



---

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

Πτυχιακή εργασία

**Παναγιώτης Ξυλής**  
**Χριστόφορος Καρράς**

Εισηγητής

**Νικόλαος Σχοινάς**

Αθήνα, Μάρτιος 2012

# Περίληψη

---

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και η περιγραφή των μέσων που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση και την κατασκευή υποσταθμών Μέσης Τάσης. Αρχικά, αναφέρονται οι λόγοι που επιβάλλουν την σύνδεση των καταναλωτών στη Μέση Τάση. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή και ανάλυση των μέσων ζεύξης - απόζευξης και προστασίας στην Μέση Τάση. Σε επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται τα καλώδια Μέσης Τάσης, καθώς και ορισμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους. Ακολουθεί η ανάλυση των τεχνικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Μετασχηματιστών ισχύος, καθώς και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την προστασία τους. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στους Μετασχηματιστές οργάνων (τάσης και έντασης). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τύποι παροχών Μέσης Τάσης και τα μονογραμμικά διαγράμματα αυτών σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ. Σε κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται περιγραφή των ηλεκτρικών πινάκων που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς Μέσης Τάσης, περιγραφή των χαρακτηριστικών των ζυγών, καθώς και μέθοδοι υπολογισμού της διατομής αυτών. Μετά παρουσιάζονται τα είδη των γειώσεων σε ιδιωτικούς υποσταθμούς Μέσης Τάσης και αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία στην κατασκευή θεμελιακών γειώσεων. Στη συνέχεια δίνονται στοιχεία για την κατασκευαστική δομή των κτιρίων υποσταθμών Μέσης Τάσης, που αφορούν τις διαστάσεις τους, τα ανοίγματα εξαερισμού κ.α., και ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας συντήρησης του εξοπλισμού του υποσταθμού. Στο τελευταίο κεφάλαιο επισημαίνεται η αναγκαιότητα αντιστάθμισης της άεργης ισχύος. Ακολουθούν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πυκνωτών αντιστάθμισης, τα είδη αντιστάθμισης, και τέλος ο τρόπος διόρθωσης του χαμηλού συντελεστή ισχύος σε καταναλωτές άεργης ισχύος.

# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b>	<b>2</b>
<b>Συντομογραφίες - Συμβολισμοί</b>	<b>6</b>
<b>Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
<b>1 Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας Μέσης Τάσης</b>	<b>4</b>
1.1 Ασφάλειες μέσης τάσης . . . . .	5
1.1.1 Ασφάλειες σκόνης . . . . .	5
1.1.2 Ασφάλειες εκτόνωσης . . . . .	9
1.2 Διακόπτες μέσης τάσης . . . . .	10
1.2.1 Διακόπτες Ισχύος . . . . .	11
1.2.2 Διακόπτες Φορτίου . . . . .	16
1.2.3 Αποζεύκτες - Γειωτές . . . . .	18
1.2.4 Διακόπτες απομόνωσης . . . . .	20
1.3 Σύμβολα διακοπών μέσης τάσης . . . . .	21
1.4 Απαγωγείς τάσεων . . . . .	24
1.5 Προστασία δικτύου μέσης τάσης . . . . .	26
1.6 Προστασία γραμμής αναχώρησης του δικτύου μέσης τάσης . . . . .	30
1.7 Προστασία διακλάδωσης σε καταναλωτή μέσης τάσης . . . . .	31
1.8 Προστασία υποσταθμού μέσης τάσης κατά των υπερτάσεων . . . . .	31
1.9 Επιλογική συνεργασία μέσων προστασίας . . . . .	32
<b>2 Μονωμένοι αγωγοί - Καλώδια Μέσης Τάσης</b>	<b>33</b>
2.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά καλωδίων Μέσης Τάσης . . . . .	35
2.1.1 Αγωγοί καλωδίων . . . . .	35
2.1.2 Μονωτικά καλωδίων . . . . .	36
2.1.3 Θωράκιση καλωδίων . . . . .	37
2.2 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ. . . . .	37
2.2.1 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ. σε σχάρες . . . . .	37
2.2.2 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ. μέσα στο έδαφος . . . . .	37
2.3 Ακροδέκτες - Συνδέσεις . . . . .	38

<b>3</b>	<b>Μετασχηματιστές Ισχύος</b>	<b>40</b>
3.1	Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή . . . . .	41
3.1.1	Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή λαδιού . . . . .	41
3.1.2	Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή με μόνωση χυτορητίνης . . . . .	43
3.2	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστή ισχύος . . . . .	45
3.3	Συνδεσμολογία τυλιγμάτων μετασχηματιστή ισχύος . . . . .	48
3.4	Παραλληλισμός μετασχηματιστών . . . . .	49
3.5	Απώλειες χαλκού και σιδήρου . . . . .	50
3.6	Προστασία μετασχηματιστή . . . . .	51
3.6.1	Προστασία σε βραχυκύκλωμα . . . . .	52
3.6.2	Προστασία σε υπερφόρτιση . . . . .	53
3.6.3	Προστασία σε εσωτερικά σφάλματα . . . . .	53
3.6.4	Διαφορική προστασία . . . . .	55
3.7	Μετασχηματιστές οργάνων . . . . .	56
3.7.1	Μετασχηματιστές τάσης . . . . .	56
3.7.2	Μετασχηματιστές έντασης . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Τυποποιημένες παροχές Μέσης Τάσης</b>	<b>60</b>
4.1	Παροχή Α1 . . . . .	61
4.2	Παροχή Α2 . . . . .	62
4.3	Παροχή Β1 . . . . .	63
4.4	Παροχή Β2 . . . . .	64
<b>5</b>	<b>Ηλεκτρικοί πίνακες υποσταθμών Μέσης Τάσης</b>	<b>70</b>
5.1	Πίνακες υποσταθμών μέσης τάσης . . . . .	70
5.2	Διάταξη κυψελών Μ.Τ. . . . .	73
5.3	Χαρακτηριστικά ζυγών . . . . .	76
5.4	Υπολογισμός διατομής ζυγών . . . . .	79
<b>6</b>	<b>Γειώσεις υποσταθμών Μέσης Τάσης</b>	<b>82</b>
6.1	Αντίσταση γείωσης . . . . .	83
6.2	Βηματική τάση και τάση επαφής . . . . .	84
6.3	Θεμελιακή γείωση . . . . .	86
6.4	Γειώσεις σε υποσταθμούς καταναλωτών μέσης τάσης . . . . .	88
6.5	Υπολογισμός διατομής αγωγού γείωσης . . . . .	92
<b>7</b>	<b>Κτίρια υποσταθμών Μέσης Τάσης</b>	<b>96</b>
7.1	Υπολογισμός θαλάμου του μετασχηματιστή ισχύος (κατά <b>Gotter</b> ) . . . . .	96
7.2	Προδιαγραφές κατασκευής υπαίθριου επίγειου υποσταθμού Μέσης Τάσης . . . . .	98

<b>8 Συντήρηση Υποσταθμών</b>	<b>101</b>
8.1 Γενικά . . . . .	101
8.2 Συντήρηση κύριου εξοπλισμού . . . . .	103
8.3 Συντήρηση βοηθητικού εξοπλισμού . . . . .	105
<b>9 Αντιστάθμιση</b>	<b>107</b>
9.1 Χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας . . . . .	107
9.2 Η σημασία και οι επιπτώσεις του χαμηλού Συντελεστή Ισχύος . . . . .	110
9.3 Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος . . . . .	112
9.4 Κατασκευαστικά στοιχεία πυκνωτών αντιστάθμισης . . . . .	113
9.5 Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτών αντιστάθμισης . . . . .	114
9.6 Είδη αντιστάθμισης . . . . .	115
9.7 Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε καταναλωτές άεργης ισχύος . . . . .	116
9.7.1 Μετασχηματιστές . . . . .	116
9.7.2 Ασύγχρονοι κινητήρες . . . . .	117
9.7.3 Κυκλώματα μετατροπών . . . . .	118
9.7.4 Λαμπτήρων φθορισμού . . . . .	118
9.7.5 Κεντρική αντιστάθμιση . . . . .	119
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>121</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b>	<b>122</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων</b>	<b>124</b>

# Συντομογραφίες - Συμβολισμοί

---

Συντόμευση	Ορισμός
AZ	Ασφαλειαποξεύκτης
ΔΑ	Διακόπτης απομόνωσης
ΔΙ	Διακόπτης ισχύος
ΔΦ	Διακόπτης φορτίου
ΗΝ	Ηλεκτρονόμος
Μ/Σ	Μετασχηματιστής
ΜΤ	Μέση τάση
ΣΑΠ	Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας
Σ.Ι.	Συντελεστής ισχύος
ΥΣ	Υποσταθμός
ΥΤ	Υψηλή τάση
ΧΤ	Χαμηλή τάση
AC	Εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternating current)
DC	Συνεχές ρεύμα (Direct current)

Συμβολισμός	Ορισμός
U	Τάση, διαφορά δυναμικού [V]
I	Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος [A]
R	Αντίσταση [Ω]
$\rho$	Ηλεκτρική ειδική αντίσταση [Ω m]
C	Χωρητικότητα [Farad]
S	Φαινόμενη ισχύς [VA]
P	Πραγματική ισχύς [W]
Q	Άεργη ισχύς [VA <sub>r</sub> ]
$P_{cu}$	Απώλειες χαλκού [W]
$P_{fe}$	Απώλειες σιδήρου [W]
$\varphi$	Γωνία ισχύος
f	Συχνότητα [Hz]
t	Χρόνος [s]

# Εισαγωγή

---

Η μελέτη ενός υποσταθμού (ΥΣ) είναι ένα ειδικό και σχετικά πολύπλοκο πρόβλημα επειδή έχει να κάνει με την αντιμετώπιση διαφορετικών θεμάτων τα οποία είναι ηλεκτρολογικά, κτιριακά και προβλήματα ασφάλειας. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε άνεση, εξυπηρέτηση και αυτοματισμό σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας έχουν δημιουργήσει αντίστοιχη αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως συνέπεια όλο και περισσότεροι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπερνούν την ικανότητα τροφοδότησής τους από το δίκτυο χαμηλής τάσης (ΧΤ) των 400 V της ΔΕΗ. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαία η τροφοδότηση από το δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) της ΔΕΗ και ο καταναλωτής πρέπει να εγκαταστήσει σε δικό του χώρο ιδιωτικό υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ, 15-20 / 0.4 kV.

Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή γίνεται κατά κανόνα από το δίκτυο μέσης τάσης αν ο καταναλωτής έχει προβλεπόμενη μέγιστη ισχύ μεγαλύτερη από 135 kVA (παροχή αρ. 6 της ΧΤ). Ακόμα όμως και σε μικρότερες ισχύς, η σύνδεση στο δίκτυο ΜΤ μπορεί να επιβάλλεται από τη ΔΕΗ για τεχνικούς λόγους ή να συμφέρει οικονομικά λόγω τιμολογίου. Το κατώτατο όριο σύνδεσης σε ΜΤ περιορίζεται από τη δυνατότητα καταγραφής της ισχύος από τους μετασχηματιστές έντασης της ΔΕΗ και που κατ' ελάχιστο είναι για μετασχηματιστές 100 kVA. Βαρίες εκκινήσεις κινητήρων, ηλεκτρονικοί μετατροπείς ή κορεσμός του δικτύου χαμηλής τάσης μπορούν να επιβάλλουν ακόμα και σε χαμηλότερες ισχύς από 135 kVA τροφοδοσία με ΜΤ. Έτσι, σε μεγάλες πόλεις ή βιομηχανίες με μεγάλη πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου, μπορεί να υποχρεωθεί ο καταναλωτής σε σύνδεση σε ΜΤ ήδη από την ισχύ των 135 kVA. Μία εγκατάσταση αντλίας π.χ. των 100 kW σε αγροτική εγκατάσταση, θα συνδεθεί με μέση τάση.

Η τροφοδοσία με ΜΤ γίνεται από δίκτυα τάσης 6.6 kV<sup>1</sup>, 15 kV, 20 kV και 22 kV. Σχεδιάζεται όλα αυτά τα δίκτυα ΜΤ να μετατραπούν μελλοντικά σε δίκτυα των 20 kV. Με τον όρο *ισχύς* εννοείται η συμφωνημένη ισχύς και όχι η εγκατεστημένη ισχύς. Συμφωνημένη ισχύς θεωρείται η ανώτατη φαινόμενη ισχύς που δικαιούται ο καταναλωτής από τη ΔΕΗ με συντελεστή ισχύος (Σ.Ι.) η τιμή του οποίου προσδιορίζεται και διατηρείται υποχρεωτικά στις καθορισμένες τιμές. Η συμφωνημένη ισχύς αναφέρεται και στο συμβόλαιο παροχής. Η εγκατεστημένη ισχύς θεωρείται το άθροισμα της ονομαστικής ισχύος των επιμέρους φορτίων του καταναλωτή και προσδιορίζεται από τη σχέση  $S = 1.17 \cdot P$  [kVA]. Η εγκατεστημένη ισχύς, όπως είναι προφανές, είναι λίγο έως πολύ μεγαλύτερη της συμφωνημένης ισχύος.

---

<sup>1</sup>Υπάρχει μόνο στην περιφέρεια Αττικής.

Το δίκτυο τροφοδοσίας ΜΤ της ΔΕΗ μπορεί να είναι εναέριο ή υπόγειο. Τα εναέρια δίκτυα είναι ακτινικά, ενώ σε ορισμένα τμήματά τους μπορεί να είναι καλωδιακά. Τα υπόγεια δίκτυα είναι κατά κανόνα βροχοειδή (δακτυλιοειδή). Οι καταναλωτές συνδέονται αλυσιδωτά με καλώδια. Για λόγους εφεδρείας μπορεί να υπάρχει διασύνδεση με υποσταθμό διασύνδεσης ή να κλείνει ο δακτύλιος ή να υπάρχει διασύνδεση με άλλο υποσταθμό 150/20 kV.

Η τάση τροφοδότησης μπορεί να κυμαίνεται γύρω στο  $\pm 5\%$  από την ονομαστική τάση αυτής. Γι' αυτό συνίσταται οι μετασχηματιστές (Μ/Σ) να έχουν λήψεις, εκτός της ονομαστικής, και στα  $\pm 2.5\%$  και  $\pm 5\%$ . Ανεξάρτητα από την αρχική τάση τροφοδότησης του ΥΣ πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, όπως προαναφέραμε, ότι στο μέλλον όλα τα δίκτυα ΜΤ της ΔΕΗ θα μετατραπούν σε δίκτυα ονομαστικής τάσης 20 kV. Γι' αυτό το λόγο συνιστάται να γίνει πρόβλεψη, τόσο στο υλικό ζεύξης και προστασίας ΜΤ, όσο και οι Μ/Σ να μπορούν να λειτουργήσουν στο μέλλον με τάση 20 kV. Η τάση που χρησιμοποιείται στη ΜΤ είναι τριφασική εναλλασσόμενη, συχνότητας 50 Hz, με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο στον ΥΣ υψηλής ή μέσης τάσης κατευθείαν ή με χρησιμοποίηση ωμικής αντίστασης τιμής της τάξης των 10 Ω. Η μεγαλύτερη τιμή συμμετρικής ισχύος βραχυκύκλωσης των ηλεκτρικών γραμμών μέσης τάσης σε τριφασικά σφάλματα διάρκειας 1 sec δίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Ονομαστική τιμή τάσης δικτύου [kV]	Ισχύς βραχυκύκλωσης [MVA]
6.6	100
15	250
20	250
22	500

Πίνακας 1: Ισχύς βραχυκύκλωσης δικτύων μέσης τάσης.

► Ως ισχύς βραχυκύκλωσης της ηλεκτρικής γραμμής ορίζεται το γινόμενο των μέτρων της τάσης της γραμμής πριν από το σφάλμα και της έντασης του ρεύματος βραχυκύκλωσης αυτής.

Η ΔΕΗ έχει εκδώσει πληροφορίες για τη διαδικασία παροχής ΜΤ. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια: αίτηση, προμελέτη από τη ΔΕΗ, μελέτη από τον εγκαταστάτη, έγκριση της μελέτης από τη ΔΕΗ, κατασκευή και τέλος σύνδεση της παροχής ΜΤ.

Υπάρχουν τέσσερις τυποποιημένες παροχές ΜΤ (Α1, Α2, Β1, Β2) που διαφέρουν ως προς την εγκατάσταση της ΔΕΗ. Έτσι διακρίνονται σε εξωτερικού χώρου (παροχές Α1 και Α2) και εσωτερικού χώρου (παροχές Β1 και Β2). Στις παροχές τύπου Α, η μέτρηση μέσης τάσης της ΔΕΗ τοποθετείται εξωτερικά πάνω στον τερματικό στύλο του εναέριου δικτύου



ΜΤ, ο οποίος εγκαθίσταται στο όριο ιδιοκτησίας του πελάτη. Αν το επιθυμεί ο πελάτης και συμφωνεί και η ΔΕΗ, ακόμα και σε περιοχή με εναέριο δίκτυο, οι εγκαταστάσεις μέτρησης μπορεί να γίνουν σε κλειστό χώρο, που παρέχεται από τον πελάτη και κατασκευάζεται κατά τις υποδείξεις της ΔΕΗ. Στις περιπτώσεις αυτές αναχωρούν από τους στύλους προς τον χώρο μέτρησης ένα ή δύο υπόγεια καλώδια, ανάλογα με τον τρόπο τροφοδότησης του ΥΣ. Τα καλώδια αυτά οδεύουν στην ιδιοκτησία του πελάτη και καταλήγουν στο χώρο μέτρησης. Στις παροχές τύπου Β, η μέτρηση μέσης τάσης εγκαθίσταται εσωτερικά σε χώρο τον οποίο παραχωρεί ο πελάτης και τον διαμορφώνει σύμφωνα με τις υποδείξεις της ΔΕΗ.

Κάθε υποσταθμός μέσης τάσης χωρίζεται σε τρεις βασικούς διαμορφωμένους χώρους που αφορούν:

➡ **Το τμήμα της μέσης τάσης των 20 kV**, το οποίο αποτελεί τη συνδεσμολογία παροχής ή την εγκατάσταση μέσης τάσης της ΔΕΗ που μπορεί να είναι εναέρια ή στεγασμένη. Το τμήμα αυτό διαθέτει Μ/Σ μετρήσεων, μετρητές ισχύος και ενέργειας, καθώς και το μέσο προστασίας της παροχής σε σφάλματα, δηλαδή διακόπτες ή ασφάλειες.

➡ **Το χώρο του μετασχηματιστή ισχύος** που υποβιβάζει τη μέση τάση σε χαμηλή.

➡ **Το τμήμα της χαμηλής τάσης των 0.4/0.23 kV**, που συνήθως είναι στεγασμένο και περιέχει τα καλώδια, τους ζυγούς ΜΤ, τα όργανα και τα μέσα προστασίας, τους Μ/Σ οργάνων και τους ζυγούς ΧΤ με την προστασίας τους. Επιτρέπεται η εγκατάσταση να γίνεται υπαίθρια, όμως κάτι τέτοιο αποφεύγεται επειδή δημιουργούνται προβλήματα στη συντήρηση του υποσταθμού. Εκείνο που γίνεται συχνά, είναι υπαίθρια εγκατάσταση Μ/Σ και στεγασμένες κυψέλες μέσης τάσης.

# Κεφάλαιο 1

## Μέσα ζεύξης-απόζευξης και προστασίας Μέσης Τάσης

---

Τα μέσα προστασίας σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης και αν αναφερόμαστε, έχουν ως στόχο την άμεση προστασία ενός ηλεκτρικού φορτίου ή κυκλώματος. Έμμεσα προστατεύουν ολόκληρη την εγκατάσταση, τον εξοπλισμό και τους ανθρώπους που ενδεχομένως χρησιμοποιούν την εγκατάσταση. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας των επιμέρους ηλεκτρικών φορτίων μέσα στην ηλεκτρική εγκατάσταση, μπορεί να συμβεί κάποια βλάβη η οποία μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα. Το βραχυκύκλωμα επιφέρει καταπόνηση στους αγωγούς και τις μονώσεις, αυξάνοντας την θερμοκρασία τους λόγω του θερμικού αποτελέσματος του ρεύματος. Η αυξανόμενη θερμοκρασία μπορεί να καταστρέψει τις ηλεκτρικές συσκευές, καθώς και να προκαλέσει πυρκαϊά η οποία μπορεί να εξαπλωθεί σε ολόκληρη την εγκατάσταση.

Τα μέσα προστασίας σε περίπτωση σφάλματος, έχουν σκοπό να διακόψουν εγκαίρως την τροφοδοσία και να απομονώσουν τη συσκευή, το κύκλωμα ή την εγκατάσταση από το σφάλμα. Με τον όρο σφάλμα εννοούμε μία μη κανονική λειτουργία σε μία διάταξη. Έτσι έχουμε σφάλματα λόγω βραχυκυκλωμάτων (καταστροφή μόνωσης μεταξύ δύο φάσεων ή μίας φάσης με τη γη) και υπερφορτίσεων. Ως σφάλμα ακόμα, μπορεί να χαρακτηριστεί η διακοπή της συνέχειας μίας φάσης ή του ουδετέρου. Συνήθως όμως, ο όρος σφάλμα αναφέρεται σε βραχυκυκλώματα. 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 ( $I_N$ ) και μπορεί να πάρει τιμή μέχρι και διπλάσια του ονομαστικού. Για ρεύματα μεγαλύτερα από το διπλάσιο ονομαστικό ρεύμα (π.χ.  $5 \times I_N$ ) χρησιμοποιείται ο όρος υπερένταση. Υπερένταση έχουμε στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος.

Τα μέσα προστασίας στην μέση τάση διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ➡ **Ασφάλειες μέσης τάσης**
- ➡ **Διακόπτες μέσης τάσης**

## 1.1 Ασφάλειες μέσης τάσης

Οι ασφάλειες (τηκτά) σε εγκαταστάσεις καταναλωτών ΜΤ χρησιμοποιούνται μόνο για προστασία σε βραχυκυκλώματα και όχι σε υπερφορτίσεις. Οι ασφάλειες ΜΤ είναι κυλινδρικές, με σώμα από πορσελάνη ή άλλο μονωτικό υλικό. Κατασκευάζονται για διάφορες ονομαστικές τάσεις και ονομαστικές εντάσεις. Το μήκος τους είναι ανάλογο της ονομαστικής τους τάσης και η διάμετρος τους ανάλογη της ονομαστικής τους έντασης. Χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτική οικονομικότερη λύση αντί των διακοπών ισχύος. Συνήθως, για να υπάρχει δυνατότητα απόξευξης υπό φορτίο, χρησιμοποιούνται διατάξεις συγκροτημάτων τόσο ασφαλειών όσο και διακοπών ισχύος. Διακρίνουμε δύο είδη ασφαλειών υψηλής τάσης ανάλογα με την αρχή πάνω στην οποία στηρίζονται.

- Ασφάλεις σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC)
- Ασφάλειες εκτόνωσης

### 1.1.1 Ασφάλειες σκόνης

**Ονομαστική τάση  $U_n$ :** Είναι η μέγιστη πολική τάση του δικτύου στην οποία μπορεί να εργασθεί συνεχώς η ασφάλεια. Για το δίκτυο ΜΤ των 20 kV είναι  $U_n = 24 \text{ kV}$ . Άλλες τυποποιημένες ονομαστικές τάσεις είναι 3.6, 7.2, 12 και 17.5 kV. Προφανώς μία ασφάλεια ονομαστικής τάσης 24 kV μπορεί να εργασθεί σε δίκτυο 15 kV, χωρίς να μπορεί να ισχύει το αντίστροφο.

**Ονομαστικό ρεύμα  $I_n$ :** Είναι το ρεύμα που μπορεί να διαρρέει την ασφάλεια, χωρίς η θερμοκρασία της να ξεπεράσει τους 65 °C. Οι τυποποιημένες ονομαστικές τιμές των ασφαλειών είναι: 6.3, 10, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 και 100 A. Το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας επιλέγεται από το μέγεθος του μετασχηματιστή ισχύος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.1.

**Ελάχιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής  $I_3$ :** Είναι το ελάχιστο ρεύμα που προκαλεί την τήξη και διακοπή της ασφάλειας. Η τιμή του  $I_3$  είναι 3 ως 5 φορές το ρεύμα  $I_n$ . Σημειώνουμε ότι για να διακοπεί το ρεύμα δεν είναι αρκετή η τήξη της ασφάλειας. Αν το ρεύμα του σφάλματος είναι μικρότερο του  $I_3$ , η ασφάλεια τήκεται, αλλά δεν διακόπτει απαραίτητα και το ρεύμα. Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της ασφάλειας στην περιοχή μεταξύ  $I_n$  και  $I_3$ .

**Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής  $I_1$ :** Είναι το ρεύμα το οποίο μπορεί να διακόψει η ασφάλεια χωρίς κίνδυνο καταστροφής της (έκρηξη). Η τιμή του ρεύματος αυτού κυμαίνεται από 20 έως 80 kA.

Τάση Λειτουργίας [kVA]	Ισχύς μετασχηματιστή [kVA]																Ονομαστική τάση [kV]		
	25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000		2500	
3.3	16	25	40	50	50	80	80	100	125	160	200								7.2
5.5	10	16	31.5	31.5	40	50	50	63	80	100	125	125	160						7.2
6.6	10	16	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125	125	160					7.2
10	6.3	10	16	20	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	100	160	160			12
13.8	6.3	10	16	16	20	25	31.5	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125	160		24
15	6.3	10	10	16	16	20	25	31.5	40	50	50	63	80	80	100	125	160		24
20	6.3	6.3	10	10	16	20	25	25	31.5	40	40	50	50	63	80	100	125		24
22	6.3	6.3	10	10	10	16	20	25	25	31.5	40	40	50	50	60	60	100		24

Πίνακας 1.1: Επιλογή ασφάλειας κόνεως με βάση την τάση λειτουργίας και την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή.

Ονομαστική τάση [kVA]	Ένταση [A]	Μήκος [mm]	Διάμετρος [mm]	Βάρος [kg]
7.2	125	292	66	3.3
	6.3 - 20	292	50.5	1.2
	25 - 40	292	57	1.5
	50 - 100	292	57	1.5
12	125	442	86	4.6
	6.3 - 20	442	50.5	1.6
	25 - 40	442	57	2.2
	50 - 63	442	78.5	4.1
24	80 - 100	442	86	5.3

Πίνακας 1.2: Διαστασιολόγιο ασφαλειών κόνεως.

