

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1569

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΓΡΑΜΜΗ
ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ
ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΤΗΣ
ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΛΑΡΚΟ (ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ
& ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ Α.Ε.)**

**VOLTAGE DROP CALCULATION FOR A
MEDIUM VOLTAGE POWER LINE OPERATING
IN LARKO FACTORY (GENERAL MINING AND
METALLURGIACAL COMPANY)**

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται μελέτη πτώσης τάσης σε μία γραμμή Μέσης Τάσης τροφοδοσίας που είναι εγκατεστημένη και λειτουργεί στο εργοστάσιο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ (Λάρυμνα Λοκρίδος, Φθιώτιδα). Στην αναχώρηση της γραμμής υπάρχει ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος τάσης 400V. Η τάση αυτή μετασχηματίζεται με μετασχηματιστή ανύψωσης στα 20KV(Μέση Τάση) και στη συνέχεια από το ζυγό μέσης τάσης οδεύει στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου για 150 μέτρα. Κατόπιν φθάνοντας στους ζυγούς της Χαμηλής Τάσης, μετασχηματίζεται ξανά σε 400V προκειμένου να τροφοδοτήσει ένα σύνολο φορτίων μέσω του Πίνακα Χαμηλής Τάσης στην άφιξη της γραμμής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη βιομηχανία είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται γραμμές Μέσης Τάσης προκειμένου να τροφοδοτηθούν φορτία μεγάλης ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, προκειμένου να περιοριστεί η πτώση τάσης στη γραμμή τροφοδοσίας και ταυτόχρονα να είναι δυνατή η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ισχύος στα σημεία τροφοδοσίας με οικονομικούς όρους (μικρές διατομές καλωδίων). Η επιθυμητή πτώση τάσης στη Μέση Τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 8% της ονομαστικής τάσης και ο εκάστοτε μηχανικός/μελετητής οφείλει να λαμβάνει τα απαραίτητα μέτρα προκειμένου κάτι τέτοιο να είναι εφικτό (π.χ. επιλογή καλωδίου μεγαλύτερης διατομής, τοποθέτηση του μετασχηματιστή πιο κοντά στα φορτία , κ.τ.λ)

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται μελέτη πτώσης τάσης σε μία γραμμή Μέσης Τάσης τροφοδοσίας που είναι εγκατεστημένη και λειτουργεί στο εργοστάσιο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ (Λάρυμνα Λοκρίδος, Φθιώτιδα). Η συνολική εγκατάσταση αποτελείται από:

- Το Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος
- Τον Μετασχηματιστή ισχύος,
- Τον πίνακα ΜΤ,
- Το γενικό πίνακα διανομής ΧΤ,
- Τους ζυγούς χαμηλής και μέσης τάσης
- Τα καλώδια χαμηλής και μέσης τάσης
- Τα όργανα προστασίας

Στην αναχώρηση της γραμμής υπάρχει ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος τάσης 400V. Η τάση αυτή μετασχηματίζεται με μετασχηματιστή ανύψωσης στα 20KV(Μέση Τάση) και στη συνέχεια από το ζυγό μέσης τάσης οδεύει στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου για 150 μέτρα. Κατόπιν φθάνοντας στους ζυγούς της Χαμηλής Τάσης, μετασχηματίζεται ξανά σε 400V προκειμένου να τροφοδοτήσει ένα σύνολο φορτίων μέσω του Πίνακα Χαμηλής Τάσης στην άφιξη της γραμμής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ (H/Z).....	2
1.1 Χαρακτηριστικά ρεύματος.....	2
1.2 Κινητήρας.....	2
1.3 Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων	2
1.4 Ηλεκτρικό Σύστημα	2
1.5 Εναλλακτήρας	3
1.6 Διάταξη ανάρτησης και ασφάλειας του H/Z.....	4
1.7 Δεξαμενή καυσίμου	5
1.8 Σύστημα Ελέγχου- Ηλεκτρικός πίνακας H/Z.....	5
1.9 Ηχομονωτικά Καλύμματα	5
1.10 Πίνακας Χειροκίνητης λειτουργίας και ελέγχου.....	6
1.11 Πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου (Αυτόματος ΔΕΗ – H/Z)	9
1.11.1 Πεδίο Ενδείξεων Ελέγχου & Αυτοματισμού.....	10
1.12 Εγκατάσταση Εφεδρικού Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους - Νομοθεσία	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	16
2.1 Γενικές αρχές λειτουργίας.....	16
2.2 Ο σιδηροπυρήνας του μετασχηματιστή - κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	17
2.3 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση	18
2.4 Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού μονοφασικού μετασχηματιστή.....	19
2.5 Απώλειες του μετασχηματιστή.....	19
2.5.1 Ροή Σκέδασης.....	19
2.5.2 Απώλειες Χαλκού	20
2.5.3 Απώλειες υστέρησης	20
2.5.4 Απώλειες Δινορευμάτων.....	22

2.6	Τριφασικός Μετασχηματιστής	24
2.6.1	Συνδεσμολογίες	24
2.6.2	Τριφασικοί μετασχηματιστές που περιλαμβάνουν μόνο δύο μετασχηματιστές.....	28
2.6.3	Αστέρας	28
2.6.4	Τρίγωνο	29
2.6.5	Τεθλασμένος αστέρας.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		30
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....		30
3.1	Πίνακες Μέσης Τάσης -Χαρακτηριστικά και τεχνικές προδιαγραφές	30
3.2	Στάδια Κατασκευής Ηλεκτρικού Πίνακα Μέσης Τάσης...	31
3.3	Περιγραφή Πεδίων ενός Πίνακα Μέσης Τάσης	32
3.4	Διακόπτης Φορτίου.....	32
3.5	Απαγωγέας Υπερτάσεων	33
3.6	Ασφαλειοδιακόπτης	33
3.7	Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος	33
3.8	Ηλεκτρονόμος Δευτερογενούς Προστασίας Ανεξάρτητης Τοποθέτησης	34
3.9	Πίνακες Χαμηλής Τάσης -Χαρακτηριστικά και τεχνικές προδιαγραφές	34
3.10	Πίνακες Τύπου PILLAR.....	36
3.11	Επίτοιχοι ηλεκτρικοί πίνακες	37
3.12	Χωνευτοί ηλεκτρικοί πίνακες	40
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	42
ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ		42
4.1	Ασφάλειες τήξης.....	42
4.2	Διακόπτες ισχύος	44
	45
4.3	Τα μέρη του διακόπτη ισχύος	45
4.4	Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος	48
4.5	Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση .	49
4.6	Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα	49
4.7	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6	50
4.8	Διακόπτης φορτίου	50

4.9	Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC	51
4.10	Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου.....	52
4.11	Ασφαλειοαποζεύκτες	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		55
ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ		55
5.1	Καλώδια Μέσης Τάσης.....	55
5.2	Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος ...	56
5.3	Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες	58
5.4	Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης.....	59
5.5	Καλώδια Χαμηλής Τάσης	61
5.5.1	Βασικοί ορισμοί ρευμάτων	61
5.5.2	Διατομές αγωγών.....	61
5.5.3	Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα καλωδίων	64
5.5.4	Ονομασία καλωδίων	64
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	67
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ		67
6.1	Η τροφοδοσία της γραμμής.....	67
6.2	Τα ηλεκτρικά στοιχεία των διατάξεων της γραμμής.....	68
6.3	Υπολογισμός διατομών και μέσων προστασίας των κινητήρων και των μετασχηματιστών	69
6.3.1	Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το H/Z μέχρι το μετασχηματιστή 400V/15000V (15m απόσταση)	70
6.3.2	Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το μετασχηματιστή 15000V/400V μέχρι τον Πίνακα της Χαμηλής Τάσης (5m απόσταση)	72
6.3.3	Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το μετασχηματιστή 400V/15000V μέχρι τον Μετασχηματιστή 15000V/400V (150m απόσταση).....	73
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές (εργοστάσια και μεγάλες βιοτεχνίες) αλλά και μεγάλα συγκροτήματα κτιρίων κοινωφελούς χρήσης (όπως νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, γραφεία) έχουν πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ. Με τον όρο εγκατεστημένη ισχύς εννοούμε το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων όλων των ηλεκτρικών καταναλωτών.

Οι παραπάνω καταναλωτές συνδέονται απευθείας στο δίκτυο Μέσης Τάσης έτσι ώστε να είναι δυνατή η παροχή και η διακίνηση της μεγάλης ισχύος τους με υψηλή τάση, άρα μικρές εντάσεις ($P=V \cdot I$) και έτσι να επιλέγονται σχετικά μικρές διατομές καλωδίων, επιτυγχάνοντας έτσι

- Αφενός μεγαλύτερη οικονομία στον εξοπλισμό (μικρότερες διατομές, μικρότερα μέσα προστασίας), και
- Αφετέρου πτώσεις τάσης σε επιτρεπτά όρια

Ειδικά ο δεύτερος στόχος είναι απαραίτητος για την απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης. Προκειμένου να επιτευχθεί μικρή πτώση τάσης, είναι απαραίτητη η σωστή εκλογή των διατομών των καλωδίων, που γίνεται σε συνδυασμό με τις εντάσεις των τροφοδοτούμενων καταναλώσεων, αλλά και με βάση την απόσταση των καταναλωτών από το σημείο τροφοδοσίας. Όσο αυξάνεται η απόσταση, τόσο αυξάνεται και η πτώση τάσης, οπότε υπάρχει περίπτωση ένα φαινομενικά κατάλληλο καλώδιο τελικά να απορριφθεί και να επιλεγεί μεγαλύτερη διατομή. Η μελέτη πτώσης τάσης που πραγματοποιείται στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, λαμβάνει υπόψη της τόσο τις εντάσεις των ρευμάτων, όσο και τις αποστάσεις στις οποίες οδεύουν τα καλώδια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ (H/Z)

1.1 Χαρακτηριστικά ρεύματος

Τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου ρεύματος είναι 400/230 V τριφασικό 50 Hz. Εναλλακτικά διατίθενται και διαφορετικές τάσεις και περίοδοι.

1.2 Κινητήρας

Πετρελαιοκινητήρας ή βενζινοκινητήρας, βαρέως τύπου και περιέχει

- Ρυθμιστής Στροφών: Ο ρυθμιστής στροφών είναι σύμφωνος με το πρότυπο BS5514 Class A1.
- Ηλεκτρικό σύστημα κινητήρα 12 V ή 24 V DC αναλόγως της ισχύος του H/Z
- Σύστημα αυτόματης διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα με την βοήθεια ηλεκτρικού πηνίου - solenoid σε περίπτωση υπερθέρμανσης ή πτώσης πίεσης λαδιού.
- Ψυγείο νερού: Ψυγείο νερού πλήρες με ανεμιστήρα και προφυλακτήρες, κατάλληλα σχεδιασμένο για βιομηχανικές εφαρμογές για την ψύξη του κινητήρα στο μέγιστο της ισχύος και για θερμοκρασίες περιβάλλοντος αέρος 40 ° C.
- Φίλτρα κινητήρα: Ο κινητήρας φέρει φίλτρο αέρος κατάλληλο για δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας με ξηρού τύπου αντικαθιστάμενο στοιχείο, και ευκόλως αντικαθιστάμενα φίλτρα λαδιού και πετρελαίου ολικής διηθήσεως.

1.3 Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων

Τα H/Z ανοιχτού τύπου συνοδεύονται από αποσιωπητήρα (σιλανσιέ) βαρέως βιομηχανικού τύπου (industrial silencer).

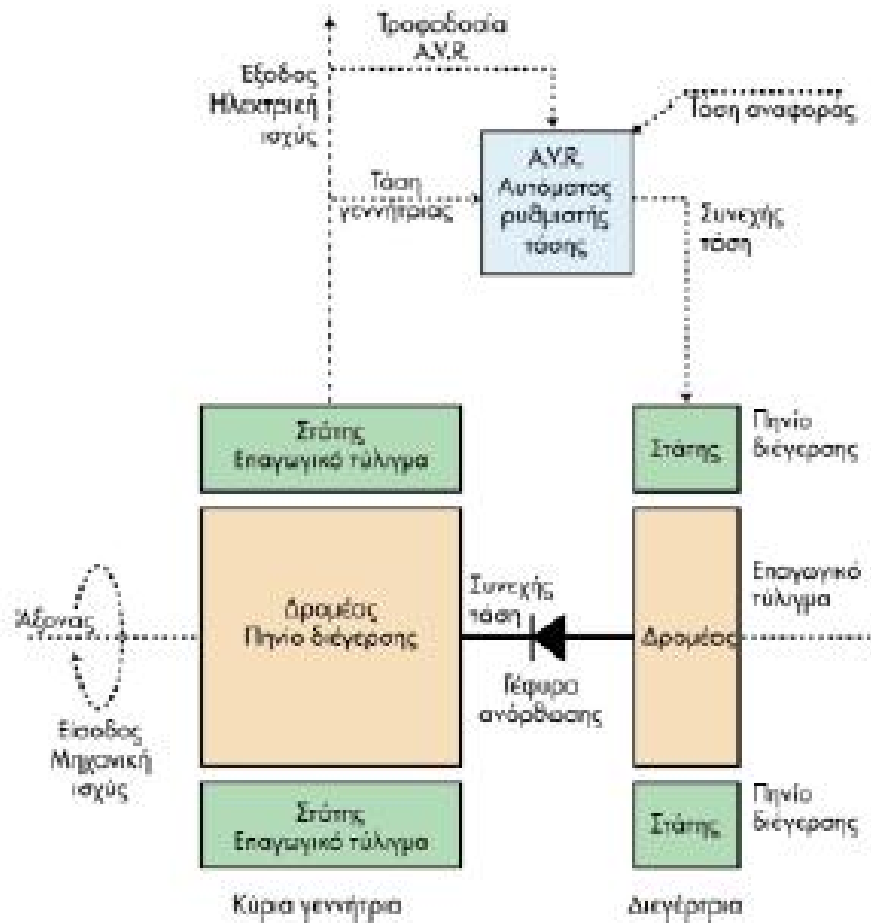
1.4 Ηλεκτρικό Σύστημα

Το ηλεκτρικό σύστημα του κινητήρα αποτελείται από τον εναλλακτήρα φορτίσεως και την αξονικού τύπου μίζα. Ο συσσωρευτής(ες) μεγάλης χωρητικότητας μολύβδου οξέως για την εκκίνηση είναι τοποθετημένος (οι) επί της βάσης του H/Z και συνοδεύονται με καλώδια σύνδεσης και ακροδέκτες

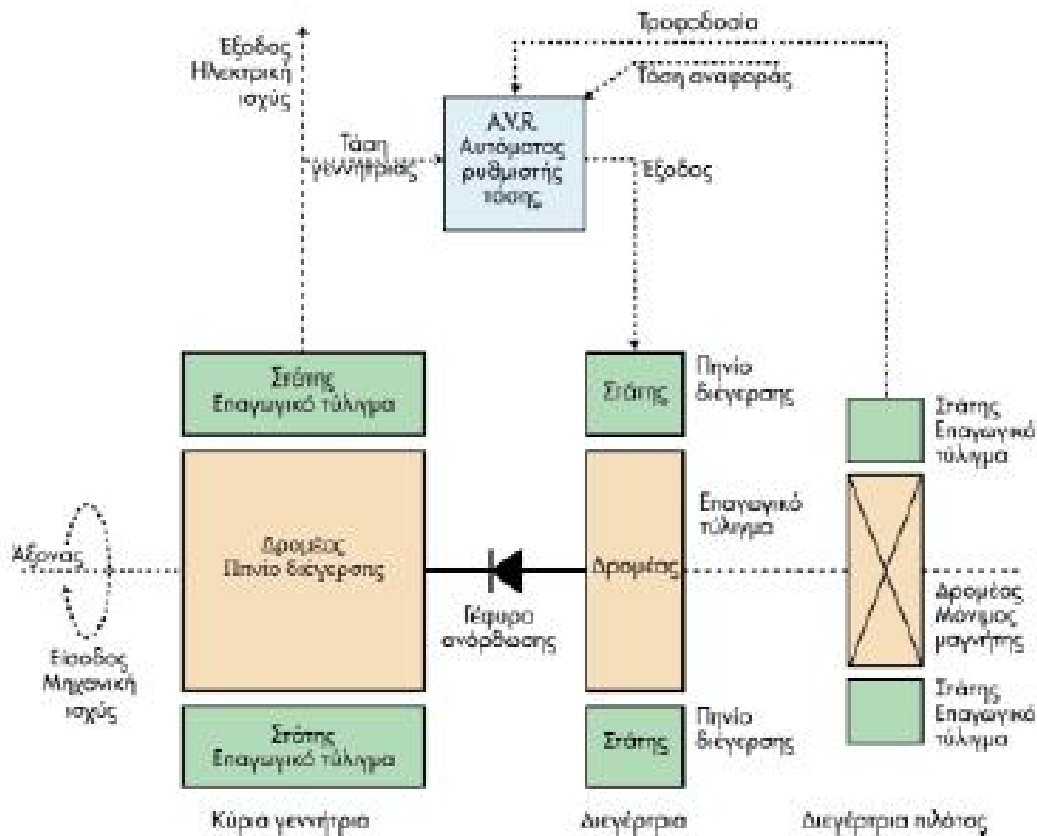
1.5 Εναλλακτήρας

Ο εναλλακτήρας είναι αυτορυθμιζόμενος, αυτόδιεγειρόμενος, χωρίς ψήκτρες (brushless) με πλήρως αλληλοσυνδεόμενα αποσβεστικά τυλίγματα. Η γεννήτρια φέρει σύστημα ψύξης και αυτολιπαινόμενο ρουλεμάν κλειστού τύπου. Επίσης διαθέτει

- Σύστημα μόνωσης της γεννήτριας (insulation)
- Αυτόματος ρυθμιστής τάσης – AVR: Ο ηλεκτρονικός και πλήρως στεγανός ρυθμιστής τάσης της γεννήτριας (AVR), διατηρεί την τάση μεταξύ των ορίων $\pm 0,5\%$ έως και $\pm 1,5\%$ (αναλόγως του μοντέλου και της ισχύος της γεννήτριας) από μηδέν έως και πλήρες φορτίο, συμπεριλαμβανομένων και των μεταβολών θερμοκρασίας από κρύο σε ζέστη και με οποιονδήποτε συντελεστή ισχύος από 0,8 έως και 1 και συμπεριλαμβανομένης και της μεταβολής στροφών $\pm 4,5\%$.



Εικόνα 1: Γεννήτρια με διεγέρτρια και AVR



Εικόνα 2: Γεννήτρια με διεγέρτρια, διεγέρτρια-πυλότο και AVR

1.6 Διάταξη ανάρτησης και ασφάλειας του H/Z

- Βάση: Το συγκρότημα πετρελαιοκινητήρα και γεννήτριας εδράζεται μέσω αντικραδασμικών βάσεων σε χαλύβδινη συγκολλητή βάση βαρέως τύπου κατασκευασμένη με χαλύβδινες διατομές.
- Ζεύξη: Ο πετρελαιοκινητήρας και η γεννήτρια συνδέονται ομοαξονικά απ'ευθείας μέσω χελώνης προσαρμογής κατά πρότυπα SAE αποφεύγοντας την πιθανότητα απευθυ-γράμμισης μετά από μακροχρόνια χρήση. Ο άξονας της γεννήτριας συνδέεται με εύκαμπτο δίσκο με το βολάν του κινητήρα και γίνεται πλήρη ανάλυση των στρεπτικών δυνάμεων ώστε να αποφεύγονται βλαβερές ταλαντώσεις στο συγκρότημα.
- Αντικραδασμικές βάσεις: Αντικραδασμικές βάσεις παρεμβάλλονται μεταξύ του πλαισίου και των στηριγμάτων του κινητήρα και της γεννήτριας και εξασφαλίζουν την πλήρη απομόνωση των κραδασμών των περιστρεφόμενων μερών.
- Προφυλακτήρες ασφαλείας: Ειδικό πλέγμα προστασίας κατά δυστυχημάτων περιβάλλει τον ανεμιστήρα και τις τροχαλίες του ανεμιστήρα και του εναλλακτήρα φορτίσεως συσσωρευτών.

