

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**"ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ
(ΥΛΙΚΑ-ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ)"**



**Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπουδαστής:**

**ΨΩΜΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ ΜΑΡΙΟΣ ΑΜ: 28704**

**Αιγάλεω
Οκτώβριος - 2012**

Copyright © Α. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τον καθηγητή μου κ. Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο για την υπομονή και κατανόηση που επέδειξε όλο αυτόν τον καιρό. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά και το συμφοιτητή μου Λιάκο Κωνσταντίνο για την ηθική και υλική συμπαράσταση καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές του για την αποπεράτωση της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Λίστα σχημάτων	iv
Λίστα πινάκων	vii
Summary	viii
Πρόλογος	9
1^ο Κεφάλαιο “Εισαγωγή”	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας- Σ.Η.Ε	1
2^ο Κεφάλαιο “Διαμόρφωση & Βασικός Εξοπλισμός Δικτύων Μ/Τ”	3
2.1 Γενικά	3
2.2 Τύποι σχεδιασμού των δικτύων διανομής	3
2.2.1 Ακτινικά συστήματα (Radial)	4
2.2.2 Βροχοειδή συστήματα (Loop).....	6
2.2.3 Δικτυωτά συστήματα (Networks)	6
2.3 Αγωγοί εναέριων δικτύων	7
2.3.1 Αγωγοί από Χαλκό.....	8
2.3.2 Αγωγοί από Αλουμίνιο.....	8
2.3.3 Αγωγοί από Χάλυβα-Αλουμίνιο (ACSR)	9
2.4 Στύλοι εναέριων δικτύων Μ/Τ	11
2.4.1 Ξύλινοι Στύλοι	11
2.4.2 Στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα	18
2.4.3 Βραχίονες στύλων (τραβέρσες) και πλαίσια	25
2.5 Υλικά Εναέριων Δικτύων	26
2.5.1 Μονωτήρες.....	26
2.5.2 Εξαρτήματα σύνδεσης αγωγών.....	30
2.5.3 Εξαρτήματα ανάρτησης αγωγών.....	32
2.5.4 Αλεξικέραυνα.....	34
2.5.4.1. Αλεξικέραυνα με διάκενα	34
2.5.4.2. Αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα	34
3^ο Κεφάλαιο “Καλώδια στη Μέση Τάση”	36
3.1 Γενικά	36
3.2 Σύνθεση καλωδίων μέσης τάσης.....	36
3.3 Κατασκευαστικά στοιχεία καλωδίων μέσης τάσης.....	37
3.3.1 Αγωγοί.....	37
3.3.2 Εξομαλυντικά (ημιαγώγιμα) στρώματα	38
3.3.3 Μόνωση.....	39
3.3.4 Μανδύας (ή μεταλλικός μανδύας ή μεταλλική θωράκιση ή ηλεκτρική θωράκιση).....	40
3.3.5 Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης.....	41
3.3.6 Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας).....	41
3.3.7 Ακροκιβώτια (ακροκεφαλές)	41
3.3.8 Σύνδεσμοι ή μούφες	42
3.3.9 Σύστημα επιβολής και ελέγχου πίεσης	43
3.3.10 Σύστημα ψύξης καλωδίων με νερό ή λάδι.....	43

3.4	Τύποι καλωδίων μέσης τάσης	43
3.5	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά καλωδίων Μ/Τ	47
3.5.1	Αντίσταση καλωδίων	47
3.5.2	Αυτεπαγωγή καλωδίων	48
3.5.3	Χωρητικότητες καλωδίων	49
3.5.4	Διηλεκτρικές απώλειες	49
4^ο	Κεφάλαιο “Μέσα Προστασίας Μέσης Τάσης”	51
4.1	Γενικά	51
4.2	Ασφάλειες Μέσης Τάσης	52
4.2.1	Ασφάλειες Σκόνης	52
4.2.2	Ασφάλειες Εκτόνωσης	56
4.3	Διακόπτες ΜΤ	58
4.3.1	Αποζεύκτες και γειωτές	58
4.3.2	Διακόπτης Φορτίου (ΔΦ)	61
4.3.3	Ηλεκτρονόμοι	65
4.3.3.1	<i>Κύκλοι Επαναφοράς (ή λειτουργίας) ενός ΔΙ</i>	69
4.3.4	Διακόπτης Ισχύος (Αυτόματοι Διακόπτες)	70
4.3.5	Διακόπτης Απομόνωσης	73
4.4	Προστασία από υπερτάσεις	75
5^ο	Κεφάλαιο “Μετασχηματιστές”	78
5.1	Γενικά	78
5.2	Μονοφασικός ΜΣ	78
5.3	Τριφασικός ΜΣ	78
5.4	Λειτουργία παραλληλισμού	79
5.5	Αυτομετασχηματιστής	79
5.6	Είδη Μετασχηματιστών	80
5.7	Απώλειες ΜΣ	83
5.8	Περιγραφή ελαιόψυκτου τριφασικού ΜΣ Διανομής 20 / 0,4 kV	84
5.8.1	Ψύξη Μετασχηματιστή	87
5.8.2	Προστασία του ΜΣ	88
5.9	Περιγραφή τριφασικού ΜΣ Διανομής 20 / 0,4 kV Ξηρού τύπου	90
5.9.1	Προστασία του ΜΣ Ξηρού τύπου	91
6^ο	Κεφάλαιο “Ρύθμιση Τάσης στα Δίκτυα ΜΤ”	93
6.1	Γενικά	93
6.2	Ρύθμιση της Τάσης σε Υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ	93
6.3	Ρυθμιστές Τάσης	94
6.4	Ρύθμιση της Τάσης σε κάποιο σημείο μιας Γραμμής ΜΤ	98
6.5	Ρύθμιση της Τάσης στον ΜΣ 20 / 0,4 kV (διανομής ή καταναλωτή)	100
	Βιβλιογραφία	102

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Το σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας	1
Σχήμα 1.2: Απλοποιημένη διάταξη Σ.Η.Ε.....	2
Σχήμα 2.1: Ακτινικά (Radial), Βροχοειδή (Loop), Δικτυωτά (Network) συστήματα.....	4
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα δυο υποσταθμών, ο καθένας με τέσσερις τροφοδοσίες. Η θέση των διακοπών κάνει το σύστημα ηλεκτρικά ακτινικό, παρόλο που τμήματά του είναι δικτυωτά	5
Σχήμα 2.3: Πολυκλαδική τροφοδοσία-Δενδροειδής τροφοδοσία	6
Σχήμα 2.4: Μορφή αγωγών Αλουμινίου-Χάλυβα (ACSR).....	9
Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστικά γυμνών αγωγών εναέριων γραμμών.....	10
Σχήμα 2.6α): Ξύλινοι Στύλοι : Επισήμανση.....	12
Σχήμα 2.6β): Ξύλινοι Στύλοι : Πρόσδεση σύρματος επίτονου	13
Σχήμα 2.6γ): Ξύλινοι Στύλοι : Επίτονος Απλός	14
Σχήμα 2.6δ): Ξύλινοι Στύλοι : Επίτονος Τριπλός	15
Σχήμα 2.6ε): Ξύλινοι Στύλοι : Αγκυρώσεις επίτονων	16
Σχήμα 2.6στ): Ξύλινοι Στύλοι : Οριζόντιος επίτονος.....	17
Σχήμα 2.7: Θεμελιώσεις Ξύλινων Στύλων.....	18
Σχήμα 2.8α): Τσιμεντένιοι Στύλοι : Επισήμανση	19
Σχήμα 2.8β): Τσιμεντένιοι Στύλοι : Πρόσδεση σύρματος επίτονου.....	20
Σχήμα 2.8γ): Τσιμεντένιοι Στύλοι : Επίτονος Απλός.....	21
Σχήμα 2.8δ): Τσιμεντένιοι Στύλοι : Επίτονος Τριπλός.....	22
Σχήμα 2.8ε): Τσιμεντένιοι Στύλοι : Θεμελιώσεις Στύλων	23
Σχήμα 2.9: Δίδυμοι στύλοι α) ξύλινοι και β) τσιμεντένιοι	24
Σχήμα 2.10: Βραχίονες στη Μ.Τ.	25
Σχήμα 2.11: Πλαίσια και στυλίσκοι στις γραμμές Χ.Τ.	25
Σχήμα 2.12: Ταξινόμηση των Μονωτήρων.....	27
Σχήμα 2.13: Μονωτήρες Χ.Τ. α) Κυλινδρικοί και β) Τύπου κώδωνα	28
Σχήμα 2.14: Μονωτήρες Μ.Τ. με ίσο στέλεχος	29
Σχήμα 2.15: Μονωτήρες ανάρτησης στη Μ.Τ. και στην Υ.Τ.	29
Σχήμα 2.16: Γραμμή 15 kV ,κατασκευή για γωνίες μέχρι 45ο (οριζόντια διάταξη)	30
Σχήμα 2.17: Χάλκινοι κοχλιοσυνδετήρες με εγκοπή	31
Σχήμα 2.18: Σύνδεση αγωγών με χάλκινα χιτώνια συστροφής (σωληνωτός σύνδεσμος). Η σύνδεση επιτυγχάνεται με συστροφή του σωληνωτού συνδέσμου	31
Σχήμα 2.19: Συνδετήρες και ενωτήρες για αγωγούς αλουμινίου και ACSR.....	31
Σχήμα 2.20: α) Μεταλλικός σωληνωτός σύνδεσμος.....	32
Σχήμα 2.20β) Τα συνηθέστερα είδη σφικτήρων για χαλύβδινους αγωγούς και συρματοσχοίνα επιτόνων	32
Σχήμα 2.21: α) Σφικτήρες τέρματος και β) Σφικτήρες ανάρτησης	32
Σχήμα 2.22: Πρόσδεση αγωγού χαλκού στα δίκτυα Χ.Τ.	32
Σχήμα 2.23: Προσδέσεις ευθυγραμμίας στις γραμμές Μ.Τ. σε αγωγούς ACSR.....	33
Σχήμα 2.24: Τρόπος δεσίματος των αγωγών στα τέρματα των γραμμών	33
Σχήμα 2.25: Διακλαδωτήρες	33
Σχήμα 2.26: Χαρακτηριστική τάσεως – ρεύματος ενός αλεξικέραυνου χωρίς διάκενα.....	35
Σχήμα 2.27: Τομή αλεξικέραυνου και αλεξικέραυνο σε γραμμή Μ/Τ.....	35
Σχήμα 3.1: Μονοφασικό καλώδιο XLPE 12/20kV 1) Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού(ή αλουμινίου), 2) Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE, 3) Μόνωση XLPE, 4) Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE, 5) Ηλεκτρ. θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς(χάλκινη ταινία προαιρετική κατόπιν παραγγελίας), 6) Πλαστική ταινία (προαιρετική), 7) Εξωτερικός μανδύας PVC.....	37

Σχήμα 3.2.: Αγωγοί καλωδίων 1) πλήρης στρογγυλή διατομή (r), 2) πλήρης κυκλικός τομέας (s), 3) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή (r_m), 4) πολύκλωνη στρογγυλή συμπιεσμένη διατομή (r_m/v), 5) πολύκλωνος κυκλικός τομέας (s_m), 6) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή συμπιεσμένη με κανάλι ψύξης ($r_m/v...h$), 7) διατομή με επιμέρους τομείς μονωμένους για μείωση του επιδερμικού φαινομένου με κανάλι ψύξης στο κέντρο.....	38
Σχήμα 3.3: Επίδραση των εξομαλυντικών στρωμάτων στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου ενός πολύκλωνου αγωγού.	38
Σχήμα 3.4: Ακροκεφαλή λαδιού MT 20kV, χωρίς καλώδιο : 1) γυάλινο δοχείο για να βλέπει κανείς τη στάθμη του λαδιού, 2) μονωτήρας πορσελάνης, 3) χυτοσιδερένιο δοχείο διανομής των φάσεων, 4) κώνος εισόδου του καλωδίου στην ακροκεφαλή, 5) ηλεκτρόδιο σύνδεσης.	42
Σχήμα 3.5: α) καλώδιο περιζωμένο, β) καλώδιο με τρεις μανδύες από αλουμινόφυλλα (Hochstadter), γ) καλώδιο τριών μανδύων, δ) τρία μονοπολικά καλώδια 1) αγωγός, 2) περιζώμα από μόνωση, 3) μανδύας, 4) συμπληρωματική μόνωση, 5) κυρίως μόνωση, 6) φύλλα Hochstadter, 7) προστατευτικό περίβλημα.....	44
Σχήμα 3.6: Καλώδια χαρτιού - μάζας περιζωμένα	45
Σχήμα 3.7: Καλώδια MT ακτινικού πεδίου.....	46
Σχήμα 3.8: Χωρητικότητες καλωδίων: α) τριφασικό σύστημα μονοπολικών καλωδίων β) περιζωμένα καλώδια.....	49
Σχήμα 3.9: Καλώδιο και ισοδύναμο κύκλωμα για τη μόνωσή του.....	50
Σχήμα 4.1: Ασφάλειες Σκόνης.....	53
Σχήμα 4.2: Βασικά μέρη μιας ασφάλειας.....	53
Σχήμα 4.3: Τομή ασφάλειας.....	53
Σχήμα 4.4: Πινακίδα στοιχείων ασφάλειας.....	53
Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστική καμπύλη ασφάλειας σκόνης.....	55
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα περιορισμού του ρεύματος Βραχυκύκλωσης.....	56
Σχήμα 4.7α: Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω σε κατάσταση λειτουργίας.....	57
Σχήμα 4.7β: Ασφάλεια καμένη στη βάση αποσυνδεδεμένη από τη βάση.....	57
Σχήμα 4.8α: Χαρακτηριστική Ασφάλειας Εκτόνωσης Βραδείας τήξης (τύπου T).....	58
Σχήμα 4.8β: Χαρακτηριστική Ασφάλειας Εκτόνωσης Ταχείας τήξης (τύπου K)	58
Σχήμα 4.9: Αποζεύκτης.....	59
Σχήμα 4.10: Γειωτής.....	59
Σχήμα 4.11: Γειωτής σε λειτουργία.....	59
Σχήμα 4.12: Ασφαλειοδιακόπτης.....	62
Σχήμα 4.13: ΔΦ με SF6 με γειωτή.....	62
Σχήμα 4.14: Περιγραφή Διακόπτη SF6.....	63
Σχήμα 4.15: Αποζεύκτης και γειωτής.....	64
Σχήμα 4.16: Ασφαλειοδιακόπτης.....	65
Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστική σταθερού Χρόνου.....	67
Σχήμα 4.18 α): Χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου.....	67
Σχήμα 4.18 β): Χαρακτηριστική σταθερού χρόνου με στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας.....	67
Σχήμα 4.19: Πραγματικές καμπύλες HN αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB.....	68
Σχήμα 4.20: Πραγματικές καμπύλες HN ισχυρά αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB.....	68
Σχήμα 4.21: Κύκλοι επαναφοράς ενός ΔΙ της Δ.Ε.Η.....	70
Σχήμα 4.22: Διακόπτης πτωχού ελαίου – Αρχή Λειτουργίας α) Κλειστός β) Ανοιχτός - 1. Ακροδέκτης 2. Ακροδέκτης με επαφή 3. Μηχανισμός κίνησης 4. Λάδι 5. Κινούμενη επαφή 6. Κύλινδρος 7. Έμβολο 8. Τόξο.....	71
Σχήμα 4.23: Διακόπτες Ισχύος.....	72
Σχήμα 4.24: Περιγραφή των βασικών στοιχείων ενός ΔΙ με SF6.....	72
Σχήμα 4.25: Μονογραμμικό σχέδιο. Αναχώρηση εναέριας γραμμής M/T.....	73
Σχήμα 4.26: Διακόπτης Απομόνωσης με δοχείο Λαδιού τύπου “GN3VE”.....	74

Σχήμα 4.27: Απαγωγέας POLIM-S	77
Σχήμα 4.28: Διάφοροι τύποι απαγωγέων	77
Σχήμα 5.1: ΜΣ μονάδας σε σταθμό παραγωγής	80
Σχήμα 5.2: ΜΣ υποσταθμού 250 MVA	81
Σχήμα 5.3: Μετασχηματιστής Τάσης	81
Σχήμα 5.4: Μετασχηματιστές έντασης	82
Σχήμα 5.5: Εσωτερικού ΜΣ. Πυρήνας με τα τυλίγματα YT και XT για κάθε φάση	84
Σχήμα 5.6: Ελαιόκαρπος ΜΣ 20/0,4 kV 400kVA	85
Σχήμα 5.7: Ακροδέκτες YT και XT	85
Σχήμα 5.8: Μεταγωγέας	86
Σχήμα 5.9: Πινάκίδα με ονομαστικά στοιχεία του ΜΣ 400kVA	86
Σχήμα 5.10: Δοχείο Διαστολής και HN Buchholz	87
Σχήμα 5.11: Θερμόμετρο ΜΣ	89
Σχήμα 5.12: HN Buchholz	89
Σχήμα 5.13: Στάθμη λαδιού στο Δοχείο διαστολής	89
Σχήμα 5.14: Αφυγραντήρας	90
Σχήμα 5.15: Μετασχηματιστής Ξηρού Τύπου	92
Σχήμα 6.1: Ρυθμιστής Τάσης CL 6A: α) Ρυθμιστής CL 6A β) Πίνακας Ελέγχου και χειρισμών γ) Ένδειξη υποβιβασμού ή ανύψωσης της Τάσης	95
Σχήμα 6.2: Πίνακας Ελέγχου CL 6B	96
Σχήμα 6.3: Ρυθμιστής τάσης CL 2A	97
Σχήμα 6.4: Πίνακας Ελέγχου του ρυθμιστή CL 2A	97
Σχήμα 6.5: Συστοιχία μόνιμων πυκνωτών σε συνδεσμολογία αστέρα	99
Σχήμα 6.6: Συστοιχία αποξεύξιμων πυκνωτών	99
Σχήμα 6.7: Ονομαστικά στοιχεία ΜΣ	100
Σχήμα 6.8: Μεταγωγέας ΜΣ ΜΣ 20 / 0,4 kV	101

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Φυγοκεντρικοί στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος	18
Πίνακας 4.1: Προσδιορισμός ασφάλειας για την προστασία ΜΣ	54
Πίνακας 4.2: Περιγραφή του Γράμματος κατασκευής	60
Πίνακας 4.3: Τύποι γειωτών	60
Πίνακας 4.4: Ονομαστικά στοιχεία αποζεύκτη ADNN	61
Πίνακας 4.5: Ονομαστικά στοιχεία διακόπτη SHS2	64
Πίνακας 4.6: Ονομαστικά στοιχεία Αποζεύκτη και Γειωτή	65
Πίνακας 4.7: Επεξήγηση ονομαστικών στοιχείων	75
Πίνακας 4.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά POLIM – H	77
Πίνακας 5.1: Ονομαστικά Στοιχεία ΜΣ τάσης	81
Πίνακας 5.2: Ονομαστικά στοιχεία ΜΣ Έντασης	82
Πίνακας 5.3: Τυπικές απώλειες ΜΣ ισχύος, μέσης τάσης 20 KV και ονομαστικής τάσης βραχυκύκλωσης. Το ρεύμα μαγνήτισης στα παραπάνω μεγέθη είναι τυπικά το 2% του ονομαστικού ρεύματος	83

SUMMARY

The present study aims to describe the Medium Voltage facilities and consumers connected to them and spell out the remedies used in these facilities to meet any kind of error. More specifically various types of networks are described and basic equipment such as conductors, cables, various kinds of switches and types of transformers is referred.

Finally voltage regulation into the Medium Voltage Network is being referred all the way possible.

Keywords: Medium Voltage Networks, conductors, insulators, cables MV, fuses MV, switches MV, transformers, voltage regulation

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό να περιγράψει τις εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης της και των καταναλωτών που συνδέονται σε αυτές και να παρουσιάσει αναλυτικά τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις αυτές, για την αντιμετώπιση κάθε είδους σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται οι διάφορες κατηγορίες δικτύων και αναφέρεται ο βασικός τους εξοπλισμός όπως είναι οι αγωγοί, τα καλώδια, τα διάφορα είδη διακοπών καθώς και οι τύποι των μετασχηματιστών. Τέλος γίνεται και αναφορά στον τρόπο με τον οποίο ρυθμίζεται η τάση στα Δίκτυα ΜΤ.

Λέξεις κλειδιά: Δίκτυα Μέσης Τάσης, αγωγοί, μονωτήρες, αλεξικέραυνα, καλώδια ΜΤ, ασφάλειες ΜΤ, Διακόπτες ΜΤ, Μετασχηματιστές, Ρύθμιση Τάσης

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΕΙΣΑΓΩΓΗ”

1.1 Γενικά

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής εξαρτάται άμεσα από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις, τόσο στο αστικό, όσο και στο βιομηχανικό περιβάλλον, καθιστούν αναγκαία την ύπαρξη ενός αποτελεσματικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, αλλά και ενός ισχυρού, αξιόπιστου και ασφαλούς συστήματος μεταφοράς και διανομής. Η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος διανομής ενέργειας και των επιμέρους στοιχείων που το απαρτίζουν, μπορεί να παρέχει στον ενδιαφερόμενο μηχανικό σημαντικές πληροφορίες για την καλύτερη κατανόηση της δομής του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε).

1.2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας- Σ.Η.Ε



Σχήμα 1.1: Το σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε) μπορεί να χωριστεί σε τρία επιμέρους τμήματα. Αυτά είναι:

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
2. Μεταφορά ενέργειας
3. Διανομή της ενέργειας στους Καταναλωτές

Στην πρώτη φάση παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Π.Η.Ε). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προέρχεται από ατμοηλεκτρικά ή υδροηλεκτρικά εργοστάσια, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκές γεννήτριες κ.α. Ανεξάρτητα όμως από τον τρόπο παραγωγής της, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται έχει μια συγκεκριμένη τάση. Η τάση εξόδου μια γεννήτριας κυμαίνεται από 6 έως 30 kV. Για παράδειγμα στον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό (ΑΗΣ) Καρδίας στην Πτολεμαΐδα η τάση που παράγεται στην έξοδο μιας γεννήτριας είναι 21 kV.

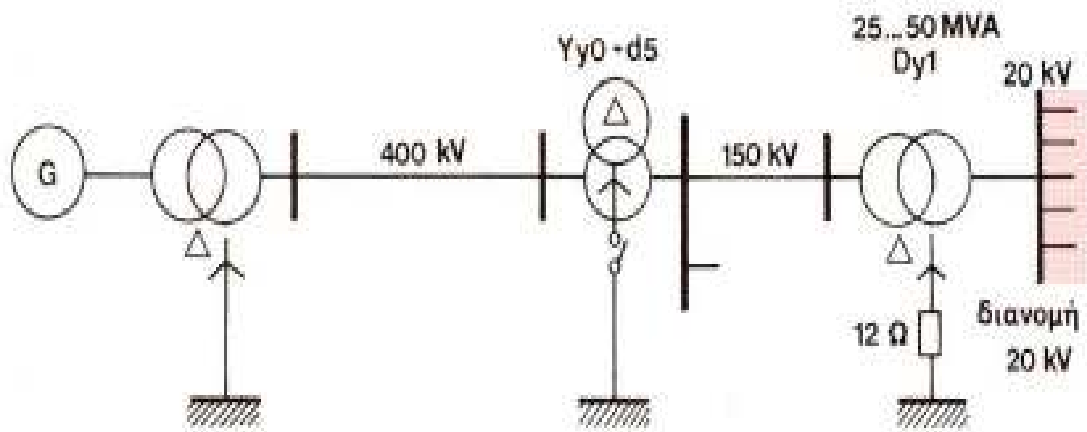
Η τάση εξόδου ανυψώνεται μέσω ενός μετασχηματιστή (ΜΣ) στον υποσταθμό ανύψωσης της τάσης, που βρίσκεται στο χώρο της παραγωγής. Στην Ελλάδα η τάση εξόδου ενός ΑΗΣ ανυψώνεται στα 400 kV (υπερυψηλή τάση) ενώ σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ) στα 150 kV (υψηλή τάση).

Στη φάση της μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται υπό τάση 400 ή 150 kV από τους σταθμούς παραγωγής, κυρίως με εναέρια δίκτυα και πυλώνες της Δ.Ε.Η σε μακρινές αποστάσεις. Για παράδειγμα, η ενέργεια μεταφέρεται από τους ΑΗΣ της Πτολεμαΐδας μέσω μιας γραμμής 400 kV στην Αθήνα. Σε μικρότερες αποστάσεις, η ενέργεια μεταφέρεται συνήθως με δίκτυα των 150 kV.

Οι γραμμές μεταφοράς των 400 kV όταν πλησιάζουν στις πόλεις συγκεντρώνονται σε υποσταθμούς υποβιβασμού 400/150 KV. Η τάση υποβιβάζεται στα 150 kV μέσω ενός ΜΣ 400/150 kV. Από εκεί τροφοδοτούνται κάποιοι καταναλωτές υψηλής τάσης (ΥΤ) με 150 kV ενώ συνεχίζεται η μεταφορά της ενέργειας με γραμμές των 150 kV. Οι γραμμές των 150 kV καταλήγουν σε υποσταθμούς υποβιβασμού 150/20 kV.

Στους υποσταθμούς 150/20 kV υποβιβάζονται τα 150 kV μέσω ΜΣ 150/20 kV στα 20 kV (Μέση Τάση). Ωστόσο υπάρχουν και παλιά δίκτυα ΜΤ των 15 kV, όπου εκεί η τάση υποβιβάζεται στα 15 kV.

Από τα δίκτυα ΜΤ ξεκινάει η φάση της Διανομής. Η ηλεκτρική ενέργεια υπό ΜΤ διανέμεται τοπικά σε καταναλωτές ΜΤ καθώς επίσης και σε καταναλωτές χαμηλής τάσης (Χ.Τ) εφόσον φυσικά η τάση υποβιβαστεί στα 400V. Οι καταναλωτές ΜΤ είναι βιομηχανίες, εργοστάσια κ.α με ισχύ άνω των 135 kVA. Οι καταναλωτές ΧΤ είναι οικίες, μαγαζιά, μικρές βιοτεχνίες κ.α με ισχύ μέχρι 135 kVA. Ο υποβιβασμός της τάσης στα 400 V για την τροφοδότηση καταναλωτών ΧΤ γίνεται σε υποσταθμούς διανομής 20/0,4 kV της Δ.Ε.Η. Οι υποσταθμοί διανομής τοποθετούνται εξωτερικά πάνω στις κολώνες της Δ.Ε.Η και διαθέτουν ΜΣ 20/0,4 kV. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται ένα μονογραμμικό σχέδιο που περιγράφει ένα απλοποιημένο Σ.Η.Ε



Σχήμα 1.2: Απλοποιημένη διάταξη Σ.Η.Ε.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ & ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ Μ/Τ”

2.1 Γενικά

Κατασκευαστικά τα Δίκτυα Διανομής διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τα εναέρια και β) τα υπόγεια δίκτυα. Τα εναέρια δίκτυα είναι ολιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια και είναι επίσης ευκολότερα στην εκμετάλλευσή τους. Καταλαμβάνουν όμως σημαντικό χώρο, η διάθεση του οποίου είναι συχνά αδύνατη σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές πόλεων. Οι αγωγοί των γραμμών εναέριων δικτύων την προηγούμενη δεκαετία ήταν πάντοτε γυμνοί. Τα τελευταία χρόνια όμως η εξέλιξη της τεχνικής των καλωδίων επιτρέπει την χρησιμοποίηση εναέριων καλωδίων, κυρίως στη χαμηλή αλλά και στη μέση τάση. Επειδή το κόστος των εναέριων δικτύων Χ.Τ. με καλώδια δεν είναι μεγαλύτερο από αυτών με γυμνούς αγωγούς, ενώ έχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα, η χρησιμοποίησή τους επεκτείνεται διεθνώς με τάση να αντικαταστήσουν ολοκληρωτικά τα δίκτυα Χ.Τ. με γυμνούς αγωγούς.

Οι υποσταθμοί Μ.Τ./Χ.Τ. των εναέριων δικτύων μέχρι 400KVA κατασκευάζονται συνήθως εναέριοι, επάνω σε ένα ή δυο στύλους. Μεγαλύτεροι υποσταθμοί κατασκευάζονται επίγειοι λόγω του όγκου και του βάρους τους.

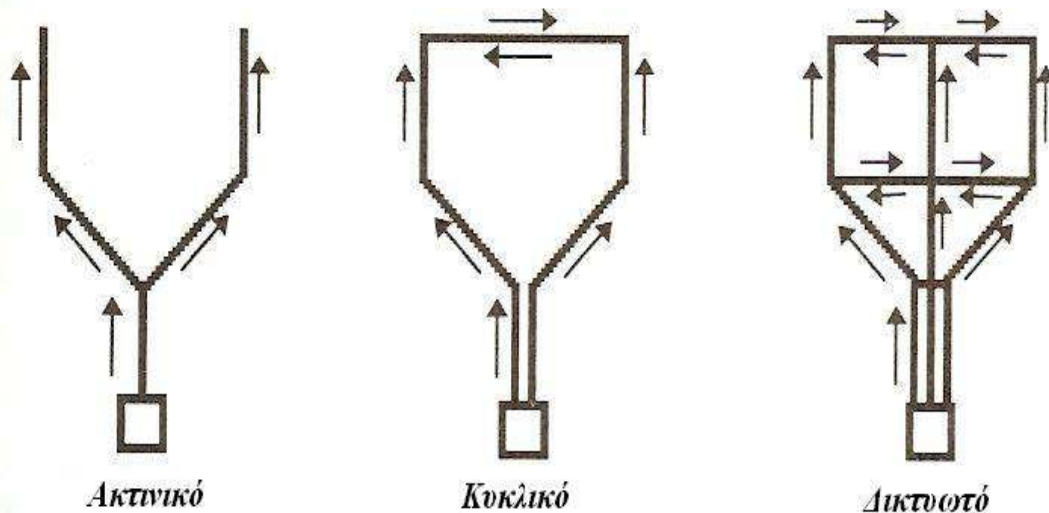
Η κατασκευή εναέριων δικτύων προσφέρεται ιδιαίτερα στις αγροτικές περιοχές που γενικά χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα φορτίου και την δυνατότητα που υπάρχει για την τήρηση των «ελαχίστων αποστάσεων» εγκαταστάσεως των αγωγών. Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται ως αγροτικά και εξυπηρετούν χωριά, αρδευτικές περιοχές, αγροτικές, βιοτεχνικές μονάδες ή και βιομηχανικές, όταν είναι εγκατεστημένες σε αγροτικές περιοχές.

Υπόγεια κατασκευάζονται τα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης στα κέντρα των πόλεων, για λόγους αισθητικής, αλλά και λόγω δυσκολίας διαθέσεως του αναγκαίου χώρου. Επί πλέον όμως στις περιοχές αυτές η πυκνότητα του φορτίου καθιστά συχνά πρακτικά επιβεβλημένη την κατασκευή υποσταθμών Μ.Τ./Χ.Τ., οι οποίοι είναι με τη σειρά τους εγκατεστημένοι στο έδαφος (στα υπόγεια των πολυκατοικιών) ή στην επιφάνεια του εδάφους, σε κατάλληλα διαμορφωμένους οικίσκους. Στις μικρές πόλεις ή και τα προάστια των μεγάλων τα δίκτυα κατασκευάζονται συχνά μερικώς υπόγεια και μερικώς εναέρια (π.χ. υπόγειο το δίκτυο Μ.Τ. και εναέριο το δίκτυο Χ.Τ. ή τμήματα του ενός ή και του άλλου εναέρια και υπόγεια).

Οπωσδήποτε το θέμα της επιλογής του κατάλληλου δικτύου για μια δεδομένη περιοχή, αποτελεί ένα σύνθετο τεχνοοικονομικό πρόβλημα, δεδομένου ότι κατά την αρχική σχεδίαση αυτού πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη και η μελλοντική του εξέλιξη.

2.2 Τύποι σχεδιασμού των δικτύων διανομής

Υπάρχουν τρεις κυρίαρχοι διαφορετικοί τρόποι σχεδιασμού ενός συστήματος διανομής που χρησιμοποιούν οι εταιρίες ηλεκτρισμού, καθένας από τους οποίους έχει διαφοροποιήσεις στη δημιουργία του. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1, τα ακτινικά, τα βροχοειδή και τα δικτυωτά συστήματα διαφέρουν στο πως τα συστήματα τροφοδοσίας τακτοποιούνται και διασυνδέονται γύρω από έναν υποσταθμό.



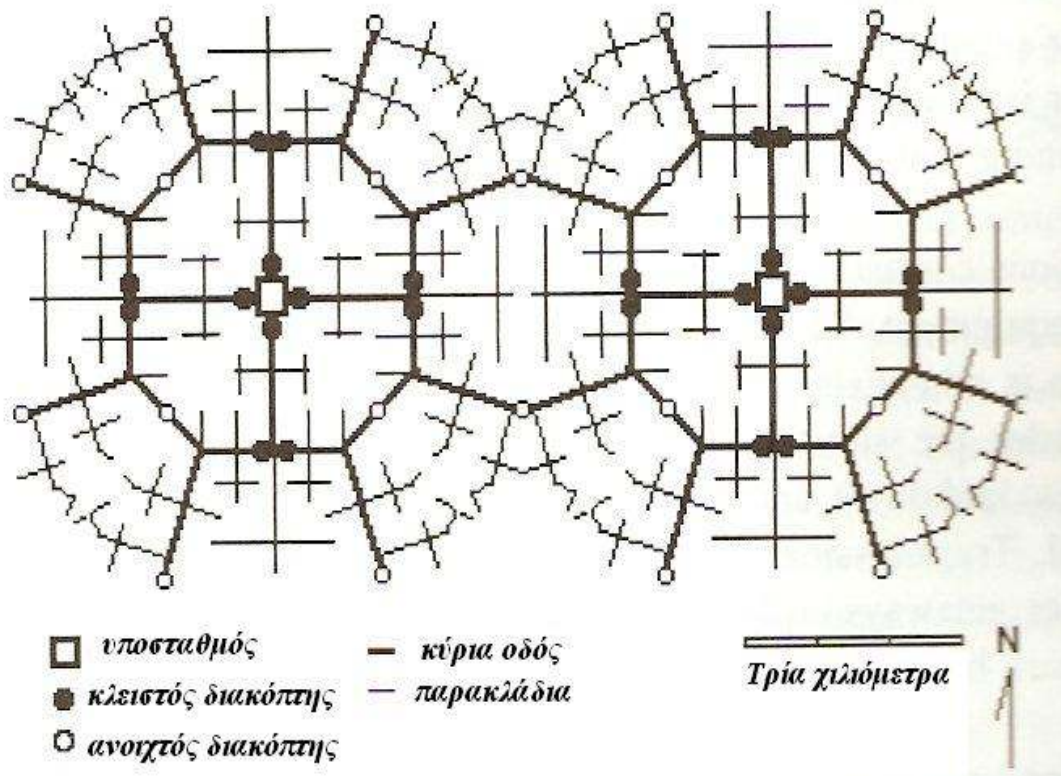
Σχήμα 2.1: Ακτινικά (Radial), Βροχοειδή (Loop), Δικτυωτά (Network) συστήματα

2.2.1 Ακτινικά συστήματα (Radial)

Τα περισσότερα συστήματα διανομής σχεδιάζονται ακτινικά, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι ότι υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι ανάμεσα σε έναν καταναλωτή και τον υποσταθμό. Η ηλεκτρική ροή ρέει αποκλειστικά μακριά από τον υποσταθμό και προς τους καταναλωτές μέσω μιας και μοναδικής διαδρομής, η οποία εάν διακοπεί έχει ως αποτέλεσμα την ολική απώλεια ενέργειας προς τον καταναλωτή. Ο ακτινικός σχεδιασμός είναι ο πιο διαδεδομένος και αντιπροσωπεύει το 99% όλων των δικτύων διανομής στη Β.Αμερική. Η υπεροχή του βασίζεται σε δύο συντριπτικά πλεονεκτήματα : είναι πολύ οικονομικότερη λύση σε σχέση με τις άλλες δύο εναλλακτικές και είναι απλούστερο στο σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργικότητά του. Στα περισσότερα ακτινικά σχέδια, τόσο οι τροφοδοσίες όσο και τα δευτερεύοντα συστήματα σχεδιάζονται και λειτουργούν ακτινικά. Κάθε ακτινικό σύστημα τροφοδοσίας εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη περιοχή. Όλοι οι καταναλωτές εντός αυτής της περιοχής τροφοδοτούνται μόνο από αυτή την τροφοδοσία .

Τα περισσότερα ακτινικά συστήματα κατασκευάζονται ως δικτυωτά αλλά λειτουργούν ακτινικά χρησιμοποιώντας διακόπτες σε συγκεκριμένα σημεία στο φυσικό δίκτυο (σχήμα 2.2), έτσι ώστε η τελική διάταξη να είναι ηλεκτρικά ακτινική.

Ο σχεδιασμός του δικτύου αποφασίζει την επέκταση του δικτύου και το μέγεθος του κάθε τμήματος τροφοδοσίας και καθορίζει που πρέπει να τοποθετούνται τα «ανοιχτά» σημεία για τη σωστή λειτουργία ως ένα σύστημα ακτινικών τροφοδοτών.



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα δυο υποσταθμών, ο καθένας με τέσσερις τροφοδοσίες. Η θέση των διακοπών κάνει το σύστημα ηλεκτρικά ακτινικό, παρόλο που τμήματά του είναι δικτυωτά

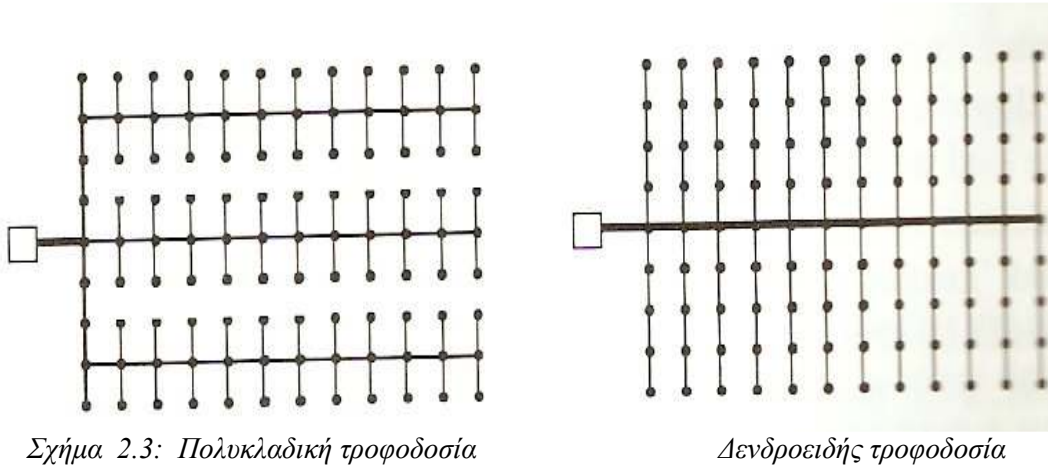
Επειδή η κατεύθυνση της ροής ενέργειας και του φορτίου είναι εύκολο να προσδιοριστεί, το επίπεδο της τάσης μπορεί να ευρεθεί με καλή ευκρίνεια, οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα εξοπλισμού μπορούν να εξακριβωθούν επακριβώς, τα σφάλματα μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια και οι συσκευές προστασίας (ηλεκτρονόμοι και ασφάλειες) μπορούν να συγχρονιστούν με έναν απόλυτα σίγουρο τρόπο. Οι ρυθμιστές και οι πυκνωτές μπορούν να μετρηθούν και να τοποθετηθούν σε κατάλληλα σημεία με απλές διαδικασίες.

Στην αντίπερα όχθη, τα ακτινικά συστήματα τροφοδοσίας είναι λιγότερο αξιόπιστα απ' ό,τι τα κυκλικά ή τα δικτυωτά συστήματα καθότι υπάρχει μόλις μια διαδρομή ανάμεσα στον υποσταθμό και τον κάθε καταναλωτή. Έτσι εάν κάποιο στοιχείο κατά μήκος της διαδρομής αποτύχει, έχουμε ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας. Γενικά όταν συμβεί ένα τέτοιο σφάλμα, ένα συνεργείο καλείται να αλλάξει προσωρινά την ακτινική μορφή του δικτύου, μεταφέροντας τους καταναλωτές στους οποίους έχει διακοπή η μεταφορά ενέργειας σε μια άλλη τροφοδοσία, μέχρι την επισκευή του κατεστραμμένου στοιχείου. Αυτό ελαχιστοποιεί την περίοδο διακοπής χωρίς όμως να μπορεί να την εξαλείψει.

Εκτός από αυτό το προφανές ελάττωμα, τα ακτινικά δίκτυα διανομής εάν σχεδιαστούν και κατασκευαστούν κατάλληλα, παρέχουν πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Στις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές, ή για απολύτως κρίσιμα φορτία (νοσοκομεία, σημαντικές δημοτικές εγκαταστάσεις, το κέντρο ελέγχου του ίδιου του δικτύου), το επιπλέον κόστος μιας πιο αξιόπιστα έμφυτης διάταξης (βροχοειδής ή δικτυακή) δεν μπορεί να δικαιολογηθεί για τη βελτίωση που αποκτάται σε σχέση με ένα καλά σχεδιασμένο ακτινικό σύστημα.

Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η βασική ιδέα πίσω από δυο διαφορετικούς τρόπους για την υλοποίηση του σχεδιασμού ενός ακτινικού δικτύου διανομής. Αυτοί είναι η πολυκλαδική τροφοδοσία (multi-brunch) και η δενδροειδής τροφοδοσία (ή τροφοδοσία κορμού-Large trunk). Καθ' ένας έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και κανένας δεν υπερέχει του

άλλου σε θέματα αξιοπιστίας, κόστους, προστασίας και ποιότητας εξυπηρέτησης. Καθ' ένας μπορεί να κατασκευαστεί ώστε να λειτουργεί σε κάθε περίπτωση.



2.2.2 Βροχειδή συστήματα (Loop)

Μια εναλλακτική λύση για το ακτινικό σχεδιασμό είναι το βροχειδές σύστημα που αποτελείται από ένα σχέδιο διανομής με δυο μονοπάτια ανάμεσα στην πηγή ενέργειας (υποσταθμός) και κάθε πελάτη. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε η παροχή να διατηρείται ανεξάρτητα απ' το που βρίσκεται ένα «ανοιχτό» σημείο πάνω στο βρόχο. Λόγω αυτής της απαίτησης (είτε λειτουργεί ακτινικά, με ένα ανοιχτό σημείο σε κάθε βρόγχο, είτε με κλειστούς βρόχους), η βασική χωρητικότητα του εξοπλισμού τροφοδοσίας που απαιτείται δεν μεταβάλλεται.

Ένα σύστημα βροχειδούς τροφοδοσίας είναι ελάχιστα πιο περίπλοκο από ένα ακτινικό, καθώς η ενέργεια συνήθως ρέει από δυο πλευρές προς την μέση και σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να πάρει μόνο μια από τις δύο οδούς. Ομοίως και για την πτώση τάσης, το μέγεθος και τον προστατευτικό εξοπλισμό. Αλλά εάν σχεδιαστεί έτσι και εάν η προστασία (ηλεκτρονόμοι κυρίως) επίσης κατασκευαστεί βάσει σωστών προδιαγραφών, το βροχειδές σύστημα είναι πιο αξιόπιστο από τα ακτινικά δίκτυα. Η παροχή υπηρεσιών δεν θα διακοπεί στην πλειοψηφία των πελατών οποτεδήποτε ένα τμήμα βγει εκτός, επειδή δεν υπάρχει μονόπλευρη κατεύθυνση σε κανένα βρόχο.

Το κύριο μειονέκτημα των βροχειδών συστημάτων είναι η χωρητικότητα και το κόστος. Ένας βρόγχος πρέπει να εκπληρώνει όλες τις απαιτήσεις ενέργειας και πτώσης τάσης όταν τροφοδοτείται από μόνο μια οδό, όχι και από τις δυο. Απαιτεί επιπλέον χωρητικότητα σε κάθε οδό, και ο αγωγός πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να χειριστεί τις ανάγκες ενέργειας και πτώσης τάσης ολόκληρης της τροφοδοσίας εάν τροφοδοτείται από οποιαδήποτε οδό. Αυτό κάνει το κυκλικό σύστημα έμφυτα πιο αξιόπιστο από ένα ακτινικό σύστημα, αλλά ο μεγάλος αγωγός και η επιπλέον χωρητικότητα αυξάνουν το κόστος.

2.2.3 Δικτυωτά συστήματα (Networks)

Τα δικτυωτά συστήματα διανομής είναι τα πιο περίπλοκα, τα πιο αξιόπιστα και σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις και το πιο οικονομικό σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα δίκτυο περιλαμβάνει πολλά μονοπάτια ανάμεσα σε όλα τα σημεία του. Η ροή ενέργειας

ανάμεσα σε οποιαδήποτε δυο σημεία συνήθως χωρίζεται σε διαφορετικά μονοπάτια και αν εμφανιστεί βλάβη, το σύστημα άμεσα και αυτόματα αλλάζει την κατεύθυνση ροής.

Σπανίως ένα δίκτυο διανομής περιλαμβάνει σχεδιασμό βασικού επιπέδου τάσης, στο οποίο όλοι ή οι περισσότεροι διακόπτες ανάμεσα στους τροφοδοτές είναι κλειστοί έτσι ώστε το σύστημα τροφοδοσίας να ενώνεται ανάμεσα στους υποσταθμούς. Αυτό συμβαίνει σπανίως επειδή έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα δαπανηρό και χωρίς άριστα αποτελέσματα. Ένα δίκτυο διανομής σχεδόν πάντα περιλαμβάνει συμπλέγματα ακτινικών τροφοδοσιών και ένα δευτερεύον δικτυωτό σύστημα (ένα δικτυωτό πλέγμα από ηλεκτρικά ισχυρούς αγωγούς που συνδέουν όλους μαζί τους πελάτες σε βασική τάση χρησιμοποίησης). Τα δικτυωτά συστήματα είναι πολύ πιο ακριβά από τα ακτινικά συστήματα διανομής, αλλά όχι πάντα. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου η πυκνότητα του φορτίου είναι πολύ υψηλή, η διανομή πρέπει να τοποθετηθεί υπόγεια με συνέπεια οι επισκευές και η συντήρηση να είναι επίπονες λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δίκτυα αυτής της μορφής να κοστίζουν ακριβότερα από τα κυκλικά συστήματα. Τα δικτυωτά συστήματα απαιτούν μόλις μια μικρή ποσότητα χωρητικής αγωγιμότητας μεγαλύτερη από ένα κυκλικό σύστημα.