#### ►Λειτουργία ασφαλειών σκόνης.

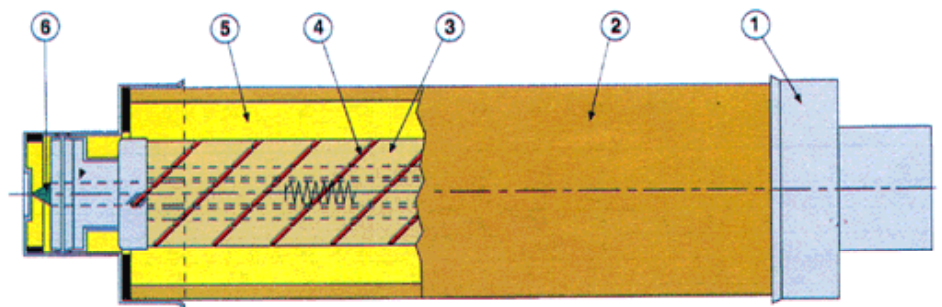
Οι ασφάλειες σκόνης (Σχήμα 1.1) έχουν σώμα από κεραμικό υλικό (3), πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένος ο αγωγός (τηκτό) (4) σε μορφή σπείρας, που μπορεί να είναι άργυρος ή κράμα του ώστε να διαθέτει καλή αγωγιμότητα (μικρή αντίσταση). Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία (5) και το εξωτερικό περίβλημα είναι από πορσελάνη (2).

Όταν το ρεύμα ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή  $I$ , τότε τήκεται ο αγωγός σε ένα ή περισσότερα σημεία του, με αποτέλεσμα η ενέργεια που ελκύει το τόξο να απορροφάται από την χαλαζιακή σκόνη που λειώνει και μετατρέπεται σε πορσελάνη. Η αντίσταση που παρεμβάλλεται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος είναι τεράστια, και το ρεύμα βραχυκυκλώματος περιορίζεται πρωτού φτάσει στη μέγιστη τιμή του (κορυφή). Αυτό έχει σαν συνέπεια, πέρα από την διακοπή του σφάλματος, το σημαντικό περιορισμό της κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να δημιουργήσει δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του υποσταθμού.

Οι ασφάλειες σκόνης διαθέτουν και ένα δείκτη λειτουργίας (6) που συγκρατείται με ελατήριο. Όταν η ασφάλεια λειτουργήσει, το ελατήριο απελευθερώνεται και ο δείκτης εξέρχεται από το σώμα της ασφάλειας. Η λειτουργία του δείκτη είναι διπλή:

1. Δείχνει ότι η ασφάλεια έχει λειτουργήσει και συνεπώς μπορεί να αντικατασταθεί.
2. Χτυπά με δύναμη την άκρη ενός πλαστικού μοχλού που με τη βοήθεια ενός μηχανισμού δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη φορτίου.

Η αντικατάσταση των ασφαλειών κόνεως γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίηση ειδικού εργαλείου. Σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC 282.1 σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, έστω και αν αυτό είναι μονοφασικό, πρέπει να αποκαθίστανται και οι τρεις ασφάλειες μαζί, ακόμα και αν μόνο μία από αυτές έχει υποστεί τήξη. Αυτό γίνεται γιατί και οι σχετικά υγιείς ασφάλειες καταπονούνται και έχουν πλέον μειωμένη αντοχή.



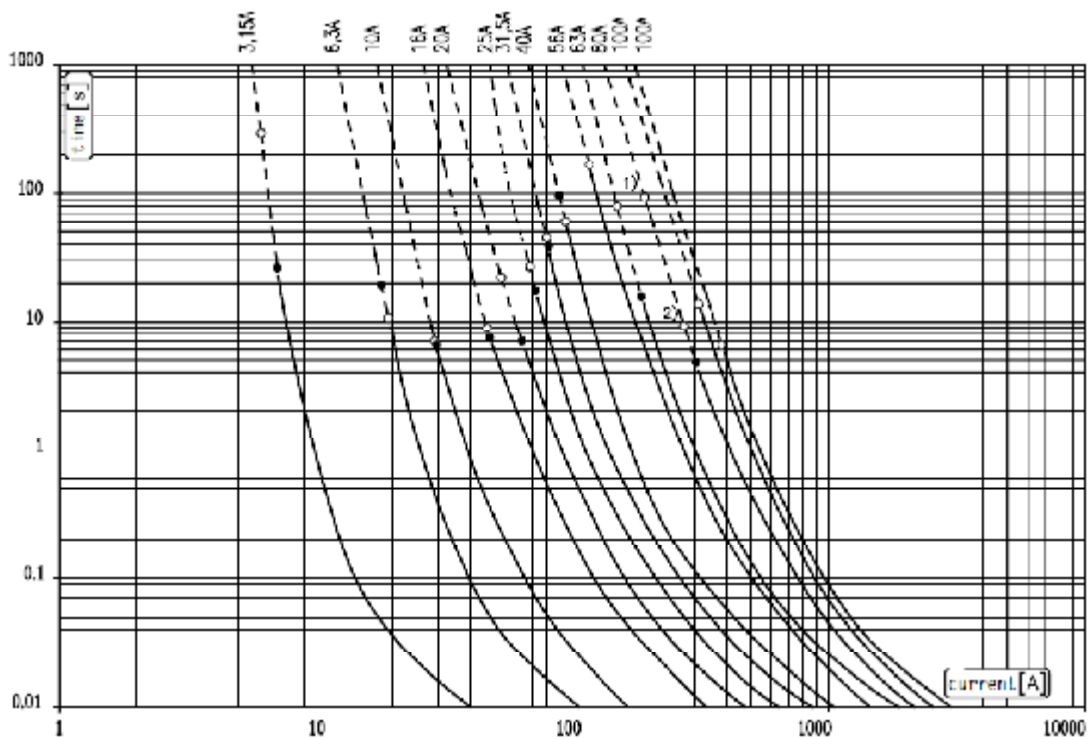
Σχήμα 1.1: Κατασκευαστική δομή ασφάλειας HRC.

- |                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1. επαφές                           | 4. τηκτό στοιχείο      |
| 2. εξωτερικός σωλήνας από πορσελάνη | 5. σκόνη χαλαζία       |
| 3. πυρήνας από κεραμικό υλικό       | 6. δείκτης λειτουργίας |

#### ► Χαρακτηριστικές απόζευξης ασφαλειών σκόνης.

Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε σωστά την ασφάλεια που θα χρησιμοποιήσουμε σε ένα δίκτυο, θα πρέπει να γνωρίζουμε το χρόνο που χρειάζεται η ασφάλεια για να διακόψει το σφάλμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τις ασφάλειες που συναντάμε στην πλευρά της μέσης τάσης του Μ/Σ ισχύος, διότι θα πρέπει να συνεργαστούν με τις ασφάλειες ή τον διακόπτη ισχύος που υπάρχουν στη πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ. Έτσι στις χαρακτηριστικές καμπύλες απόζευξης βλέπουμε το χρόνο τήξης σε συνάρτηση με το ρεύμα, και για κάθε ασφάλεια αντιστοιχεί μία συγκεκριμένη χαρακτηριστική. Στο Σχήμα 1.2<sup>1</sup> μπορούμε να δούμε μια χαρακτηριστική απόζευξης ασφάλειας υψηλής διακοπτικής ικανότητας HRC.

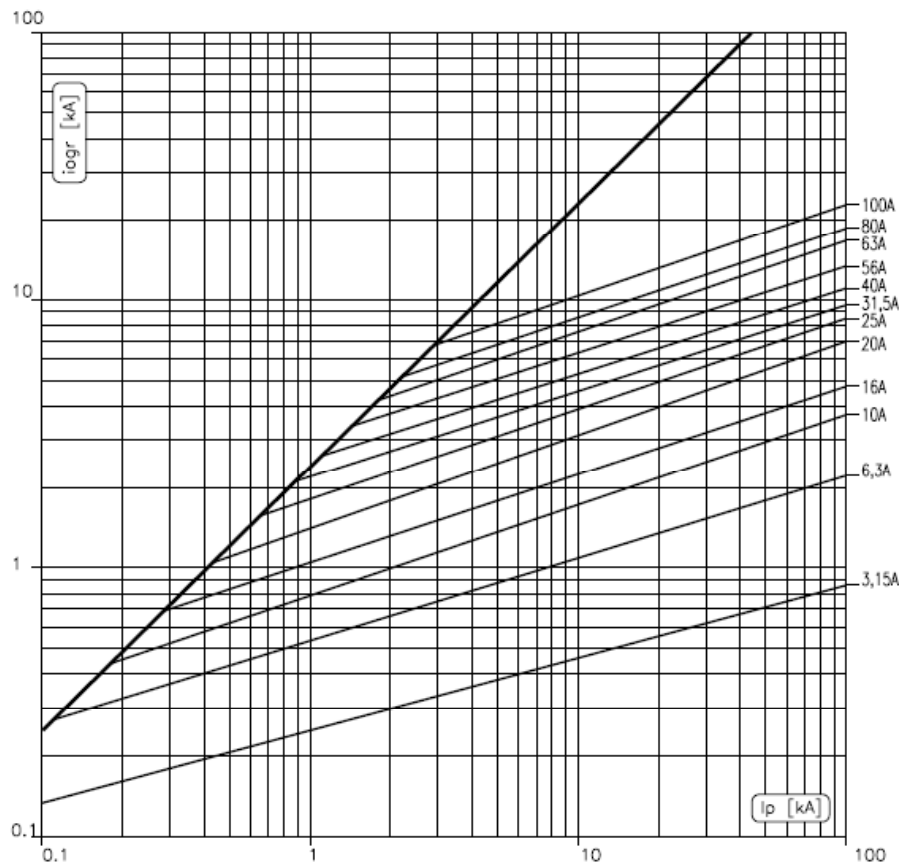
<sup>1</sup>Το τμήμα της χαρακτηριστικής με τις διακεκομμένες γραμμές δείχνει την περιοχή λειτουργίας της ασφάλειας που πρέπει να αποφεύγεται, γιατί η διακοπή της ασφάλειας δεν είναι εγγυημένη.



Σχήμα 1.2: Χαρακτηριστική απόξευξης ασφάλειας HRC.

### ► Χαρακτηριστικές περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης ασφαλειών σκόνης.

Προηγουμένως είδαμε ότι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ασφαλειών σκόνης είναι η ικανότητά τους να περιορίζουν το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος  $I_k$ . Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA και δείχνει την RMS τιμή του αναμενόμενου ρεύματος βραχυκυκλώματος που θα περνούσε από το δίκτυο MT αν δεν υπήρχε η ασφάλεια. Ο κατακόρυφος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA και δείχνει την τιμή κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος με ή χωρίς την ύπαρξη ασφάλειας. Στο Σχήμα 1.3 μπορούμε να δούμε μια χαρακτηριστική περιορισμού ρεύματος βραχυκύκλωσης ασφάλειας υψηλής διακοπτικής ικανότητας HRC.



Σχήμα 1.3: Χαρακτηριστική περιορισμού ρεύματος βραχυκύκλωσης ασφάλειας HRC.

### 1.1.2 Ασφάλειες εκτόνωσης

Οι ασφάλειες εκτόνωσης (Σχήμα 1.4) αποτελούνται από ένα μονωτικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 2-3 cm , μήκους 30-35 cm για τάση 20 kV . Εσωτερικά του κυλίνδρου υπάρχει ένα στρώμα βορικού οξέως. Μέσα στο σωλήνα βρίσκεται ένας αγωγός (τηκτό) τανυομένος π.χ. με ελατήριο. Η σθέση του τόξου γίνεται με τη δημιουργία υδρατμών όταν το τόξο έρθει σε επαφή με τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα. Η σθέση διαρκεί μερικούς κύκλους. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος δεν περιορίζεται γιατί η αντίσταση και η τάση κατά μήκος της ασφάλειας είναι μικρές, πράγμα που δεν συμβαίνει στις ασφάλειες κόνεως. Κατά τη σθέση του τόξου αναπτύσσονται τοξικά αέρια τα οποία εκλύονται στον χώρο που βρίσκεται η ασφάλεια, αφού ο σωλήνας είναι ανοιχτός. Έτσι οι ασφάλειες εκτόνωσης χρησιμοποιούνται μόνο από τη ΔΕΗ σε υπαίθριες εγκαταστάσεις, για την ασφάλιση διακλαδώσεων σε δίκτυα ΜΤ. Το κόστος τους είναι πολλαπλά χαμηλότερο από το κόστος των ασφαλειών κόνεως.

Υπάρχουν δύο τύποι ασφαλειών εκτόνωσης, οι οποίες διαθέτουν και διαφορετικές χαρακτηριστικές:

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης. Χαρακτηρίζονται από το γράμμα Τ.
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης. Χαρακτηρίζονται από το γράμμα Κ.



Σχήμα 1.4: Ασφάλεια εκτόνωσης σε δίκτυο 20 kV της ΔΕΗ.

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 κανείς να διαπιστώσει αν η ασφάλεια έχει καεί και το κύκλωμα βρίσκεται εκτός τάσης. Έτσι χρησιμοποιείται ο όρος ασφαλειοαποζεύκτης (AZ).

## 1.2 Διακόπτες μέσης τάσης

Οι διακόπτες ΜΤ ανάλογα με τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Διακόπτες ισχύος:** Χειρισμοί σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας.
- **Διακόπτες φορτίου:** Χειρισμοί και σε κανονική λειτουργία με ονομαστικές τιμές ρευμάτων.
- **Αποζεύκτες και γειωτές:** Χειρισμοί υπό μηδενικό ή ελάχιστο ρεύμα.



### 1.2.1 Διακόπτες Ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος (circuit breaker), ονομάζονται και *αυτόματοι*, ανοίγουν ή κλείνουν κυκλώματα σε οποιοδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή τόσο σε κανονικές συνθήκες, όσο και σε συνθήκες σφαλμάτων (βραχυκυκλώματα). Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν στο δίκτυο των 20 kV είναι 7 kA και πάνω<sup>2</sup>. Ο διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει αμέσως μετά την διακοπή του τόξου στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου των 20 kV.

Οι διακόπτες ισχύος, ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου, χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- ➡ Πτωχού ελαίου (oil minimum )
- ➡ Εξαφθοριούχου θείου (SF<sub>6</sub> )
- ➡ Κενού (vacuum )

Οι διακόπτες ισχύος τοποθετούνται από τη ΔΕΗ στα δίκτυα μέσης τάσης:

- ➡ Στις αναχωρήσεις των κύριων ηλεκτρικών γραμμών και είναι τύπου πτωχού ελαίου.
- ➡ Στο μέσο ηλεκτρικών γραμμών μεγάλου μήκους ή στις αφετηρίες μεγάλων διακλαδώσεων και είναι τύπου αυτόματης επαναφοράς.

Στις δεκαετίες 1970-1990 κυριάρχησε ο διακόπτης πτωχού ελαίου. Ονομάστηκε έτσι σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού). Η σβέση του τόξου πραγματοποιείται με έντονη ροή λαδιού γύρω από το τόξο. Οι επαφές των διακοπών συγκρατούνται στη θέση τους με ένα ελατήριο. Στην τελευταία δεκαετία, ο ελαιοδιακόπτης αντικαταστάθηκε από τον διακόπτη ισχύος με SF<sub>6</sub> , μιας και αποτελεί ένα αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ιδιότητες, το οποίο βρίσκεται μέσα στους πόλους του διακόπτη ισχύος. Οι διακόπτες κενού χρησιμοποιούν σαν μονωτικό το κενό και αποτελεί το ιδανικό μονωτικό.

Ο διακόπτης ισχύος ανοίγει αυτόματα (πέφτει) παίρνοντας εντολή από ηλεκτρονόμους, και κλείνει με επανένταση του ελατηρίου με κινητήρα ή χειροκίνητα. Αντί του ΗΝ, ο διακόπτης ισχύος μπορεί να διεγείρεται από ενσωματωμένο θερμικό στοιχείο ή και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας από το ίδιο ρεύμα (πρωτογενώς). Έτσι οι αυτόματοι διαιρούνται σε δύο κατηγορίες όσον αφορά την προστασία τους:

- Αυτόματοι με πρωτογενή προστασία
- Αυτόματοι με δευτερογενή προστασία

---

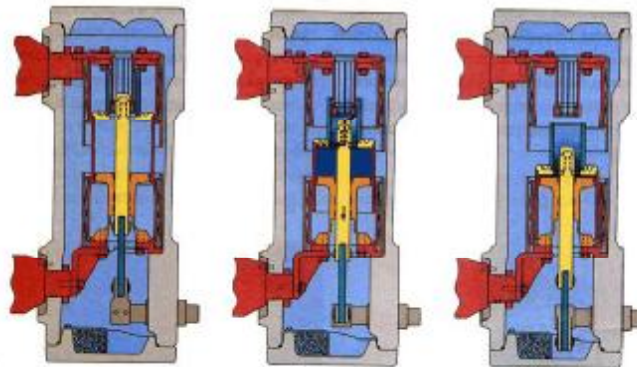
<sup>2</sup>Η ΔΕΗ έχει υπολογίσει για το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο της μέσης τάσης την τιμή του αναμενόμενου βραχυκυκλώματος στα 7 kA. Πολλές φορές το συναντάμε και σαν ισχύ συμμετρικού βραχυκυκλώματος στη μέση τάση  $S = 250\text{MVA}$ . Αυτό προκύπτει από την σχέση  $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I = 1.73 \cdot 20\text{kV} \cdot 7\text{kA} \approx 250\text{MVA}$ .

Η δευτερογενής προστασία είναι κατά 30% - 40% ακριβότερη απ' ό τι η πρωτογενής, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι συντονίζεται καλύτερα με τα μέσα προστασίας της ΔΕΗ. Η πρωτογενής προστασία μπορεί να εφαρμοστεί σε ονομαστικά ρεύματα κάτω των 50Α περίπου.

Οι διακόπτες ισχύος καταναλωτών πρέπει να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή ισχύος λόγω σφάλματος. Οι κατασκευαστές δίνουν τις ανάλογες οδηγίες, ενώ δεν απαιτείται επιθεώρηση μετά από απόζευξη φορτίου. Επειδή οι διακόπτες ισχύος δεν έχουν ορατές επαφές και επειδή θεωρείται ότι η μόνωση του θαλάμου οθέσης δεν είναι ικανοποιητική, πρέπει να συνοδεύονται και από έναν αποζεύκτη. Η σειρά χειρισμών είναι:

- Στο άνοιγμα: Πρώτος κλείνει ο ΔΙ και ακολουθεί ο αποζεύκτης
- Στο κλείσιμο: Πρώτος κλείνει ο αποζεύκτης και ακολουθεί ο ΔΙ

Για τον παραπάνω λόγο πρέπει να υπάρχει κατάλληλη μανδάλωση του διακόπτη ισχύος και του αποζεύκτη. Σε κατασκευές συρόμενου τύπου με λυόμενες συνδέσεις ΥΣ, δεν απαιτούνται αποζεύκτες.



Σχήμα 1.5: Οι φάσεις της οθέσης του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη SF<sub>6</sub>.

#### ➔ Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος

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

**Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 Hz** (Withstand voltage at 50 Hz) είναι η τάση στην οποία αντέχει ο διακόπτης για χρόνο 1 min. Με την τάση αυτή δοκιμάζεται στο εργοστάσιο κατασκευής του κάθε πίνακας ΜΤ, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή σειράς. Για όλα σχεδόν τα υλικά ΜΤ, η τάση δοκιμής είναι 50 kV.

**Αντοχή σε κρουστική τάση** (Impulse withstand voltage) είναι η κρουστική τάση (παρόμοια με την τάση που δημιουργεί ένας κεραυνός). Με την τάση αυτή δοκιμάζεται σε ειδικά εργαστήρια, ένας πρότυπος διακόπτης, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή τύπου. Για όλα σχεδόν τα υλικά ΜΤ, η τιμή της κρουστικής τάσης είναι 125 kV.

**Ονομαστικό ρεύμα** (Rated normal current) είναι το ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης. Συνήθως είναι 400Α και πάνω.

**Ονομαστικό ρεύμα απόξευξης** σε βραχυκύκλωμα (Rated breaking capacity) είναι το ρεύμα του βραχυκυκλώματος που μπορεί να ανοίξει ο διακόπτης με ασφάλεια (χωρίς να καταστραφεί). Συνήθως είναι 8 kA και πάνω. Το ρεύμα αυτό πρέπει να το αντέξει για τουλάχιστον 3 sec, δηλαδή όσο χρόνο θα χρειαστούν οι διάφορες προστασίες για να δώσουν εντολή απόξευξης. Αν η προστασία δεν δουλέψει, και το ρεύμα βραχυκυκλώματος ξεπεράσει τα 3 sec, τότε το σίγουρο είναι ότι ο διακόπτης ισχύος θα καταστραφεί δημιουργώντας μεγάλες υλικές ζημιές και ίσως ανθρώπινες απώλειες.

**Ονομαστικό ρεύμα ζεύξης** σε βραχυκύκλωμα (Making breaking capacity) είναι το ρεύμα που μπορεί να κλείσει με ασφάλεια ο διακόπτης, σε περίπτωση που κλείνει σε κατάσταση βραχυκυκλώματος. Συνήθως είναι από 20 kA και πάνω.

#### ➔ **Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου**

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους ελαιοδιακόπτες είναι ο έλεγχος της στάθμης και η ποιότητα του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στους πόλους. Αυτό γίνεται εύκολα, μιας και οι μπουκάλες των πόλων είναι από διαφανές υλικό (πλεξιγκλάς ενισχυμένο με υαλόνημα) και έτσι μπορούμε εύκολα να ελέγχουμε τη στάθμη. Η συμπλήρωση με ειδικό λάδι γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η ποιότητα του λαδιού ελέγχεται οπτικά (συνήθως) παρατηρώντας το χρώμα του. Αντικατάσταση στο μονωτικό λάδι πρέπει να γίνεται μετά από έναν αριθμό κανονικών χειρισμών (συνήθως 500 χειρισμοί ή 1000 στο μισό του ονομαστικού ρεύματος).

#### ➔ **Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά διακοπών ισχύος SF<sub>6</sub>**

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος SF<sub>6</sub> είναι η πίεση του αερίου SF<sub>6</sub> που υπάρχει μέσα στους πόλους. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0.5 bar μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αν οι πόλοι είναι σφραγισμένοι από το εργοστάσιο κατασκευής, σε περίπτωση που έχουμε διαρροή του αερίου σε κάποιον από τους τρεις πόλους, τότε ο ΔΙ θα αστοχήσει στην επόμενη εντολή διακοπής και αυτό μπορεί να είναι καταστροφικό. Συνήθως οι διακόπτες ισχύος SF<sub>6</sub> είναι εφοδιασμένοι με ειδικό μηχανισμό που ελέγχει την πίεση του αερίου. Σε περίπτωση ελαττωμένης πίεσης σε κάποιον από τους πόλους, δίνεται ένδειξη και ταυτόχρονα μπλοκάρεται το κλείσιμο του διακόπτη.

Ένα πλήρες συγκρότημα διακόπτη ισχύος περιλαμβάνει:

- τον τριπολικό διακόπτη με τις επαφές
- τον μηχανισμό του ελατηρίου, το οποίο ασκεί δύναμη επαφής και μετά από κάθε απόξευση πρέπει να γίνεται η ένταση του αυτόματα ή χειροκίνητα για να αυτοσυγκρατείται
- το σύστημα ελέγχου, που αποτελείται από τους ηλεκτρονόμους που διεγείρουν τον μηχανισμό του ελατηρίου
- τους μετασχηματιστές ρεύματος, που προορίζονται για την προστασία των ηλεκτρονόμων, και έχουν λόγο μεταφοράς τουλάχιστον 10
- το σύστημα τροφοδοσίας, που συνήθως είναι πηγή 24 volt DC
- τον αποξέυκτη, που είναι κατάλληλα μανδαλωμένος ώστε να γίνεται εμφανής η κατάσταση του κυκλώματος

#### ➔ Λειτουργία διακόπτη ισχύος

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο (λάδι, SF<sub>6</sub>, κενό) που χρησιμοποιείται για τη σθέση του τόξου και το εργοστάσιο κατασκευής τους, όλοι οι ΔΙ αποτελούνται από τα ίδια μέρη.

Ο μηχανισμός λειτουργίας του ΔΙ βασίζεται σε δύο ελατήρια που αποθηκεύουν μηχανική ενέργεια όταν τανυστούν. Τα δύο ελατήρια είναι το **ελατήριο κλεισίματος** και το **ελατήριο ανοίγματος**. Τα δύο ελατήρια ξεχωρίζουν από το μέγεθός τους. Το ελατήριο κλεισίματος είναι μεγαλύτερο και συνεπώς ισχυρότερο από το ελατήριο ανοίγματος, επειδή το ελατήριο κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος. Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό οι κινητές επαφές του ΔΙ. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος περιστρέφει τον άξονα, έτσι ώστε οι κινητές επαφές να έρθουν σε επαφή με τις ακίνητες επαφές και ο τότε ο διακόπτης κλείνει. Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος περιστρέφει τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, ώστε οι κινητές επαφές να απομακρυνθούν από τις ακίνητες επαφές και τότε ο διακόπτης ανοίγει. Η λειτουργία του αυτόματου διακόπτη ξεκινά με την τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος. Η τάνυση αυτή μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα, με μοχλό (2)
- Ηλεκτρικά, με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με DC ή AC

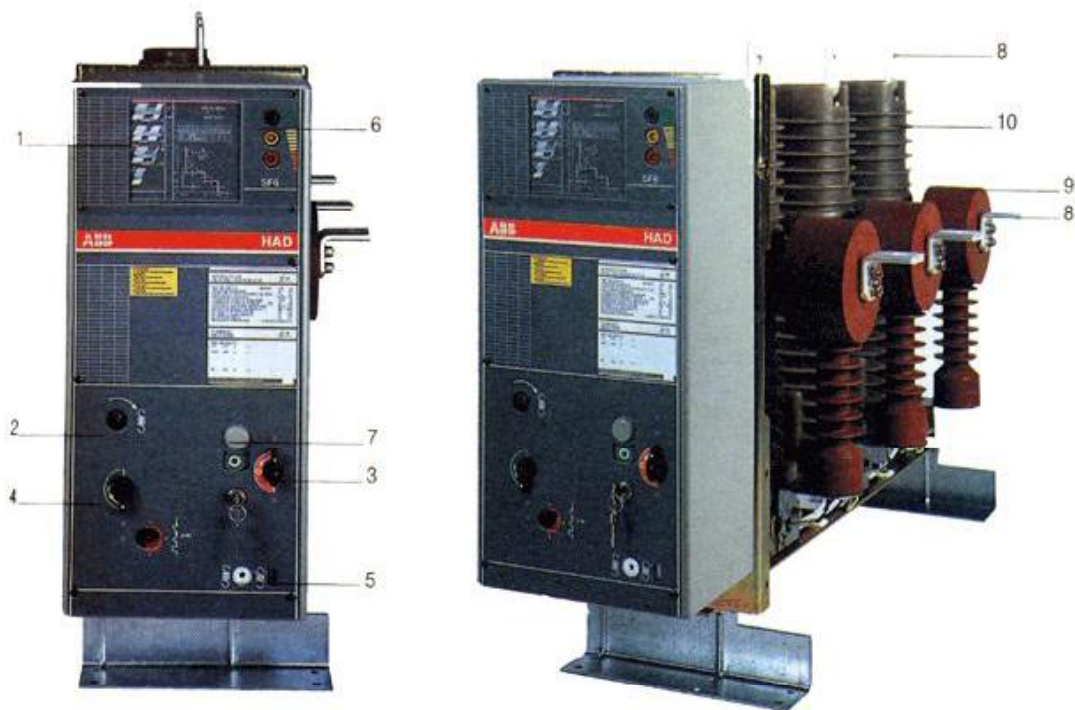
Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

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

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος που αυτοσυγκρατείται. Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί ανοίγματος (3)
- Ηλεκτρικά, στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη ανοίγματος



Σχήμα 1.6: Διακόπτης ισχύος SF<sub>6</sub>.