1.7 Δεξαμενή καυσίμου

Τα Η/Ζ έως 630 kVA φέρουν ενσωματωμένη στο πλαίσιο τους δεξαμενή πετρελαίου οκταώρου περί- που λειτουργίας. Η δεξαμενή περιλαμβάνει πώμα πληρώσεως και εκκενώσεως, αναπνευστήρα, πλέγμα διηθήσεως και σωληνώσεις τροφοδοσίας και επιστροφής καυσίμου προς τον κινητήρα.

1.8 Σύστημα Ελέγχου- Ηλεκτρικός πίνακας Η/Ζ

Διατίθενται πίνακες λειτουργίας και ελέγχου:

- Χειροκίνητοι
- Αυτόματοι
- Πίνακες παραλληλισμού
- Πίνακες συγχρονισμού

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση των Η/Ζ, όταν απαιτείται, επιτυγχάνεται με αναβαθμίσεις που δίνουν την δυνατότητα παρακολούθησης από PC ή με την προσθήκη ψυχρών επαφών.

1.9 Ηχομονωτικά Καλύμματα

Τα Η/Ζ είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για να λειτουργήσουν εντός οικίσκου με κατάλληλο αερισμό. Ως επιπλέον εξοπλισμός διατίθενται ειδικής κατασκευής και επεξεργασίας συμπαγή καλύμματα, με εργονομικό σχεδιασμό για ευχερή συντήρηση. Το κυρίως σώμα των καλυμμάτων είναι από γαλβανισμένο χάλυβα και οι κλειδαριές, οι αρμοί και οι σφικτήρες από ανοξείδωτο χάλυβα, ώστε να εξασφαλίζεται η αντοχή στη διάβρωση. Τα καλύμματα διαθέτουν φαρδιές πόρτες με κλειδαριές, επισκέψιμες από εμπρός και ειδικό παράθυρο προστασίας του ηλεκτρικού πίνακα.



Εικόνα 3:Εξωτερική όψη Η/Ζ

1.10 Πίνακας Χειροκίνητης λειτουργίας και ελέγχου

Ο πίνακας ελέγχου χειροκίνητου χειρισμού του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (Η/Ζ) διατίθεται με ένα ψηφιακό πεδίο ενδείξεων και χειρισμού, το οποίο είναι συνδεδεμένο και στηριγμένο επί της ενιαίας βάσης του Η/Ζ και το οποίο περιλαμβάνει και circuit breaker.

- Πεδίο Ενδείξεων Ελέγχου & Χειρισμού: Ο πίνακας ενδείξεων ελέγχου και χειρισμού είναι ερμάριο κλειστού τύπου, ισχυρής μεταλλικής κατασκευής και ειδικής βαφής, επισκέψιμος από εμπρός. Το σύστημα ενσωματώνει την προστασία του κινητήρα και της γεννήτριας σε κοινό λογισμικό, το οποίο έχει την δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης των διαφόρων παραμέτρων. Οι πληροφορίες διοχετεύονται και απεικονίζονται με απλό τρόπο στην ψηφιακή οθόνη του πίνακα. Οι ηλεκτρικές ενδείξεις, οι παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα, οι οδηγίες, οι προειδοποιήσεις και οι συναγερμοί απεικονίζονται με απλό τρόπο στην μεγάλη ψηφιακή του οθόνη. Ενδείξεις, ηχητική σήμανση και μηνύματα ως κάτωθι:
 - Ενδεικτικές λυχνίες πίνακα.
 - Λυχνία χρώματος πρασίνου (OK, Ready, Active). Ενεργοποιείται όταν οι προστασίες του κινητήρα έχουν ενεργοποιηθεί μετά την εκκίνηση
 - Λυχνία χρώματος κίτρινου: Ενεργοποιείται τόσο για προειδοποιητικά μηνύματα όσο και προς της εμφάνισης σφάλματος σβέσης.

- Λυχνία χρώματος κόκκινου: Ενεργοποιείται σε σφάλματα που απαιτούν σβέση με ενεργοποίηση και ηχητική σήμανση.
- Οθόνη Επί της οθόνης εμφανίζονται τα στοιχεία του H/Z οι μετρήσεις και τα μηνύματα ως κάτωθι:
 - Ενδείξεις στοιχείων H/Z
 - Στοιχεία και τηλέφωνα προμηθευτή του H/Z
 - S/N του H/Z
 - Μοντέλο H/Z
 - Έκδοση κάρτας: auto ή manual κ.λ.π
 - Φάσεις H/Z πχ 3F + N
 - Συχνότητα λειτουργίας H/Z (Hz)
 - Τάση μπαταρίας (Volt) 12 ή 24 V
- Ενδείξεις και μετρήσεις σελίδας 1
 - Τάση γεννήτριας (Volt)
 - Ένταση γεννήτριας (Ampere)
 - Συχνότητα (Hz)
 - Στροφές
 - Ωρες λειτουργίας
 - Πίεση λαδιού (bar)
 - Θερμοκρασία νερού (°C)
 - Τάση μπαταρίας (Vdc)
 - Ένδειξη θέσης λειτουργίας (BLOCK, MANUAL)
 - Έξτρα εξοπλισμός AUTO για απομακρυσμένη εκκίνηση
 - Μηνύματα status, warning, alarm.



Εικόνα 4: Ο Ηλεκτρικός Πίνακας του H/Z

- Ενδείξεις και μετρήσεις σελίδας 2
 - Παραγόμενη τάση (φάση - ουδέτερο & φάση - φάση)
 - Ένταση φάσεων
 - Hz (περίοδοι)
 - Τάση δυναμό D+
 - Προσπάθειες εκκίνησης (έξτρα εξοπλισμός για απομακρυσμένη εκκίνηση)
 - Ποσότητα (%) εναπομένου πετρελαίου (σε H/Z που φέρουν ημερήσια δεξαμενή πετρελαίου)
 - Ένδειξη ωρών λειτουργίας που υπολείπονται της προγραμματισμένης συντήρησης π.χ -50 Hr
 - Αλάρμ προειδοποιητικών μηνυμάτων με ενεργοποίηση της κίτρινης λυχνίας και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων
 - Χαμηλή στάθμη καυσίμου
 - Απαιτείται συντήρηση
 - Χαμηλή τάση μπαταρίας
 - Υψηλή τάση μπαταρίας
 - Υψηλή ένταση γεννήτριας
 - Αλάρμ με σβέση του κινητήρα, ενεργοποίηση της κόκκινης λυχνίας και της σειρήνας και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων.
 - Ενεργοποίηση του Emergency Stop
 - Υπερστροφία
 - Υποστροφία
 - Υψηλή θερμοκρασία
 - Χαμηλή πίεση λαδιού
 - Αποσυνδεδεμένο καλώδιο σένσορα χαμηλής πίεσης λαδιού.
 - Αποτυχία εκκινήσεως
 - Αποτυχία σβέσης κινητήρα
 - Μηχανικό πρόβλημα
 - Απομονωμένο καλώδιο D+
 - Χαμηλή τάση γεννήτριας
 - Υψηλή τάση γεννήτριας
 - Ασυμμετρία φάσεων γεννήτριας
 - Γενικό σφάλμα συστήματος
 - Ο πίνακας χειρισμού και ελέγχου έχει την δυνατότητα προειδοποίησης του χειριστή για την αναγκαιότητα service με ρύθμιση των μεσοδιαστημάτων μεταξύ των σέρβις αυτών με προειδοποιητικό alarm και μήνυμα στην οθόνη. Η ρύθμιση αυτή δεν εμποδίζει τη λειτουργία του H/Z εάν αυτό έχει υπερβεί τις προκαθορισμένες.
 - Πλεξούδες συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος πλήρεις εντός σωλήνων (πλεξούδες DC και AC). Οι πλεξούδες του κινητήρα και του εναλλακτήρα συνδέονται με τον πίνακα μέσω βιομηχανικού τύπου συνδετήρα πολλαπλών ακροδεκτών, έτσι ώστε επιτρέπεται ο γρήγορος εντοπισμός βλάβης και η εύκολη σύνδεση.

- ο Όλους τους απαραίτητους χρονοδιακόπτες, βοηθητικές ασφάλειες, ακροδέκτες για τα κύρια και βοηθητικά κυκλώματα με τις απαιτούμενες καλωδιώσεις του πίνακα, συστήματα επιβράδυνσης εκκίνησης και διακοπής του κινητήρα και σύστημα επιβράδυνσης της σύνδεσης των καταναλωτών από την γεννήτρια μετά την επαναφορά της τάσης της κεντρικής παροχής.
- Πεδίο προστασίας της γεννήτριας (Circuit breaker) Στο πεδίο ενδείξεων βρίσκεται και ο circuit breaker ο αυτόματος τετραπολικός διακόπτης ίσης ισχύος με το H/Z, με θερμικά και μαγνητικά στοιχεία για την προστασία της γεννήτριας από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα.

1.11 Πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου (Αυτόματος ΔΕΗ – H/Z)

Το H/Z μεσολαβεί μεταξύ του πίνακα ρευματοδότησης και του πίνακα διανομής, η ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου της ΔΕΗ διερχόμενη μέσω αυτών επιτηρείται από το σύστημα ελέγχου του πίνακα του H/Z και εφόσον και οι τρεις φάσεις της κύριας παροχής έχουν κανονική τάση, η εγκατάσταση τροφοδοτείται από την κυρίως παροχή.

Σε περίπτωση διακοπής ή ακαταλληλότητας της ποιότητας ρεύματος μίας ή και περισσότερων φάσεων της ΔΕΗ, διεγείρεται αυτόματα το ηλεκτρονικό σύστημα, διακόπτει εντελώς τη ρευματοδότηση του δικτύου της ΔΕΗ, εκκινεί το H/Z και αναλαμβάνει τα φορτία της κατανάλωσης. Όταν λαμβάνεται το σήμα ότι υπάρχει πρόβλημα στο ρεύμα του δικτύου, ανοίγει η επαφή του ρεύματος του δικτύου και ενεργοποιείται ο χρόνος καθυστέρησης στην εκκίνηση. Η ρυθμιζόμενη αυτή χρονική καθυστέρηση από 0-240 sec συντελεί στην αποφυγή λανθασμένων εκκινήσεων από στιγμιαίες διακοπές ΔΕΗ ή στιγμιαίων διακυμάνσεων. Όταν ο παραπάνω χρόνος καθυστέρησης επέλθει, δίνεται σήμα εκκίνησης του κινητήρα του H/Z. Όταν ο κινητήρας και η γεννήτρια, φθάσουν στις κατάλληλες ταχύτητες τότε τα φορτία της εγκατάστασης μετάγονται από την κύρια παροχή στο H/Z για όλη τη διάρκεια της διακοπής ή ανωμαλίας του δικτύου. Σε περίπτωση αστοχίας εκκίνησης του κινητήρα μέσω κατάλληλης διάταξης εκτελούνται άλλες τρεις προσπάθειες εκκίνησης του με ρυθμιζόμενη παύση μεταξύ των προσπαθειών.

Μετά την αποκατάσταση και των τριών φάσεων του δικτύου της ΔΕΗ στην κανονική τάση, ενεργοποιείται το χρονικό καθυστέρησης της μεταγωγής από το H/Z στο δίκτυο και όταν παρέλθει ο ρυθμιζόμενος χρόνος μετάγεται το φορτίο στη ΔΕΗ. Εάν κατά τη διάρκεια της παραπάνω χρονικής καθυστέρησης επανεμφανιστεί σφάλμα δικτύου, τότε ακυρώνεται η εντολή κράτησης του H/Z και γίνεται άμεση μεταγωγή των φορτίων στο H/Z. Εάν δεν εμφανιστούν σφάλματα στο

δίκτυο ο χρόνος ψύξης του κινητήρα 120 sec εξασφαλίζει την λειτουργία του H/Z χωρίς φορτίο, ώστε να ψυχθεί ο κινητήρας πριν διακοπεί η λειτουργία του.

Ο πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου επιτρέπει την αυτόματη εκκίνηση του H/Z και διατίθεται σε δύο πεδία :

- Ψηφιακό πεδίο ενδείξεων και αυτοματισμών, το οποίο είναι συνδεδεμένο και στηριγμένο επί της ενιαίας βάσης του H/Z και το οποίο περιλαμβάνει και το circuit breaker.
- Ανεξάρτητο πεδίο μεταγωγής (ισχύος) επιτοίχιο ή επιδαπέδιο.

1.11.1 Πεδίο Ενδείξεων Ελέγχου & Αυτοματισμού

Ο πίνακας ένδειξης ελέγχου και αυτοματισμού είναι ερμάριο κλειστού τύπου, ισχυρής μεταλλικής κατασκευής και ειδικής βαφής, επισκέψιμος από εμπρός. Το σύστημα ενσωματώνει την προστασία του κινητήρα και της γεννήτριας σε κοινό λογισμικό, το οποίο έχει την δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης των διαφόρων παραμέτρων. Οι πληροφορίες διοχετεύονται και απεικονίζονται με απλό τρόπο στην ψηφιακή οθόνη του πίνακα. Οι ηλεκτρικές ενδείξεις, οι παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα, οι οδηγίες, οι προειδοποιήσεις και οι συναγερμοί απεικονίζονται με απλό τρόπο στην μεγάλη ψηφιακή του οθόνη. Ενδείξεις, ηχητική σήμανση και μηνύματα ως κάτωθι:

- Ενδεικτικές λυχνίες πίνακα αυτόματης λειτουργίας
 - Λυχνία χρώματος πρασίνου (OK, Ready, Active) Ενεργοποιείται όταν οι προστασίες του κινητήρα 2 έχουν ενεργοποιηθεί μετά την εκκίνηση.
 - Λυχνία χρώματος κίτρινου Ενεργοποιείται τόσο για προειδοποιητικά μηνύματα όσο και προς της εμφάνισης σφάλματος σβέσης.
 - Λυχνία χρώματος κόκκινου Ενεργοποιείται σε σφάλματα που απαιτούν σβέση με ενεργοποίηση και ηχητικής σήμανσης.
 - Δύο λυχνίες χρώματος πρασίνου ΔΕΗ & H/Z Ενεργοποιείται αναλόγως από ποια πηγή ενέργειας τροφοδοτείται η εγκατάσταση ΔΕΗ ή H/Z.
- Οθόνη Επί της οθόνης εμφανίζονται τα στοιχεία του H/Z οι μετρήσεις και τα μηνύματα ως κάτωθι:
 - Στοιχεία και τηλέφωνα προμηθευτή του H/Z.
 - S/N του H/Z.
 - Μοντέλο H/Z.
 - Έκδοση κάρτας: auto ή manual κ.λ.π.
 - Φάσεις H/Z πχ 3F + N.
 - Συχνότητα λειτουργίας H/Z (Hz).
 - Τάση μπαταρίας (Volt) 12 ή 24 V.
 - Τάση γεννήτριας (Volt).

- Ένταση γεννήτριας (Ampere).
- Συχνότητα (Hz).
- Στροφές.
- Ωρες λειτουργίας.
- Πίεση λαδιού (bar).
- Θερμοκρασία νερού (oC).
- Τάση μπαταρίας (Vdc).
- Ένδειξη θέσης λειτουργίας (BLOCK, MANUAL, AUTO).
- Μηνύματα status, warning, alarm
- Παραγόμενη τάση (φάση - ουδέτερο & φάση - φάση).
- Ένταση φάσεων.
- Λοιπές έξτρα προαιρετικές μετρήσεις kW, cosφ κ.λ.π. ο Hz (περίοδοι).
- Τάση δυναμό D+.
- Προσπάθειες εκκίνησης.
- Ποσότητα (%) εναπομένοντος πετρελαίου (σε H/Z που φέρουν ημερήσια δεξαμενή πετρελαίου).
- Ένδειξη ωρών λειτουργίας που υπολείπονται της προγραμματισμένης συντήρησης π.χ -50 Hr
- Τάση & Hz κεντρικής παροχής (ΔΕΗ).
- Τάση & Hz H/Z (φάση - φάση).
- Παρουσία / Έλλειψη κεντρικής παροχής (ΔΕΗ).
- Τροφοδοσία καταναλώσεων από ΔΕΗ ή από H/Z.
- Θέσεις λειτουργίας H/Z (MAN, AUT, TEST, BLOCK).
- Ημερομηνία & ώρα. Αλάρμ προειδοποιητικών μηνυμάτων με ενεργοποίηση της κίτρινης λυχνίας και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων.
- Χαμηλή στάθμη καυσίμου.
- Απαιτείται συντήρηση.
- Χαμηλή τάση μπαταρίας.
- Υψηλή τάση μπαταρίας.
- Υψηλή ένταση γεννήτριας.
- Αλάρμ με σβέση του κινητήρα, ενεργοποίηση της κόκκινης λυχνίας και της σειρήνας και εμφάνιση αντίστοιχων μηνυμάτων. ο Ενεργοποίηση του Emergency Stop.
- Υπερστροφή.
- Υποστροφή.
- Υψηλή θερμοκρασία.
- Χαμηλή πίεση λαδιού.
- Αποσυνδεδεμένο καλώδιο σένσορα χαμηλής πίεσης λαδιού.
- Αποτυχία εκκινήσεως.
- Αποτυχία σβέσης κινητήρα.
- Μηχανικό πρόβλημα.
- Απομονωμένο καλώδιο D+.
- Χαμηλή τάση γεννήτριας.
- Υψηλή τάση γεννήτριας.
- Ασυμμετρία φάσεων γεννήτριας.
- Γενικό σφάλμα συστήματος

- Επιτήρηση τάσης Το σύστημα περιλαμβάνει έναν τριφασικό επιτηρητή τάσης της κεντρικής παροχής, μεγάλης ακρίβειας, ο οποίος επιτηρεί τις τρεις φάσεις της κεντρικής παροχής και αν μειωθεί η τάση κάτω ορισμένων ορίων, έστω και στη μια φάση, δίνεται εντολή εκκίνησης του H/Z και σύνδεση των καταναλωτών στο δίκτυο της γεννήτριας.
- Ανεξάρτητο επικουρικό σύστημα συντηρητικής φόρτισης των συσσωρευτών από το ρεύμα της κεντρικής παροχής (ΔΕΗ).
- Όλους τους απαραίτητους χρονοδιακόπτες, βοηθητικές ασφάλειες, ακροδέκτες για τα κύρια και βοηθητικά κυκλώματα με τις απαιτούμενες καλωδιώσεις του πίνακα. Συστήματα επιβράδυνσης εκκίνησης και διακοπής του κινητήρα και σύστημα επιβράδυνσης της σύνδεσης των καταναλωτών από την γεννήτρια μετά την επαναφορά της τάσης της κεντρικής παροχής.
- Πλεξούδες συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος πλήρεις εντός σωλήνων (πλεξούδες DC και AC). Οι πλεξούδες του κινητήρα και του εναλλακτήρα συνδέονται με τον πίνακα μέσω βιομηχανικού τύπου συνδετήρες πολλαπλών ακροδεκτών, έτσι ώστε να επιτρέπεται ο γρήγορος εντοπισμός βλάβης και η εύκολη σύνδεση.
- Πεδίο προστασίας της γεννήτριας (Circuit Breaker). Στο πεδίο ενδείξεων σε ξεχωριστή θέση βρίσκεται και ο circuit breaker ο αυτόματος τετραπολικός διακόπτης ίσης ισχύος με το H/Z, με θερμικά και μαγνητικά στοιχεία για την προστασία της γεννήτριας από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα.
- Απομακρυσμένες ενδείξεις Ο πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου διαθέτει ελεύθερη επαφή για απομακρυσμένο γενικό alarm. Επίσης διαθέτει θύρα εξόδου RS485/232 έτσι ώστε να έχει δυνατότητα ενσύρματης απομακρυσμένης επικοινωνίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω software και με επιπλέον χρέωση.
- Ο πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου έχει τη δυνατότητα αυτομάτου δοκιμής του H/Z άνευ φορτίου, με ρύθμιση διαστήματος μεταξύ των δοκιμών από 1 έως 7 ημέρες.
- Ο πίνακας αυτοματισμού και ελέγχου έχει την δυνατότητα προειδοποίησης του χειριστή για την αναγκαιότητα service με ρύθμιση των μεσοδιαστημάτων μεταξύ των σέρβις αυτών με προειδοποιητικό alarm και μήνυμα στην οθόνη. Η ρύθμιση αυτή δεν εμποδίζει τη λειτουργία του H/Z εάν αυτό έχει υπερβεί τις προκαθορισμένες ώρες.
- Πεδίο Μεταγωγής – Ισχύος Έκαστο πεδίο μεταγωγής είναι ανεξάρτητο, μεταλλικό, επιτοίχιο ή επιδαπέδιο, ερμάριο κλειστού τύπου, επισκέψιμο από εμπρός που περιλαμβάνει :
- Δύο αυτόματους τετραπολικούς διακόπτες φορτίου (ρελέ) ή έναν ηλεκτροκίνητο τετραπολικό διακόπτη διπλής ενεργείας γνωστού Ευρωπαϊκού εργοστασίου ίσης ισχύος με την ισχύ

του Η/Ζ με τις κατάλληλες βοηθητικές επαφές για το δίκτυο της κεντρικής παροχής και της γεννήτριας.

