφέροντας ταυτόχρονα και ασφάλεια στους χειριστές. Ένας Δ/ΑΕ μπορεί να είναι είτε μονοφασικός είτε τριπολικός.

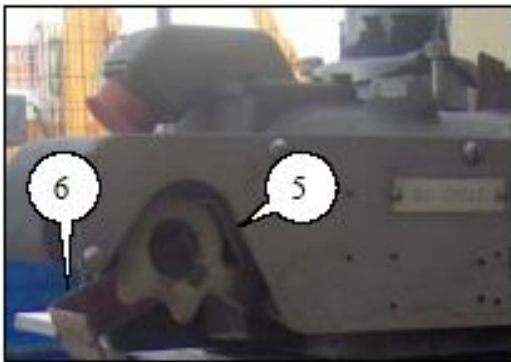
1.27.1. Τριπολικοί Δ/ΑΕ

Οι τριπολικοί Δ/ΑΕ μπορούν να χωριστούν στους διακόπτες ελαίου και στους ξηρού τύπου με «κενό», οι οποίοι είναι πιο σύγχρονοι. Στους τριπολικούς Δ/ΑΕ με δοχείο λαδιού διακρίνουμε τους τύπους RE, WE και τον RVE. Οι παραπάνω τύποι διαφέρουν στα τεχνικά

χαρακτηριστικά τους. Οι Δ/ΑΕ είναι σε θέση να εκτελούν ξεχωριστά κύκλους επαναφοράς για σφάλματα γης και σφάλματα φάσεων με την βοήθεια, φυσικά, του «Controller» Στον «πίνακα ελέγχου μπορούν να ρυθμιστούν τα παρακάτω μεγέθη:

- Η ελάχιστη ένταση διέγερσης για σφάλματα φάσεων και γης χωριστά
- Οι καμπύλες χρονικής καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας
- Ο αριθμός πτώσεων του διακόπτη που θα οφείλεται στο Σ.Λ και Χ.Κ
- Οι χρόνοι επανάζευξης
- Ο χρόνος επαναφοράς σε αρχική κατάσταση.

Στους Δ/ΑΕ υπάρχουν και διακόπτες «δέσμευσης» κάποιας λειτουργίας δηλαδή προσωρινό σταμάτημα μιας συγκεκριμένης λειτουργίας. Υπάρχουν διακόπτες δέσμευσης της επαναφοράς και της λειτουργίας από σφάλματα γης. Το πηνίο ζεύξης είναι αυτό που θα δώσει την «εντολή» στο ελατήριο των επαφών του διακόπτη για να κλείσουν ή να ανοίξουν οι επαφές. Το πηνίο αυτό τροφοδοτείται απευθείας από την τάση του δικτύου ΜΤ. Έτσι για να μπορέσει να λειτουργήσει ο διακόπτης πρέπει το πηνίο αυτό να έχει μόνιμα τάση, την οποία παίρνει από την μια πλευρά του δικτύου που υπάρχει η τάση. Αυτό σημαίνει ότι ο Διακόπτης πρέπει να τοποθετηθεί με συγκεκριμένο τρόπο έτσι ώστε οι αγωγοί που φέρουν τάση να βρίσκονται από την πλευρά όπου τροφοδοτείται το πηνίο ζεύξης. Γι αυτό τον λόγο υπάρχει ειδική ένδειξη πάνω στο καπάκι του Διακόπτη, που δείχνει τις επαφές που πρέπει να μπουν οι αγωγοί που φέρουν τάση. Στην αντίθετη περίπτωση το πηνίο δεν θα είναι υπό τάση και δεν θα μπορέσει να λειτουργήσει ο διακόπτης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας παλιός Δ/ΑΕ της Εταιρίας Mc-Graw Edison τύπου RVE.



Εικόνα 34 : Παλιός Δ/ΑΕ της Εταιρίας Mc-Graw Edison τύπου RVE

Στην εικόνα φαίνονται το δοχείο λαδιού (1), οι μονωτήρες-ακροδέκτες (2), στο πάνω μέρος των οποίων συνδέονται οι τρεις φάσεις του δικτύου που βρίσκονται υπό τάση και οι μονωτήρες, στους οποίους θα συνδεθούν οι τρεις φάσεις που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε (3). Στο κόκκινο καπάκι (4) που φαίνεται στην εικόνα υπάρχει μια υποδοχή για να συνδεθεί με ένα καλώδιο ο Controller. Επίσης φαίνεται η προειδοποιητική πινακίδα για τους ακροδέκτες στους οποίους πρέπει να συνδεθούν οι αγωγοί υπό τάση (7). Σε όλους τους Δ/ΑΕ υπάρχει και χειροκίνητη λειτουργία του διακόπτη σε περίπτωση που ο Controller πάθει κάποια βλάβη. Επίσης υπάρχει ένδειξη για την κατάσταση του διακόπτη «OPEN», «CLOSE» Επίσης φαίνεται η λαβή για την χειροκίνητη λειτουργία (5) καθώς επίσης και η ένδειξη «OPEN», «CLOSE» (6). Τέλος υπάρχει σύστημα το οποίο στέλνει πληροφορίες

για την κατάσταση του διακόπτη ανοιχτός ή κλειστός σε διάφορα σημεία (π.χ σε έναν υποσταθμό).

1.27.2. Δ/ΑΕ Ξηρού Τύπου

Ένας νέος τύπος Δ/ΑΕ είναι ο « Nona 27» της Cooper. Ο διακόπτης είναι ξηρού τύπου με μπουκάλες «κενού». Ο Διακόπτης αυτός χρησιμοποιεί το κενό για την σβέση του τόξου αντί λάδι. Έχει και αυτός τις ίδιες ακριβώς λειτουργίες, όπως οι προηγούμενοι. Μια λειτουργική διαφορά είναι ότι εδώ δεν παίζει ρόλο σε ποια πλευρά θα τοποθετηθούν οι αγωγοί των φάσεων που βρίσκονται υπό τάση. Αυτό γίνεται επειδή η λειτουργία του τύπου αυτού δεν εξαρτάται από το πηνίο ζεύξης αλλά από ένα μικρό κινητήρα, ο οποίος ανοίγει και κλείνει τις επαφές. Ο κινητήρας τροφοδοτείται από ξεχωριστό κύκλωμα χαμηλής τάσης απευθείας από τον Controller του διακόπτη. Παρατηρείται επίσης ότι δεν είναι τόσο μεγάλος όσο ο RVE και ο χώρος που γίνεται η σβέση του τόξου είναι πολύ μικρότερος από πριν. Αυτό οφείλεται στις καλύτερες μονωτικές ιδιότητες του κενού από τα μονωτικά λάδια. Ένας διακόπτης κενού είναι πιο οικολογικός και δεν υπάρχει περίπτωση να εκραγεί όπως ένας διακόπτης λαδιού ρυπαίνοντας τον χώρο που βρίσκεται. Στους Διακόπτες λαδιού πρέπει να γίνεται κάθε 2- 3 χρόνια έλεγχος των μονωτικών ιδιοτήτων του λαδιού. Γενικά όλοι οι Διακόπτες ξηρού δεν απαιτούν πολύ μεγάλη συντήρηση όπως οι Λαδιού, βέβαια είναι ακριβότεροι από τους Διακόπτες Λαδιού.



Εικόνα 35 : Δ/ΑΕ Ξηρού Τύπου

1.27.3. Μονοπολικοί Δ/ΑΕ

Οι μονοπολικοί διακόπτες συνδέονται ο κάθε ένας σε μια φάση και λειτουργούν ανεξάρτητα από τους διακόπτες των άλλων 2 φάσεων. Έτσι σε ένα μονοφασικό σφάλμα λειτουργεί μόνο ο αντίστοιχος Δ/ΑΕ της φάσης, που υπάρχει το σφάλμα. Με αυτό τον τρόπο διακόπεται μόνο η μία φάση και ενοχλούνται μόνο οι καταναλωτές της φάσης αυτής ενώ οι καταναλωτές που συνδέονται στις άλλες 2 φάσεις συνεχίζουν να βρίσκονται υπό τάση. Ωστόσο σε μόνιμο σφάλμα μπορούν να πέσουν και οι τρεις διακόπτες όταν είναι εφοδιασμένοι με μηχανισμό που παρασέρνει σε πτώση και τους υπόλοιπους. Στους μονοφασικούς Δ/ΑΕ η ανίχνευση και διερεύνηση των σφαλμάτων γίνεται ξεχωριστά για κάθε μια φάση χωρίς όμως να γίνεται διαχωρισμός σφαλμάτων μεταξύ φάσεων και γης. Οι μονοπολικοί Δ/ΑΕ σε αντίθεση με τους τριπολικούς δεν διαθέτουν ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου δηλαδή δεν έχουν πίνακα ελέγχου (Controller) αλλά διαθέτουν υδραυλικό σύστημα ελέγχου. Η υπερένταση ανιχνεύεται από ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο βρίσκεται σε σειρά με το κύκλωμα ισχύος απ' όπου περνάει το ρεύμα του φορτίου και το ρεύμα σφάλματος. Το ονομαστικό ρεύμα του διακόπτη, η ένταση διέγερσης καθώς και η ικανότητα διακοπής εξαρτώνται από την ονομαστική τιμή του πηνίου



Εικόνα 9: Μονοπολικοί Δ/ΑΕ

Το σύστημα ελέγχου λειτουργεί με το λάδι του Δ/ΑΕ. Ένας πολύπλοκος μηχανισμός βαλβίδων λαβύρινθων και εμβόλων ρυθμίζει την ταχύτητα ροής του λαδιού και με τον μηχανισμό αυτό μπορούν να ελεγχθούν :

- Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης- χρόνου του διακόπτη
- Ο χρόνος επανάρξεως που είναι 1,5 sec
- Ο αριθμός λειτουργιών με Σ.Λ και ΧΚ
- Ο αριθμός λειτουργιών για τελική πτώση του Διακόπτη
- Ο χρόνος επαναφοράς σε αρχική κατάσταση

Στον πίνακα δίνονται τα ονομαστικά στοιχεία μονοφασικών Δ/ΑΕ τύπου Ε που χρησιμοποιούνται από την Δ.ΕΗ:

Πίνακας 2:Ονομαστικά Στοιχεία 1Φ Δ/ΑΕ τύπου Ε

Ονομαστικά Στοιχεία Μονοφασικού Δ/ΑΕ	
Ονομαστική Τάση	24,9 kV
Ονομαστική Ένταση	50 και 70 A
Ένταση Διέγερσης	100 και 140 A
Μέγιστη Έντασης Διακοπής	2500 A

1.27.4. Recloser Control του Δ/ΑΕ

Ο Πίνακας Ελέγχου ή Controller του Δ/ΑΕ RVE είναι ο F3 και φαίνεται στην εικόνα 10 Ο F3 είναι παλιός τύπος Controller, όπως φυσικά και ο αντίστοιχος Δ/ΑΕ που ελέγχει. Έτσι όλες οι ρυθμίσεις γίνονται με ηλεκτρονικό τρόπο χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά στοιχεία πάνω στην πλακέτα του Controller. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται:

- Το ελάχιστο ρεύμα Διέγερσης σε σφάλματα γης και φάσεων ξεχωριστά
- Οι χαρακτηριστικές έντασης-χρόνου φάσεων και γης
- Ο αριθμός κύκλων λειτουργίας μέχρι την τελική πτώση
- Ο αριθμός λειτουργίας του ΗΝ φάσεων και ΓΗΣ

Ο πίνακας ελέγχου συνδέεται με καλώδιο με τον Δ/ΑΕ σε ειδική υποδοχή όπως αναφέρθηκε παραπάνω . Βέβαια η τάση καθώς και το ρεύμα που θα ελέγχει ο Πίνακας Ελέγχου πρέπει να είναι σε σχετικά χαμηλές τιμές. Γι αυτό υπάρχει ένας ΜΣ μέτρησης τάσης και ένας

μετασχηματιστής έντασης μέσα στον Δ/ΑΕ πριν συνδεθεί ο Πίνακας ελέγχου με τον Δ/ΑΕ.



Εικόνα 37 : Ο Πίνακας Ελέγχου του Δ/ΑΕ RVE

Παραπάνω φαίνεται ο Πίνακας Ελέγχου F3, όπου υπάρχουν δύο περιοχές ελέγχου. Οι δύο περιοχές ξεχωρίζουν από το χρώμα. Στην μαύρη περιοχή που καλύπτει και το μεγαλύτερο μέρος της εικόνας η Δ.Ε.Η μπορεί να κάνει όλες τις ρυθμίσεις του διακόπτη ενώ στη κάτω πλευρά που έχει ασημί χρώμα μπορούν να γίνουν κάποιοι βασικοί χειρισμοί. Ο καταναλωτής μιας εγκατάσταση έχει πρόσβαση μόνο στην ασημί περιοχή για να μπορέσει να κλείσει ή να ανοίξει τον διακόπτη ενώ απαγορεύεται να έχει πρόσβαση στη περιοχή που γίνονται οι ρυθμίσεις από την Δ.Ε.Η. Η περιοχή των ρυθμίσεων δεν είναι ορατή από τον Καταναλωτή.