- |   |  |
|---|--|
| 1. ηλεκτρονόμος υπερέντασης   | 6. συσκευή μπλοκαρίσματος και ένδειξης της πίεσης του αερίου SF <sub>6</sub> |
| 2. μοχλός για τη μηχανική τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος                          | 7. ένδειξη ανοικτός/κλειστός διακόπτης ισχύος                                |
| 3. κουμπί ανοίγματος  | 8. ακροδέκτες μέσης τάσης  |
| 4. κουμπί κλεισίματος   | 9. μετασχηματιστές έντασης για τον ΗΝ υπερέντασης                            |
| 5. ένδειξη ότι το ελατήριο κλεισίματος είναι τανυσμένο (κίτρινο) ή ατάνυστο (λευκό) | 10. πόλος διακόπτη ισχύος  |

### 1.2.2 Διακόπτες Φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου (load switch ) είναι συστήματα που προορίζονται για τη διακοπή και την αποκατάσταση της συνέχειας ηλεκτρικών κυκλωμάτων, όταν αυτά διαρρέονται από την ένταση του ρεύματος του κανονικού τους φορτίου. Στην περίπτωση που οι διακόπτες φορτίου τοποθετούνται σε κλειστούς χώρους ΥΣ, χαρακτηρίζονται ως εσωτερικού χώρου με ικανότητα διακοπής μέχρι 630 A, ενώ αν τοποθετηθούν σε σύλους χαρακτηρίζονται ως εξωτερικού χώρου με ικανότητα διακοπής μέχρι 400 A.

Υπάρχουν διακόπτες φορτίου που διαθέτουν ορατό σύστημα επαφών για να ελέγχεται η καλή κατάσταση λειτουργίας τους, και άλλοι κλειστού τύπου στους οποίους πρέπει να προτάσσεται και αποζεύκτης προς τη πλευρά των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και να φέρουν αλληλομανδάλωση.

Η σειρά των χειρισμών τους είναι:

- ➡ Στο άνοιγμα: Πρώτος ο διακόπτης φορτίου και ακολουθεί ο αποζεύκτης.
- ➡ Στο κλείσιμο: Πρώτος ο αποζεύκτης και ακολουθεί ο διακόπτης φορτίου.

Ο διακόπτης φορτίου κατασκευάζεται είτε με χειροκίνητο ειδικό σύστημα μοχλού μεγάλου μήκους για τις περιπτώσεις που αυτοί είναι υπαίθριοι και τοποθετούνται σε σύλους, είτε με κινητήρα ενσωματωμένο στη διάταξή του.



Σχήμα 1.7: Διακόπτης φορτίου εξωτερικού χώρου.



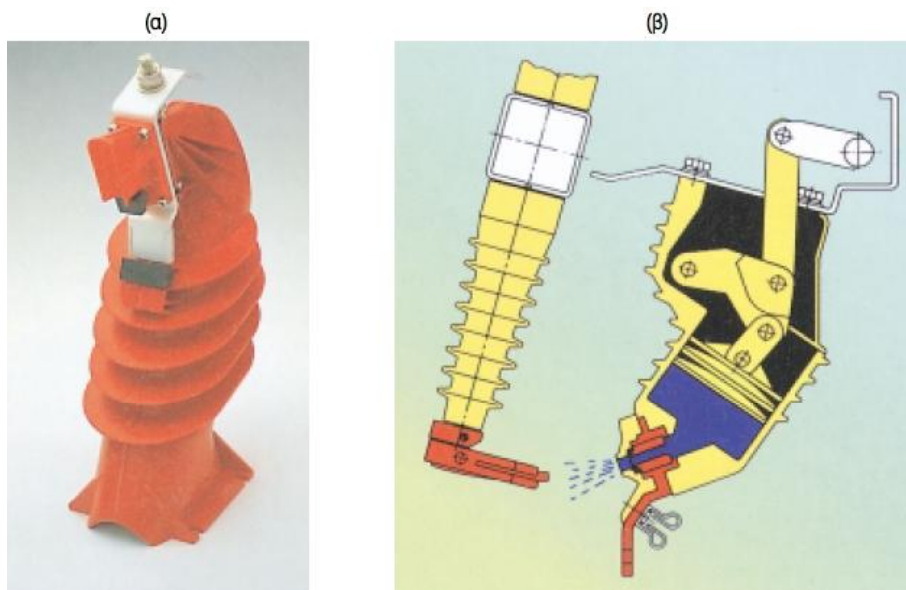
Χαρακτηριστικό μέγεθος	Επεξήγηση	Τιμή μεγέθους
Ονομαστική τάση ( $U_N$ )	Η τάση στην οποία απενεργοποιείται ο διακόπτης	24 kV
Ονομαστικό ρεύμα ( $I_N$ )	Η ένταση του ρεύματος που επιτρέπεται να διέρχεται συνεχώς από τις επαφές του διακόπτη	400 A
Ένταση διακοπής ( $I_{NA}$ )	Η ένταση του ρεύματος στην οποία διακόπτεται το κύκλωμα με ορισμένο συντελεστή ισχύος	400 A / 0.7
Ένταση διακοπής ρευμάτων μαγνήτισης M/Σ ( $I_m$ )	Η ένταση των ρευμάτων μαγνήτισης των M/Σ μέτρησης που δεν πρέπει να λάβουν μεγαλύτερη τιμή	40 A
Ένταση ρεύματος ζεύξης ( $I_Z$ )	Η μέγιστη ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα αμέσως μετά την ζεύξη του κυκλώματος	32 kA
Ένταση διακοπής χωρητικού φορτίου ( $I_C$ )	Η ένταση του ρεύματος που προέρχεται από την άεργη χωρητική συμπεριφορά του φορτίου	150 A
Ένταση θερμικής αντοχής ( $I_{th}$ )	Η μέγιστη ένταση του ρεύματος που αντέχει ο διακόπτης για 1 s	12.5 kA
Ηλεκτροδυναμική αντοχή ( $I_{dym}$ )	Η μέγιστη ένταση του ρεύματος που αντέχει δυναμικά ο διακόπτης	32 kA

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη διακοπών φορτίου για υποσταθμό 20 kV.

#### ➔ Σβέση του τόξου σε διακόπτες φορτίου.

Κατά το άνοιγμα ενός διακόπτη αναπτύσσεται ηλεκτρικό τόξο μεταξύ των κινητών και των ακίνητων επαφών του. Η ασφαλής σβέση του τόξου αποτελεί το πλέον κρίσιμο σημείο στη λειτουργία του διακόπτη φορτίου. Για μικρό αριθμό χειρισμών (π.χ. 500) χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου με αέρα ή μονωτικά τοιχώματα. Για μεγάλο αριθμό χειρισμών (π.χ. σε κινητήρες 6 kV) χρησιμοποιούνται διακόπτες κενού ή SF<sub>6</sub>. Στους ΥΣ καταναλωτών χρησιμοποιούνται διακόπτες με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές, όπου μπορεί κανείς να διακρίνει αν η θέση του διακόπτη είναι εκτός.

Στην Εικόνα 1.8 βλέπουμε τον μονωτήρα που υπάρχει σε κάθε πόλο του διακόπτη φορτίου που χρησιμοποιεί την τεχνική του φυοήματος αέρα για τη σβέση του τόξου. Ο μονωτήρας είναι κούφιος, και το εσωτερικό του μοιάζει με κύλινδρο. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει ένα έμβολο, που παίρνει κίνηση από τον κύριο άξονα του διακόπτη, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μοχλών από μονωτικό υλικό. Με το άνοιγμα του διακόπτη αρχίζει η συμπίεση του αέρα με τη βοήθεια του εμβόλου. Ο αέρας αυτός εξέρχεται από ειδικά ακροφύσια που υπάρχουν στην ακίνητη επαφή. Η κίνηση του εμβόλου συγχρονίζεται με την κίνηση των κύριων επαφών του διακόπτη, ώστε η παροχή του αέρα να είναι πολύ δυνατή τη στιγμή που το ηλεκτρικό τόξο είναι πολύ έντονο. Ο δυνατός αέρας βοηθά στη διάχυση του τόξου και ταυτόχρονα στην ψύξη του, με αποτέλεσμα να σβήνει γρήγορα.



Σχήμα 1.8: (α) Εξωτερική όψη κούφιου μονωτήρα.  
(β) Τομή μονωτήρα.

#### ➔ Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC

Ο διακόπτης φορτίου από μόνος του δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο προστασίας, αφού δεν μπορεί να διακόψει ρεύμα βραχυκυκλώματος. Σε συνδυασμό όμως με ασφάλειες HRC μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο προστασίας των καλωδίων ή του Μ/Σ ισχύος. Αυτός ο συνδυασμός ονομάζεται ασφαλειοδιακόπτης φορτίου ή ασφαλειο-αποζεύκτης φορτίου (fuse-load switch). Τον συναντάμε κατά κανόνα ως μέσο προστασίας σε Μ/Σ μέχρι 630 kVA. Σε περίπτωση σφάλματος, τήκεται κάποια από τις τρεις ασφάλειες και απελευθερώνεται ο δείκτης λειτουργίας της (striker). Ο δείκτης χτυπά με δύναμη έναν μηχανισμό από μοχλούς, που καταλήγει στην απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος και στο αυτόνομο άνοιγμα του διακόπτη φορτίου. Σημειώνεται ότι ο διακόπτης φορτίου ανοίγει χωρίς να διακοπεί το ρεύμα σφάλματος, το οποίο έχει ήδη διακοπεί από την τηκόμενη ασφάλεια. Για να μπορέσει να ξαναλειτουργήσει το τμήμα της εγκατάστασης που έχει βγει εκτός λειτουργίας, πρέπει να αντικαταστήσουμε και τις τρεις ασφάλειες με τρεις νέες, γιατί το ρεύμα σφάλματος μπορεί να έχει αλλοιώσει το τηκτό και σε κάποια άλλη ασφάλεια.

### 1.2.3 Αποζεύκτες - Γειωτές

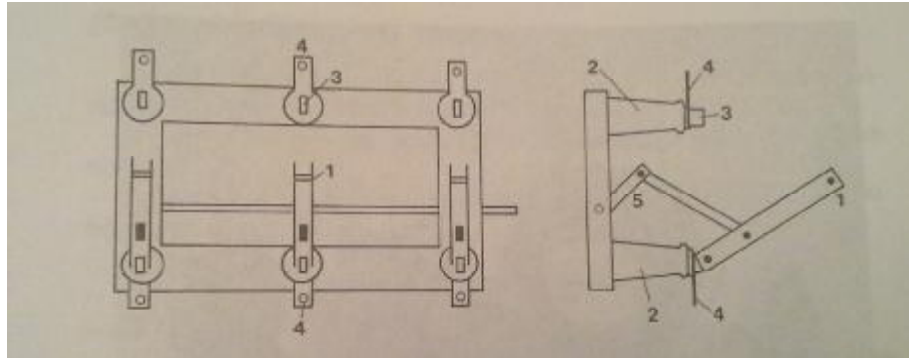
Οι αποζεύκτες (off-load switch) είναι τύποι μαχαιρωτών μονοπολικών ή τριπολικών διακοπών, που λειτουργούν χωρίς φορτίο ή διαρρέονται από πολύ μικρά ρεύματα, και προορίζονται για την διακοπή και την αποκατάσταση της συνέχειας ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Επίσης χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουμε ορατές επαφές, καθώς και



να γειώσουμε ένα κύκλωμα. Σε κλειστή κατάσταση, οι αποξεύκτες πρέπει να αντέχουν στα ρεύματα οφθαλμάτων και σε ανοιχτή κατάσταση πρέπει να αντέχουν στις υπερτάσεις του δικτύου. Επειδή οι αποξεύκτες δεν πρέπει να χειρίζονται υπό φορτίο, πρέπει να μανδάλωνονται μηχανικά με τους διακόπτες φορτίου ή διακόπτες ισχύος που ανήκουν. Σήμερα, επειδή η διαφορά τιμής είναι μικρή, χρησιμοποιούμε διακόπτες φορτίου αντί αποξευκτών. Έτσι απλοποιούνται οι χειρισμοί και οι αλληλομανδάλωσεις για την απομόνωση ενός κυκλώματος.

Η σειρά χειρισμών του διακόπτη φορτίου και του αποξεύκτη είναι :

- ➡ Στο άνοιγμα: Πρώτα ανοίγει ο διακόπτης φορτίου και μετά ο αποξεύκτης.
- ➡ Στο κλείσιμο: Πρώτα κλείνει ο αποξεύκτης και μετά ο διακόπτης φορτίου.



Σχήμα 1.9: Αποξεύκτης.

- |              |                      |
|--------------|----------------------|
| 1. μαχαίρι   | 3. επαφή             |
| 2. μονωτήρες | 4. ακροδέκτης        |
|              | 5. κινητήριος μοχλός |

Οι γειωτές (earthing switch) είναι πρακτικά αποξεύκτες, με τη διαφορά ότι η μία τους πλευρά συνδέεται πάντα στην γείωση. Χρησιμοποιούνται για να μηδενίσουν τα ηλεκτρικά φορτία που παραμένουν στο κύκλωμα μέσης τάσης και οφείλονται στους παρασιτικούς πυκνωτές που υπάρχουν κυρίως στα καλώδια, καθώς και για να γειώσουμε το τμήμα του δικτύου στο οποίο θα εργαστούμε (για συντήρηση ή επιδιόρθωση). Υπάρχουν αποξεύκτες-γειωτές που είναι ανοιχτού τύπου, με ορατό σύστημα επαφών, και κλειστού τύπου, όπου η θέση των επαφών τους ελέγχεται με ειδικό ενδεικτικό σύστημα.

Για να ξεκινήσουμε τις εργασίες επισκευής ή συντήρησης σε κυκλώματα μέσης τάσης πρέπει να κάνουμε τις παρακάτω ενέργειες με την εξής σειρά :

1. Να διακόψουμε το κύκλωμα με τη βοήθεια του διακόπτη φορτίου ή του διακόπτη ισχύος.
2. Να ανοίξουμε τον αποζεύκτη (αν υπάρχει).
3. Να σιγουρευτούμε ότι είναι απομονωμένο, π.χ. ελέγχοντας από το παράθυρο της κυπέλης τα μαχαίρια του αποζεύκτη.
4. Να κλειδώσουμε στη θέση απομονωμένο.
5. Να γειώσουμε το κύκλωμα όπου θα εργαστούμε.

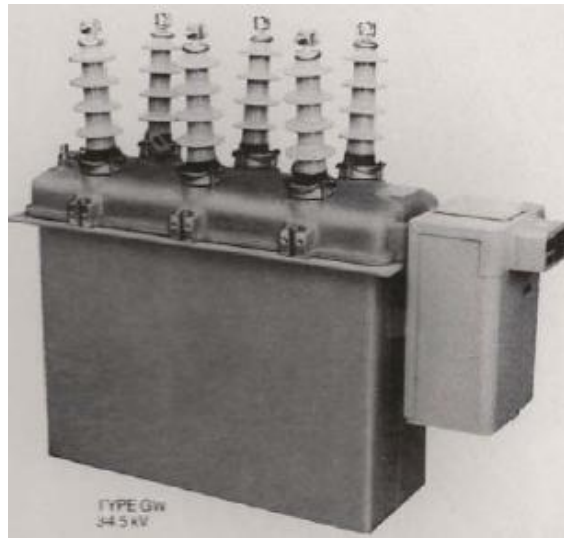
Τελειώνοντας τις εργασίες πρέπει να ακολουθήσουμε τις παρακάτω ενέργειες με την εξής σειρά:

1. Να επαναφέρουμε το γειωτή στην ανοιχτή θέση.
2. Να κλείσουμε τους διακόπτες με την αντίστροφη σειρά που τους ανοίξαμε, δηλαδή πρώτα τον διακόπτη και μετά τον αποζεύκτη.

#### **1.2.4 Διακόπτες απομόνωσης**

Οι διακόπτες απομόνωσης (Sectionalizer) είναι τύποι μονοπολικών ή τριπολικών διακοπών παρόμοιων προδιαγραφών με τους διακόπτες φορτίου, οι οποίοι δεν λειτουργούν αυτόνομα, αλλά με τη συνδρομή άλλου διακόπτη, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εκτελεί αυτόματες επαναφορές όπως π.χ. οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου ή εξαφθοριούχου θείου. Οι διακόπτες απομόνωσης λειτουργούν σε σφάλματα που συμβαίνουν σε διακλαδώσεις δικτύων. Διεγείρονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Αμέσως μόλις περάσει από αυτούς το ρεύμα βραχυκυκλώματος, μετράνε τους κύκλους λειτουργίας με εσωτερικό μηχανισμό που διαθέτουν. Έτσι στον τελευταίο κύκλο λειτουργίας του διακόπτη ισχύος, ανοίγει ο διακόπτης απομόνωσης μόλις αφού έχει ανοίξει ο διακόπτης ισχύος. Στη συνέχεια, ο διακόπτης ισχύος κλείνει ενώ ο διακόπτης απομόνωσης παραμένει ανοιχτός. Σημειώνεται εδώ, ότι ο διακόπτης απομόνωσης μπορεί να ρυθμιστεί να ανοίγει στον πρώτο κύκλο λειτουργίας του αυτόματου ΔΙ. Σε αυτή την περίπτωση όμως, θα απομονώνεται ο καταναλωτής και θα παραμένει κλειστός ο ΔΙ. Ακόμα, οι υπόλοιποι καταναλωτές που εξακολουθούν να λειτουργούν, επηρεάζονται μόνο από τη βύθιση τάσης που προσέρχεται από τη ζεύξη του διακόπτη απομόνωσης. Η επανάζευξη του διακόπτη απομόνωσης πραγματοποιείται από το αρμόδιο προσωπικό της ΔΕΗ, μόλις αποκατασταθεί το σφάλμα, με αυτόματο ή χειροκίνητο τρόπο.

Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν οι ηλεκτρικές γραμμές μέσης τάσης που διαθέτουν διακόπτη απομόνωσης, είναι πως για την επαναφορά του κυκλώματος μετά από σφάλμα, δεν απαιτείται αντικατάσταση εξαρτημάτων, πράγμα που συμβαίνει στις γραμμές που έχουν προστασία με ασφάλειες. Στους διακόπτες απομόνωσης μπορεί να υπάρχει και διάταξη δέσμευσης κατά τη ζεύξη μετασχηματιστών, δηλαδή να μην διεγείρονται με ρεύματα ζεύξης.



Σχήμα 1.10: Διακόπτης απομόνωσης.

### 1.3 Σύμβολα διακοπών μέσης τάσης

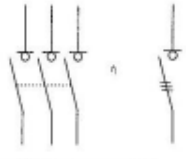
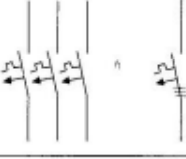



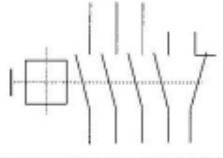
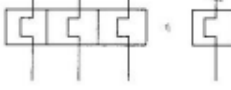
Η ανάγκη για εύκολη και σωστή ανάγνωση και δημιουργία ηλεκτρολογικών σχεδίων, οδήγησε τη διεθνή επιτροπή IEC (International Electrical Committee) να τυποποιήσει τα σύμβολα των διακοπών που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από την τάση λειτουργίας τους.

Το βασικό σύμβολο για όλους τους διακόπτες είναι το σύμβολο της ανοιχτής επαφής. Στο πάνω μέρος της ανοιχτής επαφής προσθέτουμε ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω σύμβολα:

- → ικανότητα απομόνωσης
  - o → ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου
  - x → ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος
- και έτσι προκύπτουν τα σύμβολα του αποζεύκτη, του διακόπτη φορτίου και του διακόπτη ισχύος αντίστοιχα.

Για να δείξουμε τον τρόπο χειρισμού των διακοπών, χρησιμοποιούμε τα εξής σύμβολα:

- ∴ → χέρι
- - → σύνδεση
- v → συγκράτηση

Διακόπτης φορτίου	
Αυτόματος Διακόπτης ισχύος με θερμική και μαγνητική διάταξη	
Ηλεκτρονόμος (ρελέ) ισχύος	
Ανοιχτή επαφή NO (Normally Open)	
Κλειστή επαφή NC (Normally Closed)	
Ηλεκτρονόμος (ρελέ) ισχύος με βοηθητικές επαφές (μία NO και μία NC)	
Θερμικό προστασίας ηλεκτρικών κινητήρων	

Σχήμα 1.11: Σύμβολα διακοπών μέσης τάσης.

	<p>Τριπολικός διακόπτης απομόνωσης ή τριπολικός αποζεύκτης ή τριπολικός διακόπτης κενού</p>
	<p>Τριπολικός διακόπτης φορτίου</p>
	<p>Τριπολικός διακόπτης φορτίου-αποζεύκτης ή τριπολικός αποζεύκτης φορτίου</p>
	<p>Τριπολικός αποζεύκτης φορτίου με ασφάλειες HRC ή τριπολικός ασφαλειοαποζεύκτης φορτίου</p>
	<p>Τριπολικός διακόπτης ισχύος (Δ.Ι.)</p>
	<p>Συρόμενος τριπολικός διακόπτης ισχύος (ΔΙ)</p>

Σχήμα 1.12: Σύμβολα διακοπών μέσης τάσης.

## 1.4 Απαγωγείς τάσεων

Ο σκοπός χρησιμοποίησης των αλεξικέραυνων στους υποσταθμούς μέσης τάσης είναι ο περιορισμός των υπερτάσεων σε ένα ανεκτό επίπεδο, που ονομάζεται τάση προστασίας. Οι υπερτάσεις στα δίκτυα ΜΤ είναι εξωτερικές, δηλαδή προέρχονται από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (κεραυνούς) και εσωτερικές, δηλαδή προέρχονται από το άνοιγμα ή το κλείσιμο διακοπιών που τροφοδοτούν επαγωγικά ή χωρητικά φορτία. Είναι προφανές ότι η χρησιμοποίηση αλεξικέραυνων επιβάλλεται σε εναέρια δίκτυα που βρίσκονται εγκατεστημένα σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως κεραυνόπληκτες.

Στα δίκτυα των 20 kV συναντάμε δύο είδη απαγωγέων τάσεων:

- ▣ Σπινθηριστές ακίδων (τους συναντάμε συνήθως στους ακροδέκτες μέσης τάσης των Μ/Σ)
- ▣ Απαγωγείς τάσεων, με μη γραμμικές αντιστάσεις

Η αντοχή σε κρουστική τάση είναι 125 kV και 95 kV για δίκτυα ονομαστικής τάσης 20 kV και 15 kV αντίστοιχα. Οι απαγωγείς τάσης συνδέονται μεταξύ φάσεων και γης. Σημειώνεται ότι για λόγους ασφαλείας, το ηλεκτρόδιο γείωσης των απαγωγέων είναι διαφορετικό από τις άλλες γειώσεις του υποσταθμού. Όταν η τάση ξεπεράσει κάποια όρια, διασπάται ο σπινθηριστής και βραχυκυκλώνεται το δίκτυο μέσω των μη γραμμικών αντιστάσεων. Η τάση δεν αυξάνεται σημαντικά με το ρεύμα, που σημαίνει ότι η αντίσταση μειώνεται με το ρεύμα. Έτσι η τάση διατηρείται σε όρια κάτω από την τάση αντοχής. Η διάρκεια λειτουργίας του απαγωγέα προσδιορίζεται από τη διάρκεια των κεραυνών (50...100 μs). Αφού εξαλειφθεί η υπέρταση, και εφαρμοστεί η τάση της βιομηχανικής συχνότητας, το εναλλασσόμενο ρεύμα του απαγωγέα μειώνεται λόγω της μειωμένης τάσης, σε τέτοιο σημείο ώστε το τόξο στον σπινθηριστή να σβήνει στον επόμενο μηδενισμό του ρεύματος. Έτσι ο απαγωγέας τάσης γίνεται πλέον μη αγώγιμος.

Το ρεύμα που ρέει μέσω των αντιστάσεων στην τάση του δίσκου 20 kV είναι μικρό μεν, αλλά θα προκαλούσε απαράδεκτα υψηλές θερμοκρασίες και κατανάλωση ισχύος στο δίκτυο. Γι' αυτό προτάσσεται το διάκενο αέρος.