- Σύστημα ηλεκτρικής και μηχανικής μανδάλωσης των δύο ως άνω αυτομάτων διακοπών του συστήματος μεταγωγής για τον αποκλεισμό της ταυτόχρονης ρευματοδότησης των εγκαταστάσεων από την κεντρική παροχή και του Η/Ζ.
- Λυχνίες ενδεικτικές παροχής ρεύματος από το δίκτυο κεντρικής παροχής ή από το Η/Ζ.
- Καλώδια με τους ακροδέκτες τους για τη σύνδεση του πεδίου ενδείξεων με τα πεδία ισχύος με την κατάλληλη αρίθμηση για την σωστή

1.12 Εγκατάσταση Εφεδρικού Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους - Νομοθεσία

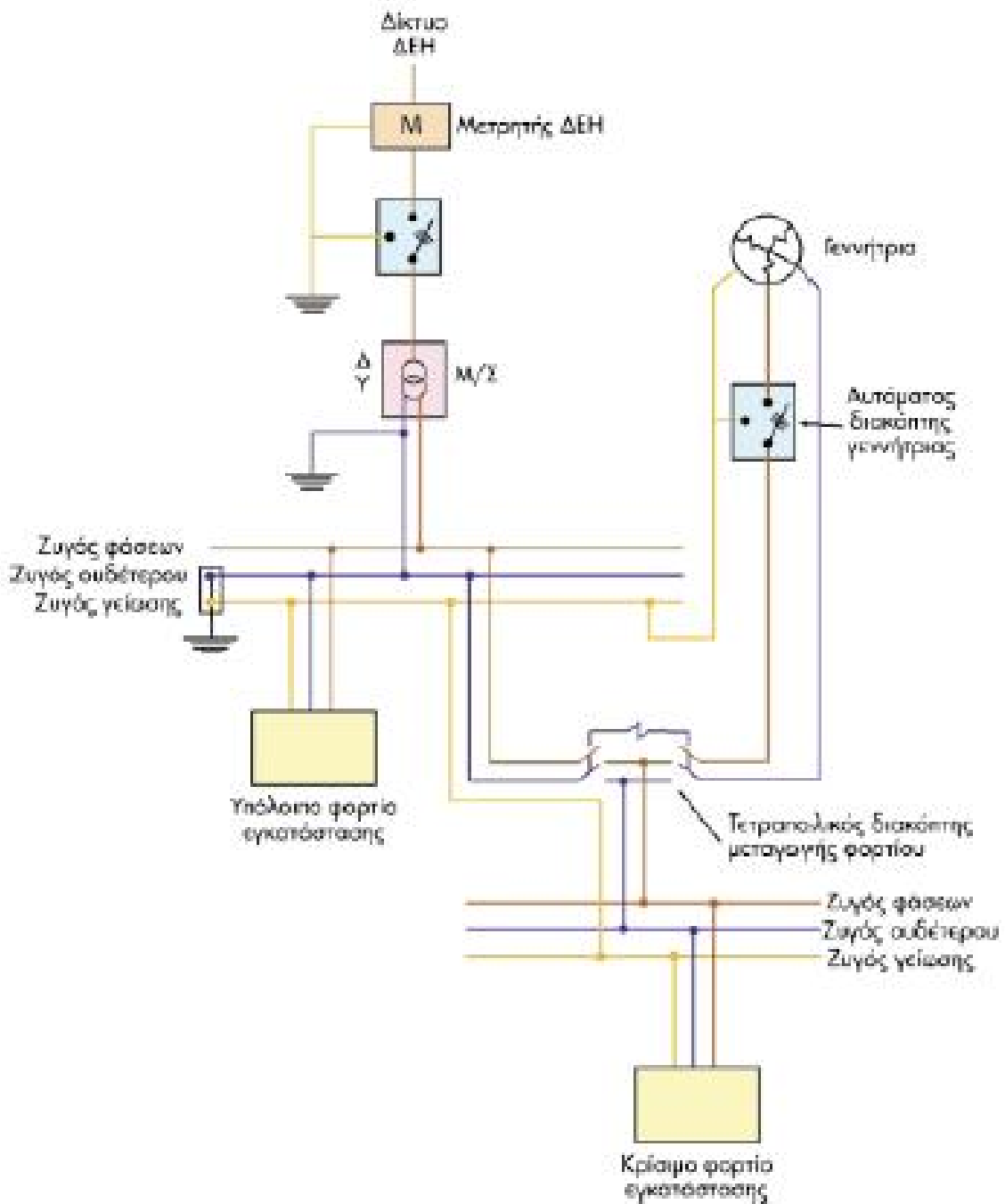
Σύμφωνα με το υφιστάμενο νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο, ένας καταναλωτής έχει, υπό προϋποθέσεις, τη δυνατότητα να συνδέσει στις εγκαταστάσεις του εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, το οποίο θα χρησιμοποιείται από αυτόν αποκλειστικά και μόνο επικουρικά, δηλαδή μόνο σε περιπτώσεις και για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω βλάβης ή αδυναμίας του Δικτύου.

Η εγκατάσταση και λειτουργία εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους επιτρέπεται μόνο μετά από έγγραφη συμφωνία του ΔΕΔΔΗΕ, η οποία παρέχεται εφόσον

1. Υποβληθούν από τον καταναλωτή τα ακόλουθα δικαιολογητικά
 - a. Απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) για εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής.
 - b. Υπεύθυνη Δήλωση Εγκαταστάτη ηλεκτρολόγου (ΥΔΕ), με την οποία βεβαιώνεται μεταξύ άλλων ότι τοποθετήθηκαν οι κατάλληλες τεχνικές διατάξεις ασφαλείας που αποκλείουν την παράλληλη λειτουργία της εφεδρικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής με το δίκτυο ή την τροφοδότηση του δικτύου από αυτήν.
2. Ελεγχθούν από τον ΔΕΔΔΗΕ οι τεχνικές διατάξεις ασφαλείας και βρεθούν σύμφωνες με την προαναφερόμενη ΥΔΕ.

Επισημαίνεται ότι στις αδειοδοτήσεις, που προβλέπονται από την κείμενη νομοθεσία για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, περιλαμβάνεται και Απόφαση εξαίρεσης από την υποχρέωση έκδοσης άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας, η οποία εκδίδεται από τη Διεύθυνση Ανάπτυξης της οικείας Περιφερειακής Ενότητας.

Για την έκδοση της συγκεκριμένης Απόφασης, απαιτείται η κατάθεση συγκεκριμένων δικαιολογητικών από τον κάτοχο του εφεδρικού ζεύγους στη Διεύθυνση Ανάπτυξης, ένα εκ των οποίων είναι το αντίγραφο της έγγραφης συμφωνίας του ΔΕΔΔΗΕ.



Εικόνα 5: Κύκλωμα ισχύος μεταγωγής φορτίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

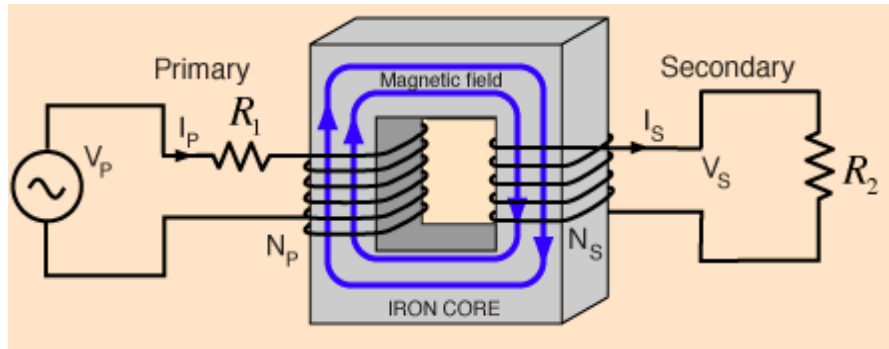
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

2.1 Γενικές αρχές λειτουργίας

Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική μηχανή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτρικών αγωγών μεταξύ δύο επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι μετασχηματιστές είναι μία από τις πιο αποδοτικές ηλεκτρικές μηχανές, με κάποιες μεγάλες μονάδες να αποδίδουν έως και το 99.75% της ισχύος εισόδου τους στην έξοδό τους. Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται σε ευρεία γκάμα μεγεθών, που κυμαίνονται από μέγεθος νυχιού (όπως αυτοί που βρίσκονται μέσα σε ένα μικρόφωνο) έως τεράστιες μονάδες με βάρος εκατοντάδων τόνων που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση του εθνικού δικτύου ηλεκτροδότησης.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή: Ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα (το "πρωτεύον") δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μεταβαλλόμενη τάση στο δεύτερο κύκλωμα (το "δευτερεύον"). Αν ένας ηλεκτρικός καταναλωτής είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα, τότε θα υπάρξει ροή ηλεκτρικού φορτίου στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Αυτό το φορτίο θα μεταφέρει ενέργεια από το πρωτεύον κύκλωμα, στον καταναλωτή που είναι συνδεδεμένος στο δευτερεύον κύκλωμα. Η επαγόμενη τάση V_S (s:secondary) στο δευτερεύον ενός ιδανικού μετασχηματιστή, είναι ανάλογη της τάσης V_P (p:primary) στο πρωτεύον κατά ένα συντελεστή ίσο με το λόγο του αριθμού N των περιελίξεων του σύρματος στα αντίστοιχα τυλίγματα:
$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Με κατάλληλη επιλογή του αριθμού των περιελίξεων, ένας μετασχηματιστής επιτρέπει την ανύψωση μιας εναλλασσόμενης τάσης (αν $N_S > N_P$) ή τον υποβιβασμό της (αν $N_S < N_P$).



Εικόνα 6: Ένας ιδανικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης με επισημασμένη την μαγνητική ροή στον πυρήνα του

Η λειτουργία του μετασχηματιστή βασίζεται σε δύο αρχές:

- § πρώτον, ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα διερχόμενο από αγωγό μπορεί να παράγει μαγνητικό πεδίο (ηλεκτρομαγνητισμός) και,
- § δεύτερον, ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο σε επαφή με ένα τυλιγμένο σύρμα ("τύλιγμα"), επάγει διαφορά δυναμικού στα άκρα του τυλίγματος (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή). Μεταβάλλοντας το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα, αλλάζει η ένταση του μαγνητικού του πεδίου. Εφόσον το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο εκτείνεται και στο δευτερεύον τύλιγμα, επάγεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του δευτερεύοντος.

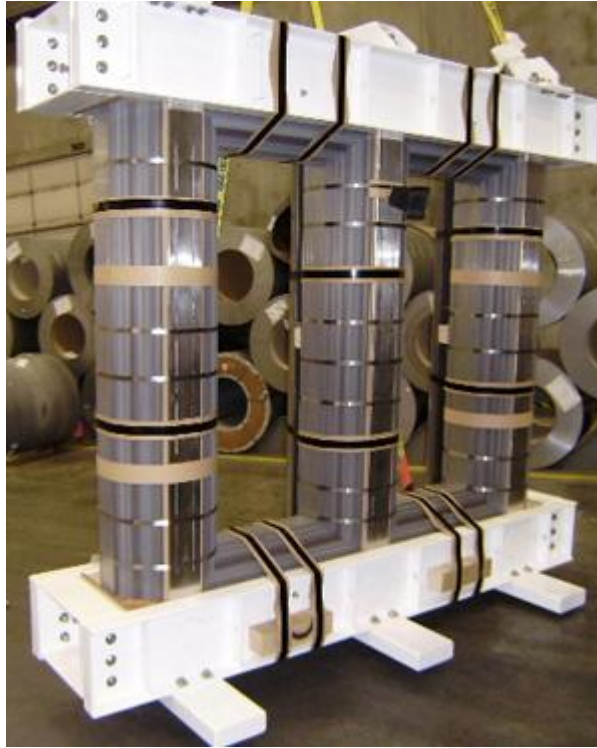
2.2 Ο σιδηροπυρήνας του μετασχηματιστή - κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Οι απώλειες ενός σιδηροπυρήνα περιορίζονται με την επιλογή κατάλληλου υλικού το οποίο έχει κύκλο υστέρησης με μικρό εμβαδόν. Πρέπει επίσης να έχουν μεγάλη ειδική αντίσταση ρ για τον περιορισμό των δινορευμάτων. Οι απώλειες αυτές περιορίζονται κατασκευάζοντας τον πυρήνα από λεπτά πυριτιούχα ελάσματα, πάχους 0,3 - 0,5 cm ή από μίγμα σκόνης σιδήρου με μονωτικό υλικό που είναι μονωμένα από την μία όψη τους.

Ο πυρήνας του μετασχηματιστή μπορεί να είναι είτε τύπος μανδύα, είτε τύπος πυρήνα. Ο τύπος μανδύα συνηθίζεται σε μετασχηματιστές πολύ μεγάλης ισχύος. Τα πηνία πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγονται στο κεντρικό στέλεχος αυτού, η δε όλη περιέλιξη προφυλάσσεται από δύο απέναντι στελέχη.

Στους μετασχηματιστές με τύπο πυρήνα τα πηνία πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κατανομούνται ομοιόμορφα στα δύο ακραία στελέχη και χρησιμοποιούνται συνήθως σαν μετασχηματιστές υψηλών συχνοτήτων. Οι περιελίξεις διαιρούνται εξίσου στα δύο σκέλη του

πυρήνα και στον καθένα περιελίσσεται το μισό κάθε πηνίου. Η περιέλιξη χαμηλής τάσης μπαίνει κοντά στον πυρήνα και η περιέλιξη υψηλής τάσης εξωτερικά της περιέλιξης χαμηλής τάσης, για να μειωθούν οι απαιτήσεις μόνωσης.



Εικόνα 7: Σιδηροπυρήνας ΜΣ

Οι συνδέσεις ενός σιδηροπυρήνα γίνονται με συνδετήρες ή βίδες. Οι καλές συνδέσεις περιορίζουν τον μαγνητικό θόρυβο.

Η διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή εξαρτάται περισσότερο από τις μονώσεις του και από τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται. Τα μονωτικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι το εμποτισμένο χαρτί, η μίκα και ειδικό λάδι.

Τα τυλίγματα του μετασχηματιστή γίνονται συνήθως με σύρμα κυκλικής διατομής, μονωμένο με ειδικό μονωτικό υλικό. Συνήθως στην περιέλιξη τα κενά που δημιουργούνται κατά το τύλιγμα γεμίζονται από ειδικό σκληρυντικό βερνίκι.

2.3 Ισοδύναμο Πραγματικού Μονοφασικού Μετασχηματιστή για τη μόνιμη Κατάσταση

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η λειτουργία του πραγματικού μετασχηματιστή και από τη μελέτη που θα ακολουθήσει θα εξαχθεί το βασικό ισοδύναμο κύκλωμα της λειτουργίας του. Ωστόσο επειδή

η μελέτη που ακολουθεί έχει σαν στόχο την εξαγωγή των βασικών αρχών της λειτουργίας του μετασχηματιστή, η χωρητικότητα των τυλιγμάτων θεωρείται αμελητέα προς αποφυγή της πολυπλοκότητας των σχέσεων που θα εξαχθούν. Η υπόθεση αυτή είναι έγκυρη για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός των περιπτώσεων εκείνων κατά τις οποίες η συχνότητα λειτουργίας f , έχει αρκετά υψηλές τιμές. Στις περιπτώσεις αυτές η επίδραση της χωρητικότητας μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν με διάφορους προσεγγιστικούς τρόπους.

Στην Εικόνα φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα ενός μονοφασικού μετασχηματιστή, στο οποίο δείχνονται οι ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων R_1 και R_2 , οι επαγωγικές αντιστάσεις $X_{\sigma 1}$ και $X_{\sigma 2}$ που εκφράζουν τη σκέδαση της μαγνητικής ροής, καθώς και την X_m η οποία εκφράζει την αμοιβαία μαγνητική ροή Φ_m .

2.4 Ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού μονοφασικού μετασχηματιστή.

Το ρεύμα μαγνήτισης είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή ενώ η κυματομορφή του έπεται της κυματομορφής της τάσης κατά 90° . Έτσι το ρεύμα αυτό αντιστοιχίζεται σε μία αντίδραση X_m τοποθετημένη παράλληλα στην πηγή τάσης. Τέλος το ρεύμα απωλειών του πυρήνα I_{Fe} (απώλειες οφειλόμενες στο φαινόμενο της υστέρησης και στα δινορεύματα) είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στον πυρήνα του μετασχηματιστή και η κυματομορφή του είναι σε φάση με την κυματομορφή της τάσης. Έτσι αυτό το ρεύμα είναι δυνατό να παρουσιάζεται με μια αντίσταση R_{Fe} τοποθετημένη παράλληλα στην πηγή τάσης.

2.5 Απώλειες του μετασχηματιστή

2.5.1 Ροή Σκέδασης

Κατά την εξέταση του ιδανικού μετασχηματιστή θεωρήσαμε ότι όλες οι δυναμικές γραμμές της μαγνητικής ροής βρίσκονταν περιορισμένες μέσα στον υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας πυρήνα. Στην πραγματικότητα όμως μέρος αυτών των γραμμών διαγράφουν διαμέσου του αέρα κλειστούς βρόγχους, διασχίζοντας έτσι εν μέρει τον αέρα και εν μέρει τα αντίστοιχα τυλίγματα. Έτσι προκύπτουν οι «απώλειες σκεδάσεως».