Το κύριο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι είναι πολύ πιο περίπλοκα από όλες τις υπόλοιπες μορφές διανομής και έτσι είναι πολύ δύσκολα στην ανάλυση και τη σχεδίαση. Επειδή δεν υπάρχει μια μονομερής κατεύθυνση ανάμεσα στις μονάδες του εξοπλισμού όπως στα ακτινικά δίκτυα, το φορτίο δεν μπορεί να υπολογιστεί με την απλή πρόσθεση των καταναλωτών που βρίσκονται υπό φορτίο, ούτε μπορεί να ευρεθεί η κατεύθυνση της ροής φορτίου. Τα φορτία, η ροή ενέργειας, τα ρεύματα σφάλματος και η προστασία πρέπει να καθορίζονται από τεχνικούς του δικτύου. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι απαιτούνται πολύπλοκοι υπολογισμοί, καθώς ένα τεράστιο δίκτυο διανομής μπορεί να αποτελείται από 50,000 ή περισσότερους κόμβους.

2.3 Αγωγοί εναέριων δικτύων

Οι αγωγοί πρέπει να αντέχουν στη μηχανική και στη θερμική καταπόνηση και στην περίπτωση της μέσης τάσης να μην προκαλούν απώλειες Κορώνα (Corona-ηλεκτρική διάσπαση του αέρα περί τον αγωγό). Η πεδιακή ένταση πέραν της οποίας αρχίζει η εκκένωση Κορώνα, εξαρτάται από την διάμετρο του αγωγού και είναι 21 έως 27 kV/cm σε ενεργό τιμή. Σαν αγωγούς χρησιμοποιούμε πολύκλιωνα συρματόσχοινα, για λόγους ευκαμψίας. Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι χωρίς μόνωση και κατασκευάζονται από χαλκό (Cu), αλουμίνιο (Al) ή αλουμίνιο-χάλυβα (ACSR). Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί από άλλα υλικά και κράματα (π.χ. από γαλβανισμένο χάλυβα, φωσφορούχο ορείχαλκο κλπ.). Στη χαμηλή τάση εκσυγχρονίζονται πλέον τα δίκτυα μέσω συνεστραμμένων καλωδίων.

Τα κύρια υλικά είναι τα παρακάτω:

- Χαλκός εφελκυσμένος εν ψυχρώ.
- Αλουμίνιο, το οποίο είναι ή καθαρό αλουμίνιο 99,9% και λέγεται αλουμίνιο ηλεκτροτεχνίας E-Al, ή το κράμα αλουμινίου Aldrey με περίπου εκατοστιαία σύνθεση: 0,3-0,5 Mg, 0,4-0,7 Si, 0,3 Fe και το υπόλοιπο αλουμίνιο.
- Σύνθετοι αγωγοί αλουμινίου-χάλυβα Al/St. Έχουν και την ονομασία Aluminum Coated Steel Reinforced Conductors ή ACSR αγωγοί.

Οι αγωγοί κατασκευάζονται μονόκλωνοι ή πολύκλωνοι. Στα εναέρια δίκτυα δεν χρησιμοποιούνται μονόκλωνοι αγωγοί, γιατί έχουν πολύ μικρότερη μηχανική αντοχή από τους πολύκλωνους. Επίσης οι μονόκλωνοι είναι δύσκαμπτοι και η διατομή τους είναι μέχρι 16 mm². Οι αγωγοί χαλκού και αλουμινίου αποτελούνται από κλώνους της ίδιας διατομής και

παίρνουν τη μορφή των συρματόσχοινων. Οι αριθμοί των κλώνων είναι κυρίως 7, 19, 37, 61 κλπ.

Αν θέσω k τον αριθμό των κλώνων και n τον αριθμό των στρώσεων γύρω από τον κεντρικό αγωγό, τότε ισχύει:

$$k=1+3n*(n+1) \quad (2.1)$$

π.χ. αν $n=2$ τότε: $k=1+3*2(2+1)=1+18=19$ δηλαδή ο αγωγός αποτελείται από 19 κλώνους.

Αν κάθε κλώνος έχει διάμετρο d , τότε ο αγωγός έχει διάμετρο D και ισχύει η σχέση:

$$D=d*(2n+1) =5*d \quad (2.2)$$

δηλαδή αν $d=2\text{mm}$ τότε: $D=5*2=10\text{mm}$

Η διατομή του αγωγού δεν μπορεί να βρεθεί με τον τύπο $S=\pi*D^2/4$, γιατί μεταξύ των αγωγών υπάρχουν διάκενα. Πρώτα υπολογίζουμε τη διατομή κάθε σύρματος (κλώνου):

$$S= \pi*d^2/4 \quad (2.3)$$

και στο παράδειγμα $S= \pi*2^2/4=3,14\text{mm}^2$

και κατόπιν βρίσκουμε τη συνολική διατομή:

$$S_{ολ}=k*S \quad (2.4)$$

και στο παράδειγμα $S_{ολ}=k*S=19*3,14\text{mm}^2=59,66 \text{mm}^2$

Οι παραπάνω τύποι δεν μπορούν να εφαρμοστούν στους αγωγούς αλουμινίου-χάλυβα (ACSR), γιατί η διάμετρος των χαλύβδινων συρμάτων είναι διαφορετική από την διατομή των συρμάτων αλουμινίου.

2.3.1 Αγωγοί από Χαλκό

Ο χαλκός έχει μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα και καλή μηχανική αντοχή. Η αγωγιμότητα του μειώνεται όταν έχει ξένες προσμίξεις. Επίσης μειώνεται λίγο η αγωγιμότητά του όταν κατεργαστεί εν ψυχρώ. Αυτό όμως του δίνει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Ένα άλλο πλεονέκτημά του είναι ότι δεν διαβρώνεται εύκολα και για αυτό χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε δίκτυα που είναι κοντά στη θάλασσα. Σήμερα, επειδή το αλουμίνιο έχει μικρότερο κόστος αντικαθιστά το χαλκό κυρίως στους αγωγούς των εναέριων δικτύων.

2.3.2 Αγωγοί από Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο είναι τρεις φορές ελαφρύτερο από τον χαλκό και έχει και μικρότερο κόστος, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω. Μειονεκτεί όμως στο γεγονός ότι έχει το 60% περίπου της αγωγιμότητας του χαλκού, καθώς και μόνο το 50% της μηχανικής αντοχής του. Έτσι ένας αγωγός αλουμινίου με ισοδύναμη διατομή με αγωγό από χαλκό έχει το 1/2 του βάρους του και διάμετρο μεγαλύτερη κατά 1,6 φορές (60% μεγαλύτερη). Τα παραπάνω μας δείχνουν ότι ο

αγωγός από αλουμίνιο δέχεται μεγαλύτερες επιφορτίσεις από τον άνεμο και τον πάγο λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειάς του, αλλά συγχρόνως περιορίζονται σε αυτόν οι απώλειες από το φαινόμενο Corona.

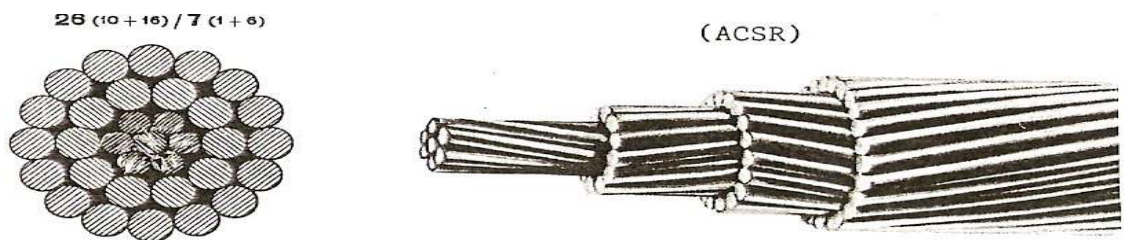
Το αλουμίνιο με κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες οξειδώνεται (σκουριάζει) επιφανειακά. Το στρώμα της οξείδωσης είναι πολύ λεπτό και προστατεύει τον αγωγό από την παραπέρα οξείδωση. Κοντά στη θάλασσα όμως (σε απόσταση μέχρι 1Km περίπου) διαβρώνεται από το αλάτι που περιέχεται στον αέρα, σε βάθος μέχρι 3mm. Οι αγωγοί αλουμινίου χρησιμοποιούνται κύρια στις γραμμές χαμηλής τάσης και μακριά από τη θάλασσα. Στις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης δεν χρησιμοποιούνται γιατί έχουν μικρή μηχανική αντοχή (οι πυλώνες απέχουν πολύ μεταξύ τους και οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις στους αγωγούς είναι πολύ μεγάλες).

2.3.3 Αγωγοί από Χάλυβα-Αλουμίνιο (ACSR)

Το μειονέκτημα των αγωγών αλουμινίου αντιμετωπίζεται με επιτυχία με τους αγωγούς ACSR. Αυτοί έχουν ψυχή από κλώνους με γαλβανισμένο χάλυβα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5. Ο χάλυβας αναλαμβάνει τη μηχανική αντοχή και το αλουμίνιο το μεγαλύτερο μέρος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ρεύμα οδεύει κυρίως μέσα από το αλουμίνιο, δηλαδή το ρεύμα μέσα από το χάλυβα είναι αμελητέο.

Οι αγωγοί ACSR έχουν περίπου 50% μεγαλύτερη αντοχή από τους αγωγούς χαλκού και είναι 20% ελαφρύτεροι για ισοδύναμη διατομή με το χαλκό. Χρησιμοποιούνται στις γραμμές υψηλής τάσης γιατί μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερο άνοιγμα των πυλώνων (απόσταση μεταξύ των πυλώνων). Επίσης είναι πιο φθηνοί και παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες λόγω του φαινομένου Corona.

Οι αγωγοί ACSR χαρακτηρίζονται κατά DIN ως εξής: Al/St = διατομή του Al/ διατομή του St. Παραδείγματος χάρη, Al/St 185/32 σημαίνει αγωγός με 185 mm² Al και 32 mm² St. Σε σύνθετους αγωγούς η σχέση διατομών Al/St είναι συνήθως ίση με 6, ενώ σε μεγάλες διατομές μπορεί να φτάσει και το 20. Οι πολύκλωνοι ACSR αγωγοί αποτελούνται από 1 έως 3 στρώματα χαλύβδινων συρμάτων και 1 έως 3 στρώματα αλουμινίου. Τα σύρματα είναι συνεστραμμένα και μάλιστα η διεύθυνση συστροφής είναι αντίθετη σε δυο γειτονικά στρώματα, πράγμα που εξασφαλίζει μια καλή συνοχή του συρματόσχοινου.



Σχήμα 2.4: Μορφή αγωγών Αλουμινίου-Χάλυβα (ACSR)

Συνήθως, στον χαρακτηρισμό των αγωγών ACSR ή αλουμινίου, δίνεται και η ισοδύναμη διατομή χαλκού. Αυτή είναι η διατομή που θα είχε ένας αγωγός ίσης αντίστασης, αν κατασκευαζόταν από χαλκό. Οι ωμικές αντιστάσεις των πολύκλωνων αγωγών προκύπτουν από την ονομαστική διατομή τους. Η αγωγιμότητα που πρέπει να ληφθεί στους υπολογισμούς είναι διαφορετική απ' ό,τι η αγωγιμότητα του καθαρού υλικού. Η μηχανική επεξεργασία και η συστροφή των αγωγών αυξάνουν την αντίσταση του αγωγού.

Για πολύκλωνους αγωγούς κατά DIN 4820 και θερμοκρασία 20°C είναι:

$$K_{Cu} = 54,13 \Omega/\text{mm}^2$$

$$K_{Al} = 34,15 \Omega/\text{mm}^2$$

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΥΜΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ				
Διατομή Αγωγών mm ²	Βάρος Kg/m	Διάμετρος mm	Κλώνοι mm	Φορτίο θραύσεως Kg
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΣΑΛΥΒΑΙΝΗ ΨΥΧΗ (ACSR)				
16	0,102	6,96	6Al/1St/2,32	950
35	0,224	10,32	6Al/1St/3,44	2000
50	0,321	12,33	6Al/1St/4,11	2800
95	0,609	17,24	26/2,72Al+7/2,12St	5650
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΣΑΛΥΒΑΙΝΗ ΨΥΧΗ (ACSR-R)				
16	0,372	10,32	3Al/4St/3,44	4635
ΑΓΩΓΟΙ ΕΚ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (AAAC)				
35	0,098	7,50	7/2,50	980
70	0,189	10,50	19/2,10	1880
95	0,269	12,50	19/2,50	2670
185	0,525	17,50	37/2,50	5170
ΑΓΩΓΟΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (Al)				
16	0,074	6,63	7/2,21	470
35	0,158	9,66	7/3,22	940
50	0,229	11,75	19/2,35	1442
70	0,320	13,90	19/2,78	2018
ΑΓΩΓΟΙ ΧΑΛΚΟΥ (Cu)				
16	0,144	5,13	7/1,71	739
35	0,315	7,59	7/2,53	1566
50	0,453	9,20	19/1,83	2299
70	0,634	10,70	19/2,17	3162
Σημείωση:				
Οι διατομές αγωγών ACSR, ACSR-R και Al είναι ισοδύναμοι Χαλκού. Οι διατομές των αγωγών Χαλκού και AAAC είναι πραγματικές. Η ανοχή του βάρους των αγωγών είναι +2%.				

Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστικά γυμνών αγωγών εναέριων γραμμών

2.4 Στύλοι εναέριων δικτύων Μ/Τ

Για τη στήριξη των αγωγών σε ένα εναέριο δίκτυο χρησιμοποιούνται:

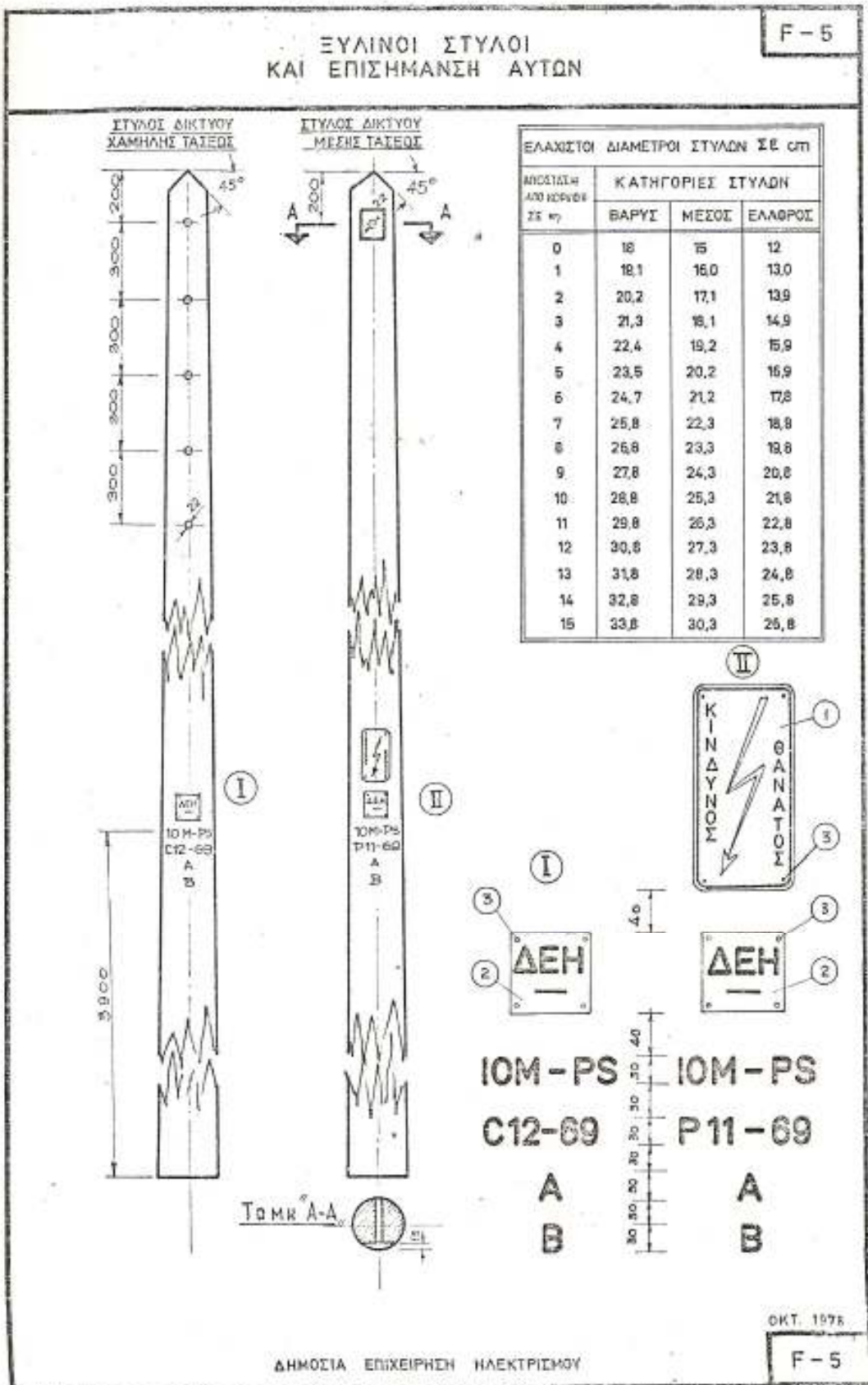
- Ξύλινοι στύλοι ή από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), για την χαμηλή τάση και τη μέση τάση (σπάνια χρησιμοποιούνται μεταλλικοί).
- Πυλώνες (χαλύβδινοι πύργοι) από γωνιακά ελάσματα για την υψηλή και υπερύψηλη τάση, καθώς και μεταλλικοί στύλοι σε χρωματισμούς που εναρμονίζονται με το περιβάλλον.

2.4.1 Ξύλινοι Στύλοι

Για την κατασκευή των ξύλινων στύλων χρησιμοποιούνται κορμοί κωνοφόρων δέντρων. Η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από την ποιότητα της ξυλείας, την προέλευσή της, το έδαφος που θα τοποθετηθούν, καθώς και από την κατεργασία τους. Η κατεργασία τους είναι η εξής: γίνεται η ξήρανση των στύλων σε ξηραντήρια και μετά εμποτίζονται σε λέβητα με κρεόζωτο υπό πίεση 6-8 k_p/cm². Το τμήμα που πακτώνεται επικαλύπτεται με στρώμα πίσσας. Το μήκος τους είναι από 5 μέχρι και 15 μέτρα και πακτώνονται κατά το 1/6 του μήκους τους.

Στο τέλος μιας εναέριας γραμμής ή σε γωνίες του δικτύου τοποθετούνται επίτονοι ή αντηρίδες γιατί εκεί αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στους στύλους. Οι επίτονοι είναι συρματόσχοινα που ακυρώνονται είτε με ξυλοδοκό είτε με τσιμεντένια πλάκα. Τοποθετούνται πάντοτε εντατήρες ώστε το συρματόσχοινο να τανυστεί σωστά. Το συρματόσχοινο δένεται ψηλά στο στύλο. Όταν δεν έχουμε αρκετό χώρο μπορούν να αγκυρωθούν και σε οικοδομές. Όταν δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τον επίτονο κοντά, αλλά μόνο σε μεγάλη απόσταση, βάζουμε επίτονο κεφαλής. Οι αντηρίδες είναι ξύλινοι στύλοι και τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να στηρίζουν τους κύριους στύλους.

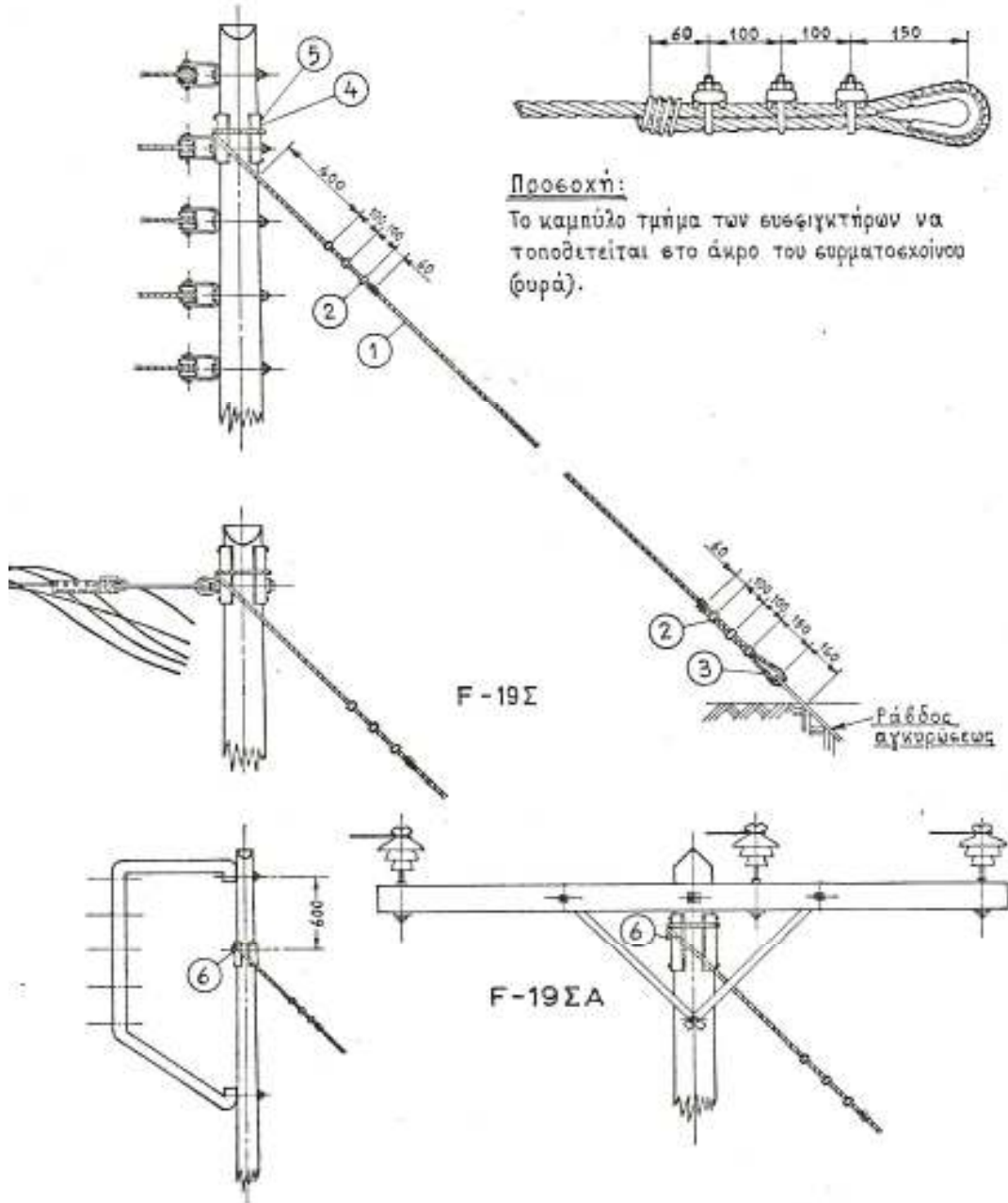
Στα παρακάτω σχήματα υπάρχουν τυποποιημένες κατασκευές από τις οδηγίες της Δ.Ε.Η. όσον αφορά τη μορφή, τη θεμελίωση στο έδαφος και τη χρήση επιτόνων και αντηρίδων στους ξύλινους στύλους.



Σχήμα 2.6α) Ξύλινοι Στόλοι : Επισήμανση

ΠΡΟΣΔΕΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΣ ΕΠΙΤΟΝΟΥ
ΞΥΛΙΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ

F-19Σ

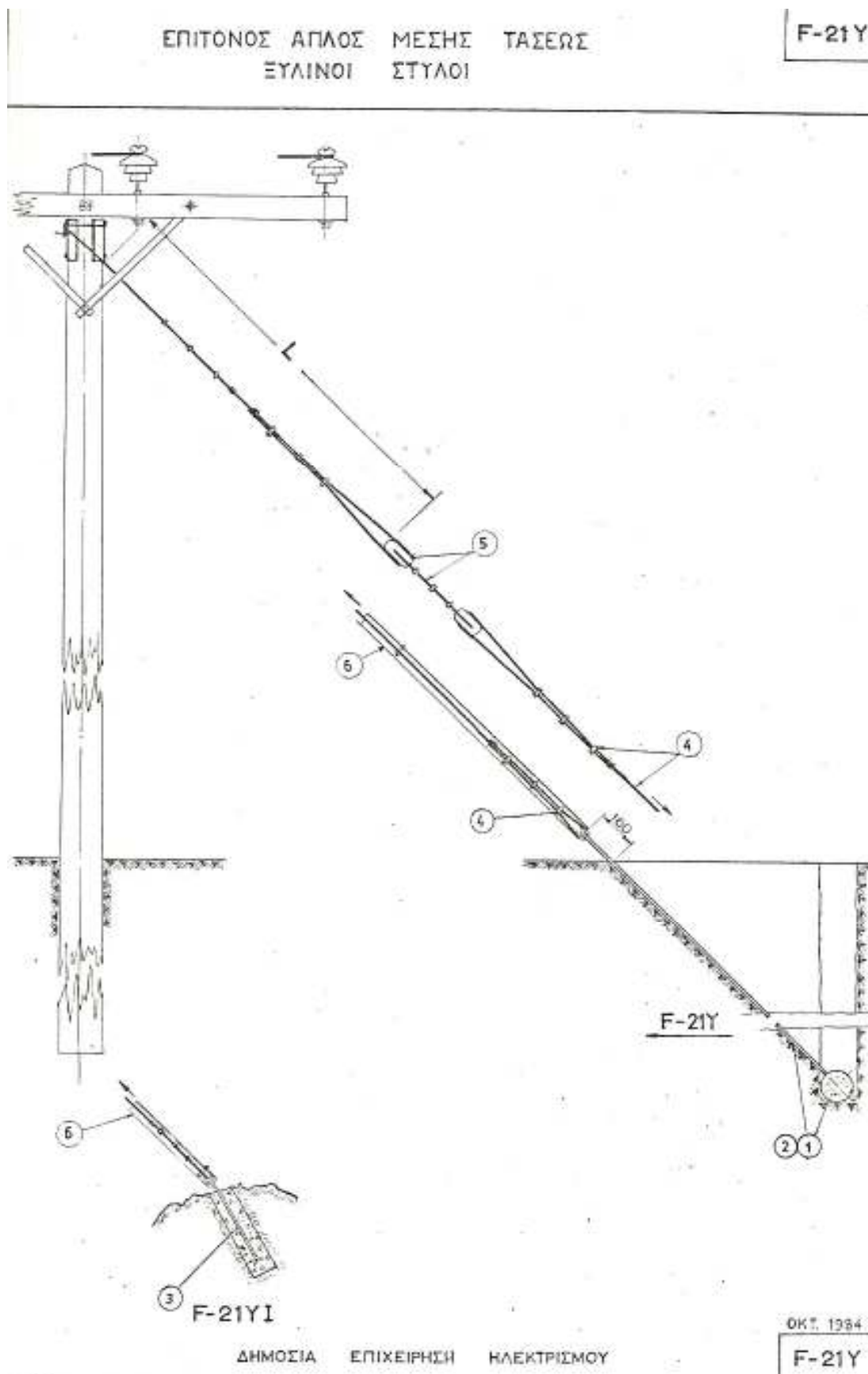


ΟΚΤ. 1984

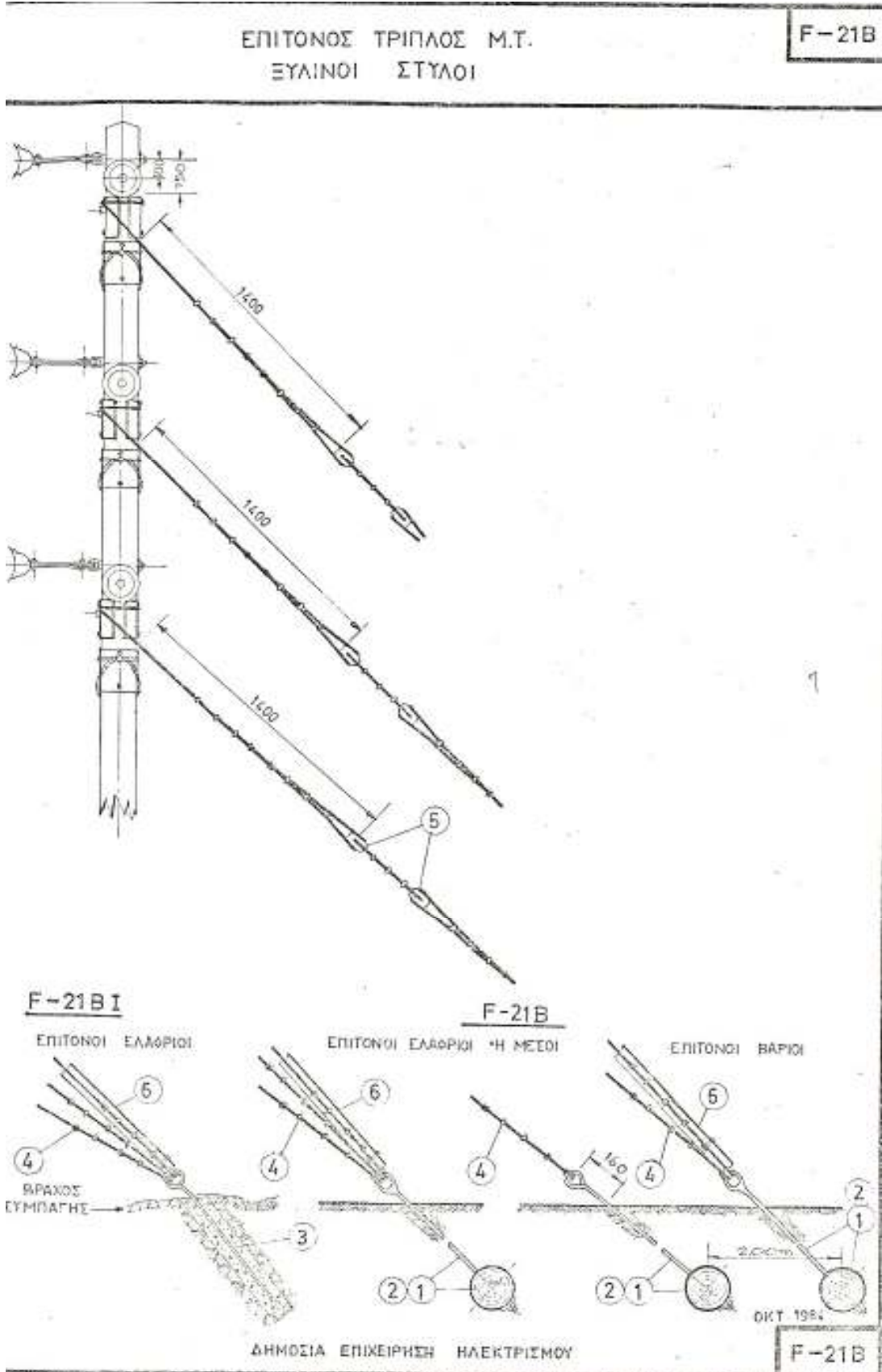
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

F-19Σ

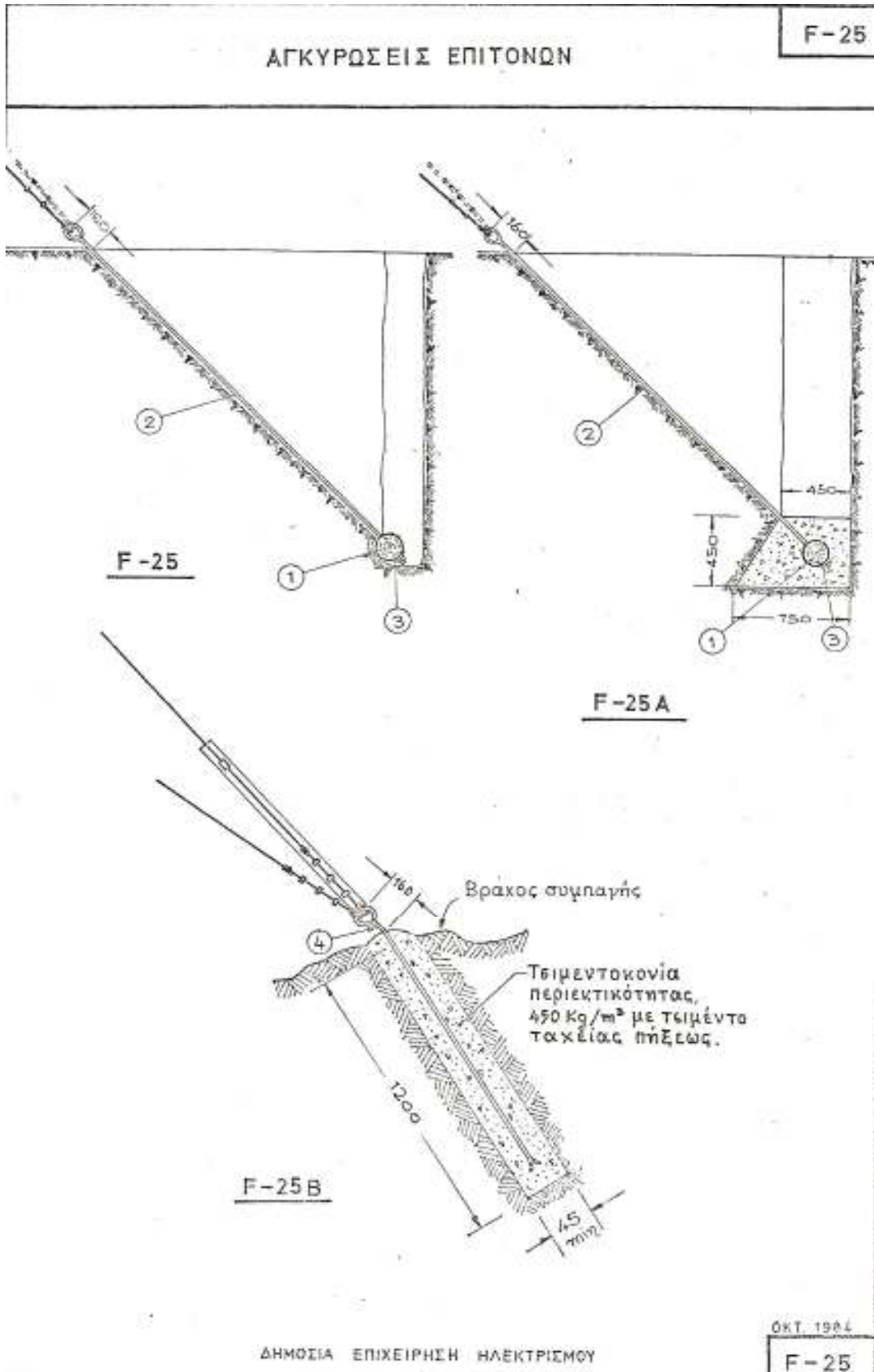
Σχήμα 2.6β) Ξύλινοι Στόλοι : Πρόσδεση σύρματος επίτονου



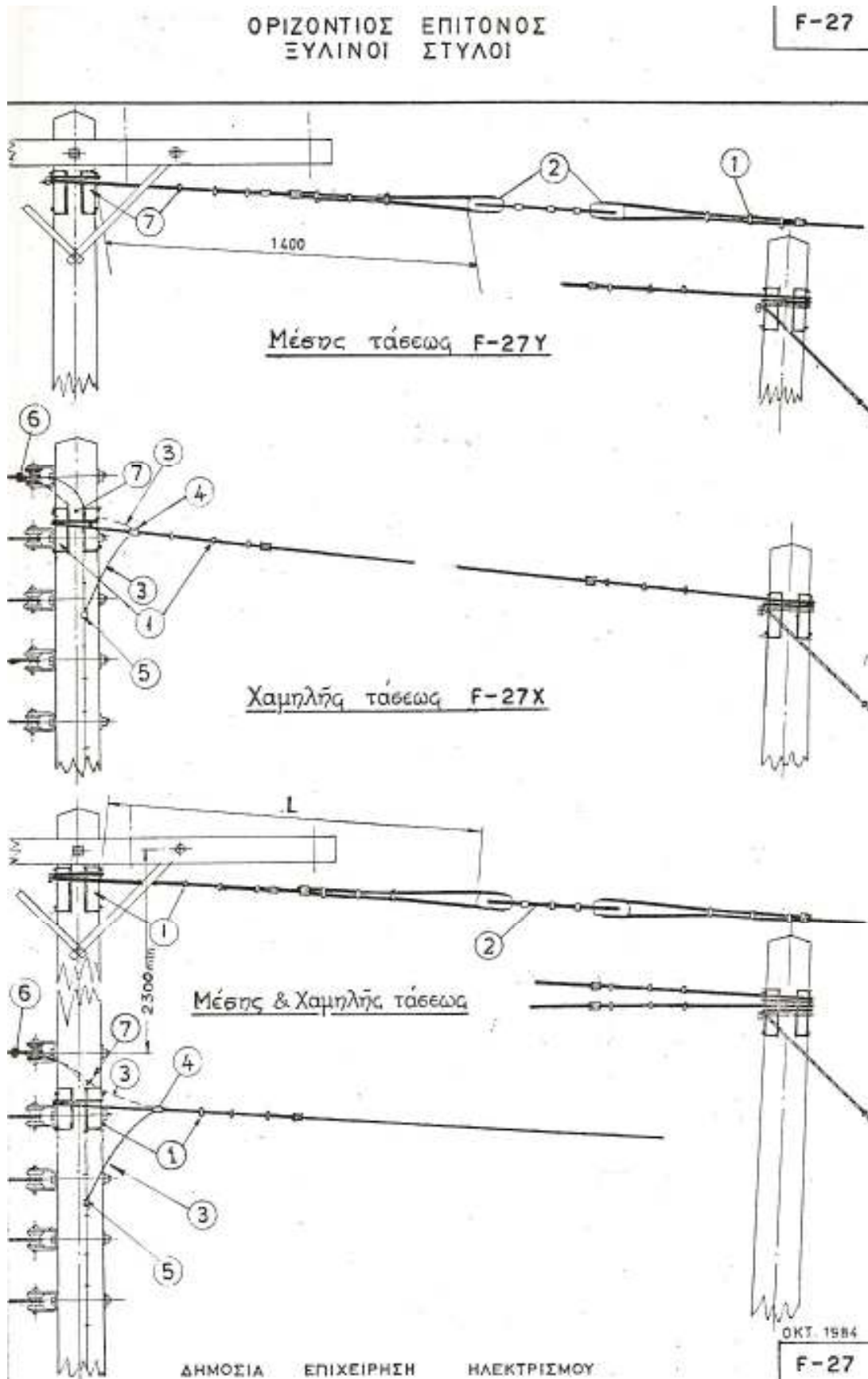
Σχήμα 2.6γ) Ξύλινοι Στόλοι : Επίτονος Απλός



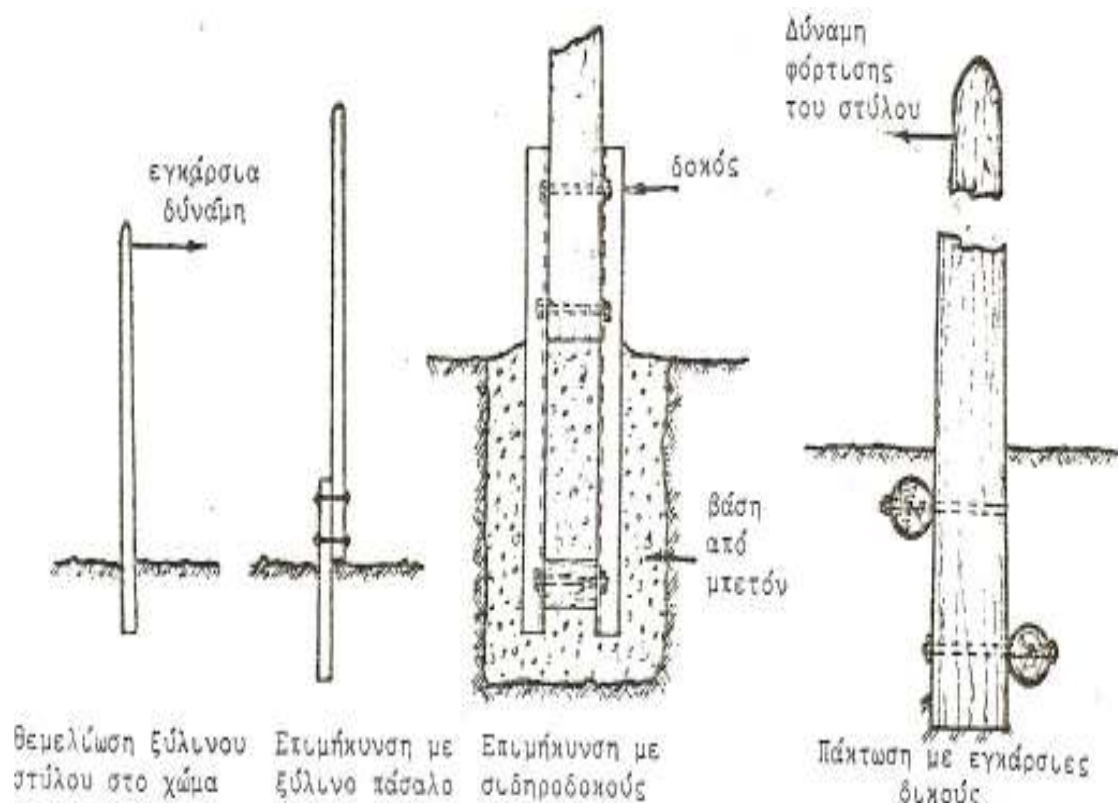
Σχήμα 2.6δ) Ξύλινοι Στύλοι : Επίτονος Τριπλός



Σχήμα 2.6ε) Ξύλινοι Στόλοι : Αγκυρώσεις επίτονων



Σχήμα 2.6στ) Ξύλινοι Στύλοι : Οριζόντιος επίτονος



Σχήμα 2.7: Θεμελιώσεις Ξύλινων Στύλων

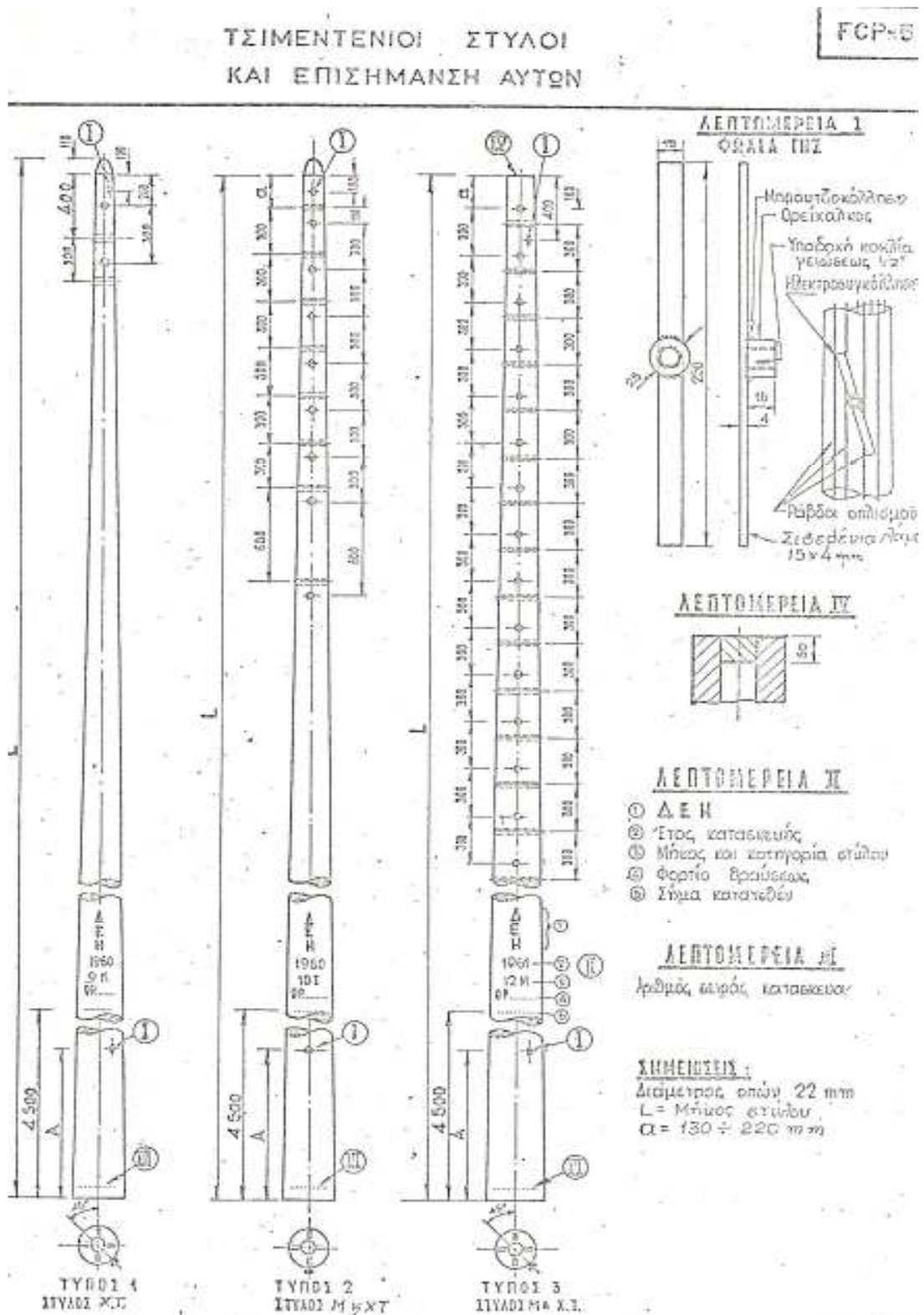
2.4.2 Στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα

Κατασκευάζονται κυρίως με φυγοκέντριση. Μέσα σε ειδικό καλούπι τοποθετούνται ο σιδερένιος οπλισμός και το σκυρόδεμα και μετά αρχίζει η φυγοκέντριση του καλουπιού. Η ποιότητά τους είναι ελεγχόμενη και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους ξύλινους. Μειονεκτούν στο ότι έχουν μεγαλύτερο βάρος από τους ξύλινους και παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην τοποθέτηση. Παρακάτω στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι διάφοροι τύποι στύλων.