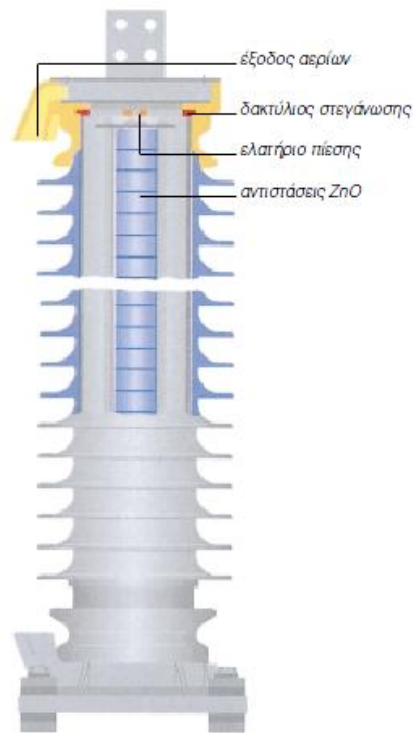
Όταν η θερμότητα που εκλύεται στην αντίσταση ενός απαγωγέα από το κρουστικό ρεύμα, υπερβεί ένα όριο, τότε οι αντιστάσεις μπορεί να καταστραφούν. Χαρακτηριστικό αυτού του σφάλματος είναι η δημιουργία αερίων. Οι απαγωγείς τάσεων έχουν σύστημα ανακούφισης από την πίεση. Υπάρχει επίσης ορατή ένδειξη όταν λειτουργήσει αυτό το σύστημα, ώστε να αντικατασταθεί ο απαγωγέας.

### ▣ Κατασκευαστική δομή απαγωγέων τάσεων

Βασικό μέγεθος για τη σωστή λειτουργία των απαγωγέων τάσεων είναι η ηλεκτρική αντοχή της εγκατάστασης (BIL, Basic Insulation Level). Οι απαγωγείς τάσεων είναι μη

γραμμικές αντιστάσεις, που όπως προαναφέραμε, φροντίζουν η τάση να μένει κάτω από το επίπεδο της τάσης προστασίας.

Αποτελούνται από έναν σπινθηριστή (διάκενο αέρα) σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις από ανθρακικό πυρίτιο (SiC). Υπάρχουν και απαγωγείς τάσεων με αντιστάσεις από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) που δεν χρειάζονται σπινθηριστή, γιατί παρουσιάζουν πιο έντονη μη γραμμικότητα από τις αντιστάσεις ανθρακικού πυριτίου.



Σχήμα 1.13: Τομή απαγωγέα τάσης με αντιστάσεις οξειδίου του ψευδαργύρου.

#### ➔ Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων

**Τάση σθέσης  $U_r$**  (Rated voltage). Είναι η τάση στην οποία απενεργοποιούνται με βεβαιότητα οι απαγωγείς. Αυτή η τάση εκλέγεται για δίκτυα MT ίση με τη μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη τάση, δηλαδή  $U_r = 1.2 U_n$

**Ονομαστικό κρουστικό ρεύμα** (Nominal discharge current). Είναι η κορυφή του κρουστικού ρεύματος σε kA στο οποίο μπορεί να αντέξει επανηλλειμένα ο απαγωγέας. Αυτό είναι 5 kA ή 10 kA για απαγωγείς μέσης τάσης. Σε έντονα κεραυνόπληκτες περιοχές

(> 20 κεραυνοί/έτος και km<sup>2</sup>) εκλέγονται 10 kA.

**Αντοχή σε κρουστικό ρεύμα** (Discharge current withstand strenght) βραχείας 5/10 μs, και μακράς διάρκειας 1000/2000 μs. Εδώ εννοούνται κρουστικά ρεύματα που εμφανίζονται σπάνια. Ρεύματα πάνω από αυτή την αντοχή των απαγωγέων μπορεί να οδηγήσουν σε έκρηξη και βραχυκύκλωμα του δικτύου.

**Τάση αφής** (Spark-over voltage). Είναι η τάση που ενεργοποιούνται οι απαγωγείς. Δίνεται για βιομηχανική συχνότητα σε ενεργό τιμή ή για κρουστικό κύμα σε τιμή κορυφής. Γίνεται διάκριση σε τιμές που αντιστοιχούν σε πλήρη ή αποκομμένα κύματα.

**Παραμένουσα τάση** (Discharge voltage). Είναι η τάση που εφαρμόζεται όταν περνά το κρουστικό ρεύμα. Δίνεται συνήθως για το ονομαστικό κρουστικό ρεύμα και επιπρόσθετα και για άλλα ρεύματα.

## 1.5 Προστασία δικτύου μέσης τάσης

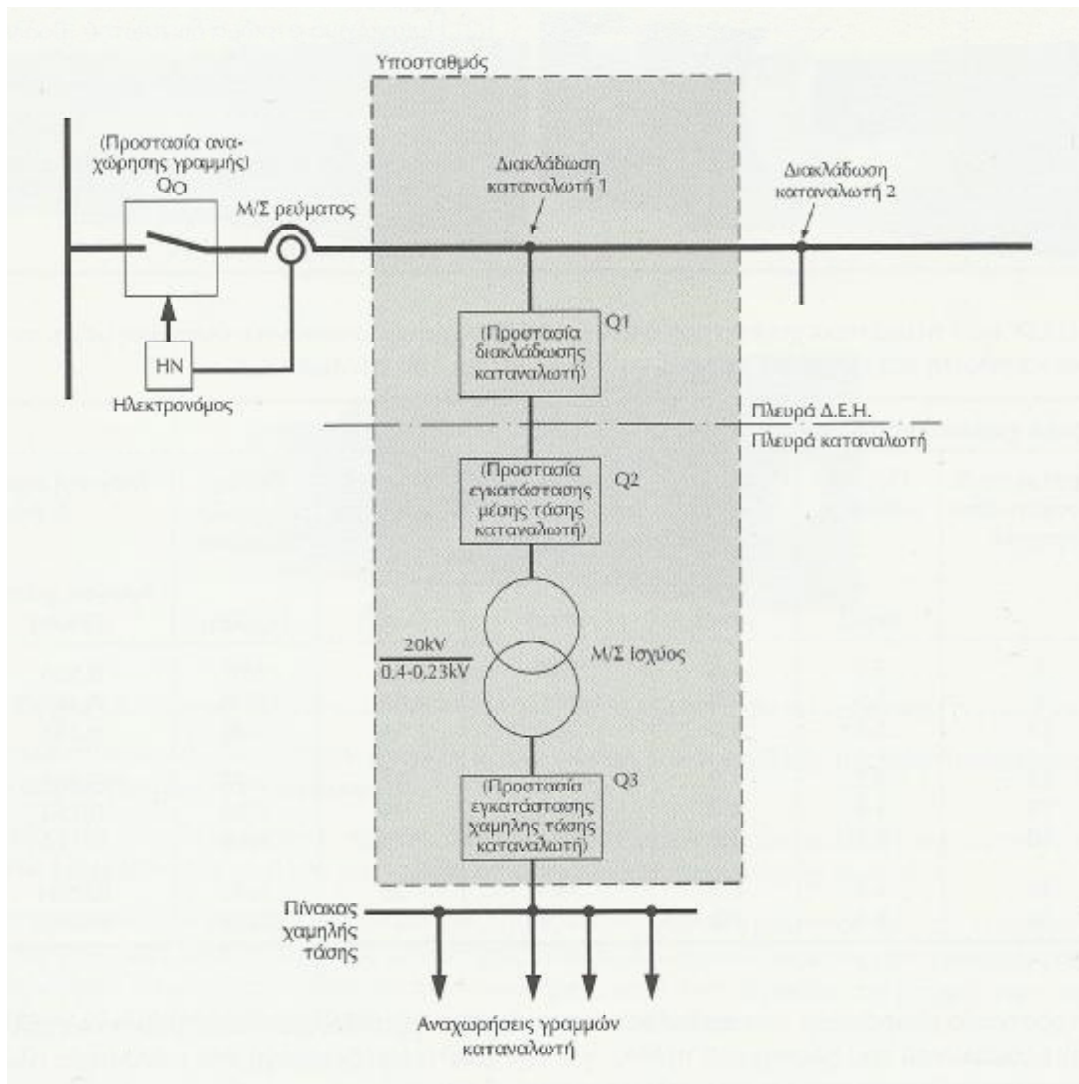
Οι γραμμές διανομής MT ξεκινούν από τον ζυγό των 20 kV από τον Μ/Σ ισχύος 25...50 MVA ... 2×50 MVA. Οι γραμμές μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγειες (σε συνωστισμένες περιοχές) ή μικτές (εναέριες - υπόγειες). Σε κάθε αναχώρηση εναέριας ή υπόγειας γραμμής υπάρχει μία γενική προστασία από διακόπτη ισχύος πτωχού ελαίου (minimum oil breaker), ο οποίος διεγείρεται από τον αντίστοιχο ηλεκτρονόμο (μέσο προστασίας Q<sub>0</sub> στο Σχήμα 1.14). Ο ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται μέσω Μ/Σ μέτρησης έντασης από το δίκτυο, και παρακολουθεί την τιμή του ρεύματος. Αν η τιμή του ρεύματος είναι ανεπίτρεπτα μεγάλη, στέλνει εντολή στο διακόπτη ισχύος να ανοίξει (να πέσει). Στον Πίνακα 1.4 μπορούμε να δούμε τα είδη των ΗΝ, καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους.

Χαρακτηρισμός ηλεκτρονόμου	Εντοπισμός σφάλματος	Επιτηρούμενο μέγεθος	Σύγκριση επιτηρούμενων μεγεθών/χρόνου διέγερσης
<b>ΗΝ φάσεων</b>	Μεταξύ φάσεων (μονοφασικά,διφασικά,τριφασικά)	Ένταση ρεύματος φάσεων	Μικρή/Αργά
<b>ΗΝ γης</b>	Γης	Ένταση ρεύματος γης	Μεγάλη/Γρήγορος

Πίνακας 1.4: Διάκριση ηλεκτρονόμων μέσης τάσης.

Οι ΗΝ έχουν χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου, οι οποίες προσδιορίζουν για κάθε τιμή του ρεύματος, πότε θα ανοίξει ο διακόπτης, και ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης. Υπάρχει ένα ελάχιστο ρεύμα (οριακό ρεύμα) κάτω από το οποίο ο ΗΝ δεν δίνει εντολή πτώσης. Το ρεύμα αυτό χαρακτηρίζει και την ρύθμιση του ΗΝ, π.χ. έχουμε ρύθμιση I = 320A.





Σχήμα 1.14: Σχηματική παράσταση τροφοδοσίας υποσταθμού μέσης τάσης.

Οι ΗΝ μπορεί να διαθέτουν στοιχείο που δίνει αμέσως εντολή πτώσης όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή (π.χ. 6 φορές το ονομαστικό ρεύμα). Το στοιχείο αυτό ονομάζεται στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας ή απλά στιγμιαίο.

Η συμπεριφορά των ΗΝ σε περίπτωση σφάλματος δεν είναι ακαριαία, αλλά ακολουθεί δύο ή περισσότερους κύκλους λειτουργίας, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις και τις οδηγίες που παρέχονται από την ΔΕΗ. Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως O-C-O... (Open-Close-Open...) ή λειτουργία επαναφορών. Οι επαναληπτικοί κύκλοι λειτουργίας γίνονται γιατί τα σφάλματα στα εναέρια δίκτυα μπορεί να είναι παροδικά (π.χ. πώση δέντρου στις ηλεκτρικές γραμμές). Στα υπόγεια δίκτυα δεν εκτελούνται επαναφορές, γιατί κατά κανόνα

δεν υπάρχουν παροδικά σφάλματα. Οι επαναφορές μπορούν να ρυθμιστούν ξεχωριστά για σφάλματα φάσεων και γης. Ο αριθμός των πτώσεων και των επαναφορών, οι χαρακτηριστικές των ΗΝ, οι χρόνοι μεταξύ των πτώσεων και επαναφορών ρυθμίζονται, και οι πληροφορίες πάνω σε αυτές τις ρυθμίσεις δίνονται από τη ΔΕΗ.

Στο εμπόριο υπάρχουν και ηλεκτρονόμοι δευτερογενούς προστασίας μέσης τάσης. Οι συγκεκριμένοι ΗΝ είναι συσκευές που παρακολουθούν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα της μέσης τάσης, και αν διαπιστώσουν κάποιο σφάλμα, δίνουν εντολή στον αυτόματο διακόπτη προστασίας (ΔΙ) να διακόψει το κύκλωμα. Η σύνδεση αυτών των ΗΝ, πραγματοποιείται μέσω Μ/Σ ρεύματος που τοποθετείται μετά τον αυτόματο διακόπτη. Έτσι οι ηλεκτρονόμοι δευτερογενούς προστασίας, επειδή ελέγχουν συνεχώς το ρεύμα του κυκλώματος, έχουν την δυνατότητα, ανάλογα με τον τύπο τους και τις ρυθμίσεις τους, να προστατεύουν από βραχυκυκλώματα, υπερφορτίσεις και διαρροές προς τη γη. Σε εξελιγμένα δίκτυα παρέχουν και τη δυνατότητα μέτρησης ρεύματος, τάσης, συντελεστή ισχύος αλλά και σύνδεση με συστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA).

#### ➔ **Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου**

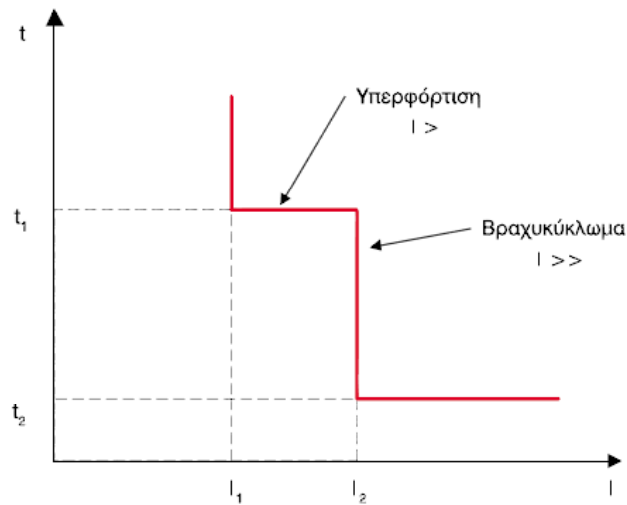
Ο ΗΝ αυτός περιλαμβάνει για κάθε φάση δύο στοιχεία :

- **Στοιχείο υπερφόρτισης** (overload operation) με σταθερή χρονική καθυστέρηση. Αυτό σημαίνει ότι αν το ρεύμα κάποιας φάσης υπερβεί το όριο  $I_1$ , αλλά όχι το όριο  $I_2$  (Σχήμα 1.15), θα υπάρξει διέγερση και ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος, μετά την παρέλευση του σταθερού χρόνου  $t_1$  ο ΗΝ θα δώσει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.
- **Στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας** (instantaneous operation), δηλαδή αν το ρεύμα υπερβεί το όριο  $I_2$  θα υπάρξει διέγερση και αμέσως θα δοθεί εντολή πτώσης του διακόπτη ισχύος.

Συνήθως ο ΗΝ είναι εφοδιασμένος και με **στοιχείο σφάλματος προς γη**, το οποίο ελέγχει αν το άθροισμα των τριών ρευμάτων είναι μηδέν. Σε περίπτωση σφάλματος κάποιας φάσης προς τη γη, το άθροισμα των τριών ρευμάτων παύει να είναι μηδέν και ο ΗΝ διεγείρεται αμέσως.

Στο Σχήμα 1.15, ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο  $I/I_n$  και ο κάθετος άξονας είναι βαθμολογημένος σε second. Οι ρυθμίσεις σε αυτόν τον ΗΝ είναι οι εξής :

- ρύθμιση του ρεύματος  $I_1$
- ρύθμιση του ρεύματος  $I_2$
- ρύθμιση του χρόνου  $t_1$

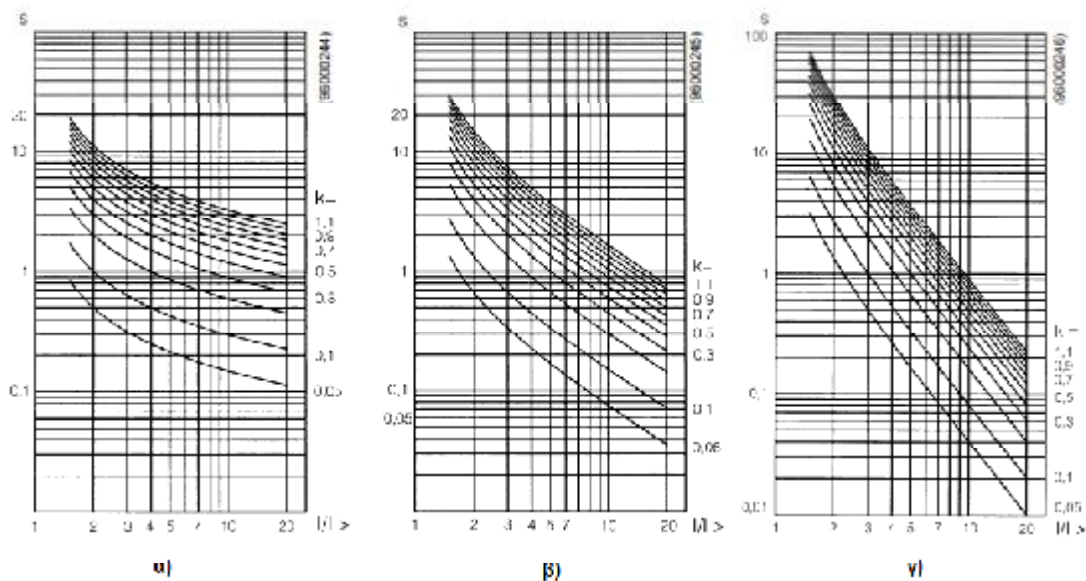


Σχήμα 1.15: Χαρακτηριστική ρεύματος - χρόνου ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου.

#### ► Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντίστροφου χρόνου

Ο ΗΝ υπερέντασης σταθερού χρόνου έχει το μειονέκτημα ότι ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος, περιμένει τον ίδιο χρόνο πριν δώσει την εντολή απόζευξης. Αυτό μπορεί να καταστεί μοιραίο για εναέρια δίκτυα ή υπόγεια καλώδια. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούμε ΗΝ αντίστροφου χρόνου, δηλαδή όσο αυξάνεται το ρεύμα τόσο μειώνεται ο χρόνος διέγερσης. Για να μπορούμε να ρυθμίσουμε τους ΗΝ που υπάρχουν σε ένα εκτεταμένο ηλεκτρικό δίκτυο ώστε να συνεργάζονται σωστά, δηλαδή το στοιχείο προστασίας που είναι πλησιέστερα στο σφάλμα να ανοίγει πρώτο, χρησιμοποιούμε ΗΝ υπερέντασης **πολύ αντίστροφου χρόνου** (very inverse time delay) ή **υπερβολικά αντίστροφου χρόνου** (extremely inverse time delay). Η διαφορά αυτών των δύο ΗΝ από τον ΗΝ αντίστροφου χρόνου, είναι ότι οι κλίσεις στις χαρακτηριστικές καμπυλών είναι πολύ πιο απότομες. Οι ΗΝ πολύ και υπερβολικά αντίστροφου χρόνου συνεργάζονται καλύτερα με ασφάλειες απ' ότι ο ΗΝ αντίστροφου χρόνου. Σήμερα κατασκευάζονται ΗΝ υπερέντασης που μας επιτρέπουν να επιλέξουμε:

- τον τρόπο λειτουργίας, δηλαδή σταθερού, αντίστροφου κλπ. χρόνου
- την καμπύλη λειτουργίας από ένα σμήνος καμπυλών (Σχήμα 1.16)
- τις ρυθμίσεις  $I >$ ,  $I >>$ ,  $t >$ ,  $t >>$  κ.α.



Σχήμα 1.16: Σμήνος καμπυλών ηλεκτρονόμων υπερέντασης **α)** αντίστροφου χρόνου **β)** πολύ αντίστροφου χρόνου **γ)** υπερβολικά αντίστροφου χρόνου.

## 1.6 Προστασία γραμμής αναχώρησης του δικτύου μέσης τάσης

Στα εναέρια δίκτυα οι ΗΝ έχουν συνήθως χαρακτηριστικές αντίστροφου χρόνου, που σημαίνει ότι όσο μειώνεται το ρεύμα, τόσο αυξάνεται ο χρόνος διέγερσης. Γίνεται διάκριση σφαλμάτων γης και σφαλμάτων φάσεων. Οι ΗΝ γης είναι ρυθμισμένοι να αντιδρούν σε χαμηλότερα ρεύματα απ' ότι οι ΗΝ φάσεων. Τα ρεύματα σε μονοφασικά σφάλματα (σφάλματα γης) είναι μικρότερα απ' ότι στα σφάλματα φάσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή το δίκτυο ΜΤ έχει μεγάλη αντίσταση γείωσης του ουδέτερου του Μ/Σ 150/20 kV, και είναι της τάξης των 9 με 12 Ω.

Επειδή στα εναέρια δίκτυα το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση της θέσης του βραχυκυκλώματος, η χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου βοηθά στο να έχουμε επιλεκτικότητα. Έτσι με τη χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου σε χαμηλές εντάσεις δίνεται χρόνος σε άλλα μέσα προστασίας που είναι απομακρυσμένα, δηλαδή στις διακλαδώσεις των καταναλωτών, να αντιδράσουν. Σε μεγάλες εντάσεις όπου η θερμική και μηχανική καταπόνηση του δικτύου είναι μεγάλη, ο διακόπτης ανοίγει σχεδόν ακαριαία. Στους ΗΝ φάσεων υπάρχουν και στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας που δίνουν εντολή απόξευξης ακαριαία (0.6 sec) σε μεγάλα ρεύματα, περίπου δεκαπλάσια του ονομαστικού.

Στα υπόγεια δίκτυα προτιμούνται οι ΗΝ υπερέντασης χρονικής καθυστέρησης σταθερού χρόνου, με στοιχεία γης και φάσεων. Οι ΗΝ σταθερού χρόνου είναι πιο εύχρηστοι και οικονομικότεροι σε σχέση με τους ΗΝ αντιστρόφου χρόνου, οι οποίοι στην περίπτωση υπόγειου δικτύου δεν εξυπηρετούν στην επιλεκτικότητα, αφού όλοι οι διακόπτες των καταναλωτών ελέγχονται συνήθως από τη ΔΕΗ.

## 1.7 Προστασία διακλάδωσης σε καταναλωτή μέσης τάσης

Στα σημεία τροφοδότησης (παροχέτευσης) των καταναλωτών, η ΔΕΗ εγκαθιστά, πριν την εγκατάσταση του καταναλωτή, ένα μέσο προστασίας  $Q_1$  (Σχήμα 1.14), το οποίο είναι ρυθμιζόμενο ή επιλεγμένο έτσι ώστε σε περίπτωση σφαλμάτων στην εγκατάσταση του καταναλωτή να διακόπτεται η διακλάδωση του καταναλωτή πριν ανοίξει ο διακόπτης  $Q_0$  (Σχήμα 1.14) στην αναχώρηση της γραμμής. Με αυτό τον τρόπο δεν ενοχλούνται οι υπόλοιποι καταναλωτές ΜΤ που βρίσκονται στην ίδια γραμμή.

Το μέσο προστασίας  $Q_1$  της περιοχής που εγκαθιστά η ΔΕΗ προσδιορίζεται από τον τύπο της παροχής και μπορεί να είναι ένα από τα παρακάτω:

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης, τύπου T
- Διακόπτης απομόνωσης
- Αυτόματος διακόπτης ισχύος με τους κατάλληλους ΗΝ
- Ασφάλειες σκόνης

Το μέσο  $Q_1$  δεν προστατεύει πάντα τον Μ/Σ ή την εγκατάσταση μέσης τάσης του καταναλωτή, αλλά μόνο την παροχή. Δηλαδή απομονώνει την παροχή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Εξαιρέση αποτελεί η παροχή Β2, όπου κατά κανόνα υπάρχει πλήρης προστασία του καταναλωτή από το μέσο  $Q_1$ .

Ο καταναλωτής, για να προστατεύσει τον Μ/Σ και την εγκατάστασή του σε σφάλματα, εγκαθιστά στην αρχή της εγκατάστασης του τα εξής μέσα:

- Ασφάλειες σκόνης υψηλής τάσης
- Διακόπτες ισχύος με τους κατάλληλους ΗΝ

## 1.8 Προστασία υποσταθμού μέσης τάσης κατά των υπερτάσεων

Οι εσωτερικές υπερτάσεις λόγω χειρισμών δεν είναι επικίνδυνες γιατί από τις προδιαγραφές τους τα υλικά ΜΤ αντέχουν σε αυτές. Οι εξωτερικές υπερτάσεις λόγω κεραυνών είναι της τάξης μεγέθους πολλών εκατοντάδων kV και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες στις υπαίθριες παροχές Α1 και Α2. Έτσι η προστασία της εγκατάστασης κρίνεται απαραίτητη.

Προστασία δεν απαιτείται συνήθως αν έχουμε υπόγεια παροχή από υπόγειο δίκτυο, γιατί όπως είναι προφανές, τα υπόγεια δίκτυα δεν δέχονται κεραυνικά πλήγματα. Στην περίπτωση που η αναχώρηση αυτών των δικτύων δεχτεί κάποιο κεραυνό, τότε γίνεται απόσβεση σε ακίνδυνα επίπεδα, αν έχουμε μήκη μεγαλύτερα από 500 m.

Αν αναμένονται κεραυνικές υπερτάσεις σε παροχές τύπου A1 και A2, η ΔΕΗ τοποθετεί συνήθως στο σημείο παροχέτευσης στον εναέριο στήλο αλεξικέραυνα και τα γειώνει. Αν το καλώδιο του καταναλωτή έχει μήκος μικρότερο των 500 m, συνιστάται η τοποθέτηση αλεξικέραυνων στις δύο άκρες του καλωδίου. Επειδή υπάρχει πιθανότητα να εκραγούν τα αλεξικέραυνα όταν δεχτούν έντονες καταπονήσεις, πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να μην προκληθούν ζημιές στις γειτονικές συσκευές. Σαν πρόσθετη προστασία εγκαθίστανται στους ακροδέκτες μέσης τάσης του Μ/Σ ισχύος, κεράτια διαμέτρου 500 mm, σε απόσταση 150 mm για Μ/Σ 20 kV.

## 1.9 Επιλογική συνεργασία μέσω προστασίας

Οι χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται επιλογική συνεργασία. Αυτό σημαίνει ότι το όργανο προστασίας που βρίσκεται πλησιέστερα στο σφάλμα να διακόπτει πρώτο. Για παράδειγμα, για ένα σφάλμα στην πλευρά της υψηλής τάσης του καταναλωτή, πρώτα θα λειτουργήσει το όργανο  $Q_2$  του καταναλωτή, στη συνέχεια το όργανο  $Q_1$  και στο τέλος ο διακόπτης αναχώρησης της γραμμής  $Q_0$  (Σχήμα 1.14).