Ορίζεται «μαγνητική ροή σκεδάσεως $\Phi_{1\sigma}$ » ως το ποσό της συνολικής μαγνητικής ροής του πρωτεύοντος, η οποία διαρρέει εν μέρει το τύλιγμα αυτό και εν μέρει τον αέρα. Εφ' όσον ο δρόμος ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως δεν περιορίζεται μέσα στον πυρήνα

αλλά επεκτείνεται και στον αέρα, συμβολίζουμε την μαγνητική αντίσταση του δρόμου αυτού ως $X_{1\sigma}$. Ωστόσο η κατεύθυνση ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως $\Phi_{1\sigma}$, καθορίζεται από την φορά ροής του ρεύματος I_1 μέσα στο πρωτεύον τύλιγμα.

Όμοια ορίζεται και η «μαγνητική ροή σκεδάσεως $\Phi_{2\sigma}$ » ως το ποσό της συνολικής μαγνητικής ροής του δευτερεύοντος τυλίγματος, που διαρρέει εν μέρει το τύλιγμα αυτό και εν μέρει τον αέρα. Η μαγνητική ροή αυτή προκύπτει από την μαγνητεγερτική δύναμη του δευτερεύοντος τυλίγματος και η κατεύθυνση ροής της προκύπτει από την φορά του ρεύματος i_2 μέσα στο δευτερεύον τύλιγμα. Η μαγνητική αντίσταση του δρόμου ροής της μαγνητικής ροής σκεδάσεως $\Phi_{2\sigma}$ συμβολίζεται με $X_{2\sigma}$.

2.5.2 Απώλειες Χαλκού

Στους μετασχηματιστές υπάρχουν απώλειες ισχύος που οφείλονται στην αντίσταση των τυλιγμάτων. Οι απώλειες χαλκού εξαρτώνται από τα ρεύματα των τυλιγμάτων γι' αυτό και οι αντιστάσεις που τις δικαιολογούν τοποθετούνται σε σειρά στο ισοδύναμο κύκλωμα.

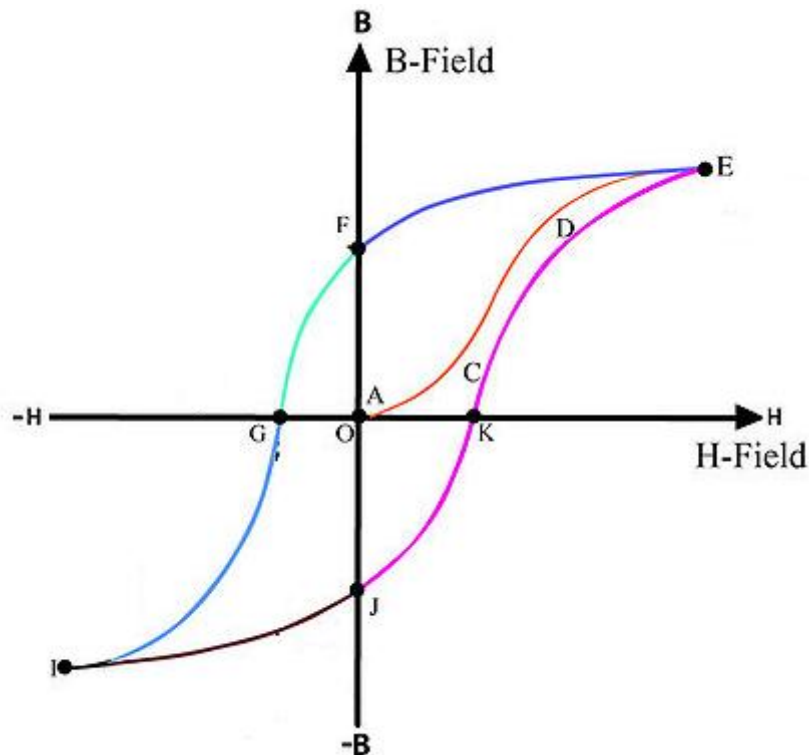
Οι ωμικές αντιστάσεις αφ' ενός προκαλούν πτώσεις τάσεως και αφ' ετέρου απώλειες ισχύος οι οποίες εκδηλώνεται υπό μορφή θερμότητας (φαινόμενο Joule) και είναι γνωστές ως «απώλειες Cu». Για τον περιορισμό αυτών των ωμικών αντιστάσεων, κατά συνέπεια και των απωλειών Cu, είναι αναγκαία η εκλογή της κατάλληλης διατομής των τυλιγμάτων. Επειδή οι μετασχηματιστές απαιτούν μεγάλα μήκη αγωγού, αυτές οι απώλειες μπορεί να είναι σημαντικός παράγοντας. Αυξάνοντας τη διατομή των τυλιγμάτων, επιτυγχάνουμε μείωση των απωλειών, αλλά με ταυτόχρονη σημαντική αύξηση στο κόστος, το μέγεθος και το βάρος.

Το τύλιγμα υψηλής τάσης παρουσιάζει μεγαλύτερη ωμική αντίσταση από το τύλιγμα χαμηλής τάσης, γιατί αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό σπειρών. Στην πράξη, οι αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων εκλέγονται έτσι ώστε να ισχύει: $R_1 I_1^2 \gg R_2 I_2^2$, δηλαδή οι απώλειες Cu στα δύο τυλίγματα να είναι περίπου ίσες.

2.5.3 Απώλειες υστέρησης

Για τιμές της εντάσεως σταθερού - σε τιμή και κατεύθυνση - μαγνητικού πεδίου H καταγράφονται οι αντίστοιχες τιμές της μαγνητικής επαγωγής B του υλικού. Κάνοντας σάρωση των τιμών του H από μια ελάχιστη αρνητική τιμή $[-H]$ έως μια μέγιστη θετική τιμή $[+H]$ τα καταγεγραμμένα σημεία $[H, B]$ απεικονίζονται στο $H-B$

επίπεδο. Όταν ενωθούν τα σημεία αυτά σχηματίζεται ένας βρόχος ο οποίος ονομάζεται στατικός βρόχος υστέρησης ή βρόχος υστέρησης ανεξάρτητος από την συχνότητα ή πιο απλά βρόχος υστέρησης,



Εικόνα 8: Βρόχος Υστέρησης

Για κάθε ένα κύκλο περιοδικής μεταβολής της έντασης του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου που επιβάλλεται στον πυρήνα, η ενέργεια που δεσμεύεται μέσα στον πυρήνα καθώς αυξάνεται η ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που αποδεσμεύεται από τον πυρήνα προς το υπόλοιπο κύκλωμα όταν η ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου μειώνεται. Το ποσό αυτό της πυκνότητας ενέργειας που χάνεται καλείται «απώλειες υστέρησης».

Αυτό το είδος απωλειών μπορεί να μειωθεί μέσα από μια σωστή επιλογή υλικού για τον πυρήνα, διαλέγοντας π.χ. ένα κράμα με χαμηλή υστέρηση, με «λεπτή» δηλαδή καμπύλη υστέρησης B/H, καθώς επίσης και από μια σχεδίαση η οποία θα επιτρέψει ένα ελάχιστο όριο ανοχής του πυρήνα στην πυκνότητα της μαγνητικής ροής (μεγάλη περιοχή διατομής).

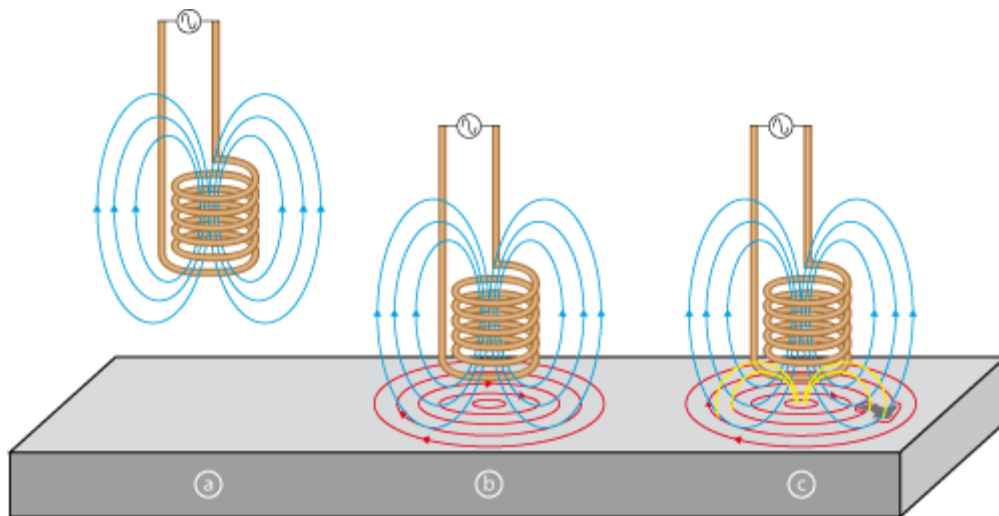
Η αύξηση της θερμοκρασίας του σιδηρομαγνητικού πυρήνα είναι ανεπιθύμητη, γιατί εξασθενεί τις μαγνητικές του ιδιότητες (μειώνεται η μαγνητική του διαπερατότητα). Ωστόσο όλα τα σιδηρομαγνητικά υλικά έχουν ένα όριο θερμοκρασίας, που καλείται

θερμοκρασία Curie, πέραν του οποίου αποκτούν παραμαγνητική συμπεριφορά.

2.5.4 Απώλειες Δινορευμάτων

Ίσως οι πιο σημαντικές από τις «απώλειες πυρήνα» είναι οι απώλειες δινορευμάτων, οι οποίες είναι ωμικές και οφείλονται στη διαδρομή επαγόμενων ρευμάτων μέσα από τον πυρήνα σιδήρου. Όπως ήδη γνωρίζουμε από τον νόμο της επαγωγής του Faraday, όταν μια αγώγιμη μάζα βρεθεί μέσα σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο τότε, εξαιτίας της χρονικά μεταβαλλόμενης μαγνητικής ροής που την διαπερνά, επάγεται σ' αυτήν μια ΗΕΔ. Η επαγόμενη αυτή ΗΕΔ αναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της αγώγιμης μάζας να κινηθούν σε τυρβώδεις τροχιές, σχηματίζοντας κλειστούς βρόγχους ή δίνες, γι' αυτό και τα ρεύματα αυτά ονομάζονται «δινορεύματα».

Η ροή των δινορευμάτων μέσα στον σιδηρομαγνητικό πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας ανάλογη της ποσότητας I^2R , η οποία εκδηλώνεται υπό μορφή θερμότητας μέσα στον σιδηρομαγνητικό πυρήνα (απώλειες Joule) και καλούνται «απώλειες δινορευμάτων». Οι απώλειες δινορευμάτων είναι ανάλογες του γινομένου $I^2 R$ και εξαρτώνται από την ειδική αγωγιμότητα του υλικού πυρήνα και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυρήνα.



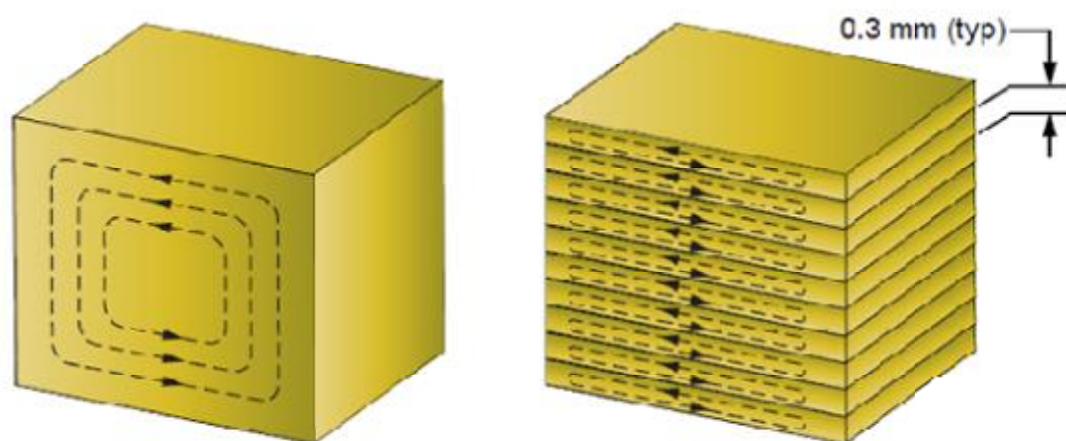
Εικόνα 9: Δινορεύματα στον πυρήνα ΜΣ

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα λόγω των απωλειών δινορευμάτων είναι ανεπιθύμητη γιατί προκαλεί αλλοίωση των μαγνητικών ιδιοτήτων του υλικού του πυρήνα (μείωση της μαγνητικής του διαπερατότητας) και κατά συνέπεια μείωση του βαθμού απόδοσης της ηλεκτρομαγνητικής συσκευής. Μια πολύ γνωστή κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πυρήνων των μετασχηματιστών ονομάζονται φερρίτες τα οποία είναι οξείδια σιδήρου σε κεραμική μορφή (μαγνητικά κεραμικά όπως

τα πιάτα κουζίνας).

Συγκριτικά με τα μαγνητικά κράματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μετασχηματιστών, οι φερρίτες παρουσιάζουν μικρότερη μαγνητική διαπερατότητα μ , μικρότερη μέγιστη πυκνότητα μαγνητικής ροής B_{max} και είναι ακριβότερα. Τα παραπάνω μειονεκτήματα όμως αντισταθμίζονται από το πλεονέκτημα της μειωμένης ειδικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν, η τιμή της οποίας ουσιαστικά τα καθιστά απαλλαγμένα από δινορεύματα.

Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μείωση των δινορευμάτων είναι η μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του πυρήνα. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την προσθήκη άλλων υλικών στο βασικό σιδηρομαγνητικό υλικό τον σίδηρο, όπως για παράδειγμα σιλικόνη. Η χρησιμοποίηση όμως ενός κράματος σιδήρου με χαμηλή ειδική αγωγιμότητα δεν μπορεί από μόνη της σαν μέθοδος να μειώσει τα δινορεύματα σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται μια επιπρόσθετη μέθοδος που συνίσταται στον τεμαχισμό του πυρήνα σε πολύ λεπτά φύλλα ή ελάσματα. Ο πυρήνας συναρμολογείται από ένα μεγάλο αριθμό τέτοιων ελασμάτων, τα οποία μονώνονται μεταξύ τους με ένα στρώμα μονωτικού υλικού (π.χ. βερνίκι ή κατάλληλο χαρτί), εμποδίζοντας έτσι την ροή ρεύματος μεταξύ τους. Στις παρακάτω εικόνες παρατηρούνται οι διαφορές των δινορευμάτων ανάμεσα σε έναν συμπαγή και σε έναν με ελάσματα πυρήνα σιδήρου.



Εικόνα 10: Ελάττωση Δινορευμάτων με χρήση πολλαπλών ελασμάτων

2.6 Τριφασικός Μετασχηματιστής

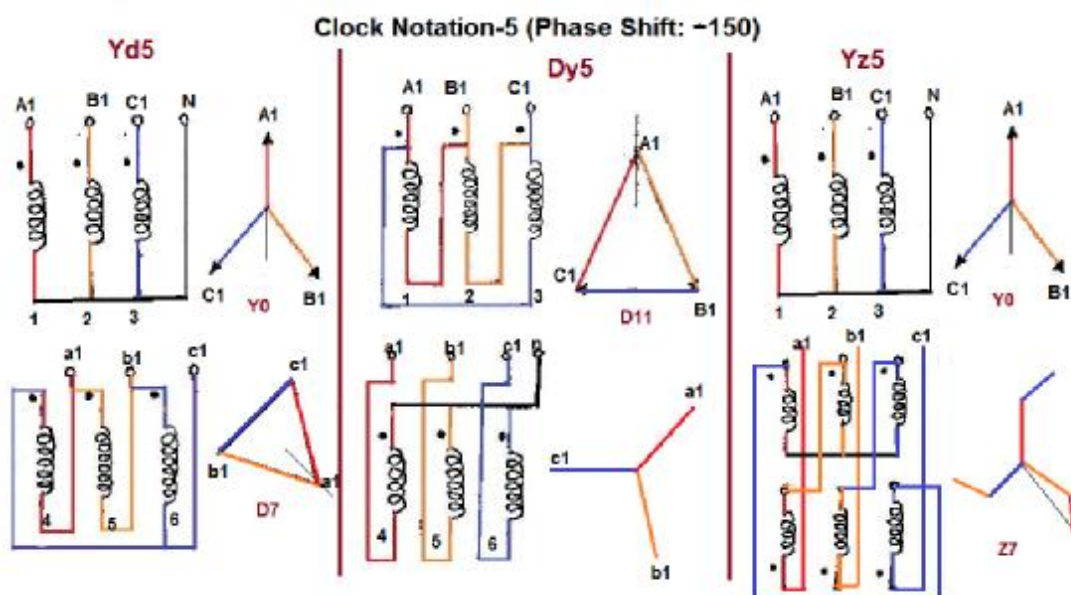
2.6.1 Συνδεσμολογίες

Τα τρία πρωτεύοντα και τα τρία δευτερεύοντα του μετασχηματιστή μπορούν να συνδεθούν κατά διάφορους τρόπους και έτσι να προκύψουν διάφορες ομάδες συνδεσμολογίας. Στην πράξη μόνο μερικές από αυτές χρησιμοποιούνται λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί, αναγράφονται οι συμβολισμοί για τις διάφορες ομάδες συνδεσμολογίας που χρησιμοποιούνται διεθνώς.