Πίνακας 2.1: Φυγοκεντρικοί στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος

Κατηγορία στύλων	Σύμβολο	Φορτίο θραύσεως (Kg)	Μεγίστη διάμετρος κορυφής (cm)	Αύξηση διαμέτρου (cm/m)
Νάνος	N	390	12,5	1,5
Ελαφρός	E	600	14,5	1,5
Μέσος	M	1200	17,5	1,5
Βαρύς	B	2550	26,5	1,5
Λίαν Βαρύς	ΛΒ	3800	26,5	1,5
Εξαιρετικά Βαρύς	ΕΒ	5100	26,5	1,5
Γολιάθ	Γ	6600	35,5	1,5

Στα παρακάτω σχήματα υπάρχουν τυποποιημένες κατασκευές από τις οδηγίες της Δ.Ε.Η. όσον αφορά τη μορφή, τη θεμελίωση στο έδαφος και τη χρήση επιτόνων και αντηρίδων στους τσιμεντένιους στύλους.

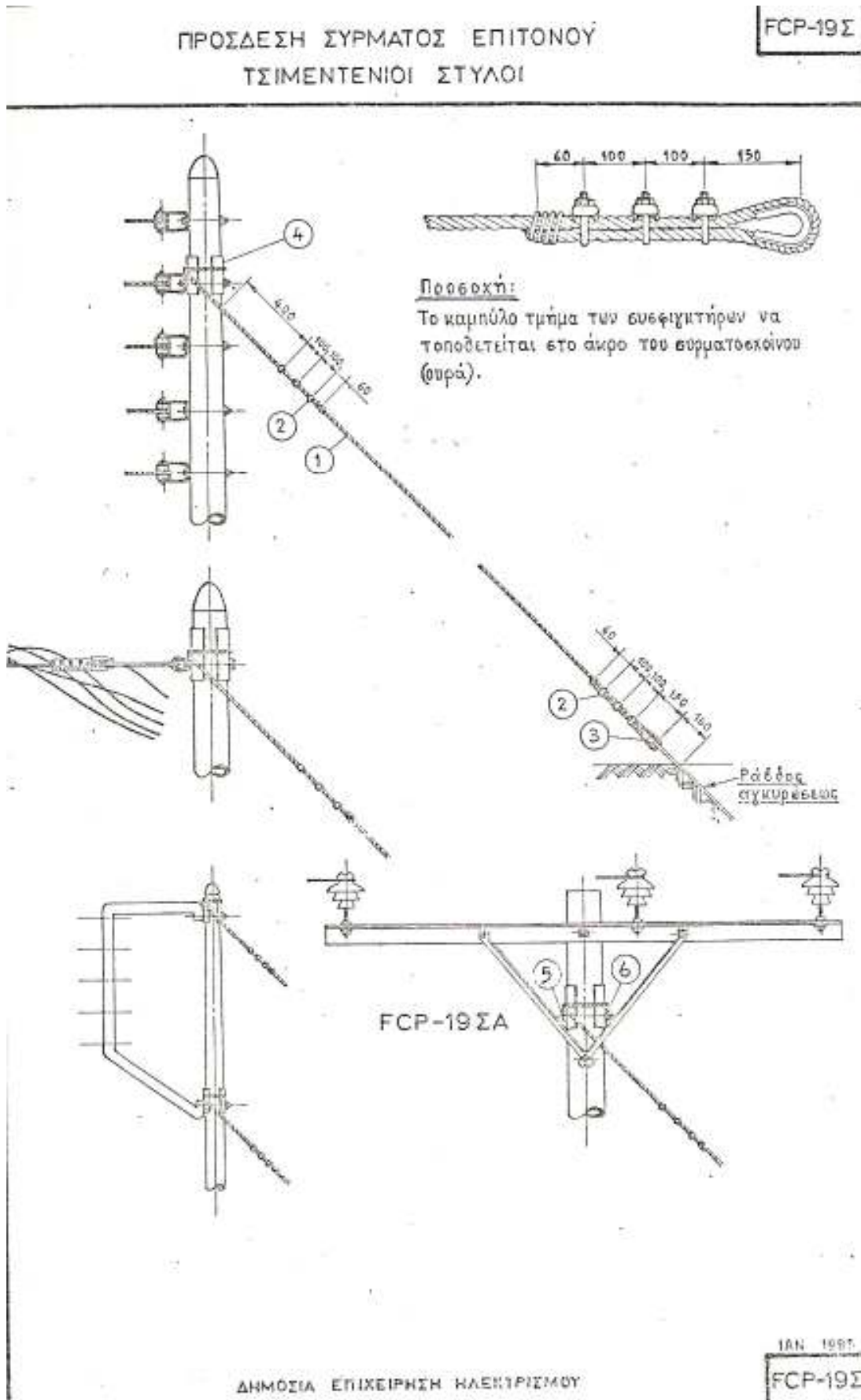


ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

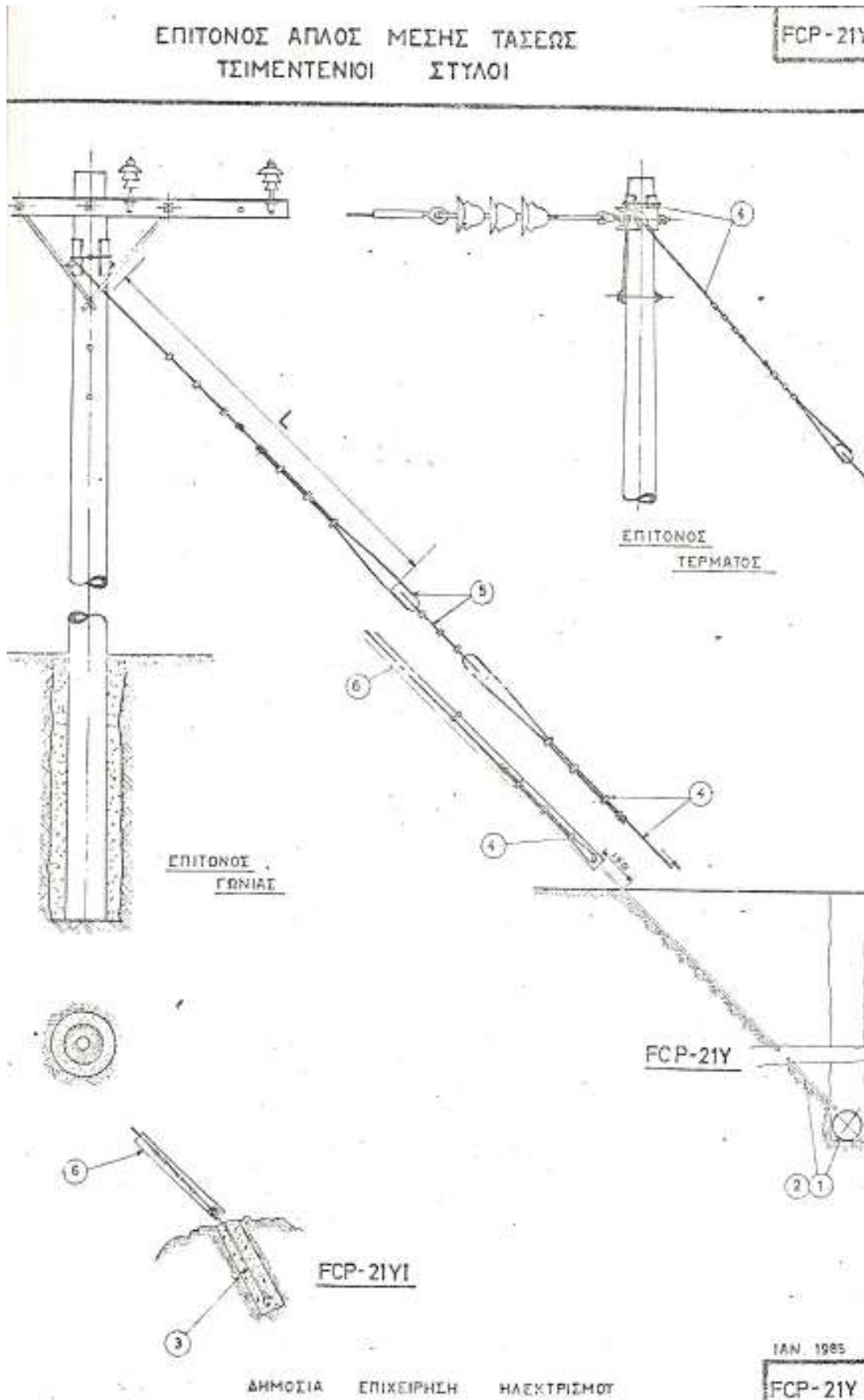
ΑΘΗΝΑ 1983

FCP-5

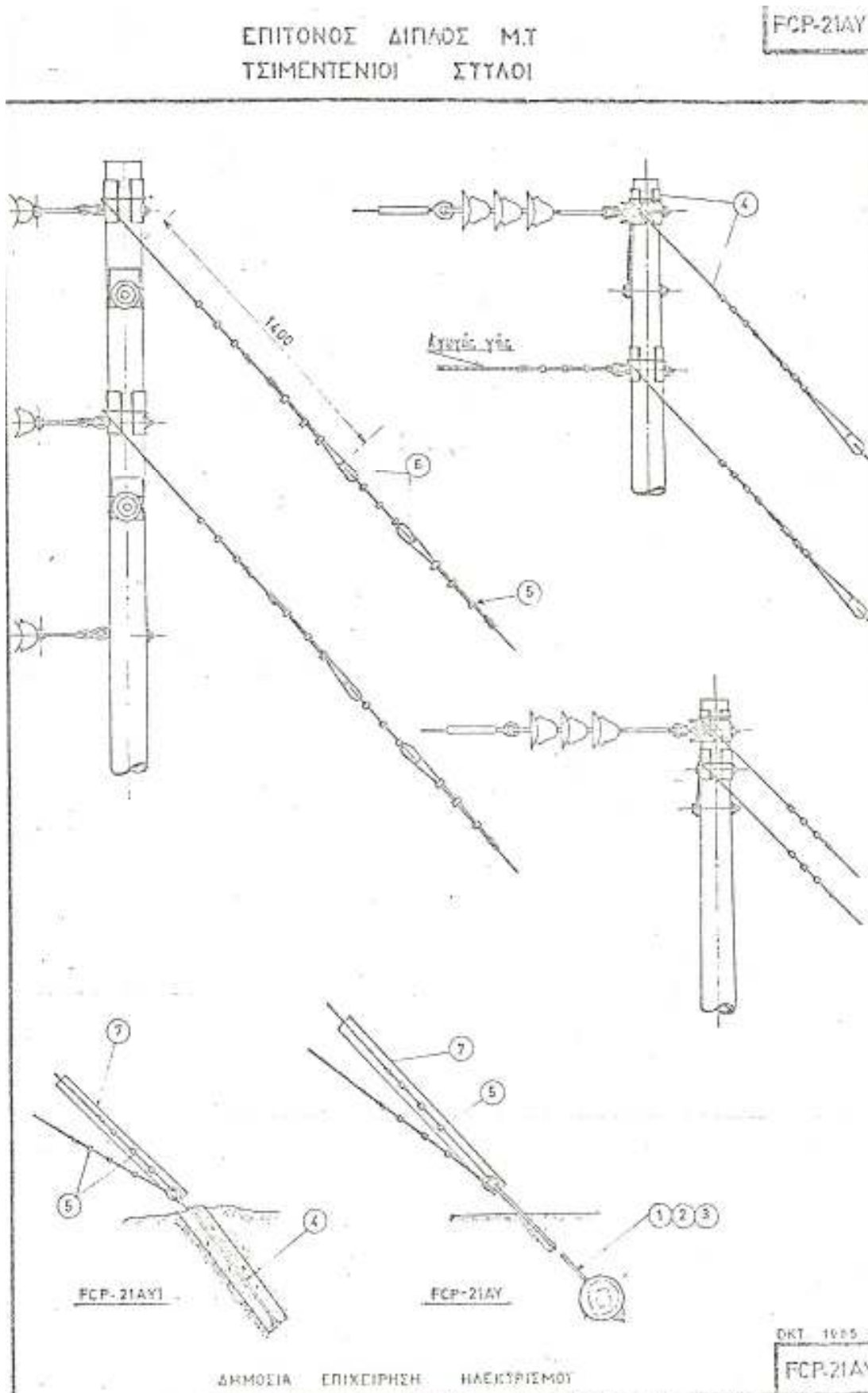
Σχήμα 2.8α) Τσιμεντένιοι Στύλοι : Επισήμανση



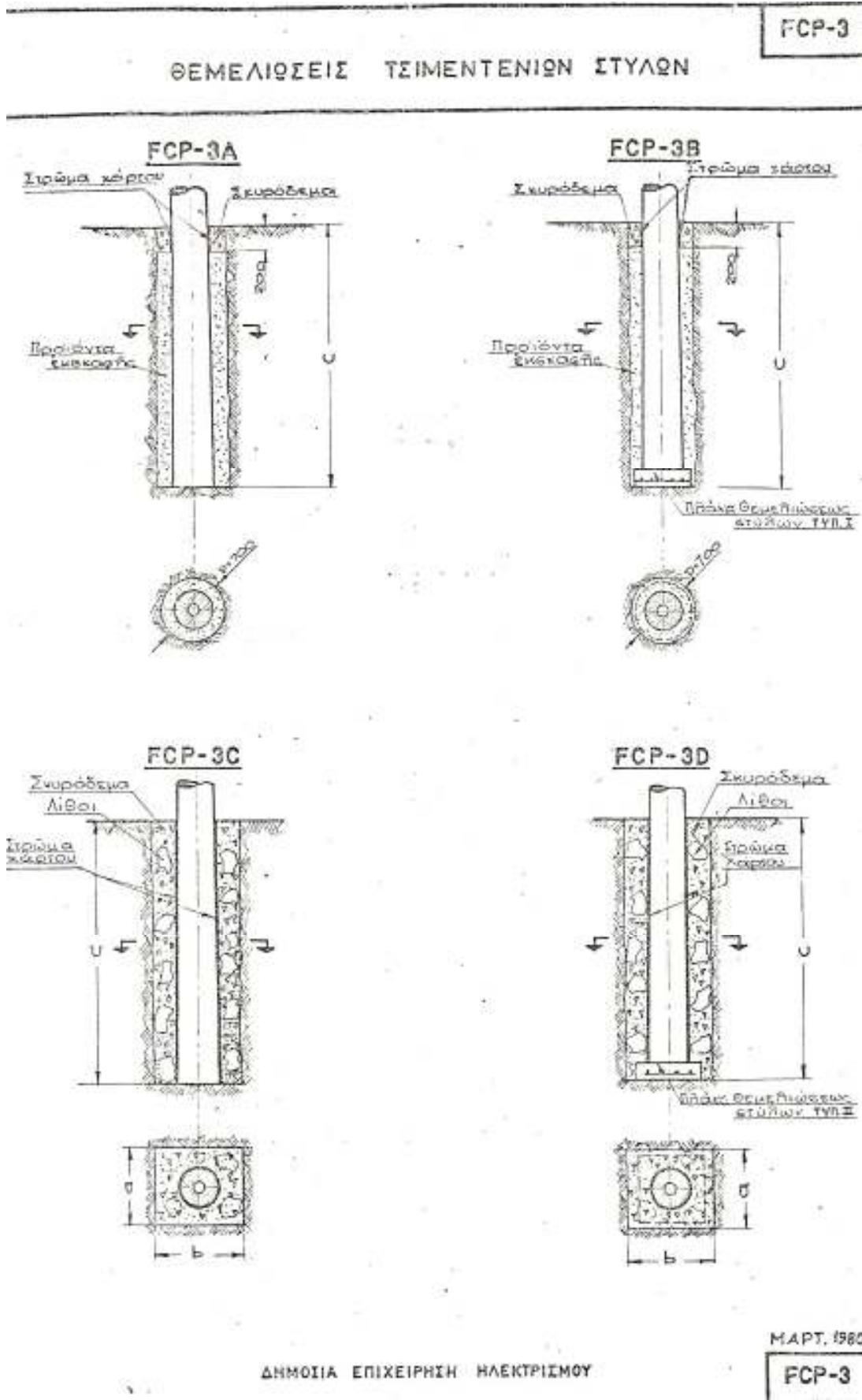
Σχήμα 2.8β) Τσιμεντένιοι Στύλοι : Πρόσδεση σύρματος επίτονου



Σχήμα 2.8γ) Τσιμεντένιοι Στύλοι : Επίτονος Απλός

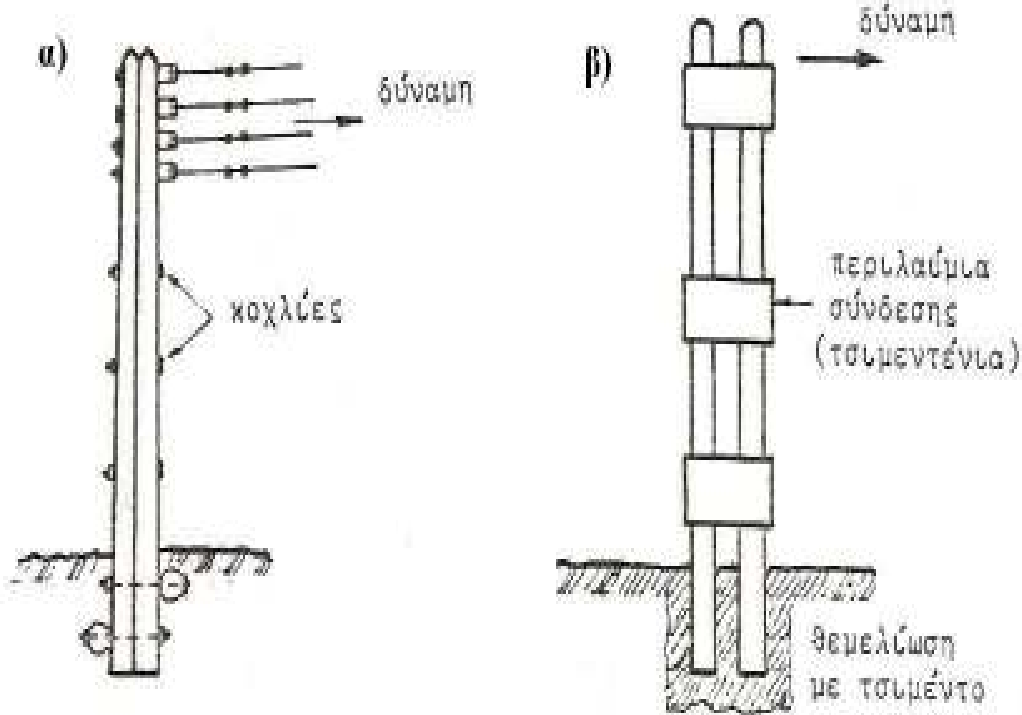


Σχήμα 2.8δ) Τσιμεντένιοι Στόλοι : Επίτονος Διπλός



Σχήμα 2.8ε) Τσιμεντένιοι Στύλοι : Θεμελιώσεις Στύλων

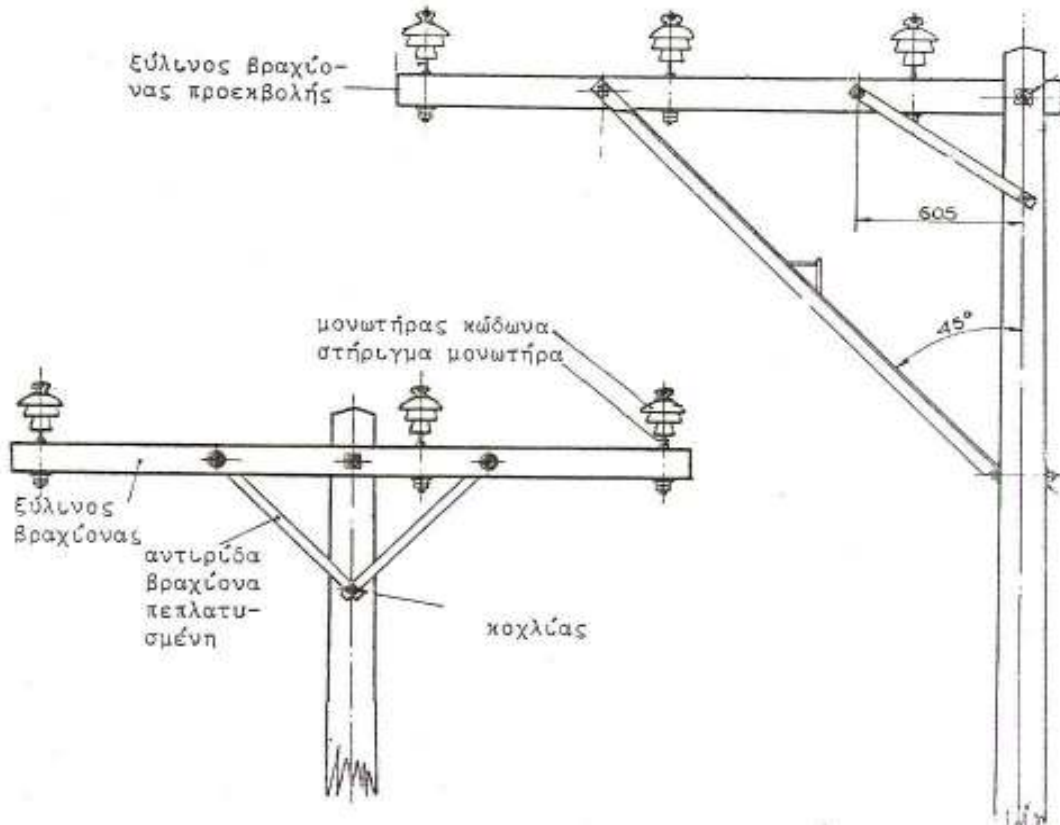
Τέλος, να σημειωθεί ότι πολλές φορές γίνεται χρήση των Δίδυμων στύλων, δηλαδή 2 στύλοι μαζί. Χρησιμοποιούνται από τη Δ.Ε.Η. όταν είναι αδύνατη η χρησιμοποίηση επιτόνου ή αντηρίδας. Στο σχήμα 2.9α) φαίνονται οι ξύλινοι στύλοι που συνδέονται με κοχλίες και στο 2.9β) οι τσιμεντένιοι που δένονται με περιλαίμια σύνδεσης (τσιμεντένια). Οι τσιμεντένιοι στύλοι χρησιμοποιούνται στις γραμμές μεταφοράς των 66 Κv.



Σχήμα 2.9: Δίδυμοι στύλοι α) ξύλινοι και β) τσιμεντένιοι

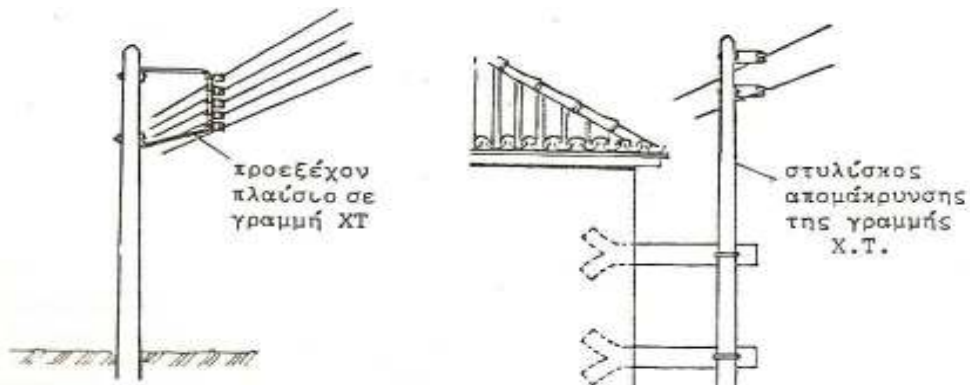
2.4.3 Βραχίονες στύλων (τραβέρσες) και πλαίσια

Στη Μ.Τ. οι μονωτήρες στηρίζονται στους βραχίονες (ή τραβέρσες), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.10: Βραχίονες στη Μ.Τ.

Στη Μ.Τ. οι μονωτήρες τοποθετούνται κυρίως σε οριζόντια διάταξη. Στη Χ.Τ. οι μονωτήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφη διάταξη. Όταν η απόσταση από τα σπίτια, καταστήματα κλπ. είναι μικρότερη από αυτήν που καθορίζουν οι κανονισμοί τοποθετούνται πλαίσια. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούνται και οι στυλίσκοι παροχής.



Σχήμα 2.11: Πλαίσια και στυλίσκοι στις γραμμές Χ.Τ.

2.5 Υλικά Εναέριων Δικτύων

Τα κυριότερα υλικά που τοποθετούνται στις εναέριες γραμμές και συντελούν στην μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι: οι μονωτήρες, τα εξαρτήματα σύνδεσης μεταξύ των αγωγών, τα εξαρτήματα ανάρτησης των αγωγών, τα αλεξικέραυνα, οι βραχίονες των στύλων (ή τραβέρσες) και τα πλαίσια, οι αποσβεστήρες δονήσεων κ.α. Στη συνέχεια εξετάζουμε το καθένα ξεχωριστά.

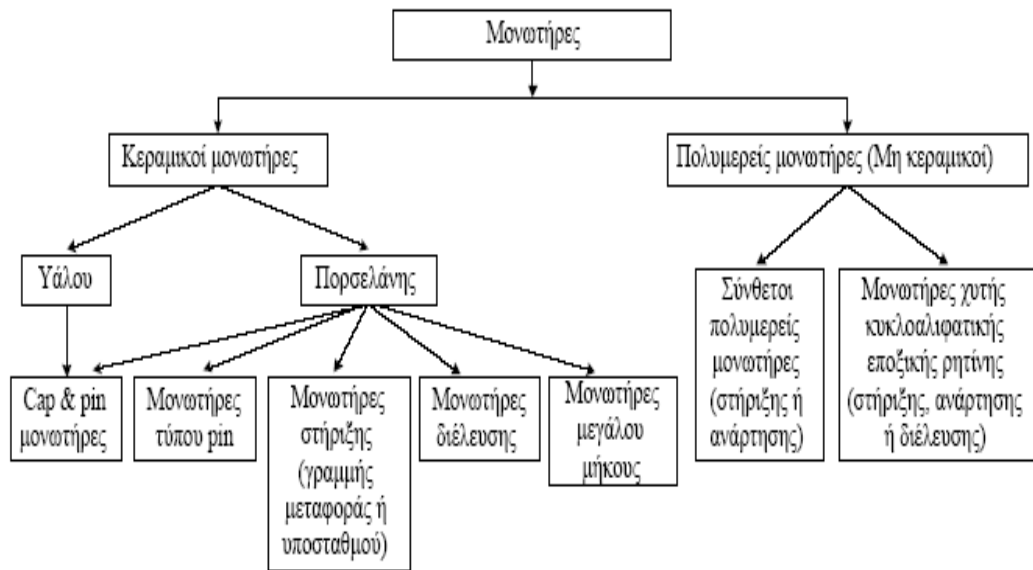
2.5.1 Μονωτήρες

Οι μονωτήρες χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας για να στηρίζουν τους αγωγούς και να εξασφαλίζουν την διηλεκτρική αντοχή μεταξύ αγωγών και αγωγών προς γη. Οι μονωτήρες πρέπει να καλύπτουν τόσο ηλεκτρικές, όσο και μηχανικές λειτουργικές ανάγκες, οι οποίες συνήθως εμφανίζουν αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις κατά τη σχεδίαση.

Όλοι οι μονωτήρες έχουν εξωτερικές επιφάνειες οι οποίες κατά τη χρήση τους θα ρυπανθούν, σε διαφορετικό φυσικά βαθμό ανάλογα με την περιοχή τοποθέτησής τους. Το επιφανειακό στρώμα ενός αντιπροσωπευτικά ρυπασμένου μονωτήρα περιέχει αδρανή ορυκτή ύλη, ηλεκτρικά αγωγίμη σκόνη, όπως άνθρακα ή οξείδια μετάλλου, διαλυτά άλατα στο νερό και υγρασία. Το ρεύμα διαρροής, που μεταφέρεται μέσω του επιφανειακού στρώματος ρύπανσης, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, των ηλεκτροχημικών προϊόντων ηλεκτρόλυσης και των ηλεκτρικών μερικών εκκενώσεων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην υπερπήδηση του μονωτήρα και το σχηματισμό ηλεκτρικού τόξου στο περιβάλλον μέσο.

Οι παραπάνω επιπτώσεις καθορίζουν τόσο τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι μονωτήρες, όσο και το σχεδιασμό τους, ειδικά στις κατηγορίες των μονωτήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικό χώρο, εκτεθειμένο σε ατμοσφαιρική υγρασία και ρύπανση. Συνεπώς, οι ιδιότητες των κατασκευαστικών υλικών, η ικανότητά τους να λειτουργούν κάτω από δυσμενείς συνθήκες και φυσικά το κόστος είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο κατασκευής των μονωτήρων.

Οι μονωτήρες έχουν εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια προκειμένου να σχεδιαστούν κατάλληλα, ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις που υπαγορεύουν ηλεκτρολογικές, μηχανολογικές και περιβαλλοντολογικές παράμετροι. Έτσι, κατασκευάστηκαν μονωτήρες από διαφορετικό υλικό και διαφορετικού σχήματος. Μια ταξινόμηση των κύριων τύπων μονωτήρων, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, παρουσιάζεται στο σχήμα 2.12.



Σχήμα 2.12: Ταξινόμηση των Μονωτήρων

Στην περίπτωση της μέσης τάσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή των μονωτήρων είναι η πορσελάνη και το γυαλί.

Το συχνότερα χρησιμοποιούμενο μονωτικό υλικό στις διατάξεις των μονωτήρων είναι η πορσελάνη. Γενικά, οι ισχυροί ηλεκτροστατικοί δεσμοί πυριτίου–οξυγόνου που συγκρατούν τα κεραμικά υλικά (πορσελάνη και γυαλί) έχουν σαν αποτέλεσμα το υψηλό σημείο τήξης, τη μεγάλη μηχανική αντοχή (αλλά και το εύθραυστο) και, τέλος, υψηλή αντίσταση διάβρωσης από χημικά μέσα.

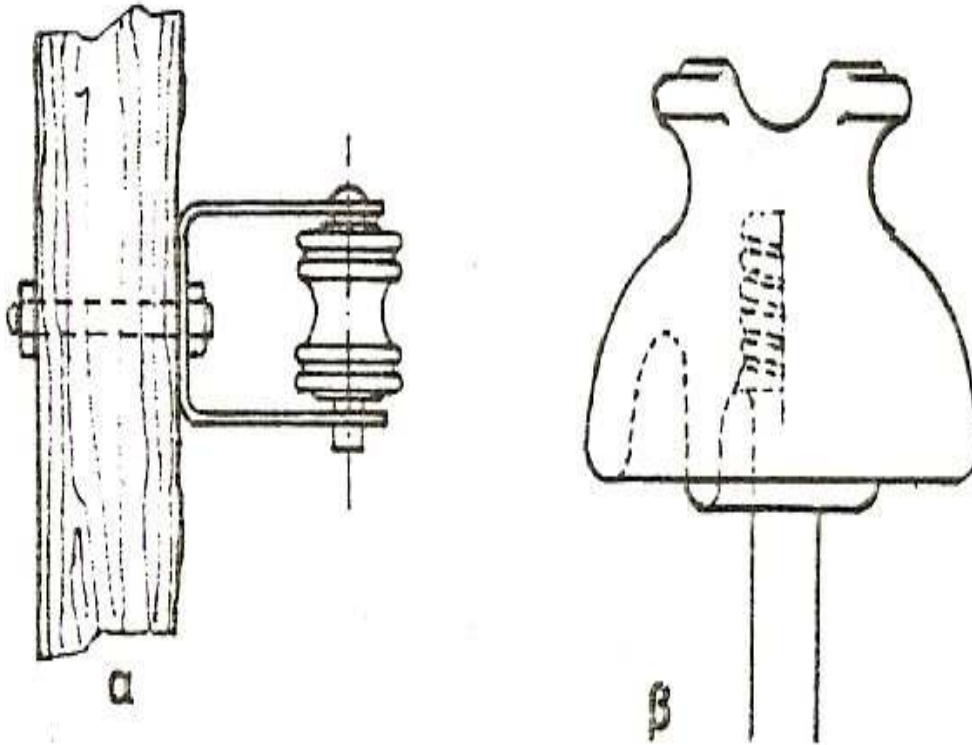
Σαν βασικότερο μειονέκτημα της πορσελάνης θα μπορούσε να καταγραφεί η δυσκολία και το υψηλό κόστος βιομηχανικής παρασκευής της σε συμπαγή τεμάχια με πάχος μεγαλύτερο από 2cm. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μονωτήρες πορσελάνης μέσης και υψηλής τάσης κατασκευάζονται συνήθως από περισσότερα τεμάχια που συγκολλούνται με τσιμέντο. Τέλος, ένα ακόμα σοβαρό μειονέκτημα της πορσελάνης, είναι το ότι η πορσελάνη μπορεί να υποστεί διάτρηση εσωτερικά χωρίς καμία εξωτερική ένδειξη και, έτσι, ο βαθμός της ενδεχόμενης βλάβης δεν είναι γνωστός μέχρι να επέλθει ολική συντριβή του μονωτήρα.

Οι πρώτες ύλες που, συνήθως, χρησιμοποιούνται για την παρασκευή γυαλιού σα μονωτικό υλικό είναι το πυρίτιο (περίπου σε ποσοστό 57%), ο ασβεστόλιθος (9%), το άνυδρο ανθρακικό νάτριο (14%) κ.α. Η βελτιωμένη μηχανική αντοχή του σκληρυμένου γυαλιού συγκριτικά με την πορσελάνη, επιτρέπει τη χρησιμοποίηση λεπτότερων δακτυλίων στις διατάξεις των δισκοειδών μονωτήρων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά το μήκος του ερπυσμού, ενώ η ονομαστική τάση λειτουργίας του μονωτήρα μπορεί να αυξηθεί σε ποσοστό μέχρι και 40%. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μονωτήρων γυαλιού είναι το ότι έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν σημαντική ενέργεια όταν οι τελευταίοι υπόκεινται σε μηχανικές καταπονήσεις. Όταν αυτή η ενέργεια απελευθερωθεί, όπως συνήθως συμβαίνει κατά την έντονη μηχανική κρούση ή ύστερα από την καθολική διάβρωση ενός στρώματος, τότε ολόκληρο το τεμάχιο διασπάται σε μικροσκοπικά κυβικά θραύσματα, τα οποία εκτοξεύονται με μεγάλη σφοδρότητα. Αυτός είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Αξίζει να τονισθεί πως το εύρος της βιομηχανικής εφαρμογής του μονωτήρα από γυαλί είναι περισσότερο περιορισμένο από

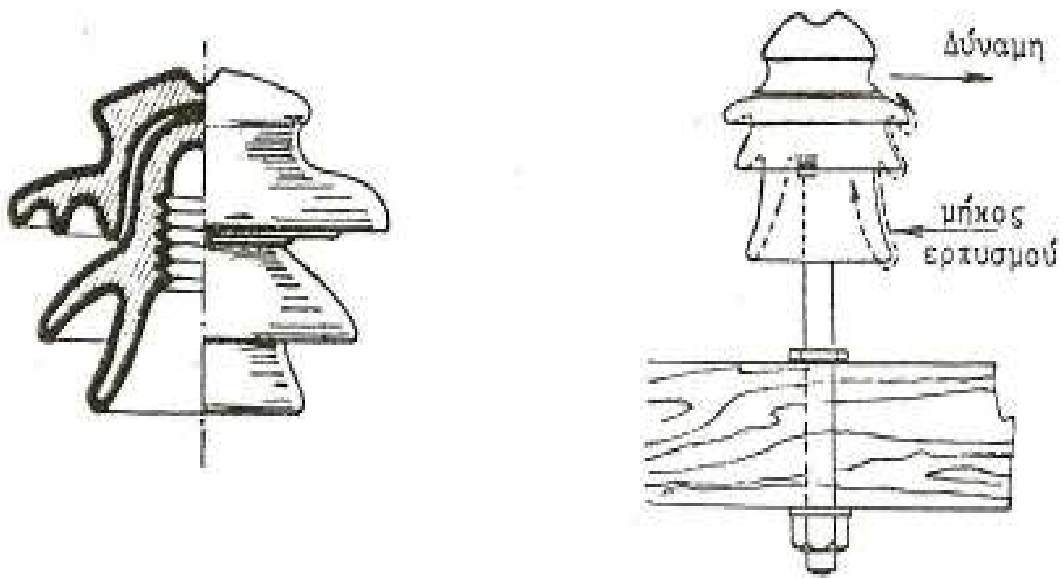
εκείνο του μονωτήρα πορσελάνης. Στις ηλεκτρολογικές εφαρμογές η χρήση του γυαλιού, το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση, περιορίζεται στους μονωτήρες τύπου “cap and pin” (ανάρτησης) ή σε εκείνους τους τύπους, όπως είναι οι μονωτικοί στύλοι στήριξης των σιδηροδρομικών δικτύων και οι στύλοι πολλαπλών κόνων που αποτελούνται από διακριτές διατάξεις δισκοειδούς μορφής. Στη χαμηλή τάση, οι μονωτήρες που χρησιμοποιούνται είναι δυο τύπων:

- οι κυλινδρικοί και
- οι τύπου κώδωνα.

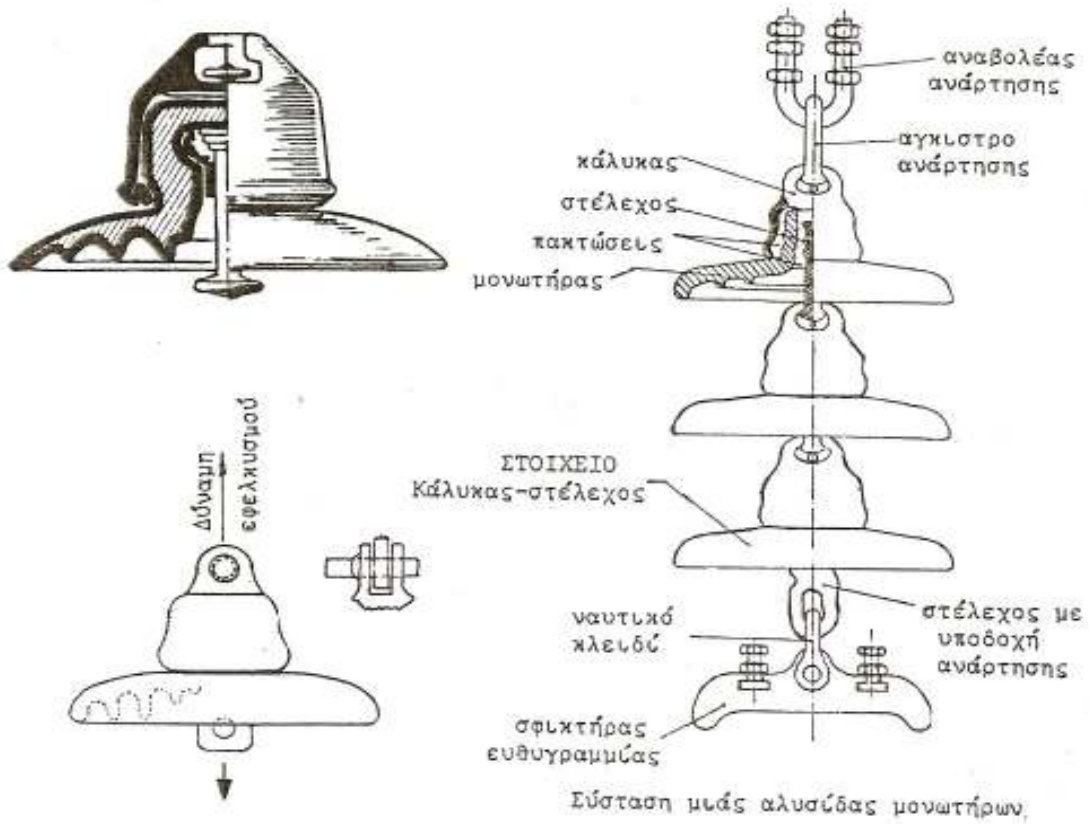
Στη μέση τάση, μέχρι τα 33 kV χρησιμοποιούνται μονωτήρες με ίσιο στέλεχος. Στην υψηλή τάση, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μονωτήρες ανάρτησης. Οι μονωτήρες ανάρτησης χρησιμοποιούνται και στη μέση τάση, κυρίως στις γωνίες των γραμμών και στα τέρματα. Οι μονωτήρες ανάρτησης αποτελούνται από δίσκους. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση, τόσο περισσότεροι δίσκοι αποτελούν ένα μονωτήρα ανάρτησης. Η σύνδεση των δίσκων για τη δημιουργία των μονωτήρων είναι εύκολη. Παρατηρούμε ότι ο κάθε δίσκος έχει τις κατάλληλες υποδοχές ώστε να συνδέεται ο ένας με τον άλλο και συγχρόνως να αναρτάται από το στύλο. Στο άκρο του τελευταίου συνδέεται το εξάρτημα ανάρτησης του αγωγού.



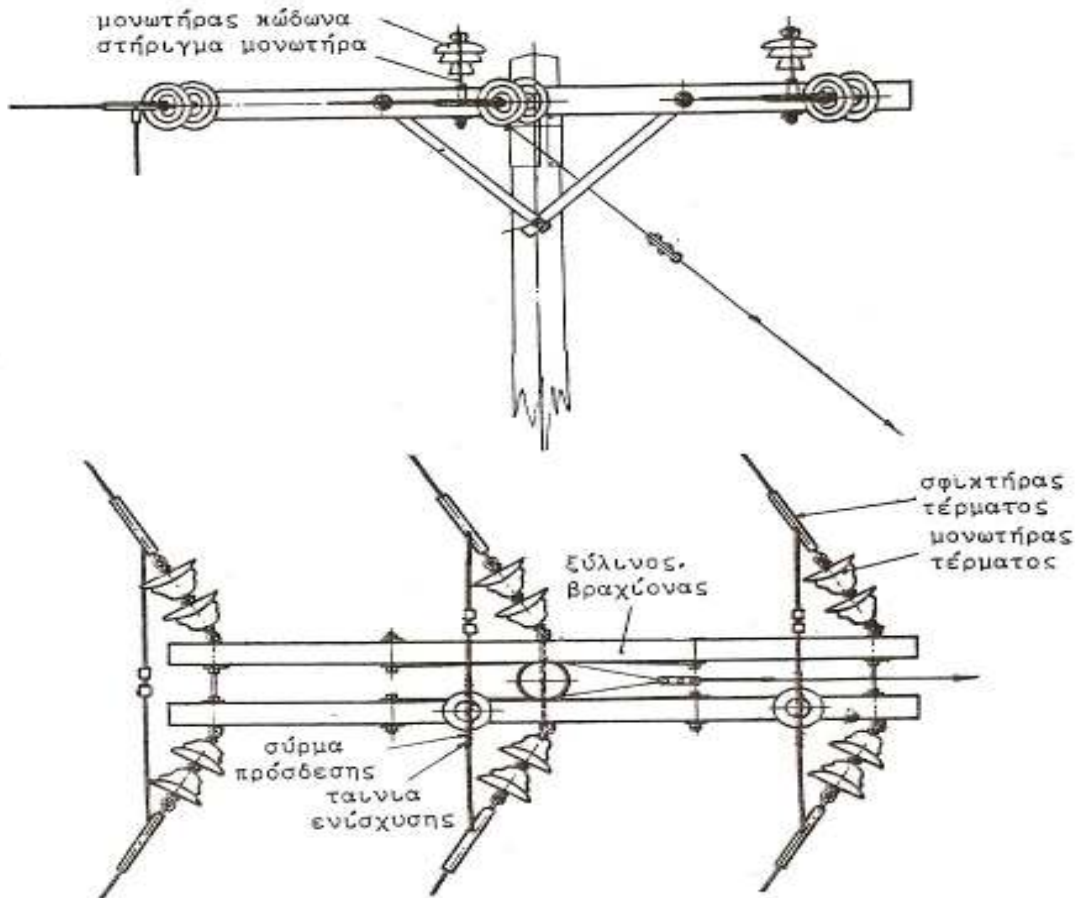
Σχήμα 2.13: Μονωτήρες Χ.Τ. α) Κυλινδρικοί και β) Τύπου κώδωνα



Σχήμα 2.14: Μονωτήρες Μ.Τ. με ίσο στέλεχος



Σχήμα 2.15: Μονωτήρες ανάρτησης στη Μ.Τ. και στην Υ.Τ.