Η επιλογική προστασία πρέπει να υπάρχει σε όλα τα σφάλματα, δηλαδή τόσο σε σφάλματα γης όσο και σφάλματα φάσεων. Έτσι, σε μέσα προστασίας που δεν κάνουν διάκριση μεταξύ σφαλμάτων γης και φάσεων, πρέπει να ισχύει το εξής: *τα ρεύματα διέγερσης να συνεργάζονται επιλεκτικά με τους ΗΝ γης της ΔΕΗ*. Τα μέσα που δεν κάνουν διάκριση μεταξύ σφαλμάτων γης και φάσεων, είναι οι ασφάλειες και οι διακόπτες με πρωτογενή προστασία (αυτοπροστασία). Αυτός είναι ο λόγος που δεν εγκαθίστανται ασφάλειες ή πρωτογενής προστασία σε μεγάλες ισχύεις (>800 kVA).

Για να διακόψει ένα μέσο προστασίας γρηγορότερα απ' ό,τι ένα άλλο, εφ' όσον διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, πρέπει ο χρόνος αντίδρασης του πρώτου να είναι μικρότερος από τον χρόνο αντίδρασης του δεύτερου. Η χρονική διαφορά, στην περιοχή που μας ενδιαφέρει, πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.4 sec. Η περιοχή που μας ενδιαφέρει εξαρτάται από το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που περιμένουμε, το οποίο δίνεται από τη ΔΕΗ και είναι τυπικά 200-400A.

## Κεφάλαιο 2

# Μονωμένοι αγωγοί - Καλώδια Μέσης Τάσης

---

Τα καλώδια μέσης τάσης χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του υποσταθμού με το εναέριο ή υπόγειο δίκτυο της ΔΕΗ, καθώς και για την σύνδεση του πίνακα 20 kV με το μετασχηματιστή ισχύος. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις υποσταθμών μέσης τάσης πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές για τοποθέτηση σε εσωτερικούς χώρους, σε σωλήνες και στο ύπαιθρο.

➡ Τα καλώδια **N(A)2XSY**<sup>1</sup> (Σχήμα 2.1), που παλιότερα χαρακτηρίζονταν ως NHSY, χρησιμοποιούνται συνήθως μέχρι τον μετασχηματιστή του καταναλωτή.

➡ Τα καλώδια **N2XSEY** (Σχήμα 2.2) χρησιμοποιούνται σαν καλώδια διανομής, καθώς και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Είναι τα περισσότερο διαδεδομένα τριπολικά καλώδια μέσης τάσης με πλαστική μόνωση.

➡ Τα καλώδια **J1VV-U<sup>2</sup>** ή **R<sup>3</sup>** ή **S<sup>4</sup>** (Σχήμα 2.3), που παλιότερα χαρακτηρίζονταν ως NYU, χρησιμοποιούνται συνήθως μετά τον μετασχηματιστή ισχύος του καταναλωτή και προς τον πίνακα χαμηλής τάσης.

➡ Εκτός από τους παραπάνω τύπους καλωδίων, στη μέση τάση είναι δυνατή η χρήση καλωδίων **NKBA**, **NHKBA** και **NEKBA** (Σχήμα 2.4)

---

<sup>1</sup>Το (A) υποδηλώνει αγωγό αλουμινίου.

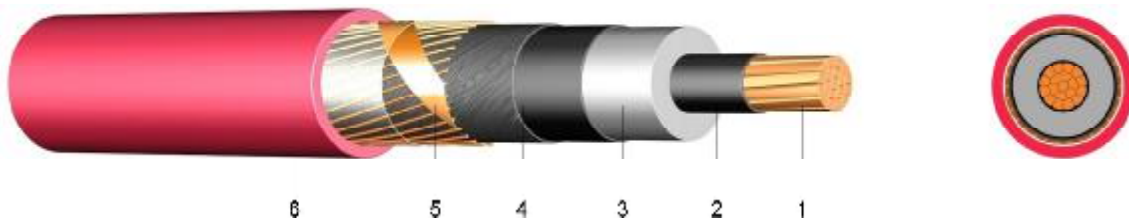
<sup>2</sup>U =δύσκαμπος μονόκλωνος αγωγός κυκλικού σχήματος.

<sup>3</sup>R =δύσκαμπος πολύκλωνος αγωγός κυκλικού σχήματος.

<sup>4</sup>S =δύσκαμπος πολύκλωνος αγωγός σχήματος κυκλικού τομέα.

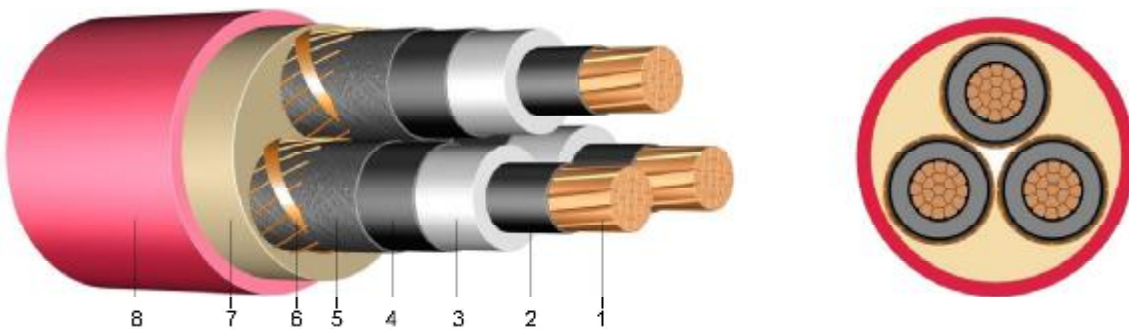


Η ονομαστική τους τάση είναι  $U_0/U = 12/20$  kV. Πολλές φορές, για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας, χρησιμοποιούνται στα δίκτυα των 20 kV καλώδια ονομαστικής τάσης 18/30 kV. Τα καλώδια 12/20 kV δοκιμάζονται στα εργοστάσια κατασκευής τους (σύμφωνα με το IEC 502) σε τάση 36 kV μεταξύ φάσης και θωράκισης για 4 ώρες. Οι τυποποιημένες διατομές των καλωδίων είναι 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300 mm<sup>2</sup>. Στα δίκτυα των 20 kV η ελάχιστη διατομή, για λόγους βραχυκυκλώματος, είναι 50 mm<sup>2</sup>.



Σχήμα 2.1: Καλώδιο N2XSY.

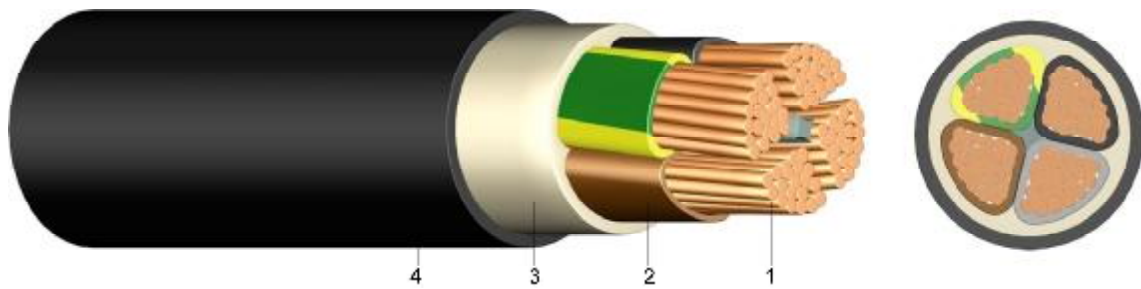
- |                                 |                                    |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. αγωγός χαλκού (ή αλουμινίου) | 4. εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα     |
| 2. εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα  | 5. θωράκιση από χάλκινα συρματίδια |
| 3. μόνωση XLPE                  | 6. εξωτερικός μανδύας από PVC      |



Σχήμα 2.2: Καλώδιο N2XSEY.

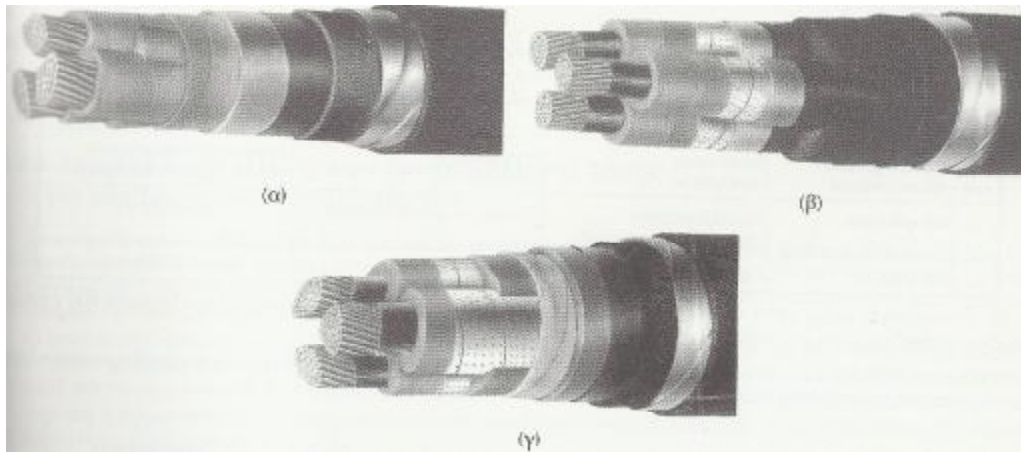
- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. αγωγός χαλκού               | 5. ημιαγωγίμη ταινία               |
| 2. εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα | 6. θωράκιση από χάλκινα συρματίδια |
| 3. μόνωση XLPE                 | 7. υλικό πλήρωσης                  |
| 4. εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα | 8. εξωτερικός μανδύας από PVC      |





Σχήμα 2.3: Καλώδιο J1VV-U.

- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| 1. αγωγός χαλκού | 3. φύλλο PVC              |
| 2. μόνωση PVC    | 4. εξωτερικός μανδύας PVC |



Σχήμα 2.4: (α) Καλώδιο ΝΚΒΑ (β) Καλώδιο ΝΕΚΒΑ (γ) Καλώδιο ΝΗΚΒΑ

## 2.1 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά καλωδίων Μέσης Τάσης

### 2.1.1 Αγωγοί καλωδίων

Οι αγωγοί των καλωδίων κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και σπάνια από αλουμίνιο. Η χρήση αλουμινίου σαν αγωγός, πραγματοποιείται σε καλώδια διατομών άνω των 35 mm<sup>2</sup>. Στα πλεονεκτήματα του χαλκού συγκαταλέγεται η μεγάλη ειδική αγωγιμότητα

(ειδική αντίσταση  $\rho = 0.018 \Omega m$ ), η υψηλή μηχανική αντοχή, η αντοχή στη διάβρωση και η εύκολη κατεργασία. Από την άλλη, στα θετικά του αλουμινίου συγκαταλέγεται η χαμηλή του τιμή και το μικρότερο βάρος του σε σχέση με τον χαλκό. Στα μειονεκτήματα του αλουμινίου υπολογίζονται τα εξής:

- Δεν συγκολλάται με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξης (π.χ. κασσιτεροκόλληση).
- Διαβρώνεται ευκολότερα λόγω ηλεκτροχημικών δράσεων.
- Δεν αντέχει σε πολλές κάμψεις.
- Όταν βρίσκεται σε πίεση παραμορφώνεται με την πάροδο του χρόνου και χαλαρώνουν οι συνδέσεις.

Ωστόσο, επειδή οι ακροδέκτες των καλωδίων συνήθως συμπιέζονται πάνω στους αγωγούς, η ικανότητα συγκόλλησης δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Η μορφή των αγωγών είναι στρογγυλή. Για πολυπολικά καλώδια μεγάλων διατομών ( $>35 \text{ mm}^2$ ) χρησιμοποιούνται και διατομές κυκλικού τομέα (οι τριγωνικές χαρακτηρίζονται με S).

## 2.1.2 Μονωτικά καλώδιων

Τα καλώδια μέσης τάσης κατά κανόνα έχουν μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE). Παλιότερα η μόνωση τους ήταν από μάζα χαρτιού εμποτισμένη με μονωτικό λάδι. Επίσης χρησιμοποιούνται καλώδια από αιθυλενιούχο-προπυλαινιούχο ελαστικό (EPR), που παρουσιάζει μεγαλύτερη ελαστικότητα και αντοχή στο λάδι ή σε άλλα χημικά, σε σχέση με τα καλώδια XLPE. Τα καλώδια EPR είναι ακριβότερα από τα καλώδια XLPE. Σε χαμηλότερες τάσεις (π.χ. 6/10 kV) μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια με μόνωση από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).

Ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC ή από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο ή από πολυχλωροπρένιο (= νεοπρένιο). Το χρώμα του εξωτερικού μανδύα των καλωδίων μέσης τάσης είναι πάντοτε από κόκκινο PVC ώστε να ξεχωρίζουν από τα καλώδια χαμηλής τάσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά τα μονωτικά μέσης τάσης.

Μονωτικά καλώδιων Μέσης Τάσης	Συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία	Βραχυχρόνια (5 sec ) επιτρεπόμενη θερμοκρασία
PVC	70 °C	170 °C
EPR	90 °C	250 °C
XLPE	90 °C	250 °C

Πίνακας 2.1: Μονωτικά Μέσης Τάσης.

### **2.1.3 Θωράκιση καλωδίων**

Η θωράκιση είναι απαραίτητη στα καλώδια μέσης τάσης, διότι δημιουργεί μαζί με τον αγωγό του καλωδίου ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Η θωράκιση των καλωδίων μέσης τάσης αποτελείται από συρματίδια με ταινία χαλκού κατάλληλης διατομής. Η θωράκιση γειώνεται και στις δύο άκρες του καλωδίου στο σύστημα γείωσης μέσης τάσης. Η ύπαρξη των δύο αγωγίμων επιφανειών, δηλαδή του αγωγού φάσης και της θωράκισης με το διηλεκτρικό, μεταξύ τους δημιουργεί έναν παρασιτικό πυκνωτή. Έτσι τα καλώδια μέσης τάσης χαρακτηρίζονται και από την χωρητικότητά τους (C), κάτι που δεν ισχύει στα κοινά καλώδια χαμηλής τάσης. Για καλώδια διατομής 50 mm<sup>2</sup> ισχύει C = 0.25 mF/km. Έτσι όταν διακόπτεται η τάση σε ένα καλώδιο, ο παρασιτικός πυκνωτής παραμένει φορτισμένος για αρκετές ώρες. Γι' αυτό, τα καλώδια πρέπει να γειώνονται προσεκτικά προτού εργαστούμε στα δίκτυα των 20 kV.

## **2.2 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ.**

### **2.2.1 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ. σε σχάρες**

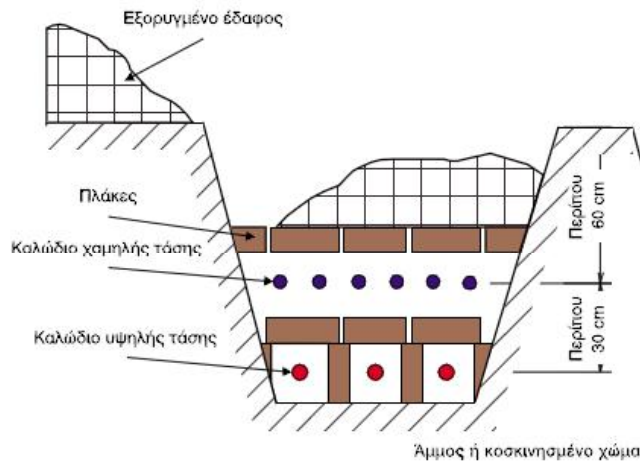
Η εγκατάσταση των καλωδίων μέσης τάσης στον αέρα γίνεται πάνω σε προκατασκευασμένες διάτρητες μεταλλικές σχάρες καλωδίων. Οι σχάρες είναι διάτρητες για να μην εμποδίζουν τον φυσικό αέρα (ψύξη) των καλωδίων. Κατασκευάζονται από γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους από 0.5 έως 2 mm και σε μήκη από 2 έως 4 m. Οι σχάρες στηρίζονται στον τοίχο ή στην οροφή, ανά 1.5 m περίπου, με ειδικά μεταλλικά στηρίγματα. Επίσης διατίθεται μία σειρά από εξαρτήματα όπως γωνίες, ταυ, σταυροί και άλλα, που επιτρέπουν την σύνδεση των σχαρών και την δημιουργία ενός δικτύου από σχάρες καλωδίων μέσης και χαμηλής τάσης. Πάνω στις σχάρες μέσης τάσης τοποθετούνται μόνο τα καλώδια μέσης τάσης, ενώ στις σχάρες χαμηλής τάσης μόνο τα καλώδια χαμηλής τάσης. Τα καλώδια δένονται με πλαστικά κολάρα πάνω στις σχάρες ανά 20 cm περίπου. Μεταξύ των καλωδίων αφήνουμε απόσταση όση είναι περίπου η διάμετρος τους.

### **2.2.2 Εγκατάσταση καλωδίων Μ.Τ. μέσα στο έδαφος**

Η εγκατάσταση των καλωδίων στο έδαφος γίνεται μέσα σε ειδικά χαντάκια που ανοίγονται κατά μήκος των δρόμων. Αν στο χαντάκι οδεύουν και καλώδια χαμηλής τάσης, τότε τα καλώδια μέσης τάσης τοποθετούνται στο κάτω μέρος του χαντακιού και διαχωρίζονται μεταξύ τους με τσιμεντένιες πλάκες. Τα καλώδια παραδίδονται από το εργοστάσιο παραγωγής τους τυλιγμένα σε ξύλινα στροφεία. Η τοποθέτηση των καλωδίων στο χαντάκι γίνεται με προσεκτικό ξετύλιγμα από το στροφείο με τη βοήθεια ειδικών κυλιστήρων (ράουλα) που επιτρέπουν το τράβηγμα των καλωδίων χωρίς να τραυματίζεται η μόνωση τους.

Σε όλο το μήκος της διαδρομής τους, τα καλώδια τοποθετούνται απ' ευθείας μέσα στο χαντάκι και καλύπτονται με άμμο ή κοσκινισμένο χώμα. Στα σημεία που το χαντάκι

διασχίζει κάποιο δρόμο, τα καλώδια τοποθετούνται σε πλαστικούς σωλήνες από PVC διαμέτρου  $D > 100 \text{ mm}$ . Έτσι σε περίπτωση ζημιάς ή πιθανής αντικατάστασής τους, δεν χρειάζεται να ξανασκαφτεί ο δρόμος.



Σχήμα 2.5: Τομή χαντακιού με καλώδια μέσης και χαμηλής τάσης.

### 2.3 Ακροδέκτες - Συνδέσεις

Οι αναχωρήσεις, οι ενώσεις και οι αφίξεις των παραπάνω καλωδίων πραγματοποιούνται με τη χρησιμοποίηση ειδικών ακροκιβωτίων και συνδέσμων.

Με τα ακροκιβώτια, που διακρίνονται σε μονοπολικά και πολυπολικά, εξασφαλίζεται η στεγανότητα των άκρων των καλωδίων και εξομαλύνεται το ηλεκτρικό πεδίο στα σημεία χρησιμοποίησης αυτών. Τα ακροκιβώτια ανάλογα με τον χώρο τοποθέτησής τους χαρακτηρίζονται ως εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου τα οποία εφοδιάζονται με μονωτήρες δίσκων. Με αυτούς αφενός μεν αποφεύγεται ο σχηματισμός επιφανειακού αγωγίμου στρώματος πάνω στους μονωτήρες (από την υγρασία, τη βροχή, την παρουσία αλάτων κλπ.) αφετέρου δε, προκαλείται αύξηση της απόστασης ερπυσμού. Τα ακροκιβώτια μέσης τάσης εσωτερικού χώρου (σπάνια για εξωτερικού χώρου) κατασκευάζονται από ελαστικό οιλικόνη. Τέλος, από ρητίνες μπορούν να κατασκευαστούν ακροκιβώτια τόσο εσωτερικού αλλά και εξωτερικού χώρου.

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

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

Ακροκεφαλές από ρητίνες χυτεύονται επιτόπου σε καλούπι που περιβάλλει το καλώδιο. Η στερεοποίηση τους επέρχεται σε 30 λεπτά έως μερικές ώρες. Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν κατασκευαστικό σύνολο ΚΙΤ (ρητίνη, καταλύτης, καλούπι, ακροδέκτης). Σε πολλούς υποσταθμούς συναντάμε πλαστικές θερμοσυστελλόμενες ακροκεφαλές. Σήμερα είναι πολύ διαδεδομένες οι ψυχρυσυτελλόμενες ακροκεφαλές.



Σχήμα 2.6: Ψυχρυσυτελλόμενες ακροκεφαλές μέσης τάσης εσωτερικού και εξωτερικού τύπου.

Σύνδεση δύο καλωδίων, δηλαδή μούφες ή διακλαδώσεις στο έδαφος, πρέπει να αποφεύγονται, γιατί αποτελούν σημεία υψηλού κινδύνου (εκεί συνήθως καταστρέφεται το καλώδιο). Σε περίπτωση σύνδεσης ή διακλάδωσης ενός καλωδίου, πρέπει να εξασφαλιστεί η στεγανότητα στην είσοδο υγρασίας ή νερού και η αντοχή στην τάση. Τόσο στην χαμηλή όσο και στην μέση τάση, πλέον γίνεται χρήση μούφών από ρητίνες. Δηλαδή γίνεται η σύνδεση και ακολούθως εκχύονται οι ρητίνες σε ειδικά καλούπια που περιβάλλουν τον σύνδεσμο, όπου γίνεται η στερεοποίηση. Οι συνδέσεις στη μέση τάση μπορεί να είναι και λυόμενες, όπως π.χ. σε στεγασμένες προκατασκευασμένες εγκαταστάσεις μέσης τάσης. Η εφαρμογή μίας ακροκεφαλής ή μίας μούφας στην μέση τάση, πρέπει να γίνεται με απόλυτη τελειότητα από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό, αφού αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία μιας εγκατάστασης.

## Κεφάλαιο 3

# Μετασχηματιστές Ισχύος

---

Ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) είναι μία ηλεκτρική διάταξη που μετατρέπει εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός διαφορετικού επιπέδου τάσης, μέσω της επίδρασης μαγνητικού πεδίου. Ο μετασχηματιστής μας επιτρέπει την μεταφορά και την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με απλό και οικονομικό τρόπο, μιας και η απόδοσή του είναι μεγαλύτερη από 95%. Η διάταξη αυτή αποτελείται από δύο ή περισσότερα πηνία που τυλίγονται γύρω από έναν κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Τα πηνία αυτά συνήθως δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η μόνη σύζευξη που υπάρχει μεταξύ των σπειρών είναι το κοινό μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα.

Το ένα από τα δύο πηνία του μετασχηματιστή συνδέεται με μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, ενώ το δεύτερο (ή το τρίτο, αν υπάρχει) συνδέεται με το φορτίο. Το πρώτο τύλιγμα ονομάζεται *πρωτεύον τύλιγμα* ή *τύλιγμα εισόδου* του μετασχηματιστή και το δεύτερο ονομάζεται *δευτερεύον τύλιγμα* ή *τύλιγμα εξόδου*. Αν υπάρχει και τρίτο τύλιγμα ονομάζεται *τριεύον τύλιγμα*.

Ο μετασχηματιστής ισχύος ή απλά μετασχηματιστής, είναι η βασική συσκευή κάθε υποσταθμού μέσης τάσης, διότι υποβιβάζει την τάση μεταφοράς των 20 kV σε τάση διανομής 400 V. Σε υποσταθμούς με ζητούμενη ισχύ >600 kVA έχουμε κατά κανόνα δύο μετασχηματιστές για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση σφάλματος του ενός, αναλαμβάνει ο δεύτερος μετασχηματιστής ώστε να καλύψει το συνολικό φορτίο για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή του πρώτου μετασχηματιστή. Δύο μετασχηματιστές συναντάμε και σε υποσταθμούς -ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ- που τροφοδοτούν κρίσιμα φορτία όπως νοσοκομεία, αεροδρόμια και άλλα.

Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 42500, DIN 42523 και DIN 46635. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τρόποι δοκιμής περιγράφονται στα πρό-

τυπα DIN - VDE 57532 και IEC 76.

### **3.1 Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή**

Οι τριφασικοί Μ/Σ που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς ΜΤ είναι ελαιόφυκτοι με δοχείο διαστολής ή κλειστού τύπου. Στις περιπτώσεις ειδικών συνθηκών περιβάλλοντος (π.χ. χώροι με εύφλεκτα υλικά με πιθανό κίνδυνο πυρκαϊάς) χρησιμοποιούνται Μ/Σ με στερεή μόνωση (χυτοριτίνης). Έτσι συναντάμε Μ/Σ χυτοριτίνης σε πλατφόρμες πετρελαίου, σε αποθήκες καυσίμων ή πυρομαχικών και σε εργοστάσια τροφίμων.

Ο πυρήνας των τριφασικών Μ/Σ, ο οποίος περιλαμβάνει τρεις κορμούς διατεταγμένους σε ευθεία, που συνδέονται μαγνητικά με το επάνω και κάτω ζύγωμα, κατασκευάζεται από ελάσματα πυριτιούχου χάλυβα προσανατολισμένων κρυστάλλων. Τα ελάσματα του πυρήνα μονώνονται με ορυκτό οξείδιο και προστατεύονται από την οξείδωση με στρώμα ειδικού βερνικιού.

Τα τυλίγματα των τριφασικών Μ/Σ, διακρίνονται όπως προαναφέραμε, σε τυλίγματα χαμηλής και υψηλής τάσης.

➡ Τα τυλίγματα χαμηλής τάσης κατασκευάζονται από φύλλα αλουμινίου ή χαλκού, αλλά και σύρματα χαλκού μεγάλης διατομής, εμποτισμένα με ειδική συνθετική ρητίνη ώστε να αποκτήσουν κλάση μόνωσης F. Τα άκρα του κάθε τυλίγματος της χαμηλής τάσης, καλύπτονται με εποξειδική ρητίνη, και το φύλλο προστατεύεται με μονωτικό υλικό, ακόμα και ενδιάμεσα των στρώσεων.

➡ Τα τυλίγματα υψηλής τάσης κατασκευάζονται από σύρμα αλουμινίου ή χαλκού με κλάση μόνωσης F και εμποτίζονται με ειδική εποξειδική ρητίνη.