Πίνακας 1: Οι διεθνώς χρησιμοποιούμενες ομάδες συνδεσμολογίας των μετασχηματιστών

Συνδεσμολογία Τυλίγματος	Υψηλή Τάση	Χαμηλή Τάση
Τρίγωνο	D	<i>d</i>
Αστέρας	Y	<i>Y</i>
Τεθλασμένος αστέρας	Z	<i>Z</i>

Τα κεφαλαία γράμματα αναφέρονται στην υψηλή τάση, ενώ τα μικρά στην χαμηλή. Για ένα πλήρη συμβολισμό γράφουμε πρώτα το κεφαλαίο γράμμα μετά το μικρό και έναν αριθμό, ο οποίος ονομάζεται χαρακτηριστικός αριθμός και είναι ένα πολλαπλάσιο της γωνίας των 30° . Αυτός ο αριθμός επί 30° μας δείχνει κατά πόσες μοίρες το διάνυσμα της χαμηλής τάσης επιπορεύεται του διανύσματος της υψηλής τάσης για την ίδια φάση του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Παραδείγματα συνδεσμολογιών με χαρακτηριστικούς αριθμούς μαζί με τα διανυσματικά τους διαγράμματα φαίνονται παρακάτω

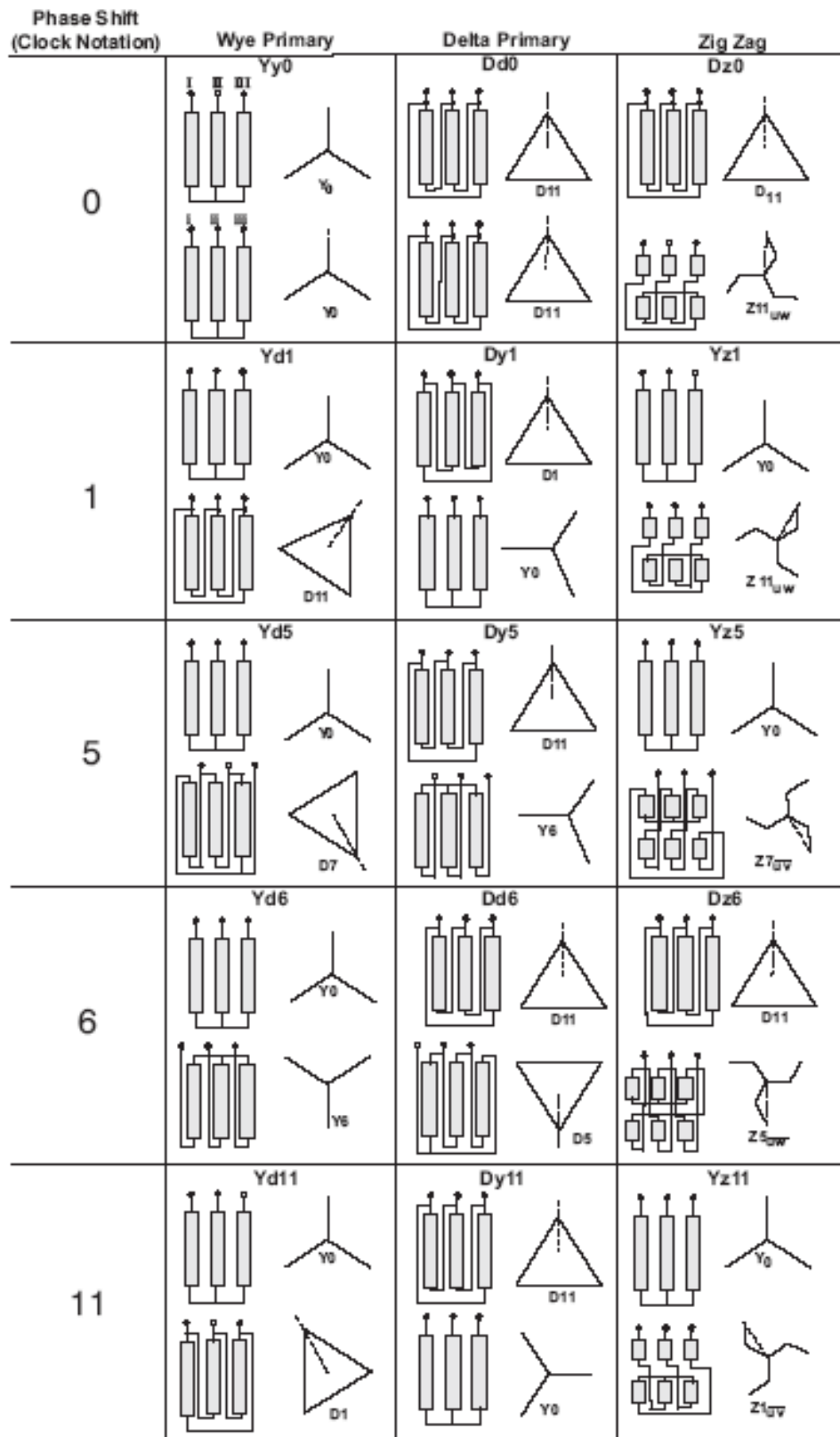


Εικόνα 11: Συνδεσμολογίες με χαρακτηριστικούς αριθμούς

Εφαρμογή συνήθως βρίσκουν οι ομάδες Dy0, Dy5, Yd5, Yz5. Το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή μπορούν να συνδεθούν κατ' αστέρα ή κατά τρίγωνο.

Στο τύλιγμα χαμηλής τάσης υπάρχει και ένα τρίτο είδος συνδεσμολογίας, αυτό του τεθλασμένου αστέρα (Ζικ-Ζακ). Στον τεθλασμένο αστέρα κάθε φάση του δευτερεύοντος είναι χωρισμένη σε δύο ίσα μέρη και το ένα μέρος συνδέεται σε σειρά με το μισό μιας άλλης φάσης. Το πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας είναι ότι σε μια ασύμμετρη φόρτιση του δευτερεύοντος το ρεύμα κατανέμεται σε δύο φάσεις. Έτσι στην περίπτωση που ένας καταναλωτής συνδέεται μεταξύ ενός ακροδέκτη και του ουδέτερου σημείου το ρεύμα διέρχεται από δύο τυλίγματα (μισά) σε διαφορετικές φάσεις και η ασυμμετρία μειώνεται.

Στην Εικόνα ένας αναλυτικός πίνακας όλων των δυνατών συνδεσμολογιών των τριφασικών μετασχηματιστών κατά IEC 60076-1



Note: Polarity mark is to top of winding in these figures.

Εικόνα 12: Κοινές συνδεσμολογίες

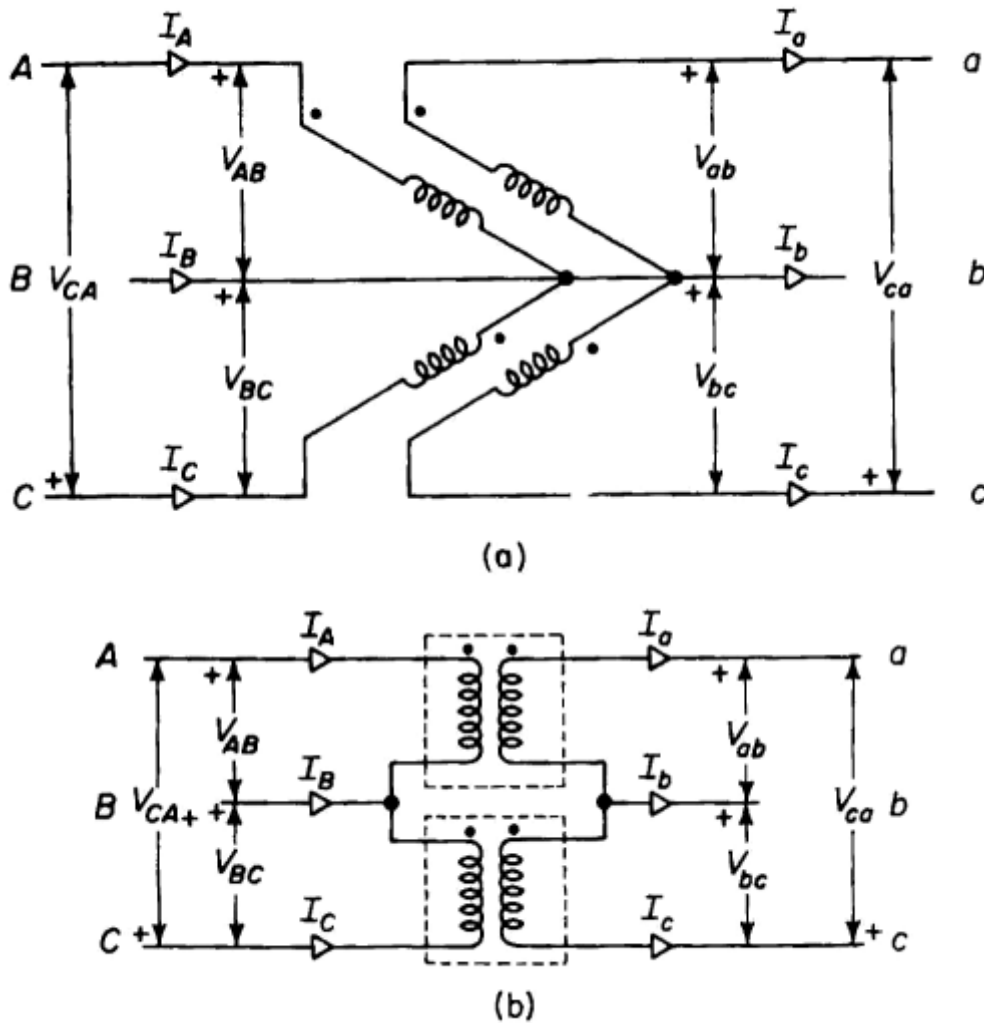
Phase Shift (Clock Notation)	Wye Primary	Delta Primary	Zig Zag
2		Dd2 	Dz2
4		Dd4 	Dz4
7	Yd7 	Dy7 	Yz7
8		Dd8 	Dz8
10		Dd10 	Dz10

Note: Polarity mark is to top of winding in these figures.

Εικόνα 13: Πρόσθετες Συνδεσμολογίες

2.6.2 Τριφασικοί μετασχηματιστές που περιλαμβάνουν μόνο δύο μετασχηματιστές

Η συνδεσμολογία ανοιχτό τρίγωνο (open-delta), επίσης γνωστή και ως σύνδεση V-V, είναι μια τριφασική συνδεσμολογία που χρησιμοποιεί μόνο δύο αντί για τρεις μετασχηματιστές. Η εν λόγω συνδεσμολογία χρησιμοποιείται σε μετασχηματιστές οργάνων μέτρησης για λόγους οικονομίας. Είναι πανομοιότυπη με τη συνδεσμολογία Dd μόνο που έχει δύο μετασχηματιστές



Εικόνα 14: Συνδεσμολογία open delta (σύνδεση V-V)

2.6.3 Αστέρας

Η σύνδεση των τριών φάσεων σε αστέρα έχει το πλεονέκτημα ότι η φασική τάση είναι μόνο το $1/\sqrt{3}$ της πολικής, με συνέπεια ο αριθμός των σπειρών ανά φάση να είναι μικρότερος σε σύγκριση με την σύνδεση κατά τρίγωνο, όταν και έχουμε δεδομένη πολική τάση.

Αυτό σημαίνει ότι εξοικονομούμε αρκετό μονωτικό υλικό επειδή η τάση μιας φάσης είναι μικρότερη σε σχέση με εκείνης στο τρίγωνο. Συνεπώς, σε πολύ υψηλές τάσεις η συνδεσμολογία κατά αστέρα είναι η ενδεδειγμένη.

Εκτός αυτού, η εν λόγω συνδεσμολογία μας παρέχει το πλεονέκτημα να έχουμε ένα σημείο μηδενικού δυναμικού με το οποίο μπορούμε να συνδέσουμε τον ουδέτερο αγωγό. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει την μονοφασική φόρτιση.

Στα μειονεκτήματα της συνδεσμολογίας αυτής, συναντάμε την δυσκολία κατασκευής των πυρήνων καθώς επίσης και το κόστος των πηνίων.

2.6.4 Τρίγωνο

Το κύριο πλεονέκτημα της συνδεσμολογίας αυτής είναι η αποφυγή δημιουργίας ανώτερων αρμονικών σε τάσεις και ροές όταν έχουμε ασύμμετρο φορτίο, διότι λόγω του κανόνα των βρόχων πρέπει το άθροισμα των τριών φασικών τάσεων να είναι μηδέν.

Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το γεγονός ότι στο τύλιγμα μιας φάσης χρειάζονται περισσότερες σπείρες από ότι στην συνδεσμολογία κατά αστέρα.

2.6.5 Τεθλασμένος αστέρας

Το κύριο πλεονέκτημα της συνδεσμολογίας αυτής είναι ότι επιτρέπει την μονοφασική φόρτιση στο δευτερεύον. Το πλεονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται από την ανάγκη για περισσότερο χαλκό, και κατ' επέκταση αυξημένη οικονομική δαπάνη

Κλείνοντας την παράγραφο αυτή, θα ήταν χρήσιμο να κάνουμε μια αναφορά στις συνδεσμολογίες που βρίσκουν συνήθως εφαρμογή:

- Ο μετασχηματιστής μεταξύ γεννήτριας και γραμμής υψηλής τάσεως είναι σε σύνδεση αστέρα-τρίγωνο.
- Ο μετασχηματιστής μεταξύ δικτύου και δικτύου συνδέεται σε αστέρα-αστέρα με ενδιάμεσο τύλιγμα σε τρίγωνο.
- Ο μετασχηματιστής μεταξύ υψηλής τάσης και καταναλωτή μεγάλης ισχύος συνδέεται σε τρίγωνο-αστέρα. Όταν ο καταναλωτής είναι μικρός χρησιμοποιείται η σύνδεση αστέρας - τεθλασμένος αστέρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

3.1 Πίνακες Μέσης Τάσης -Χαρακτηριστικά και τεχνικές προδιαγραφές

Οι πίνακες Μέσης Τάσης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος σε κάθε Υποσταθμό Μέσης Τάσης καθώς διασφαλίζουν την άρτια διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους Μετασχηματιστές ισχύος, κινητήρες μέσης τάσης και εσωτερικά δίκτυα των καταναλωτών. Είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλους ηλεκτρονόμους, φυσίγγια αλεξικέραυνα κτλ. για την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων - εξοπλισμού καθώς επίσης και μηχανικών μανδαλώσεων για την προστασία των χρηστών - χειριστών.



Εικόνα 15 : Πίνακας Μέσης Τάσης – Εξωτερική Άποψη

Αποτελούνται από επιμέρους πεδία (κυψέλες) και το μέγεθος και η πολυπλοκότητα τους ποικίλει ανάλογα με την κάθε εφαρμογή. Η κατασκευή του πίνακα μέσης τάσης από επιμέρους πεδία διευκολύνει την μεταφορά και τοποθέτησή τους σε δύσβατους χώρους ενώ η κατασκευή των πεδίων είναι τέτοια που υπάρχει δυνατότητα για μελλοντική επέκτασή - προσθήκη νέων πεδίων μέσης τάσης.

Κάθε πεδίο είναι επισκέψιμο από την εμπρόσθια πλευρά του μέσω πόρτας που φέρει κλειδαριές ασφαλείας, θυρίδα ελέγχου και μηχανική μανδάλωση με τα χειριστήρια του αντίστοιχου διακοπτικού εξοπλισμού του.



Εικόνα 16: Πίνακας Μέσης Τάσης- Εσωτερική ‘Αποψη

3.2 Στάδια Κατασκευής Ηλεκτρικού Πίνακα Μέσης Τάσης

1. Σχεδιασμός
Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις απαιτήσεις των πελατών και την ηλεκτρολογική μελέτη του έργου.
2. Συναρμολόγηση σκελετού και βάσης
Συναρμολογείται ο σκελετός και η βάση των πινάκων
3. Τοποθέτηση μπαρών
Οι μπάρες κατασκευάζονται από χαλκό ορθογωνικής διατομής και είναι κατάλληλα τοποθετημένες, σύμφωνα με την ηλεκτρολογική μελέτη, έτσι ώστε σε περίπτωση βραχυκυκλώματος να αντέχουν στα προκαθορισμένα όρια των διεθνών κανονισμών.
4. Διαμερισματοποίηση
Ο πίνακας διαμερισματοποιείται με τρόπο τέτοιο ώστε οι χώροι του να είναι άνετοι, ασφαλείς και σύμφωνοι πάντα με τις απαιτήσεις των κανονισμών. Ο κάθε χώρος είναι επισκέψιμος από το μπροστά και το πίσω μέρος, ενώ κατά περίπτωση υπάρχει δυνατότητα για προσθήκη επεκτάσεων και από τις δύο πλευρές
5. Καλωδίωση

Η συνδεσμολογία των πινάκων γίνεται με την τοποθέτηση κατάλληλων καλωδίων και ακροδεκτών έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη και ασφαλής σύνδεση του ηλεκτρολογικού υλικού, ενώ για τους αυτοματισμούς η καλωδίωση καταλήγει σε κλέμμες κατάλληλης διατομής πάνω σε ράγα DIN.

6. Εξωτερική διαμόρφωση

Όλες οι επιφάνειες επικάλυψης (πόρτα, πλάτη, πλαϊνά τοιχώματα) συναρμολογούνται με βάση τις πιθανές ανάγκες για εξωτερικά όργανα και διακοπτικό υλικό ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη και την ηλεκτρολογική μελέτη του έργου.

7. Δοκιμή

Ο πίνακας ελέγχεται πριν την παράδοσή του έτσι ώστε να πληρεί τις προδιαγραφές που έχει θέσει ο πελάτης, καθώς και τους διεθνείς κανονισμούς που διέπουν την κατασκευή ηλεκτρικών πινάκων.

3.3 Περιγραφή Πεδίων ενός Πίνακα Μέσης Τάσης

Τα πεδία διαθέτουν τέσσερα ή πέντε ξεχωριστά διαμερίσματα ως ακολούθως:

- Χώρος ζυγών.
- Χώρος συνδέσεως καλωδίων ισχύος / ασφαλειών.
- Χώρος διακόπτη φορτίου / αποζεύκτη.
- Χώρος Διακόπτη Ισχύος.
- Χώρος μηχανισμού διακόπτη φορτίου / αποζεύκτη.
- Χώρος χαμηλής τάσης (ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής).
- Χώρος εκτόνωσης αερίων εσωτερικού τόξου.

3.4 Διακόπτης Φορτίου

Ο διακόπτης φορτίου διαθέτει ως μέσο διακοπής εξαφθοριούχο θείο (SF6) σε χαμηλή πίεση, σε μεταλλικό περίβλημα για γειωμένη διαμερισματοποίηση. Είναι αυξημένης συχνότητας χειρισμών και η κατασκευή του έχει γίνει ώστε να μην υπάρχει ανάγκη επαναπλήρωσης του θαλάμου SF6 (sealed for life). Διαθέτει τρεις θέσεις λειτουργίας Ανοικτός – Κλειστός – Θέση γείωσης (με εσωτερικό γειωτή του περιβλήματος του διακόπτη) με αντίστοιχες ενδείξεις της θέσης σε μιμικό διάγραμμα μέσω αξιόπιστου μηχανικού μηχανισμού. Διαθέτει επίσης κλειδαριά σε θέση OFF της γραμμής και κλειδαριά σε θέση ON για ενεργοποίηση του γειωτή και ταυτόχρονη απενεργοποίηση πόρτας.

3.5 Απαγωγέας Υπερτάσεων

Οι τρεις (3) απαγωγείς υπερτάσεων που χρησιμοποιούνται παρέχουν προστασία στο δίκτυο Μέσης Τάσης από υπερτάσεις και ισχυρά μεταβατικά φαινόμενα. Μερικά από τα πλεονεκτήματά τους είναι: η προστασία μεγάλου μήκους εγκατάστασης, το ότι δεν απαιτούν συντήρηση, το χαμηλό ρεύμα διαρροής (low residual voltage), η υψηλή μηχανική αντοχή, η μεγάλη διάρκεια ζωής κ.α.

3.6 Ασφαλειοδιακόπτης

Ο ασφαλειοδιακόπτης διαθέτει ως μέσο διακοπής εξαφθοριούχο θείο (SF₆) σε χαμηλή πίεση, σε μεταλλικό περίβλημα για γειωμένη διαμερισματοποίηση και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του είναι όμοια με αυτά του διακόπτη φορτίου. Είναι εξοπλισμένος με:

- Πηνίο εργασίας 230 V AC/50 Hz.
- Βοηθητικές επαφές.
- Βάσεις ασφαλειών με μηχανισμό απόζευξης και των τριών φάσεων από τήξη ασφαλειών με αντίστοιχη ένδειξη στο χειριστήριο.
- Κλειδαριά σε θέση OFF της γραμμής.
- Κλειδαριά σε θέση ON για ενεργοποίηση του γειωτή και ταυτόχρονη απενεργοποίηση πόρτας.

3.7 Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος

Ο Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος διαθέτει ως μέσο διακοπής εξαφθοριούχο θείο (SF₆). Είναι 3πολικός και για την αποσύνδεσή του απαιτείται αποκοχλίωση. Είναι εξοπλισμένος με:

- Πηνίο εργασίας.
- Βοηθητικές επαφές (2NO + 2NC).
- Κλειδαριά σε θέση OFF.

Εξασφαλίζει:

- Μέγιστο συνολικό χρόνος διακοπής – από έναρξη απόζευξης έως πλήρη σβέση τόξου – (break time): 55-60 ms.
- Μέγιστο χρόνο ανοίγματος – από έναρξη απόζευξης έως διαχωρισμό επαφών – (opening time): 45 ms με ονομαστική τάση λειτουργίας.

- Μέγιστο χρόνο ζεύξης (making time): 80 ms ενώ ο μηχανισμός χειρισμού του είναι ταχείας λειτουργίας, ανεξάρτητος από την ασκούμενη δύναμη του χειριστή.