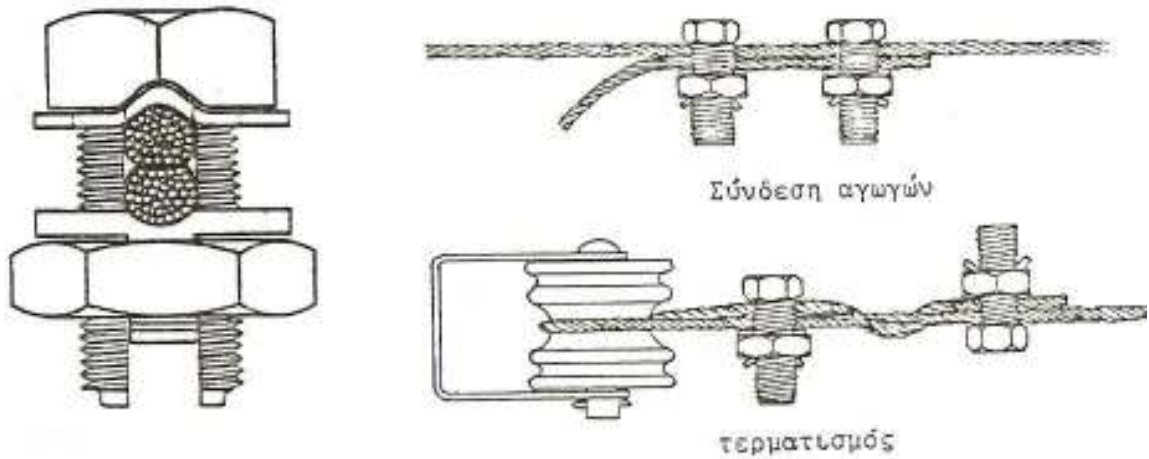
Σχήμα 2.16: Γραμμή 15 kV, κατασκευή για γωνίες μέχρι 45ο (οριζόντια διάταξη)

2.5.2 Εξαρτήματα σύνδεσης αγωγών

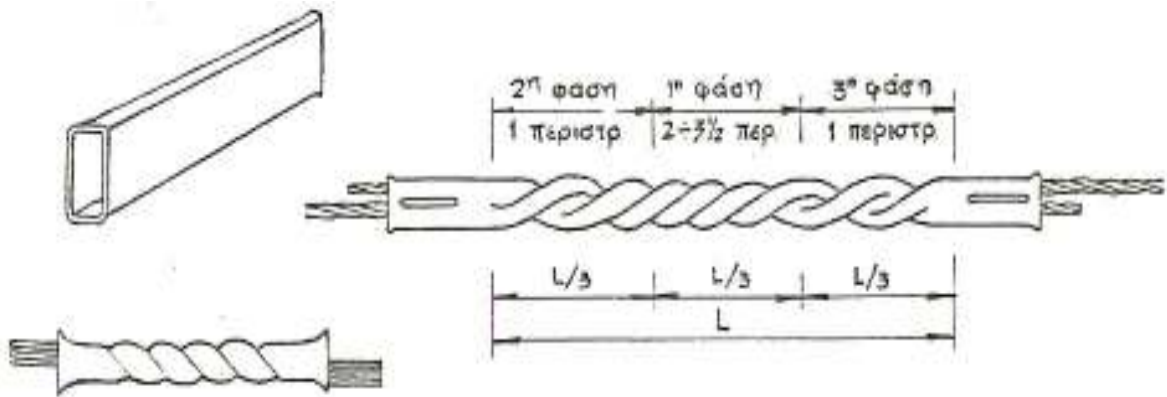
Για τη σύνδεση των αγωγών, μεταξύ τους ή με τα στηρίγματά τους (μονωτήρες), υπάρχουν διάφορα εξαρτήματα, που τα κυριότερα είναι:

- οι συνδετήρες, που εξασφαλίζουν την ηλεκτρική σύνδεση των αγωγών.
- οι σφιγκτήρες, που εξασφαλίζουν την μηχανική σύνδεση των αγωγών.
- οι ενωτήρες, που εξασφαλίζουν ταυτόχρονα την ηλεκτρική και την μηχανική σύνδεση.

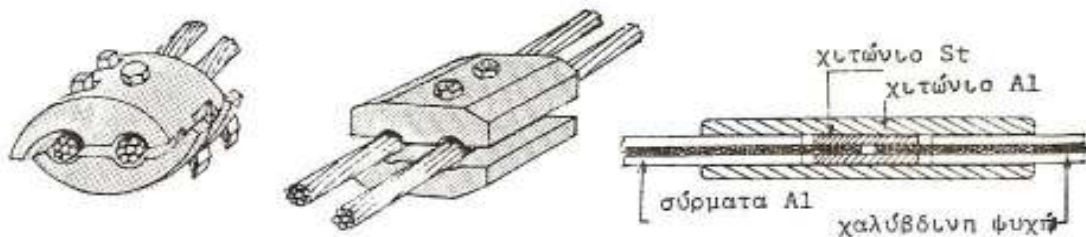
Για κάθε είδος αγωγού χρησιμοποιείται ο κατάλληλος συνδυασμός των παραπάνω. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διάφορα κατατοπιστικά σχήματα



Σχήμα 2.17: Χάλκινοι κοχλιοσυνδετήρες με εγκοπή



Σχήμα 2.18: Σύνδεση αγωγών με χάλκινα χιτώνια συστροφής (σωληνωτός σύνδεσμος). Η σύνδεση επιτυγχάνεται με συστροφή του σωληνωτού συνδέσμου

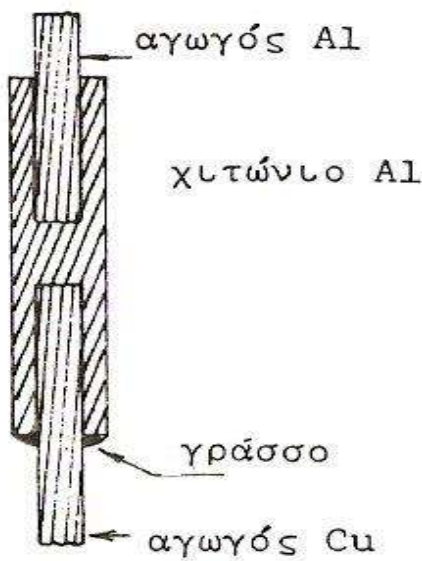


Συνδετήρες UNI-
VERSAL από αλου-
μίνιο

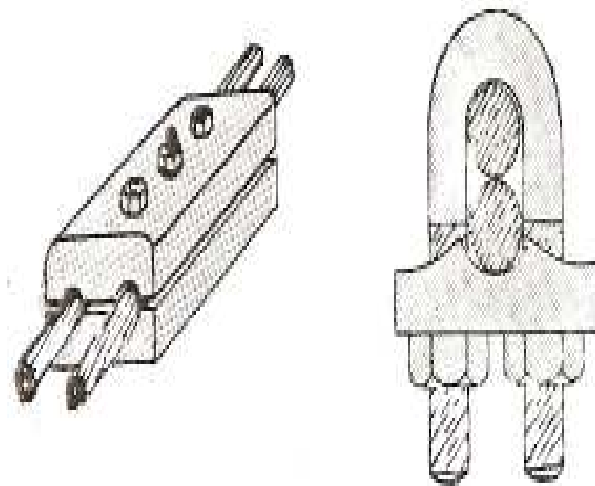
Συνδετήρες με παράλληλα
αυλάκια

Ενωτήρες συμπίεσης
(Δύο χιτώνια, ένα χάλκινο
για τη χαλύβδινη φυχή και
ένα από αλουμίνιο για τα
εξωτερικά σύρματα αλουμι-
νίουσφύγγονται με ειδική
υδραυλική πρέσα.

Σχήμα 2.19: Συνδετήρες και ενωτήρες για αγωγούς αλουμινίου και ACSR



Σχήμα 2.20: α) Μεταλλικός σωληνωτός σύνδεσμος



Σχήμα 2.20β) Τα συνηθέστερα είδη σφικτήρων για χαλύβδινους αγωγούς και συρματοσχοίνα επιτόνων

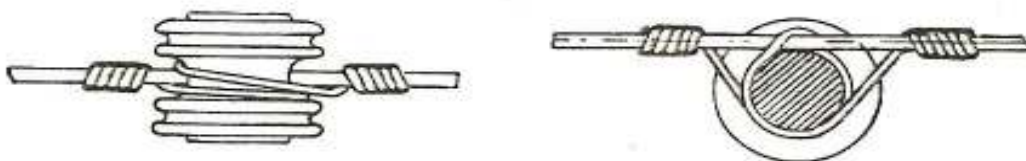
Στην περίπτωση που πρέπει να ενωθούν χάλκινοι αγωγοί με αγωγούς αλουμινίου, επειδή καταστρέφεται το αλουμίνιο, γίνεται παρεμβολή μεταξύ τους ενός άλλου μετάλλου και χρησιμοποιούνται διμεταλλικοί σωληνωτοί σύνδεσμοι.

2.5.3 Εξαρτήματα ανάρτησης αγωγών

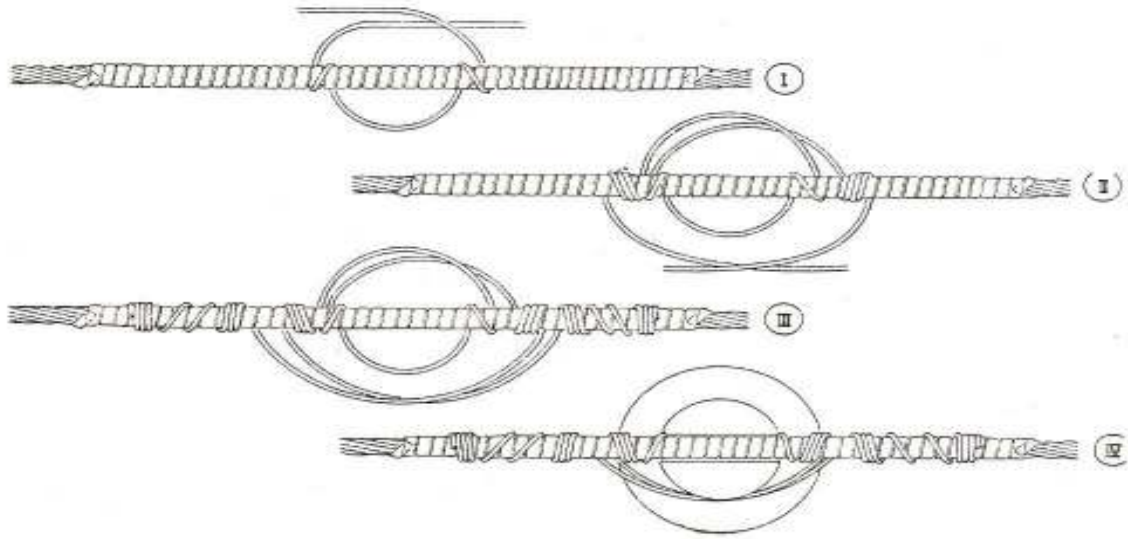
Για τη στήριξη των αγωγών στους μονωτήρες έχουμε τους συνδέσμους, όπως είναι π.χ. οι σφικτήρες «τέρματος» και οι σφικτήρες «ανάρτησης». Στη Χ.Τ. και στη Μ.Τ. οι αγωγοί δένονται στους μονωτήρες με σύρμα, με διαφορετικούς όμως τρόπους όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα. Τέλος, οι διακλαδωτήρες χρησιμεύουν μόνο στη χαμηλή τάση για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τη γραμμή στον καταναλωτή.



Σχήμα 2.21: α) Σφικτήρες τέρματος και β) Σφικτήρες ανάρτησης



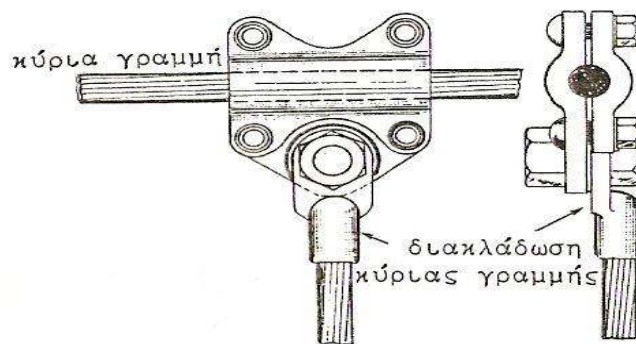
Σχήμα 2.22: Πρόσδεση αγωγού χαλκού στα δίκτυα Χ.Τ.



Σχήμα 2.23: Προσδέσεις ευθυγραμμίας στις γραμμές Μ.Τ. σε αγωγούς ΑCSR



Σχήμα 2.24: Τρόπος δεσίματος των αγωγών στα τέρματα των γραμμών



Σχήμα 2.25: Διακλαδοτήρες

2.5.4 Αλεξικέραυνα

Τα αλεξικέραυνα χρησιμοποιούνται για την προστασία των γραμμών μεταφοράς και διανομής και των υποσταθμών από υπερτάσεις. Είναι συσκευές οι οποίες επιτρέπουν τη δίοδο του ηλεκτρισμού προς τη γη σε περιπτώσεις υπέρτασης, ενώ στην κανονική λειτουργία δεν άγουν σχεδόν καθόλου. Τα αλεξικέραυνα μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν διακόπτες οι οποίοι κλείνουν στιγμιαίως σε περίπτωση υπέρτασης και δημιουργούν μια αγώγιμη δίοδο προς τη γη, διοχετεύοντας την υπέρταση μακριά από τις προς προστασία συσκευές. Βασικές, λοιπόν, ιδιότητες ενός αλεξικέραυνου είναι:

- Να μην άγει κατά την κανονική τάση λειτουργίας (στην πραγματικότητα υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής της τάξεως του 1 mA).
- Να αρχίσει να άγει μόλις εμφανισθεί μια υπέρταση.
- Να διακόπτει αμέσως τη λειτουργία του μόλις παρέλθει η υπέρταση.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων (με ή χωρίς διάκενα) οι οποίοι λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο: παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση της τάξης των MΩ σε κανονική λειτουργία, ενώ σε περίπτωση υπέρτασης η αντίσταση μειώνεται σε μερικά Ω.

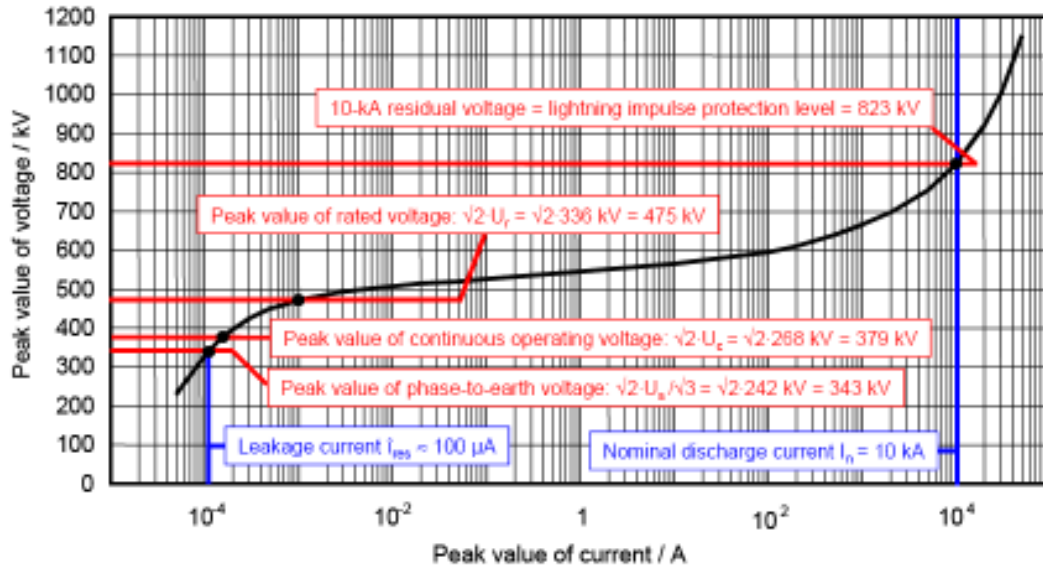
Παλαιότερα, αλεξικέραυνα με διάκενα σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις ήταν ευρέως διαδεδομένα, σήμερα όμως δίνουν τη θέση τους σε αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα, τα οποία αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO).

2.5.4.1. Αλεξικέραυνα με διάκενα

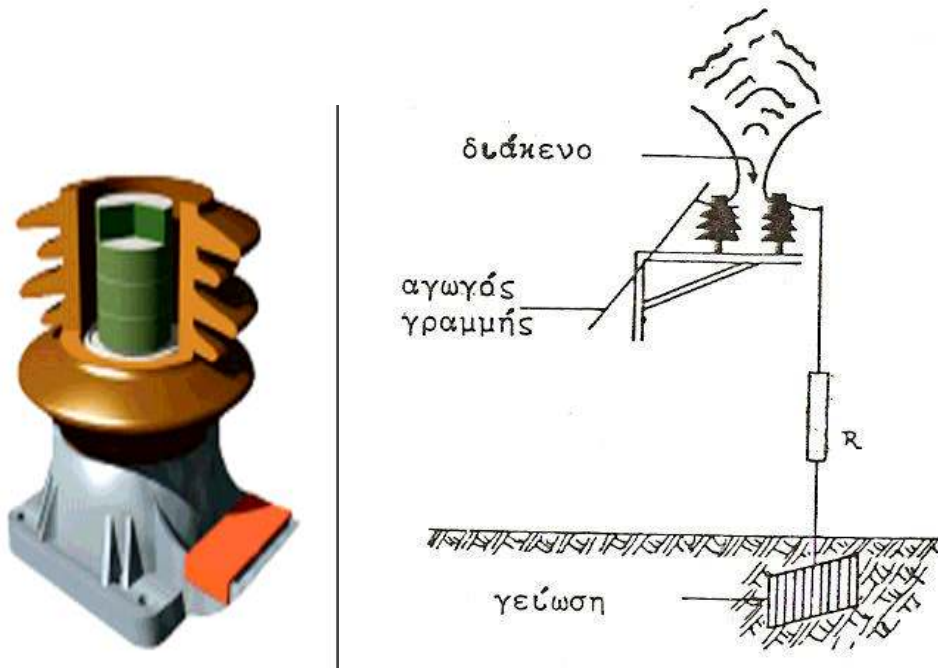
Αυτού του τύπου τα αλεξικέραυνα αποτελούνται από σειρά διακένων σε σειρά μια μη γραμμική αντίσταση, περικλειόμενα σε κατάλληλο μονωτικό περίβλημα. Αυτά πρέπει να έχουν όσο γίνεται περισσότερο ομοιογενές πεδίο, ούτως ώστε η τάση διάσπασης τους αν είναι ανεξάρτητη από την κλίση του μετώπου της κρουστικής τάσης διασπώνται όταν η υπέρταση υπερβεί μια ορισμένη τιμή, συνδέοντας τον αγωγό υψηλής τάσης με τη γη. Μόλις παρέλθει η υπέρταση, το τόξο δεν μπορεί να συντηρηθεί υπό την κανονική τάση λειτουργίας λόγω της μη γραμμικής αντίστασης. Οι μη γραμμικές αντιστάσεις στα αλεξικέραυνα με διάκενα είναι συνήθως από ανθρακοπυρίτιο (SiC), ενώ η χαρακτηριστική τάσεως – ρεύματος, που εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του υλικού, το συνεκτικό υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους, είναι της μορφής: $I = kU_a$.

2.5.4.2. Αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

Τα τελευταία χρόνια τα αλεξικέραυνα με διάκενα αντικαθίστανται με αυτά χωρίς διάκενα, τα οποία αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις κατασκευασμένες από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), το οποίο συνιστά σημαντική βελτίωση έναντι του SiC, καθώς η χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος είναι σχεδόν επίπεδη και μη γραμμική και καλύπτει περίπου 8 δεκάδες. Αυτή ακριβώς η έντονη μη γραμμικότητα είναι αυτή που καθιστά το αλεξικέραυνο χωρίς διάκενα πλεονεκτικότερο.



Σχήμα 2.26: Χαρακτηριστική τάσεως – ρεύματος ενός αλεξικέρανου χωρίς διάκενα



Σχήμα 2.27: Τομή αλεξικέρανου και αλεξικέρανο σε γραμμή Μ/Τ

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΚΑΛΩΔΙΑ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ”

3.1 Γενικά

Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με καλώδια συναντάται στην περίπτωση που το περιβάλλον δεν προσφέρεται για εναέρια μεταφορά ή όταν δεν μπορούν να στηριχθούν οι αγωγοί λόγω μεγάλων ανοιγμάτων. Οι καλωδιακές γραμμές είναι πολυδάπανες και παρουσιάζουν δυσκολία στη συντήρηση. Από την άλλη, τα καλώδια σε αντιδιαστολή με τους απλούς μονωμένους αγωγούς μπορούν να ενταφιασθούν ή να ποντισθούν, χωρίς αυτό να επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία τους. Το κόστος των υπόγειων γραμμών είναι πολλαπλάσιο του κόστους των εναέριων και δικαιολογείται μόνο όταν σημαντικοί λόγοι αισθητικής του περιβάλλοντος, ή λόγοι ασφαλείας ή δυσχέρειες στην εξεύρεση ζωνών διέλευσης καθιστούν ανεπιθύμητη ή και ανέφικτη τη μεταφορά με εναέριες γραμμές. Τέτοιες συνθήκες συναντώνται στις πόλεις και γενικώς στις κατοικήσιμες περιοχές, για διαφόρους λόγους σε κάθε περίπτωση. Ανάλογα με την τάση του δικτύου διακρίνουμε τα παρακάτω είδη καλωδίων :

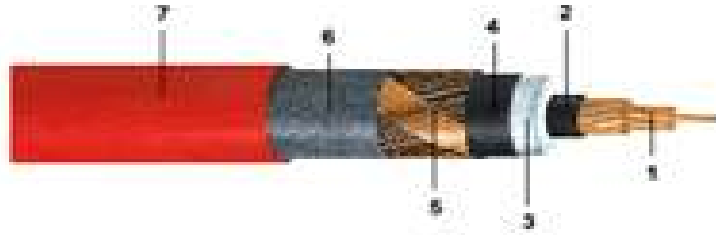
- Καλώδια Χαμηλής Τάσης: $U_N < 1 \text{ kV}$
- Καλώδια Μέσης Τάσης: $1 \text{ kV} < U_N < 45 \text{ kV}$
- Καλώδια Υψηλής Τάσης: $U_N > 60 \text{ Kv}$

3.2 Σύνθεση καλωδίων μέσης τάσης

Τα καλώδια μέσης τάσης αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία :

- **Αγωγοί :** Ένας ή τρεις αγωγοί φέρουν το ρεύμα του φορτίου. Είναι από αλουμίνιο ή χαλκό.
- **Εξομαλυντικά (ημιαγώγιμα) στρώματα:** Εφαρμόζονται πάνω σε αγωγούς με ανώμαλη επιφάνεια, επιφέροντας μείωση του ηλεκτρικού πεδίου και ανύψωση της διηλεκτρικής αντοχής.
- **Μόνωση:** Η μόνωση είναι συνήθως χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή παχύρρευστη μάζα, PVC, PE, XLPE κ.α.
- **Εξωτερικός γειωμένος αγωγός (ή μανδύας ή μεταλλικός μανδύας ή ηλεκτρική θωράκιση ή μεταλλική θωράκιση):** Είναι σχετικά λεπτός και δε φέρει μεγάλα ρεύματα παρά μόνο σε περίπτωση σφαλμάτων.
- **Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης:** Είναι περίβλημα από ατσάλινα σύρματα ή ταινίες.
- **Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας) :** Προστατεύει από την υγρασία. Κατασκευάζεται από συνθετικό (PVC), μόλυβδο ή ίνες γιούτας με πίσσα. Ο μόλυβδος παίζει ταυτόχρονα το ρόλο του μανδύα. Τα καλώδια κατά την εγκατάσταση και λειτουργία τους συνοδεύονται συνήθως από τις παρακάτω διατάξεις :
- **Ακροκιβώτια:** Χρησιμοποιούνται στα άκρα των καλωδίων για να αποφευχθούν εκεί υπερπηδήσεις και δημιουργία ηλεκτρικών τόξων.
- **Σύνδεσμοι ή μούφες:** Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση δύο καλωδίων, για διακλαδώσεις και σαν παγίδες υδροστατικής πίεσης.
- **Σύστημα επιβολής και ελέγχου πίεσης:** Χρησιμοποιείται σε καλώδια με λάδι ή αέριο υπό πίεση.

- **Σύστημα κυκλοφορίας ψυκτικού υγρού:** Χρησιμοποιείται όταν γίνεται ψύξη με βεβιασμένη κυκλοφορία νερού ή λαδιού.



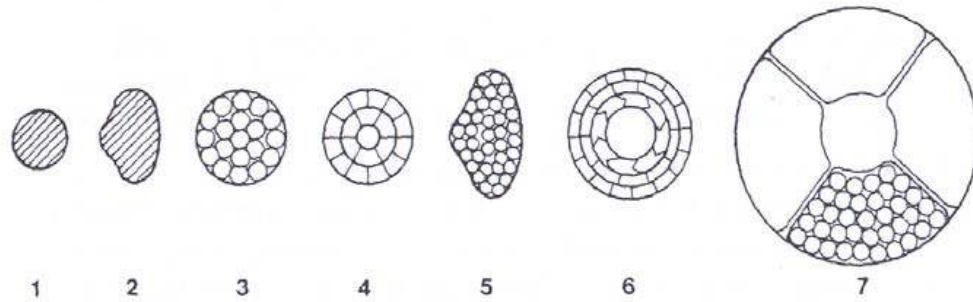
Σχήμα 3.1: Μονοφασικό καλώδιο XLPE 12/20kV 1) Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού(ή αλουμινίου), 2) Εσωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE, 3) Μόνωση XLPE, 4) Εξωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE, 5) Ηλεκτρ. θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς(χάλκινη ταινία προαιρετική κατόπιν παραγγελίας), 6) Πλαστική ταινία (προαιρετική), 7) Εξωτερικός μανδύας PVC

3.3 Κατασκευαστικά στοιχεία καλωδίων μέσης τάσης

3.3.1 Αγωγοί

Υλικό: Οι αγωγοί των καλωδίων κατασκευάζονται από ηλεκτροτεχνικό **χαλκό** E-Cu ή ηλεκτροτεχνικό **αλουμίνιο** E-Al. Ο όρος ηλεκτροτεχνικός (E) δείχνει ότι πρόκειται για τεχνικό υλικό υψηλής αγωγιμότητας. Τα μέταλλα αυτά είναι κατεργασμένα θερμικά ώστε να είναι εύκαμπτα. Ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής ολκήσεως, εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή. Βασικό τεχνικό μειονέκτημα είναι το βάρος του. Το αλουμίνιο είναι κατώτερο του χαλκού σε αγωγιμότητα και αντοχή, αλλά είναι φθηνότερο και πολύ ελαφρύτερο από το χαλκό. Μειονέκτημά του είναι επίσης ότι δε συγκολλάται με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξεως (π.χ. κασσιτεροκόλληση) και ότι διαβρώνεται ευκολότερα λόγω ηλεκτροχημικών δράσεων.

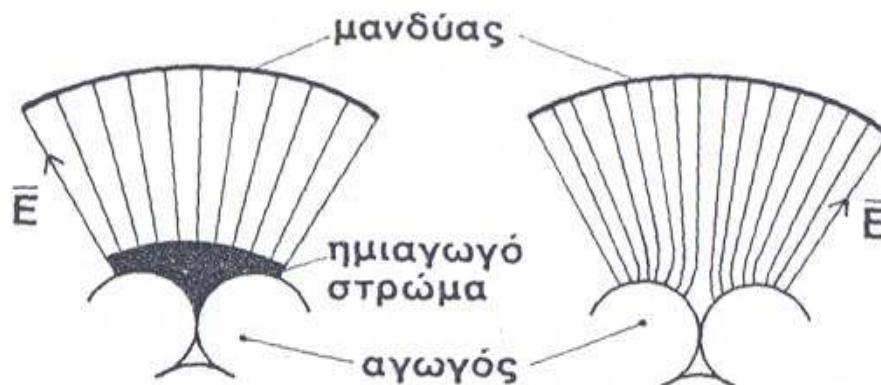
Διατομή: Η μορφή της διατομής μπορεί να είναι **κυκλική** ή να αποτελείται από **κυκλικούς τομείς**. Οι κυκλικές διατομές μπορεί να είναι συμπαγείς μέχρι 16mm^2 για E-Cu και 50mm^2 για E-Al. Για μεγαλύτερες διατομές οι αγωγοί γίνονται για λόγους ευκαμψίας πολύκλωνοι. Για πολυπολικά καλώδια μεγάλων διατομών χρησιμοποιούνται διατομές κυκλικού τομέα. Αν σε πολύκλωνους αγωγούς γίνει μια συμπίεση των συρματιδίων (συμπιεσμένοι αγωγοί), εξοικονομείται όγκος, μειώνοντας τη γεωμετρική διατομή του αγωγού. Πάνω από 35mm^2 πολύκλωνοι αγωγοί συμπιέζονται. **Κοίλες και ελλειπτικές διατομές** συναντώνται σε καλώδια με μόνωση χαρτιού-λαδιού και εξωτερικής πίεσης αντίστοιχα, για να κυκλοφορεί το λάδι και να μεταδίδεται καλύτερα η πίεση. Σε μεγάλες διατομές μπορεί ο αγωγός κάθε φάσης να διαμοιραστεί σε πολλούς αγωγούς παράλληλους, με διατομή μορφής κυκλικού τομέα, όπου οι τομείς είναι μεμονωμένοι μεταξύ τους και οι επί μέρους αγωγοί είναι συνεστραμμένοι. Έτσι μειώνεται η αντίσταση στο εναλλασσόμενο ρεύμα σε σχέση με αγωγούς όπου δεν έχουν μονωμένους τομείς. Αυτό προκύπτει λόγω του επιδερμικού φαινομένου.



Σχήμα 3.2.: Αγωγοί καλωδίων 1) πλήρης στρογγυλή διατομή (r), 2) πλήρης κυκλικός τομέας (s), 3) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή (r_m), 4) πολύκλωνη στρογγυλή συμπίεσμένη διατομή (r_m/v), 5) πολύκλωνος κυκλικός τομέας (s_m), 6) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή συμπίεσμένη με κανάλι ψύξης ($r_m/v...h$), 7) διατομή με επιμέρους τομείς μονωμένους για μείωση του επιδερμικού φαινομένου με κανάλι ψύξης στο κέντρο.

3.3.2 Εξομαλυντικά (ημιαγωγικά) στρώματα

Λόγω της ανωμαλίας που παρουσιάζει η επιφάνεια των πολύκλωνων αγωγών, η πεδιακή ένταση (kV/mm) στην επιφάνεια τους είναι αυξημένη σε σχέση με τους μονόκλωνους. Για να μειωθεί η πεδιακή ένταση στην επιφάνεια των πολύκλωνων αγωγών, τοποθετούνται στρώματα από ημιαγωγικά υλικά (όπως χαρτί με γραφίτη ή πλαστικά με γραφίτη). Τα ημιαγωγικά αυτά στρώματα εξασφαλίζουν επίσης το να μη δημιουργούνται κενά μεταξύ αγωγού και μόνωσης, που θα οδηγούσαν σε ηλεκτρικές εκκενώσεις και βαθμιαία καταστροφή της μόνωσης. Τέλος τα στρώματα αυτά μειώνουν τη θερμική και μηχανική καταπόνηση της μόνωσης κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων.



Σχήμα 3.3: Επίδραση των εξομαλυντικών στρωμάτων στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου ενός πολύκλωνου αγωγού.

3.3.3 Μόνωση

Το μονωτικό και το πάχος του προσδιορίζει την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου σε τάση, αλλά και την επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος φόρτισης του αγωγού, γιατί αυτή είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας στην οποία αντέχει το μονωτικό. Το είδος της μόνωσης καθορίζει τόσο τη μέγιστη συνεχή όσο και την παροδικά επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Η εκλογή της μόνωσης γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τις ηλεκτρικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και τη δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης του καλωδίου, σε σχέση με την ευκαμψία του ή τη μηχανική αντοχή του.

Οι μονωτικές ιδιότητες στα καλώδια χαρακτηρίζονται κυρίως από τη διηλεκτρική αντοχή σε kV/mm, την ωμική αντίσταση του υλικού, το συντελεστή απωλειών $\tan\delta$ και το μέγεθος των μερικών εκκενώσεων (μη αυτοσυντηρούμενες εκκενώσεις στο διηλεκτρικό). Οι μερικές εκκενώσεις προκαλούν βαθμιαία διάβρωση του υλικού και καταστροφή του. Η μονωτική ικανότητα ενός καλωδίου δίνεται κατά VDE 0271 από τις ονομαστικές τάσεις του U_0 και U_N . Συγκεκριμένα, η ονομαστική τάση U_0 είναι η τάση μεταξύ αγωγού και γης (ή μεταξύ αγωγού και μεταλλικής επένδυσης του καλωδίου), ενώ η ονομαστική τάση U_N είναι η τάση μεταξύ αγωγών και φάσεων.

Τα βασικά μονωτικά που χρησιμοποιούνται στα καλώδια είναι θερμοπλαστικές ύλες, ελαστικές ύλες, χαρτί και χαρτί ποτισμένο με λάδι. Παρακάτω γίνεται μία συνοπτική περιγραφή της μόνωσης χαρτί-λάδι, PVC και πολυαιθυλενίου.

Μόνωση χαρτί-λάδι: Η μόνωση αυτή είναι η πιο παλαιά, υπάρχει εδώ και 100 χρόνια, και η πιο δοκιμασμένη σε όλες τις περιοχές τάσεων από 380 V έως 400 kV. Ωστόσο σήμερα η χρήση καλωδίων MT με μόνωση χαρτί-λάδι είναι εξαιρετικά σπάνια και γίνεται κυρίως από τη ΔΕΗ. Η μόνωση χαρτιού σχηματίζεται με την ελικοειδή περιέλιξη ταινίας χαρτιού επάνω στους αγωγούς, μέχρι να σχηματισθεί ορισμένο συνολικό πάχος μόνωσης. Το περιτύλιγμα του χαρτιού γίνεται με προσοχή, ώστε η τοποθέτηση των ταινιών να είναι ομοιόμορφη, για να προκύψει ομοιογενής μόνωση χωρίς κενά αέρος στο εσωτερικό της. Το τελευταίο είναι σημαντικό, διότι θύλακες αέρα στο εσωτερικό της μόνωσης αποτελούν ασθενή σημεία, τα οποία σύντομα γίνονται εστίες μερικών ηλεκτρικών εκκενώσεων. Ο εμποτισμός του χαρτιού με λάδι αποσκοπεί στην αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης και στη συμπλήρωση των διακένων, τα οποία υπάρχουν μεταξύ των ταινιών. Ο εμποτισμός της μόνωσης με λάδι γίνεται μετά την τοποθέτηση της επάνω στους αγωγούς και πριν από την τοποθέτηση του μολύβδινου μανδύα και γίνεται με το λάδι υπό πίεση. Το χρησιμοποιούμενο λάδι έχει σχετικά υψηλό ιξώδες, ώστε να είναι παχύρρευστο και να μη μετακινείται εύκολα στις υψομετρικές διακυμάνσεις της διαδρομής το καλωδίου ή να διαρρέει σε μεγάλες ποσότητες κατά το κόψιμό του. Τα μονωτικά λάδια μπορεί να διασπαστούν με το χρόνο αλλοιώνοντας έτσι τις μονωτικές τους ιδιότητες. Έτσι προσμειγνύονται προστατευτικές ουσίες (φαινόλες κτλ) στο λάδι για προστασία κατά της γήρανσης.

Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC): Το PVC χρησιμοποιείται εφ' όσον αυτό επιτρέπεται από τεχνικούς λόγους, γιατί είναι φθηνό και ανθεκτικό από μηχανική και χημική άποψη. Τα όριά του από άποψη τάσης είναι 6kV/10kV (φασική/πολική τάση). Λόγω των υψηλών διηλεκτρικών απωλειών δε χρησιμοποιείται σε υψηλότερες τάσεις. Δεν είναι ανθεκτικό σε πολύ χαμηλές (<-30°C) ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>70°C). Σε διαρκή καταπόνηση πάνω από 70°C γίνεται εύθραυστο και σχηματίζει ρωγμές. Επιτρέπεται η διαρκής καταπόνησή του μέχρι 70°C.

Πολυαιθυλένιο (PE) – Δικτυωμένο Πολυαιθυλένιο (XLPE): Το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιείται στη μέση τάση γιατί έχει χαμηλές διηλεκτρικές απώλειες και είναι μηχανικά και χημικά ανθεκτικό. Η θερμοκρασιακή του συμπεριφορά είναι όμοια με αυτή του PVC. Επιτρέπονται θερμοκρασίες μέχρι 70°C συνεχώς. Το δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE) έχει καλύτερη συμπεριφορά στη διαρκή θερμοκρασιακή καταπόνηση. Αντέχει μέχρι 90°C συνεχώς. Είναι ακριβότερο μονωτικό από το PVC.

Το πολυαιθυλένιο αποικοδομείται σταδιακά από την ηλιακή ακτινοβολία, για αυτό και δεν χρησιμοποιείται συχνά σαν εξωτερικός μανδύας καλωδίων εξωτερικού χώρου. Σήμερα χρησιμοποιείται στη μέση τάση κατ' εξοχήν χημικά δικτυωμένο και όχι απλό πολυαιθυλένιο. Άλλα συνθετικά ελαστικά όπως βουτύλιο, οξικό βινυλαιθύλιο (EVA) και αιθυλένιο-προπυλένιο (EPR) χρησιμοποιούνται για λόγους ευκαμψίας ή και αντοχής σε θερμοκρασία. Για διαρκείς υψηλές θερμοκρασίες γίνεται χρήση με ελαστικό σιλικόνης. Η μόνωση ελαστικού σιλικόνης αντέχει διαρκώς σε 180°C χωρίς να αποικοδομείται. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες π.χ. 120°C, γίνεται και χρήση του ελαστικού από οξικό βινυλαιθύλιο (EVA) ή και χρήση του μονωτικού αιθυλενιούχο-προπυλενιούχου ελαστικού (EPR) που αντέχει συνεχώς σε 90°C.

3.3.4 Μανδύας (ή μεταλλικός μανδύας ή μεταλλική θωράκιση ή ηλεκτρική θωράκιση)

Τα καλώδια μέσης τάσης περιβάλλονται από ένα γειωμένο αγωγό, σκοπός του οποίου είναι να απομονωθούν οι φέροντες τάση αγωγοί, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να τεθούν υπό τάση τα περί το καλώδιο τμήματα της εγκατάστασης. Επίσης μέσω των γειωμένων αγωγών ρέουν τα ρεύματα (τα χωρητικά ή των βραχυκυκλωμάτων) δια μέσου μικρής αντίστασης και κατά τρόπο ελεγχόμενο. Ο αγωγός αυτός έχει συχνά και θέση προστατευτικού στρώματος κατά της εισβολής της υγρασίας ή άλλων χημικών επιδράσεων από έξω προς τη μόνωση.

Ο μεταλλικός μανδύας κατασκευάζεται από **μόλυβδο** ή **αλουμίνιο**. Στην τελευταία περίπτωση το καλώδιο αποκτά και μηχανική αντοχή έναντι εξωτερικών αιτίων, την οποία δεν έχει ο μόλυβδος. Ο μόλυβδος είναι εύκαμπτος, δεν επιτρέπει τη διείσδυση υγρασίας και αντέχει σε χημικές επιδράσεις του εδάφους. Μειονέκτημά του είναι ότι δεν αντέχει σε κραδασμούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών. Το αλουμίνιο έχει αυξημένη αντοχή στους κραδασμούς, υψηλότερη μηχανική αντοχή και αγωγιμότητα. Μειονέκτημά του είναι ότι δεν είναι εύκαμπτο και η ευαισθησία του στη διάβρωση. Σε καλώδια με πλαστικές μονώσεις ο αγωγός γης είναι από **συρματίδια χάλκινα** πλεγμένα ή από ταινίες χάλκινες με πρόσθετες διασταυρούμενες ταινίες για τη βελτίωση της αγωγιμότητας σε όλες τις κατευθύνσεις.

Οι μεταλλικοί μανδύες των καλωδίων γειώνονται στο ένα τουλάχιστον άκρο τους, για να αποφευχθούν ηλεκτρικές διασπάσεις σε περίπτωση σφαλμάτων και για να μην υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης τάσης ως προς γη υπό κανονική λειτουργία. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι οι μεταλλικοί μανδύες να γειώνονται και στα δύο άκρα τους και να βραχυκυκλώνονται. Στην περίπτωση αυτή επάγονται δινορρέυματα στους μανδύες που προέρχονται από το πεδίο των ρευμάτων των φορτίων, δημιουργώντας έτσι πρόσθετες απώλειες μανδύα, που μπορούν να μειωθούν βάζοντας σύνθετες αντιστάσεις μεταξύ των μανδύων. Επίσης χρησιμοποιείται και η τεχνική διασταύρωσης των μεταλλικών μανδύων (Cross Bonding), όπου ο μεταλλικός μανδύας κάθε μονοπολικού καλωδίου χωρίζεται σε τρία μέρη (ή πολ/σια του τρία) που είναι μονωμένα μεταξύ τους με κατάλληλες μούφες. Οι επιμέρους μανδύες βραχυκυκλώνονται χιαστί, ώστε να έχουμε αθροιστικά μηδενική ροή στους βρόχους που δημιουργούνται από τους μανδύες.

3.3.5 Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης

Τα καλώδια μπορεί να καταπονούνται σε ειδικές περιπτώσεις μηχανικά και να καταστραφούν αν δεν έχουν κατάλληλη μηχανική ενίσχυση. Οι καταπονήσεις εμφανίζονται κυρίως κατά τη μεταφορά, την εγκατάσταση και λειτουργία : όταν τραβιέται το καλώδιο από μηχανές έλξης μέσα σε σωλήνες ή χαντάκια σε μεγάλα μήκη (>20m). Το καλώδιο για να περάσει μέσα από ένα σωλήνα χρειάζεται μία δύναμη εφελκυσμού ανάλογη με το μήκος, για να υπερνικηθεί η τριβή.

- όταν ποντίζεται στη θάλασσα σε μεγάλα βάθη,
- όταν αναρτάται σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλιστεί από τον κατασκευαστή ότι το καλώδιο είναι κατάλληλο για τέτοιες καταπονήσεις. Συνήθως για καλώδια μόνιμης εγκατάστασης επιτυγχάνεται μηχανική προστασία με **χαλύβδινες ταινίες**, ή, σε καλώδια που ποντίζονται, με **χαλύβδινα σύρματα**. Οι χαλύβδινες ταινίες τοποθετούνται πάνω από το μανδύα, έχουν μερικά εκατοστά πλάτος, είναι τυλιγμένες αντίστροφα η μία ως προς την άλλη και επικαλύπτει η μία τα κενά της άλλης. Το πάχος τους εκλέγεται ανάλογα με τη διάμετρό του καλωδίου και είναι της τάξης του 0,1-1mm. Τα καλώδια με πλαστική μόνωση και τα καλώδια με μανδύες από αλουμίνιο, σε αντιδιαστολή προς τα καλώδια με μόνωση χαρτιού, είναι συνήθως ανθεκτικά και ενισχύονται μόνο για την περίπτωση υψηλών καταπονήσεων. Τέλος, μεταξύ της ενίσχυσης και του μολύβδινου εξωτερικού αγωγού τοποθετούνται στρώματα από πλαστικές ταινίες και ίνες με πίσσα, ώστε να μην πληγώνεται ο μανδύας του καλωδίου από τα χαλύβδινα σύρματα της ενίσχυσης.

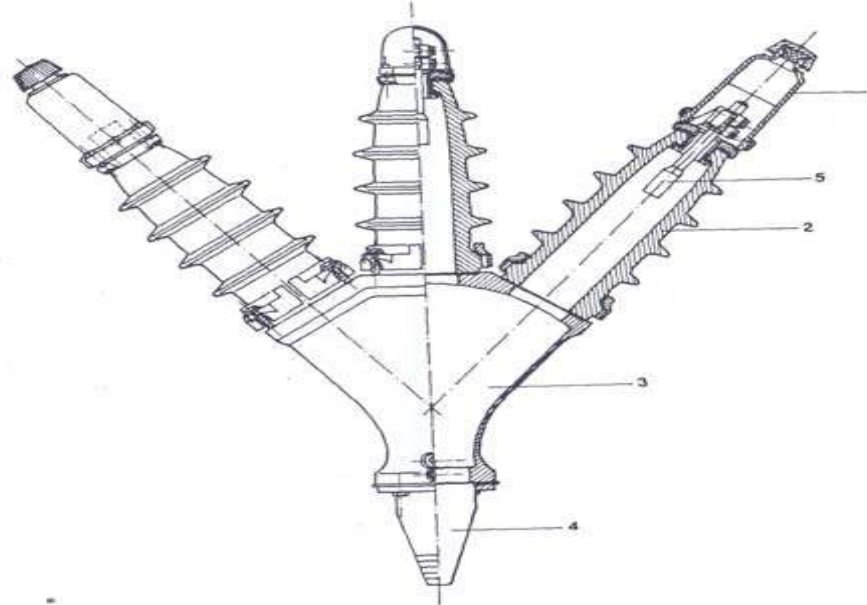
3.3.6 Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας)

Το καλώδιο, ο μεταλλικός του μανδύας και η μηχανική ενίσχυση πρέπει να προστατευθούν κατά της διάβρωσης, κατά των χημικών επιδράσεων και κατά της διείσδυσης υγρασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται στρώματα από **συνθετικά υλικά** ή **ίνες εμποτισμένες με πίσσα**. Σε καλώδια με μηχανική ενίσχυση υπάρχουν στρώματα προστατευτικά μεταξύ μεταλλικού μανδύα και μηχανικής ενίσχυσης και επιπρόσθετα στρώματα έξω από τη μηχανική ενίσχυση. Όσον αφορά την προστασία με ίνες εμποτισμένες με πίσσα, οι ίνες είναι φυτικές (γιούτα) ή υαλοίνες ή συνθετικές ίνες, ενώ μεταξύ τους συνήθως υπάρχουν πλαστικές ταινίες για να δημιουργούνται φράγματα στην υγρασία. Το καλώδιο στην περίπτωση αυτή επικαλύπτεται με σκόνη κιμωλία ή με τάλκ για να μην κολλάει πάνω στο τύμπανο που ευρίσκεται κατά τη μεταφορά του και επίσης για να μη δυσχεραίνεται η εγκατάστασή του. Σε καλώδια με ηλεκτρική θωράκιση από αλουμίνιο ή χάλυβα γίνεται χρήση προστατευτικών στρωμάτων από **PVC** ή **πολυαιθυλένιο**. Οι μεταλλικοί μανδύες περιβάλλονται κατ' αρχήν με αυτοβουλκανιζόμενες, αυτοκόλλητες ταινίες μερικών mm πάχους και ακολούθως συμπιέζεται πάνω τους ένας μανδύας χωρίς ραφή, από PVC ή πολυαιθυλένιο, πάχους 4-6mm.