Γενικά, τα τυλίγματα των τριφασικών Μ/Σ μέσης τάσης, έχουν ως προδιαγραφές:

- την καλή θερμική συμπεριφορά,
- τον υψηλό συντελεστή χώρου,
- τις καλές συνθήκες μόνωσης (F), και
- τη μεγάλη ικανότητα αντοχής στη δυναμική καταπόνηση της δοκιμής βραχυκύκλωσης.

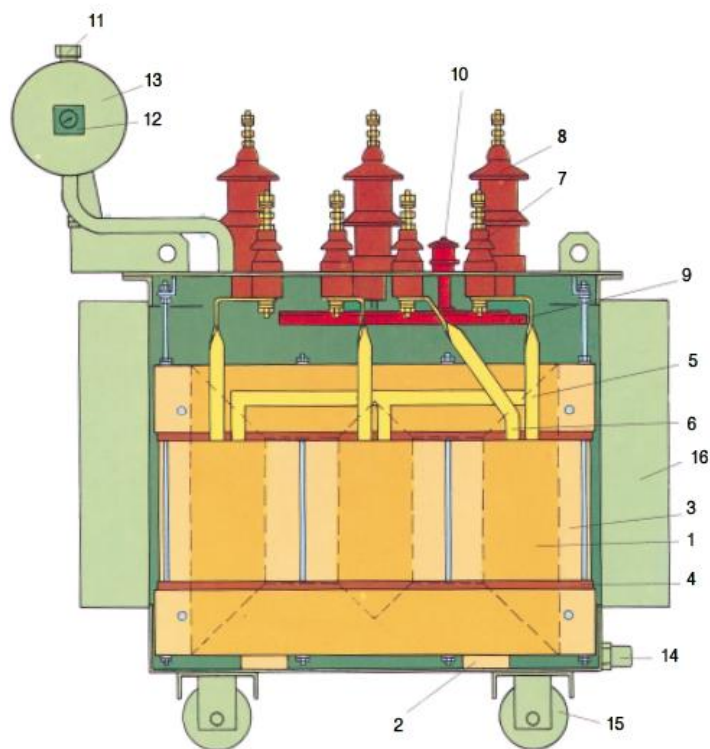
#### **3.1.1 Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή λαδιού**

Στο Σχήμα 3.1 βλέπουμε την τομή ενός τριφασικού Μ/Σ μόνωσης λαδιού. Τα μέρη του Μ/Σ αναλύονται παρακάτω:



- 1. Πυρήνας (Core).** Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελατώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.
- 2. Στηρίγματα πυρήνα (Core support).** Μεταξύ του πυθμένα του δοχείου και του πυρήνα μεσολαβεί κάποια απόσταση για να μπορεί να κυκλοφορεί το λάδι.
- 3. Τυλίγματα (Winding).** Σε κάθε σκέλος του πυρήνα υπάρχουν δύο τυλίγματα (πηνία). Στο εσωτερικό βρίσκεται το τυλίγμα της ΧΤ και εξωτερικά το τυλίγμα της ΥΤ.
- 4. Στηρίγματα τυλιγμάτων (Winding support).** Η στερέωση των τυλιγμάτων ΧΤ και ΥΤ, τόσο μεταξύ τους, όσο και πάνω στον πυρήνα είναι πολύ κρίσιμη και γίνεται με μονωτικά στηρίγματα. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται στα τυλίγματα μεγάλες δυνάμεις Laplace που μπορούν να καταστρέψουν τον Μ/Σ.
- 5.** Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων ΧΤ γεφυρώνονται με χάλκινη μπάρα και δημιουργείται ο ουδέτερος κόμβος. Ο ουδέτερος συνδέεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα διέλευσης και έτσι προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδέτερου n.
- 6.** Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων ΧΤ συνδέονται στους μονωτήρες διέλευσης και προκύπτουν οι ακροδέκτες 2U, 2V, 2W.
- 7. Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. (LV bushing)** από πορσελάνη. Ονομάζονται μονωτήρες διέλευσης διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα ΧΤ. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων ΧΤ. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια ΧΤ που αναχωρούν από τον Μ/Σ.
- 8. Μονωτήρες διέλευσης Μ.Τ. (MV bushing)** από πορσελάνη. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων ΜΤ. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια ΜΤ που έρχονται από την κυψέλη προστασίας του Μ/Σ.
- 9. Ρυθμιστής τάσης (Off-circuit tap changer).** Τα τυλίγματα ΜΤ έχουν ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε έναν περιστροφικό διακόπτη. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, χρησιμοποιώντας λιγότερες ή περισσότερες λήψεις στο πρωτεύον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ, και συνεπώς την ρύθμιση της τάσης στο δευτερεύον. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).
- 10. Χειριστήριο ρύθμισης τάσης.**
- 11. Δοχείο διαστολής (Expansion vessel).** Η θερμοκρασία του λαδιού σε κανονική λειτουργία του Μ/Σ φτάνει τους 100°C, με αποτέλεσμα τη διαστολή του. Το δοχείο διαστολής συνδέεται με σωλήνα με το δοχείο του Μ/Σ και όσο η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει, ανεβαίνει και η στάθμη του, διώχνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοχείου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του λαδιού κατεβαίνει. Σήμερα κατασκευάζονται στεγανοί Μ/Σ λαδιού, με ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια ψύξης που παίρνουν τις διαστολές του λαδιού, και συνεπώς δεν χρειάζονται δοχείο διαστολής. Οι στεγανοί (sealed tank) Μ/Σ δεν χρειάζονται συντήρηση, μιας και το λάδι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και έτσι δεν αλλοιώνεται.
- 12. Δείκτης στάθμης λαδιού (Oil-level indicator).** Μας δείχνει τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.
- 13. Τάπα αερισμού και πλήρωσης με λάδι (Ventilation and filling cap).** Από εδώ εξέρχεται ο αέρας που υπάρχει στο δοχείο διαστολής όταν θερμαίνεται το λάδι του Μ/Σ.
- 14. Βάνα αποχέτευσης του λαδιού (Drain plug).** Από εδώ γίνεται η εκκένωση του λαδιού.
- 15. Τροχοί κύλισης (Roller).** Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύλιση στους τέσσερις τροχούς του.
- 16. Ψυκτήρες (Cooling ribs).** Μοιάζουν με τις φέτες των θερμομαντικών σωμάτων ακτινοβολίας, και χρησιμεύουν για τη φυσική ψύξη του λαδιού.





Σχήμα 3.1: Τομή μετασχηματιστή λαδιού.

### 3.1.2 Κατασκευαστική δομή μετασχηματιστή με μόνωση χυτορητίνης

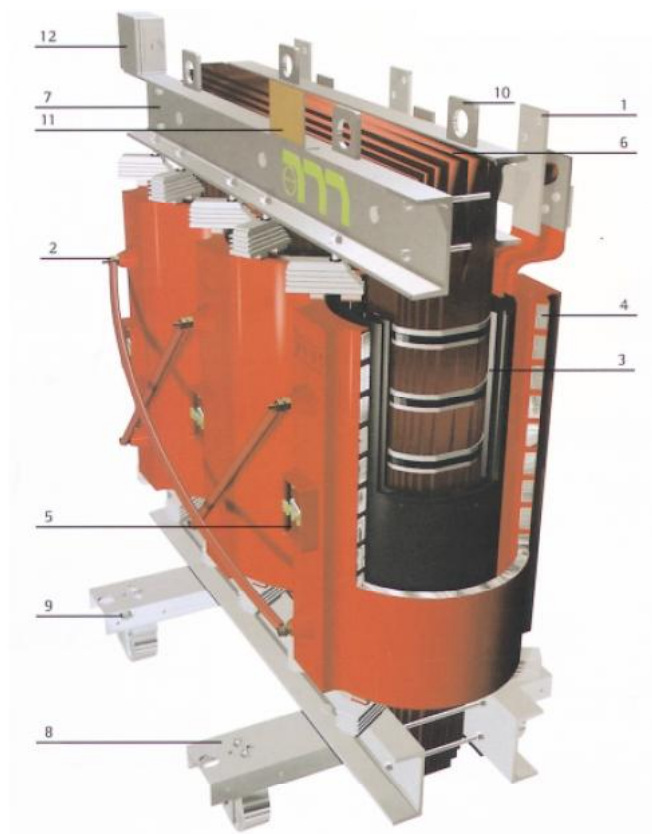
Οι συγκεκριμένοι Μ/Σ ονομάζονται ξηρού τύπου διότι δεν έχουν λάδι. Αν και είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους με λάδι, έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα που πολλές φορές η επιλογή τους μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα. Δύο από τα πιο σημαντικά τους πλεονεκτήματα είναι:

⇨ Η στερεή μόνωση τους είναι άκαυστη, σε αντίθεση με το λάδι που είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Έτσι δεν απαιτούνται μια σειρά από ειδικές προφυλάξεις, όπως ελαιοδεξαμενή, πυράντοχοι τοίχοι, σύστημα πυρόσβεσης κ.ά. που συναντάμε στους Μ/Σ λαδιού.

⇨ Μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο του κτηρίου, σε αντίθεση με τους Μ/Σ λαδιού που πρέπει να εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτηρίου ή σε ανεξάρτητο κτίριο. Έτσι τους συναντάμε σε πλοία, σήραγγες, πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και γενικά όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί Μ/Σ λαδιού.

Στο Σχήμα 3.2 βλέπουμε την τομή ενός Μ/Σ ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης. Τα μέρη του Μ/Σ αναλύονται παρακάτω:

- 1. Ακροδέκτες ΧΤ.** Κάθε ένα από τα τρία τυλίγματα ΧΤ καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι τρεις ακροδέκτες γεφυρώνονται με αλουμινένια ή χάλκινη μπάρα και προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδετέρου. Τα υπόλοιπα τρία άκρα καταλήγουν στους ακροδέκτες ΧΤ, όπου συνδέονται τα καλώδια των 400 V.
- 2. Ακροδέκτες ΜΤ.** Κάθε ένα από τα τρία τυλίγματα ΜΤ καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες γεφυρώνονται χιαστί με μονωμένους αγωγούς για να δημιουργήσουν το τρίγωνο (Δ) των τυλιγμάτων της ΜΤ.
- 3. Τύλιγμα ΧΤ.** Κατασκευάζεται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή κυλίνδρου. Τα φύλλα μονώνονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Κατόπιν εμποτίζονται με εποξειδική ρητίνη και ψήνονται σε ειδικούς φούρνους.
- 4. Τύλιγμα ΜΤ.** Κατασκευάζεται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή πηνίου. Κατόπιν χυτεύονται σε καλούπια με χυτορητίνη. Η διαδικασία χύτευσης αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του Μ/Σ.
- 5. Ρυθμιστής τάσης.** Κάθε τύλιγμα μέσης τάσης έχει ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε ένα κιβώτιο ακροδεκτών στο μπροστινό μέρος κάθε τυλιγματος. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, χρησιμοποιώντας λιγότερες ή περισσότερες λήψεις στο πρωτεύον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ, και συνεπώς την ρύθμιση της τάσης στο δευτερεύον. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος(off-circuit).
- 6. Πυρήνας** Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.
- 7. Σφικτήρες πυρήνα.** Στο πάνω και στο κάτω μέρος του Μ/Σ υπάρχουν σιδερένια δοκάρια που σχηματίζουν το πλαίσιο του Μ/Σ και ταυτόχρονα για τη σύσφιξη των ελασμάτων του πυρήνα.
- 8. Τροχοί κύλισης.** Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύλιση στους τέσσερις τροχούς του.
- 9. Ακροδέκτης γείωσης.** Στον ακροδέκτη αυτό γειώνονται όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ (πυρήνας, πλαίσιο κλπ.) που δεν διαρρέονται από ρεύμα.
- 10. Άγκιστρα ανύψωσης.** Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του Μ/Σ.
- 11. Πινακίδα.** Στην πινακίδα αυτή αναγράφονται τα τεχνικά στοιχεία του Μ/Σ, το εργοστάσιο και το έτος κατασκευής του.
- 12. Κουτί με ΗΝ προστασίας.** Στο κουτί αυτό καταλήγουν τα καλώδια από τους θερμίστορες που είναι εμφυτευμένοι στα τυλίγματα ΧΤ και μας επιτρέπουν την προστασία του Μ/Σ από υπερφόρτιση.



Σχήμα 3.2: Μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης.

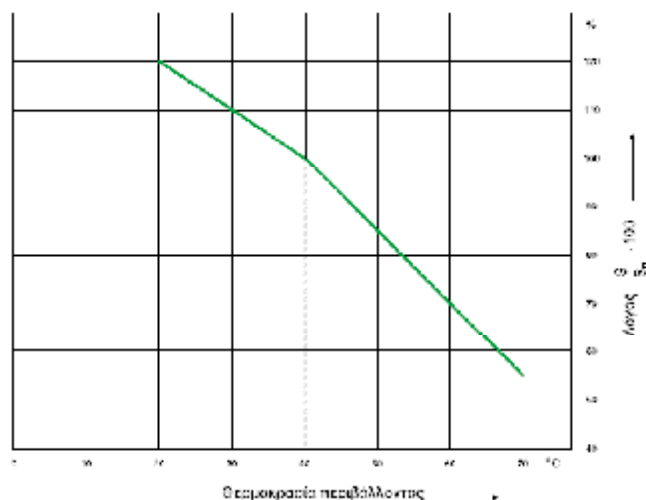
### 3.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστή ισχύος

Το μέγεθος του Μ/Σ προσδιορίζεται από την προβλεπόμενη μέγιστη ζήτηση ισχύος σε kVA , για τα επόμενα πέντε ως δέκα χρόνια από την ημέρα μελέτης-σχεδίασης του υποσταθμού. Η ονομαστική ισχύς ( $S_n$ ) των Μ/Σ κυμαίνεται από 25 kVA μέχρι 2500 kVA. Λέγοντας ονομαστική ισχύς εννοούμε την ισχύ για την οποία έχει κατασκευαστεί ο Μ/Σ σε συνεχή λειτουργία, εφόσον ισχύουν μια σειρά από συγκεκριμένες συνθήκες, οι κυριότερες των οποίων είναι:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40°C.
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30°C.
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20°C.
- Υψόμετρο της εγκατάστασης μέχρι 1000m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Αν οι συνθήκες λειτουργίας είναι διαφορετικές, τότε χρησιμοποιείται η επιτρεπόμενη φόρτιση  $S$ , η οποία διαφέρει από την ονομαστική  $S_n$ . Στο Σχήμα 3.3 βλέπουμε ότι η ισχύς

S μικραίνει όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος μεγαλώνει. Αλλά και αντίστροφα, η ισχύς S αυξάνεται όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 40°C. Πρακτικά, τον χειμώνα με εξωτερική θερμοκρασία 20°C, ένας Μ/Σ ονομαστικής ισχύος  $S_n = 400$  kVA, μπορεί να φορτιστεί μέχρι και 20% πάνω από την ονομαστική ισχύ, δηλαδή μέχρι τα 480 kVA. Τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού, όταν η εξωτερική θερμοκρασία φτάνει τους 50°C, η φόρτιση του Μ/Σ δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το 85% της ονομαστικής του ισχύος, δηλαδή τα 340 kVA.



Σχήμα 3.3: Επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση μετασχηματιστών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

### ➔ Τάση βραχυκύκλωσης

Ονομάζουμε τάση βραχυκύκλωσης  $u_k$  την τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ ώστε να έχουμε, με βραχυκυκλωμένο δευτερεύον, το ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα. Η τάση αυτή δίνεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος, και έτσι προκύπτει η ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης  $u_k$ . Η τάση βραχυκύκλωσης μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την εσωτερική σύνθετη αντίσταση<sup>1</sup> του Μ/Σ, που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της στάθμης του ρεύματος βραχυκυκλώματος  $I_K$  στην πλευρά της χαμηλής τάσης του Μ/Σ. Η γνώση της τιμής του ρεύματος βραχυκυκλώματος στην πλευρά της χαμηλής τάσης του Μ/Σ, είναι πολύ σημαντική, διότι με βάση αυτή την τιμή θα επιλέξουμε τον εξοπλισμό χαμηλής τάσης (διακόπτες ισχύος κλπ.) όσο αφορά την αντοχή τους σε βραχυκύκλωμα.

<sup>1</sup>Ωμική και επαγωγική.

Όνομαστική ισχύς		250	400	500	630	800	1000	1250	1600
Όνομαστική τάση κενού φορτίου	πρωτεύοντος δευτερεύοντος					15 ή 20 kV			
Λήψεις τάσεως						400 V πολική και 230 V φασική			
Σύνδεση τυλιγμάτων						$\pm 2 \times 2.5\%$			
Απώλειες (W)	κενού φορτίου φορτίου	610 4450	800 6450	1000 7800	1200 9300	1450 11000	1750 13500	2100 16400	2550 19800
Τάση βραχυκύκλωσης %		6	6	6	6	6	6	6	6
Ρεύμα κενού φορτίου		2.1	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3

Πίνακας 3.1: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών λαδιού μέσης τάσης.

Όνομαστική ισχύς [kVA]	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Όνομαστική τάση μόνωσης													
Τάση λειτουργίας													
Όνομαστική τάση μόνωσης													
Συχνότητα													
Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος													
Τάση δευτερεύοντος μεταξύ φάσεων													
Λήψεις μέσης τάσης													
Συνδεσμολογία φάσεων													
Απώλειες (W):													
κενού φορτίου	650	880	1030	1200	1400	1650	2000	2300	2800	3100	4000	5000	6300
φορτίο στους 75°C	2300	3300	4000	4800	5700	6800	8200	9600	11500	14000	17500	20000	23000
φορτίο στους 120°C	2700	3800	4600	5500	6500	7800	9400	11000	13100	16000	20000	23000	26000
Τάση βραχυκύκλωσης (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ρεύμα κενού φορτίου (%)	2.3	2	1.8	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
Ρεύμα ζεύξης ( $I_e/I_n$ )	10.5	10.5	10	10	10	10	10	10	10	10	9.5	9.5	9.5
Διάρκεια (sec)	0.13	0.18	0.20	0.25	0.25	0.26	0.30	0.30	0.35	0.4	0.4	0.5	0.6
Επίπεδο θορύβου/ακουστική ισχύς LWA	62	65	67	68	69	70	72	73	75	76	78	81	81
dB (A) ακουστική πίεση LPA στο 1 m	51	53	55	56	56	57	59	59	61	62	64	66	65

Πίνακας 3.2: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών μέσης τάσης ξηρού τύπου.

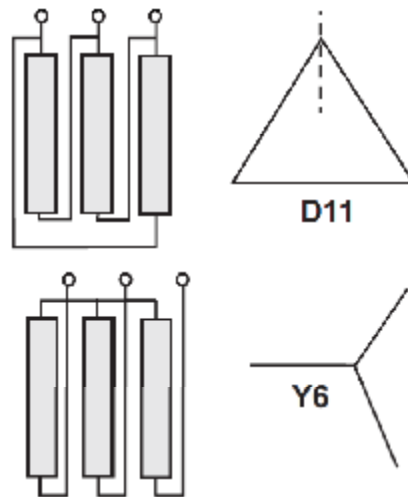
#### ► Προσδιορισμός ισχύος Μ/Σ υποσταθμών μέσης τάσης

Η ισχύς των Μ/Σ που πρόκειται να εγκατασταθούν σε υποσταθμούς μέσης τάσης, προσδιορίζεται με τον συνδιασμό:

- της ολικής εγκατεστημένης ισχύος της κατανάλωσης, με τις προοπτικές της μελλοντικής επέκτασής της,
- του συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης,
- του μέσου συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης.

### 3.3 Συνδεσμολογία τυλιγμάτων μετασχηματιστή ισχύος

Οι συνδεσμολογίες που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ για τα τυλίγματα των Μ/Σ των ιδιωτικών υποσταθμών, είναι τρίγωνο-αστέρας ή αστέρας-τεθλασμένος αστέρας για την υψηλή και χαμηλή τάση αντίστοιχα. Πρέπει να επισημανθεί πως είναι δυνατές και οι άλλες συνδεσμολογίες των Μ/Σ, αλλά μόνο μετά από συννενόηση με το αρμόδιο γραφείο της ΔΕΗ, υπό τον όρο να μην γειώνουν τον ουδέτερο κόμβο αν αυτός βρίσκεται προς την πλευρά της μέσης τάσης. Τέλος, η ΔΕΗ συμβουλεύει τους πελάτες της για τη μέση τάση, να προμηθεύονται Μ/Σ με όρια λόγου τάσης βραχυκύκλωσης στα όρια των Μ/Σ που χρησιμοποιεί και αυτή, και είναι 0.6.



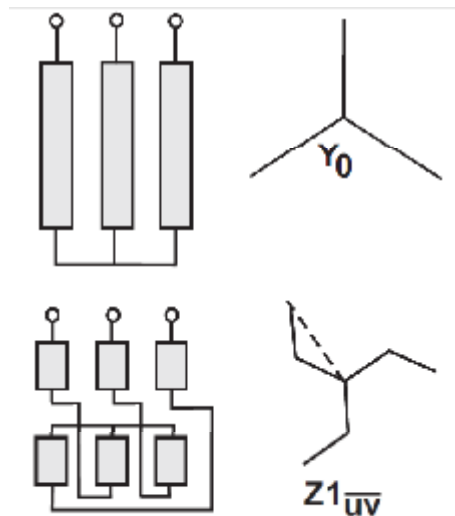
Σχήμα 3.4: Σύνδεση τρίγωνο-αστέρας Dyn<sub>5</sub> και Dyn<sub>11</sub>.

#### Πλεονεκτήματα

- i) Είναι δυνατή η λειτουργία και σε ασύμμετρη φόρτιση.
- ii) Επειδή η πλευρά της ΧΤ διαθέτει ουδέτερο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικτό δίκτυο (π.χ. για φωτισμό και κίνηση).
- iii) Είναι δυνατή η χρησιμοποίησή για ανύψωση τάσης στον σταθμό παραγωγής και για υποβίβαση της τάσης στη διανομή.

#### Μειονεκτήματα

- i) Δεν είναι δυνατή η λειτουργία με βλάβη στη μία φάση.



Σχήμα 3.5: Σύνδεση αστέρας-τεθλασμένος αστέρας  $Yz_{n5}$  και  $Yz_{n11}$ .

#### Πλεονεκτήματα

- i) Είναι δυνατή η λειτουργία και σε ασύμμετρη φόρτιση.
- ii) Επειδή η πλευρά της XT διαθέτει ουδέτερο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικτό δίκτυο (π.χ. για φωτισμό και κίνηση).

#### Μειονεκτήματα

- i) Έχει μεγάλο κόστος λόγω της ιδιαιτερότητας της περιέλιξης του τεθλασμένου αστέρα.

### 3.4 Παραλληλισμός μετασχηματιστών

Για να είναι δυνατός ο παραλληλισμός δύο  $M/\Sigma$ , και να έχουμε μία ομοιόμορφη φόρτιση, δηλαδή οι  $M/\Sigma$  να διαρρέονται από ρεύματα ανάλογα με το μέγεθός τους, πρέπει να πληρούνται οι εξής συνθήκες:

- ⇒ Η σχέση των ισχύων τους να είναι μεταξύ 1/3 και 3.
- ⇒ Οι ονομαστικές τάσεις και οι ρυθμίσεις στην μέση τάση να είναι ίσες. Επιτρέπεται ανοχή μέχρι  $\pm 0.05\%$
- ⇒ Οι ονομαστικές τάσεις βραχυκύκλωσης να είναι ίσες, με ανοχή 10% επί της τάσης βραχυκύκλωσης.
- ⇒ Να έχουν ίδιες συνδεσμολογίες και να συνδεθούν με τους ανάλογους ακροδέκτες U-U, V-V, W-W. Αν δεν είναι ίδιας συνδεσμολογίας, επιτρέπεται ο παραλληλισμός  $M/\Sigma Dy_5$  και  $Dy_{11}$ , όταν συμπίπτουν οι τάσεις τους με κατάλληλη αντιστοίχιση ακροδεκτών.

Πριν γίνει πλήρης παραλληλισμός, πρέπει να ελεγχθεί αν υπάρχουν σφάλματα στη συνδεομολογία. Γι' αυτό συνδέονται οι Μ/Σ στην υψηλή τάση, και με βολτόμετρα γίνεται η μέτρηση των τάσεων μεταξύ των ακροδεκτών που θα συνδεθούν στην χαμηλή τάση. Τα βολτόμετρα πρέπει να δείχνουν το πολύ 0.5% τάση, δηλαδή 0.1 V.

#### ➔ Κατανομή φορτίου σε περίπτωση παραλληλισμού

Εάν οι Μ/Σ που παραλληλίζονται έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού, αλλά διαφορετικές τάσεις βραχυκύκλωσης, η κατανομή του φορτίου γίνεται έτσι ώστε για κάθε Μ/Σ να προκύψει εκείνο το μερικό φορτίο για το οποίο η τάση βραχυκύκλωσης γίνεται ίση για όλους τους Μ/Σ.

Όταν δεν πρέπει να υπερφορτωθεί κανένας από τους παραλληλισμένους Μ/Σ, πρέπει εκείνος με την μικρότερη τάση βραχυκύκλωσης να λειτουργήσει το πολύ με το ονομαστικό του φορτίο. Η κατανομή του φορτίου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_i = P_{ni} \frac{U_{Kmin}}{U_{K_i}}$$

όπου  $P_i$  το φορτίο που κατανέμεται στον  $i$  Μ/Σ,  $P_{ni}$  η ονομαστική ισχύς του  $i$  Μ/Σ,  $U_{K_i}$  η ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης του  $i$  Μ/Σ, και  $U_{Kmin}$  η μικρότερη ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης των  $n$  παραλληλισμένων Μ/Σ.

Τελικά, η συνολική ισχύς των παραλληλισμένων Μ/Σ είναι:

$$\sum_{i=1}^n (P_i) \frac{U_{Kmin}}{U_{K_i}} < \sum_{i=1}^n (P_i)$$

### 3.5 Απώλειες χαλκού και σιδήρου

Ο Μ/Σ έχει συνεχώς, όσο είναι στο δίκτυο, απώλειες, οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μαγνητικές απώλειες
- Ηλεκτρικές απώλειες

Οι μαγνητικές απώλειες οφείλονται στη μαγνητική υστέρηση και τα δινορρεύματα που εμφανίζονται στον σιδερένιο πυρήνα του Μ/Σ. Για αυτό ονομάζονται και απώλειες σιδήρου ( $P_{Fe}$ ) ή απώλειες κενού, διότι απώλειες εμφανίζονται όταν ο Μ/Σ είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο ΜΤ, ανεξάρτητα από το φορτίο που εξυπηρετεί στην πλευρά της ΧΤ.