Στο σήμα φαίνονται οι διάφορες ρυθμίσεις που κάνει η Δ.Ε.Η :

α) Ελάχιστο ρεύμα διέγερσης (1): Για να ρυθμιστεί το ελάχιστο ρεύμα διέγερσης τοποθετούνται αντιστάσεις, οι οποίες ανάλογα με το μέγεθος τους ρυθμίζουν και το ρεύμα διέγερσης. Στο Σχ. υπάρχουν τέσσερις αντιστάσεις (1) έτσι ώστε να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης ξεχωριστά για τις τρεις φάσεις αλλά και για τη γη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση

παρατηρεί κανείς ότι το ελάχιστο ρεύμα διέγερσης για τις τρεις φάσεις ανέρχεται στα 140 A ενώ για την γη στα 50 A (1).

β) Χαρακτηριστικές έντασης – χρόνου (2): Όπως ακριβώς και πριν έτσι και εδώ ρυθμίζεται ξεχωριστά η χαρακτηριστική των φάσεων και της γης. Η κάθε χαρακτηριστική ρυθμίζεται από 2 ηλεκτρονικά στοιχεία που χαρακτηρίζονται από έναν αριθμό ή γράμμα (2). Σύμφωνα με πίνακα του κατασκευαστή επιλέγονται τα κατάλληλα στοιχεία για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί χρόνοι διέγερσης για μια συγκεκριμένη τιμή ρεύματος. Εδώ για την χαρακτηριστική της γης έχουν τοποθετηθεί τα στοιχεία 1 και 13 ενώ για την χαρακτηριστική των φάσεων τα στοιχεία με το γράμμα R και E.

γ) Αριθμός λειτουργίας των ΗΝ φάσεων, γης και κύκλων επαναφοράς(3): Κατά την εκτέλεση των κύκλων επαναφοράς μπορούμε να ρυθμίσουμε τους κύκλους επαναφοράς που θα πραγματοποιηθούν μέχρι την τελική πτώση του Δ/ΑΕ (LOCKOUT). Επίσης μπορούμε να ρυθμίσουμε τον αριθμό λειτουργίας του ΗΝ φάσεων (Phase, Ground trip Socket) και γης κατά την διάρκεια των κύκλων επαναφοράς, όπου ο κάθε ΗΝ λειτουργεί τόσες φορές όσες είναι η ρύθμιση του και στην συνέχεια βγαίνει εκτός. Οι ρυθμίσεις αυτές (3) χρησιμοποιούνται για λόγους επιλεκτικής συνεργασίας του Δ/ΑΕ με τα μέσα προστασίας που υπάρχουν στην γραμμή.

δ) Χρόνος επαναφοράς στην αρχική κατάσταση(4): Με την ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται ο χρόνος σε Sec, στον οποίο ο Δ/ΑΕ θα είναι σε Θέση να «ξεχάσει» τα σφάλματα που έχουν συμβεί καθώς και τους κύκλους επαναφοράς που έχει κάνει. Εδώ ο χρόνος αυτό έχει καθοριστεί στα 45 sec (4).

Στον Πίνακα ελέγχου υπάρχει ένας μετρητής (5), ο οποίος μετράει πόσες φορές άνοιξε και έκλεισε ο Δ/ΑΕ. Μετά από κάποιο συγκεκριμένο αριθμό λειτουργίας του Διακόπτη πρέπει να γίνει συντήρηση του Δ/ΑΕ, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος της ποιότητας του λαδιού. Ο αριθμός αυτός καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

Στην ασημί περιοχή όπου έχει πρόσβαση και ο καταναλωτής της εγκατάστασης, το βασικότερο στοιχείο είναι ο μαύρος μοχλός που αποτελεί τον Γενικό Διακόπτη του Δ/ΑΕ. Η ένδειξη «TRIP» υποδηλώνει ότι οι επαφές του Δ/ΑΕ είναι κλειστές ενώ η ένδειξη «CLOSE» σημαίνει ότι οι επαφές του διακόπτη είναι ανοιχτές. Στην ασημί περιοχή παρατηρεί κανείς κάποιους μικρούς διακόπτες για να δεσμεύσουν κάποια συγκεκριμένη λειτουργία του διακόπτη όπως επίσης και για να γίνει κάποιος απλός έλεγχος. Έτσι υπάρχουν διακοπτάκια (6) για να γίνει δέσμευση της λειτουργίας του ΗΝ φάσης ή για να σταματήσει να εκτελεί ο Δ/ΑΕ κύκλους επαναφοράς και στην επόμενη

πτώση να παραμείνει ανοιχτός. Επίσης υπάρχει ένα διακοπτάκι (7) για έλεγχο των φωτεινών ενδείξεων και για να γίνει έλεγχος αν ο διακόπτης μπορεί να βγει εκτός (Lockout). Οι νεότεροι τύπου Δ/ΑΕ συνοδεύονται με Controller, που είναι πλέον ψηφιακοί. Οι ρυθμίσεις σε αυτούς εισάγονται με το πληκτρολόγιο, που βρίσκεται πάνω στη κονσόλα, στο software του Controller. Στους ψηφιακούς ελεγκτές έχουμε πάρα πολλές λειτουργίες πέρα από τις βασικές που είχαν οι παλιότεροι ελεγκτές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για παράδειγμα μπορεί κανείς να μετρήσει τα ρεύματα των φάσεων, την τάση, την ενεργή και άεργο ισχύς κ.α. Επίσης μπορεί να συνδεθεί ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής και να πάρουμε διάφορα δεδομένα και γραφήματα από τον ελεγκτή.

Και σε αυτούς τους ελεγκτές ξεχωρίζει η περιοχή των ρυθμίσεων που γίνονται από την Δ.Ε.Η και δεν επιτρέπεται σε αυτήν η πρόσβαση στον καταναλωτή καθώς επίσης και η περιοχή με τις Βασικές λειτουργίες του Δ/ΑΕ που βλέπει και μπορεί να ελέγχει και ο Καταναλωτής. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι πίνακες ελέγχου για τον Δ/ΑΕ KVFME και τον Δ/ΑΕ ξηρού τύπου NOVA 27 αντίστοιχα.



Εικόνα 38 : Πίνακες ελέγχου του Δ/ΑΕ KVFME



Εικόνα 39 : Πίνακας ελέγχου του Δ/ΑΕ ξηρού τύπου NOVA 27

1.28. Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC)

Βασικοί ορισμοί

Ονομαστική τάση (U_n)

Είναι η μέγιστη πολική τάση του δικτύου, στην οποία μπορεί να εργασθεί συνεχώς η ασφάλεια. Για το δίκτυο μέσης των 20 kV, είναι $U_n=24$ kV. Άλλες τυποποιημένες ονομαστικές τάσεις είναι 3.6 , 7.2 , 12 και 17.5 kV. Προφανώς μια ασφάλεια ονομαστικής τάσης 24 kV μπορεί να εργασθεί σε δίκτυο 15 kV, το αντίστροφο όμως δεν ισχύει.

Ονομαστικό ρεύμα (I_n)

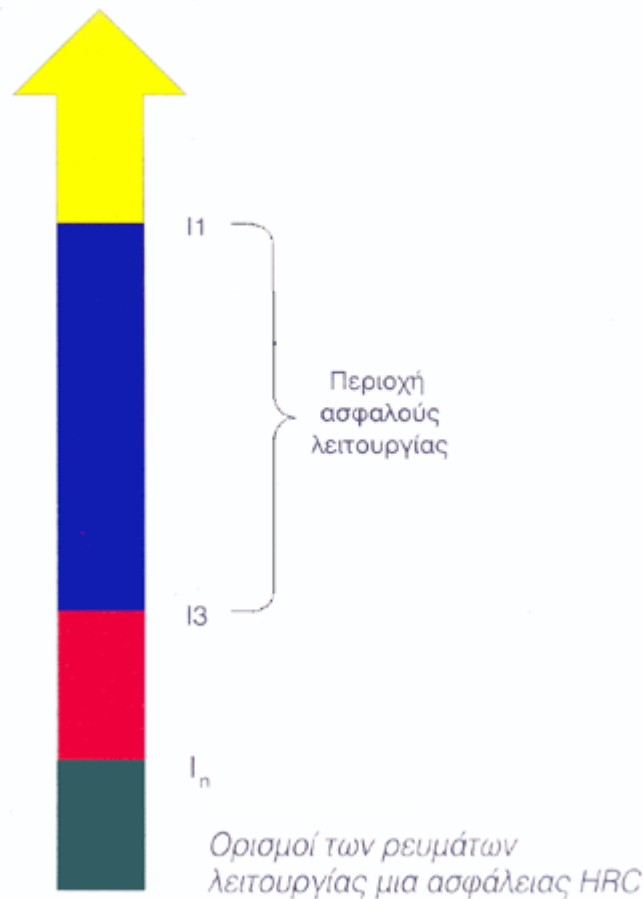
Είναι το ρεύμα που μπορεί να περνά συνεχώς μέσα από την ασφάλεια, χωρίς η θερμοκρασία της να ξεπεράσει τους 65°C. Οι τυποποιημένες ονομαστικές τιμές των ασφαλειών είναι: 6.3, 10, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 και 100A. Το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας επιλέγεται από το μέγεθος του μετασχηματιστή ισχύος, όπως φαίνεται στον Πίνακα.

Ελάχιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής (I3)

Είναι το ελάχιστο ρεύμα που προκαλεί την τήξη και διακοπή της ασφάλειας. Η τιμή του I3 είναι 3 ως 5 φορές το ρεύμα I_n. Σημειώνουμε ότι για να διακοπεί το ρεύμα δεν είναι αρκετό το τήξιμο της ασφάλειας. Αν το ρεύμα του σφάλματος είναι μικρότερο του I3, η ασφάλεια τήκεται αλλά δεν διακόπτεται απαραίτητα και το ρεύμα. Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της ασφάλειας στην περιοχή μεταξύ I_n και I3.

Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής (I1)

Είναι το ρεύμα το οποίο μπορεί να διακόψει η ασφάλεια χωρίς κίνδυνο καταστροφής της (έκρηξη). Η τιμή του ρεύματος αυτού κυμαίνεται από 20 έως 80 kA.



Εικόνα 40: Ορισμοί των ρευμάτων λειτουργίας μιας ασφάλειας HRC

Πίνακας 3: Επιλογή ασφάλειας HRC με βάση την τάση λειτουργίας και την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή.

Τάση λειτουργίας (kV)	Ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή (κVA)															Ονομαστική τάση (kV)
	25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	
3,3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	125	160	200				7,2
5,5	10	16	31,5	31,5	40	50	50	63	80	100	125	125	160	160		7,2
6,6	10	16	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160		7,2
10	6,3	10	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	100	125	12
13,8	6,3	10	16	16	20	25	31,5	31,5	40	50	50	63	80	80	100	17,5
15	6,3	10	10	16	16	20	25	31,5	40	50	50	63	80	80	100	17,5
20	6,3	6,3	10	10	16	16	25	25	31,5	40	40	50	50	63	80	24
22	6,3	6,3	10	10	10	16	20	25	25	31,5	40	40	50	50	80	24

1.28.1. Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC

Οι ασφάλειες σκόνης έχουν ένα πυρήνα από κεραμικό υλικό (3), πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένο σε μορφή σπείρας το τηκτό (4). Το τηκτό είναι από κράμα αργύρου για να έχει όσο γίνεται μικρότερη αντίσταση. Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία (5). Το εξωτερικό περίβλημα είναι από πορσελάνη (2). Όταν το ρεύμα ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή I, τότε τήκεται ο αγωγός σε ένα ή περισσότερα σημεία, με αποτέλεσμα η ενέργεια που εκλύει το τόξο να απορροφάται από τη χαλαζιακή άμμο που λιώνει και μετατρέπεται σε πορσελάνη. Η αντίσταση που παρεμβάλλεται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος είναι τεράστια και το ρεύμα βραχυκυκλώματος περιορίζεται προτού φτάσει στη μέγιστη τιμή του (κορυφή).