3.3.7 Ακροκιβώτια (ακροκεφαλές)

Κατά την κατασκευή ενός καλωδίου πρέπει να καταβάλλεται μεγάλη φροντίδα, ώστε η μόνωση να είναι τέλεια σε όλο το μήκος του. Η ίδια φροντίδα πρέπει να καταβληθεί κατά την κατασκευή των συνδέσεων των τμημάτων των καλωδίων μεταξύ τους, κατά την εγκατάσταση της καλωδιακής γραμμής, ώστε να εξασφαλισθεί η αποφυγή ασθενών σημείων στο εσωτερικών των συνδέσεων, τα οποία θα ήταν δυνατό να προκαλέσουν βλάβη της γραμμής κατά τη λειτουργία της.

Το ίδιο ισχύει και για τους τερματισμούς των καλωδίων, δηλαδή στα άκρα όπου πρέπει να γίνει η σύνδεση με τις εγκαταστάσεις που τροφοδοτεί το καλώδιο ή με εγκαταστάσεις από τις οποίες τροφοδοτείται. Οι ακροκεφαλές στη ΜΤ προσδίνουν ηλεκτρική αντοχή στην άκρη του καλωδίου και απαγορεύουν την είσοδο υγρασίας, νερού (π.χ. από βροχή) και ρύπων της ατμόσφαιρας στο καλώδιο. Αποτελούνται από ελαστικό σιλικόνης για εσωτερικούς χώρους, από πορσελάνη για εξωτερικούς χώρους ή από ρητίνες για εσωτερικούς ή και εξωτερικούς χώρους.



Σχήμα 3.4: Ακροκεφαλή λαδιού ΜΤ 20kV, χωρίς καλώδιο : 1) γυάλινο δοχείο για να βλέπει κανείς τη στάθμη του λαδιού, 2) μονωτήρας πορσελάνης, 3) χυτοσιδερένιο δοχείο διανομής των φάσεων, 4) κώνος εισόδου του καλωδίου στην ακροκεφαλή, 5) ηλεκτρόδιο σύνδεσης.

Τα ακροκιβώτια αποτελούνται συνήθως από μονωτήρες διελεύσεως, ένα για κάθε αγωγό, οι οποίοι καλύπτουν τα άκρα του καλωδίου και εξασφαλίζουν αφ' ενός τη μόνωση των αγωγών οι οποίοι εισέρχονται στο εσωτερικό των μονωτήρων αυτών, αφ' ετέρου την ηλεκτρική συνέχεια του κυκλώματος από το ελεύθερο άκρο τους. Στη βάση του ακροκιβωτίου το καλώδιο απογυμνώνεται κατά την είσοδό του στο ακροκιβώτιο από το εξωτερικό περίβλημα και τη μηχανική ενίσχυση και ο μανδύας του στη θέση εκείνη συγκολλάται στο ακροκιβώτιο. Ο μανδύας αφαιρείται από το τμήμα του καλωδίου που βρίσκεται μέσα στο ακροκιβώτιο και από το σημείο διακοπής του μανδύα αρχίζει η διαμόρφωση της μόνωσης του άκρου του καλωδίου, έτσι ώστε να αποφεύγονται αυξημένες πεδιακές εντάσεις και επικίνδυνες διηλεκτρικές καταπονήσεις αυτής.

3.3.8 Σύνδεσμοι ή μούφες

Οι σύνδεσμοι ή μούφες χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν καλώδια ή και να γίνονται διακλαδώσεις. Οι μούφες βρίσκονται ενταφιασμένες μαζί με το καλώδιο και πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν στις επιδράσεις του εδάφους και να εξασφαλίζουν στεγανότητα στην είσοδο υγρασίας ή νερού και αντοχή στην τάση. Οι μούφες, αν είναι μεταλλικές, συνδέονται με το γειωμένο αγωγό, οπότε λειτουργούν και σαν πρόσθετο ηλεκτρόδιο γείωσης. Τα δύο άκρα των καλωδίων, τα οποία πρόκειται να ενωθούν με το σύνδεσμο, εισέρχονται και από τις δύο πλευρές με το μολύβδινο μανδύα τους. Ο τελευταίος συγκολλάται στην είσοδο με το περίβλημα του συνδέσμου, το οποίο είναι δυνατόν να αποτελείται από μόλυβδο ή χαλκό και το οποίο αποτελεί κατά κάποιο τρόπο τη συνέχεια του μανδύα. Τα καλώδια απογυμνώνονται

σταδιακά μέχρι το κέντρο του συνδέσμου όπου αποκαλύπτονται τα άκρα των αγωγών, τα οποία συνενώνονται μεταξύ τους μέσω κοίλου κυλινδρικού στοιχείου, με το οποίο συγκολλώνται ή συμπιέζονται. Στη συνέχεια αποκαθίσταται η μόνωση του καλωδίου στο εσωτερικό του συνδέσμου, η οποία διαμορφώνεται κατάλληλα ώστε να ευνοεί την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου. Συνήθως ο σύνδεσμος μετά την κατασκευή του περιβάλλεται με ένα εξωτερικό κιβώτιο χυτοσίδηρο, το οποίο του παρέχει μηχανική προστασία, αποτελώντας τη συνέχεια της μηχανικής ενίσχυσης του καλωδίου στη θέση του συνδέσμου. Στη μέση τάση χρησιμοποιούνται επίσης, σε πλαστικά καλώδια, ρητίνες σε μόνωση μουφών. Δηλαδή, γίνεται η σύνδεση και ακολούθως εκχύονται οι ρητίνες σε ειδικά καλούπια που περιβάλλουν τον σύνδεσμο, όπου γίνεται η στερεοποίηση.

3.3.9 Σύστημα επιβολής και ελέγχου πίεσης

Σε ορισμένα καλώδια επιβάλλονται πιέσεις στο διηλεκτρικό για τη βελτίωση της μονωτικής ικανότητας. Σαν μέσο μετάδοσης της πίεσης χρησιμοποιείται λεπτόρρευστο λάδι ή αέριο, π.χ άζωτο (N_2). Σε αυτές τις περιπτώσεις το καλώδιο βρίσκεται σε ένα χαλύβδινο, άκαμπτο σωλήνα. Αφού εγκατασταθεί ο σωλήνας περνιέται το καλώδιο μέσα στο σωλήνα. Η διατήρηση της πίεσης σε καλώδια γίνεται με δοχεία διαστολής σε συνδυασμό με φιάλη αερίου αζώτου ρυθμιζόμενης πίεσης.

3.3.10 Σύστημα ψύξης καλωδίων με νερό ή λάδι

Μια αύξηση της μεταφερόμενης ισχύος σε καλώδια μπορεί να επιτευχθεί με κατευθείαν ψύξη του αγωγού με νερό. Το καλώδιο έχει στον άξονά του ένα κανάλι από όπου περνά το νερό που ανακυκλώνεται, αφού διοχετευθεί μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας. Το νερό είναι απιονισμένο. Αντί για νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μονωτικό λάδι με ανάλογο ψυκτικό κύκλωμα. Εκτός της κατευθείαν ψύξης μπορεί να εφαρμοστεί και η έμμεση ψύξη, όπου ψύχεται ο μανδύας. Δίπλα από το καλώδιο τοποθετούνται σωλήνες με νερό υπό κυκλοφορία. Το καλώδιο τοποθετείται σε έναν αμιαντοσωλήνα με ροή νερού, οπότε ψύχεται ο μανδύας του. Το καλώδιο μπορεί να τοποθετηθεί και σε ένα ανοιχτό αυλάκι με νερό.

3.4 Τύποι καλωδίων μέσης τάσης

Τα καλώδια MT μπορεί να είναι μονοπολικά (μονοφασικά) ή τριπολικά (τριφασικά). Στα μονοπολικά καλώδια κάθε μια φάση με τον μανδύα της είναι αυτόνομη, όπου τα τρία καλώδια που σχηματίζουν ένα τριφασικό σύστημα μπορεί να είναι συνεστραμμένα μεταξύ τους, ή τρία καλώδια μπορεί να εγκαθίστανται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η κατασκευή μονοπολικών συναντάται συνήθως στα πλαστικά καλώδια, όπου μια τριφασική κατασκευή θα οδηγούσε σε δυσκαμψία.

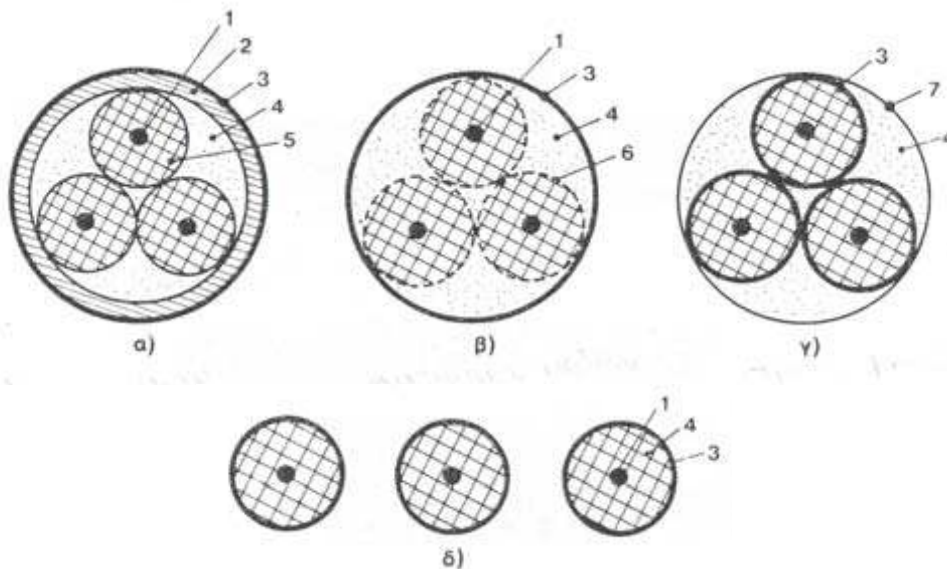
Επίσης έχουμε το πλεονέκτημα ότι αν χαλάσει μια φάση αντικαθιστούμε μόνο αυτή τη φάση. Τα τριπολικά καλώδια MT είναι δυνατό να έχουν ένα κοινό μανδύα ή τρεις μανδύες (ένα ανά φάση). Στην πρώτη περίπτωση πέρα από τη χωριστή μόνωση κάθε αγωγού υπάρχει και κοινή μόνωση, η οποία περιβάλλει και τους τρεις μονωμένους αγωγούς και επάνω στην οποία βρίσκεται ο κοινός μανδύας. Στα καλώδια τριών μανδύων κάθε αγωγός έχει τη δική του μόνωση και επάνω από αυτή το δικό του μανδύα. Ο τελευταίος τύπος προσφέρει καλύτερη κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του καλωδίου, η οποία σε συνδυασμό και με ορισμένα πλεονεκτήματα κατασκευής και λειτουργίας έχει συντελέσει

στην εξάπλωση της χρησιμοποίησής των καλωδίων τριών μανδύων κατά τα τελευταία χρόνια.

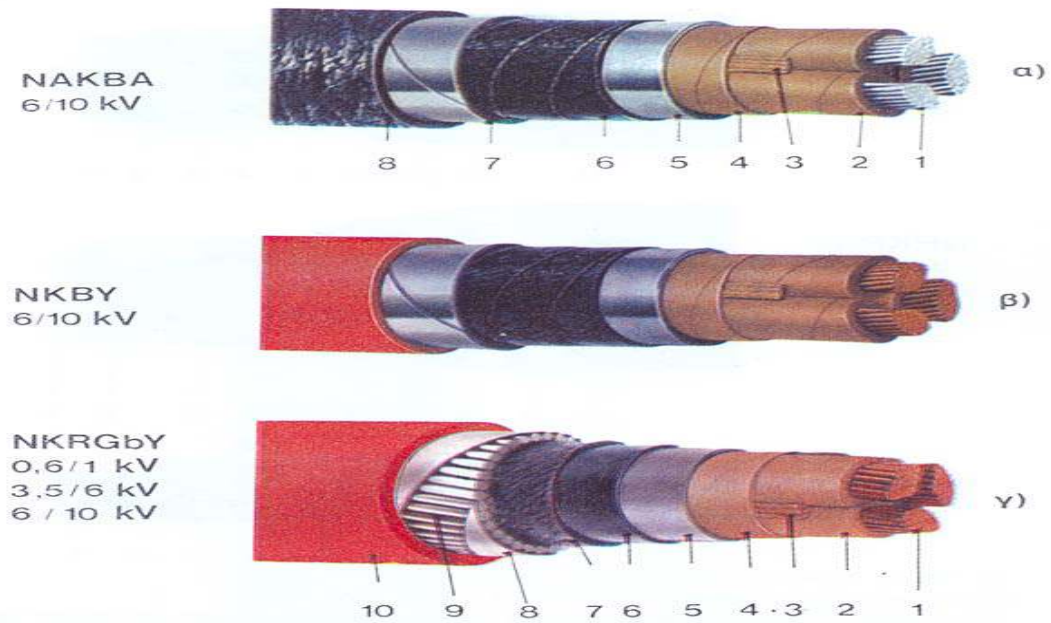
Ενδιάμεσο τύπο αποτελούν τα καλώδια, τα οποία έχουν μεν κοινό μολύβδινο μανδύα, αλλά για την ομοιόμορφη κατανομή του πεδίου φέρουν επάνω από τη μόνωση κάθε φάσης ένα λεπτό διάτρητο μεταλλικό διάφραγμα. Διακρίνουμε λοιπόν, ανάλογα με τη διάταξη της μόνωσης και του μανδύα τις εξής κατηγορίες :

- **Περιζωμένα καλώδια**
- **Καλώδια ακτινικού πεδίου (Hochstadter)**
- **Καλώδια τριών μανδύων**

Οι παραπάνω κατηγορίες έχουν διαφορές στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου. Στα περιζωμένα καλώδια οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι όλες κάθετες στη μόνωση. Η μόνωση όμως δεν έχει τη μέγιστη αντοχή της σε πεδία με διεύθυνση λοξή στην επιφάνεια της μόνωσης. Για αυτό περιορίζεται η εφαρμογή των περιζωμένων καλωδίων σε τάσεις μέχρι 15 kV συνήθως. Αντίθετα, στα καλώδια τύπου Hochstadter, όπου τοποθετούμε σαν οδηγούς του ηλεκτρικού πεδίου λεπτά φύλλα αλουμινίου (φύλλα Hochstadter), και στα καλώδια τύπου τριών μανδύων το πεδίο γύρω από κάθε αγωγό είναι ακτινικό. Στην περίπτωση αυτή η μόνωση καταπονείται μόνο κατά την έννοια του πάχους της, η οποία είναι η κατεύθυνση της μέγιστης ηλεκτρικής αντοχής.



Σχήμα 3.5: α) καλώδιο περιζωμένο, β) καλώδιο με τρεις μανδύες από αλουμινόφυλλα (Hochstadter), γ) καλώδιο τριών μανδύων, δ) τρία μονοπολικά καλώδια 1) αγωγός, 2) περίζωμα από μόνωση, 3) μανδύας, 4) συμπληρωματική μόνωση, 5) κυρίως μόνωση, 6) φύλλα Hochstadter, 7) προστατευτικό περίβλημα



Σχήμα 3.6: Καλώδια χαρτιού - μάζας περιζωμένα

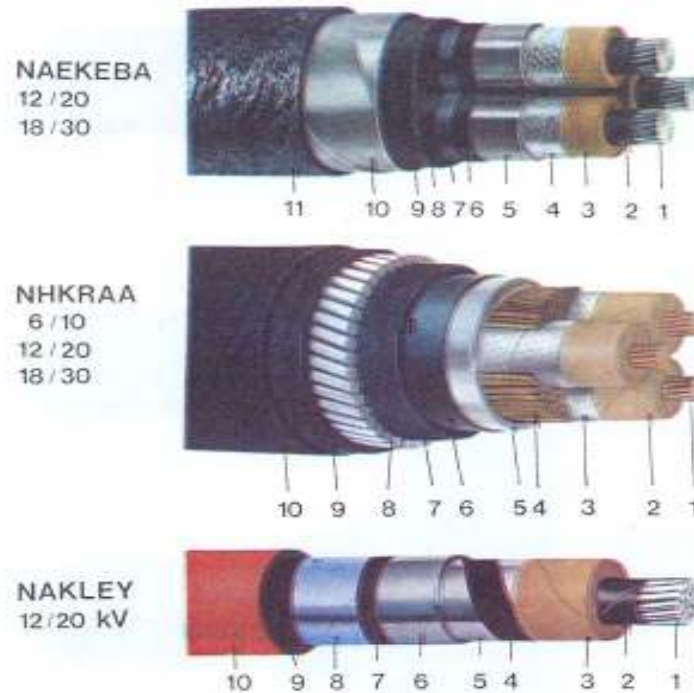
α.) NAKBA 6/10kV

- 1) αγωγός,
- 2) μόνωση χαρτί μάζας,
- 3) γέμισμα κενού,
- 4) περίζωμα (ζώνη) από μονωτικό,
- 5) μόλυβδος,
- 6) ταινίες προστατευτικές,
- 7) ενίσχυση με χαλύβδινες ταινίες

β) **NKBY 6/10kV** : όπως στο α) αλλά με εξωτερικό προστατευτικό μανδύα PVC.

γ) **NKRGbY 0,6/1kV...6/10kV**, καλώδια MT με μηχανική ενίσχυση :

- 1) αγωγός,
- 2) μόνωση,
- 3) γέμισμα,
- 4) ζώνη από μονωτικό,
- 5) μόλυβδος,
- 6) προστατευτικά στρώματα για να μην πληγώνεται ο μόλυβδος,
- 7) προστατευτικά στρώματα για να μην πληγώνεται ο μόλυβδος
- 8) ταινία χαλύβδινη,
- 9) σύρματα χαλύβδινα,
- 10) προστατευτικός μανδύας από PVC



Σχήμα 3.7: Καλώδια MT ακτινικού πεδίου

**α.) Καλώδιο τριών μανδρών ΝΑΕΚΕΒΑ
12/20...18/30kV:**

- 1) αγωγός,
- 2) εξομαλυντικό ημιαγωγίμο στρώμα,
- 3) μόνωση,
- 4) ταινίες από αλουμίνιο,
- 5) μόλυβδος,
- 6) προστατευτικά στρώματα,
- 7) προστατευτικά στρώματα
- 8) προστατευτικά στρώματα
- 9) προστατευτικά στρώματα
- 10) ταινία χαλύβδινη,
- 11) προστατευτικό στρώμα από εμπεποτισμένες ίνες

β.) Καλώδιο Hochstadter NHKRAA:

- 1) αγωγός,
- 2) μόνωση χαρτί-μάζα,
- 3) φύλλα αλουμινίου (Hochstadter),
- 4) γέμιση,
- 5) μόλυβδος,
- 6) προστατευτικά στρώματα,
- 7) προστατευτικά στρώματα,
- 8) ενίσχυση από χαλύβδινα σύρματα,
- 9) διπλό προστατευτικό στρώμα από εμπεποτισμένες ίνες.
- 10) διπλό προστατευτικό στρώμα από εμπεποτισμένες ίνες.

γ.) Καλώδιο μονοπολικό NAKLEY 12/20kV :

- 1) αγωγός,
- 2) εξομαλυντικό ημιαγωγίμο στρώμα,
- 3) χαρτί-μάζα,
- 4) ημιαγωγίμο χαρτί,
- 5) ταινία συγκράτησης,
- 6) μόλυβδος,
- 7) προστατευτικά στρώματα από μάζα παχύρευστη με ταινίες πλαστικού
- 8) προστατευτικά στρώματα από μάζα παχύρευστη με ταινίες πλαστικού προστατευτικά στρώματα από μάζα παχύρευστη με ταινίες πλαστικού,
- 9) προστατευτικό στρώμα από PVC.

3.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά καλωδίων M/T

3.5.1 Αντίσταση καλωδίων

Η ωμική αντίσταση ενός καλωδίου εξαρτάται από :

- τα υλικά των αγωγών και της ενίσχυσης του καλωδίου
- τις γεωμετρικές διαστάσεις
- τα ρεύματα που διαρρέουν τους μανδύες.

Εάν :

- P_w οι απώλειες του καλωδίου / μονάδα μήκους
- I το ρεύμα (rms) / φάση
- R_w η συνολική ενεργός αντίσταση / φάση

τότε ισχύει :

$$P_w = R_w I^2 \text{ (Ισχύς / φάση)} \quad (3.1)$$

Οι απώλειες διακρίνονται σε απώλειες αγωγών (P_L) και απώλειες μανδύα (P_M).

Ισχύει

$$P_w = P_L + P_M = (R_L + R_M) I^2 \quad (3.2)$$

Αντίσταση αγωγού

Εάν η αντίσταση του αγωγού στο συνεχές ρεύμα στους 20°C είναι R_{20} , τότε η αντίσταση συνεχούς ρεύματος στη θερμοκρασία λειτουργίας θ είναι :

$$R_\theta = R_{20} \{1 + \alpha(\theta - 20)\} \quad (3.3)$$

όπου α ο θερμοκρασιακός συντελεστής του υλικού.

Ωστόσο η αντίσταση του αγωγού R_L διαμορφώνεται και από το γεγονός ότι το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο. Έτσι η συνολική αντίσταση του αγωγού μπορεί να γραφεί σα γινόμενο της αντίστασης στο συνεχές ρεύμα, διορθωμένη κατά δύο συντελεστές, σύμφωνα με τη σχέση :

$$R_L = R \cdot F_S \cdot F_P \quad (3.4)$$

όπου οι συντελεστές F_S και F_P είναι μεγαλύτεροι της μονάδας και αντιστοιχούν στο επιδερμικό φαινόμενο (Skin Effect) και στο φαινόμενο γεινίασης (Proximity Effect). Συνήθως το γινόμενο $F_S \cdot F_P$ δεν υπερβαίνει το 1,05, δηλαδή η συνολική επαύξηση είναι περίπου 5%.

Αντίσταση μανδύα

Στους μανδύες επάγονται ρεύματα, τα οποία είναι είτε δινορρέματα είτε συνολικά ρεύματα που ρέουν κατά μήκος των μανδύων. Οι απώλειες ισχύος λόγω του μανδύα και της μηχανικής ενίσχυσης μπορούν να εκφραστούν είτε σε συνάρτηση του τετραγώνου του ρεύματος είτε σε συνάρτηση των απωλειών του αγωγού :

$$P_M = R M I^2 = P_L (\lambda_M + \lambda_B) \quad (3.5)$$

όπου $P_L \lambda_M$ οι απώλειες που οφείλονται στο μανδύα και $P_L \lambda_B$ οι απώλειες που οφείλονται στη μηχανική ενίσχυση.

3.5.2 Αυτεπαγωγή καλωδίων

Η αυτεπαγωγή λειτουργίας των καλωδίων εξαρτάται από το εάν οι μανδύες φέρουν ρεύμα. Χωρίς την επίδραση των μανδύων οι αυτεπαγωγές των καλωδίων υπολογίζονται, ανάλογα με τη διάταξη, σύμφωνα με τα παρακάτω :

- Επίπεδη διάταξη:

$$L' = \frac{\mu_o}{2\pi} \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{1}{4} \right) = \frac{\mu_o}{2\pi} \ln \frac{a}{\rho} \quad (3.6)$$

$$\rho = 0,779r, \mu_o = 4\pi 10^{-4} \text{ H/km}$$

- Τριγωνική διάταξη:

$$L_{R'} = L_{S'} = L_{r'} = L' = \frac{\mu_o}{2\pi} \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{1}{4} \right) \quad (3.7)$$

Εάν οι μανδύες φέρουν ρεύμα τότε η αυτεπαγωγή μειώνεται, διότι τα ρεύματα των μανδύων μειώνουν τη ροή. Για τις αυτεπαγωγές λειτουργίας του μανδύα ισχύουν οι παρακάτω προσεγγιστικοί τύποι :

$$X_M = \omega \frac{\mu_o}{2\pi} \ln \left(\frac{a}{D_M \sqrt{2}} \right) \text{ για τριγωνική διάταξη} \quad (3.8)$$

$$X_M = \omega \frac{\mu_o}{2\pi} \ln \left(\frac{a \sqrt[3]{2}}{D_M/2} \right) \text{ για επίπεδη διάταξη} \quad (3.9)$$

D_M : διάμετρος μανδύων

a : αποστάσεις των κέντρων των μανδύων

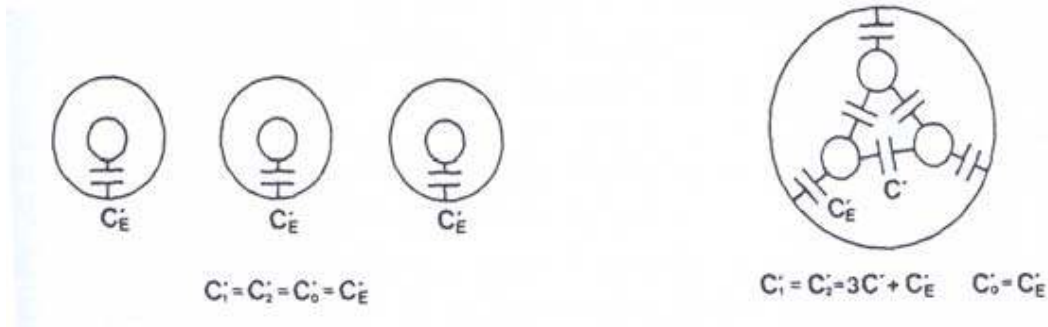
Για τη συνολική αυτεπαγωγή του καλωδίου ισχύει:

$$X_{\text{καλωδίου}} = X_{\text{αγωγού}} - \Delta X \quad (3.10)$$

$$\text{όπου} \quad \Delta X = \frac{X_M}{1 + (R_M/X_M)^2} \quad (3.11)$$

3.5.3 Χωρητικότητες καλωδίων

Στα καλώδια οι χωρητικότητες μεταξύ των αγωγών είναι πολύ μεγαλύτερες απ' ό,τι σε εναέριες γραμμές, επειδή οι αποστάσεις είναι μικρές και η διηλεκτρική σταθερά είναι 2,5-3,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα. Τυπικές τιμές χωρητικότητας καλωδίων είναι 0,1-1,2μF/km. Στα τριφασικά περιζωμένα καλώδια διακρίνουμε τη χωρητικότητα μεταξύ αγωγού-αγωγού (C') και τη χωρητικότητα μεταξύ αγωγού-γης (CE'), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Για να βρούμε την ισοδύναμη φασική χωρητικότητα αλλάζουμε τις χωρητικότητες C' που συνδέονται κατά τρίγωνο σε ισοδύναμη συνδεσμολογία αστέρα, καταλήγοντας στη σχέση: $C_n' = 3C' + CE'$



Σχήμα 3.8: Χωρητικότητες καλωδίων: α) τριφασικό σύστημα μονοπολικών καλωδίων β) περιζωμένα καλώδια

Στα μονοφασικά καλώδια η χωρητικότητα μεταξύ αγωγού και μανδύα είναι : $CE' = 2\pi\epsilon_r\epsilon_0 / \ln(r_M/r_L)$ (Χωρητικότητα καλωδίων ακτινικού πεδίου, μονοπολικών και Hochstadter) όπου r_M , r_L οι ακτίνες εσωτερικά του μανδύα και εξωτερικά του αγωγού, ϵ_r η σχετική διηλεκτρική σταθερά και $\epsilon_0 = 8,86\text{pF/m}$.

Το χωρητικό ρεύμα ανά km I_c και η άεργος ισχύς υπολογίζονται με τις σχέσεις :

$$I_c' = \frac{U \cdot C'' \cdot \omega}{\sqrt{3}} \quad (3.12)$$

$$Q_c' = U^2 \cdot C'' \cdot \omega \quad (3.13)$$

3.5.4 Διηλεκτρικές απώλειες

Οι διηλεκτρικές απώλειες οφείλονται στις κινήσεις που εκτελούν τα δίπολα των μονωτικών, καθώς διεγείρονται από το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο που επάγεται μέσα στο καλώδιο. Οι διηλεκτρικές απώλειες είναι συνάρτηση του τετραγώνου της τάσης, της θερμοκρασίας και της κυκλικής συχνότητας, σύμφωνα με τη σχέση:

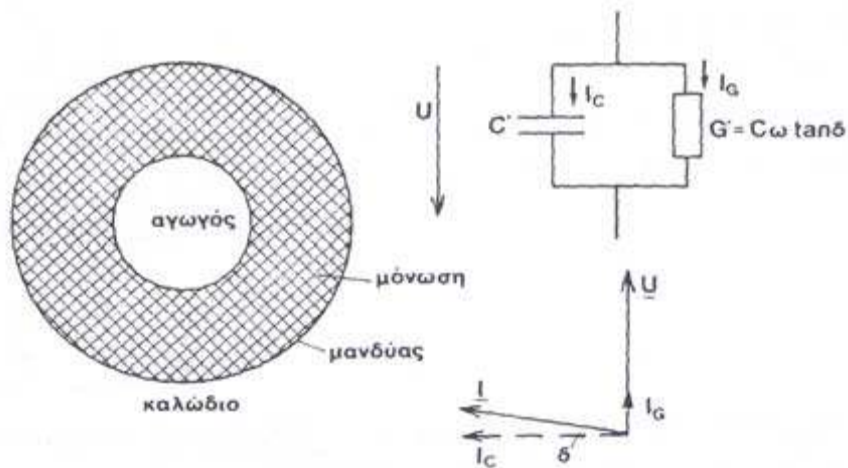
$$Pd' = U^2 C' \omega \tan\delta \quad (3.14)$$

όπου Pd' η ανηγμένη τριφασική ισχύς σε W/m
 U η πολική τάση
 C' η ανηγμένη χωρητικότητα λειτουργίας 0,2-0,9nF/m
 $\tan\delta$ ο συντελεστής απωλειών

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση οι διηλεκτρικές απώλειες μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχονται από ένα υποθετικό ρεύμα που διαρρέει μία αγωγιμότητα G' που βρίσκεται υπό τάση $U/\sqrt{3}$:

$$G' = C' \omega \tan \delta \quad (\Omega^{-1} \text{ m}^{-1})$$

Οι διηλεκτρικές απώλειες είναι σταθερές και υφίστανται όσο το καλώδιο βρίσκεται υπό τάση, ενώ οι απώλειες λόγω ρεύματος μεταβάλλονται από μηδέν μέχρι του μεγίστου τους ανάλογα με τη φόρτιση.



Σχήμα 3.9: Καλώδιο και ισοδύναμο κύκλωμα για τη μόνωσή του

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ”

4.1 Γενικά

Τα μέσα προστασίας, σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης και αν αναφερόμαστε, έχουν ως στόχο την άμεση προστασία ενός ηλεκτρικού φορτίου ή ενός κυκλώματος. Έμμεσα όμως προστατεύουν ολόκληρη την εγκατάσταση και κυρίως τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν την κάθε ηλεκτρική συσκευή. Κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός επιμέρους ηλεκτρικού φορτίου μέσα σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να συμβεί κάποια βλάβη που να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα. Το βραχυκύκλωμα όμως καταπονεί τα υπόλοιπα στοιχεία του ηλεκτρικού καταναλωτή (αγωγούς, μονώσεις) αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία τους, αφού διαρρέονται από πάρα πολύ μεγάλο ρεύμα. Η αυξανόμενη θερμοκρασία μπορεί να καταστρέψει τη συσκευή και να προκαλέσει πυρκαγιά, η οποία μπορεί να εξαπλωθεί σε όλη την εγκατάσταση.

Τα μέσα προστασίας σε περίπτωση κάποιου σφάλματος έχουν ως σκοπό να διακόψουν την τροφοδοσία και να απομονώσουν τη συσκευή, το κύκλωμα ή την εγκατάσταση που προκαλεί το σφάλμα. Αυτό πρέπει να πραγματοποιηθεί σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο χωρίς να προκληθεί οποιαδήποτε άλλη βλάβη εξαιτίας του σφάλματος. Συμπερασματικά, τα μέσα προστασίας έχουν ως στόχο:

- να περιοριστεί όσο γίνεται περισσότερο η βλάβη του στοιχείου, στο οποίο εκδηλώθηκε
- να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στο υπόλοιπο σύστημα και να αποφευχθεί η απενεργοποίηση και άλλων στοιχείων
- να αποφευχθούν επικίνδυνες συνέπειες όπως ηλεκτροπληξία, έκρηξη και πυρκαγιά.

Στην Μέση Τάση (MT) χρησιμοποιούνται μηχανήματα (Μετασηματιστές 20000V/400V, πυκνωτές) τα οποία σε περίπτωση σφάλματος μπορούν να εκραγούν και να επιφέρουν σοβαρές συνέπειες σε ανθρώπους που βρίσκονται και εργάζονται στο ίδιο χώρο. Επομένως, δεν υπάρχουν στην MT πολλά περιθώρια λάθους. Ένας λάθος χειρισμός ή μια λανθασμένη ενέργεια (π.χ άνοιγμα ενός διακόπτη MT) σε μια εγκατάσταση μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες σε αυτήν και να προκαλέσει ακόμα και θανατηφόρα ατυχήματα. Έτσι τα μέσα προστασίας στην MT πρέπει να επιλέγονται με πολλή μεγάλη προσοχή.

Με τον όρο «σφάλμα» εννοούμε μια μη κανονική λειτουργία σε μια διάταξη. Σφάλμα έχουμε είτε όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα, λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταξύ 2 φάσεων ή μιας φάσης με την γη, είτε όταν υπάρχει κάποια υπερφόρτιση. Ως σφάλμα επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί η διακοπή της συνέχειας μιας φάσης ή του ουδέτερου. Συνήθως όμως ο όρος σφάλμα αναφέρεται όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα.

Ένα σφάλμα μπορεί να είναι παροδικό ή μόνιμο. Τα παροδικά σφάλματα διαρκούν ελάχιστο χρόνο και αρκεί να διακοπεί η τάση τροφοδοσίας για ελάχιστο χρόνο (π.χ 0,2 sec). Τα σφάλματα αυτά δημιουργούνται στα εναέρια δίκτυα και μπορεί να προκύψουν κατά την πτώση ενός κεραυνού, που μπορεί να προκαλέσει τη διάσπαση του αέρα ανάμεσα σε 2 φάσεις και την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Τα παροδικά σφάλματα μπορούν να εξλειφθούν

πολλές φορές και μόνα τους χωρίς να διακοπεί καθόλου η τάση. Τα σφάλματα αυτά ονομάζονται τότε «αυτοαποσβενύμενα»

Τα μόνιμα σφάλματα υφίστανται συνεχώς μέχρι να διακοπεί η τροφοδοσία στο κύκλωμα, που υπάρχει το σφάλμα, είτε αυτόματα από τα υπάρχοντα μέσα προστασίας είτε από τον άνθρωπο. Τα σφάλματα που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι μόνιμα σφάλματα. Για να γίνει μια σύγκριση με τα παροδικά σφάλματα στα εναέρια δίκτυα αναφέρουμε την πτώση για παράδειγμα κάποιου δέντρου πάνω στις γραμμές, που για την απομάκρυνση του πρέπει να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση.

Στα μέσα προστασίας χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι «υπερφόρτιση» και «υπερένταση». Υπερφόρτιση συμβαίνει όταν το ρεύμα σε μια διάταξη είναι λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (IN) και μπορεί να πάρει τιμή μέχρι και το διπλάσιο του ονομαστικού. Για ρεύματα μεγαλύτερα από το διπλάσιο ονομαστικό ρεύμα (π.χ 5 φορές το IN) χρησιμοποιείται ο όρος «υπερένταση» Υπερένταση έχουμε όταν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα.

Τα σύνηθη μέσα προστασίας στην Μέση Τάση είναι

1. Ασφάλειες M/T
2. Διακόπτες M/T

4.2 Ασφάλειες Μέσης Τάσης

Οι ασφάλειες M/T χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν ένα κύκλωμα MT όταν σε αυτό υπάρχει βραχυκύκλωμα αλλά και υπερφόρτιση που διαρκεί αρκετή ώρα..

Οι ασφάλειες M/T χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

1. Ασφάλειες Σκόνης
2. Ασφάλειες Εκτόνωσης

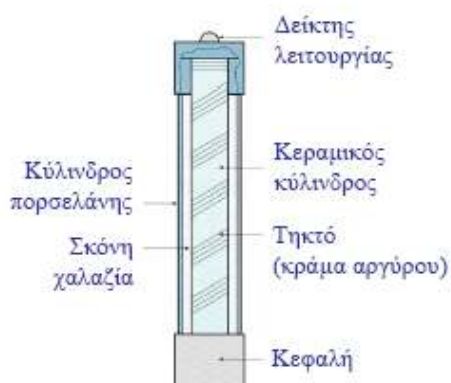
4.2.1 Ασφάλειες Σκόνης

Οι ασφάλειες σκόνης χρησιμοποιούνται κυρίως για να διακόπτουν ένα κύκλωμα όταν σε αυτό υπάρχει βραχυκύκλωμα αλλά και υπερφόρτιση που διαρκεί αρκετή ώρα.. Αποτελούνται από ένα κύλινδρο από πορσελάνη μέσα στον οποίο υπάρχει το τηκτό και η σκόνη χαλαζία. Το τηκτό, που είναι άργυρος αλλά και κράματα του, είναι τυλιγμένο γύρω από ένα κεραμικό υλικό, όπως φαίνεται στο Σχ.4.2. Η σκόνη βρίσκεται γύρω από τον κεραμικό κύλινδρο και σκεπάζει το τηκτό.

Οι ασφάλειες αυτές μειώνουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαιτίας της σκόνης χαλαζία. Η σκόνη βοηθά στην σβέση του τόξου, που δημιουργείται με την τήξη του αγωγού, λόγω της ψυκτικής της ικανότητας. Ταυτόχρονα όμως δημιουργείται και μια μεγάλη αντίσταση με αποτέλεσμα να μειώνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Έτσι στην πραγματικότητα το ρεύμα αυτό παίρνει χαμηλότερη τιμή από αυτή που είχε υπολογιστεί αρχικά με αποτέλεσμα να υπάρχει μια επιπλέον προστασία του εξοπλισμού σε μια εγκατάσταση. Η ασφάλεια αυτή είναι ακριβότερη από την ασφάλεια εκτόνωσης και χρησιμοποιείται σε εξωτερικούς χώρους.



Σχήμα 4.1: Ασφάλειες Σκόνης



Σχήμα 4.2: Βασικά μέρη μιας ασφάλειας



Σχήμα 4.3: Τομή ασφάλειας

STRIKER - SCHLAGSTIEG	ABB	TYPE CEF
	$I_N = 40A$	$I_3 < 3 \times I_N$
	$U_N = 12kV$	$I_1 = 50kA$
	INDOOR - INNENRAUM	
	ABB	

Σχήμα 4.4: Πινακίδα στοιχείων ασφάλειας

Στην ασφάλεια υπάρχει μια πινακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία της Ασφάλειας σκόνης. Τα ονομαστικά στοιχεία που υπάρχουν στην πινακίδα, όπως φαίνονται στο Σχ.4.4 είναι τα παρακάτω:

1. Ο τύπος της Ασφάλειας. Υπάρχουν 2 τύποι ασφαλειών ο τύπος CEF που χρησιμοποιείται γενικά για προστασία μια εγκατάστασης ΜΤ σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο (π.χ προστασία ΜΣ) και ο τύπος CMF, που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για προστασία κινητήρων.
2. I_N : Ονομαστικό ρεύμα Λειτουργίας ($I_N=40A$). Το ρεύμα αυτό είναι το ρεύμα που μπορεί να διαρρέει συνεχώς την ασφάλεια χωρίς να λιώνει το τηκτό. Αυτό είναι και το ρεύμα που χαρακτηρίζει την Ασφάλεια (π.χ ασφάλεια 40 A)
3. U_N : Η ονομαστική πολική τάση λειτουργίας
4. $I_3 < 3 \times I_N$: Το ελάχιστο ρεύμα που μπορεί να διακόψει
5. I_f : Το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης το οποίο μπορεί να διακόψει η ασφάλεια και στο οποίο έχει ελεγχθεί (π.χ $I_f = 50 \text{ kA}$)

Στην πινακίδα υπάρχει και ένα ενδεικτικό «Βέλος» το οποίο δείχνει σε πιο άκρο της ασφάλειας υπάρχει ένα αντικείμενο ηλεκτρομαγνητικής εκτόνωσης, για το οποίο χρησιμοποιείται ο όρος “Striker Pin”. Το μεταλλικό αυτό αντικείμενο, που μοιάζει σαν χοντρή βελόνα, βρίσκεται εσωτερικά της ασφάλειας. Όταν λιώσει το τηκτό εκτινάσσεται το striker pin με δύναμη προς τα έξω. Έτσι δίνεται μηχανικά εντολή να ανοίξουν οι επαφές ενός διακόπτη.

Η ασφάλεια σκόνης, όπως και όλες οι ασφάλειες έχουν κάποια χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας. Στην καμπύλη αυτή φαίνεται ο χρόνος που απαιτείται για να λιώσει το τηκτό συναρτήσει του ρεύματος που διαρρέει την ασφάλεια. Όσο αυξάνεται το ρεύμα τόσο μειώνεται ο χρόνος στον οποίο θα λιώσει η ασφάλεια και αντίστροφα. Η ασφάλεια μπορεί να μην λιώσει ακόμα και αν το ρεύμα είναι μεγάλο με την προϋπόθεση ο χρόνος που διαρρέει την Ασφάλεια να είναι μικρός. Για παράδειγμα για μια ασφάλεια σκόνης 40 A ($I_N=40A$), ο χρόνος λειτουργίας της είναι περίπου 2,2 sec αν διαρρέεται με ρεύμα έντασης 200 A ($5 \times I_N$) και 2 min για ρεύμα 120A ($3 \times I_N$), όπως φαίνεται στο Σχ.4.5.

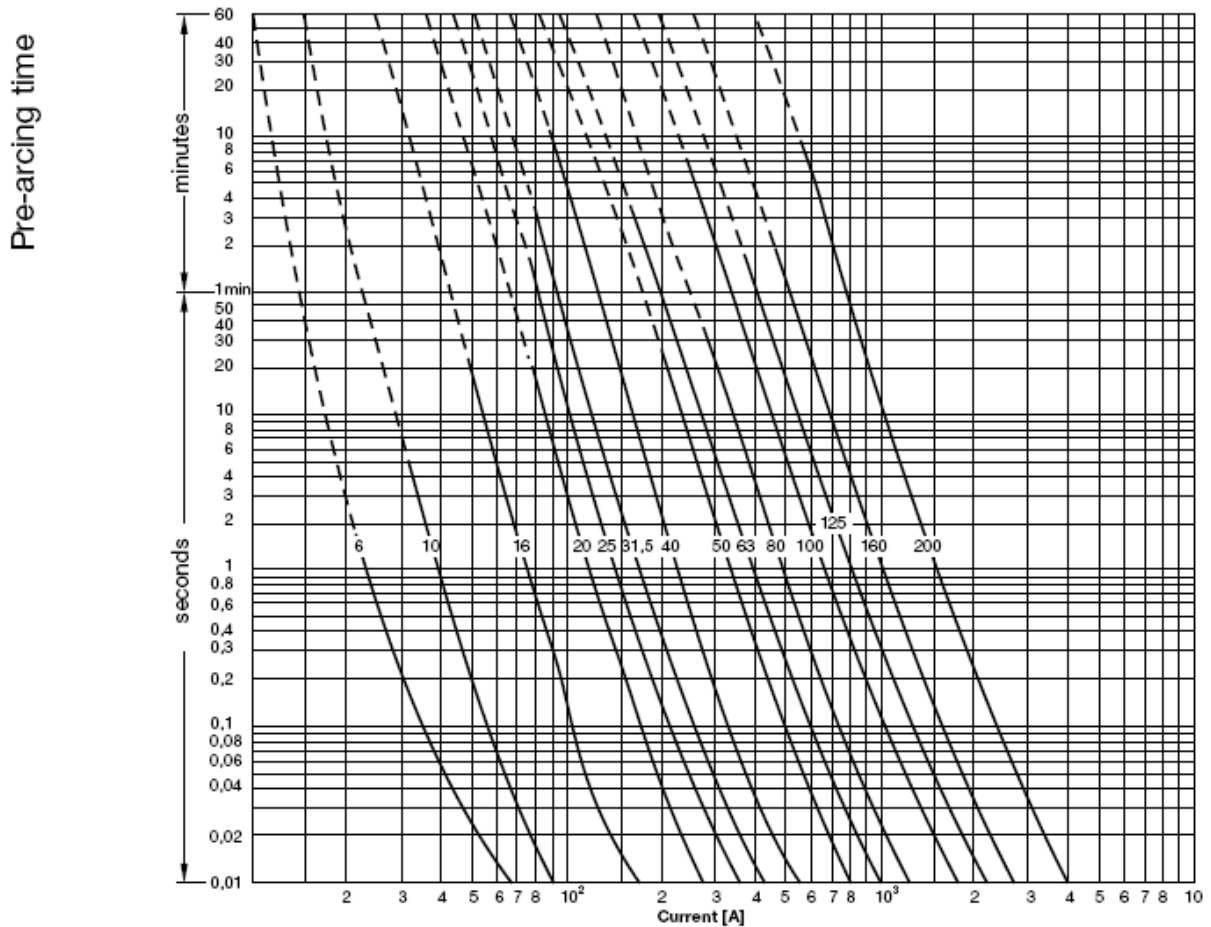
Πίνακας 4.1: Προσδιορισμός ασφάλειας για την προστασία ΜΣ

Choice of fuse links for protection of transformers

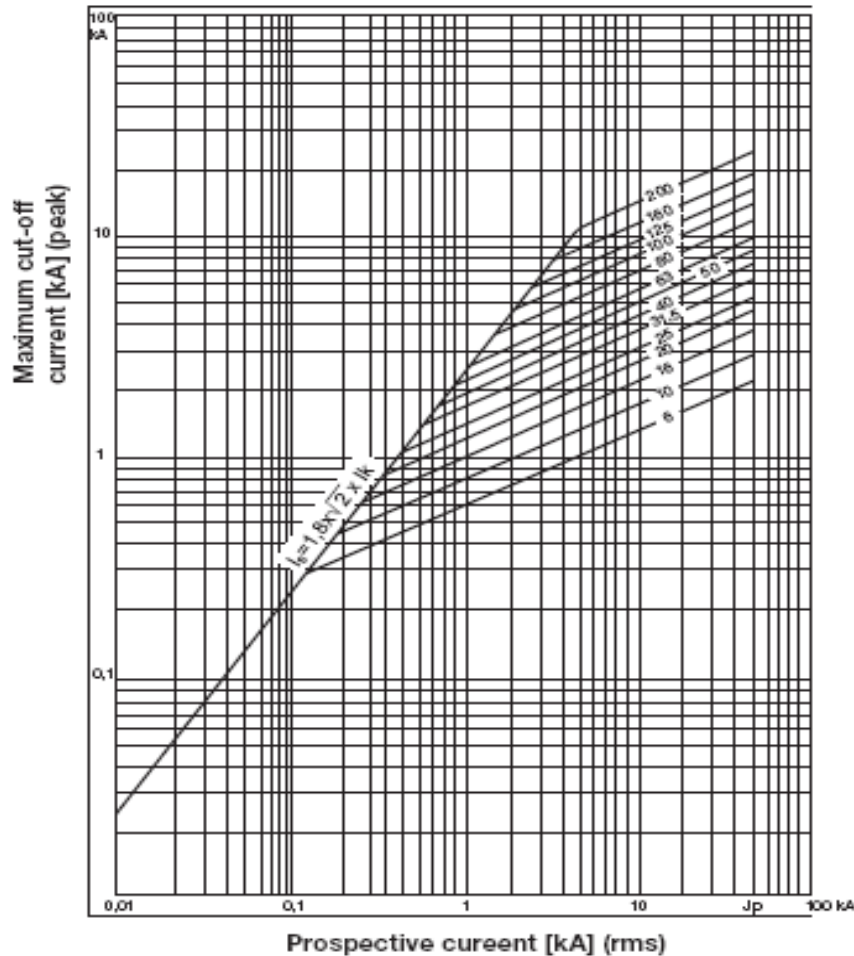
Line Voltage (KV)	TRANSFORMER RATING (kVA)																			
	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3000	3500
HIGH VOLTAGE FUSE-LINK I_N (A)																				
3	16	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315*				
5	10	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315*	315*	
6	10	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315	315*
10	6	10	16	16	16	25	25	25	31,5	40	63	63	63	80	100	100	160	200	250*	250*
12	6	10	16	16	16	16	25	25	25	31,5	40	63	63	63	80	100	160	160	200	250*
15	6	10	10	16	16	16	16	20	25	25	31,5	40	63	63	63	100	100	125	200	200
20	6	10	10	16	16	16	16	20	20	20	31,5	31,5	40	63	63	63	80	100	125	160
24	6	10	10	10	10	16	16	20	20	20	31,5	31,5	40	40	63	63	63	80	125	125
30	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	40	2x40	2x40		
36	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	2x40	2x40		
Low voltage	LOW VOLTAGE FUSE-LINK I_N (A)																			
220V		80	100	125	160	200	250	250	315	400	500	630								
380V		50	63	100	100	125	125	200	250	250	350	400	400	500	630					
500V		40	50	80	80	100	100	160	160	200	250	350	350	400	500	630				

Στον πίνακα προσδιορίζεται το μέγεθος της ασφάλειας σε A που πρέπει να εγκατασταθεί για να προστατεύει έναν ΜΣ, ανάλογα με την ισχύ του (kVA).