Οι ηλεκτρικές απώλειες οφείλονται στην ύπαρξη της ωμικής αντίστασης στα χάλκινα τυλίγματα μέσης και χαμηλής τάσης. Οι ηλεκτρικές απώλειες αυξάνονται με το τετράγωνο του ρεύματος ( $P_{cu} = I^2 \cdot R$ ). Ονομάζονται επίσης απώλειες χαλκού και είναι συνάρτηση του φορτίου, δηλαδή όταν ο Μ/Σ λειτουργεί εν κενώ είναι μηδενικές, ενώ σε πλήρη φόρτιση φθάνουν την μέγιστη τιμή τους.



Το σύνολο των απωλειών χαλκού και σιδήρου φθάνει για μικρούς Μ/Σ μέχρι το 5% και για μεγάλους Μ/Σ μέχρι 2.5% του ονομαστικού φορτίου.

Οι απώλειες χαλκού και σιδήρου, έχουν δοθεί στους Πίνακες 3.1 και 3.2 για Μ/Σ λαδιού και χυτορητίνης.

### 3.6 Προστασία μετασχηματιστή

Οι Μ/Σ ισχύος που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς ΜΤ υπόκεινται σε πολλές εξωτερικές ηλεκτρικές καταπονήσεις που προέρχονται από το τμήμα της εγκατάστασης που βρίσκεται:

- από αυτόν και προς τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, ή
- από αυτόν και προς τον καταναλωτή

Οι επιπτώσεις μιας ενδεχόμενης αστοχίας μπορεί να είναι πολύ σημαντικές από άποψη τόσο ζημιών, όσο και διακοπής της τροφοδοσίας. Οι Μ/Σ ισχύος πρέπει να προστατεύονται από τις διαταραχές εξωτερικής προέλευσης και να αποσυνδέονται από το δίκτυο σε περιπτώσεις εσωτερικών σφαλμάτων. Η προστασία των Μ/Σ ισχύος είναι ένας συνδυασμός προληπτικών μέτρων έναντι των αστοχιών (πιθανών σφαλμάτων) που δίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 3.3.

Είδος καταπόνησης	Πιθανές αιτίες	Είδος σφάλματος	Τρόπος εκδήλωσης
<b>Υπερτάσεις</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κεραυνικό πλήγμα σε κοντινή απόσταση</li> <li>• Χειρισμοί του δικτύου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των σπειρών</li> <li>• Ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ τυλιγματος και πυρήνα/δοχείου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έκλυση αερίου ή καπνού</li> <li>• Μικρή αύξηση του ρεύματος φάσης</li> <li>• Ρεύμα προς τη γη</li> </ul>
<b>Ασθενείς υπερεντάσεις</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υπέρταση</li> <li>• Επαγόμενο σφάλμα στο δίκτυο χαμηλής τάσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καταστροφή τυλιγμάτων στα πιο θερμά σημεία τους, από βραχυκύκλωση των σπειρών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έκλυση αερίου ή καπνού</li> <li>• Μικρή αύξηση του ρεύματος φάσης</li> </ul>
<b>Ισχυρές υπερεντάσεις (Βραχυκυκλώματα)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σφάλμα στη χαμηλή τάση σε κοντινή απόσταση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καταστροφή τυλιγμάτων στα πιο θερμά σημεία τους, από βραχυκύκλωση των σπειρών και μετατόπιση των πηνίων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Γρήγορη και τυχαία εξέλιξη σφάλματος μεταξύ των τυλιγμάτων</li> </ul>
<b>Γήρανση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συσσώρευση των επιπτώσεων των προηγούμενων καταπονήσεων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των σπειρών μέσης τάσης</li> <li>• Πιθανή εξέλιξη σφάλματος προς τη γη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έκλυση αερίου ή καπνού</li> <li>• Μικρή αύξηση του ρεύματος φάσης</li> <li>• Ρεύμα προς τη γη</li> </ul>

Πίνακας 3.3: Πιθανά σφάλματα μετασχηματιστών ισχύος και οι επιπτώσεις τους.

### 3.6.1 Προστασία σε βραχυκύκλωμα

Η κατάσταση του βραχυκυκλώματος ενός Μ/Σ ισχύος μέσης τάσης συμβαίνει όταν υπάρχει ένταση ρεύματος προς την πλευρά του καταναλωτή με τιμή πολύ μεγαλύτερη της ονομαστικής. Οι Μ/Σ αντέχουν χωρίς βλάβες ή άλλα μειονεκτήματα σε ρεύματα βραχυκυκλωμάτων για 2-3 sec και μάλιστα όταν το βραχυκύκλωμα γίνεται στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος, οπότε τα ρεύματα είναι 16 μέχρι 25 φορές μεγαλύτερα του ονομαστικού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4.

Ισχύς μετασχηματιστή (kVA)	Λόγος τάσης βραχυκύκλωσης (%)	Μέγιστος χρόνος βραχυκύκλωσης (s)	Λόγος κρουστικού ρεύματος βραχυκύκλωσης και ονομαστικού ρεύματος $I_K/I_N$
μέχρι 630	4	2	25
630 - 1250	5	3	20
1250 - 1500	6.25	4	16

Πίνακας 3.4: Μέγιστα ρεύματα βραχυκύκλωσης μετασχηματιστών.

Τα σφάλματα που συμβαίνουν πολύ κοντά στον Μ/Σ αποτελούν μία σημαντική καταπόνηση και αντιμετωπίζονται με την προστασία της πλευράς της χαμηλής τάσης με ασφάλειες ή αυτόματους διακόπτες ή της μέσης τάσης προς τη πλευρά των μονάδων ηλεκτροδότησης στην περίπτωση σφάλματος των συσκευών προστασίας της χαμηλής τάσης.

Γενικά, οι καταστάσεις βραχυκυκλωμάτων προς τη πλευρά της ΧΤ των Μ/Σ ισχύος εκδηλώνονται ως:

- ➡ **Θερμικές καταπονήσεις**, οι οποίες είναι συνάρτηση της τιμής και της διάρκειας του σφάλματος
- ➡ **Μηχανικές καταπονήσεις**, οι οποίες είναι συνάρτηση των ηλεκτροδυναμικών φαινομένων κυρίως κατά την εμφάνιση του σφάλματος.

Οι Μ/Σ ισχύος έχουν τέτοια σχεδίαση η οποία επιτρέπει την αντοχή τους σε δοκιμασίες βραχυκυκλωμάτων στους ακροδέκτες τους, γεγονός που αντιστοιχεί στην δυσμενέστερη περίπτωση που μπορεί να προκύψει κατά τη λειτουργία τους. Όμως, η επανάληψη σφαλμάτων μπορεί να έχει ουσωρευτική επίδραση, για παράδειγμα στην μετατόπιση των περιελίξεών του, με αποτέλεσμα την πρόωγη γήρανση του Μ/Σ. Από τα παραπάνω είναι προφανές πως η διάρκεια των σφαλμάτων βραχυκύκλωσης πρέπει να περιορίζεται, γιατί σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του Μ/Σ, κυρίως λόγω του θερμικού φαινομένου. Ως μέσο προστασίας χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες σκόνης (συνήθως) ή οι διακόπτες ισχύος (σπανιότερα).

### 3.6.2 Προστασία σε υπερφόρτιση

Η κατάσταση της υπερφόρτισης ενός Μ/Σ ισχύος μέσης τάσης, συμβαίνει όταν υπάρχει ένταση ρεύματος λειτουργίας με τιμή μεγαλύτερη από την ονομαστική. Η υπερφόρτιση είναι μία μεταβατική κατάσταση για τη λειτουργία των Μ/Σ. Η θερμική αδράνεια των Μ/Σ λαδιού, επιτρέπει σ' αυτούς αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, που όσο μειώνεται η χρονική διάρκεια της υπερφόρτισης, τόσο αυξάνεται το ποσοστό της υπερφόρτισης. Οι επιτρεπόμενες εντάσεις των ρευμάτων υπερφόρτισης ποικίλλουν και εξαρτώνται από το είδος της φόρτισης του τριφασικού δικτύου, δηλαδή αν η φόρτιση είναι συμμετρική ή όχι.

Η προστασία σε παρατεταμένη συνεχή υπερφόρτιση, πραγματοποιείται με χρήση θερμομέτρων λαδιού που τοποθετούνται σε εμφανή σημεία της κατασκευής ή θερμίστορες οι οποίοι είναι εμφυτευμένοι στα τυλίγματα χαμηλής τάσης του Μ/Σ κατά την διαδικασία περιέλιξής τους, και τοποθετούνται σε ειδικές θήκες ώστε να υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασής τους.

Ακόμα, χρησιμοποιούνται αυτόματοι, ΔΙ στη χαμηλή τάση ή και ασφάλειες που σκοπό έχουν να περιορίσουν την υπερφόρτιση. Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται μέχρι 400 Α, έχουν την ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος και είναι τύπου ΝΗ (HRC). Οι αυτόματοι ρυθμίζονται στην ονομαστική ένταση του Μ/Σ.

Τα θερμομέτρα λαδιού παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη των 100 °C. Μπορεί να έχουμε σε υπερθερμοκρασίες, π.χ. στους 80 °C, μία οπτική ή ακουστική σήμανση, και σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες, π.χ. στους 90 °C, να έχουμε απόζευξη του Μ/Σ. Έτσι, σε κάθε θερμομέτρο υπάρχουν συνήθως δύο οριακοί δείκτες, ο μπλε για σήμανση και ο κόκκινος για απόζευξη.

Ο σωστότερος τρόπος είναι η παρακολούθηση της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων με θερμίστορες. Συνήθως, ακόμα και σε μεγάλους Μ/Σ, π.χ. 630 kVA, αρκούμαστε στη χρήση θερμομέτρων λαδιού.

### 3.6.3 Προστασία σε εσωτερικά σφάλματα

Τα εσωτερικά σφάλματα που είναι πιθανό να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία των Μ/Σ, αφορούν σε βλάβες από κακές επαφές, διηλεκτρικές καταπονήσεις, μικρές διαρροές λαδιού, έκλυση αερίου (φυσαλίδες) στο λάδι κλπ., που γενικά δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές με οπτικό έλεγχο.

Η προστασία των σφαλμάτων αυτών στους Μ/Σ ισχύος άνω των 315 kVA, επιτυγχάνεται με τη χρήση **ηλεκτρονόμων Buchholz**. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz τοποθετείται στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο του Μ/Σ με το δοχείο διαστολής, και διαθέτει ξεχωριστές επαφές για σήμανση κινδύνου (alarm) και απόζευξη (tripping).

Ο ηλεκτρονόμος Buchholz δίνει εντολές όταν ανιχνεύσει:

⇨ Συγκέντρωση φυσαλίδων. Όταν ο όγκος του αερίου ξεπεράσει κάποιο όριο, δίνει αρχικά εντολή σήμανσης κινδύνου, και αν ο όγκος εξακολουθεί να αυξάνει δίνει εντολή απόξευξης.

⇨ Έντονη ροή λαδιού στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του Μ/Σ. Τότε δίνει αμέσως εντολή απόξευξης.

⇨ Την πτώση της στάθμης του λαδιού, λόγω διαρροής. Όταν η στάθμη του λαδιού κατεβαίνει κάτω από το επιτρεπτό όριο, δίνει αρχικά σήμανση κινδύνου. Αν η στάθμη εξακολουθεί να κατεβαίνει και πέσει κάτω από το όριο ασφαλείας, τότε δίνει εντολή απόξευξης.

Η ανίχνευση του σφάλματος, προφανώς δεν διορθώνει το πρόβλημα, αλλά μας προειδοποιεί να σταματήσουμε αμέσως τον Μ/Σ, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος ζημιάς. Πρακτικά, η απόξευξη με HN Buchholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και ενδεχομένως να επισκευαστεί.

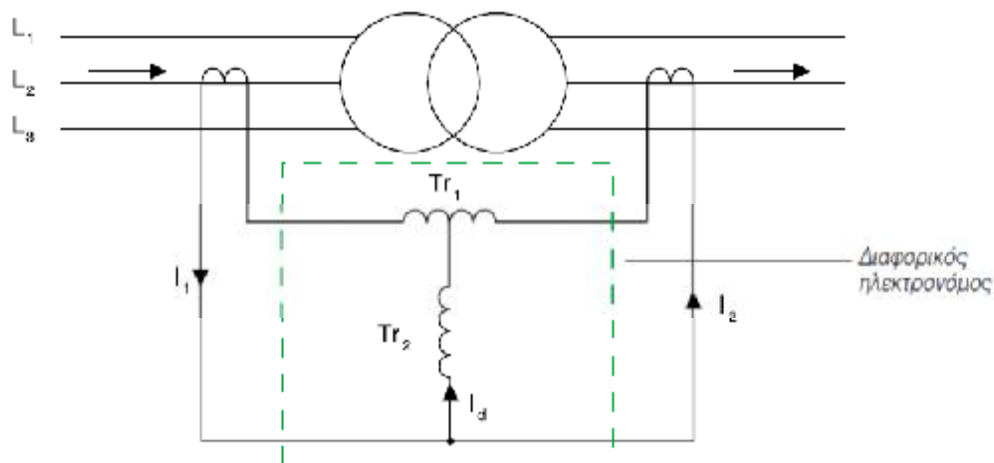


Σχήμα 3.6: Ηλεκτρονόμος Buchholz.

### 3.6.4 Διαφορική προστασία

Ένας σχετικά ακριβός τρόπος προστασίας των Μ/Σ ισχύος, με ισχύ πάνω από 1250 kVA, των ΥΣ μέσης τάσης, είναι η διαφορική προστασία. Στη διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των εντάσεων των ρευμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος τυλίγματος. Στη περίπτωση αυτή απαιτούνται τρεις Μ/Σ ρευμάτων για την πλευρά της μέσης τάσης, και τρεις για την πλευρά της χαμηλής τάσης, με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται η διαδοχή των φάσεων. Έτσι, σε περίπτωση μη μηδενικής φασικής απόκλισης, ενεργοποιείται μέσω ΗΝ, ο διακόπτης ισχύος της μέσης τάσης. Τα σφάλματα που διεγείρουν το σύστημα της διαφορικής προστασίας είναι:

- τριφασικά
- διφασικά
- γης
- τύλιγμα - τύλιγμα
- βραχυκύκλωμα σπειρών



Σχήμα 3.7: Αρχή λειτουργίας διαφορικής προστασίας μετασχηματιστή ισχύος. Εδώ, για λόγους απλοποίησης έχουν σχεδιαστεί δύο από τους έξι μετασχηματιστές έντασης.

## 3.7 Μετασχηματιστές οργάνων

Οι Μ/Σ οργάνων ή Μ/Σ μέτρησης χρησιμοποιούνται για να αποξεύξουμε γαλβανικά και να απομονώσουμε τα όργανα μέτρησης τάσης, έντασης, ισχύος κλπ. από το δίκτυο μέσης τάσης. Τα όργανα μέτρησης που διαθέτουμε είναι κατασκευασμένα να λειτουργούν με τάση όχι μεγαλύτερη των 1000 V , ενώ η πολική τάση των δικτύων ΜΤ είναι 20000 V. Σε περίπτωση που εισέλθει στα όργανα μεγαλύτερη τάση, τότε καταστρέφεται η μόνωση τους, με αποτέλεσμα να αχρηστεύεται το όργανο και να είναι επικίνδυνο για τον χειριστή. Έτσι τα όργανα μέτρησης συνδέονται μέσω Μ/Σ μέτρησης.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των Μ/Σ μέτρησης σε σχέση με άλλες γνωστές διατάξεις μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών (καταμεριστές τάσης ή έντασης) είναι η πολύ μικρότερη κατανάλωση ισχύος και η επίτευξη ηλεκτρικής απομόνωσης του κυκλώματος μέτρησης από το κύκλωμα υψηλής τάσης, αφού έχουμε μόνο μαγνητική σύζευξη των παραπάνω δύο κυκλωμάτων, και όχι ηλεκτρική. Έτσι μπορούμε να τοποθετήσουμε τα όργανα μέτρησης μέσα σε θαλάμους χειρισμών, μακριά από το χώρο που βρίσκεται το μετρούμενο μέγεθος, χωρίς το προσωπικό να διατρέχει κινδύνους σε μια ενδεχόμενη βλάβη της διάταξης. Οι Μ/Σ μέτρησης είναι όμοιοι με τους γνωστούς Μ/Σ, δηλαδή αποτελούνται από έναν πυρήνα σιδηρομαγνητικού υλικού καθώς και από το πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα, τα οποία είναι ηλεκτρικά μονωμένα μεταξύ τους αλλά μαγνητικά συζευγμένα. Συνήθως τα πηνία είναι ηλεκτρικά μονωμένα από τον πυρήνα, πολλές φορές όμως για λόγους ασφαλείας, ένας ακροδέκτης κάθε τυλίγματος συνδέεται με το ακροκίβωτιο του Μ/Σ, το οποίο γειώνεται.

### 3.7.1 Μετασχηματιστές τάσης

Οι Μ/Σ τάσης προδιαγράφονται στους κανονισμούς VDE 0414 που είναι εναρμονισμένοι με τους IEC 186 .

Οι Μ/Σ τάσης χρησιμοποιούνται :

- προς την πλευρά των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, κυρίως για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας και της ισχύος,
- προς την πλευρά του καταναλωτή όταν ζητηθεί η μέτρηση της ΥΤ στους ζυγούς.

Η τιμή της τάσης που πρόκειται να μετρηθεί, προκύπτει από το γινόμενο της ένδειξης του βολτομέτρου ( $U_2$ ) επί τον λόγο μεταφοράς ( $K$ ) του Μ/Σ.

$$U_1 = K \cdot U_2$$

Οι Μ/Σ τάσης με μονωτικό λάδι ασφαρίζονται στο πρωτεύον και στο δευτερεύον με ασφάλειες 6Α και 10Α αντίστοιχα. Αυτό γίνεται για προστασία σε βραχυκυκλώματα. Μ/Σ τάσης με στερεά μόνωση (εποξειδικές ρητίνες) δεν ασφαρίζονται στην υψηλή τάση, γιατί δεν υπάρχει φόβος να εκραγούν. Το τύλιγμα γης χρησιμοποιείται και για προστασία του Μ/Σ τάσης σε υποαρμονικές, συχνότητας κάτω των 50 Hz . Αυτή η προστασία είναι δοσμένη αν συνδεθεί στο ανοιχτό τρίγωνο αντίσταση  $47 \Omega \geq 220 W$  , που έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει την ροή στο σίδηρο.

Όλα τα όργανα συνδέονται παράλληλα στους πόλους του Μ/Σ τάσης. Μπορεί ο Μ/Σ τάσης να υπερφορτιστεί με ισχύ πάνω από την ονομαστική του  $S_r$  και μέχρι τη μέγιστη ισχύ του  $S_{max}$ , όμως η ακρίβειά του μειώνεται. Για να ισχύσει η ακρίβεια της κλάσης του Μ/Σ πρέπει να μην υπερβούμε την ονομαστική ισχύ του, δηλαδή η συνισταμένη αντίσταση του φορτίου να είναι μεγαλύτερη του ονομαστικού φορτίου  $Z_0$ .

Βασικό μέγεθος	Χαρακτηριστική τιμή μεγέθους
Ονομαστική τάση	20 kV και 20% μεγαλύτερη
Ονομαστική ισχύς ( $S_N$ )	30-300 VA
Κλάση ακρίβειας	1% ή 3%
Μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς	$S_{max}$ [VA]
Τάση δευτερεύοντος	100 V ή 200 V όταν υπάρχουν γραμμές σύνδεσης 50 m
Ονομαστικό φορτίο	$Z_0 = U_2^2 / S_N = 100^2 / S_N$ [W]

Πίνακας 3.5: Βασικά χαρακτηριστικά Μ/Σ τάσης για υποσταθμούς 20 kV.

Μ/Σ τάσης υπάρχουν για δύο πλήρως μονωμένους πόλους, δηλαδή για πολικές τάσεις 20 kV ή ένα πλήρως μονωμένο πόλο για φασικές τάσεις  $20/\sqrt{3}$ . Το δευτερεύον για φασικές τάσεις είναι  $100/\sqrt{3}$  ή  $110/\sqrt{3}$ , ενώ για πολικές τάσεις είναι 100 ή 110 V.

Υπάρχουν ένα ή δύο δευτερεύοντα τυλίγματα, το ένα για μέτρηση και το άλλο για ανίχνευση σφαλμάτων γης. Κατά IEC και VDE οι πόλοι χαρακτηρίζονται ως εξής:

<b>ΥΤ</b>	Πολικές τάσεις	AB ή UV
	Φασικές τάσεις	AN ή UX
<b>ΧΤ</b>	Πολικές τάσεις	ab ή uv
	Φασικές τάσεις	an ή ux
<b>Τύλιγμα γης</b>		du, dn ή e, n

Πίνακας 3.6: Χαρακτηρισμός πόλων μετασχηματιστών μετρήσεων.

### 3.7.2 Μετασηματιστές έντασης

Οι Μ/Σ έντασης χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς της ΔΕΗ:

- προς την πλευρά των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, κυρίως για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας και της ισχύος,
- προς την πλευρά των καταναλωτών στη διαφορική προστασία (σύγκριση ρευμάτων) και στη περίπτωση ύπαρξης διακόπτη ισχύος.

Η τιμή της έντασης που πρόκειται να μετρηθεί, προκύπτει από το γινόμενο της ένδειξης του αμπερομέτρου ( $I_2$ ) επί τον λόγο μεταφοράς ( $K$ ) του Μ/Σ.

$$I_1 = K \cdot I_2$$

Οι Μ/Σ έντασης κατασκευάζονται και με περισσότερα του ενός δευτερεύοντος. Κάθε δευτερεύον έχει τον δικό του πυρήνα. Μπορεί σ' ένα Μ/Σ να συνυπάρχουν πυρήνες μέτρησης και πυρήνες προστασίας. Κατασκευάζονται επίσης για δύο ρεύματα πρωτεύοντος, το  $I_{pn}$  και  $2 \cdot I_{pn}$ , όπου ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, αλλάζουμε το ρεύματος πρωτεύοντος.

Ονομαστική τάση	20 kV και 20% μεγαλύτερη
Ονομαστική ισχύς ( $S_N$ )	30-300 VA
Κλάση ακρίβειας	1% ή 3%
Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος	5, ...100 A
Θερμικό οριακό ρεύμα $I_{th}$	16 kA για 1s
Δυναμικό οριακό ρεύμα $I_{dyn}$	40 kA ( $I_{dyn} = 2.5 \cdot I_{th}$ )
Ένταση ρεύματος δευτερεύοντος	5A ή 1A όταν οι συνδέσεις έχουν απόσταση > 50 m
Ονομαστικό φορτίο	$Z_0 = S_N / I_2^2$ [W]

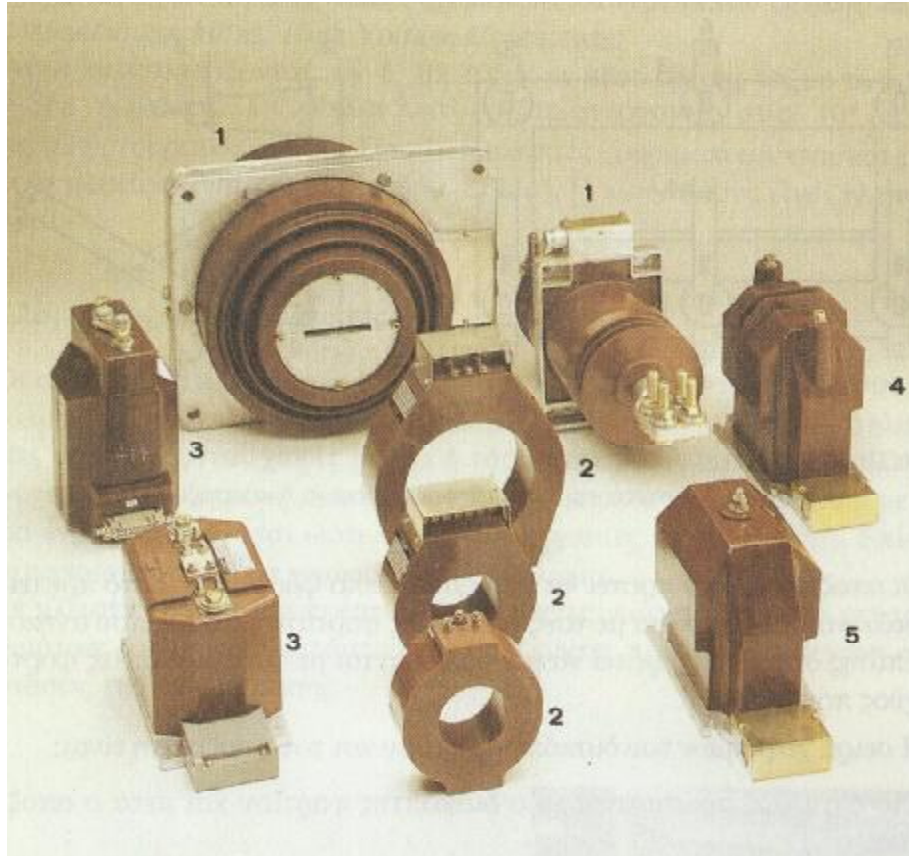
Πίνακας 3.7: Βασικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ρεύματος μέσης τάσης για υποσταθμούς 20 kV.

#### Υπερφόρτιση Μ/Σ έντασης

Οι Μ/Σ μέτρησης έντασης μπορούν να υπερφορτιστούν διαρκώς μέχρι 20%, ενώ σε ειδικές κατασκευές μέχρι 100%. Αυτές οι κατασκευές ονομάζονται Μ/Σ μεγάλης περιτοχής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις πρέπει κανείς να συμβουλευτεί τον κατασκευαστή. Οι Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιούνται για προστασία, συνδέονται σύμφωνα με τις οδηγίες



του κατασκευαστή στον HN ή κατά αστέρα για HN-φάσεις ή σε αθροιστική σύνδεση για HN-γης. Οι Μ/Σ αυτοί προφανώς αντέχουν στα υψηλά ρεύματα σφαλμάτων.