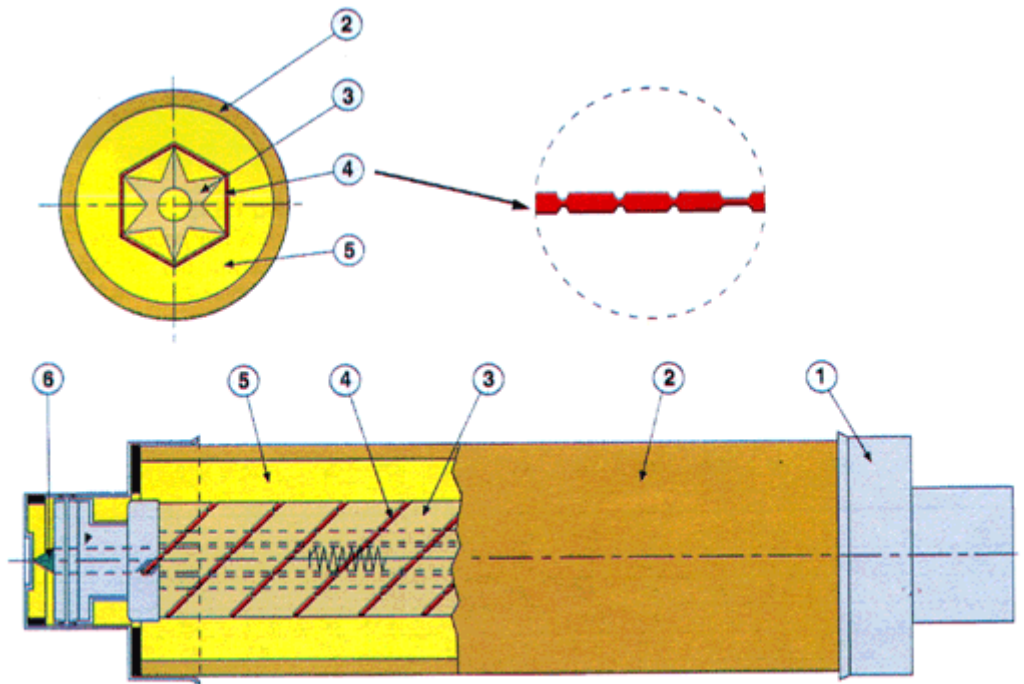
Αυτό έχει ως συνέπεια, πέρα από την διακοπή του σφάλματος, και το σημαντικό περιορισμό της κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να δημιουργήσει δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του υποσταθμού. Οι ασφάλειες HRC διαθέτουν και ένα δείκτη λειτουργίας (6) που συγκρατείται με ελατήριο. Όταν η ασφάλεια λειτουργήσει το ελατήριο απελευθερώνεται και ο δείκτης εξέρχεται από το σώμα της ασφάλειας.

Η λειτουργία του δείκτη είναι διπλή:

1. δείχνει ότι η ασφάλεια έχει λειτουργήσει και συνεπώς πρέπει να αντικατασταθεί

2. χτυπά με δύναμη την άκρη ενός πλαστικού μοχλού που με τη βοήθεια ενός μηχανισμού δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη φορτίου.

Επειδή οι ασφάλειες σκόνης έχουν την ικανότητα να περιορίζουν το ρεύμα βραχυκυκλώματος, ονομάζονται και ασφάλειες υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC = High Rupturing Capacity)



Τα μέρη μια ασφάλειας HRC

Εικόνα 41: Τα μέρη μιας ασφάλειας HRC

1. Επαφές
2. Εξωτερικός σωλήνας από πορσελάνη
3. Πυρήνας από κεραμικό υλικό
4. Τηκτό στοιχείο
5. Χαλαζιακή άμμος
6. Δείκτης λειτουργίας

1.29. Ρύθμιση Τάσης (Voltage Regulation)

Σε ένα ΣΗΕ θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ορθή και ασφαλής λειτουργία του. Κατά βάση με τον όρο ορθή αναφερόμαστε στην απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών στον καταναλωτή καθώς και τη διατήρηση των

μεγεθών τάσης και συχνότητας εντός ονομαστικών ορίων. Η ασφαλής λειτουργία αναφέρεται στις ακίνδυνες λειτουργικές καταπονήσεις που θα πρέπει να είναι ανεκτές από τον εξοπλισμό του δικτύου.

Το ζήτημα ρυθμίσεως ή διατηρήσεως της τάσης στα ΣΗΕ, είναι ιδιαίτερα πολυσύνθετο από τη στιγμή που τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί πολλά φορτία. Με άλλα λόγια, η διατήρηση της τάσης δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με μόνο τον έλεγχο μιας γεννήτριας (μέσω της διεγέρσεώς της), καθώς αφορά το σύνολο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός για κάθε επίπεδο τάσης που θα αναλαμβάνει να την επιτηρεί και ρυθμίζει.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα που εγκαθίστανται για την αντιμετώπιση του ζητήματος της ρύθμισης τάσης. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια αναφορά και σύντομη περιγραφή σε αυτά. Ωστόσο, θα επιμείνουμε στην κατεύθυνση ρύθμισης τάσης για τα σύγχρονα ενεργητικά δίκτυα, δηλαδή δίκτυα με υψηλή διείσδυση σε ΔΠ, καθώς και στους λόγους για τους οποίους ο συμβατικός εξοπλισμός ρύθμισης τάσης δεν είναι σε θέση να φέρει εις πέρας το έργο του. Επιπρόσθετα, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση στα είδη των ελέγχων (κεντρικού-αποκεντρωμένου- τοπικού).

1.29.1. Ρύθμιση τάσης σε παθητικά δίκτυα

Το ζήτημα της ρύθμισης τάσης στα ΣΗΕ παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με αυτό του ελέγχου της συχνότητας. Συγκεκριμένα, η συχνότητα θα πρέπει να βρίσκεται σε στενά όρια διακύμανσης στα πλαίσια της καλής λειτουργίας του δικτύου. Ο έλεγχος της συχνότητας σχετίζεται με το ισοζύγιο της πραγματικής (ενεργού) ισχύος στο συνολικό δίκτυο. Εντελώς αντίστοιχα θα πρέπει να διατηρούνται και τα όρια λειτουργίας της τάσης του ΣΗΕ, πράγμα το οποίο αντικατοπτρίζεται στο ισοζύγιο αέργου ισχύος. Γενικά, η συχνότητα αποτελεί δείκτη ενεργειακής ισορροπίας του συστήματος, ενώ η τάση δείκτης καλής λειτουργίας αυτού. Εξάλλου, η συχνότητα τυπικά πρέπει να είναι ενιαία σε όλο το ΣΗΕ (ευστάθεια), σε αντίθεση με την τάση που διαφέρει από ζυγό σε ζυγό.

Τα επίπεδα επιτρεπτών τιμών και των δυο μεγεθών θα πρέπει να βρίσκονται αυστηρά στα πλαίσια των κανονισμών και των προτύπων όπως έχει αναφερθεί και σε στην συχνότητα για το λόγο αυτό οι ανοχές στη ρύθμιση όπως και στη διακύμανση της τάσης είναι πολύ μεγαλύτερες. Με άλλα λόγια, η τάση αποτελεί μέγεθος πιο ευαίσθητο στις μεταβολές του φορτίου και επομένως τα όρια ακρίβειας της ρύθμισης τάσης είναι $\pm 1\%$ ενώ για τη συχνότητα $\pm 0,03\%$. Επιπρόσθετα, για τη συχνότητα εφαρμόζονται πρωτεύουσα και δευτερεύουσα

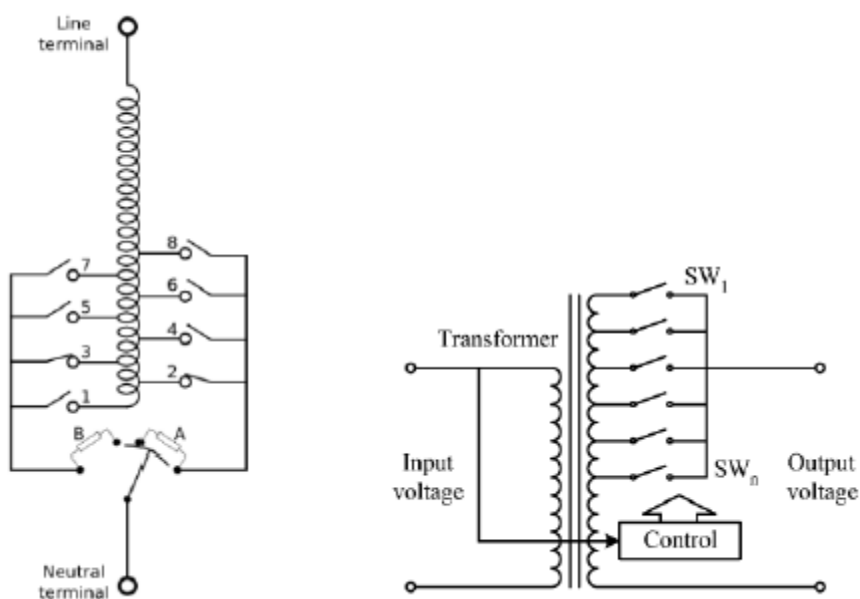
ρύθμιση, για την τάση είναι επιτρεπτά μόνιμα σφάλματα και για αυτό δεν εφαρμόζεται δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα ρύθμιση αφορά τη συνεχή παρακολούθηση του μεγέθους ενώ η δευτερεύουσα την επαναφορά στην κανονική τιμή. Ενδεικτικά για τη συχνότητα η πρωτεύουσα πραγματοποιείται μέσω συστημάτων ελέγχου των κινητήριων ζευγών των μηχανών οι οποίες είναι εφοδιασμένες με μηχανισμούς ρυθμίσεως στροφών ενώ η δευτερεύουσα από μηχανισμό αλλαγής στροφών. [10] Ο βασικός λόγος για τον οποίο παρουσιάζονται διακυμάνσεις στα μεγέθη της τάσης και της συχνότητας είναι οι μεταβολές των φορτίων δηλαδή των καταναλώσεων. Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, εμφανίζονται διάφορες μεταβολές στα φορτία, ενώ γενικά είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι μια ημερήσια καμπύλη φορτίου μπορεί να αποτελέσει χαρακτηριστικό μέγεθος ως "παράθυρο" παρατήρησης. Η γενική εικόνα είναι ότι τις ώρες αιχμής (μέγιστης ημερήσιας ζήτησεως) παρατηρούνται σημαντικές πτώσεις τάσεις στους ζυγούς. Στις περιπτώσεις αυτές πραγματοποιείται επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης για την καλύτερη κατανομή της αέργου πράγμα το οποίο αφενός μειώνει τις απώλειες και αφετέρου βελτιστοποιείται η οικονομική λειτουργία του ΣΗΕ. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια διαστημάτων ελαχίστου ζήτησεως δημιουργείται περίσσειμα στο ισοζύγιο ισχύος με αποτέλεσμα να εμφανίζονται υπερτάσεις στους ζυγούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις η λύση έγκειται στην απορρόφηση αέργου ισχύος πράγμα το οποίο πολλές φορές επιτυγχάνεται με την υποδιέγερση των σύγχρονων κινητήριων μηχανών. Το μειονέκτημα της υποδιέγερσης οδηγεί σε μείωση του περιθωρίου ευστάθειας, για αυτό όπως θα δούμε προτείνονται κι άλλοι πιο σύγχρονοι τρόποι.

1.29.2. Συμβατικά μέσα ρύθμισης τάσης

Παρακάτω παρατίθενται οι συμβατικοί τρόποι ρύθμισης της τάσης σε ένα συμβατικό δίκτυο ενώ στη συνέχεια θα αποδοθούν και πιο σύγχρονα μέσα .

- Συστήματα διεγέρσεως των γεννητριών: Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε δίκτυα μεταφοράς για αυτό δεν θα γίνει εκτενής αναφορά. Οι ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με πλήθος τεχνικών. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι περιλαμβάνουν αυτόματους ρυθμιστές τάσης οι οποίοι ρυθμίζουν το ρεύμα διέγερσης ώστε να διατηρείται η τάση.
- Συστήματα αλλαγής τάσεως υπό φορτίο των μετασχηματιστών ισχύος: Σε πολλές περιπτώσεις οι μεγάλοι μετασχηματιστές ισχύος είναι εφοδιασμένοι με μηχανισμούς αλλαγής λήψεων με απώτερο σκοπό τη μεταβολή της τάσεως εξόδου. Αν και ο κύριος λόγος για τη χρήση μετασχηματιστών ισχύος είναι για την μεταφορά ισχύος σε διαφορετικές βαθμίδες τάσης. Ωστόσο, συχνά

συναντάται ο παραπάνω μηχανισμός που αναφέρεται σε αλλαγή της σχέσεως μετασχηματισμού, επιτελώντας κατ' αυτόν τρόπο και το δευτερεύον καθήκον του ελέγχου της δευτερογενούς τάσης. Σε περιπτώσεις μετασχηματιστών διανομής χαμηλής ισχύος ή και σε περιπτώσεις δευτερογενούς διανομής υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής λήψεων αν τεθεί ο μετασχηματιστής εκτός τάσης. Η τακτική βέβαια συνίσταται στην τοποθέτηση συστημάτων μηχανισμών ΣΑΤΥΦ (αλλαγής της τάσης υπό φορτίο - *On Load Tap Changer* [OLTC ή LTC) στους μεγαλύτερους μετασχηματιστές ΥΥΤ/ΥΤ καθώς και ΥΤ/ΜΤ. Η χρήση αυτών μηχανισμών δύναται να διατηρήσει την τάση του ζυγού πρωτογενούς διασύνδεσης σταθερή παρά τις μεταβολές. Το εύρος μεταβολής για μετασχηματιστές διανομής μικρής βάσης ισχύος είναι της τάξης του $\pm 5\%$, ενώ για μεγαλύτερους που διαθέτουν ΣΑΤΥΦ είναι της τάξης $\pm 10-15\%$ με βήματα μεταβολής 2,5 ή 1,5 %.