Στο διάγραμμα του σχήματος 4.6 φαίνεται πως περιορίζεται το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης) με την ασφάλεια σκόνης χωρίς αυτό να φτάσει την μέγιστη τιμή του, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχει βραχυκύκλωμα με ρεύμα έντασης 2 kA σε κύκλωμα που προστατεύεται με ασφάλεια σκόνης 40 A. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος περιορίζεται σε 2,5 kA. Αν δεν υπήρχε ασφάλεια σκόνης, η τιμή του κρουστικού ρεύματος θα ήταν 4,5 kA. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμικής και μηχανικής καταπόνησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.5: Χαρακτηριστική καμπύλη ασφάλειας σκόνης



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα περιορισμού του ρεύματος Βραχυκύκλωσης

4.2.2 Ασφάλειες Εκτόνωσης

Η ασφάλεια εκτόνωσης είναι ένας μονωτικός κυλινδρικός σωλήνας μέσα στον οποίο βρίσκεται ένας αγωγός, το τηκτό. Το τηκτό είναι ταυτισμένο με ελατήριο ενώ ο σωλήνας είναι ανοιχτός πάνω και κάτω. Εσωτερικά του κυλινδρικού σωλήνα υπάρχει ένα στρώμα από βορικό οξύ. Σε περίπτωση σφάλματος κατά την τήξη του αγωγού το στρώμα του βορικού οξέος βοηθάει στην σβέση του τόξου που δημιουργείται. Το τόξο έρχεται σε επαφή με το βορικό οξύ και δημιουργούνται ατμοί, που ψύχουν το τόξο, έτσι αυτό σταδιακά σβήνει.

Κατά την διάρκεια της σβέσης όμως δημιουργούνται τοξικά αέρια, τα οποία εκλύονται στο χώρο που βρίσκεται η ασφάλεια, αφού ο σωλήνας είναι ανοιχτός. Γι' αυτό τον λόγο δεν επιτρέπεται η χρήση της συγκεκριμένης ασφάλειας σε κλειστούς χώρους αλλά χρησιμοποιείται μόνο σε εξωτερικούς χώρους, σε υπαίθριες εγκαταστάσεις. Οι ασφάλειες αυτές δεν μειώνουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης όπως η ασφάλειες σκόνης. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται για την προστασία Μ/Σ υποβιβασμού της τάσης 20/0,4 kV στα εναέρια δίκτυα διανομής, όπου όλη η εγκατάσταση είναι υπαίθρια πάνω σε στύλους της Δ.Ε.Η. Οι ασφάλειες εκτόνωσης είναι πολύ πιο φθηνές σε σχέση με τις ασφάλειες σκόνης γι' αυτό και προτιμούνται σε υπαίθριες εγκαταστάσεις.

Οι ασφάλειες εκτόνωσης χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα T
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα K

Επίσης η ασφάλεια εκτόνωσης, σε συνδυασμό με την βάση, στην οποία τοποθετείται, μπορεί να λειτουργήσει και ως αποζεύκτης. Σε περίπτωση σφάλματος και τήξης της ασφάλειας, η ασφάλεια αποσυνδέεται από το ένα άκρο της βάσης, και έτσι μπορεί κάποιος από μακριά να διαπιστώσει ότι η ασφάλεια έχει καεί και το κύκλωμα βρίσκεται εκτός τάσης. Έτσι χρησιμοποιείται ο όρος «ασφαλειοαποζεύκτης».

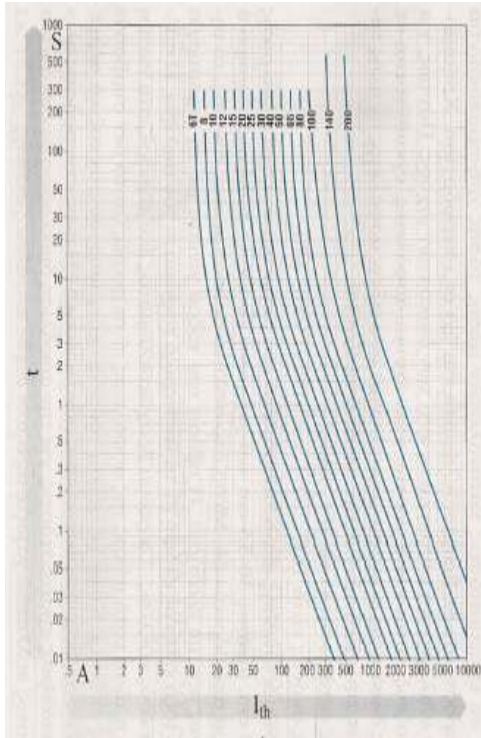


Σχήμα 4.7α: Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω σε κατάσταση λειτουργίας

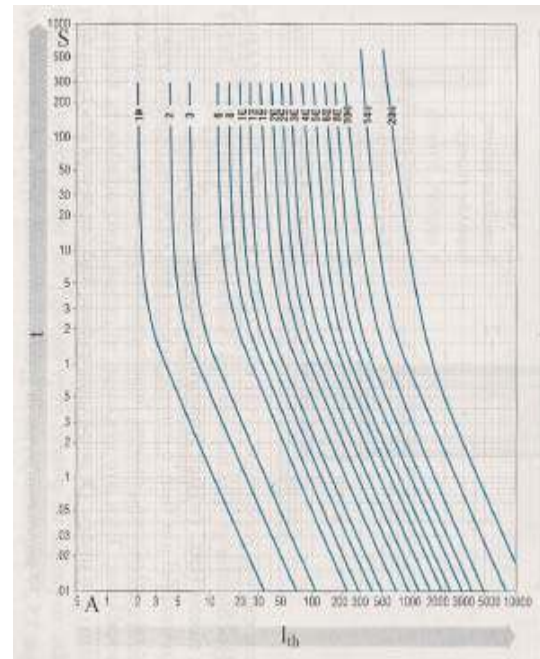


Σχήμα 4.7β: Ασφάλεια καμένη στη βάση αποσυνδεδεμένη από τη βάση

Για κάθε τύπου ασφάλειας υπάρχει και η αντίστοιχη χαρακτηριστική έντασης – χρόνου. Όπως φαίνεται στις χαρακτηριστικές μια ασφάλεια ταχείας τήξης θα λιώσει γρηγορότερα από μια ασφάλεια βραδείας τήξης ίδιου μεγέθους όταν αυτές διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.



Σχήμα 4.8α: Χαρακτηριστική Ασφάλειας Εκτόνωσης Βραδείας τήξης (τύπου T)



Σχήμα 4.8β: Χαρακτηριστική Ασφάλειας Εκτόνωσης Ταχείας τήξης (τύπου K)

4.3 Διακόπτες ΜΤ

Οι διακόπτες ΜΤ ανάλογα με τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν χωρίζονται στις παρακάτω 4 κατηγορίες:

- 1) **Αποζεύκτες και γειωτές:** Χειρισμοί μόνο με μηδενικό ή ελάχιστο ρεύμα
- 2) **Διακόπτες φορτίου:** Χειρισμοί και σε κανονική λειτουργία με ονομαστικά ρεύματα
- 3) **Διακόπτες Ισχύος:** Χειρισμοί σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας
- 4) **Διακόπτες Απομόνωσης:** Συνεργάζεται με έναν Διακόπτη Ισχύος και έχει προδιαγραφές όπως ένας Διακόπτης φορτίου

Οι διακόπτες είναι πολύ πιο ακριβοί από τις ασφάλειες αλλά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται αλλαγή όπως μια ασφάλεια. Βέβαια και αυτοί έχουν μια διάρκεια ζωής που μετριέται σε κύκλους μηχανικής λειτουργίας και εξαρτάται από το είδος του διακόπτη.

4.3.1 Αποζεύκτες και γειωτές

Οι αποζεύκτες και οι γειωτές ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα όταν αυτό διαρρέεται από ελάχιστο ρεύμα ή υπάρχει μηδενική τάση. Οι διατάξεις αυτές έχουν ορατές επαφές, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση για να μπορεί κάποιος να «βλέπει από απόσταση και να είναι σίγουρος» αν η εγκατάσταση είναι υπό τάση ή εκτός τάσης κάθε στιγμή. Συγκεκριμένα, οι αποζεύκτες απομονώνουν ορατά ένα μέρος της εγκατάσταση από την υπόλοιπη. Η υπόλοιπη εγκατάσταση μπορεί να τεθεί πάλι υπό τάση. Επειδή όμως μπορεί να υπάρχει τάση 20 kV στην πλευρά που έγινε η διακοπή, υπάρχει περίπτωση να επαχθεί τάση στο απομονωμένο τμήμα. Η τάση που επάγεται ενδέχεται να πάρει μεγάλη τιμή, επικίνδυνη για κάποιον που εργάζεται στο απομονωμένο τμήμα. Γι' αυτό τον λόγο, αφού ανοίξουν οι αποζεύκτες και απομονώσουν ένα τμήμα κλείνουν οι γειωτές, οι οποίοι γείωναν το τμήμα αυτό με την γη. Τώρα είναι δυνατό να εκτελεστούν κάποιες εργασίες με

ασφάλεια. Οι αποζεύκτες πρέπει να αντέχουν στα ρεύματα σφαλμάτων όταν είναι κλειστοί καθώς επίσης και στις υπερτάσεις που ενδεχομένως να εμφανιστούν όταν αυτοί είναι ανοιχτοί.

Για λόγους ασφαλείας οι αποζεύκτες και οι γειωτές πρέπει να μανδάλωνονται μηχανικά με τους διακόπτες φορτίου ή ισχύος δηλαδή να ανοίγουν πρώτα οι διακόπτες και στην συνέχεια οι αποζεύκτες και οι γειωτές. Σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργηθεί ένα μεγάλο ηλεκτρικό τόξο επικίνδυνο για την εγκατάσταση.

Η σειρά χειρισμών που πρέπει να τηρείται κατά την διακοπή τροφοδοσίας σε ένα τμήμα είναι:

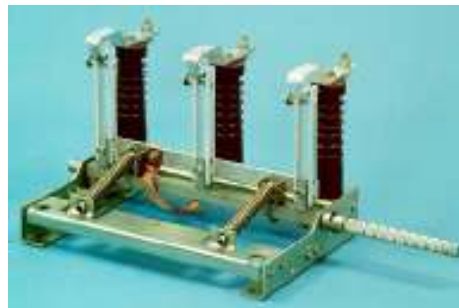
1. Ανοίγει ο διακόπτης
2. Ανοίγει ο αποζεύκτης
3. Κλείνει ο γειωτής

Η σειρά χειρισμών που πρέπει να τηρείται κατά την επανατροφοδότηση του τμήματος είναι ακριβώς η αντίστροφη:

1. Ανοίγει ο γειωτής
2. Κλείνει ο αποζεύκτης
3. Κλείνει ο διακόπτης



Σχήμα 4.9: Αποζεύκτης



Σχήμα 4.10: Γειωτής



Σχήμα 4.11: Γειωτής σε λειτουργία

Υπάρχουν 2 είδη γειωτών του σχήματος 4.10, ο απλός γειωτής και ο γειωτής που συνδέεται μέσω ΜΣ έντασης για εξοικονόμηση χώρου μέσα στο πίνακα Μ.Τ (Κυψέλη). Παρακάτω φαίνεται η επεξήγηση του κωδικού αριθμού του γειωτή.

OJWM 12/63A 150

- OJWM: Γειωτής
- 12: Ονομαστική πολική Τάση σε kV (12kV)
- 63: Η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης κρουστικού (peak) που αντέχει σε kA (63 kA).
- A : Γράμμα κατασκευής (Construction Letter)
- 150: Η απόσταση σε mm μεταξύ των φάσεων (150 mm)

Το γράμμα κατασκευής δείχνει το χρόνο αντοχής του γειωτή σε κάποια τιμή ρεύματος. Το γράμμα «Α» υποδηλώνει ότι ο χρόνος αντοχής σε βραχυκύκλωμα είναι 1 s ενώ το Β ότι ο χρόνος αντοχής είναι 3 s. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις διάφορες περιπτώσεις.

Πίνακας 4.2: Περιγραφή του Γράμματος κατασκευής

Description of construction letter

A =Short circuit withstand current rating for 1s

B =Short circuit withstand current rating for 3s

AJ or BJ =Earthing switch fitted with voltage indicator

D or E =Support insulators replaces with KOFA current transformers

H or J =Support insulators replaced with KOFD current transformers

Πίνακας 4.3: Τύποι γειωτών

Type	Rated voltage Un kV	Short time withstand current		Peak withstand current kA	Short circuit closing capacity kA	Operating torque Nm		Weight
		1s	3s			Open	Closed	
OJWN 12 /63 A 150 OJWN 12 /63 A 210	12	25		63	63	90	50	17
OJWN 12 /63 B 150 OJWN 12 /63 B 210	12		25	63	63	90	50	18
OJWN 17,5 / 63 B 210	17,5		25	63	63	120	50	18
OJWN 24 / 63 A 210 ¹⁾ OJWN 24 / 63 A 260	24	25		63	63	140	50	20
OJWN 24 / 63 B 210 ¹⁾ OJWN 24 / 63 B 260	24		25	63	63	140	50	21
OJWN 12 / 100 A 150 OJWN 12 / 100 A 210 OJWN 12 / 100 A 260	12	40		100	100	120	50	20
OJWN 12 / 110 B 150 OJWN 12 / 110 B 210 OJWN 12 / 110 B 260	12		40	110		120	50	22
OJWN 17,5 / 100 A 210	17,5	40	31,5	100	100	130	50	21
OJWN 17,5 / 100 B 210	17,5		40	100		130	50	23
OJWN 12 / 63 AJ 150 OJWN 12 / 63 AJ 210	12	25		6	63	90	50	18
OJWN 12 / 63 BJ 150 OJWN 12 / 63 BJ 210	12		25	63	63	90	50	18
OJWN 24 / 63 AJ 210 ¹⁾ OJWN 24 / 63 AJ 260	24	25		63	63	140	50	18
OJWN 24 / 63 BJ 210 ¹⁾ OJWN 24 / 63 BJ 260	24		25	63	63	140	50	20

Πίνακας 4.4: Ονομαστικά στοιχεία αποζεύκτη ADNN

Type	List No.	Rated Voltage kV	Rated Current A	Rated peak withstand Current in dyn kA	Rated short time current lth 1s	Rotating angle of shaft	Withstand Voltage 50Hz		Impulse withstand		Insulators		Weight Per unit kg
							Pole-pole Pole-earth kV	Across Isolating distance kV	Pole-pole Pole-earth kV	Across Isolating distance kV	Leakage Distance mm	Withstand Force Kp	
ADNN 12	53511	12	630	90	36	90°	35	45	75	85	200	750	33.0
	53512		1250	100	40		35	45	75	85	200	1600	42.0
	53613		1600	100	40		35	45	75	85	200	1600	48.0
	53614		2500	160	65		35	45	75	85	200	1600	78.0
ADNN 24	53616	24	630	80	32	90°	55	75	125	145	350	750	45.0
	53617		1250	85	35		55	75	125	145	350	1600	57.0
	53618		1600	85	35		55	75	125	145	350	1600	65.0
	53619		2500	150	60		55	75	125	145	350	1600	93.0
ADNN 36	53521	36	630	65	26	90°	75	100	170	195	425	750	72.0
	53622		1250	75	30		75	100	170	195	425	1600	83.0
	53623		1600	75	30		75	100	170	195	425	1600	96.0
	53624		2500	150	60		75	100	170	195	425	1600	130.0

4.3.2 Διακόπτης Φορτίου (ΔΦ)

Οι διακόπτες φορτίου (ΔΦ) μπορούν να ανοίξουν και να κλείσουν τις επαφές τους όταν διαρρέονται από τα ονομαστικά ρεύματα, δηλαδή σε κανονική κατάσταση λειτουργίας, αλλά, φυσικά, και από μηδενικά ρεύματα. Κατά το άνοιγμά ή κλείσιμο του διακόπτη σε κανονικές συνθήκες δημιουργείται ένα τόξο, το οποίο πρέπει να ψυχθεί και να σβήσει. Γι' αυτό υπάρχει ο θάλαμος σβέσης του τόξου. Στο θάλαμο αυτόν υπάρχει ένα μέσο που βοηθάει στην διαδικασία αυτή. Ένας διακόπτης φορτίου μπορεί να χαρακτηριστεί ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιεί για τη σβέση του τόξου. Έτσι υπάρχουν τα παρακάτω είδη Διακοπτών Φορτίου:

- Διακόπτης αέρα
- Διακόπτης με μονωτικά τοιχώματα.
- Διακόπτης αερίου SF6 (εξαφθοριούχου θείου)
- Διακόπτης Κενού

Οι Διακόπτες φορτίου μπορεί να έχουν ορατές επαφές. Αν όμως δεν υπάρχουν αυτές πρέπει να εγκατασταθεί και αποζεύκτης, ο οποίος να είναι μανδαλωμένος με τον Διακόπτη. Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν συνδυασμένη μονάδα. Οι ΔΦ μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε εξωτερικό είτε σε εσωτερικό χώρο ανάλογα φυσικά με την κατασκευή τους.

Ένας διακόπτης φορτίου δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέσο προστασίας σε συνθήκες σφάλματος επειδή σε έναν ΔΦ μπορούν να γίνουν χειρισμοί μόνο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Γι' αυτό ο ΔΦ χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ασφάλειες και ονομάζεται ασφαλειοδιακόπτης φορτίου.



Σχήμα 4.12: Ασφαλειοδιακόπτης



Σχήμα 4.13: ΔΦ με SF6 με γειωτή

- 1 Switch-disconnector operating seat
- 2 Earthing switch operating seat
- 3 Interlocking lever between switch-disconnector and earthing switch
- 4 Mechanical position indicators of the mimic diagram
- 5 Voltage indicator lamps (on request)
- 6 Key locks on switch-disconnector operation (on request)
- 7 Key locks on earthing switch operation (on request)
- 8 Opening and closing pushbuttons SHS2/T1M - SHS2/T1M/N)



SHS2/T1M switch-disconnector operating mechanism.

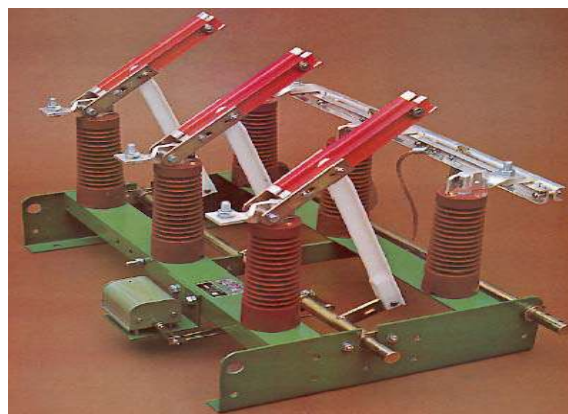
Σχήμα 4.14: Περιγραφή Διακόπτη SF6

1. Θέση λειτουργίας του Διακόπτη
2. Θέση Λειτουργίας του Γειωτή
3. Μοχλός μανδάλωσης του γειωτή με τον διακόπτη
4. Μηχανική ένδειξη της κατάστασης του γειωτή και του διακόπτη
5. Ενδεικτικές λυχνίες τάσης
6. Κλειδί λειτουργίας του διακόπτη
7. Κλειδί λειτουργίας του γειωτή
8. Κουμπιά ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του διακόπτη

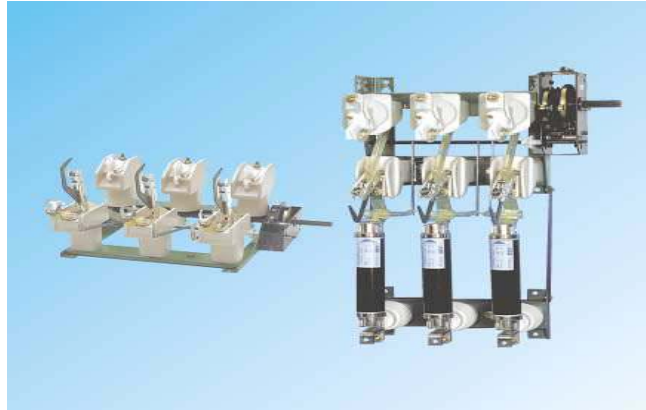
Πίνακας 4.5: Ονομαστικά στοιχεία διακόπτη SHS2

		Switch-disconnector			Isolator			Earthing switch
		IEC 60265-1			IEC 62271-102			IEC 62271-102
		Feeder	Earthing Switch		Feeder	Earthing Switch		(SHS2 ES)
Unit without fuses	Unit with fuses		Unit without fuses	Unit with fuses				
Rated voltage	kV	24	-	-	24	-	-	-
Rated Normal Current (40° C)	A	400-630	-	-	400-630	-	-	-
Frequency	Hz	50/60	-	-	50/60	-	-	-
Rated making capacity on short-circuit								
Without external earthing switch	kAp	31.5-40-50	31.5-40-50	N.A.	-	-	N.A.	N.A.
With external earthing switch (*)	kAp	31.5-40-50	-	2,5	-	-	-	-
Rated short time withstand current – 1s (*)	kA	12.5-16-20	12.5-16-20	1	12.5-16-20	12.5-16-20	1	12.5-16-20
Rated breaking capacity								
Mainly resistive load service	A	400-630	-	-	-	-	-	-
No-load transformer service	A	4...16	-	-	-	-	-	-
No-load line service	A	25	-	-	-	-	-	-
No-load cable service	A	50	-	-	-	-	-	-
Ring circuit service	A	400	-	-	-	-	-	-
Operating Mechanism		T1-T1M-T2	T1-T1M-T2	T2	T3	T3	T3	T4
Test parameters for making capacity, breaking capacity and making capacity under short circuit – rms (IEC 60265-1)		Test Duties 1-2-3-4-5-6-7	-	-	-	-	-	-
Electrical life		E3	E1	E1	-	E0	E0	E0
Maximum overtemperature test under normal load	°C	IEC 60694	-	-	IEC 60694	-	-	-
Mechanical life			M1		M1		M1	M1
Atmospheric impulse withstand voltage			(BIL 1.2/50 µsec)		(BIL 1.2/50 µsec)		(BIL 1.2/50 µsec)	(BIL 1.2/50 µsec)
Phase-Phase towards earth	kVp		125		125		125	125
Between open contacts	kVp		145		145		145	145
Withstand voltage at industrial frequency								
Phase-Phase towards earth	kVrms/1 min		50		50		50	50
Between open contacts	kVrms/1 min		60		60		60	60

Συνήθως στο εμπόριο υπάρχει συνδυασμός κάποιων στοιχείων. Έτσι συναντά κανείς: Αποζεύκτη και Γειωτή Ασφαλειοδιακόπτη φορτίου



Σχήμα 4.15: Αποζεύκτης και γειωτής



Σχήμα 4.16: Ασφαλειοδιακόπτης

Πίνακας 4.6: Ονομαστικά στοιχεία Αποζεύκτη και Γειωτή

Type	List No. Without interlocking	Rated Voltage kV	Rated peak withstand Current kA	Rated short time current I _{th} 1s	Operating angle of shaft	Withstand Voltage 50Hz kV	Impulse withstand Voltage kV	For attaching to isolator Type ADNN
ADJ 12 /100 ADJ 12 /125 ADJ 12 /150	53780/90 53781/91 53782/92	12	100 125 150	40 50 60	90°	35	75	12 kV 630-1250 A 12 kV 1600 A 12 kV 2500 A
ADJ 24 / 85 ADJ 24 /125 ADJ 24 /150	53785/95 53786/96 53787/97	24	85 125 150	35 50 60	90°	55	125	24 kV 630-1250 A 24 kV 1600 A 24 kV 2500 A
ADJ 36 /75 ADJ 36 /110 ADJ 36 /150	53790 53791 53792	36	75 110 150	30 45 60	90°	75	170	36 kV 630-1250 A 36 kV 1600 A 36 kV 2500 A

4.3.3 Ηλεκτρονόμοι

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας ενός Διακόπτη Ισχύος θεωρήθηκε σκόπιμο να αναφερθούμε πρώτα στους Ηλεκτρονόμους που αποτελούν βασικά στοιχεία ενός Διακόπτη Ισχύος.

Οι Ηλεκτρονόμοι (HN) είναι διατάξεις που προστατεύουν έναν διακόπτη ή ένα κύκλωμα από σφάλματα, που μπορούν να προκύψουν κατά την λειτουργία τους. Οι HN μετρούν ένα μέγεθος (τάση, ρεύμα), το συγκρίνουν με μια τιμή αναφοράς (την οποία καθορίζει κάποιος) και στην συνέχεια επιφέρουν ορισμένες προκαθορισμένες μεταβολές στο διακόπτη ή το κύκλωμα. Η τιμή αναφοράς αποτελεί την «ρύθμιση του HN». Βέβαια οι HN δεν είναι απευθείας συνδεδεμένοι με τη διάταξη που προστατεύουν. Μεταξύ της διάταξης και του HN παρεμβάλλονται μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος για να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις. Οι ΜΣ αυτοί ονομάζονται μετασχηματιστές μέτρησης. Οι ΜΣ μέτρησης μειώνουν την τάση ή το ρεύμα, έτσι ώστε να μπορούν να μετρηθούν από τα όργανα μέτρησης.

Στην περίπτωση ενός ΗΝ που συνεργάζεται με έναν Διακόπτη Ισχύος (ΔΙ) μιλάμε για ΗΝ « υπερεντάσεως» που επιτηρεί το ρεύμα του ΔΙ. Ο ΗΝ ενεργοποιείται δίνοντας κατάλληλη εντολή στο ΔΙ όταν το ρεύμα υπερβεί κάποια προκαθορισμένη τιμή. Υπάρχουν 2 είδη ΗΝ υπερεντάσεως, που χρησιμοποιούνται για την προστασία ενός ΔΙ, ανάλογα με το ρεύμα που επιτηρούν:

1. ΗΝ φάσεων

2. ΗΝ γης

Οι ΗΝ φάσεων επιτηρούν το ρεύμα μεταξύ φάσεων και έτσι προστατεύουν το ΔΙ από μονοφασικά, διφασικά και τριφασικά σφάλματα μεταξύ των φάσεων. Οι ΗΝ γης αντίστοιχα επιτηρούν το ρεύμα που ρέει προς την γη. Όταν το ρεύμα που ρέει προς τη γη ξεπεράσει την τιμή αναφοράς, τότε υπάρχει «σφάλμα γης» και ο ΗΝ γης δίνει εντολή στον ΔΙ να ανοίξει. Τα ρεύματα που προκύπτουν, όταν υπάρξει σφάλμα, είναι μεγαλύτερα όταν το σφάλμα συμβεί μεταξύ των φάσεων (σφάλμα φάσης) από ότι όταν υπάρχει σφάλμα ως προς την γη. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη αντίσταση που υπάρχει στην γείωση ενός Υποσταθμού (αντίσταση γείωσης) και συνήθως είναι περίπου 12Ω για τα δίκτυα των 20 kV. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο το ρεύμα αναφοράς σε έναν ΗΝ γης, είναι πολύ χαμηλότερο από το ρεύμα του ΗΝ φάσης.

Ο ΗΝ πρέπει να λειτουργήσει εφόσον το ρεύμα που μετρά είναι μεγαλύτερο από την «ρύθμιση» του. Ο τρόπος που συμπεριφέρεται όμως δεν είναι πάντα ο ίδιος αλλά εξαρτάται από δυο χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ο ίδιος ο ΗΝ:

- την χαρακτηριστική ρεύματος -χρόνου
- το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας (Σ.Λ)

Ένας ΗΝ έχει χαρακτηριστική έντασης – χρόνου αλλά μπορεί να έχει και επιπλέον το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Το στοιχείο αυτό δίνει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ακαριαία όταν το ρεύμα έχει πάρει μια τιμή πολλαπλάσια της ρύθμισης του, που κυμαίνεται 6-10 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού ρεύματος.

Οι χαρακτηριστικές έντασης-χρόνου μπορεί να είναι είτε σταθερού χρόνου (Σχ.4.17) είτε χαρακτηριστικές αντίστροφου χρόνου (Σχ.4.18), που ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης.

Οι χαρακτηριστικές αντίστροφου χρόνου αντιστοιχούν σε μικρούς χρόνους διέγερσης του ΗΝ για μεγάλες εντάσεις και σε μεγάλους χρόνους διέγερσης για μικρά ρεύματα. Οι χαρακτηριστικές αυτές μπορούν να μετατοπίζονται στο διάγραμμα έντασης-χρόνου ή/και οριζόντια (ως προς το ρεύμα) ή/και κάθετα (ως προς το χρόνο). Αυτό γίνεται ρυθμίζοντας το ρεύμα και το χρόνο κατάλληλα σε ένα «στοιχείο χρονικής καθυστέρησης», το οποίο είναι ανεξάρτητο από το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Η μορφή της καμπύλης μπορεί να είναι: α) αντίστροφου χρόνου (Σχ.4.19), β) πολύ αντίστροφου και γ) ισχυρά αντίστροφου χρόνου (Σχ. 4.20). Επιπλέον, ο χρόνος στον οποίο διεγείρεται ο ΗΝ εξαρτάται από έναν συντελεστή K , του οποίου όσο αυξάνει η τιμή η καμπύλη μετατοπίζεται πιο πάνω και έτσι αυξάνεται ο χρόνος διέγερσης του ΗΝ.

Ο ΗΝ με χαρακτηριστική σταθερού χρόνου διεγείρεται μετά από συγκεκριμένο χρόνο όταν το ρεύμα ξεπεράσει την τιμή ρύθμισης του.

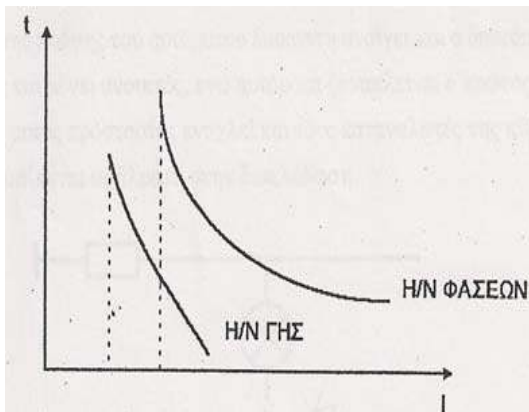
Ένας ΔΙ έχει οπωσδήποτε έναν ΗΝ φάσης ενώ είναι πιθανόν να έχει και ΗΝ γης καθώς και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Έτσι για κάθε έναν από τα παραπάνω πρέπει να υπολογιστεί ένα ρεύμα και να ρυθμιστεί ο αντίστοιχος ΗΝ. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχει ένας ΔΙ με :

- ΗΝ φάσης με καμπύλη χρονικής καθυστέρησης (Χ.Κ)
- ΗΝ γης με καμπύλη χρονικής καθυστέρησης (Χ.Κ) και
- ένα στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας (Σ.Λ)

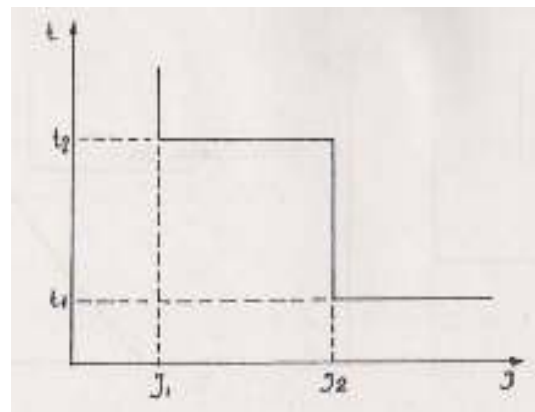
Άρα πρέπει να υπολογιστούν 3 διαφορετικά ρεύματα. Έτσι για τον ΗΝ φάσης η ρύθμιση μπορεί να γίνει στο διπλάσιο του ονομαστικού. Το στοιχείο Σ.Λ ρυθμίζεται σε ρεύμα 6-10 φορές του ονομαστικού. Ο ΗΝ γης, που ρυθμίζεται πάντα σε πολύ χαμηλότερο ρεύματα σε σχέση με αυτό του ΗΝ φάσης, συνήθως από 60 έως 80 Α.



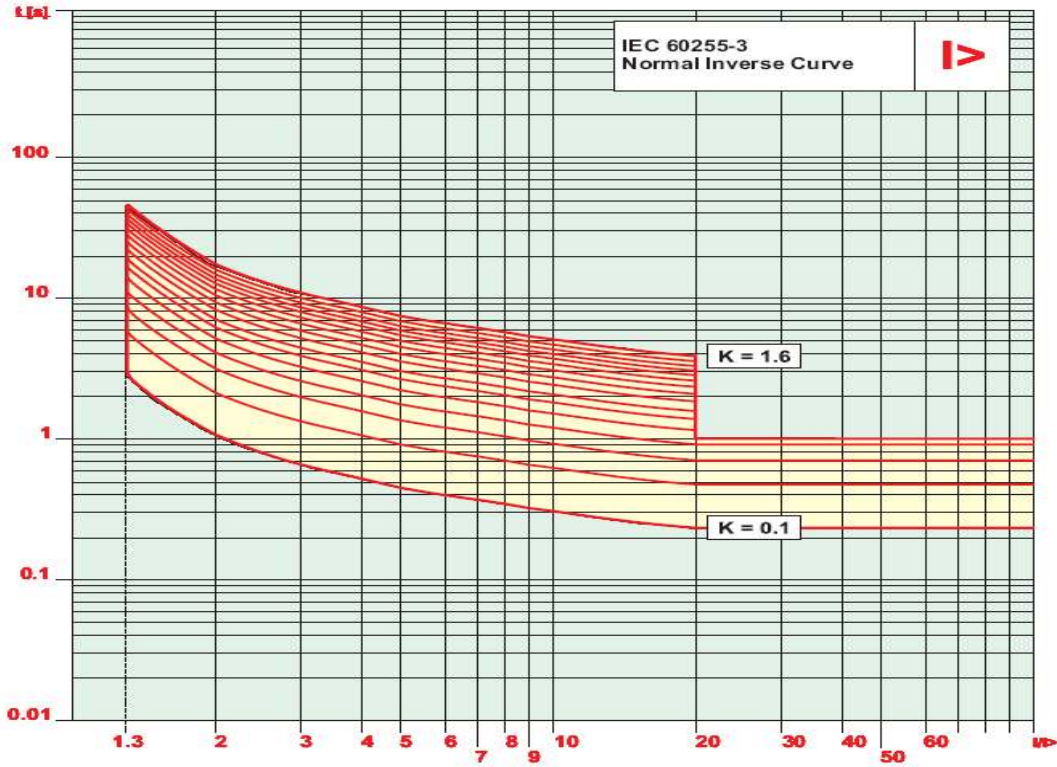
Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστική σταθερού Χρόνου



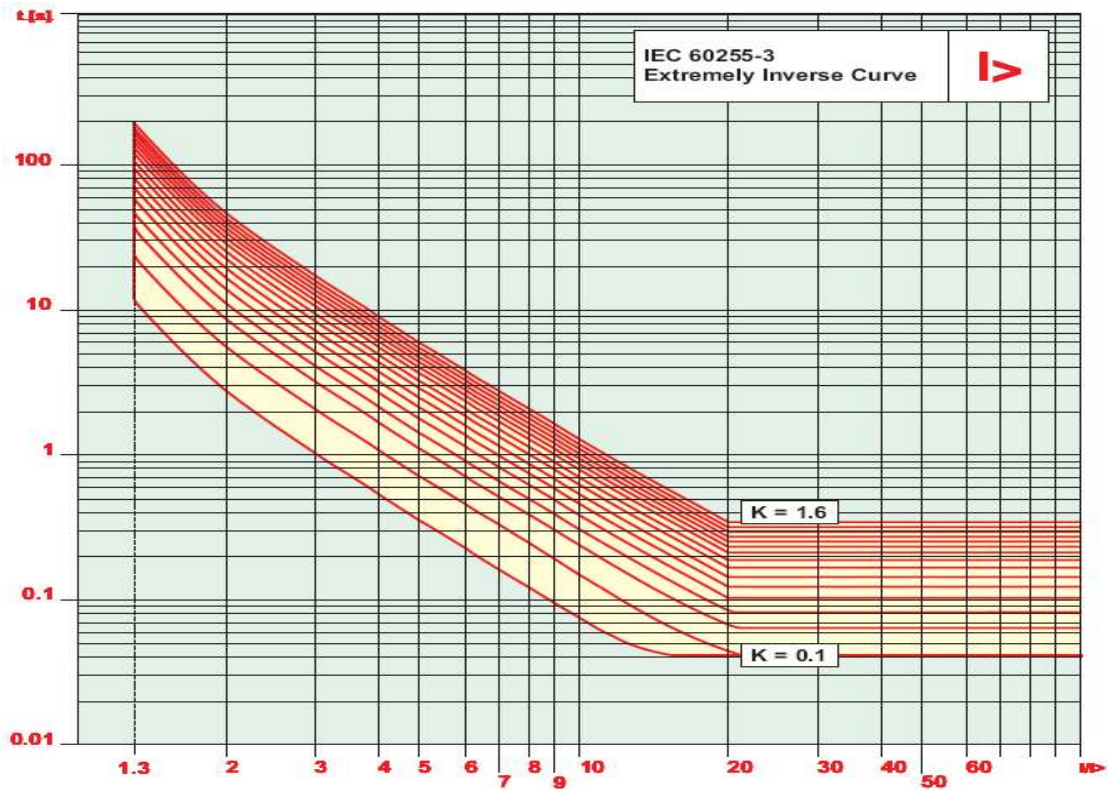
Σχήμα 4.18: α) Χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου



Σχήμα 4.18β: Χαρακτηριστική σταθερού χρόνου με στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας



Σχήμα 4.19: Πραγματικές καμπύλες HN αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB



Σχήμα 4.20: Πραγματικές καμπύλες HN ισχυρά αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB

4.3.3.1 Κύκλοι Επαναφοράς (ή λειτουργίας) ενός ΔΙ

Όταν ο ΗΝ ενός ΔΙ αντιληφθεί κάποιο σφάλμα δίνει εντολή στο ΔΙ για να κλείσει και να ανοίξει διαδοχικά σε συγκεκριμένους χρόνους, εκτελώντας έτσι ένα καθορισμένο αριθμό κύκλων λειτουργίας. Ο αριθμός πτώσεων και επαναφορών δίνεται ως μια ρύθμιση στον ΗΝ του ΔΙ. Έστω ότι συμβαίνει κάποιο σφάλμα σε μια εναέρια γραμμή ΜΤ που τροφοδοτεί καταναλωτές και προστατεύεται στην αρχή της από έναν ΔΙ. Ο ΗΝ θα εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες σύμφωνα με το Σχ.4.21:

- Ο ΗΝ αντιλαμβάνεται το σφάλμα π.χ σε 0,05 sec
- Ο ΔΙ παίρνει εντολή από τον ΗΝ και ανοίγει σε 0,15 sec (χρονική στιγμή t_1)
- Ο ΔΙ παραμένει ανοιχτός για 0,45 sec (χρονικό διάστημα t_1 έως t_2)
- Ο ΔΙ κλείνει «επαναφέρεται» τη χρονική στιγμή t_2 , ύστερα από εντολή του ΗΝ
- Ο ΔΙ μένει κλειστός για κάποιο χρόνο μέχρι την t_3
- Ο ΔΙ ανοίγει τη χρονική στιγμή t_3 και μένει ανοιχτός για 5 sec
- Ο ΔΙ επαναφέρεται για δεύτερη φορά τη χρονική στιγμή t_4

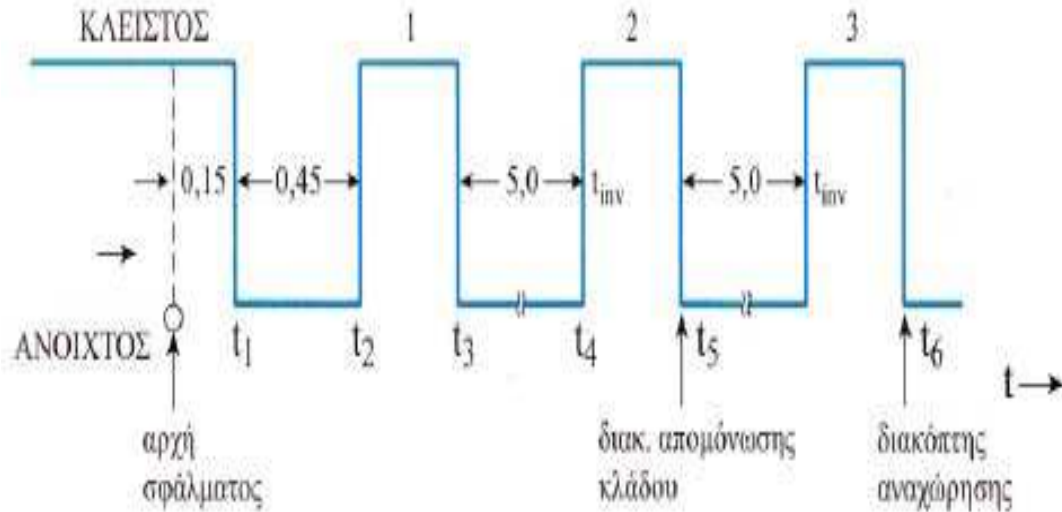
Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως : O-C-O (OPEN- CLOSE- OPEN). Βέβαια οι κύκλοι πραγματοποιούνται μόνο όταν συνεχίζεται να υφίσταται σφάλμα. Μετά από ένα αριθμό επαναφορών (στο σχήμα αναπαρίστανται 3 επαναφορές), στην περίπτωση που συνεχίζει να υφίσταται το σφάλμα, ανοίγει (πέφτει) ο ΔΙ και τίθεται εκτός λειτουργίας όλη η εναέρια γραμμή μέχρι να εντοπιστεί και να διορθωθεί το σφάλμα. Η πτώση του διακόπτη την πρώτη φορά μετά το σφάλμα οφείλεται στην λειτουργία του στοιχείου ΣΛ, γι' αυτό και ο χρόνος για να ανοίξει ο ΔΙ είναι πολύ μικρός (0,15 sec). Όταν γίνει η «επαναφορά» του διακόπτη (χρονική στιγμή t_2) το στοιχείο ΣΛ βγαίνει εκτός λειτουργίας και λειτουργεί μόνο το στοιχείο ΧΚ, όπου ο χρόνος ανοίγματος του διακόπτη είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του στοιχείου ΣΛ.