3.8 Ηλεκτρονόμος Δευτερογενούς Προστασίας Ανεξάρτητης Τοποθέτησης

Ο Η/Ν δευτερογενούς προστασία που χρησιμοποιείται είναι ανεξάρτητης τοποθέτησης και παρέχει προστασία έναντι υπερέντασης, βραχυκυκλώματος και διαρροής προς γη (LSIG) με τις εξής ρυθμίσεις

Πίνακας 2: Ρυθμίσεις Η/Ν δευτερογενούς προστασίας

ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΟΡΙΣΜΕΝΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΧΡΟΝΟΥ
Έναντι υπερέντασης	$I > 0,3 \dots 5 I_n$ $t = 0,05 \dots 300 \text{ s}$	$I > 0,3 \dots 2,5 I_n$ Σύμφωνα με τις καμπύλες
Έναντι βραχυκυκλώματος	$I >> 0,5 \dots 35 I_n$ $t = 0,04 \dots 300 \text{ s}$	–
Έναντι πολύ μεγάλου βραχυκυκλώματος	$I >>> 0,5 \dots 35 I_n$	–
Έναντι διαρροής προς γη	$I_o > 1 \dots 100\% I_n$ $t = 0,05 \dots 300 \text{ s}$	$I_o > 100\% I_n$ Σύμφωνα με τις καμπύλες

3.9 Πίνακες Χαμηλής Τάσης -Χαρακτηριστικά και τεχνικές προδιαγραφές

Τα πεδία χαμηλής τάσης μπορεί να είναι σταθερά διαφόρων διαστάσεων ή συναρμολογούμενα με δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης τους, η δε τοποθέτησή τους είναι επιδαπέδια.

Οι συναρμολογούμενοι πίνακες είναι επισκέψιμοι από εμπρός με μεταλλική πόρτα και δυνατότητα τοποθέτησης κλειδαριάς, ενώ πίσω

διαθέτουν αφαιρούμενη πλάτη ή μεταλλική πόρτα. Στην περίπτωση των σταθερών πινάκων η επισκεψιμότητα γίνεται μόνο από εμπρός.



Εικόνα 17: Πίνακας Χαμηλής Τάσης – Εξωτερική άποψη

Η τοποθέτηση και διάταξη των υλικών που περιέχουν οι πίνακες χαμηλής τάσης γίνεται βάση ηλεκτρολογικών σχεδίων από ειδικευμένους τεχνικούς με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζετε εργονομία, ευρυχωρία, ασφάλεια και άνεση στον ηλεκτρολόγο εγκαταστάτη κατά την τοποθέτηση των παροχών του.



Εικόνα 18: Πίνακας Χαμηλής Τάσης – Εξωτερική άποψη

3.10 Πίνακες Τύπου PILLAR

Οι ηλεκτρικοί πίνακες τύπου PILLAR χρησιμοποιούνται για υπαίθρια τοποθέτηση σε φωτισμούς, διανομές, κίνηση, αυτοματισμούς κτλ.



Εικόνα 19: Πίνακας Τύπου PILLAR

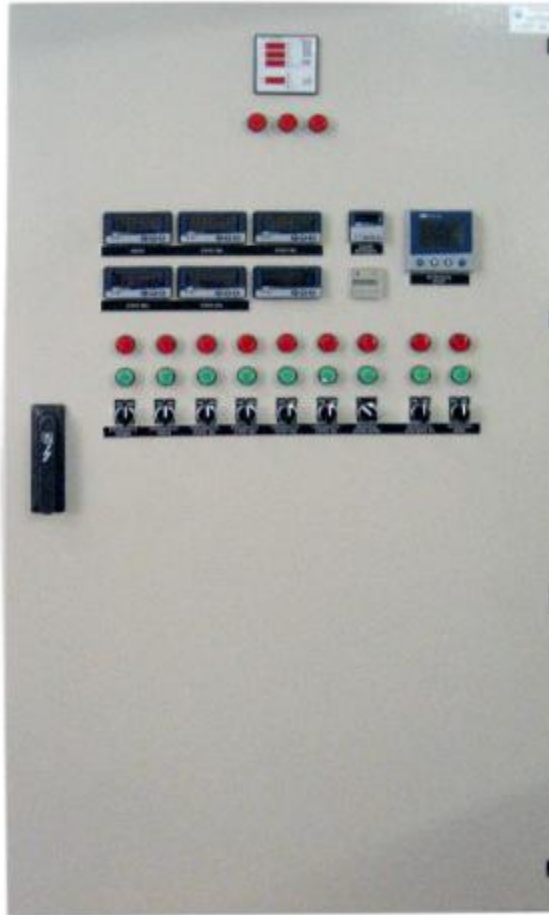
Οι ηλεκτρικοί πίνακες τύπου PILLAR κατασκευάζονται από χαλυβδοέλασμα DCP ή γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους 1,5mm – 2mm, βάφονται με ηλεκτροστατική βαφή πούδρας RAL7032 και ο βαθμός στεγανότητάς τους μπορεί να φτάσει ως και IP65 ανάλογα με τον χώρο τοποθέτησής τους. Επίσης, όταν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις μπορεί να γίνει η κατασκευή τους από ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο ALMg3 καθώς και τυποποιημένων πλαστικών σε διάφορες διαστάσεις.



Εικόνα 20: Πίνακας Τύπου PILLAR – Εσωτερική Συνδεσμολογία

3.11 Επίτοιχοι ηλεκτρικοί πίνακες

Οι επίτοιχοι ηλεκτρικοί πίνακες (εξωτερικά ερμάρια) είναι κατασκευασμένοι από χαλυβδοέλασμα DCP πάχους 1,25mm – 2mm, είναι βαμμένοι με ηλεκτροστατική βαφή πούδρας RAL7032 και αποτελούνται από το κιβώτιο , την πόρτα , την πλάκα στήριξης υλικών και την μετωπική πλάκα εάν απαιτείτε. Ο βαθμός στεγανότητάς τους μπορεί να φτάσει και ως IP65 ανάλογα με τον χώρο τοποθέτησής τους.



Εικόνα 21:Επίτοιχος Ηλεκτρικός Πίνακας

Ο τρόπος στήριξης των υλικών τους γίνεται ή σε υπερυψωμένες ράγες ή σε ράγες επαπτόμενες στην πλάκα στήριξης υλικών ανάλογα με την περίπτωση του εκάστοτε πίνακα. Η καλωδίωση τους γίνεται από άριστα εξειδικευμένο προσωπικό πληρώντας όλες τις προδιαγραφές κατά IEC439-1.

Η εσωτερική διάταξη των υλικών που περιέχουν βάση ηλεκτρολογικών σχεδίων γίνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να διευκολύνεται ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης στην τοποθέτηση των παροχών του και συνυπολογίζοντας τουλάχιστον 20% εφεδρικό χώρο.

Υπάρχει δυνατότητα κατασκευής τους σε οποιαδήποτε διάσταση απαιτεί ο χώρος που θα τοποθετηθούν συνυπολογίζοντας την εργονομική διάταξη των υλικών τους.



Εικόνα 22: Επίτοιχος Ηλεκτρικός Πίνακας – Ηλεκτρική Συνδεσμολογία

3.12 Χωνευτοί ηλεκτρικοί πίνακες

Οι χωνευτοί ηλεκτρικοί πίνακες είναι κατασκευασμένοι από χαλυβδοέλασμα DCP πάχους 1mm – 1,5mm ανάλογα με την διάστασή τους , είναι βαμμένοι με ηλεκτροστατική βαφή πούδρας λευκό και αποτελούνται από το κιβώτιο εντοιχισμού, την πόρτα, την κορνίζα, την πλάκα στήριξης υλικών και την μετωπική πλάκα.



Εικόνα 23: Χωνευτός Ηλεκτρικός Πίνακας

Η καινοτομία που διαθέτουν οι πίνακες αυτής της κατηγορίας έγκειται στην δυνατότητα κατασκευής της πόρτα τους από προφίλ αλουμινίου με τοποθέτηση κρυστάλλου 3mm το οποίο μπορεί να είναι διάφανο , αμμοβολής , φιμέ , μπρονζέ ή και καθρέπτης ανάλογα με το design του χώρου που θα τοποθετηθεί .

Η εσωτερική διάταξη των υλικών που περιέχουν βάση ηλεκτρολογικών σχεδίων γίνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να διευκολύνεται ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης στην τοποθέτηση των παροχών του και συνυπολογίζοντας τουλάχιστον 20% εφεδρικό χώρο.

Υπάρχει δυνατότητα κατασκευής σε οποιαδήποτε διάσταση απαιτεί ο χώρος που θα τοποθετηθούν συνυπολογίζοντας την εργονομική διάταξη των υλικών τους.



Εικόνα 24: Επίτοιχος Ηλεκτρικός Πίνακας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

4.1 Ασφάλειες τήξης

Οι ασφάλειες τήξης ανοίκουν στα όργανα προστασίας, δηλαδή ανοίγουν το κύκλωμα, όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή σε ένα καθορισμένο χρόνο και μάλιστα αυτόματα. Οι ασφάλειες τήξης για κυκλώματα ισχύος αντιστοιχούν στα εξής πρότυπα: EN 60269, IEC 60269, DIN/VDE 0636, ΕΛΟΤ 446-86. Για κυκλώματα μικροσυσκευών χρησιμοποιούνται μικροασφάλειες που αντιστοιχούν στα πρότυπα VDE 0804, DIN/IEC 257 και VDE 0820. Στις ασφάλειες τήξης η διακοπή ενός κυκλώματος προκαλείται από την τήξη ενός χάλκινου ή αργυρού σύρματος ή ταινίας μέσα σε σκόνη χαλαζία. Σε αντιδιαστολή με τους μηχανικούς διαλόπτες οι ασφάλειες εισάγουν μετά την τήξη τους μια μεγάλη ωμική αντίσταση στο κύκλωμα. Αυτή η αντίσταση προκαλεί μια μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Για χαμηλά ρεύματα (<20 A) μπορεί να χρησιμοποιούνται χάλκινα σύρματα.

Για υψηλότερα ρεύματα έχουμε και σύρματα (τηκτά) από άργυρο. Αυτό γίνεται για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος στην αντίσταση του τηκτού. Οι ασφάλειες τήξης εκλέγονται σύμφωνα με τα εξής στοιχεία: --> ονομαστική τάση, Π.χ. 230/400V, --> ονομαστική ισχύς διακοπής ή ρεύμα διακοπής (αυτό προσδιορίζει κυρίως τον τύπο της ασφάλειας). Υπάρχουν τύποι D, DO, NH με μέγιστα ρεύματα διακοπής 50 kA, 25 kA και 100 kA αντίστοιχα.

Μέγεθος

ND

DII

DIII

DIV

DV

Ονομαστικό ρεύμα

2 A - 25 A

2 A - 25 A

35 A - 63 A

80 A - 100 A

125 A - 200 A



ND



DII



DIII



DIV



DV

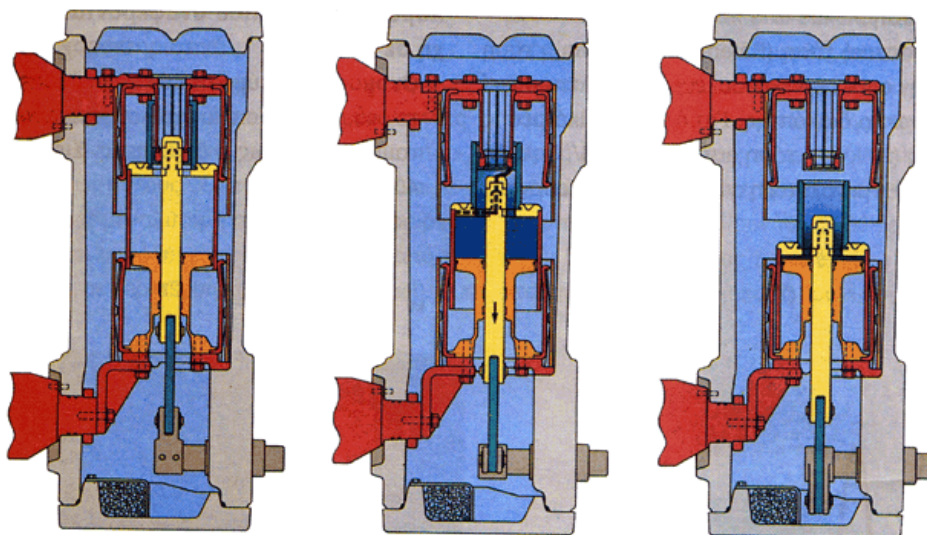
Εικόνα 25: Τύποι και τυποποιημένες τιμές ρευμάτων ασφαλειών τήξης

4.2 Διακόπτες ισχύος

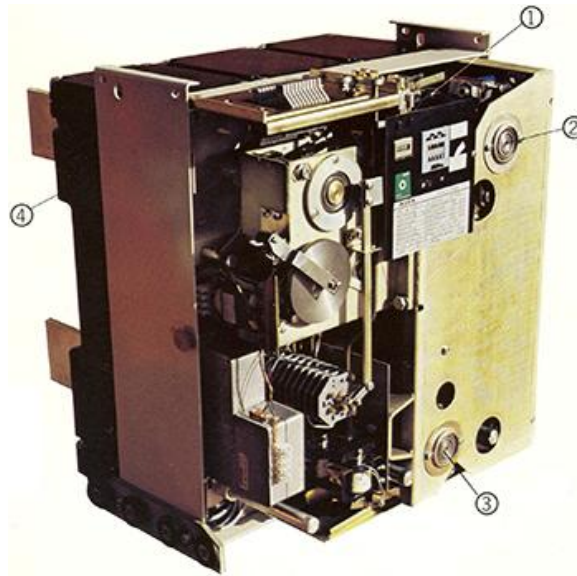
Οι διακόπτες ισχύος (circuit-breaker) ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα σε οποιαδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλ. τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν είναι πάνω από 7 kA, δηλαδή, όσο το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα. 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 26: Οι φάσεις κατά την σβέση του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη ισχύος SF6



Εικόνα 27: Τομή ενός διακόπτη ισχύος

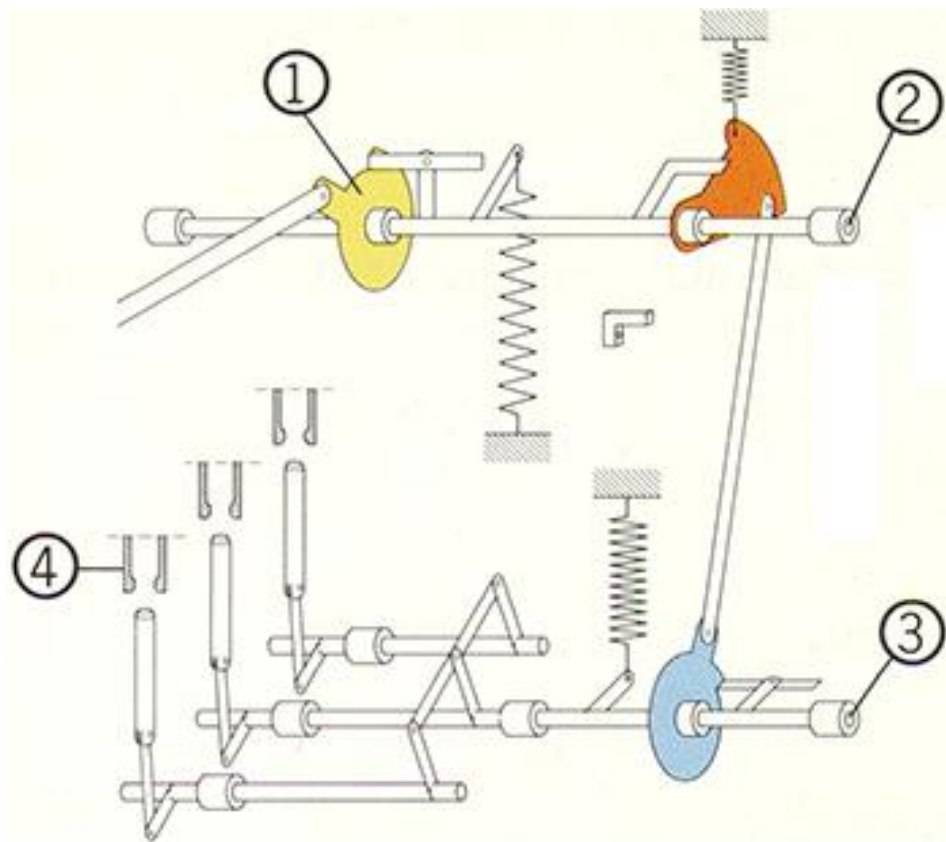
Η ΔΕΗ έχει υπολογίσει για το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο μέσης τάσης της χώρας μας, την τιμή του αναμενόμενου βραχυκυκλώματος σε 7 kA. Στον υπολογισμό αυτό συμμετέχουν όλες τις γεννήτριες, οι αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς και πολλές άλλες παράμετροι. Πολλές φορές το συναντάμε και σαν ισχύ συμμετρικού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

4.3 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:



Εικόνα 28: Αρχή μηχανικής λειτουργίας διακόπτη ισχύος

- 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 διακόπτη ισχύος**
- 8 Ακροδέκτες μέσης τάσης**
- 9 Μετασχηματιστές έντασης για τον ΗΝ υπερέντασης**
- 10 Πόλος διακόπτη ισχύος**

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 29: Διακόπτης ισχύος- Εξωτερική όψη

4.4 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:

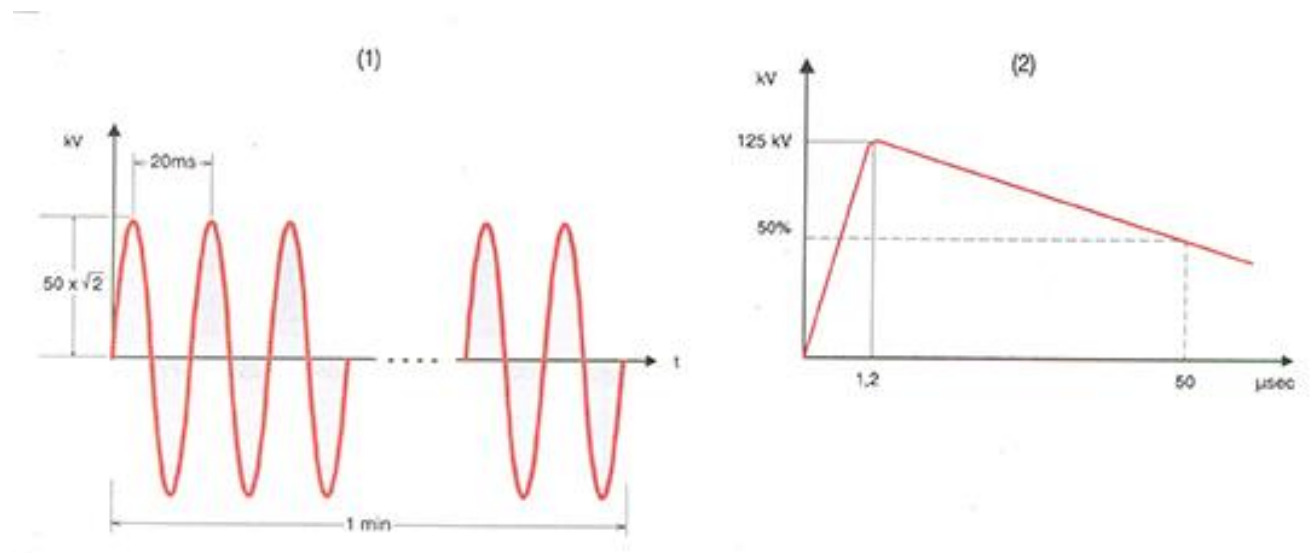
- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή της μόνωσης (αντοχή τάσης), και
- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή στη διέλευση του ρεύματος.