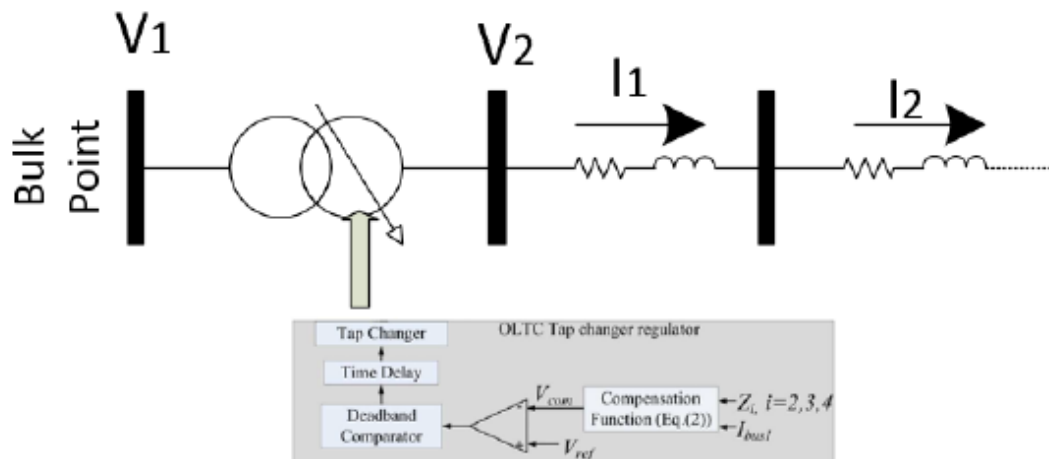


Εικόνα 42 α) Μεταγωγή μέσω αντίδρασης β) Tap Changer με ελεγκτή

Τα συστήματα αλλαγής τάσεως βασίζονται σε λειτουργία με ηλεκτροκινητήρες όπου πραγματοποιείται η μεταγωγή έτσι ώστε να είναι ταχεία η μετάβαση ενώ στο κύκλωμα αλλαγής λήψεων χρησιμοποιούνται αντιστάσεις ή αντιδράσεις (γεφύρωσης) για να μειώνεται το ρεύμα κυκλοφορίας και να περιορίζονται οι σπινθηρισμοί. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος έχουν προταθεί και λύσεις για την μεταγωγή μέσω αυτών όπως φαίνεται και

στην εικόνα 5.1α. Η εντολή για την πραγματοποίηση χειρισμού του μετασχηματιστή γίνεται είτε με τηλεχειρισμό είτε σε άλλες περιπτώσεις μέσω αυτόματου συστήματος ελέγχου μέσω συγκριτή κλειστού βρόχου με δεδομένη τάση αναφοράς όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.1β. Λαμβάνονται μετρήσεις στην έξοδο του μετασχηματιστή, μέσω μετασχηματιστή ρεύματος για να ευρεθεί η τιμή του ρεύματος της γραμμής καθώς και μετασχηματιστή τάσης για την τιμή της τάσης, προκειμένου να υπολογιστεί δια της μεθόδου *LDC* (*Line Drop Compensation*) η ανάγκη για μεταβολή των λήψεων. Το σύνολο αυτής της βαθμίδας συχνά αποκαλείται αυτόματος ρυθμιστής τάσης *AVR* (*Automatic Voltage Regulator*). Για τον υπολογισμό αλλαγής λήψεων, η πιο συνηθισμένη και απλή περίπτωση που χρησιμοποιείται είναι ο υπολογισμός της πτώσης τάσης ως εξής: Η συνάρτηση αντιστάθμισης κατά μήκος των γραμμών -η οποία αποτελεί είσοδο του συγκριτή- είναι:

$$V_{com} = V_2 - I_1 z_1 - I_2 z_2 - \dots$$



Εικόνα 43:Υπολογισμός πτώσης τάσης

Υλοποίηση LDC

- Μετασχηματιστές ρύθμισης τάσης Όπως αναφέρθηκε στους περισσότερους μετασχηματιστές ισχύος εμφανίζονται μηχανισμοί ΣΑΤΥΦ για τη ρύθμιση της τάσης. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις μετασχηματιστών χαμηλότερης ισχύος οι οποίοι έχουν σχέση μετασχηματισμού 1:1, διότι δεν χρησιμοποιούνται για τον μετασχηματισμό της τάσης αλλά αποκλειστικά για τη

ρύθμιση της τάσης όπως θα εξηγηθεί. Οι μετασχηματιστές αυτοί ονομάζονται *ρυθμιστές τάσης*. Πιο αναλυτικά, έχουν δυνατότητα αλλαγής λήψεων με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και για τους Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ. Διατίθενται σε δυο κατηγορίες ρύθμισης η μια αφορά αποκλειστικά τη ρύθμιση τάσης και η άλλη που προσθέτει φασική γωνία στο δευτερεύον πηνίο. Η συνδεσμολογία αυτού του είδους των μετασχηματιστών έχουν τα τυλίγματά τους στα ίδια σκέλη πυρήνων.

- Χωρητική αντιστάθμιση σειράς ή εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών Καθώς το μεγαλύτερο μέρος των τροφοδοτούμενων φορτίων σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης είναι επαγωγικού χαρακτήρα, απαιτείται και κατανάλωση αέργου ισχύος για τη λειτουργία τους. Η άεργος η οποία ζητείται από την κατανάλωση παρέχεται από το σύστημα, το οποίο παρέχει επιπλέον και τις απώλειες τις οποίες προϋποθέτει η ροή της ισχύος δια μέσου των δικτύων. Πρόσθετη ροή αέργου ισχύος καταναλίσκεται στις γραμμές του δικτύου ως επιπλέον απώλειες φορτίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις γραμμές και μειώνοντας την μέγιστη μεταφερόμενη ισχύ των αγωγών αλλά αυξάνοντας και τις πτώσεις τάσεις επ' αυτών. Ταυτόχρονα, όμως, όπως έχει εξηγηθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο η ροή αέργου ισχύος έχει άμεση επιρροή στην τάση. Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή της αέργου ισχύος στο σύστημα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενεργού ισχύος. Αυτό το είναι δυνατό να επιτευχθεί με τοπική έγχυση αέργου στα σημεία όπου ζητείται αντιστάθμιση. Οι μέθοδοι επομένως που χρησιμοποιούνται είναι δια της εγχύσεως αέργου ισχύος με πυκνωτές εν παραλλήλω για την ταυτόχρονη βελτίωση της τάσης αλλά και της οικονομικής λειτουργίας του συστήματος. Παρακάτω αναφέρονται οι δυο κατηγορίες πυκνωτών αντιστάθμισης.
 - ο Στατοί Πυκνωτές Οι στατοί πυκνωτές πρακτικά αποτελούν συστοιχίες πυκνωτών οι οποίοι μέσω χειρισμών πραγματοποιούν εύκολα ζεύξη και απόζευξη με το δίκτυο, ενώ η δυνατότητα έγχυσης αέργου τους μπορεί να μεταβληθεί με συγκεκριμένα βήματα. Πλεονεκτούν έναντι των σύγχρονων πυκνωτών στο ότι παρουσιάζουν ελάχιστες απώλειες λειτουργίας και ότι είναι τυπικά φορητοί. Οι στατοί πυκνωτές είθισται να χρησιμοποιούνται-εξαιτίας του χαμηλού κόστους τους -σε μικρές μονάδες και στις θέσεις ακριβώς που απαιτείται η παροχή αέργου ισχύος στα δίκτυα μέσης τάσης αλλά και χαμηλής-. Παρουσιάζονται ωστόσο και σημαντικά μειονεκτήματα όπως κατά τη απόζευξή τους όπου συνοδεύεται πολλές φορές από υπερτάσεις ενώ η ζεύξη τους από μεγάλα κρουστικά ρεύματα. Ακόμη, u959 οι στατοί πυκνωτές δεν μπορούν να υπερφορτιστούν καθώς αποτελούν ευπαθή παθητικά στοιχεία αλλά και για το λόγο

ότι η άεργος ισχύς του καθορίζεται από την χωρητικότητα και την τάση εφαρμογής:

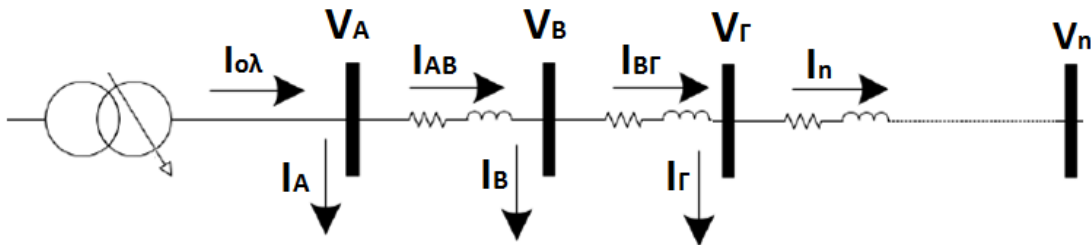
- Σύγχρονοι πυκνωτές Όταν κάποιος σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται για να κινεί ένα φορτίο, είναι δυνατό να λειτουργεί με υπερδιέγερση και να βελτιώνει ταυτόχρονα το συντελεστή ισχύος του συστήματος, παρέχοντας άεργο ισχύ σε αυτό. Συχνά, όμως, σύγχρονοι κινητήρες προορίζονται για αποκλειστική χρήση με μοναδικό σκοπό τη βελτίωση του ΣΙ, χωρίς δηλαδή να αξιοποιείται η κινητήρια δύναμη του άξονα. Σημαντικό πλεονέκτημα του σύγχρονου πυκνωτή είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει σε δυο καταστάσεις είτε σε υπερδιέγερση όπου παράγει άεργο ισχύ είτε σε υποδιέγερση όπου μπορεί να απορροφήσει άεργο προσομοιώνοντας διασύνδεση ως εγκάρσια αντίδραση. Τούτο σημαίνει ότι ο σύγχρονος πυκνωτής δύναται να λειτουργήσει σε ένα εύρος τιμών έναντι των διακριτών επιλογών των στατών πυκνωτών. Αποτελεί επομένως μια ευέλικτη πηγή αέργου ισχύος η οποία μπορεί να ρυθμιστεί άμεσα από το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα, ενώ εξίσου σημαντικό είναι το χαρακτηριστικό της δυνατότητας λειτουργίας του σε υπερφόρτιση για ορισμένα μικρά διαστήματα. [10] Μειονεκτεί έναντι του στατού πυκνωτή τόσο στο κόστος επένδυσης όσο και στο κόστος λειτουργίας καθώς οι απώλειες λειτουργίας του δεν είναι μικρές. Οι απώλειες λειτουργίας του μεταβάλλονται με τις αλλαγές των ρευμάτων διέγερσης καθώς κατά τις αλλαγές υπάρχει επίδραση και στο ρεύμα οπλισμού. Η χρήση του είναι προτιμητέα σε δίκτυα μεταφοράς λόγω του αυξημένου κόστους αλλά και της ευστάθειας (εξαιτίας της αδράνειας) που μπορούν να αποδώσουν στο ΣΗΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΛΕΤΗ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

2.1. Υπολογισμού της πτώσης τάσης σε γραμμή διανομής

Οι Εναέριες γραμμές διανομής μέσης τάσης του Ελληνικού Δικτύου, οι οποίες τροφοδοτούν κυρίως περιαστικές και επαρχιακές περιοχές είναι κατασκευασμένες βροχοϊδός αλλά λειτουργούν ακτινικά. Δηλαδή μια γραμμή ξεκινά από έναν υποσταθμό και τερματίζει σε μια τομή στην οποία μέσω διακόπτη ισχύος μπορεί να συνδεθεί σε μία άλλη γραμμή, η οποία τροφοδοτείται από τον ίδιο ή διαφορετικό υποσταθμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια γραμμή συνήθως μπορεί να συνδεθεί με παραπάνω της μία γραμμής με τομές που υπάρχουν διακόπτες ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος είναι σε κανονικές συνθήκες ανοικτοί δηλαδή οι γραμμές δεν ενώνονται μεταξύ τους και η κάθε γραμμή τροφοδοτεί μόνο τους καταναλωτές της. Σε περιπτώσεις σφαλμάτων δικτύου ή περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη ζήτηση ενέργειας η οποία δεν μπορεί να καλυφτεί από την υπάρχουσα γραμμή π.χ. στους καλοκαιρινούς μήνες σε παραθαλάσσιες περιοχές, το δίκτυο τροποποιείται με το κατάλληλο άνοιγμα – κλείσιμο των διακοπών ισχύος. Η δυνατότητα αυτή προκύπτει από τον σχεδιασμό του δικτύου διανομής Μ.Τ. όπως έχει ειπωθεί είναι βροχοϊδές αλλά λειτουργεί ακτινικά (αρχίζει στον υποσταθμό και τερματίζει σε τομή άλλης γραμμής). Το παρακάτω σχήμα δείχνει μία γραμμή Μ.Τ. που λειτουργεί ακτινικά.