Η λειτουργία των κύκλων επαναφοράς ακολουθείται για 2 λόγους :

- 1) Πρώτον την μη διακοπή της τροφοδοσίας όταν το σφάλμα διαρκεί ελάχιστο χρόνο.
- 2) Δεύτερον την απομόνωση μικρού τμήματος μιας γραμμή στο οποίο υφίσταται μόνιμο σφάλμα.

Ένα σφάλμα μπορεί να είναι παροδικό και να εμφανιστεί για μικρό χρονικό διάστημα (από msec έως sec). Για παράδειγμα, ένα παροδικό σφάλμα μπορεί να προκληθεί από τη πτώση κεραυνού. Σε αυτή την περίπτωση η παραπάνω λειτουργία βοηθάει έτσι ώστε μετά από μικρό χρόνο (όπως 0,2 sec), και εφόσον δεν προκαλέσει το σφάλμα κάποια άλλη βλάβη, η γραμμή να συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά και να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει κάποιο μόνιμο σφάλμα στη γραμμή πρέπει αυτό να διακοπεί το γρηγορότερο δυνατό για να μην προκαλέσει κάποια ζημιά (όπως την έναρξη πυρκαγιάς). Το σφάλμα όμως μπορεί να συμβαίνει σε μια διακλάδωση της γραμμής η οποία προστατεύεται από κάποιο άλλο μέσο προστασίας για παράδειγμα μια ασφάλεια. Κατά την διάρκεια των επαναφορών το κοντινότερο στο σφάλμα μέσο προστασίας θα ενεργοποιηθεί και θα απομονώσει το τμήμα με το σφάλμα. Ο ΔΙ στην επόμενη επαναφορά δεν θα βλέπει κάποιο σφάλμα και θα παραμείνει κλειστός τροφοδοτώντας τους υπόλοιπους καταναλωτές.

Οι κύκλοι επαναφοράς χρησιμοποιούνται μόνο σε ΔΙ που προστατεύουν εναέρια γραμμές μεταφοράς και όχι υπόγειες γραμμές μεταφοράς. Αυτό γίνεται γιατί στις υπόγειες γραμμές δεν μπορούν να συμβούν παροδικά σφάλματα. Εκεί υπάρχουν αποκλειστικά μόνιμα σφάλματα.



Σχήμα 4.21: Κύκλοι επαναφοράς ενός ΔΙ της Δ.Ε.Η

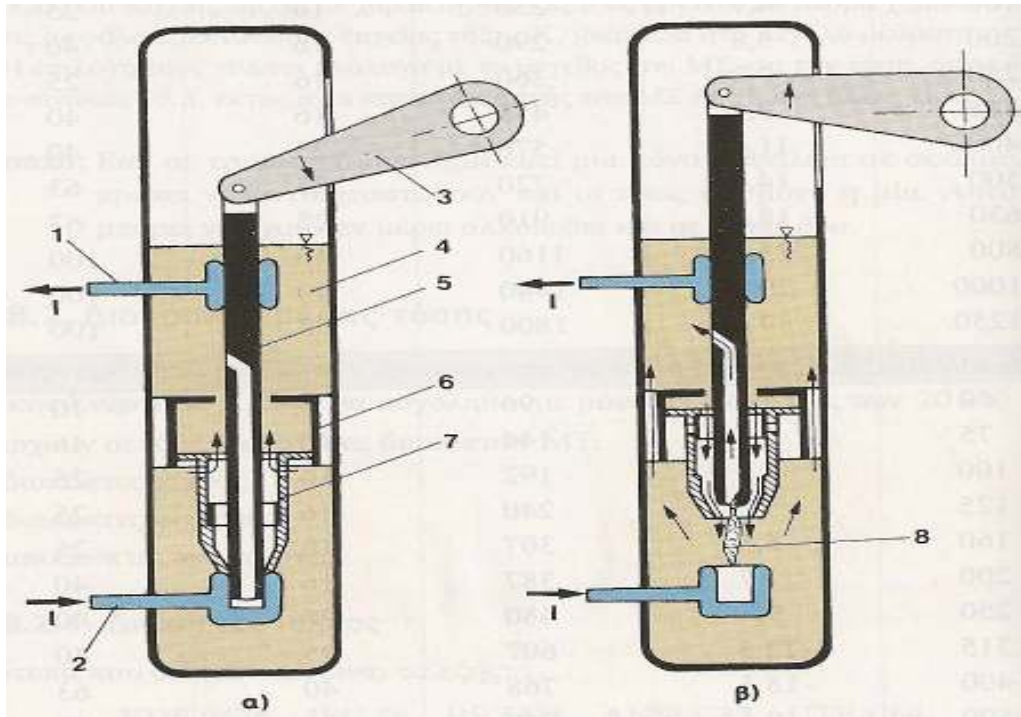
4.3.4 Διακόπτης Ισχύος (Αυτόματοι Διακόπτες)

Οι διακόπτες Ισχύος, που συνηθέστερα λέγονται αυτόματοι διακόπτες, λειτουργούν σε μηδενικά και σε ονομαστικά ρεύματα αλλά και σε ρεύματα που εμφανίζονται σε βραχυκυκλώματα. Και εδώ, όπως και στους ΔΦ, οι ΔΙ κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για την σβέση του ηλεκτρικού τόξου. Έτσι, υπάρχουν τα παρακάτω είδη Διακοπών Ισχύος εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου:

- Διακόπτης πτωχού ελαίου
- Διακόπτης αερίου SF6
- Διακόπτης Κενού

Συνήθως χρησιμοποιούνται ΔΙ πτωχού ελαίου. Ο όρος «πτωχός» αναφέρεται στην ποσότητα του λαδιού που χρησιμοποιείται σήμερα σε σχέση με παλιότερους διακόπτες που χρησιμοποιούσαν τριπλάσιες ποσότητες. Στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. χρησιμοποιούνται συνήθως στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ και αναφέρονται ως Ελαιδιακόπτες (Ε/Δ) αντί ΔΙ.

Παρακάτω φαίνονται τα βασικά μέρη ενός ΔΙ ελαίου.



Σχήμα 4.22: Διακόπτης πτωχού ελαίου – Αρχή Λειτουργίας α) Κλειστός β) Ανοιχτός - 1. Ακροδέκτης 2. Ακροδέκτης με επαφή 3. Μηχανισμός κίνησης 4. Λάδι 5. Κινούμενη επαφή 6. Κύλινδρος 7. Έμβολο 8. Τόξο

Ένας ΔΙ, σε περίπτωση σφάλματος, μπορεί να ανοίξει και να κλείσει με δύο τρόπους:

1. Όταν διεγείρεται είτε από το θερμικό στοιχείο είτε από το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του διακόπτη. Η προστασία με αυτόν τον τρόπο λέγεται «πρωτογενή προστασία»
2. Παίρνοντας εντολή από έναν ΗΝ υπερέντασης, οπότε έχουμε την «δευτερογενή προστασία».

Στην πρωτογενή προστασία το θερμικό στοιχείο είναι ένα έλασμα το οποίο θερμαίνεται σιγά-σιγά λόγω μιας μικρής αύξησης του ρεύματος, μαλακώνει και έτσι ανοίγει ο ΔΙ. Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο λειτουργεί όταν υπάρχει μια απότομη αύξηση του ρεύματος πολλαπλάσια του ονομαστικού του διακόπτη και ανοίγει ακαριαία τον διακόπτη.

Η δευτερογενής προστασία είναι ακριβότερη από την πρωτογενή. Όταν όμως ένας καταναλωτής χρησιμοποιήσει σαν μέσο προστασίας ΔΙ τότε ένας ΔΙ με δευτερογενή προστασία συνεργάζεται καλύτερα με τα μέσα της Δ.Ε.Η από ότι ένας με πρωτογενή προστασία.

Επειδή οι ΔΙ δεν έχουν ορατές επαφές πρέπει να τοποθετείται πάντα ένας αποζεύκτης, ο οποίος να μανδαλώνεται με τον ΔΙ. Και στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνονται χειρισμοί με τη σωστή σειρά όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα και ανοίξει ο ΔΙ πρέπει στην συνέχεια να ελέγχεται η κατάσταση του διακόπτη σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



1. ΔΙ πτωχού ελαίου
2. ΔΙ κενού
3. ΔΙ SF₆

Σχήμα 4.23: Διακόπτες Ισχύος



1. Στοιχεία ΗΝ προστασίας
2. Άξονας τάνυσης του ελατηρίου
3. Κουμπί ενεργοποίησης ΗΝ
4. Κουμπί απενεργοποίησης ΗΝ
5. Χρωματική ένδειξη ελατηρίου λειτουργίας
6. Ένδειξη πίεσης του SF₆ και μηχανισμός λειτουργίας
7. Ένδειξη λειτουργίας ΔΙ
8. Ακροδέκτες
9. Ελεγκτές ρεύματος των ΗΝ
10. Ένας πόλος του ΔΙ
11. Κλειδί μανδάλωσης (λειτουργίας)
12. Μετρητής λειτουργίας

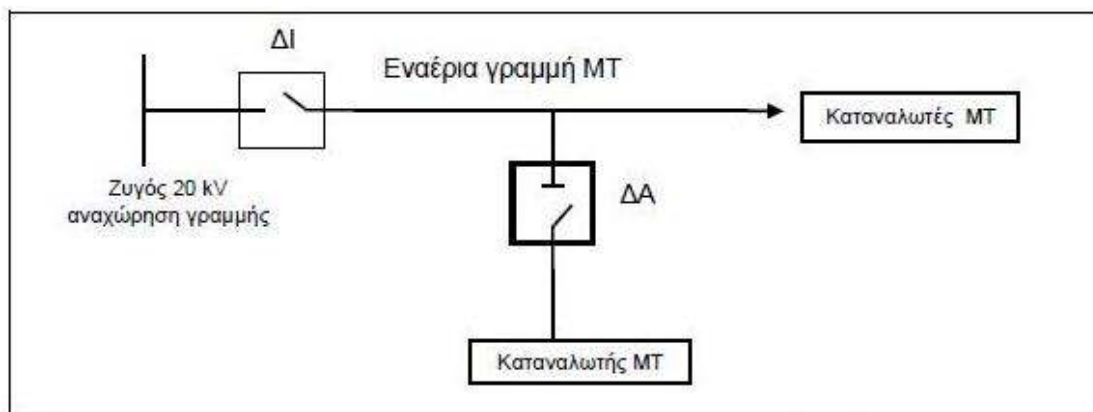
Σχήμα 4.24: Περιγραφή των βασικών στοιχείων ενός ΔΙ με SF₆

4.3.5 Διακόπτης Απομόνωσης

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

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

Έστω ότι συμβαίνει κάποιο σφάλμα σε μια εναέρια γραμμή ΜΤ που τροφοδοτεί καταναλωτές και προστατεύεται στην αρχή της από έναν ΔΙ (Σχ.4.25). Ο ΔΙ μπορεί να εκτελεί κύκλους επαναφοράς σύμφωνα με το Σχ.4.21. Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε μια διακλάδωση της γραμμής υπάρχει καταναλωτής που έχει σαν μέσο προστασίας έναν ΔΑ και ότι το σφάλμα υπάρχει μετά από τον ΔΑ. Στην περίπτωση αυτή, ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια υπερένταση χωρίς όμως να μπορεί να ανοίξει. Ο ΔΙ όμως μετά το σφάλμα θα ανοίξει και θα εκτελέσει τους κύκλους επαναφοράς. Την διακοπή όμως την αντιλαμβάνεται και ο ΔΑ, ο οποίος θυμάται ότι υπήρξε ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Ο ΔΙ κλείνει μετά από κάποιο χρόνο ενώ το αρχικό σφάλμα εξακολουθεί να υπάρχει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται και πάλι μια υπερένταση. Στη συνέχεια, ο ΔΙ ξαναανοίγει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια διακοπή. Ο ΔΑ μετράει τώρα ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Εάν ο ΔΑ είναι ρυθμισμένος να ανοίξει αφού μετρήσει 2 ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής» τότε ανοίγει κατά το διάστημα που ο ΔΙ είναι ανοιχτός, Σε αντίθεση περίπτωση συνεχίζεται ο κύκλος επαναφοράς μέχρι να μετρήσει ο ΔΑ 3 ζεύγη επαναφοράς, η οποία είναι και η μέγιστη ρύθμιση του.



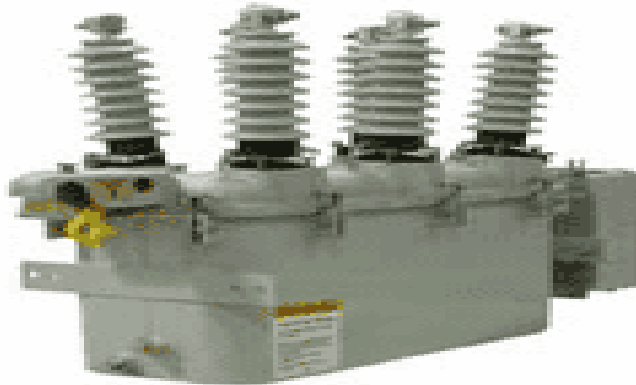
Σχήμα 4.25: Μονογραμμικό σχέδιο. Αναχώρηση εναέριας γραμμής Μ/Τ

Ο μηχανισμός καταμέτρησης ενός ζεύγους «υπερέντασης – διακοπής» λειτουργεί με τη λογική της μνήμης. Έτσι ο ΔΑ μπορεί να «θυμάται» για κάποιο χρόνο την κατάσταση λειτουργίας του. Αν όμως ο ΔΑ έχει μετρήσει μόνο ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» και στην συνέχεια σταματήσει να υφίσταται το σφάλμα, ο ΔΑ σε ένα νέο διαφορετικό σφάλμα από το προηγούμενο, το οποίο συμβαίνει μετά από αρκετή ώρα θα μετρήσει ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής», αφού θα «θυμάται» το πρώτο. Έτσι, αν η

ρύθμιση είναι στο 2 θα ανοίξει ο ΔΑ ενώ στην πραγματικότητα έχει δημιουργηθεί ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» που αφορά το νέο σφάλμα. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να «ξεχνάει» ο ΔΑ μετά από κάποιο χρόνο και να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος επαναφοράς. Επίσης υπάρχει και ο χρόνος ανοίγματος δηλαδή ο χρόνος που θα μεσολαβήσει μέχρι να δοθεί εντολή να ανοίξει ο ΔΑ εφόσον φυσικά έχει μετρήσει τον αριθμό ζευγών στον οποίο έχει ρυθμιστεί.

Κατά το κλείσιμο του διακόπτη, σε ένα κύκλωμα δημιουργείται για πολύ μικρό χρόνο ρεύμα πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα ζεύξης, το οποίο είναι πολύ μεγάλο όταν υπάρχει κάποιος μετασχηματιστής. Επειδή το ρεύμα αυτό δεν αποτελεί σφάλμα, υπάρχει ρύθμιση ώστε να αμελείται για κάποιο χρόνο και να μην το αντιλαμβάνεται ο ΔΑ ως υπέρταση. Το ρεύμα ζεύξης ρυθμίζεται σε πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Μπορεί να πάρει τιμές 1, 2, 4, 6, 8 φορές του ονομαστικού ρεύματος.

Σε ένα ΔΑ υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμιστεί και η τιμή του ρεύματος που θα θεωρηθεί ως σφάλμα από τον διακόπτη. Επειδή έχουμε σφάλματα ως προς γη και σφάλματα μεταξύ φάσεων υπάρχουν αντίστοιχα δυο διαφορετικές ρυθμίσεις: μια ρύθμιση για τα σφάλματα γης και μια για τα σφάλματα μεταξύ φάσεων. Γενικά, η ρύθμιση της έντασης γίνεται με βηματικές αντιστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται πάνω στην ηλεκτρονική πλακέτα του ΔΑ. Υπάρχουν πίνακες που δείχνουν το κατάλληλο μέγεθος της αντίστασης που πρέπει να τοποθετηθεί για να ρυθμιστεί το ρεύμα σφάλματος στην επιθυμητή τιμή. Επισημαίνεται ότι το ρεύμα σφάλματος γης ρυθμίζεται σε μικρότερες τιμές σε σχέση με το ρεύμα σφάλματος φάσεων.



Σχήμα 4.26: Διακόπτης Απομόνωσης με δοχείο Λαδιού τύπου “GN3VE”

Πίνακας 4.7: Επεξήγηση ονομαστικών στοιχείων

Sectionalizer: Διακόπτης Απομόνωσης		
Rated voltage:	Ονομαστική Τάση	24 kV
Impulse withstand voltage (BIL):	Κρουστική Τάση αντοχής του ΔΑ	125 kV
CURRENT RATING: ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ		
Continuous RMS:	Συνεχή φόρτιση ρεύματος (RMS)	200 A
Maximum Interrupting Current:	Μέγιστο Ρεύμα που μπορεί να διακόψει ο ΔΑ σε RMS τιμή	440 A
1 Second RMS:	Η τιμή του Ρεύματος που μπορεί να αντέξει για 1 sec	5700 A
Momentary (Max. Assymmetric):	Στιγμαία τιμή ασύμμετρου ρεύματος	9000 A
Min. Actuating current:		
Phase Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος μεταξύ φάσεων	16-640 A
Ground Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος ως προς την γη	3,5-320 A

4.4 Προστασία από υπερτάσεις

Οι υπερτάσεις στην ΜΤ μπορεί να προκληθούν είτε από λάθος χειρισμούς που μπορούν να συμβούν κατά το άνοιγμα ή κλείσιμο ενός διακόπτη ΜΤ είτε από τη πτώση κεραυνού σε κάποιο σημείο, πάνω στις εναέρια γραμμές μεταφοράς ή σε κάποιον υποσταθμό. Οι υπερτάσεις λόγω χειρισμών ονομάζονται εσωτερικές υπερτάσεις ενώ αυτές που οφείλονται σε εξωτερικά αίτια ονομάζονται εξωτερικές υπερτάσεις. Οι τελευταίες εμφανίζονται μόνο στα εναέρια δίκτυα και όχι στα υπόγεια, όπου υπάρχουν μόνο εσωτερικές υπερτάσεις. Οι εσωτερικές υπερτάσεις είναι σχετικά μικρές συγκριτικά με τις εξωτερικές, που μπορεί να πάρουν τιμές πολλών εκατοντάδων kV.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ΜΤ έχουν προδιαγραφές για να αντέχουν στις εσωτερικές υπερτάσεις αλλά όχι και στις εξωτερικές. Έτσι πρέπει να υπάρχει προστασία έναντι εξωτερικών υπερτάσεων κυρίως στις υπαίθριες εγκαταστάσεις ΜΤ. Στα υπόγεια δίκτυα δεν είναι απαραίτητη αυτή η προστασία καθώς δεν μπορεί να πέσει κεραυνός πάνω σε υπόγειο καλώδιο. Ακόμα όμως και να πέσει κεραυνός στην αναχώρηση ενός υπόγειου καλωδίου, η υπέρταση που δημιουργείται αποσβένεται σε ανεκτά επίπεδα αν το μήκος του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από 500 m.

Για την προστασία των εγκαταστάσεων ΜΤ χρησιμοποιούνται οι απαγωγείς υπερτάσεων, τα γνωστά αλεξικέραυνα γραμμής. Το αλεξικέραυνο τοποθετείται μεταξύ του αγωγού ΜΤ και της γης. Ένας απαγωγέας υπερτάσεων σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας προβάλλει μια πολύ μεγάλη αντίσταση που δεν επιτρέπει στο ρεύμα του αγωγού να περάσει από μέσα του και να κλείσει κύκλωμα με την γη. Κατά την πτώση ενός κεραυνού η υπέρταση που δημιουργείται έχει ως αποτέλεσμα να μην προβάλλει ο απαγωγέας υπερτάσεων καμία αντίσταση. Έτσι όλο το ρεύμα του κεραυνού περνάει μέσα από το αλεξικέραυνο και οδεύει με ασφάλεια προς τη γη. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η λειτουργία του αλεξικέραυνου δεν είναι η απομάκρυνση του

κεραυνού αλλά η ασφαλή όδευση προς την γη έτσι ώστε να μειώσει την υπέρταση σε επίπεδα που να μην προκαλέσει ζημιές σε όργανα και μηχανήματα στις εγκαταστάσεις ΜΤ.

Πιο συγκεκριμένα ένα αλεξικέραυνο αποτελείται από ένα διάκενο αέρα σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις από ανθρακικό πυρίτιο. Κατά τη διάρκεια μιας υπέρτασης το διάκενο διασπάται και ο αγωγός ΜΤ βραχυκυκλώνεται με την γη μέσω των μη γραμμικών αντιστάσεων. Οι αντιστάσεις αυτές μειώνονται όσο αυξάνεται το ρεύμα και έτσι δεν αυξάνεται η τάση πάνω από τα όρια αντοχής. Αυτή η λειτουργία διαρκεί όσο και η διάρκεια του κεραυνού, συνήθως από 50 έως 100 μ s. Όταν ο κεραυνός σταματήσει και στα άκρα του απαγωγέα υπέρτασης εφαρμοστεί η ονομαστική τάση του δικτύου δεν μπορεί πλέον να διασπαστεί το διάκενο και έτσι δεν ρέει ρεύμα προς την γη.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγέων συμπεριλαμβάνουν τόσο τις ηλεκτρικές ιδιότητες του απαγωγέα όσο και τις μηχανικές αντοχές τους. Κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος (βραχυκύκλωμα ή υπέρταση) οι απαγωγείς υπερτάσεων δέχονται τεράστιες-πολλές φορές – ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις οι οποίες μπορούν να τους καταστρέψουν. Έτσι κατά την επιλογή ενός απαγωγέα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος των δυνάμεων που πρόκειται να εμφανιστούν και να επιλέγεται απαγωγέας που να αντέχει μηχανικά τις προβλεπόμενες δυνάμεις.

Σημαντικά στοιχεία του απαγωγέα υπερτάσεων είναι η αντοχή σε κρουστική τάση (BIL- Basic Insulation Level), η τάση αφής, στην οποία ενεργοποιείται ο απαγωγέας καθώς επίσης και η τάση σβέσης, όπου ο απαγωγέας απενεργοποιείται με βεβαιότητα. Για τα δίκτυα των 20 kV, η αντοχή σε κρουστική τάση ανέρχεται στα 125 kV, η τάση αφής είναι 38 kV, ενώ η τάση σβέσης είναι $1,2U_n$ δηλαδή 24 kV.

Στο Σχ. 4.27 φαίνεται ένας απαγωγέας υπερτάσεων ΜΤ της ABB. Η ονομασία του συγκεκριμένου απαγωγέα είναι POLIM-S. Οι μη γραμμικές αντιστάσεις του κατασκευάζονται από μεταλλοξείδια (metal-oxide MO) και το περίβλημά τους είναι από σιλίκονη. Υπάρχουν διάφοροι τύποι απαγωγέων όπως οι POLIM-H , POLIM-D. Ο κάθε τύπος έχει τα δικά του τεχνικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το σχήμα, το μέγεθος, το υλικό κατασκευής και προορίζεται για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Γενικά οι απαγωγείς υπερτάσεων της σειράς POLIM της ABB χρησιμοποιούνται για την προστασία γεννητριών, μετασχηματιστών, πυκνωτών, εναέριων δικτύων, καλωδίων σε εγκαταστάσεις μέσης και υψηλής τάσης.

Τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγέων υπερτάσεων είναι:

- U_c : Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να εφαρμόζεται συνεχώς στα άκρα του απαγωγέα σε kV.
- U_r : Μέγιστη τάση αντοχής του απαγωγέα σε υπέρταση σε kV.
- I_n : Ονομαστικό ρεύμα σε kA που μπορεί να περάσει από τον απαγωγέα σε περίπτωση εξωτερικής υπέρτασης 8/20 μ sec .
- I_{hc} : Κρουστικό ρεύμα σε kA για εξωτερική υπέρταση 4/10 μ sec.
- δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας σε kJ / kV της U_c .
- επιτρεπόμενη ροπή κάμψης σε Nm
- μέγιστη επιτρεπτή ασκούμενη δύναμη σε N.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του POLIM – H φαίνονται στον πίνακα 4.8



Σχήμα 4.27: Απαγωγέας POLIM-S



Σχήμα 4.28: Διάφοροι τύποι απαγωγέων

Πίνακας 4.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά POLIM – H

Continuous operating voltage U_c	4-44 kV
8/20 μs nominal discharge current I_n	20 kA
High current impulse I_{hc} 4/10 μs	100 kA
Energy absorption capacity	13.3 kJ / kV U_c
Long duration current impulse	1350 A / 2 ms
IEC line discharge class	4
ANSI	Station class high energy
Cantilever strength (withstand value 1 min.)	6000 Nm
MPSL (IEC 60 099-4, Ed. 2.1)	8000 N

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ”

5.1 Γενικά

Η λειτουργία ενός ΜΣ βασίζεται στην εξής απλή αρχή: Όταν μέσα από ένα πηνίο διέρχεται μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή (πεδίο) τότε επάγεται στα άκρα του ΜΣ τάση. Συγκεκριμένα μέσω αυτού του πεδίου ο ΜΣ μετατρέπει εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια, της ίδιας συχνότητας, αλλά διαφορετικού επιπέδου τάσης. Παρακάτω αναφέρονται οι διάφορες κατηγορίες μετασχηματιστών.

5.2 Μονοφασικός ΜΣ

Ένας μονοφασικός ΜΣ δύο τυλιγμάτων αποτελείται από δύο κυλινδρικά, ομοαξονικά πηνία (τυλίγματα), που τυλίγονται γύρω από τον σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Τα τυλίγματα αυτά δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η μόνη σύζευξη που υπάρχει ανάμεσά τους είναι η μαγνητική ροή (πεδίο) που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του πυρήνα. Το ένα από τα τυλίγματα συνδέεται με μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης (πρωτεύον), και στο άλλο τύλιγμα (δευτερεύον) επάγεται τάση ανάλογη με τον λόγο των σπειρών του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος. Αν στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου συνδεθεί κάποιο φορτίο τότε περνάει ρεύμα από τον ΜΣ. Απαραίτητη προϋπόθεση για να επαχθεί τάση στο δευτερεύον είναι να υπάρχει αποκλειστικά και μόνο εναλλασσόμενη τάση έτσι ώστε να δημιουργείται μεταβαλλόμενο πεδίο.

Τα τυλίγματα του ΜΣ, ανάλογα με την τάση που φέρουν, διακρίνονται στο τύλιγμα υψηλής τάσης και στο τύλιγμα χαμηλής τάσης. Στους πραγματικούς Μ/Σ το τύλιγμα χαμηλής τάσης τοποθετείται εσωτερικά αυτού της υψηλής. Η κατασκευή αυτή αφ' ενός λύνει το πρόβλημα της μόνωσης μεταξύ πυρήνα και τυλίγματος υψηλής τάσης, αφ' εταίρου μειώνει την μαγνητική ροή διαρροής περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο τρόπο κατασκευής.

5.3 Τριφασικός ΜΣ

Τα συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ισχύος είναι τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενης τάσης, γεγονός που καθιστά πολύ σημαντικό αυτό το είδος μετασχηματιστών.

Οι τριφασικοί ΜΣ διακρίνονται συνήθως, ανάλογα με το πόσα πηνία βρίσκονται σε κάθε πυρήνα, σε ΜΣ ενός τυλίγματος (αυτομετασχηματιστές), δύο τυλιγμάτων (ΥΤ και ΧΤ) και τριών τυλιγμάτων (ΥΤ, ΧΤ και τριτεύοντος). Οι τριφασικοί ΜΣ κατασκευάζονται με δύο βασικούς τρόπους. Στον πρώτο από αυτούς, τρεις απλοί μονοφασικοί ΜΣ συνδέονται μεταξύ τους σε μια τριφασική συστοιχία. Το πλεονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι ότι σε περίπτωση βλάβης ενός εκ των μονοφασικών ΜΣ, αρκεί η αντικατάσταση μόνο του ΜΣ που έχει το σφάλμα, δηλαδή του ενός τρίτου της όλης ζεύξης. Στην δεύτερη μέθοδο κατασκευής τρία διπλά τυλίγματα τοποθετούνται γύρω από έναν κοινό πυρήνα. Αυτή η τεχνική παρουσιάζει μικρότερο βάρος και όγκο, μικρότερο κόστος, κάπως μεγαλύτερη απόδοση, γι' αυτό και χρησιμοποιείται πιο συχνά.

5.4 Λειτουργία παραλληλισμού

Για να είναι δυνατός ο παραλληλισμός δύο ΜΣ και να έχουμε μια ομοιόμορφη φόρτιση, δηλαδή οι μετασχηματιστές να διαρρέονται από ρεύματα ανάλογα με το μέγεθός τους, πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- A) Η σχέση των ισχύων τους πρέπει να είναι μεταξύ 1/3 και 3.
- B) Οι ονομαστικές τάσεις και οι ρυθμίσεις στην ΜΤ να είναι ίσες. Ανοχές μέχρι $\pm 0,05\%$ είναι χωρίς σημασία.
- Γ) Οι ονομαστικές τάσεις βραχυκύκλωσης να είναι ίσες με ανοχή 10% επί της τάσης βραχυκύκλωσης.
- Δ) Να έχουν ίδιες συνδεσμολογίες και να συνδεθούν με τους ανάλογους ακροδέκτες. Αν δεν είναι ίδιες οι συνδεσμολογίες, επιτρέπεται παραλληλισμός ΜΣ Dy 11 ή Dy 5 όταν συμπίπτουν οι τάσεις τους με κατάλληλη αντιστοίχιση των ακροδεκτών.

5.5 Αυτομετασχηματιστής

Σε μερικές εφαρμογές είναι απαραίτητη μια μικρή αλλαγή του επιπέδου τάσης ενός κυκλώματος. Σε αυτήν την περίπτωση θα ήταν πολύ δαπανηρή η κατασκευή ενός Μ/Σ με δύο ξεχωριστά και σχεδόν όμοια τυλίγματα. Γι' αυτό στην θέση του χρησιμοποιείται μια παραπλήσια συσκευή που ονομάζεται αυτομετασχηματιστής. Στην ουσία πρόκειται για έναν μετασχηματιστή, τα τυλίγματα του οποίου έχουν επανασυνδεθεί ώστε να λειτουργεί σαν αυτομετασχηματιστής. Το ένα τύλιγμα του ΜΣ ονομάζεται κοινό, επειδή η τάση του εμφανίζεται τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του αυτομετασχηματιστή. Το δεύτερο τύλιγμα ονομάζεται τύλιγμα σειράς, γιατί συνδέεται σε σειρά με το κοινό τύλιγμα. Ανάλογα με το αν η είσοδος ή η έξοδος είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των δύο τυλιγμάτων, έχουμε τον αυτομετασχηματιστή υποβιβασμού ή ανύψωσης τάσης αντίστοιχα.

Μια πολύ σημαντική ιδιότητα του αυτομετασχηματιστή είναι το λεγόμενο πλεονέκτημα *φαινόμενης ισχύος*. Σύμφωνα με αυτό, ένας αυτομετασχηματιστής μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερη ισχύ από ότι ένας συμβατικός ΜΣ.

Ωστόσο οι αυτομετασχηματιστές παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Βασικότερο όλων είναι ότι, αντίθετα απ' ότι στους μετασχηματιστές, υπάρχει φυσική ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των δύο τυλιγμάτων του κι έτσι χάνεται το πλεονέκτημα της γαλβανικής απομόνωσης μεταξύ των πλευρών του. Ακόμη η σύνθετη αντίστασή του είναι μικρότερη από αυτή του αντίστοιχου μετασχηματιστή, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα σε εφαρμογές όπου αυτή ακριβώς η αντίσταση τον προστατεύει από υψηλά ρεύματα που αναπτύσσονται σε περιπτώσεις σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων).

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η επανασύνδεση των τυλιγμάτων του ΜΣ ώστε να λειτουργήσει σαν αυτομετασχηματιστής, δεν είναι δυνατή κάτω από φυσικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει επειδή η μόνωση του τυλίγματος ΧΤ του ΜΣ ίσως δεν μπορεί να αντέξει την τάση εξόδου πλήρους φόρτισης του αυτομετασχηματιστή. Για το λόγο αυτό οι ΜΣ που κατασκευάζονται με σκοπό να λειτουργήσουν αποκλειστικά ως αυτομετασχηματιστές, διαθέτουν τυλίγματα σειράς με μόνωση ίδιας αντοχής με τη μόνωση του κοινού τυλίγματος. Τέλος, όπως έχει άλλωστε προαναφερθεί, οι αυτομετασχηματιστές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου οι τάσεις στις δύο πλευρές της συσκευής θα πρέπει να παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφορά, γιατί τότε το πλεονέκτημα της φαινόμενης ισχύος

είναι πολύ μεγαλύτερο.

5.6 Είδη Μετασχηματιστών

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνουμε, ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν, τρία είδη μετασχηματιστών:

ΜΣ ΙΣΧΥΟΣ:

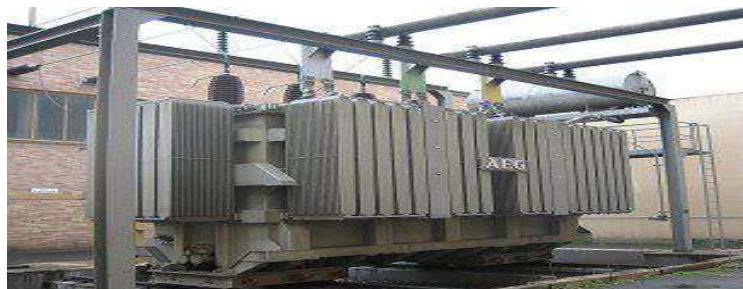
Πρόκειται για τους ΜΣ με τους οποίους μεταφέρουμε ισχύ. Οι μετασχηματιστές είναι ελαιόψυκτοι εκτός αν έχουμε ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα απαιτήσεις για αποφυγή μόλυνσης περιβάλλοντος, εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Εκεί μπορεί να προσφέρουν περισσότερη ασφάλεια ΜΣ με στερεή μόνωση. Έτσι συναντά κανείς ΜΣ στερεάς μόνωσης σε πλατφόρμες πετρελαίου, σε αποθήκες καυσίμου ή πυρομαχικών και σε εργοστάσια τροφίμων. Η συνδεσμολογία των ΜΣ συνίσταται να είναι Dyn 11 ή Dyn 5.

Τα Βασικότερα μεγέθη που χαρακτηρίζουν έναν ΜΣ είναι:

1. Ονομαστική φαινόμενη ισχύς. Η ισχύς αυτή δεν παράγεται από τον ΜΣ ούτε καταναλίσκεται. Είναι στο μεγαλύτερο μέρος της μια διερχόμενη ισχύς, γι' αυτό και λέγεται ισχύς διέλευσης.
2. Ονομαστική Τάση πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Ο λόγος της ονομαστικής τάσεως πρωτεύοντος προς την ονομαστική τάση δευτερεύοντος (στην λειτουργία εν κενώ).
3. Ονομαστικά ρεύματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος
4. Ονομαστική συχνότητα

Οι Μ/Σ ισχύος χωρίζονται σε **τρεις** επιμέρους κατηγορίες:

1. Ο ΜΣ που συνδέεται στην έξοδο μιας γεννήτριας και ανυψώνει το επίπεδο της τάσης εξόδου της, πριν οδηγηθεί στην γραμμή μεταφοράς, ονομάζεται *ΜΣ μονάδας*. Τυπικό μέγεθος ΜΣ μεγάλης μονάδας στην Ελλάδα είναι 350 MVA 21/ 400 kV.



Σχήμα 5.1: ΜΣ μονάδας σε σταθμό παραγωγής

2. Ο ΜΣ που υποβιβάζει το επίπεδο τάσης της γραμμής και υπάρχει σε υποσταθμούς μεταφοράς ΥΤ (400/150 kV) και σε υποσταθμούς ΥΤ σε ΜΤ 150 / 20 kV ονομάζεται *Μ/Σ υποσταθμού*. Σε αυτούς τους υποσταθμούς ξεκινούν από τους ζυγούς και γραμμές 150 kV και 20 kV που πηγαίνουν σε καταναλωτές υψηλής και μέσης τάσης αντίστοιχα. Ένας μετασχηματιστής υποσταθμού 400/150 kV έχει ισχύς 250 MVA ενώ ένας ΜΣ 150 / 20 kV έχει ισχύ που κυμαίνεται από 75-200 MVA.



Σχήμα 5.2: ΜΣ υποσταθμού 250 MVA

3. Ο ΜΣ που υποβιβάζει την ΜΤ σε ΧΤ 20 /0,4 kV για την κατανάλωση ισχύος στους καταναλωτές ΧΤ ονομάζεται ΜΣ διανομής. Τυπικές τιμές ισχύος ΜΣ διανομής στην Ελλάδα είναι 15, 25, 50, 75, 150, 250, 400, 500, 630, 750, 800, 1000, 1600 kVA.

ΜΣ ΤΑΣΗΣ:

Αυτοί χρησιμοποιούνται για να υποβιβάζουν την υψηλή ή μέση τάση του δικτύου σε ένα επίπεδο που να μπορεί να μετρηθεί από συνήθη όργανα (100-200V). Έχουν μικρή φαινόμενη ισχύ από 2-100VA. Οι ΜΣ αυτοί, επειδή χρησιμοποιούνται για την μέτρηση τάσης, πρέπει να είναι ιδιαίτερα ακριβείς γι' αυτό κατατάσσονται στις λεγόμενες κλάσεις ακρίβειας. Ένας τέτοιος ΜΣ μπορεί να φορτιστεί με φορτίο μεγαλύτερο του ονομαστικού του χωρίς να καταστραφεί, θα αλλάξει όμως η ακρίβειά του. Τέλος βραχυκυκλώματα στον ΜΣ τάσης οδηγούν στην καταστροφή του αλλά και σε βραχυκυκλώματα στο δίκτυο. Για την προστασία του τοποθετούμε μια ασφάλεια τήξης στην πλευρά της ΥΤ. Αν είναι αδύνατον να τοποθετηθεί στην ΥΤ, μπορεί να συνδεθεί στην ΧΤ. Τότε όμως θα τον προστατεύει μόνο από σφάλματα στην ΧΤ και όχι από σφάλματα μέσα στον ΜΣ.



Σχήμα 5.3: Μετασχηματιστής Τάσης

Πίνακας 5.1: Ονομαστικά Στοιχεία ΜΣ τάσης

Μετασχηματιστής Τάσης	
Μέγιστη τάση λειτουργίας (kV)	3.6 – 40.5
Τάση στο Πρωτεύον (kV)	1-35
Τάση δευτερεύοντος (kV)	0.10 – 0.12
Σύχνοτητα (Hz)	50 ή 60

ΜΣ ΕΝΤΑΣΗΣ:

Αυτοί χρησιμοποιούνται για να υποβιβάζουν το ρεύμα γραμμής σε ένα επίπεδο που να μπορεί να μετρηθεί από τα κατάλληλα όργανα. Συνήθως έχουν μόνο μια σπείρα, για ρεύμα πρωτεύοντος πάνω από 500A και ανάλογο αριθμό σπειρών στο δευτερεύον το οποίο διαρρέεται από ρεύμα 5A. Πιο σπάνια διαρρέεται από ρεύμα 1A, όταν το μήκος της γραμμής σύνδεσης είναι μεγάλο, με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης ισχύος σ' αυτήν. Η τάση του ΜΣ είναι αμελητέα σε σύγκριση με την τάση του δικτύου. Όπως και στους ΜΣ τάσης, η ονομαστική ισχύς είναι μικρή. Μπορούμε να την υπερβούμε, χωρίς να καταστραφεί ο ΜΣ, θα μειωθεί όμως η ακρίβειά του. Τέλος πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την αποσύνδεση του ΜΣ έντασης από το φορτίο, όπου πριν αποσυνδεθεί το φορτίο, πρέπει να βραχυκυκλωθεί ο ΜΣ. Διαφορετικά μπορεί να αναπτυχθεί πολύ υψηλή τάση στα άκρα του, ή ακόμη να οδηγηθεί ο πυρήνας στον κορεσμό, με αποτέλεσμα την καταστροφή του ή και να προκληθεί ακόμα και βραχυκύκλωμα στο δίκτυο.



Σχήμα 5.4: Μετασχηματιστές έντασης

Πίνακας 5.2: Ονομαστικά στοιχεία ΜΣ Έντασης

Μετασχηματιστής Έντασης	
Μέγιστη τάση λειτουργίας (kV)	3.6 – 40.5
Τάση στο Πρωτεύον (A)	10- 3200
Τάση δευτερεύοντος (A)	1 ή 5
Σύχνοτητα (Hz)	50 ή 60

5.7 Απώλειες ΜΣ

Όπως είναι φυσικό κατά τη λειτουργία ενός πραγματικού μετασχηματιστή εμφανίζονται κάποιες απώλειες. Αυτές είναι οι εξής:

Απώλειες Χαλκού: Πρόκειται για τις θερμικές απώλειες στις αντιστάσεις των τυλιγμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή και είναι ανάλογες με το τετράγωνο του ρεύματος στα τυλίγματά του. Φυσικά όταν στο δευτερεύον δεν έχει συνδεθεί κάποιο φορτίο (λειτουργία εν κενώ), οι απώλειες στο τύλιγμα αυτό αγνοούνται. Οι απώλειες αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή ως απώλειες υπό φορτίο.

Απώλειες Δινορρευμάτων: Είναι οι θερμικές απώλειες που καταναλώνονται στην αντίσταση του μετάλλου του πυρήνα και είναι ανάλογες με το τετράγωνο της τάσης που εφαρμόζεται στην είσοδο του μετασχηματιστή.

Απώλειες Υστέρησης: Αυτές σχετίζονται με την αναδιάταξη των μαγνητικών τμημάτων στο εσωτερικό του πυρήνα, η οποία συμβαίνει σε κάθε ημιπερίοδο της τάσης εισόδου. Το άθροισμα των απωλειών που οφείλεται στα δινορρεύματα και στις απώλειες υστέρησης μας δίνουν τις απώλειες εν κενού που δίνονται επίσης από τον κατασκευαστή.

Ροή Διαρροής: Πρόκειται για τις μαγνητική ροή που ξεφεύγει από τον πυρήνα προς τον αέρα που τον περιβάλλει και εμφανίζεται μόνο στο ένα από τα δύο τυλίγματα.

Πίνακας 5.3: Τυπικές απώλειες ΜΣ ισχύος, μέσης τάσης 20 KV και ονομαστικής τάσης βραχυκύκλωσης. Το ρεύμα μαγνήτισης στα παραπάνω μεγέθη είναι τυπικά το 2% του ονομαστικού ρεύματος

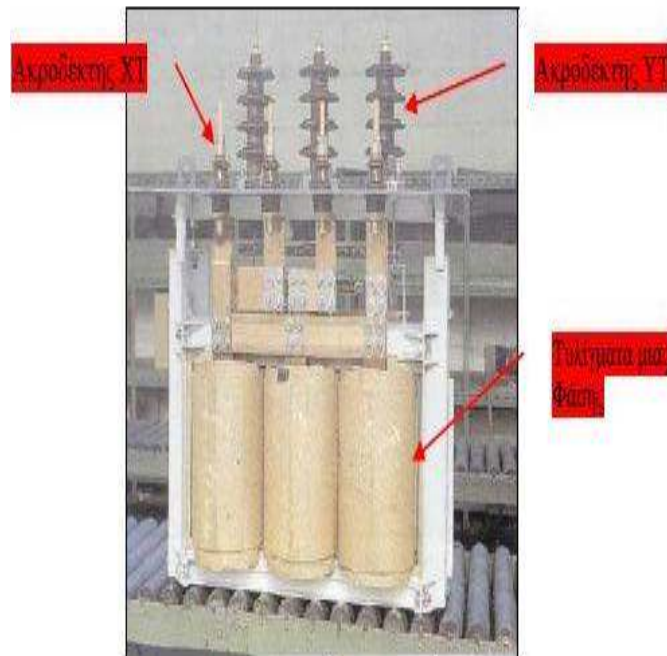
Ισχύς Μ/Σ (KVA)	Απώλειες κενού (W)	Απώλειες φορτίου (W)	Ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης (u_k)
25	115	700	4
50	190	1050	4
75	260	1420	4
100	320	1750	4
150	435	2250	4
200	550	2850	4
250	650	3250	4,0 (6,0)
400	930	4600	4,0 (6,0)
500	1100	5500	4,0 (6,0)
630	1300	6500	4,0 (6,0)
750	1430	7600	6
1000	1650	10500	6
1250	1900	13500	6
1600	2550	18100	6

5.8 Περιγραφή ελαιόφυκτου τριφασικού ΜΣ Διανομής 20 / 0,4 kV

Όλοι οι ΜΣ, , που χρησιμοποιούν λάδι για την ψύξη και για την μόνωση των τυλιγμάτων τους ανεξάρτητα από την ισχύ τους αποτελούνται από 2 βασικά μέρη:

1. Τον πυρήνα με τα τυλίγματα ΥΤ και ΧΤ για κάθε Φάση
2. Το Δοχείο Λαδιού

Αφού θα κατασκευαστεί ο πυρήνας με τα τυλίγματα τοποθετείται μέσα στο δοχείο λαδιού. Παρακάτω φαίνεται ο πυρήνας ενός ΜΣ 20/0,4 kV με τα τυλίγματα του πριν τοποθετηθεί στο δοχείο λαδιού. Στο Σχ. 5.5 φαίνονται 3 κύλινδροι. Ο κάθε κύλινδρο αποτελεί τα δύο κυλινδρικά, ομοαξονικά τυλίγματα ΧΤ και ΥΤ που τυλίγονται γύρω από τον σιδηρομαγνητικό πυρήνα για κάθε μια φάση. Εξωτερικά και εσωτερικά μεταξύ των τυλιγμάτων έχει τοποθετηθεί χαρτί για μόνωση.