4.5 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.

4.6 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 απόξεσης 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 απόξεσης. 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 30

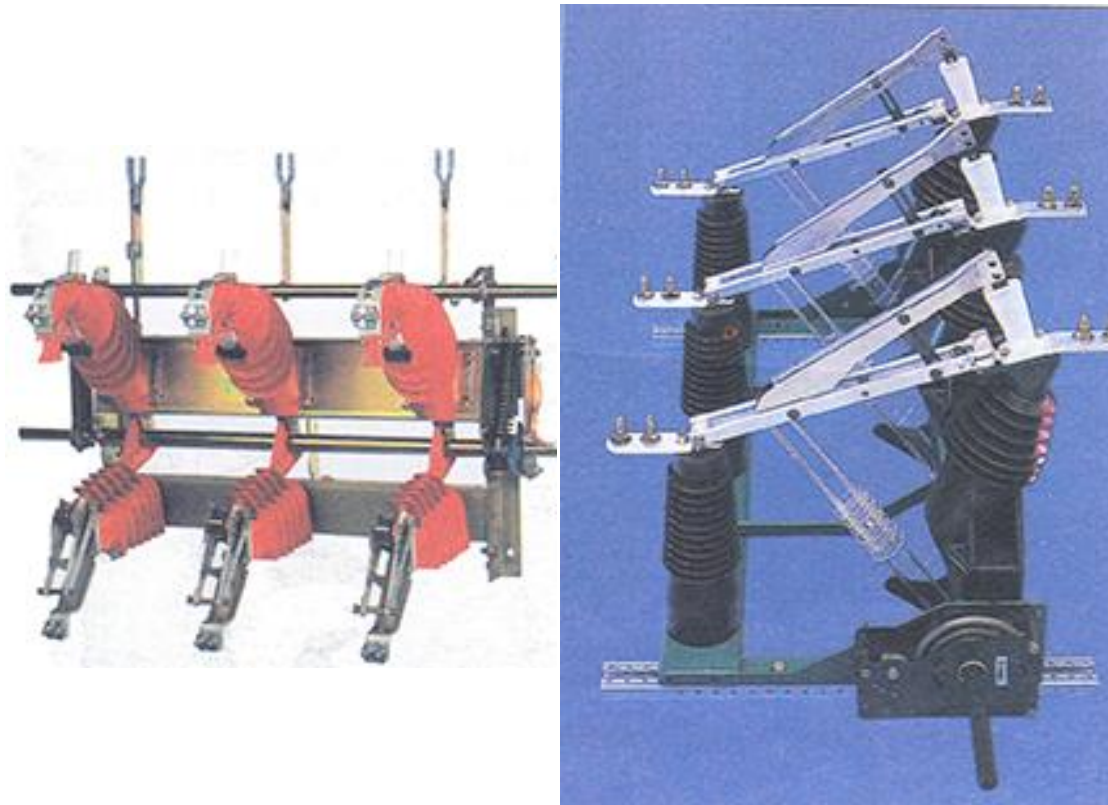
(1) Εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz ενεργούς τιμής 50kV(2) Κρουστική τάση 1,2/50 μs

4.7 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.

4.8 Διακόπτης φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου είναι κατασκευασμένοι για να διακόπουν 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. 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 31: Διάφοροι τύποι διακοπών φορτίων – αποζευκτών μέσης τάσης

4.9 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.

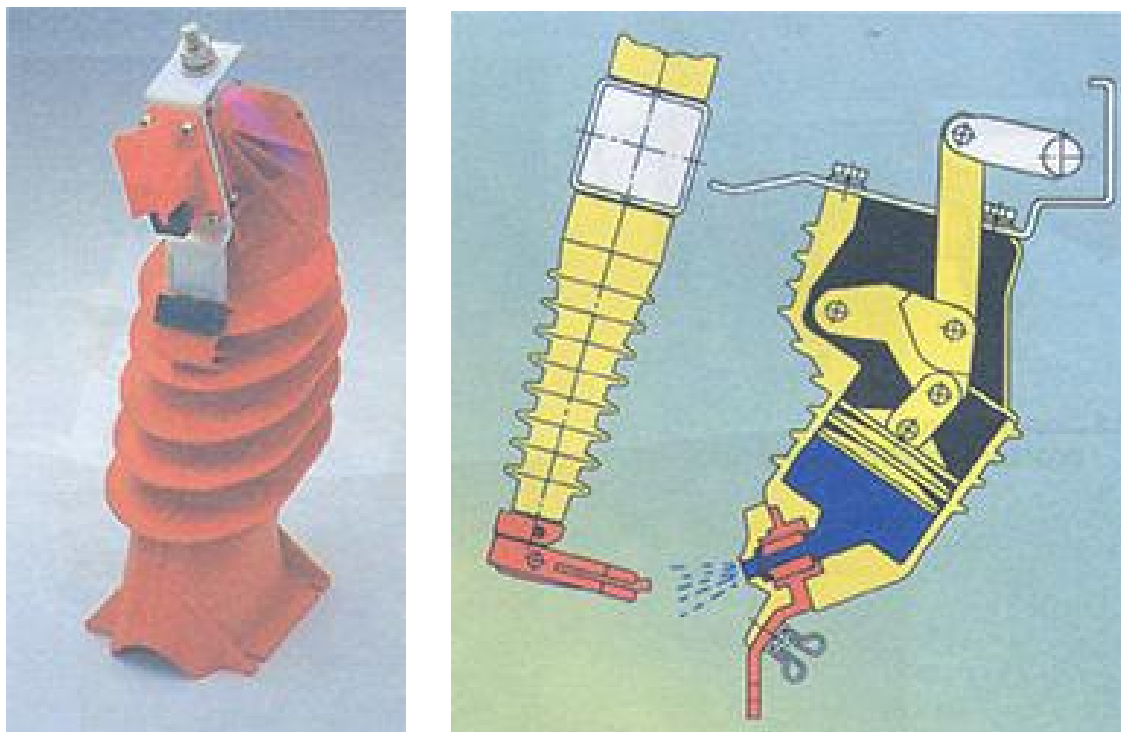
Ο διακόπτης φορτίου ανοίγει χωρίς να διακόπτει το ρεύμα σφάλματος, το οποίο έχει ήδη διακοπεί από την τηκτική ασφάλεια. Για να μπορέσει να ξαναλειτουργήσει η εγκατάστασή μας, πρέπει να αντικαταστήσουμε και τις τρεις ασφάλειες με νέες, διότι το ρεύμα

σφάλματος μπορεί να έχει αλλοιώσει το τηκτό και σε κάποια άλλη φάση.

4.10 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

4.11 Ασφαλειοαποξεύκτες

Οι μαχαιρωτές ασφάλειες, τύπου NH, συνδυάζονται σε τριφασικά συστήματα και με μαχαιρωτούς αποξεύκτες, οπότε έχουμε τους λεγόμενους ασφαλειοαποξεύκτες. Έχουν διπλή λειτουργία σε πίνακες διανομής. Χρησιμοποιούνται σαν ασφάλειες και σαν γενικοί διακόπτες και γ' αυτό εφαρμόζονται συχνά σε εγκαταστάσεις ισχύος. Γενικά, οι ασφαλειοαποξεύκτες μπορούν να κλείνουν ή να ανοίγουν χειροκίνητα υπό φορτίο. Η κίνηση αυτή πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν γρήγορα για να μη διαρκεί πολύ χρόνο το ηλεκτρικό τόξο και επιβαρύνει τις επαφές. Υπάρχουν ασφαλειοαποξεύκτες μέχρι και 1250 A. Συνδυάζονται συχνά και με βοηθητικές επαφές για σήμανση ή έλεγχο. Σε εγκαταστάσεις κίνησης στις οποίες δεν πρέπει να λείπει μία φάση, χρησιμοποιούνται ασφάλειες. Οι αποξεύκτες με σύστημα παρακολούθησης των ασφαλειών. Χρησιμοποιείται γι' αυτό ένας αυτόματος υπερρεύματος παράλληλα στις ασφάλειες. Όταν καούν μία ή περισσότερες ασφάλειες, τότε το ρεύμα περνά από τον αυτόματο. Αυτός δίνει εντολή πτώσης στο ρελαί του κινητήρα και παράλληλα σήμανση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

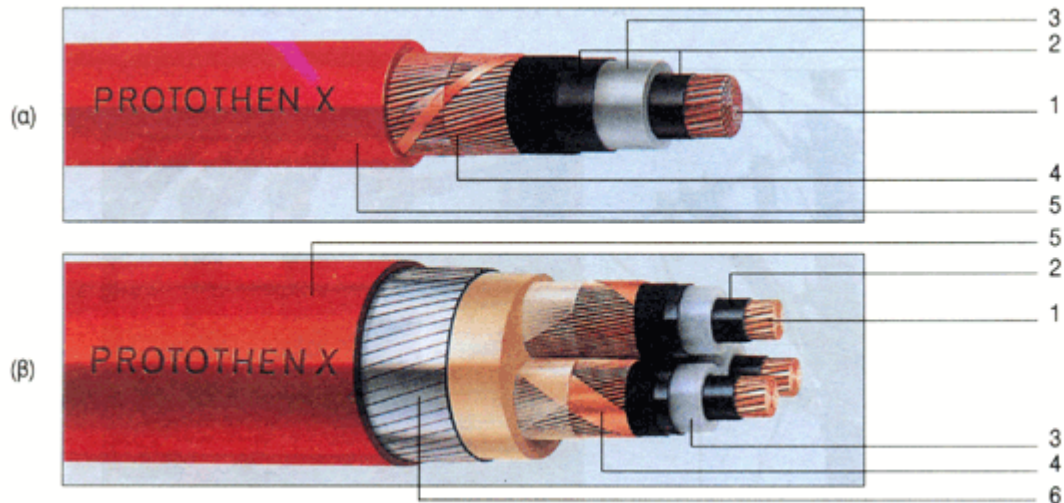
5.1 Καλώδια Μέσης Τάσης

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 καλωδίου. 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 $C = 0.25 \mu\text{F}/\text{km}$. 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 $U_0/U = 0.6/1 \text{ kV}$ που έχουν πάντα μαύρο μανδύα από PVC.



Εικόνα 33: Καλώδια μέσης τάσης με μόνωση από XLPE

α. μονοπολικό τύπου N2XSY

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

5.2 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 (Εικόν α α).



Εικόνα 34: Οδευση καλωδίων μέσης τάσης 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 35: Διαδικασία τοποθέτησης καλωδίων εντός του εδάφους

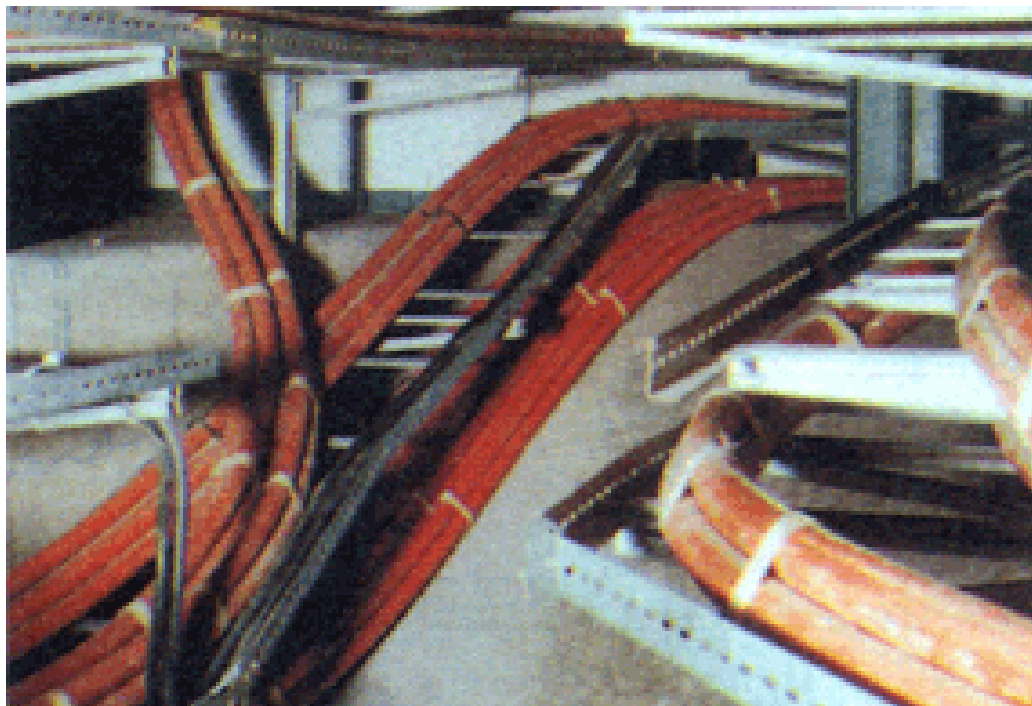
Σε όλο το μήκος της διαδρομής τους τα καλώδια τοποθετούνται απ' ευθείας μέσα στο χαντάκι και καλύπτονται με άμμο ή κοσκινισμένο χώμα. Στα σημεία που το χαντάκι διασχίζει κάποιο δρόμο, τοποθετούνται σε πλαστικούς σωλήνες από PVC διαμέτρου $D > 100$ mm. Έτσι σε περίπτωση ζημιάς και αντικατάστασής τους,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

5.3 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 36: Δέσιμο καλωδίων πάνω στις σχάρες

5.4 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 37: Τερματισμός και σύνδεση καλωδίων μέσης τάσης

5.5 Καλώδια Χαμηλής Τάσης

5.5.1 Βασικοί ορισμοί ρευμάτων

Σύμβολο	Ονομασία	Τρόπος υπολογισμού
I_b	Ρεύμα γραμμής ή ρεύμα φορτίου ή ρεύμα κανονικής λειτουργίας του κυκλώματος.	Από τους γνωστούς τύπους της ηλεκτροτεχνίας:
		Για συνεχές ρεύμα: $I_b = P/U_{bmax}$ σε A
		Για μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα: $I_b = P/U_{bmax} * \cos\phi$ σε A
		Για τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα: $I_b = P/1.73*U_{bmax} * \cos\phi$ σε A
I_r	Ονομαστική τιμή ρεύματος καλωδίου ή ικανότητα μεταφοράς ρεύματος κάτω από καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας.	Ορίζεται στους πίνακες: 52-K1, 52-K2 και 52-K3 του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384
I_z	Ικανότητα μεταφοράς ρεύματος καλωδίου ή μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καλωδίου κάτω από υφιστάμενες συνθήκες λειτουργίας	Το I_z υπολογίζεται από το I_r με την εξίσωση $I_z = I_r * \Pi_f$ όπου: $\Pi_f = \text{γινόμενο όλων των σχετικών συντελεστών διόρθωσης}$
I_n	Ονομαστικό ρεύμα προστατευτικής διάταξης π.χ τηκτικής ασφάλειας ή μικροαυτόματου	Πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω ανισώσεις: $I_b \leq I_n \leq I_z$ $I_2 \geq 1,45 * I_z$
I_2	Το ρεύμα που προκαλεί απόξεση της προστατευτικής διάταξης υπερέντασης	Για τους μικροαυτόματους (αυτόματες ασφάλειες) τύπου B είναι $I_2 = 5 \times I_n$ ενώ για τύπου C είναι $I_2 = 10 \times I_n$.

5.5.2 Διατομές αγωγών

Οι αγωγοί φάσεων στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος και επίσης όλοι οι ενεργοί αγωγοί σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος πρέπει να έχουν διατομή τουλάχιστον ίση με αυτή που δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3: Ελάχιστες διατομές αγωγών

Είδος ηλεκτρικής γραμμής		Χρήση του κυκλώματος	Αγωγοί		
			Υλικό	Διατομή mm ²	
Μόνιμες εγκαταστάσεις	Μονωμένοι αγωγοί ή καλώδια	Κυκλώματα ισχύος και φωτισμού.	Χαλκός Αλουμίνιο	1,5 16 (1)	
		Κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης	Χαλκός	0,50 (2)	
	Γυμνοί αγωγοί	Κυκλώματα ισχύος	Χαλκός Αλουμίνιο	10 16	
		Κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης	Χαλκός	4	
	Εύκαμπτες συνδέσεις	Μονωμένοι αγωγοί ή καλώδια	Τροφοδότηση συγκεκριμένης συσκευής	Χαλκός	Σύμφωνα με το αντίστοιχο Πρότυπο
			Οποιαδήποτε άλλη χρήση		0,75 (3)
Κυκλώματα πολύ χαμηλής τάσης για ειδικές εφαρμογές			0,75		
<p>Σημειώσεις: 1. Οι συνδετήρες που χρησιμοποιούνται για τους αγωγούς αλουμινίου πρέπει να έχουν δοκιμασθεί και να είναι εγκεκριμένοι για αυτή τη χρήση.</p> <p>2. Για κυκλώματα ελέγχου και σηματοδότησης που προορίζονται για ηλεκτρονικό εξοπλισμό επιτρέπονται αγωγοί διατομής 0,1 mm² 3. Σε πολυπολλικά καλώδια με 7 ή Περισσότερους από 7 αγωγούς, εφαρμόζεται η σημείωση 2.</p>					

Σημείωση: Στον προηγούμενο "ΚΕΗΕ" υπήρχαν και άλλες πρόσθετες περιπτώσεις όπου επιβάλλονταν μια ελάχιστη διατομή. Για παράδειγμα, στους κινητήρες δεχόμαστε 2,5 mm² σαν ελάχιστη διατομή. Εφόσον η τροφοδοσία του κινητήρα υπολογισθεί τόσο στην εκκίνηση όσο και στην ομαλή λειτουργία και σφάλματα δεν υπάρχει πλέον λόγος για την ελάχιστη διατομή των 2,5 mm² αλλά η ελάχιστη διατομή είναι 1,5 mm² ενιαία όπως οι άλλες.

Πίνακας 4: Ελάχιστες επιτρεπτές διατομές αγωγών στα διάφορα

κυκλώματα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων		
α/α	Ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή αγωγού [mm ²]	Εφαρμογές
1.	0,5	Ηλεκτρικά κυκλώματα που λειτουργούν με τάση μικρότερη των 50 V, π.χ. συνεχή ή εναλλασσόμενη
2.	0,75	Ηλεκτροδότηση λαμπτήρων και συσκευών σχετικά μικρής ισχύος
3.	1,5	Ηλεκτροδότηση γραμμών ονομαστικής έντασης ρεύματος της τάξης των 10 A, π.χ. γραμμές φωτισμού
4.	2,5	Ηλεκτροδότηση ξεχωριστών λήψεων ρευματοδοτών, π.χ. γραμμές ενισχυμένων ρευματοδοτών
5.	4	Ηλεκτροδότηση θερμοσίφωνα
6.	6	Ηλεκτροδότηση μαγειρείου
7.	4	Αιωρούμενες ηλεκτρικές γραμμές μήκους <20 m
8.	6	Αιωρούμενες ηλεκτρικές γραμμές μήκους 20/40 m
9.	10	Ηλεκτροδότηση (παροχέτευση) καταναλωτών χαμηλής τάσης (Δ.Ε.Η.)
10.	16	Γείωση μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας
11.	25	Ενταφιασμένοι ή απρόσιτοι αγωγοί γείωσης προστασίας
12.	2,5	Ανεξάρτητοι μονωμένοι αγωγοί γείωσης
13.	6	Ανεξάρτητοι γυμνοί αγωγοί γείωσης
14.	2,5	Ρευματοδότηση ηλεκτροκινητήρων (εγκαταστάσεις κίνησης)

5.5.3 Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα καλωδίων

Υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμικής φόρτισης αγωγών και καλωδίων χαμηλής τάσης κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.5.523. Ο υπολογισμός για καλώδια τάσεων μέχρι και 1000V AC ή 1400V DC γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.5.523 που είναι και κανονισμός στην Ελλάδα και στα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το νέο αυτό πρότυπο έχει πιο λεπτομερή αναφορά στις διάφορες περιπτώσεις και επιτρέπει υψηλότερες γενικά φορτίσεις απ' ότι οι παλαιοί κανονισμοί. Επίσης εξετάζει την περίπτωση καλωδίων εγκατεστημένων σε τοίχους με θερμομόνωση καθώς και καλωδίων στο έδαφος που δεν αναφερόταν στον προηγούμενο ΚΕΗΕ. Βάση για το νέο κανονισμό είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία (I_r) στον αγωγό η οποία εξαρτάται από το μονωτικό σύμφωνα με τον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Μέγιστες θερμοκρασίες αγωγών κατά τη λειτουργία ανάλογα με το υλικό μόνωσης.