Εικόνα 44: Κατανομή ρευμάτων σε γραμμή διανομής

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η γραμμή να ξεκινά από τον μετασχηματιστή Υ.Τ/ Μ.Τ. του υποσταθμού και να τροφοδοτεί έναν αριθμό καταναλωτών (Α, Β, Γ,n). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι καταναλωτές αυτοί βρίσκονται είτε στις διακλαδώσεις της γραμμής είτε συνδέονται πάνω στην κεντρική γραμμή οποία λέγεται και κορμός. Στο

σχήμα φαίνονται συγκεντρωτικά τα φορτία της κάθε διακλάδωσης που εμφανίζονται ως καταναλωτής σε κάθε κόμβο. Έτσι για της εύρεση του ρεύματος στο τμήμα του κορμού από τον μετασχηματιστή έως τον κόμβο **A** (ολικό ρεύμα που διαρρέει την γραμμή), θα ισχύει $I_{ολ} = I_A + I_B + I_{Γ} + \dots + I_n$, δηλαδή αθροίζουμε διανυσματικά τα ρεύματα όλων των καταναλωτών (φορτίων) της γραμμής. Γενικά επειδή ο συντελεστής ισχύος παραμένει πρακτικά ο ίδιος δεν επιφέρει μεγάλο σφάλμα στον υπολογισμό του ρεύματος η θεώρηση ότι ο συντελεστής ισχύος είναι σταθερός σε όλο το μήκος της γραμμής και έτσι η διανυσματική άθροιση των εντάσεων καταλήγει σε αλγεβρική. Για την εύρεση του ρεύματος και στα υπόλοιπα τμήματα του κορμού, δηλαδή μετά από κάθε κόμβο, το ρεύμα που συνεχίζει να διαρρέει τον κορμό είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων των καταναλωτών που βρίσκονται μετά τον κόμβο αυτό. Για παράδειγμα για το τμήμα μεταξύ των κόμβων **A** και **B**, το ρεύμα που διαρρέει το τμήμα αυτό ισούται με $I_{AB} = I_B + I_{Γ} + \dots + I_n$, ομοίως η ένταση του διαρρέει το τμήμα του κορμού μεταξύ των κόμβων **B** και **Γ** ισούται με $I_{BΓ} = I_{Γ} + \dots + I_n$. Συνεπώς όσο αποκρινόμαστε από το μετασχηματιστή (δηλ από την αρχή της γραμμής), τόσο το συνολικό ρεύμα στον κορμό μειώνεται. Το ίδιο συμβαίνει και με την πτώση τάσης για ίδιο μήκος και για ίδια διατομή αγωγού.

Γενικά σε μια γραμμή διανομής ως επί το πλείστον υπάρχουν μόνο επαγωγικά φορτία, τα οποία προκαλούν πτώση τάσης κατά μήκος της. Σε μια γραμμή χωρίς διακλαδώσεις, το μέγιστο δυναμικό βρίσκεται στην αρχή της γραμμής και το ελάχιστο στο τέλος της.

Ως πτώση τάσης ($\epsilon\%$) ορίζεται ο εκατοστιαίος λόγος της διαφοράς δυναμικού του σημείου που ερευνάμε από το δυναμικό του ζυγού προς το δυναμικό του ζυγού. Δηλαδή στο παραπάνω σχήμα η πτώση τάσης του κόμβου B βρίσκεται από τον τύπο:

$$E_{AB} \% = 100 \cdot \frac{U_A - U_B}{U_A}$$

όπου U_A η τάση του ζυγού (σημείο A)

U_B η τάση στο υπό εξέταση σημείο B

Ο τύπος αυτός είναι γενικός και ισχύει σε κάθε περίπτωση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στις γραμμές Μ.Τ. και συγκεκριμένα στο μονογραμμικό διάγραμμα της γραμμής ή αλλιώς στο λειτουργικό διάγραμμα δεν είναι καταγεγραμμένα τα φορτία των γραμμών αλλά η ονομαστική ισχύς των μετασχηματιστών διανομής (Φαινόμενη ισχύς). Η περίπτωση να αναγράφεται η συμφωνημένη ισχύς είναι μόνο σε μεγάλους καταναλωτές Μ.Τ. Για το λόγω αυτό, ο υπολογισμός της πτώσης τάσης γίνεται συνήθως με βάση την ισχύ και όχι την ένταση της γραμμής.

Ο τύπος που δίνει την πτώση τάσης συναρτήσει της ισχύος ή της έντασης σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του κορμού που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο κόμβους είναι ο εξής:

$$\varepsilon\% = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U} = 100 \cdot \frac{\ell \cdot \Psi' \cdot P}{U^2} = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \ell \cdot \Psi' \cdot I \cdot \cos\varphi}{U}$$

Όπου I, ένταση του ρεύματος του διαρρέει το υπό εξέταση τμήμα βρίσκεται από την φαινόμενη ισχύ των μετασχηματιστών διανομής με τον παρακάτω τύπο:

$$I = \frac{S}{20000 \cdot \sqrt{3}}$$

Όπου ℓ , το μήκος του υπό εξέταση τμήματος

U, η πολιτική τάση του δικτύου (τάση του ζυγού), U=20kV

Όπου $\cos\varphi$, ο συντελεστής ισχύος, όπου για την περίπτωσή μας επιλέγουμε την δυσμενέστερη περίπτωση ο συντελεστής ισχύος να έχει τιμή ίση με 0,85.

Όπου Ψ' , η ισοδύναμη αντίσταση του αγωγού ανά μονάδα μήκους (ανά χιλιόμετρο), η οποία βρίσκεται από τον τύπο:

$$\Psi' = R' + X' \cdot \tan\varphi$$

Όπου R', η αντίσταση ανά μονάδα μήκους του αγωγού

Όπου X', η αντίδραση ανά μονάδα μήκους του αγωγού

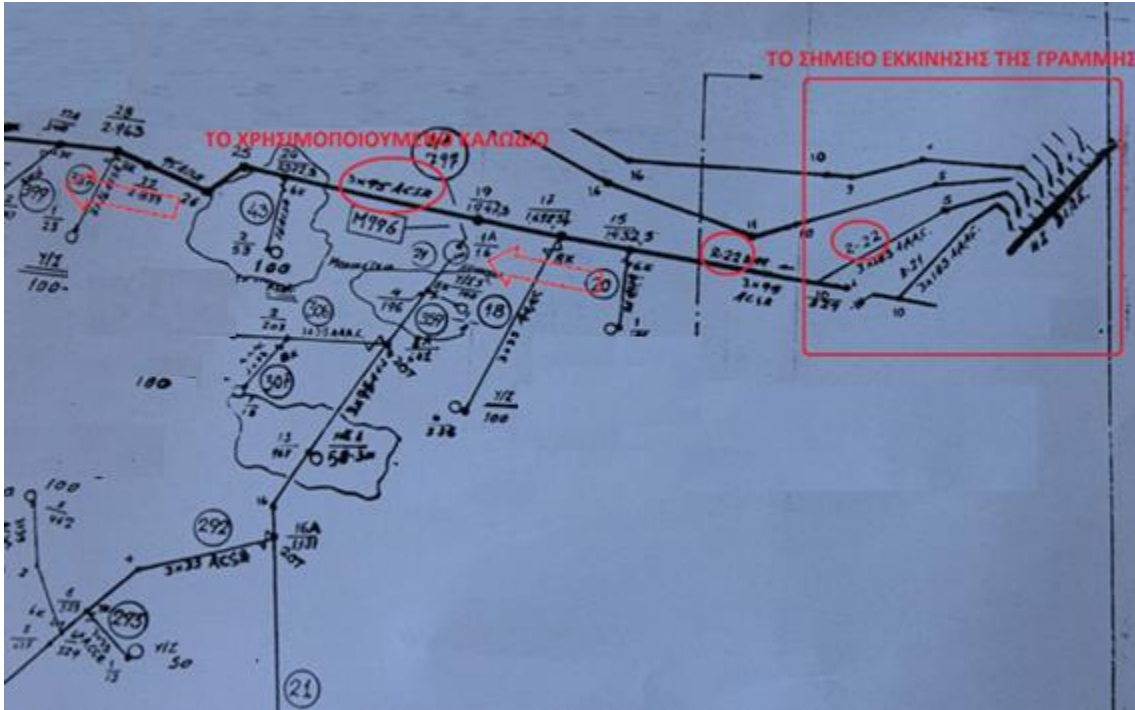
Η % πτώση τάσης της γραμμής σε ένα σημείο n βρίσκεται από το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους πτώσεων τάσεων των τμημάτων της γραμμής έως το σημείο n , δηλαδή:

$$\varepsilon_{A,n} = \varepsilon_{A,B} + \varepsilon_{B,\Gamma} + \dots + \varepsilon_{n-1,n}$$

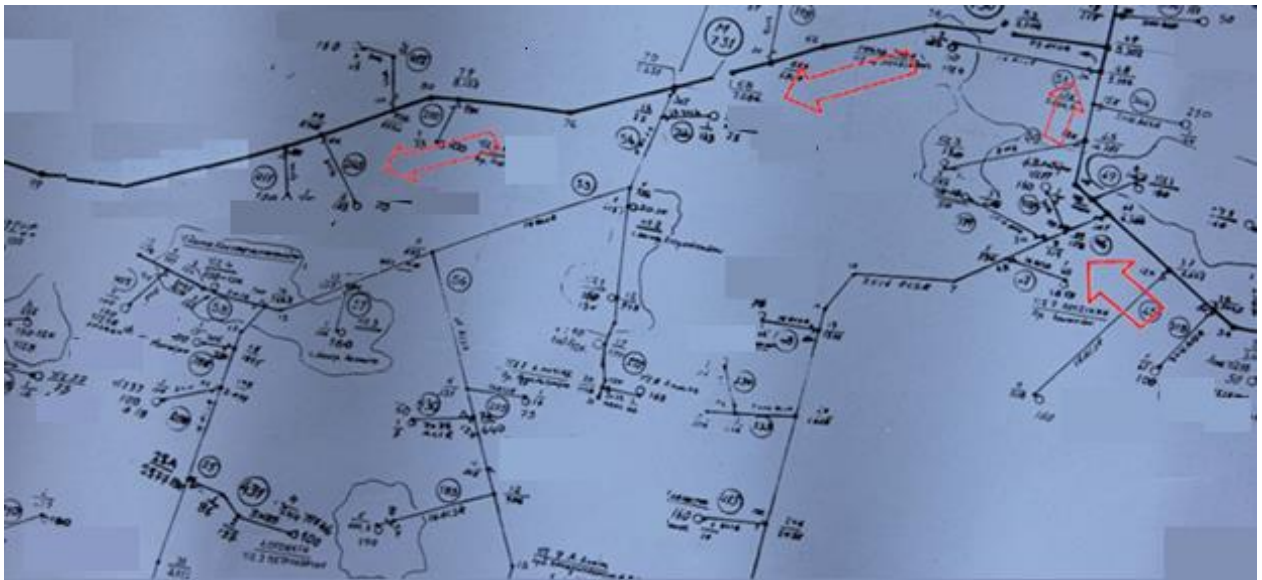
Ο τύπος αυτός είναι γενικός και ισχύει ανεξάρτητα τον τρόπο υπολογισμού των επιμέρους % πτώσεων τάσεων. Δηλαδή είτε υπολογίζοντας τις μέσω των ισχύων, είτε μέσω των εντάσεων.

2.2. Περιγραφή της νέας γραμμής διανομής

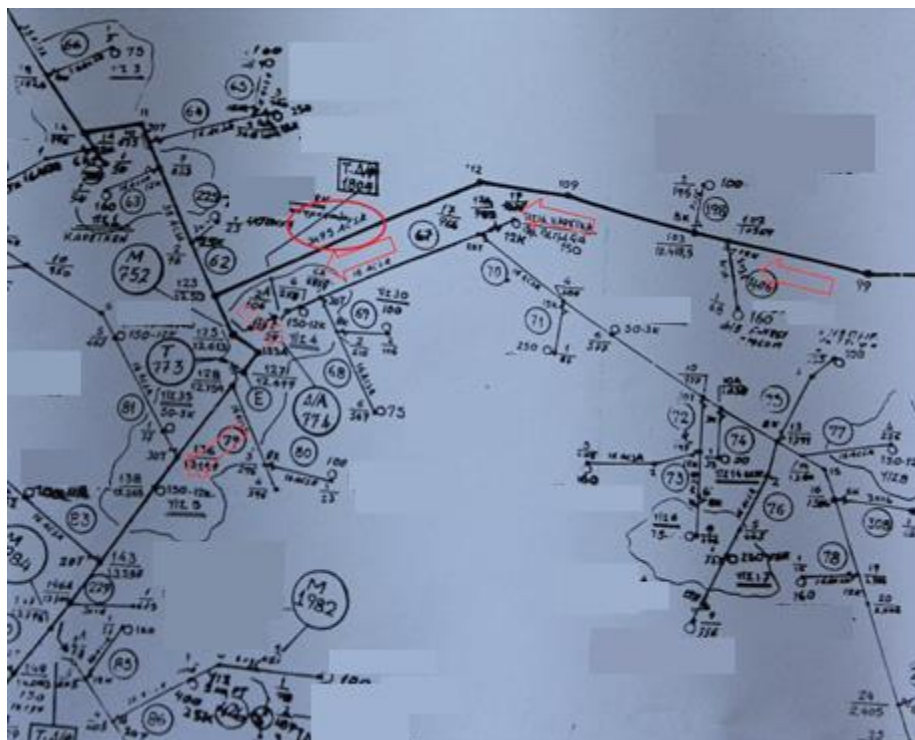
Για λόγους βελτιστοποίησης του δικτύου είναι δυνατόν η δημιουργία μιας νέας γραμμής μέσης τάσης η οποία αποτελείται από τμήματα υφιστάμενων γραμμών και δημιουργία νέων τμημάτων. Στο λειτουργικό διάγραμμα της νέας αυτής γραμμής όπως δείχνουν οι παρακάτω φωτογραφίες, απεικονίζονται οι αποστάσεις, οι διατομές των αγωγών και οι υποσταθμοί διανομής με τις ονομαστικές τους ισχύς.