Σχήμα 5.5: Εσωτερικού ΜΣ. Πυρήνας με τα τυλίγματα ΥΤ και ΧΤ για κάθε φάση



Σχήμα 5.6: Ελαιόκαρπος ΜΣ 20/0,4 kV 400kVA



Σχήμα 5.7: Ακροδέκτες ΥΤ και ΧΤ



Σχήμα 5.8: Μεταγωγέας

Tap no.		HV voltage (V)	Connection symbol
1	21000		Dyn5
2	20500	Short-circuit imp.	3.95 %
3	20000	Load losses	6143 W
4	19500	No-load losses	954 W
5	19000	Cooling	ONAN

Σχήμα 5.9: Πινακίδα με ονομαστικά στοιχεία του ΜΣ 400kVA



Σχήμα 5.10: Δοχείο Διαστολής και HN Buchholz

5.8.1 Ψύξη Μετασχηματιστή

Όπως έχει είδη αναφερθεί ο πυρήνας του ΜΣ με τα τυλίγματα του τοποθετούνται μέσα στο δοχείο λαδιού για να ψυχθούν. Η θερμότητα που αναπτύσσεται, λόγω της ροής ρεύματος, στα τυλίγματα και στον πυρήνα μεταφέρεται στο λάδι και έτσι αυτό θερμαίνεται. Αυτή η άνοδος στη θερμοκρασία του λαδιού, προκαλεί μια φυσική κυκλοφορία του λαδιού με την υψηλότερη θερμοκρασία προς το επάνω μέρος του ΜΣ. Το λάδι περνάει από τους εναλλάκτες θερμότητας του ΜΣ και απάγεται η θερμότητα προς το περιβάλλον. Οι εναλλάκτες θερμότητας ψύχονται με τη φυσική ροή του αέρα μέσα από τους εναλλάκτες. Αυτό ο τρόπος ψύξης χαρακτηρίζει όλους τους ελαιόψυκτους ΜΣ διανομής 20/0,4 kV. Σε ΜΣ μεγαλύτερης ισχύς π.χ 100 MVA χρησιμοποιούνται αντλίες για την βεβαιωμένη ροή του λαδιού και ανεμιστήρες για τη βεβαιωμένη κυκλοφορία του αέρα στους εναλλάκτες.

Ο τρόπος ψύξης του κάθε ΜΣ είναι ένα χαρακτηριστικό που αναγράφεται στα ονομαστικά στοιχεία του ΜΣ. Η ψύξη του ΜΣ χαρακτηρίζεται από τέσσερα κεφαλαία γράμματα. Τα δύο πρώτα υποδηλώνουν το μέσο ψύξης του πυρήνα και τον τρόπο κυκλοφορίας του. Τα δύο τελευταία υποδηλώνουν το μέσο ψύξης του εναλλάκτη και τον τρόπο κυκλοφορίας του. Τα μέσα ψύξης που υπάρχουν στους ΜΣ και το χαρακτηριστικό γράμμα του κάθε μέσου είναι:

- O: λάδι (ορυκτό) A: Αέρας
- L: Askarel ή Clophen (λάδι δυσανάφλεκτο) W: Νερό
- G: Αέριο

Η κίνηση του ψυκτικού χαρακτηρίζεται με το γράμμα N αν πρόκειται για φυσική κυκλοφορία του ψυκτικού και με το γράμμα F αν πρόκειται για βεβαιωμένη.

Παραδείγματα:

- α) ONAN: λάδι, φυσική κυκλοφορία, αέρας, φυσική κυκλοφορία.
- β) OFAF: λάδι, βεβαιωμένη κυκλοφορία, αέρας, βεβαιωμένη κυκλοφορία.

Στο Σχ. 5.9, που απεικονίζεται η πινακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία του ΜΣ, υπάρχει ο συμβολισμός ONAN. Οι συγκεκριμένοι ΜΣ τοποθετούνται συνήθως είτε εναέρια σε κολώνες της Δ.Ε.Η είτε μέσα σε κλειστούς χώρους όταν πρόκειται για υπόγεια δίκτυα ή υποσταθμούς καταναλωτών ΜΤ. Σε μετασηματιστές ONAN που τοποθετούνται σε κλειστούς ή στεγασμένους χώρους πρέπει να υπάρχει ένας ικανοποιητικός αερισμός, ο οποίος εξαρτάται από τις απώλειες του ΜΣ, δηλαδή από την ισχύ του ΜΣ. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει σωστός αερισμός ο ΜΣ μπορεί να λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα εφόσον μειωθεί το φορτίο του.

5.8.2 Προστασία του ΜΣ

Ο κίνδυνος για τους ΜΣ έγκειται σε περιπτώσεις παρατεταμένου βραχυκυκλώματος, διαρκούς υπερφόρτισης και σφάλματος στη μόνωση. Αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς ή και έκρηξης.

Προστασία από βραχυκύκλωμα: γίνεται είτε με ασφάλειες σκόνης σε συνδυασμό με διακόπτη φορτίου (για να επιτυγχάνεται και απόζευξη υπό φορτίο), είτε με διακόπτη ισχύος.

Προστασία από υπερφόρτιση: Η προστασία του ΜΣ από υπερφόρτιση γίνεται είτε με θερμόμετρο που ελέγχει τη θερμοκρασία του λαδιού είτε με ένα μέσο προστασίας στην ΧΤ. Το μέσο προστασίας μπορεί να είναι ή μαχαιρωτές ασφάλειες ΝΗ έως 400 Α για ΜΣ μέχρι 1250 kVA ή ΔΙ για μεγαλύτερους ΜΣ, που ρυθμίζονται στο ονομαστικό ρεύμα του ΜΣ. Οι μετασηματιστές, ωστόσο, επιτρέπεται να φορτιστούν παροδικά με ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού, για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τη συνήθη φόρτισή του.

Κατά τη λειτουργία του ελαιόψυκτου ΜΣ ελέγχεται η θερμοκρασία του λαδιού στο ανώτερο σημείο με θερμόμετρο (Σχ. 5.13) έτσι ώστε όταν η θερμοκρασία του ξεπεράσει μια τιμή (π.χ 100 °C) να διακοπεί η λειτουργία του ΜΣ. Υπάρχει και προειδοποιητική ένδειξη σε χαμηλότερη θερμοκρασία (π.χ 90 °C) πριν διακοπεί η λειτουργία του ΜΣ.

Προστασία κατά εσωτερικών σφαλμάτων και διαρροής λαδιού:

Στο επάνω μέρος του ΜΣ παρατηρεί κανείς ένα κυλινδρικό ντεπόζιτο. Το ντεπόζιτο αυτό ονομάζεται δοχείο διαστολής (Σχ. 5.10). Η στάθμη του λαδιού φτάνει μέχρι τη μέση περίπου στο δοχείο διαστολής όταν τοποθετείται το λάδι στο ΜΣ. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού, ωστόσο, αυτό διαστέλλεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής. Αν δεν υπήρχε το δοχείο κατά την διαστολή του Λαδιού θα αυξανόταν η πίεση μέσα στο δοχείο λαδιού και θα υπήρχε κίνδυνος έκρηξης του. Στο επάνω μέρος του δοχείο διαστολής υπάρχει ένας αφυγραντήρας για την καταστολή των υδρατμών και της υγρασίας που ενδεχομένως θα δημιουργηθούν σε περίπτωση υπερβολικής αύξησης της θερμοκρασίας του λαδιού. Η ύπαρξη υγρασία και υδρατμών μειώνει την μονωτική ικανότητα του λαδιού και πρέπει να αποτρέπεται.



Σχήμα 5.11: Θερμόμετρο ΜΣ



Σχήμα 5.12: HN Buchholz



Σχήμα 5.13: Στάθμη λαδιού στο Δοχείο διαστολής



Σχήμα 5.14: Αφυγραντήρας

Το λάδι από το δοχείο λαδιού πριν φτάσει στο δοχείο διαστολής διέρχεται πρώτα μέσα από ένα υδραυλικό μέσο προστασίας που ονομάζεται Ηλεκτρονόμος Buchholz. Ο ΗΝ Buchholz (Σχ. 5.12) χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εσωτερικών σφαλμάτων στη μόνωση του ΜΣ, βραχυκυκλωμάτων στα τυλίγματα και διαρροής λαδιού.

Ο ΗΝ Buchholz ελέγχει τη ροή, τη στάθμη, την πίεση του λαδιού και την ύπαρξη υδρατμών και φυσαλίδων μέσα στο λάδι. Έχει δυο διακόπτες άνωσης (φλοτέρ) 1,2 και ένα διακόπτη 4 που συνεργάζεται με μια πλάκα 3, κάθετη στη ροή του λαδιού. Αν σχηματιστούν φυσαλίδες ή υπάρχει έλλειψη λαδιού τότε κλείνει ο διακόπτης 1 και δίνει σήμανση Α1 (κινδύνου). Αν τα αέρια που εκλύονται είναι αρκετά τότε γεμίζει αέρια ο ΗΝ και κλείνει ο διακόπτης 2 που δίνει σήμα Α2 (για αποσύνδεση). Υπάρχει αποσύνδεση επίσης αν δημιουργηθεί έντονη ροή του λαδιού μετά από βραχυκύκλωμα μέσα στο ΜΣ ή μεγάλη εσωτερική βλάβη, οπότε πιέζεται η πλάκα 3 και κλείνει ο διακόπτης 4, διακόπτοντας έτσι τη λειτουργία του ΜΣ.

Το δοχείο διαστολής καθώς και ο ΗΝ Buchholz τοποθετούνται σε ΜΣ με ισχύ 400 kVA και πάνω. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η διακοπή της λειτουργίας του ΜΣ από τον ΗΝ Buchholz σημαίνει ότι ο ΜΣ έχει υποστεί είδη βλάβη και πρέπει να οπωσδήποτε να ελεγχτεί και να επιδιορθωθεί πριν τεθεί πάλι σε λειτουργία.

Σε μεγαλύτερους ΜΣ με ισχύ μεγαλύτερη των 1250 kVA χρησιμοποιείται διαφορετική προστασία κατά την οποία ελέγχονται με ειδική διάταξη τα ρεύματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Αν τα ρεύματα αυτά δεν είναι ίσα τότε διεγείρεται ο ΔΙ του ΜΣ στη ΜΤ. Η διαφορετική προστασία προστατεύει τον ΜΣ από διφασικά και τριφασικά σφάλματα, από σφάλματα γης και φάσεων. Σε αντίθεση με τον ΗΝ Buchholz η διαφορετική προστασία προστατεύει τον ΜΣ και διακόπτει την λειτουργία άμεσα πριν προκληθεί κάποια ανεπανόρθωτη βλάβη στο ΜΣ. Η διαφορετική προστασία είναι όμως ακριβή γι' αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε ΜΣ μεγάλης Ισχύς.

5.9 Περιγραφή τριφασικού ΜΣ Διανομής 20 / 0,4 kV Ξηρού τύπου

Ο ΜΣ ξηρού τύπου χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις και βιομηχανίες, όπου υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς (εργοστάσιο με εύφλεκτα υλικά) ή σε χώρους, στους οποίους ένας μετασχηματιστής λαδιού είναι ανεπιθύμητος (βιομηχανία τροφίμων). Η ισχύς ενός ΜΣ ξηρού τύπου κυμαίνεται από 160 kVA έως 3150 kVA. Οι ΜΣ αυτού του τύπου δεν έχουν δοχείο λαδιού για την ψύξη τους αλλά η ψύξη σε αυτούς γίνεται με τη φυσική κυκλοφορία του αέρα (ΑΝ). Έτσι ένας ΜΣ ξηρού τύπου δεν μπορεί να εκραγεί και να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές σε μια εγκατάσταση.

Για την μόνωση του ΜΣ χρησιμοποιείται χυτή ρητίνη όπου μονώνονται τα τυλίγματα ΧΤ και ΥΤ με ειδική επεξεργασία. Συγκεκριμένα τα τυλίγματα της ΧΤ είναι κατασκευασμένα από φύλλο αλουμινίου ή χαλκού (σύμφωνα με την προτίμηση του κατασκευαστή), και είναι εμποτισμένα σε συνθετική αλκυδική ρητίνη ώστε να προκύπτει κλάση μόνωσης F (μέγιστη θερμοκρασία στα τυλίγματα 155°C). Τα άκρα των πηνίων Χ.Τ. είναι καλυμμένα με εποξειδική ρητίνη και το φύλλο είναι προστατευμένο παντού με μονωτικό υλικό ακόμα και ενδιάμεσα μεταξύ των στρώσεων. Τα τυλίγματα ΥΤ είναι ανεξάρτητα από τα τυλίγματα Χ.Τ. και είναι κατασκευασμένα από σύρμα αλουμινίου ή χαλκού με κλάση μόνωσης F. Τα τυλίγματα Υ.Τ. είναι εμποτισμένα σε συνθήκες κενού, σε άφλεκη εποξειδική χυτή ρητίνη. Το μίγμα αποτελείται από εποξειδική ρητίνη, άνυδρο σκληρυντή με πρόσθετα ελαστικά και επιβραδυντή φωτιάς Το προϊόν που θα προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία είναι κλάσης μόνωσης F.

Η μόνωση που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του ΜΣ ξηρού έχει καλύτερες μονωτικές ιδιότητες από τις μονωτικές ιδιότητες του χαρτιού και του ελαίου. Έτσι τα τυλίγματα ΥΤ και ΧΤ μονώνονται καλύτερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι αποστάσεις των τυλιγμάτων ΥΤ και ΧΤ καθώς και των ακροδεκτών να είναι μικρότερες και γενικά το μέγεθος του ΜΣ ξηρού τύπου να είναι μικρότερο. Όλα τα παραπάνω αυξάνουν το κόστος του ΜΣ ξηρού τύπου σε σχέση με το κόστος ενός ΜΣ ελαίου. Γι' αυτό το λόγο προτιμάται ο ΜΣ ελαίου όταν φυσικά δεν επιβάλλεται για λόγους ασφαλείας η αγορά του ΜΣ ξηρού τύπου.

5.9.1 Προστασία του ΜΣ Ξηρού τύπου

Η προστασία και ο έλεγχος του ΜΣ γίνεται αποκλειστικά και μόνο με τη παρακολούθηση της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων του ΜΣ. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με thermistors (PTC) που τοποθετούνται μέσα στα τυλίγματά. Πιο συγκεκριμένα τοποθετούνται 2 ανιχνευτές θερμοκρασίας (thermistors) PTC ανά φάση. Αυτοί είναι τοποθετημένοι σε θήκη ώστε να μπορούν να αντικατασταθούν. Ο κάθε ένας είναι συνδεδεμένος με ενδεικτική λυχνία έτσι ώστε να επιτυγχάνεται προστασία με ALARM 1 και ALARM 2. Το ALARM 1 είναι μια προειδοποιητική ένδειξη, που μας πληροφορεί ότι η θερμοκρασία του ΜΣ είναι αυξημένη χωρίς όμως να αναστέλλεται και η λειτουργία του. Σε περίπτωση που αυξηθεί ακόμα περισσότερο η θερμοκρασίας ανάβει η ενδεικτική λυχνία για το ALARM 2, όπου διακόπτεται και η λειτουργία του ΜΣ. Οι ενδεικτικές λυχνίες για το ALARM 1 και ALARM 2 έχουν διαφορετικό χρώμα. Στον επάνω μέρος του ΜΣ υπάρχει μια κλεμοσειρά στην οποία συνδέονται όλοι οι ανιχνευτές θερμοκρασίας. Από την κλεμοσειρά ξεκινάνε και καλώδια που φτάνουν στον πίνακα ελέγχου, για παράδειγμα στους πίνακες ΧΤ, για να μεταφέρουν τα σήματα ελέγχου για το ALARM 1 και ALARM 2. Στο Σχ. 5.16 φαίνεται ένας ΜΣ ξηρού τύπου.



Σχήμα 5.15: Μετασχηματιστής Ξηρού Τύπου

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΤ”

6.1 Γενικά

Μια βασική υποχρέωση της Δ.Ε.Η είναι να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές χαμηλής και μέσης τάσης με σταθερή τάση και συχνότητα, που κυμαίνονται σε περιορισμένα όρια. Έτσι η ονομαστική τάση στους καταναλωτές ΧΤ πρέπει να είναι 230 V με διακύμανση $\pm 5\%$. Ωστόσο για μικρά χρονικά διαστήματα μέχρι να γίνει ενίσχυση του δικτύου επιτρέπεται να υπάρχει μια διακύμανση $\pm 8\%$ της ονομαστικής τάσης με στόχο φυσικά η διακύμανση αυτή να ανέλθει στο 5%. Για αγροτικές περιοχές η επιτρεπόμενη διακύμανση της τάσης είναι $\pm 7\%$ και για μικρά χρονικά διαστήματα $\pm 10\%$.

Για να τηρηθούν όμως αυτά τα όρια της τάσης είναι απαραίτητο η τάση σε όλο το δίκτυο μεταφοράς και διανομής να βρίσκεται σε κάποιο όριο $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσης. Έτσι στα Δίκτυα ΜΤ η τάση πρέπει να κυμαίνεται από 14250 - 15750 kV για τα δίκτυα των 15 kV και για τα δίκτυα των 20 kV από 19000 V – 21000V.

Η Ρύθμιση της Τάσης στα δίκτυα της Δ.Ε.Η., για να τηρηθούν τα όρια μέσα στα όποια πρέπει να βρίσκεται η τάση τροφοδότησης των καταναλωτών, γίνεται με τους παρακάτω τρόπους :

Ρύθμιση της Τάσης στους ζυγούς ΜΤ σε Υποσταθμούς 150 kV / 20 kV:

Η ρύθμιση της τάσης εδώ μπορεί να γίνει είτε από τον ίδιο τον ΜΣ Ισχύος είτε με ξεχωριστό Ρυθμιστή Τάσης.

Ρύθμιση της Τάσης σε κάποιο σημείο μιας γραμμής ΜΤ του δικτύου:

Η Ρύθμιση της Τάσης σε μια Γραμμή ΜΤ γίνεται είτε μέσω ενός ρυθμιστή τάσης είτε με συστοιχίες πυκνωτών.

Ρύθμιση της Τάσης στον ΜΣ 20 / 0,4 kV (διανομής ή καταναλωτή) :

Η ρύθμιση της Τάσης γίνεται με τον Μεταγωγέα του ΜΣ, ο οποίος αλλάζει τον λόγο των σπειρών του ΜΣ όταν αυτός βρίσκεται εκτός φορτίου.

6.2 Ρύθμιση της Τάσης σε Υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ

Η ρύθμιση της τάσης σε υποσταθμό, που μετατρέπει τα 150 kV σε 20 kV μπορεί να γίνει είτε από τον ίδιο τον ΜΣ Ισχύος 150 kV / 20 kV είτε με ξεχωριστό Ρυθμιστή Τάσης

Στον ΜΣ ισχύος η ρύθμιση γίνεται είτε υπό φορτίο, εφόσον διαθέτει Σύστημα αλλαγής Τάσης υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) ή on load tap changer, είτε εκτός τάσης με τον μεταγωγέα του ΜΣ. Ο τρόπος ρύθμισης της τάσης, εφόσον μπορεί να γίνει εκτός τάσης, κοστίζει ελάχιστα στην κατασκευή του ΜΣ. Πολλές φορές όμως δεν είναι δυνατόν να διακοπεί η τάση και το ρεύμα σε μια γραμμή για να ρυθμιστεί η τάση με τον μεταγωγέα του ΜΣ . Αυτό θα δημιουργούσε ηλεκτρικό τόξο μέσα στο ΜΣ και θα κατέστρεφε την μόνωση του. Έτσι χρησιμοποιείται το ΣΑΤΥΦ για την ρύθμιση της τάσης.

Σε έναν ΜΣ είτε είναι Ισχύος είτε Διανομής υπάρχουν απολήξεις των σπειρών των τυλιγμάτων, οι οποίες βραχυκυκλώνονται μέσω του μεταγωγέα, που είναι ένας κινούμενος ακροδέκτης. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή αυτόματα. Με την αλλαγή του αριθμού των σπειρών επιτυγχάνεται η μεταβολή του λόγου μετασχηματισμού άρα και μεταβολή της τάσης στους ακροδέκτες του ΜΣ. Η αλλαγή σπειρών μέσω του μεταγωγέα γίνεται σχεδόν πάντα στο πρωτεύον τύλιγμα του ΜΣ, επειδή εκεί υπάρχει υψηλότερη τάση (150 kV ή 20 kV) από ότι στο δευτερεύον τύλιγμα άρα και τα ρεύματα είναι μικρότερα από ότι στο τύλιγμα χαμηλότερης τάσης. Με αυτόν τρόπο οι επαφές καταπονούνται λιγότερο .

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι ο μεταγωγέας επιδρά μόνο στο αριθμό σπειρών στο πρωτεύον τύλιγμα άρα και στην τάση που θα επαχθεί στο δευτερεύον. Έτσι αν υπάρχει μια πτώσης τάση στο πρωτεύον θα πρέπει να μειωθεί ο αριθμός σπειρών έτσι ώστε στο δευτερεύον να υπάρχει η ονομαστική τάση. Γι' αυτό το λόγο η μεταβολή της τάσης σε έναν ΜΣ ισχύος δίνεται ως εξής: 150000V (-12.5%, +7.5%) - 15750 V. Αυτό σημαίνει ότι ο Μ/Σ δίνει στο δευτερεύον 15750 V όταν τροφοδοτείται το πρωτεύον με τάση από 131.250 V μέχρι 161.250 V

Ο ρυθμιστής τάσης είναι ένας αυτομετασχηματιστής και μπαίνει ανάμεσα στον ΜΣ ισχύος και τους ζυγούς ΜΤ. Η ρύθμιση της Τάσης γίνεται υπό φορτίο. Ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται και εδώ είναι ίδιος με αυτόν ενός ΜΣ. Έτσι ο συμβολισμός 17550 ± 10% - 15750 V σημαίνει ότι ο ρυθμιστής τάσης μπορεί να δίνει στην έξοδο του 15750 V όταν στην είσοδο υπάρχει τάση από 17325 μέχρι 14175 V.

Και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις η μεταβολή της τάσης γίνεται με την αλλαγή του αριθμού των σπειρών. Η αλλαγή αυτή όμως δεν μπορεί να γίνεται με ακρίβεια μιας σπείρας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πάντα η επιθυμητή τάση, αλλά βηματικά. Έτσι η τήρηση της τάσης εξόδου γίνεται με ακρίβεια βήματός του μεταγωγέα με αποτέλεσμα να υπάρχει μια απόκλιση της τάση εξόδου από την επιθυμητή τιμή.

6.3 Ρυθμιστές Τάσης

Στα Σχ. 6.1-6.3 παρουσιάζονται 2 ρυθμιστές τάσης ο CL 2A και ο CL 6A καθώς επίσης και οι πίνακες ελέγχου του κάθε ρυθμιστή. Ο CL 2A είναι παλαιότερο μοντέλο από τον CL 6A και ο πίνακας ελέγχου είναι ηλεκτρονικός. Οι ρυθμίσεις σε αυτόν γίνονται αποκλειστικά και μόνο χειροκίνητα αλλάζοντας την θέση των διακοπών (Σχ.6.4). Ο πίνακας ελέγχου του CL 6A είναι ψηφιακός και όλες οι ρυθμίσεις γίνονται πλέον από ένα πληκτρολόγιο, βέβαια πολλές ρυθμίσεις δίνονται και μέσω Η/Υ ή με την εισαγωγή κάρτας δεδομένων. Τέλος μπορεί να δέχεται ρυθμίσεις και πληροφορίες από SCADA.

Ωστόσο και στους 2 ρυθμιστές υπάρχουν κάποια κοινά στοιχεία και λειτουργίες. Ένα βασικό όργανο των ρυθμιστών είναι η ένδειξη υποβιβασμού ή ανύψωση της τάσης (Σχ. 6.1γ). Στο όργανο αυτό υπάρχει ένας δείκτης που δείχνει αν η τάση εξόδου του ρυθμιστή είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από αυτήν που υπάρχει στην είσοδο. Όταν ο δείκτης βρίσκεται στην ένδειξη «N» η τάση εξόδου είναι ίση με την τάση εισόδου, στην ουσία δηλαδή ο ρυθμιστής δεν λειτουργεί. Αν ο δείκτης βρίσκεται αριστερά από το «N» τότε ο ρυθμιστής υποβιβάζει την τάση εισόδου, που σημαίνει ότι σε εκείνο το σημείο η τάση του δικτύου, στην είσοδο του ρυθμιστή, είναι μεγαλύτερη από τη ονομαστική. Σε περίπτωση που ο δείκτης βρίσκεται δεξιά από το «N» σημαίνει ότι γίνεται ανάλογα ανύψωση της τάσης του δικτύου.

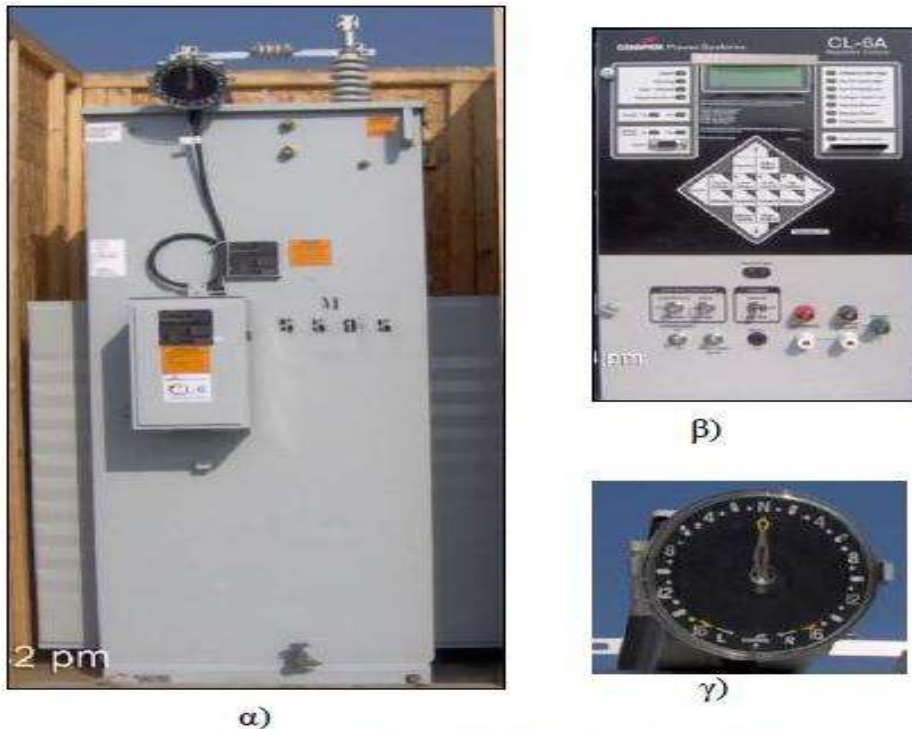
Σε περίπτωση που πρέπει να γίνει κάποια εργασία στον ρυθμιστή και πρέπει αυτός να αποσυνδεθεί από το δίκτυο θα πρέπει στα 2 άκρα της γραμμής να συνδεθεί ένα μέσο

προστασίας (π.χ Recloser) έτσι ώστε η γραμμή να συνεχίζει να τροφοδοτεί το δίκτυο. Γι αυτό το λόγο είναι μόνιμα συνδεδεμένο και παράλληλα με τον ρυθμιστή ένα μέσο προστασίας, το οποίο φυσικά δε λειτουργεί όταν λειτουργεί κανονικά ο ρυθμιστής.

Για να αποσυνδεθεί ο ρυθμιστής από το δίκτυο πρέπει πρώτα να σταματήσει η λειτουργία του ρυθμιστή, δηλαδή η τάση του δικτύου (είσοδος) να μην μεταβάλλεται από αυτόν και να είναι ίση με την τάση στα άκρα εξόδου του ρυθμιστή. Με άλλα λόγια ο δείκτης πρέπει να είναι στη θέση «N». Στην συνέχεια κλείνουν οι επαφές του μέσου προστασίας και η γραμμή συνεχίζει να τροφοδοτεί το δίκτυο.

Αν ο ρυθμιστής μεταβάλει την τάση του δικτύου όταν θα συνδεθεί το μέσο προστασίας, το οποίο είναι συνδεδεμένο παράλληλα, επειδή οι τάσεις δεν θα έχουν την ίδια τιμή θα δημιουργηθεί ένας βρόχος μεταξύ ρυθμιστή και μέσου προστασίας, στον οποίο θα κυκλοφορούν τεράστια ρεύματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να καταστρέψει τον ρυθμιστή και το μέσο προστασίας και να θέσει σε κίνδυνο τη ζωή των τεχνικών της Δ.Ε.Η.

Γι αυτό ακριβώς τον λόγο υπάρχει μια φωτεινή ένδειξη επάνω στον πίνακα ελέγχου με το όνομα « Neutral Light ». Όταν η ένδειξη ανάβει σημαίνει ότι η τάση δεν μεταβάλλεται από τον ρυθμιστή και μπορεί αυτός να αποσυνδεθεί από το δίκτυο με ασφάλεια.



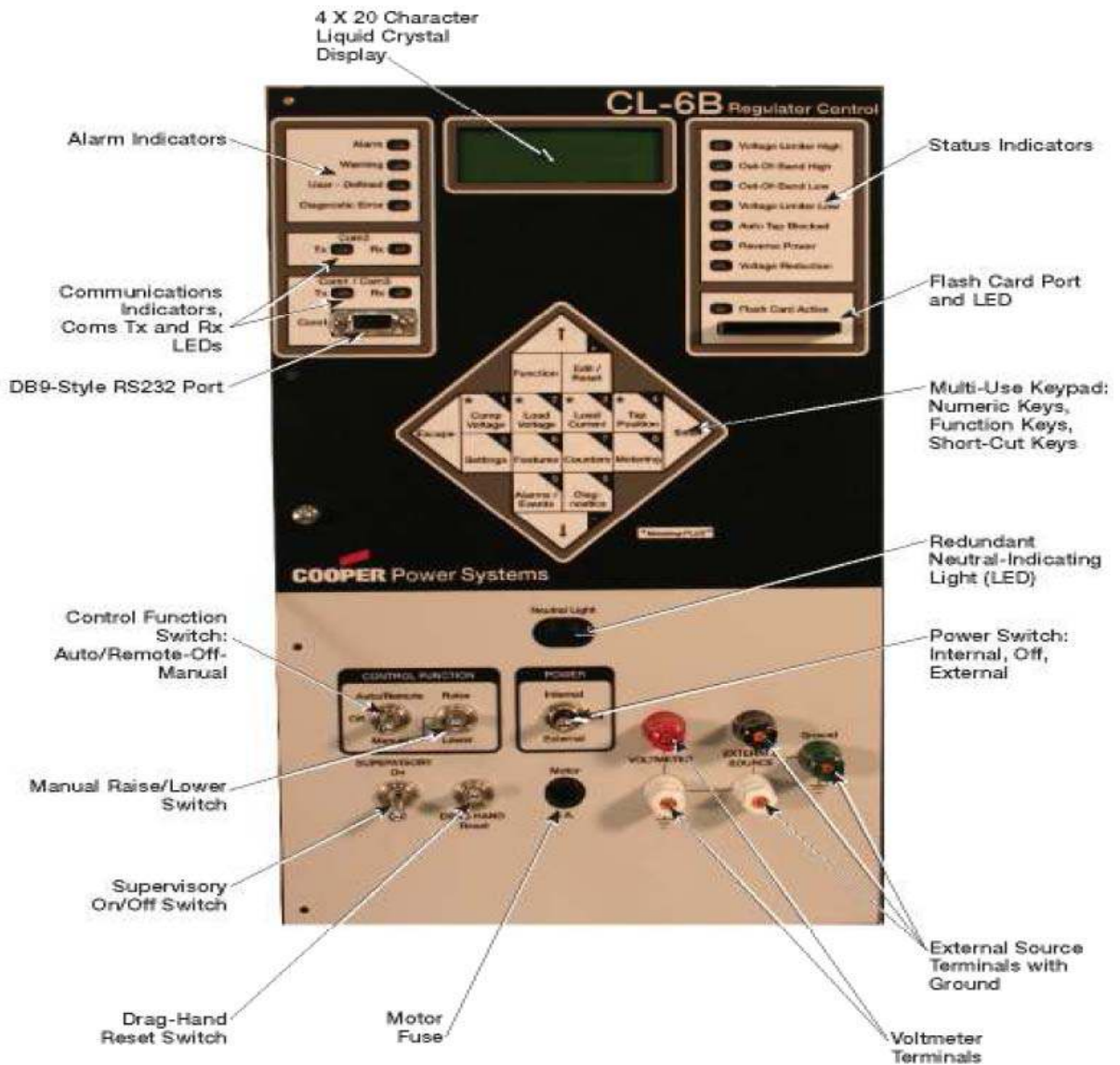
Σχήμα 6.1: Ρυθμιστής Τάσης CL 6A: α) Ρυθμιστής CL 6A β) Πίνακας Ελέγχου και χειρισμών γ) Ένδειξη υποβιβασμού ή ανύψωσης της Τάσης

Στους πίνακες ελέγχου υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας του ρυθμιστή (Control Function Switch). Στην αυτόματη λειτουργία ο ρυθμιστής ελέγχει την τάση του δικτύου και μπορεί αυτόματα να αλλάζει τον αριθμό των σπειρών για να υποβιβάζει ή να ανυψώνει την τάση του δικτύου όταν αυτή δεν έχει την ονομαστική της τιμή . Στην χειροκίνητη λειτουργία ο τεχνικός της Δ.Ε.Η είναι αυτός που μπορεί να ανυψώνει και να υποβιβάζει την τάση. Για την αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία υπάρχει ένας διακόπτης, ο οποίος έχει τις επιλογές: Auto Remote, Manual και Off (Σχ. 6.2 και 6.4). Στην θέση OFF δεν μεταβάλλεται η τάση. Δίπλα ακριβώς από την αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία υπάρχει ακόμη ένα διακοπτάκι με τις επιλογές Raise και Low. Όταν ο ρυθμιστής ελέγχεται

χειροκίνητα ο τεχνικός ανυψώνει ή υποβιβάζει την τάση γυρνώντας το διακοπτάκι στο Raise ή Low αντίστοιχα.

Ο αριθμός των σπειρών μεταβάλλεται μέσω ενός κινητήρα που τροφοδοτείται είτε από τον ίδιο τον ρυθμιστή (Internal) είτε από εξωτερική πηγή (External) με τάση 120 ή 220-240V. Για την επιλογή της τροφοδοσίας (Power Switch) υπάρχει επίσης διακόπτης με τις επιλογές: Internal, external, off (Σχ. 6.2 και 6.4)

Στο Σχ.6.2 φαίνονται επίσης οι ακροδέκτες για την σύνδεση ενός βολτομέτρου και μιας εξωτερικής πηγής για την τροφοδοσία του κινητήρα.



Σχήμα 6.2: Πίνακας Ελέγχου CL 6B



Σχήμα 6.3: Ρυθμιστής τάσης CL 2A



Σχήμα 6.4: Πίνακας Ελέγχου του ρυθμιστή CL 2A

6.4 Ρύθμιση της Τάσης σε κάποιο σημείο μιας Γραμμής ΜΤ

Η ρύθμιση της τάσης εδώ γίνεται είτε με ρυθμιστή τάσης (αυτομετασχηματιστή) όπως ακριβώς και στην προηγούμενη περίπτωση είτε με συστοιχίες πυκνωτών.

Οι συστοιχίες πυκνωτών είναι μια διάταξη που αποτελείται από πυκνωτές ίδιας ή διαφορετικής χωρητικότητας που συνδέονται παράλληλα στη γραμμή. Ανάλογα με την τάση που υπάρχει στο σημείο που έχει τοποθετηθεί η συστοιχία των πυκνωτών συνδέονται ή αποσυνδέονται από την γραμμή οι πυκνωτές με την κατάλληλη χωρητικότητα έτσι ώστε να αυξηθεί ή να μειωθεί η τάση και να πάρει την επιθυμητή τιμή. Οι πυκνωτές αυτοί είναι αποζεύξιμοι αφού μπορούν να συνδέονται και να αποσυνδέονται έτσι ώστε να ρυθμίζουν κατάλληλα την τάση. Υπάρχουν όμως και πυκνωτές, οι οποίοι είναι μόνιμα συνδεδεμένοι πάνω στην γραμμή και προκαλούν μόνιμα ανύψωση της τάσης.

Στην ουσία ο συνδυασμός των πυκνωτών που συνδέεται στην γραμμή είναι κατάλληλος έτσι ώστε να προσφέρουν την άεργη ισχύ που απαιτεί το δίκτυο. Αν το φορτίο της γραμμής είναι χωρητικό υπάρχει παραγωγή άεργη ισχύς από το φορτίο που γυρνάει στο δίκτυο και αυξάνεται έμμεσα η τάση. Όταν το φορτίο της γραμμής είναι επαγωγικό έχουμε κατανάλωση άεργης ισχύς από το φορτίο και ταυτόχρονα πτώση τάσης. Έτσι όταν το φορτίο είναι επαγωγικό παράγουν οι πυκνωτές που είναι συνδεδεμένοι την απαιτούμενη άεργη ισχύς για να μην υπάρχει πτώση τάσης. Αν το φορτίο γίνει λιγότερο επαγωγικό τότε πρέπει να μειωθεί και η παραγωγή άεργης ισχύς από τους πυκνωτές. Έτσι αποσυνδέονται κάποιοι πυκνωτές ώστε η άεργη ισχύς που παράγεται από τους πυκνωτές, να είναι ίση με αυτή που καταναλώνεται από το φορτίο της γραμμής. Σε αντίθετη περίπτωση θα υπάρχει άεργη ισχύς η οποία θα ανυψώνει την τάση της γραμμής. Με λίγα λόγια οι πυκνωτές έχουν σαν στόχο την βελτίωση του συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$) και παράλληλα την ρύθμιση της τάσης.

Σχετικά με την ισχύς των πυκνωτών που πρόκειται να εγκατασταθούν σε μια γραμμή πρέπει να ισχύουν τα εξής:

- Η ισχύς των μόνιμων πυκνωτών δεν πρέπει να υπερβαίνει την άεργη ισχύ της γραμμής την ώρα του ελάχιστου φορτίου.
- Η συνολική ισχύς μόνιμων και αποζεύξιμων πυκνωτών να μην υπερβαίνει τα δύο τρίτα της άεργης ισχύς της γραμμής την ώρα του μέγιστου φορτίου.
- Κατά την ζεύξη των αποζεύξιμων πυκνωτών δεν πρέπει να δημιουργείται ανύψωση της τάσης μεγαλύτερη από 3 %.

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω παρατηρήσεις υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στη χρήση των πυκνωτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι καλύτερη η ποιότητα της ρύθμισης τάσης όταν γίνεται από έναν ρυθμιστή τάσης.

Η τοποθέτηση πυκνωτών μετά τον ρυθμιστή τάσης επηρεάζει τη λειτουργία της αντιστάθμισης επειδή το χωρητικό ρεύμα τους διέρχεται μέσα από τους Μ/Σ έντασης της αντιστάθμισης. Όταν οι πυκνωτές είναι μόνιμοι μπορεί να ληφθεί υπόψη αυτό και να διορθωθούν οι τιμές των στοιχείων αντιστάθμισης. Όταν όμως υπάρχουν αποζεύξιμοι πυκνωτές τότε οι ρυθμιστές τάσεις συμπεριφέρονται διαφορετικά όταν οι πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι στην γραμμή από ότι όταν δεν είναι. Άρα για την καλύτερη λειτουργία της γραμμής και την καλύτερη ρύθμιση της τάσης πρέπει οι πυκνωτές να τοποθετούνται πάντα πριν τον ρυθμιστή τάσης.

Στο Σχ.6.5 φαίνεται σε συνδεσμολογία αστέρα μια συστοιχία μόνιμων και αποζεύξιμων πυκνωτών ΜΤ αντίστοιχα που χρησιμοποιεί στο δίκτυο η ΔΕΗ.



Σχήμα 6.5: Συστοιχία μόνιμων πυκνωτών σε συνδεσμολογία αστέρα

Στο Σχ. 6.6 φαίνεται μια συστοιχία αποζεύξιμων πυκνωτών, που συναρμολόγησε το συνεργείο ΜΤ της Δ.Ε.Η. Στη διάταξη υπάρχουν 4 σειρές τριφασικών πυκνωτών, όπου η κάθε σειρά είναι συνδεδεμένη με ένα Διακόπτη Ισχύος. Οι πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι σε αστέρα και συνδέονται ή αποσυνδέονται στο δίκτυο μέσω του ΔΙ. Ο ελεγκτής ελέγχει την τάση και την άεργη ισχύς. Ανάλογα με τη τιμή της τάσης και της άεργης ισχύς ο ελεγκτής δίνει εντολή στους ΔΙ να κλείσουν ή να ανοίξουν για να επιτευχθεί έτσι η επιθυμητή τάση στο συγκεκριμένο σημείο.

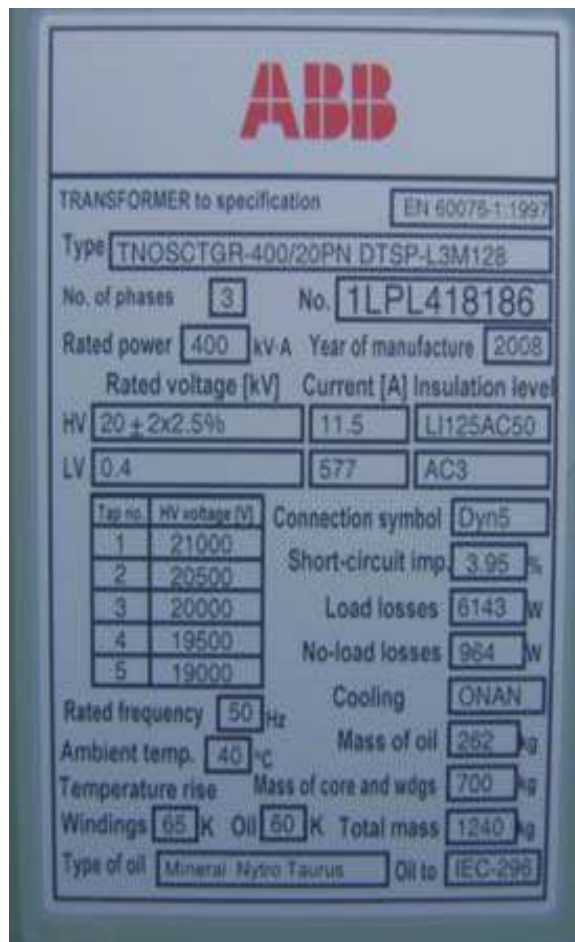


Σχήμα 6.6: Συστοιχία αποζεύξιμων πυκνωτών

6.5 Ρύθμιση της Τάσης στον ΜΣ 20 / 0,4 kV (διανομής ή καταναλωτή)

Η ρύθμιση της Τάσης γίνεται με τον μεταγωγέα του ΜΣ, ο οποίος αλλάζει τον λόγο των σπειρών όταν αυτός βρίσκεται εκτός φορτίου. Ο τρόπος λειτουργίας του περιγράφεται παραπάνω.

Παρακάτω φαίνεται ο μεταγωγέας ενός ΜΣ 20/ 0,4 kV που βρίσκεται στο επάνω μέρος του ΜΣ. Στην πινακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία φαίνονται και οι διάφορες θέσεις του μεταγωγέα. Ανάλογα με την τάση που υπάρχει στο πρωτεύον πρέπει ο μεταγωγέας να τοποθετηθεί σε εκείνη την θέση για να υπάρχουν στη ΧΤ 400 V.



ABB

TRANSFORMER to specification EN 60075-1:1997

Type TNOSCTGR-400/20PN DTSP-L3M128

No. of phases 3 No. 1LPL418186

Rated power 400 kVA Year of manufacture 2008

	Rated voltage [kV]	Current [A]	Insulation level
HV	20 ± 2x2.5%	11.5	LI125AC50
LV	0.4	577	AC3

Tap no.	HV voltage [V]	Connection symbol
1	21000	Dyn5
2	20500	
3	20000	
4	19500	
5	19000	

Short-circuit imp 3.95 %

Load losses 6143 W

No-load losses 964 W

Rated frequency 50 Hz Cooling ONAN

Ambient temp. 40 °C Mass of oil 262 kg

Temperature rise Mass of core and wdgs 700 kg

Windings 65 K Oil 60 K Total mass 1240 kg

Type of oil Mineral Nyro Taurus Oil to IEC-296

Σχήμα 6.7: Ονομαστικά στοιχεία ΜΣ



Σχήμα 6.8: Μεταγωγέας ΜΣ ΜΣ 20 / 0,4 kV

Στην πινακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία του ΜΣ φαίνεται ότι ο συγκεκριμένος ΜΣ έχει διακύμανση της τάσης $\pm 5\%$ ($\pm 2 \times 2.5\%$). Έτσι ο μεταγωγέας μπορεί να πάρει 5 διαφορετικές Θέσεις. Στην εικόνα φαίνεται ότι ο μεταγωγέας είναι στη Θέση 3 και σύμφωνα με τον πίνακα που υπάρχει στα ονομαστικά στοιχεία αν η τάση στο πρωτεύον είναι 20000 V (ονομαστική τιμή) τότε η τάση στο δευτερεύον θα είναι 400 V. Έστω ότι η τάση γίνεται 19500 V τότε πρέπει να γυρίσει ο μεταγωγέας στη θέση 4 για να υπάρχουν και πάλι 400 V στο δευτερεύον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π. Ντοκόπουλος : Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών – 2005
2. Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης : Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Τόμος Α' – 2006
3. Π. Ντοκόπουλος : Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Τόμος 1 – 1986
4. Μ. Π. Παπαδόπουλος : Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας – 1997
5. Λιάκος Κωνσταντίνος : Πτυχιακή Εργασία « Δίκτυα ΜΤ με Εφαρμογή στο Δίκτυο του Αττικό Μετρό» - 2012
6. Δ.Ε.Η : Εγχειρίδιο Λειτουργίας και Προστασίας Δικτύων Διανομής – 1987
7. Δ.Ε.Η.: Παροχές Μέσης Τάσης , Οδηγία Διανομής Νο 34 – 1975
8. ABB : www.abb.com
9. COOPER Power Systems : www.cooperpower.com

Αιγάλεω
Οκτώβριος - 2012