Υλικό μόνωσης	Θερμοκρασία C
Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	70
Πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) ή Ελαστικό αιθυλενιοπροπυλενίου (EPR)	90

Το πρότυπο αυτό HD 384.5.523, αναφέρεται σε εγκαταστάσεις και συνεπώς σε καλώδια χαμηλής τάσης (<1000 V ενεργός τιμή). Δεν ισχύουν για καλώδια 3/6 kV ή 6/10 ή 12/20 kV. Για καλώδια τάσεων 1-30 kV το PanelCAD χρησιμοποιεί το πρότυπο VDE 0298.

5.5.4 Ονομασία καλωδίων

Κωδικοποίηση της ονομασίας των ειδών (απόσπασμα)

Μέρος 1

Χαρακτηρισμός προτύπου	Εναρμονισμένο πρότυπο	H
	Ανεγνωρισμένος εθνικός τύπος	A
Ονομαστική τάση U_o/U	100/ 100 V	01
	300/ 300 V	03
	300/ 500 V	05
	450/ 750 V	07

Μέρος 2

Μονωτικό υλικό	PVC	V
	PVC, αντιθερμικό (90°C)	V2
	PVC, , με αντοχή σε ψύχος (-25°C)	V3
	Ελαστικό αιθυλενίου-προπυλενίουγια θερμοκρασία λειτουργίας 60°C	R
	Ελαστικό, ανθεκτικό σε θερμοκρασία (110°C)	G
	Ελαστικό πυριτίου	S
Υλικό περιβλήματος	PVC	V
	Ελαστικό αιθυλενίου-προπυλενίουγια θερμοκρασία λειτουργίας 60°C	R
	Πολυχλωροπρένιο	N
	Πλεγμένες γυάλινες ίνες	J
	Πλεγμένα νήματα	T
	Πολυουρεθάνιο	Q
Ειδικές κατασκευές	Επίπεδο, διαχωρισμένο καλώδιο	H
	Επίπεδο, μη-διαχωρισμένο καλώδιο	H2
	Επίπεδο καλώδιο PVC με τρεις ή περισσότερους πόλους	H6
	Με φορέα αντοχής σε εφελκυσμό	D3
	Πυρήνας αντοχής (χωρίς φορέα αντοχής σε εφελκυσμό)	D5
Είδος αγωγών	Μονόκλωνος	-U
	Πολύκλωνος	-R
	Λεπτόκλωνος για καλώδια μόνιμης εγκατάστασης	-K
	Λεπτόκλωνος για εύκαμπτα καλώδια	-F
	Πολύ λεπτόκλωνος για εύκαμπτα καλώδια	-H
	Διακοσμητικός αγωγός	-Y

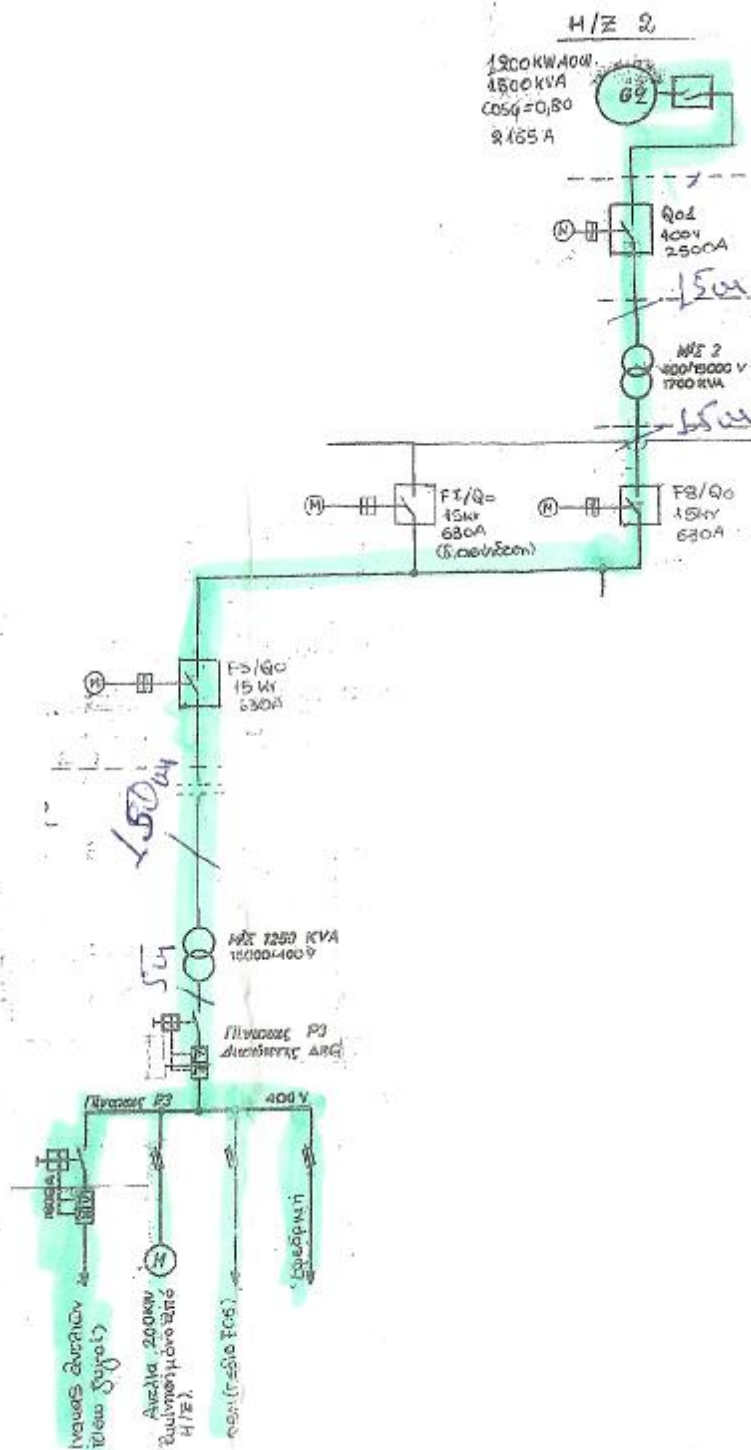
Μέρος 3

Αριθμός αγωγών		
Αγωγός προστασίας	Χωρίς πράσινο/κίτρινο πυρήνα	X
	με πράσινο/κίτρινο πυρήνα	G
Ονομαστική διατομή αγωγού		...

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

6.1 Η τροφοδοσία της γραμμής



Εικόνα 38 : Το μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης

6.2 Τα ηλεκτρικά στοιχεία των διατάξεων της γραμμής

Πίνακας 6: Στοιχεία Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους

Παραγόμενη Τάση	Παραγόμενη Ένταση	Παραγόμενη Φαινόμενη Ισχύς	Παραγόμενη Ενεργός Ισχύς	Συντελεστής Ισχύος
400V	2165A	1500KVA	1200KW	0.8

Πίνακας 7: Στοιχεία Μετασχηματιστών

Ονομαστικές Τάσεις	Ισχύς(kVA)	Λόγος Μετασχηματισμού
400V/15000V	1700	1:37.5
15000 V/ 400V	1250	37.5:1

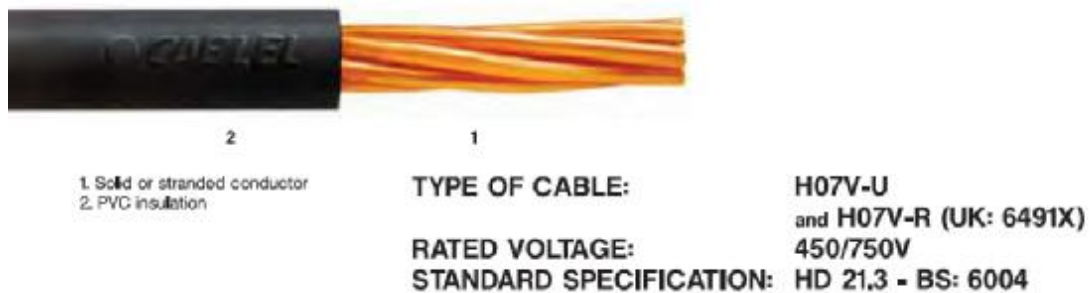
Πίνακας 8: Στοιχεία Διακοπών

Είδος Διακόπτη	Τάση Λειτουργίας	Ρεύμα Λειτουργίας
Διακόπτης Φορτίου Η/Ζ	400V	2500A
Αυτόματος Διακόπτης Φορτίου Χ.Τ.	400V	2500A
Αυτόματος Διακόπτης Φορτίου Μ.Τ.	15000V	630A
Διακόπτης Φορτίου Χ.Τ. Χειροκίνητος με πηνίο εργασίας	400 V	1600A

6.3 Υπολογισμός διατομών και μέσων προστασίας των κινητήρων και των μετασχηματιστών

Η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης στη χαμηλή τάση είναι 4%, δηλαδή $230 \cdot \frac{4}{100} = 9.2\text{Volt}$ και στη μέση τάση 8%, δηλαδή $\frac{15000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{8}{100} = 692.82\text{Volt}$

Τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν είναι κατάλληλα για βιομηχανική χρήση. Κατασκευάζονται από την εταιρία «Ελληνικά Καλώδια Α.Ε.» (cablel). Παρακάτω φαίνεται το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί στη Χαμηλή Τάση, δηλαδή στα κομμάτια από το Η/Ζ μέχρι ΜΣ 400V/15000V και από το ΜΣ 15000V/400V μέχρι τον πίνακα της Χαμηλής τάσης



Εικόνα 39: Το χρησιμοποιούμενο καλώδιο στη Χ.Τ.

Πίνακας 9: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καλωδίου της Χ.Τ

NOMINAL AREA OF CONDUCTOR	MEAN OVERALL DIAMETER (UPPER LIMIT)	NET WEIGHT (APPROX.)	MAX. CONDUCTOR RESISTANCE AT 20°C	CONTINUOUS CURRENT RATING	VOLTAGE DROP	
					1 PHASE	3 PHASES
mm ²	mm	Kg/Km	Ω/Km	A	mV	mV
1x15*	3,2	19	12,1	16	29	25
1x15	3,3	22	12,1	16	29	25
1x25*	3,9	30	7,41	20	18	15
1x25	4,0	34	7,41	20	18	15
1x4*	4,4	43	4,61	26	11	9,5
1x4	4,6	47	4,61	26	11	9,5
1x6*	5,0	60	3,08	34	7,3	6,4
1x6	5,2	65	3,08	34	7,3	6,4
1x10*	6,4	105	1,83	46	4,4	3,8
1x10	6,7	110	1,83	46	4,4	3,8
1x16	7,8	165	1,15	61	2,8	2,4
1x25	9,7	260	0,727	80	1,75	1,5
1x35	10,9	350	0,524	99	1,25	1,1
1x50	12,8	480	0,387	119	0,95	0,82
1x70	14,6	675	0,268	151	0,66	0,57
1x95	17,1	930	0,193	182	0,50	0,43
1x120	18,8	1150	0,153	210	0,41	0,36
1x150	20,9	1420	0,124	240	0,34	0,30
1x185	23,3	1790	0,0991	273	0,28	0,26
1x240	26,6	2350	0,0754	320	0,25	0,22
1x300	29,6	2920	0,0601	367	0,22	0,19
1x400	33,2	3720	0,0470	441	0,19	0,16

* Solid conductors (Type U)
Stranded conductors (Type R)

Note: The current rating is given for an ambient temperature 30° C. For other ambient temperature the correction factor is:

Temperature °C	15	20	25	30	35	40	45	50
Correction factor	1,17	1,12	1,06	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71

6.3.1 Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το H/Z μέχρι το μετασχηματιστή 400V/15000V (15m απόσταση)

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης n_2 για θερμοκρασία 40°C, $n_2=0.87$

$$I' = \frac{I}{n_2} = \frac{441}{0.87} = 506.89A$$

Από τον πίνακα του καλωδίου επιλέγουμε διατομή αγωγών ίση με 400mm²

Η πτώση τάσης για μήκος γραμμής 15 m είναι:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot \ell \cdot I \cdot \cos\varphi}{S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.018 \cdot 15 \cdot 506.89 \cdot 0.85}{400} = 0.5V < 9.2V$$

Αρα η διατομή των αγωγών που θα χρησιμοποιήσουμε είναι 400 mm^2 .

6.3.2 Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το μετασχηματιστή 15000V/400V μέχρι τον Πίνακα της Χαμηλής Τάσης (5m απόσταση)

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης n_2 για θερμοκρασία 40°C, $n_2=0.87$

$$I' = \frac{I}{n_2} = \frac{441}{0.87} = 506.89A$$

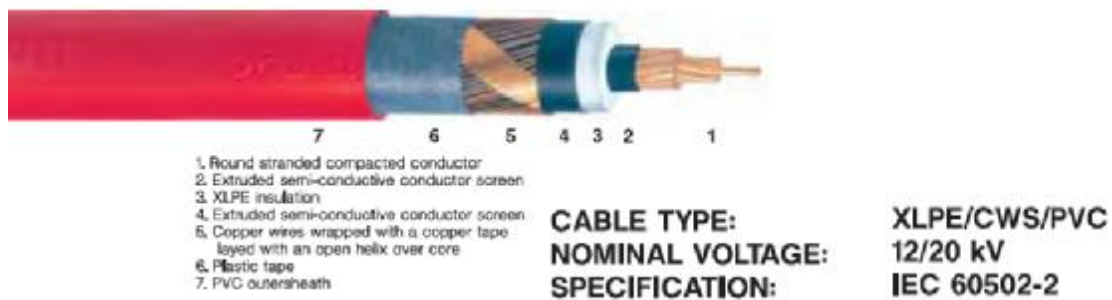
Από τον πίνακα του καλωδίου επιλέγουμε διατομή αγωγών ίση με 400mm²

Η πτώση τάσης για μήκος γραμμής 15 m από τον υποπίνακα είναι:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot \ell \cdot I \cdot \cos\varphi}{S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.018 \cdot 15 \cdot 506.89 \cdot 0.85}{400} = 0.5V < 9.2V$$

Άρα η διατομή των αγωγών που θα χρησιμοποιήσουμε είναι 400 mm².

Παρακάτω φαίνεται το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί στη Μέση Τάση.



Εικόνα 40: Το χρησιμοποιούμενο καλώδιο στη Μ.Τ.

Πίνακας 9: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καλωδίου της Μ.Τ

NOMINAL AREA OF CONDUCTOR	MEAN OVERALL DIAMETER (APPROX.)	NET WEIGHT (APPROX.)	MAX CONDUCTOR RESISTANCE AT 20°C	CURRENT CARRYING CAPACITY (EARTH)	CONTINUOUS CURRENT CARRYING CAPACITY (IN AIR)
mm ²	mm	kg/km	Ω/km	A	A
1X25/16	21	750	0,727	163	171
1X35/16	22	850	0,524	187	197
1X50/16	24	1000	0,387	220	236
1X70/16	25	1250	0,268	268	294
1X95/16	27	1500	0,193	320	358
1X120/16	29	1750	0,153	363	413
1X150/25	30	2150	0,124	405	468
1X185/25	32	2500	0,0991	456	535
1X240/25	35	3100	0,0754	526	631
1X300/25	38	3750	0,0601	591	722
1X400/35	40	4650	0,047	662	827
3X25/16	43	2000	0,727	157	147
3X35/16	45	2400	0,524	181	178
3X50/16	48	2950	0,387	213	213
3X70/16	52	3900	0,268	261	265
3X95/16	55	4800	0,193	312	322
3X120/16	59	5750	0,153	355	370
3X150/25	62	6600	0,124	399	420
3X185/25	66	7850	0,0991	451	481
3X240/25	72	9750	0,0754	523	566

The above ratings for cables installed in ground are for cyclic load with a load factor 0,7. For continuous operation (load factor 1,0) the values must be multiplied with a coefficient equal to 0,93.

6.3.3 Υπολογισμός διατομής καλωδίου από το μετασχηματιστή 400V/15000V μέχρι τον Μετασχηματιστή 15000V/400V (150m απόσταση)

Χρησιμοποιούμε τον συντελεστή διόρθωσης n_2 για θερμοκρασία 40°C, $n_2=0.87$. Επίσης όπως επισημαίνεται στο κάτω μέρος του πίνακα του καλωδίου, για συντελεστή χρησιμοποίησης (load factor) ίσο με 1, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με ένα συντελεστή ίσο με 0.93

$$I' = \frac{I}{n_2} = \frac{523}{0.87} \cdot 0.93 = 559A$$

Από τον πίνακα του καλωδίου επιλέγουμε διατομή αγωγών ίση με 400mm²

Η πτώση τάσης για μήκος γραμμής 150 m είναι:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot \ell \cdot I \cdot \cos\varphi}{S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.018 \cdot 150 \cdot 559 \cdot 0.85}{400} = 5.55V < 692.82Volt$$

άρα η διατομή των αγωγών που θα χρησιμοποιήσουμε είναι 400 mm^2 .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- STEPHEN J. CHAPMAN «ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ AC-DC», 3η ΕΚΔΟΣΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003
- HABERLE GREGOR, HABERIE HEINZ «ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ», ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, ΑΘΗΝΑ 1994
- <http://www.tzortzi.gr/pdf/specs/engine/TZRTZ-GENERAL.pdf>
- <http://bilianis.gr/sales.html>
- <http://www.deddie.gr/el/upiresies/sundesime-to-diktuo/arkiki-sundesie/egkatastasi-efedrikou-ilektroparagwou-zeugous>
- <http://intermountainelectronics.com/Dry-Type-Transformers.aspx>
- http://www.safetyengineer.gr/products_power_switchboards/?lang=el
- <http://www.kalivis.com/products.php?id=182>
- <http://www.vimepp.gr/pinakes-mesis-tasis/>
- <http://www.kontoulis.gr/index.php/services/pinakes-dianomis/pedia-chamilis-tasis>
- http://www.ti-soft.com/el/support/help/electrical/knowledgebase/lowvoltage/protection_materials/fuses
- <http://www.schneider-electric.com/products/gr/el/4200-diakoptes-ischyos-phortiou/4210-diakoptes-elektrikes-dianomes/1566-syskeues-aposyndeses-diakopte-masterpact/>
- <http://www.cablel.gr/ckfinder/userfiles/files/Building%20Wires%20Brochure.pdf>
- <http://elemecganotis.gr/δικτυα-χαμηλης-και-μεσης-τασης/>
- http://www.vias.org/matsch_capmag/matsch_caps_magnetics_chap6_12_05.html