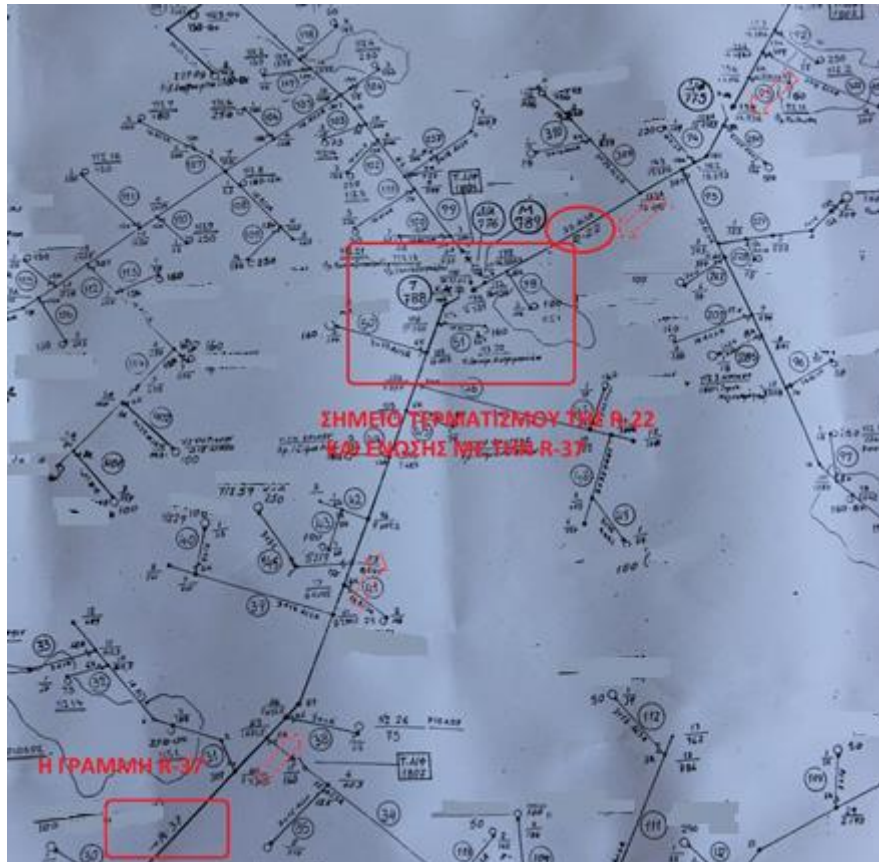
Εικόνα 45: Η αρχή της γραμμής



Εικόνα 46: Η όδευση της γραμμής



Εικόνα 47: Η όδευση της γραμμής (συνέχεια)



Εικόνα 48: Ο τερματισμός της γραμμής και η εν δυνάμει ένωση της με υφιστάμενη γραμμή του δικτύου

Στον πίνακα 4 που ακολουθεί δίνεται η εγκατεστημένη ισχύς των μετασχηματιστών σε κάθε διακλάδωση του κορμού και η ισοδύναμη ένταση τους. Επίσης δίνεται η απόσταση των τμημάτων του κορμού και η αντίστοιχη διατομή τους. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των επιμέρους πτώσεων τάσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι για λόγους εκπαιδευτικούς, ο υπολογισμός της πτώσης τάσης δεν έγινε με βάση την ισχύ αλλά με βάση την ένταση.

Πίνακας 4: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γραμμής

ΚΟΜΒΟΣ	ΡΕΥΜΑ (Α)	ΙΣΧΥΣ (kVA)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ (m)	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΚΟΡΜΟΥ (m)	ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ
1 ^{ος} (20)	2,165	75	1432.5	1432.5(ζυγός-1 ^{ος})	3×95 ACSR
2 ^{ος} (18)	2,886	100	1692.5	260 (1 ^{ος} - 2 ^{ος})	3×95 ACSR
3 ^{ος} (21)	174,792	6055	1947.5	255 (2 ^{ος} - 3 ^{ος})	3×95 ACSR
4 ^{ος} (43)	2,886	100	2572.5	625 (3 ^{ος} -42 ^{ος})	3×95 ACSR
5 ^{ος} (387)	2,886	100	2693	120.5 (4 ^{ος} - 5 ^{ος})	3×95 ACSR
6 ^{ος} (399)	1,443	50	3411	718 (5 ^{ος} - 6 ^{ος})	3×95 ACSR
7 ^{ος} (44)	4,618	160	3491	80 (6 ^{ος} - 7 ^{ος})	3×95 ACSR
8 ^{ος} (318)	2,886	100	3743.5	252.5 (7 ^{ος} - 8 ^{ος})	3×95 ACSR
9 ^{ος} (45)	4,618	160	4002	258.5 (8 ^{ος} - 9 ^{ος})	3×95 ACSR
10 ^{ος} (46)	23,96	830	4301	299 (9 ^{ος} - 10 ^{ος})	3×95 ACSR
11 ^{ος} (49)	4,618	160	4500	299 (10 ^{ος} - 11 ^{ος})	3×95 ACSR
12 ^{ος} (50)	4,33	150	4781	281 (11 ^{ος} - 12 ^{ος})	3×95 ACSR
13 ^{ος} (344)	7,216	250	5064.5	283.5(12 ^{ος} - 13 ^{ος})	3×95 ACSR
14 ^{ος} (51)	1,443	50	5166	101.5(13 ^{ος} - 14 ^{ος})	3×95 ACSR
15 ^{ος} (398)	1,443	50	6809	1643 (14 ^{ος} - 15 ^{ος})	3×95 ACSR
16 ^{ος} (54)	75,632	2620	7251	442 (15 ^{ος} - 16 ^{ος})	3×95 ACSR
17 ^{ος} (206)	2,886	100	8123	872 (16 ^{ος} - 17 ^{ος})	3×95 ACSR
18 ^{ος} (412)	4,618	160	8520	397 (17 ^{ος} - 18 ^{ος})	3×95 ACSR
19 ^{ος} (243)	2,165	75	8968	448 (18 ^{ος} - 19 ^{ος})	3×95 ACSR
20 ^{ος} (411)	2,886	100	9000	32 (19 ^{ος} - 20 ^{ος})	3×95 ACSR
21 ^{ος} (406)	4,618	160	10369	1369 (20 ^{ος} - 21 ^{ος})	3×95 ACSR
22 ^{ος} (198)	2,886	100	10478.5	109.5(21 ^{ος} - 22 ^{ος})	3×95 ACSR
23 ^{ος} (79)	2,886	100	12754	2275.5(22 ^{ος} -23 ^{ος})	3×35 ACSR

24 ^{ος} (81)	15,877	550	13149	395 (23 ^{ος} - 24 ^{ος})	3×35 ACSR
25 ^{ος} (83)	7,5055	260	13537	388 (24 ^{ος} - 25 ^{ος})	3×35 ACSR
26 ^{ος} (229)	2,886	100	13700	163 (25 ^{ος} - 26 ^{ος})	3×35 ACSR
27 ^{ος} (85)	65,529	2270	13796	96 (26 ^{ος} - 27 ^{ος})	3×35 ACSR
28 ^{ος} (90)	8,948	310	14003	207 (27 ^{ος} - 28 ^{ος})	3×35 ACSR
29 ^{ος} (209)	2,886	100	14209	206 (28 ^{ος} - 29 ^{ος})	3×35 ACSR
30 ^{ος} (92)	7,216	250	14386	177 (29 ^{ος} - 30 ^{ος})	3×35 ACSR
31 ^{ος} (322)	2,886	100	14486.5	100.5(30 ^{ος} - 31 ^{ος})	3×35 ACSR
32 ^{ος} (93)	4,618	160	14716	229.5(31 ^{ος} - 32 ^{ος})	3×35 ACSR
33 ^{ος} (280)	2,886	100	15025.5	309.5(32 ^{ος} - 33 ^{ος})	3×35 ACSR
34 ^η (94)	7,216	250	15292	266.5(33 ^{ος} - 34 ^{ος})	3×35 ACSR
35 ^{ος} (95)	39,548	1370	15370	78 (34 ^{ος} - 35 ^{ος})	3×35 ACSR
36 ^{ος} (309)	9,381	325	15407	37 (35 ^{ος} - 36 ^{ος})	3×35 ACSR
37 ^{ος} (98)	2,886	100	16320	913 (36 ^{ος} - 27 ^{ος})	3×35 ACSR

Η γραμμή από την αφετηρία μέχρι και τον κόμβο 22 αποτελείται από αγωγό 3×95 ACSR. Στο υπόλοιπο κορμό της η γραμμή αποτελείται από αγωγό 3×35 ACSR. Οι ωμικές και οι χωρητικές αντιστάσεις ανά μονάδα μήκους των παραπάνω αγωγών, λαμβάνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων αγωγών

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΔΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΤ							
HLEK B2. XLS (Φύλλο 1)							
ΑΓΩΓΟΙ	ΟΝΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΠΡΑΓΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ			R	X
	mm ²	mm ²	A	MVA στα 20 kV	MVA στα 15 kV	Ω/km	Ω/km
3X16 ACSR	16	25	136	4.71	3.53	1,268	0,422
3X35 ACSR	35	56	224	7.76	5.82	0,576	0,397
3X95 ACSR	95	150	448	15.52	11.64	0,215	0,334
3X16 CU	16	16	115	3.98	2.99	1,274	0,417
3X35 CU	35	35	185	6.41	4.81	0,596	0,393
3X95 CU	95	95	362	12.19	9.15	0,220	0,368
3X50AL+50ST	50	50	123	4.26	3.20	0,823	0,150
3X150AL+50ST	150	150	241	8.35	6.26	0,266	0,125

Ο υπολογισμός της πτώσης τάσης στο χειρίστο σημείο της γραμμής, δηλαδή στο σημείο όπου παίρνει την μέγιστη τιμή της η πτώση τάσης, υπολογίζεται παρακάτω. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ παρουσιάζεται μόνο η πτώση τάσης στο χειρίστο σημείο της γραμμής, έχουν υπολογιστεί οι πτώσεις τάσεις σε όλο το μήκος της, δηλαδή σε όλες της διακλαδώσεις και υποδιακλαδώσεις της. Στην παρούσα γραμμή το χειρίστο σημείο εμφανίζεται στο τέλος της λόγω του ότι σημαντικά φορτία βρίσκονται σε αυτό. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι στην γραμμή αυτή ο συντελεστής ισχύος είναι σταθερός σε όλη την γραμμή και η τιμή του ανέρχεται στην δυσμενέστερη τιμή 0,85. Επίσης στην γραμμή δεν υπάρχουν ούτε παραγωγοί ΑΠΕ, ούτε πυκνωτές αντιστάθμισης αλλά ούτε και ρυθμιστές τάσης που θα προκαλούσαν αύξηση στην τάση στην γραμμή. Η πτώση τάσης που υπολογίζεται είναι για την μη πραγματική κατάσταση όπου όλοι οι μετασχηματιστές είναι φορτισμένοι στο 100%. Η κατάσταση αυτή δεν πρόκειται ποτέ να εμφανιστεί στην πράξη όπου συνήθως ο λόγος της μέγιστης ζήτησης ισχύος προς την εγκατεστημένη μπορεί να αγγίξει και το 50%.

Η μέγιστη πτώση τάση της γραμμής υπολογίζεται στον παρακάτω πίνακα, στον οποίο φαίνονται οι πτώσεις τάσης σε όλα τα τμήματα της γραμμής. Προκειμένου να υπολογιστεί η πτώση τάσης της

Για παράδειγμα στην πρώτο τμήμα της γραμμής (μήκους 1432,5m) προκειμένου να υπολογιστεί η πτώση τάσης, λαμβάνεται

- Το σύνολο των ρευμάτων που διαρρέουν τη γραμμή και τα οποία έχουν υπολογισθεί με βάση τον τύπο

$$I = \frac{S}{20000 \cdot \sqrt{3}}$$

- ο Για τη πρώτη διακλάδωση της γραμμής (διακλάδωση 20 στον 1^ο κόμβο), η ένταση ισούται με:

$$I = \frac{S}{20000 \cdot \sqrt{3}} = \frac{75000}{20000 \cdot \sqrt{3}} = 2.165 \text{ A}$$

- ο Ομοίως για τη δεύτερη διακλάδωση της γραμμής (διακλάδωση 18 στον 2^ο κόμβο), η ένταση ισούται με:

$$I = \frac{S}{20000 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100000}{20000 \cdot \sqrt{3}} = 2.886 \text{ A}$$

Η συνολική ένταση που διαρρέει το κάθε τμήμα του κορμού ισούται με το άθροισμα των εντάσεων των διακλαδώσεων που

τροφοδοτεί (δηλαδή των διακλαδώσεων που βρίσκονται δεξιά του). Για το αρχικό τμήμα του κορμού που βρίσκεται ανάμεσα στο ζυγό 20kV και στον 1ο κόμβο, η ένταση αυτή ανέρχεται σε $I_{ολ}=521,059A$ και ισούται με την ένταση της γραμμής.

- Η αντίσταση του αγωγού σε αυτό το κομμάτι που υπολογίζεται από τον πίνακα 5 και από τη σχέση

$$\Psi' = R' + X' \cdot \tan\varphi$$

Για αγωγούς διατομής 3x95ACSR που είναι τοποθετημένοι μέχρι τον κόμβο 22 του κορμού η αντίσταση ανέρχεται σε:

$$\Psi' = R' + X' \cdot \tan\varphi = 0.215 + 0.334 \cdot \tan(31.788) = 0.422\Omega$$

Όπου $\tan\varphi = \tan(31.788)$ με $\varphi = \cos^{-1}(0.85)$

Όπου $\cos\varphi$, ο συντελεστής ισχύος, όπου για την περίπτωση μας επιλέγουμε την δυσμενέστερη περίπτωση ο συντελεστής ισχύος να έχει τιμή ίση με 0,85.

Άρα η πτώση τάσης στο πρώτο τμήμα ανέρχεται σε:

$$\varepsilon\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \ell \cdot \Psi' \cdot I \cdot \cos\varphi}{U} = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1.4325 \cdot 0.422 \cdot 521.0586179 \cdot 0.85}{20000} = 2.317853919 \text{ Volt}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι υπολογισμοί για τα υπόλοιπα τμήματα και η συνολική πτώση τάσης της γραμμής.

Πίνακας 6:Υπολογισμός Πτώσης Τάσης της γραμμής

ΤΜΗΜΑΤΑ	S (KVA)	Ρεύμα διακλάδωσης (A)	Ρεύμα τμήματος κορμού (A)	Σ.Ι	tanφ	ΑΓΩΓΟΣ	R'	X'	ψ'	L (Km)	ε%	
1 ⁿ (20)	75	2,165063509	521,0586179	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	1,432	2,317853919	
2 ⁿ (18)	100	2,886751346	518,8935544	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,26	0,419090759	
3 ⁿ (21)	6055	174,792794	516,0068031	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,225	0,360657033	
4 ⁿ (43)	100	2,886751346	341,2140091	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,625	0,6624656	
5 ⁿ (387)	100	2,886751346	338,3272577	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,1205	0,126642798	
6 ⁿ (399)	50	1,443375673	335,4405064	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,718	0,748163315	
7 ⁿ (44)	160	4,618802154	333,9971307	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,08	0,08300212	
8 ⁿ (318)	100	2,886751346	329,3783286	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,2525	0,258352616	
9 ⁿ (45)	160	4,618802154	326,4915772	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,2585	0,262173619	
10 ⁿ (46)	830	23,96003617	321,8727751	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,299	0,29895918	
11 ⁿ (49)	160	4,618802154	297,9127389	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,299	0,276704819	
12 ⁿ (50)	150	4,330127019	293,2939367	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,281	0,256015267	
13 ⁿ (344)	250	7,216878365	288,9638097	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,2835	0,254479603	
14 ⁿ (51)	50	1,443375673	281,7469314	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,1015	0,088834507	
15 ⁿ (398)	50	1,443375673	280,3035557	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	1,643	1,430614527	
16 ⁿ (54)	2620	75,63288526	278,86018	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,442	0,38288225	
17 ⁿ (206)	100	2,886751346	203,2272948	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,872	0,550497031	
18 ⁿ (412)	160	4,618802154	200,3405434	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,397	0,24706761	
19 ⁿ (243)	75	2,165063509	195,7217413	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,448	0,272378952	
20 ⁿ (411)	100	2,886751346	193,5566777	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,032	0,019240422	
21 ⁿ (406)	160	4,618802154	190,6699264	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	1,369	0,810852962	
22 ⁿ (198)	100	2,886751346	186,0511242	0,85	0,619744338	3x95 ACSR	0,215	0,334	0,421994609	0,1095	0,063285305	
23 ⁿ (79)	100	2,886751346	183,1643729	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	2,2755	2,522084076	
24 ⁿ (81)	550	15,8771324	180,2776216	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,395	0,430904106	
25 ⁿ (83)	260	7,50553499	164,4004892	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,338	0,336249403	
26 ⁿ (229)	100	2,886751346	156,8949357	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,163	0,154752704	
27 ⁿ (85)	2270	65,52925555	154,0081843	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,096	0,089465738	
28 ⁿ (90)	310	8,948929172	88,47892875	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,207	0,110828618	
29 ⁿ (209)	100	2,886751346	79,52999958	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,206	0,099137946	
30 ⁿ (92)	250	7,216878365	76,64324823	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,117	0,05426271	
31 ⁿ (322)	100	2,886751346	69,42636987	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,1005	0,042221362	
32 ⁿ (93)	160	4,618802154	66,53961852	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,2295	0,092406966	
33 ⁿ (280)	100	2,886751346	61,92081637	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,3095	0,115968234	
34 ⁿ (94)	250	7,216878365	59,03406502	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,2665	0,095201024	
35 ⁿ (95)	1370	39,54849344	51,81718666	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,078	0,024457392	
36 ⁿ (309)	325	9,381941874	12,26869322	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,037	0,002746893	
37 ⁿ (98)	100	2,886751346	2,886751346	0,85	0,619744338	3x35 ACSR	0,576	0,397	0,822038502	0,913	0,015948574	
											ΣΥΝΟΛΟ ε%	14,37684996%

Στις γραμμές Μ.Τ. όπως έχει ειπωθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 8% της ονομαστικής.

Άρα η % πτώση τάση της γραμμής με φορτίο ίσο με την εγκατεστημένη ισχύ του ανέρχεται σε:

$$\varepsilon\%_{A,n} = \varepsilon\%_{A,B} + \varepsilon\%_{B,\Gamma} + \dots + \varepsilon\%_{n-1,n} = 14.37684996\%$$

Όπως έχει ειπωθεί το σενάριο αυτό δεν πρόκειται ποτέ να εμφανιστεί όχι μόνο για τους λόγους που προαναφέρθηκαν αλλά και ότι σε πολλές περιπτώσεις η εγκατεστημένη ισχύς ξεπερνάει τα θερμικά όρια των αγωγών του κορμού! Για λόγους μείωσης των απωλειών των γραμμών

αλλά και ευστάθειας του συστήματος τότε δεν προσεγγίζουμε το θερμικό όριο των γραμμών.

Εάν για την νέα γραμμή υποθέσουμε ότι ο συντελεστής φόρτισης των μετασχηματιστών είναι ίδιος για όλους του μετασχηματιστές και ανέρχεται σε 0,5, τότε η μέγιστη πτώση τάσης της νέας γραμμής, με πραγματικές φορτίσεις, ανέρχεται σε:

$$0,5 * 14.37684996 \% = 7.188\% < 8\%.$$

Άρα η γραμμή μας πληροί το κριτήριο της πτώσης τάσης.

Στην περίπτωση που δεν πληρείται το κριτήριο της πτώσης τάσης, οι τρόποι που ένας μελετητής μειώνει την πτώση τάσης σε μια γραμμή είναι οι εξής:

- Χρησιμοποίηση αγωγού με μικρότερη ωμική και χωρητική αντίσταση, δηλαδή αντικατάσταση του υπάρχοντος αγωγού με αγωγό μεγαλύτερης διατομής
- Χρήση μεθόδων αντιστάθμισης, δηλαδή τοποθέτηση σε κατάλληλα μέρη συστοιχιών πυκνωτών είτε μονίμων, είτε αποζεύξιμων.
- Τοποθέτηση ρυθμιστών τάσεων, οι οποίοι κρατάνε σταθερή την τάση στο σημείο που τοποθετούνται.

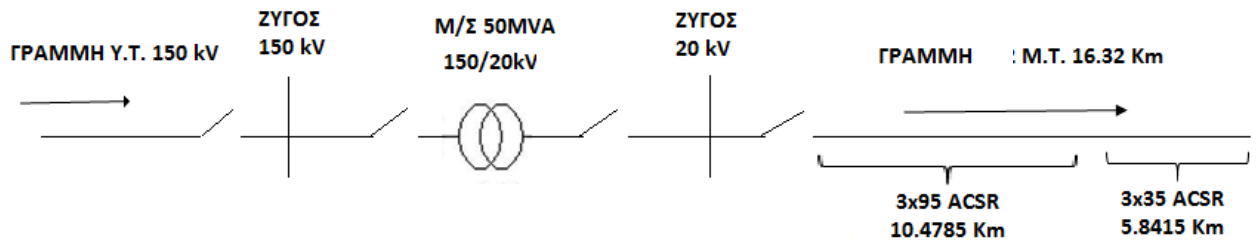
Στην περίπτωση που οι παραπάνω τρόποι δεν φέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, τότε η μόνη λύση είναι η αναδιάταξη του δικτύου με αλλαγές στις τομές των γραμμών και πιθανώς δημιουργία νέων γραμμών όπως και η γραμμή που μελετάτε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΖΥΓΟ ΤΩΝ 150kV ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ R22 ΜΗΚΟΥΣ 16.32Km

3.1 Γενικά στοιχεία για τους υπολογισμούς

Η γραμμή τροφοδοσίας από το ζυγό Υ.Τ (150kV) μέχρι και το τέλος της νέας γραμμής Μ.Τ.(20kV), παρεμβαλλομένου του μετασχηματιστή υποβιβασμού 150/20kV φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 49: Η μονογραμμική απεικόνιση της νέας γραμμής Μ.Τ.

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται σαφές ότι για τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης το σημείο βραχυκύκλωσης θα πρέπει να είναι ο ζυγός 20kV, όπου σε αυτήν την περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη η αντίσταση της γραμμής. Το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι αναγκαίο για τον καθορισμό της ισχύς βραχυκύκλωσης του υποσταθμού, η οποία εξαρτάται ουσιαστικά από τα χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο του υπολογισμού την ισχύ και την τάση βραχυκύκλωσης του μετασχηματιστή Υ.Τ/Μ.Τ. Πρέπει να σημειωθεί ότι μετασχηματιστές Υ.Τ/Μ.Τ. μπορούν να παραλληλιστούν μεταξύ τους αρκεί η συνολική ισχύς να μην ξεπερνάει πρακτικά τα 50MVA. Η ισχύς βραχυκύκλωσης του Ελληνικού Συστήματος έχει καθοριστεί στα 250MVA. Για τον υπολογισμό του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης το σημείο βραχυκύκλωσης είναι το χειρίστο σημείο της γραμμής, δηλαδή εκείνο το σημείο που έχει την μεγαλύτερη αντίσταση σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία της γραμμής. Ο υπολογισμός του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι καθοριστικός για την ρύθμιση του κεντρικού μέσου προστασίας της γραμμής.

3.2 Τα στοιχεία της γραμμής

3.2.1 Καλώδια ΜΤ

Για τον υπολογισμό του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης, αρχικά θα πρέπει να υπολογιστεί η αντίσταση της γραμμής που εξετάζεται. Από την εικόνα 50 φαίνεται ότι η γραμμή μας αποτελείται από εναέριους αγωγούς με διατομές 95 ACSR και 35 ACSR.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αντιστάσεις ανά χιλιόμετρο για αυτές τις διατομές.

Πίνακας 7: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδίων Μ.Τ.

ΑΓΩΓΟΙ	ΟΝΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΠΡΑΓΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ			R Ω/km	X Ω/km
			Α	MVA στα 20 kV	MVA στα 15 kV		
3X16 ACSR	16	25	136	4.71	3.53	1,268	0,422
3X35 ACSR	35	56	224	7.76	5.82	0,576	0,397
3X95 ACSR	95	150	448	15.52	11.64	0,215	0,334
3X16 CU	16	16	115	3.98	2.99	1,274	0,417
3X35 CU	35	35	185	6.41	4.81	0,596	0,393
3X95 CU	95	95	362	12.19	9.15	0,220	0,368
3X50AL+50ST	50	50	123	4.26	3.20	0,823	0,150
3X150AL+50ST	150	150	241	8.35	6.26	0,266	0,125

3×35 ACSR

$$R_{3 \times 35 \text{ ACSR}} = 0.576 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X_{3 \times 35 \text{ ACSR}} = 0.397 \text{ } \Omega/\text{km}$$

3×95 ACSR

$$R_{3 \times 95 \text{ ACSR}} = 0.215 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$X_{3 \times 95 \text{ ACSR}} = 0.334 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Για του υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης πρέπει να υπολογιστεί επίσης και η αντίσταση του Μ.Σ Υ.Τ/Μ.Τ και του Συστήματος.

3.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ΜΣ Υ.Τ 150/20 kV

Για μετασχηματιστή 150kV/20kV με ονομαστική ισχύ $S_n = 50 \text{ MVA}$, η τάση βραχυκύκλωσης ανέρχεται σε περίπου $U_k = 21,7\%$.

Για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα η ωμική αντίσταση του Μ.Σ.

Άρα $X_{Μ.Σ.} = Z_{Μ.Τ.}$

Η τάση βραχυκύκλωσης ως γνωστό ισούται με την αντίδραση του Μ/Σ ανοιγμένη σε pu.

3.3 Υπολογισμός των στοιχείων ανοιγμένα στην Μέση Τάση

3.3.1 Σύστημα

Η ωμική και επαγωγική αντίσταση (θετικής ακολουθίας) του συστήματος εξαρτάται όχι μόνο από το υπό εξέταση μέρος του συστήματος αλλά και από τους σταθμούς παραγωγής και τα φορτία που βρίσκονται σε λειτουργία, τα οποία μεταβάλλονται διαρκώς. Για το λόγο αυτό οι τιμές αυτές δεν παραμένουν σταθερές αλλά κυμαίνονται γύρω από τις μέσες τιμές τους. Για την περίπτωση μας υποθέτουμε ότι η μέση ωμική αντίσταση ανηγμένη στα 20kV ανέρχεται σε $R=0,121\Omega$ και η μέση επαγωγική αντίδραση σε $X=0,284\Omega$.

3.3.2 Μετασχηματιστής

Με βάση την ονομαστική ισχύ και την τάση βραχυκύκλωσης μπορούμε να υπολογίσουμε:

$$Z_{M\Sigma} = X_{M\Sigma} = U_k \times \frac{U_n^2}{S_N} = 0.217 \times \frac{20000^2}{50 \times 10^6} = 1.74\Omega$$

3.3.3 Εναέριοι αγωγοί Μ.Τ.

3×35 ACSR

$$R_1 = 0.576 \times \frac{5841.5}{1000} = 3.365\Omega$$

$$X_1 = 0.397 \times \frac{5841.5}{1000} = 2.32\Omega$$

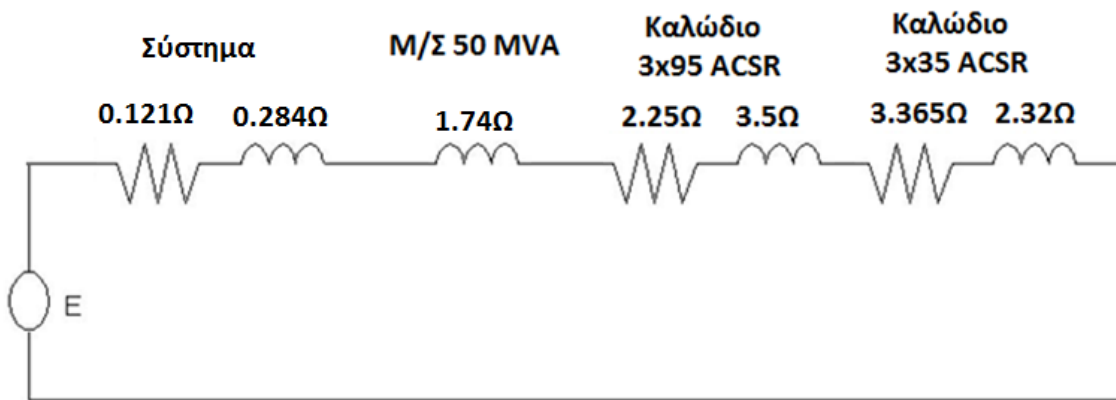
3×95 ACSR

$$R_1 = 0.215 \times \frac{10478.5}{1000} = 2.25\Omega$$

$$X_1 = 0.334 \times \frac{10478.5}{1000} = 3.5\Omega$$

3.4 Υπολογισμός ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης

Το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ρεύμα που θα εμφανιστεί στο χειρίστο σημείο της γραμμής σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Με βάση την τιμή του, ρυθμίζεται το κεντρικό μέσο προστασίας της γραμμής, δηλαδή ο κεντρικός ελαιοδιακόπτης που βρίσκεται στην αρχή της γραμμής. Στην περίπτωση που η γραμμή έχει μεγάλο μήκος και πολλά φορτία, είναι δυνατόν ο κεντρικός ελαιοδιακόπτης να μην μπορεί να αντιληφθεί το σφάλμα αυτό. Στην περίπτωση αυτή τοποθετούμε διακόπτη αυτόματης επαναφοράς (Δ/ΑΕ) σε σημείο της γραμμής που μπορεί να αντιληφθεί και να επενεργήσει στο σφάλμα αυτό. Ο υπολογισμός του ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το κύκλωμα θετικής ακολουθίας που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 50: Κύκλωμα θετικής ακολουθίας για τριπολικό βραχυκύκλωμα στο τέλος της γραμμής

Η συνολική εμπέδηση (εμπέδηση θετικής ακολουθίας) του βρόχου είναι:

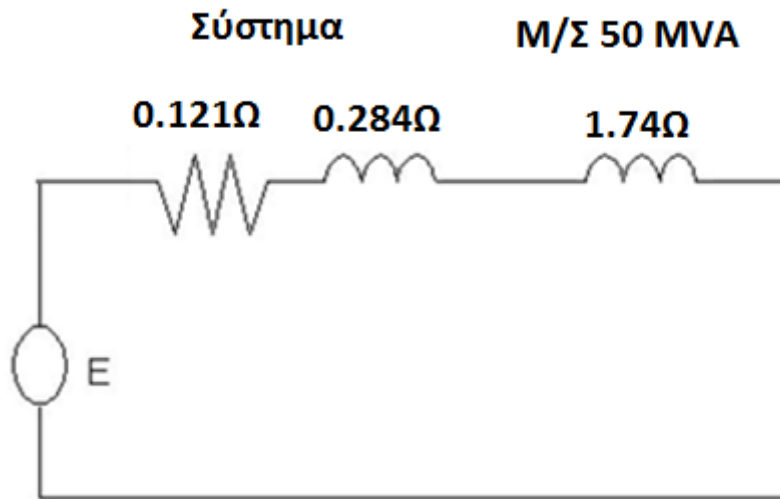
$$Z_1 = 0.121 + 2.25 + 3.365 + +j0.284 + j1.74 + j3.5 + j2.32 \Omega \text{ και } |Z_1| = 9.7175\Omega$$

Και το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι

$$I_{k3p(A)} = \frac{E}{|Z_1|} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{9.7175} = 1188.27A \text{ ή } 1.188kA$$

3.5 Υπολογισμός μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης

Το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ρεύμα που θα εμφανιστεί στην αρχή της γραμμής και συγκεκριμένα στο ζυγό 20kV σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος. Με το ρεύμα αυτό υπολογίζεται η ισχύς βραχυκύκλωσης στο ζυγούς 20kV. Η ισχύς βραχυκύκλωσης δεν θα πρέπει σε καμιά περίπτωση να υπερβαίνει την ισχύ βραχυκύκλωσης του συστήματος δηλαδή τα 250MVA. Για το λόγο αυτό δεν παραλληλίζονται δύο μετασχηματιστές 50MVA. Ο υπολογισμός του μέγιστου ρεύματος τριφασικού βραχυκυκλώματος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το κύκλωμα θετικής ακολουθίας που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 51: Κύκλωμα θετικής ακολουθίας για τριπολικό βραχυκύκλωμα στην αρχή της γραμμής (ζυγός 20kV) (οι αντιστάσεις σε Ω)

Η συνολική εμπέδηση (εμπέδηση θετικής ακολουθίας) του βρόχου είναι:

$$Z_1 = 0.121 + j0.284 + j1.74 \Omega \text{ και } |Z_1| = 2.0276\Omega$$

$$I_{k3p(B)} = \frac{E}{|Z_1|} = \frac{20000}{\frac{\sqrt{3}}{2.0276}} = 5.695kA$$

Η ισχύς βραχυκύκλωσης στο ζυγό ανέρχεται σε

$$S_B = \sqrt{3} \times 20kV \times 5.695kA = 197.28MVA < 250MVA$$

Άρα καλύπτεται το κριτήριο της ισχύς βραχυκύκλωσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ρύθμιση του κεντρικού ελαιοδιακόπτη δεν γίνεται στην τιμή του ελάχιστους ρεύματος βραχυκύκλωσης, αλλά σε τιμή μικρότερη από αυτή, η οποία είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη ένταση λειτουργίας της γραμμής. Για την περίπτωση που το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι αρκετά μικρό και δεν είναι δυνατή η ρύθμιση του κεντρικού ελαιοδιακόπτη, όπως έχει ήδη ειπωθεί, τοποθετείται Διακόπτης Αυτόματου Επαναφοράς, σε κατάλληλη θέση ώστε αυτός να ανιχνεύει και να εκκαθαρίζει το σφάλμα. Στην περίπτωση που το πλησιέστερο μέσο στο βραχυκύκλωμα είναι τηκτό (ασφάλεια), θα πρέπει αυτό να ενεργήσει πριν την ενεργοποίηση του κεντρικού μέσου προστασίας (επιλογική προστασία). Το κεντρικό μέσο προστασίας σε περίπτωση αστοχίας του τηκτού θα πρέπει να ενεργοποιηθεί.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η νέα γραμμή πληροί τους κανονισμούς περί βραχυκυκλώσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολήθηκε με το εναέριο δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV). Ποιο συγκεκριμένα αρχικά έγινε μια αναλυτική παρουσίαση των στοιχείων που απαρτίζουν τις εναέριες γραμμές Μέσης Τάσης (Μ.Τ) του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Στην συνέχεια μελετήθηκε μία νέα γραμμή Μ.Τ η οποία προέκυψε από τμήματα υφισταμένων γραμμών και νέα τμήματα με σκοπό την βελτίωση του υφιστάμενου δικτύου. Στην συνέχεια υπολογίστηκε αν η νέα γραμμή πληροί τα κριτήρια των κανονισμών της ΔΕΗ. Για το λόγω αυτό υπολογίστηκε η πτώση τάσης σε όλα τα σημεία της νέας γραμμής με σκοπό την μην υπέρβαση της οριακής τιμής των 18,4kV(υπόταση). Δεν έγινε έλεγχος για το κριτήριο της υπέρτασης (τιμή τάσης μεγαλύτερη των 21,6kV), επειδή η συγκεκριμένη γραμμή δεν περιέχει ούτε ρυθμιστή τάσης, ούτε πυκνωτές, αλλά ούτε και παραγωγούς ΑΠΕ, δηλαδή περιέχει μόνο επαγωγικά φορτία. Στην συνέχεια υπολογίστηκε το μέγιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισχύς βραχυκύκλωσης (του ζυγού 20kV) η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει την οριακή τιμή των 250MVA. Τέλος υπολογίστηκε το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης της γραμμής με το οποίο γίνεται η ρύθμιση του κεντρικού μέσου προστασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Πέτρος Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών», Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- Παντελής Μαλατέστας, «Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- Μιχαηλ. Δ. Δανίκας, «Στοιχεία Υψηλών Τάσεων», Εκδόσεις ΣΜΠΙΛΙΑΣ Α.Β.Ε.Ε.
- Σημειώσεις Μαθήματος Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, Σχοινάς Νικόλαος
- <http://www.deddie.gr/el/to-diktuo-ilektrismou/vasika-megethi-tou-diktuou-ilektrismou>
- <http://www.enia.gr/proionta/enaeria-diktya/monotires/>
- <http://fileto.gr/2012/12/27/έσκασε-υποσταθμός-της-δεη-στην-ξάνθη>
- <http://www.abb.com>
- <http://en.m.wikipedia.org/wiki/Recloser>
- http://www.cooperindustries.com/content/public/en/power_systems/products/controls_and_relays/recloser_controls.html
- <http://hellasnrg.gr/el/content/aergos-ishys-antistathmisi>
- <http://www.eucat.gr/0010000170/πυκνωτες-αντισταθμισης-αεργου-ισχυος.html>
- <http://www.ee.teihal.gr/lessons/she2/private/uploads/AERGOS-ISXYS.pdf>
- <http://www.energyconservation.gr/τοπική-αντιστάθμιση-αέργου-ισχύος/>
- <http://www.naacenergy.com/activecomp.html>
- www.cablel.gr
- https://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor
- https://en.wikipedia.org/wiki/Grid_energy_storage
- http://www.timesjournal.com/news/image_105d6e1a-f751-56ac-aeb6-c8cc8a28252e.html
- <http://www.energyfaqs.com/2015/05/advantage-and-disadvantage-of.html>
- <http://www.slideshare.net/suneelagrwl/padiyar-k-r-power-transmission>