Σχήμα 3.8: **1.** Μ/Σ ρεύματος διέλευσης **2.** Μ/Σ ρεύματος για καλώδια **3.** Μ/Σ ρεύματος με δύο προτεύοντα **4.** Μ/Σ τάσης δύο πόλων A-B, U-V **5.** Μ/Σ τάσης ενός πόλου A-N, U-X

## Κεφάλαιο 4

# Τυποποιημένες παροχές Μέσης Τάσης

Η ΔΕΗ έχει τυποποιήσει τέσσερις τύπους παροχών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1. Εάν η στεγασμένη παροχή Β προέρχεται από καλωδιακό δίκτυο, τότε φέρει και το γράμμα Κ (π.χ. Β2Κ).

Τροφοδοσία από το δίκτυο Μ.Τ. της ΔΕΗ	Τοποθέτηση της διάταξης μέτρησης ΗΕ	Χαρακτηρισμός παροχής από την ΔΕΗ	Υποδιαίρεση χαρακτηρισμού	Ισχύς Υποσταθμού καταναλωτή [KVA]
<b>ΕΝΑΕΡΙΑ</b>	<b>Εξωτερικά</b> , σε στύλο μέσα στο οικόπεδο του καταναλωτή	<b>A</b>	<b>A1</b> <b>A2</b>	135 μέχρι 630 > 630
<b>ΥΠΟΓΕΙΑ</b>	<b>Εσωτερικά</b> , σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο που ανήκει στον ιδιώτη	<b>B</b>	<b>B1</b> <b>B2</b>	135 μέχρι 630 > 630

Πίνακας 4.1: Παροχές Μέσης Τάσης.

Η φιλοσοφία του διαχωρισμού σε τέσσερις τύπους είναι η κατά το δυνατόν απλούστευση των παροχών και η μείωση του κοστολογίου αυτών. Οι υπαίθριες εγκαταστάσεις όπου αυτές επιτρέπονται λόγω περιβάλλοντος, είναι φθηνότερες από τις στεγασμένες. Μικρές ισχύες μπορεί να προστατευθούν με ασφάλειες που είναι κατά πολύ φθηνότερες από τους ΔΙ. Όμως επειδή πρέπει να συνεργάζονται με τους ΗΝ-γης, το μέγεθος τους είναι περιορισμένο στα 40...50 Α.

Κάθε παροχή αποτελείται από την εγκατάσταση της ΔΕΗ και την εγκατάσταση του καταναλωτή. Η ΔΕΗ εγκαθιστά σε κάθε σημείο παροχής ΜΤ μέσα προστασίας, απόζευξης και μέτρησης. Αυτή η εγκατάσταση μπορεί να είναι υπαίθρια πάνω σε στύλο και χαρακτηρίζεται με το γράμμα Α. Εναλλακτικά μπορεί να είναι σε στεγασμένο χώρο και

χαρακτηρίζεται με το γράμμα Β. Η εγκατάσταση του καταναλωτή αποτελείται από Μ/Σ, τα μέσα ζεύξης και προστασίας ΜΤ, και από την εγκατάσταση του κεντρικού πίνακα ΧΤ.

Το είδος της παροχής που επιλέγεται από τη ΔΕΗ για την ηλεκτροδότηση ενός καταναλωτή ΜΤ, εξαρτάται από:

- τη δομή και την τάση του δικτύου της μέσης τάσης από το οποίο πρόκειται να τροφοδοτηθεί ο καταναλωτής,
- τη σύνθεση του υποσταθμού του καταναλωτή,
- τη συμφωνημένη ισχύ του καταναλωτή,
- τις άλλες ειδικές συνθήκες που τυχόν να ζητήσει ο καταναλωτής.

Τέλος, ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να γνωστοποιήσει στη ΔΕΗ τις προβλέψεις του για μελλοντική επέκταση, γιατί οι εκ των υστέρων αλλαγές στις εγκαταστάσεις της μέσης τάσης του, πιθανόν να απαιτούν και αλλαγές στον τύπο παροχής.

## 4.1 Παροχή Α1

Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο ΜΤ και είναι απλούστερη σε διατάξεις. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, δηλαδή ασφαλειοδιακόπτες, ΜΣ μέτρησης έντασης και τάσης, είναι πάνω σε στύλο, δηλαδή υπαίθρια. Οι μετρητές τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Ενδεχομένως υπάρχουν και αλεξικέραυνα σε κεραυνόπληκτες περιοχές.

Η ΔΕΗ εξασφαλίζει την παροχή με ασφαλειοαποζεύκτες, με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης μέχρι 30 A (30T AZ). Η ασφάλεια 30 A είναι η μέγιστη που μπορεί να συνεργαστεί με τους ΗΝ της ΔΕΗ. Από το στύλο αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον υποσταθμό του καταναλωτή, την οποία κατασκευάζει ο καταναλωτής.

Ο καταναλωτής μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους κλάδους με δική τους προστασία. Η προστασία κάθε κλάδου γίνεται με ασφάλεια σκόνης ονομαστικής έντασης μέχρι 40 A, ή ασφάλεια ταχείας τήξης Κ40 A για εξωτερικούς υποσταθμούς (πράγμα σπάνιο). Αυτές οι ασφάλειες αρκούν για μετασχηματιστές μέχρι 630 kVA. Για μικρότερες ισχύεις μετασχηματιστών, εγκαθίστανται αντίστοιχα μικρότερες ασφάλειες.

Κάθε κλάδος έχει έναν ή περισσότερους παραλληλισμένους Μ/Σ και είναι αποζεύξιμος με διακόπτη φορτίου. Ο διακόπτης φορτίου πρέπει να συνοδεύεται και από έναν αποζεύκτη, αν δεν έχει ορατές επαφές. Οι παραλληλισμένοι Μ/Σ είναι συνδεδεμένοι μόνιμα ή μέσω αποζευκτών στην ΥΤ και ΧΤ, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η απομόνωση του ενός, αν αυτός ενδεχομένως υποστεί βλάβη.

Η παροχή A1 μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

- Ένας κλάδος με έναν ή περισσότερους Μ/Σ παράλληλα συνδεδεμένους. Η μέγιστη ισχύς διέλευσης του κλάδου είναι 630 kVA.
- Δύο (ή περισσότεροι) κλάδοι ενωμένοι στην ΧΤ.

Κάθε κλάδος ασφαρίζεται με ασφάλειες σκόνης μέγιστης ονομαστικής έντασης 40 Α. Εδώ πρέπει να ελεγχθεί η επιλεκτικότητα των μέσων προστασίας σε βραχυκυκλώματα στους ζυγούς της ΧΤ. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης διακλαδίζεται αν υπάρχουν παράλληλοι κλάδοι. Έτσι, το μέσο προστασίας του καταναλωτή διαρρέεται από μικρότερο ρεύμα απ' ότι η ασφάλεια της ΔΕΗ.

Επιτρέπεται επίσης στην άφιξη του καλωδίου στους ζυγούς της ΜΤ, να τεθεί ένα γενικό μέσο προστασίας, π.χ. διακόπτης ισχύος. Τότε το γενικό μέσο προστασίας θα συνεργάζεται με την ασφάλεια της ΔΕΗ. Πρέπει οπωσδήποτε στην περίπτωση δύο ή περισσότερων κλάδων να εγκατασταθεί τουλάχιστον ένας αποζεύκτης στην άφιξη του καλωδίου στους ζυγούς. Αυτό γίνεται ώστε να υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης των ζυγών.

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στη ΧΤ, το ρεύμα του κλάδου είναι ίσο με το ρεύμα της ασφάλειας της ΔΕΗ. Το βραχυκύκλωμα τροφοδοτείται μόνο από τον έναν κλάδο. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς, αλλά και η ισχύς του υποσταθμού είναι 630 kVA.

Αντί ασφαλειών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διακόπτης ισχύος με ηλεκτρονόμους και μετασχηματιστές έντασης. Οι ΔΙ πρέπει να φέρουν στοιχεία καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας. Το ρεύμα ρύθμισης του στοιχείου στιγμιαίας λειτουργίας, είναι 3-8 φορές το ρεύμα ρύθμισης του στοιχείου χρονικής καθυστέρησης. Παρόλα αυτά συνιστάται η προστασία να γίνεται με ασφάλειες σκόνης γιατί συνεργάζονται καλύτερα με την ασφάλεια της ΔΕΗ και γιατί μειώνουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

## 4.2 Παροχή A2

Η παροχή A2 διαφέρει από την A1 στο ότι η προστασία γίνεται όχι με ασφαλειοαποζεύκτη, αλλά με διακόπτη απομόνωσης. Συνεπώς, οι ηλεκτρονόμοι που διεγείρονται σε περίπτωση σφάλματος, είναι αυτοί της αναχώρησης της γραμμής, οι οποίοι με την σειρά τους διεγείρουν του διακόπτες ισχύος της γραμμής.

### ➔ Η εγκατάσταση της ΔΕΗ.

Ο αποζεύκτης και ο διακόπτης απομόνωσης (sectionalizer), οι Μ/Σ μέτρησης τάσης και έντασης, καθώς και ενδεχομένως αλεξικέραυνα, εγκαθίστανται πάνω σε στύλο. Οι μετρητές τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο.

### ➔ Η εγκατάσταση του καταναλωτή.

Ο καταναλωτής εγκαθιστά πλαστικό καλώδιο (πολυαιθυλενίου) από τον στύλο της ΔΕΗ μέχρι τον πίνακα μέσης τάσης. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους κλάδους με ίδια μέσα προστασίας όπως στην παροχή A1.

Η προστασία κάθε κλάδου μπορεί να γίνει με ασφάλειες σκόνης ή με διακόπτες ισχύος και ηλεκτρονόμους. Αυτά τα μέσα προστασία πρέπει να συνεργάζονται με τους ΗΝ αναχώρησης της γραμμής. Η προστασία κάθε κλάδου εξαρτάται από τους ΗΝ αναχώρησης της γραμμής. Πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχει συνεργασία του μέσου προστασίας του καταναλωτή με τους ΗΝ γης της ΔΕΗ. Έτσι προστασία του καταναλωτή με ασφάλειες επιτρέπεται μόνο αν αυτές έχουν χαρακτηριστικές που συνεργάζονται με τους ΗΝ γης της ΔΕΗ.

Στα δίκτυα 15kV ή 20kV με ΗΝ γης αντίστροφου ή εξαιρετικά αντίστροφου χρόνου, η μέγιστη επιτρεπτή ονομαστική ένταση των ασφαλειών σκόνης που εγκαθίστανται είναι 50 A, και προστατεύουν ΜΣ μέχρι 800 kVA. Επιτρέπεται η εγκατάσταση ΔΙ, του οποίου οι ηλεκτρονόμοι πρέπει να συνεργάζονται επιλογικά με τους ηλεκτρονόμους και τους ΔΙ της αναχώρησης της γραμμής. Δεν είναι απαραίτητα η εγκατάσταση ΗΝ προστασίας σε σφάλματα γης όταν οι ΗΝ φάσεων συνεργάζονται επιλογικά με τους ΗΝ του διακόπτη ισχύος της γραμμής αναχώρησης. Αυτό συμβαίνει όταν π.χ. ο ΔΙ του καταναλωτή περιλαμβάνει ΗΝ σταθερού χρόνου με ρύθμιση 100 A και χρόνο 0.6 sec, και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας 400 A. Η ρύθμιση αυτή παρέχει προστασία και επιτρέπει την ζεύξη Μ/Σ ισχύος 1000kVA στα 15kV και Μ/Σ ισχύος 1250kVA στα 20kV.

Σε δίκτυα 20kV με ΗΝ σταθερού χρόνου, με ρύθμιση 160 A σε χρόνο 1 sec, η μέγιστη επιτρεπτή ένταση των ασφαλειών σκόνης είναι 40 A. Επιτρέπεται η εγκατάσταση ΔΙ, του οποίου οι ηλεκτρονόμοι θα συνεργάζονται επιλογικά με τους ηλεκτρονόμους του ΔΙ της αναχώρησης της γραμμής. Δεν απαιτείται η εγκατάσταση ΗΝ γης, εάν η ρύθμιση των ΗΝ φάσεων του ΔΙ του καταναλωτή είναι 120 A σε χρόνο 0.6 sec.

### 4.3 Παροχή B1

Η παροχή B1 εγκαθίσταται σε καταναλωτές μικρής ισχύος όταν αυτοί τροφοδοτούνται από εναέρια ή υπόγεια δίκτυα και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού χώρου. Ο καταναλωτής σε αυτή την παροχή έχει μόνο έναν κλάδο με μέσα προστασίας. Ο κλάδος μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους παράλληλους Μ/Σ. Αν χρειάζονται περισσότεροι του ενός κλάδοι με ίδια προστασία, κατασκευάζεται η παροχή B2.

#### ➔ Η εγκατάσταση της ΔΕΗ.

Η εγκατάσταση γίνεται σε χώρο διαμορφωμένο κατάλληλα από τον καταναλωτή, σύμφωνα με οδηγίες που έχει εκδώσει η ΔΕΗ. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται κατά κανόνα ακτινικά, αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο, ή βροχοειδώς, αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στη βροχοειδή σύνδεση έχουμε δύο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο της παροχής οδηγεί στον επόμενο καταναλωτή.

Η ΔΕΗ εγκαθιστά γενικά προκατασκευασμένους πίνακες που περιλαμβάνουν σαν μέσο ζεύξης και προστασίας διακόπτη φορτίου με ασφάλειες σκόνης. Για τη μέτρηση χρησιμοποιούνται Μ/Σ μέτρησης από τους οποίους ο Μ/Σ τάσης προστατεύεται με ασφάλειες

οκόνης. Ο καταναλωτής επιτρέπεται να χειρίζεται τον διακόπτη φορτίου, αλλά όχι να επεμβαίνει μέσα στην κυψέλη της ΔΕΗ. Έτσι, ο καταναλωτής μπορεί να θέσει τους ζυγούς του χωρίς τάση χωρίς να καλέσει την ΔΕΗ. Αν ο διακόπτης φορτίου της ΔΕΗ έχει ορατές επαφές, τότε ακολούθως, αφού γειωθούν τα στοιχεία του ΥΣ, μπορεί να εκτελεστούν εργασίες στον ΥΣ του καταναλωτή.

Οι ασφάλειες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου σκόνης, επειδή ο χώρος είναι εσωτερικός. Η μέγιστη ονομαστική ένταση της ασφάλειας καθορίζεται από τη συνεργασία της με τους ΗΝ γης της αναχώρησης της γραμμής. Οι ρυθμίσεις είναι 80 A,  $k=0.7$  για ΗΝ ισχυρά αντίστροφου χρόνου και 160 A - 1 sec για ΗΝ σταθερού χρόνου.

#### ➔ **Η εγκατάσταση του καταναλωτή.**

Δεν απαιτείται μέσο προστασίας στην εγκατάσταση του καταναλωτή στη ΜΤ. Ο καταναλωτής όμως πρέπει να βάλει γενικό μέσο απόξευξης εφ' όσον ο διακόπτης φορτίου της ΔΕΗ δεν έχει ορατές επαφές.

Στην πλευρά της ΧΤ επιβάλλεται ένα γενικό μέσο προστασίας που συνεργάζεται με την ασφάλεια σκόνης της ΔΕΗ. Επιτρέπεται να εγκατασταθούν ασφάλειες ονομαστικής έντασης 400 A το ανώτερο. Από 400 A και πάνω χρησιμοποιούνται αυτόματοι διακόπτες ισχύος, που περιέχουν και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Η ασφάλεια των 400 A αντιστοιχεί σε Μ/Σ ισχύος 250 kVA. Στην περίπτωση εγκατάστασης ΔΙ, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς του Μ/Σ είναι 1250 kVA. Όταν ο καταναλωτής έχει ισχύ μεγαλύτερη των 1250 kVA ή έχει πάνω από έναν κλάδο, κατασκευάζεται παροχή τύπου Β2.

## **4.4 Παροχή Β2**

Η παροχή Β2 κατασκευάζεται σε καταναλωτές ισχύος μεγαλύτερης από αυτή της παροχής Β1, όταν η εγκατάσταση της ΔΕΗ γίνεται εσωτερικά. Το δίκτυο τροφοδοσίας μπορεί να είναι εναέριο. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει περισσότερους του ενός κλάδους, όπου κάθε κλάδος είναι αποξεύξιμος με διακόπτες φορτίου. Η ισχύς του ΥΣ περιορίζεται μόνο από το δίκτυο. Κάθε κλάδος μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους ΜΣ με παράλληλη σύνδεση.

#### ➔ **Η εγκατάσταση της ΔΕΗ.**

Η σύνδεση του καταναλωτή με το δίκτυο γίνεται με ένα ή δύο καλώδια σε ακτινική διάταξη ή σε βρόχο, όπως και στην παροχή Β1. Η ΔΕΗ εγκαθιστά προκατασκευασμένο μεταλλικό πίνακα τύπου ΔΕΗ ΒΚΙΙ με αποξεύκτη, διακόπτη ισχύος, ηλεκτρονόμους, Μ/Σ μέτρησης και μετρητές.

Οι ΗΝ του καταναλωτή είναι σταθερού χρόνου και είναι ρυθμιζόμενοι αρκετά χαμηλά ώστε να προστατεύουν του Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα, όχι όμως πολύ μικρούς Μ/Σ.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Οι μικρότεροι Μ/Σ που είναι δυνατόν να προστατευθούν έχουν ονομαστικό ρεύμα ίσο με 10% του ρεύματος της ρύθμισης των ΗΝ. Από εκεί και κάτω ο Μ/Σ πρέπει να προστατεύεται με ιδιαίτερο μέσο προστασίας.

Οι Μ/Σ έντασης είναι διπλής ενέργειας (δύο πυρήνων), για μέτρηση και προστασία, και επιλέγονται με ονομαστική ένταση πρωτεύοντος μία βαθμίδα πιο πάνω απ' ότι αντιστοιχεί στη συμφωνημένη ισχύ.

Για την ρύθμιση των ΗΝ του διακόπτη ισχύος λαμβάνονται υπ' όψη οι πιο κάτω απαιτήσεις :

- Συνεργασία με τον ΗΝ αναχώρησης της γραμμής με διαφορά χρόνου 0.4 sec τουλάχιστον.
- Εξασφάλιση προστασίας των ΜΣ σε βραχυκυκλώματα.
- Ο ΔΙ δεν πρέπει να ανοίγει (πέφτει) από τα ρεύματα ζεύξης.
- Ο ΔΙ πρέπει να συνεργάζεται με τα μέσα προστασίας που εγκαθιστά ο καταναλωτής.
- Ο ΔΙ δεν πρέπει να ανοίγει (πέφτει) σε βραχυχρόνιες αυξήσεις του φορτίου.

#### ➔ **Η εγκατάσταση του καταναλωτή.**

Η προστασία των Μ/Σ σε βραχυκυκλώματα δίνεται από τον ΔΙ της παροχής. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει πολλούς κλάδους. Κάθε κλάδος πρέπει να είναι αποζεύξιμος για να μπορεί να αποχωριστεί ένας Μ/Σ. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου σε συνδυασμό με αποζεύκτες ή εναλλακτικά διακόπτες φορτίου με ορατές επαφές. Αντί διακοπών φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθούν διακόπτες φορτίου με αποζεύκτες. Αυτό γίνεται αν αποφασίσουμε να προστατεύσουμε επιπροσθέτως τον κλάδο με διαφορετική προστασία, ηλεκτρονόμο Buchholz, θερμίστορες ή ΗΝ υπερέντασης.<sup>2</sup>

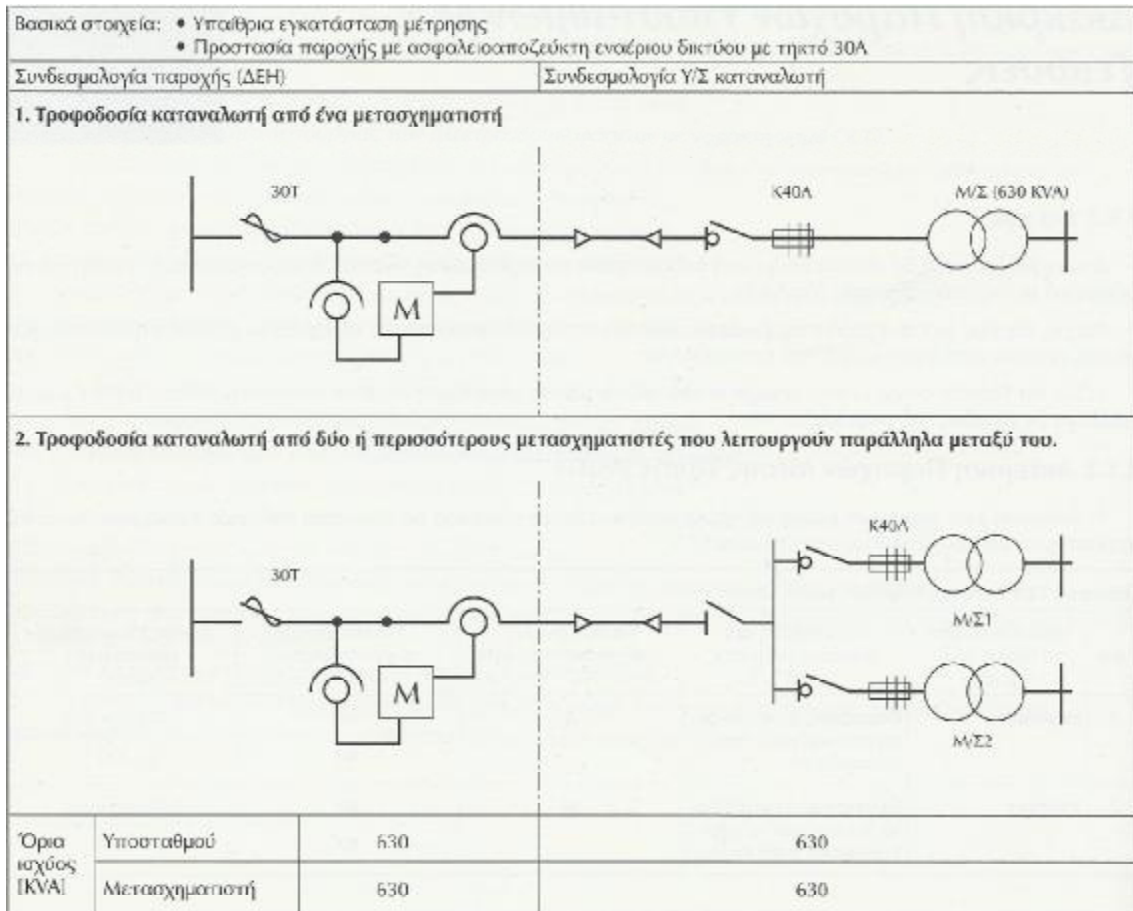
Ο καταναλωτής επιτρέπεται να χειριστεί τον ΔΙ της ΔΕΗ χωρίς να την πληροφορήσει ή να την καλέσει γι' αυτό. Έτσι, ο καταναλωτής μπορεί να θέσει την εγκατάσταση του εκτός τάσης. Για να μπορέσει όμως να επιτελέσει εργασίες στον υποσταθμό του, πρέπει να γίνει και απόζευξη (με ορατές επαφές) με αποζεύκτη ζυγών.

Επίσης η ΔΕΗ επιτρέπει στον καταναλωτή να χρησιμοποιήσει ΗΝ Buchholz ή άλλα μέσα και να τα συνδέσει με τον ΔΙ της παροχής.

---

<sup>2</sup>ΗΝ υπερέντασης δεν συνιστά η ΔΕΗ γιατί υπάρχουν δυσκολίες στη συνεργασία με τον ΗΝ του κεντρικού ΔΙ της παροχής.



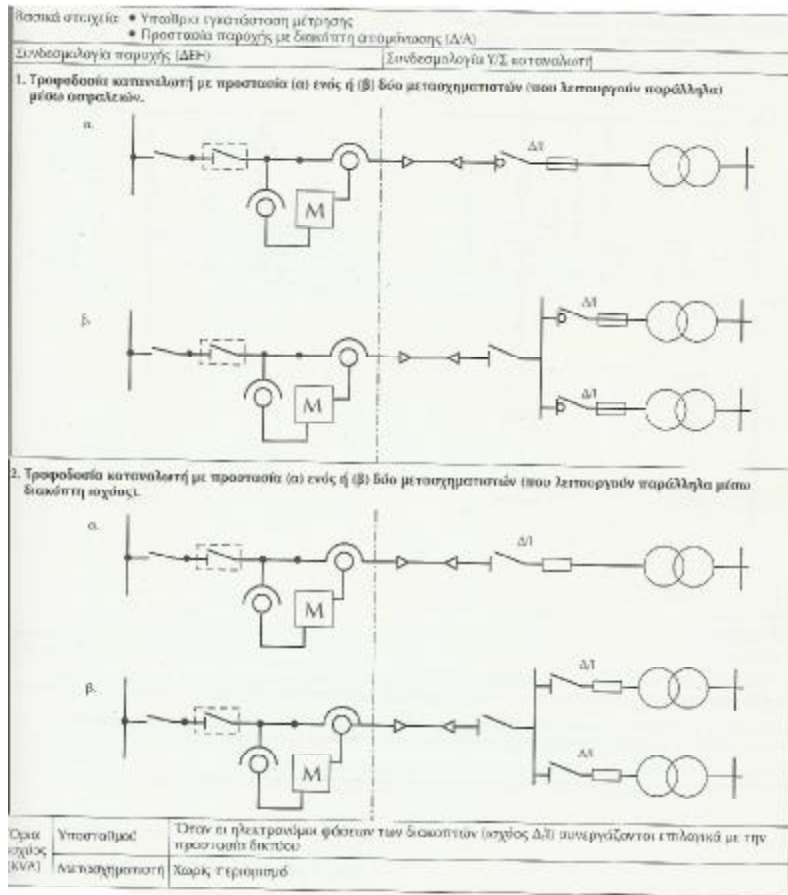


Σχήμα 4.1: Παροχή Μέσης Τάσης τύπου Α1.

### Σημειώσεις

1. Οι τιμές των ασφαλειών των υποσταθμών και των μετασχηματιστών που σημειώνονται στα παραπάνω σχήματα, είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες.
2. Στην περίπτωση που δεν είναι επιτρεπτή η εγκατάσταση ασφαλειοαποζεύκτη εναέριου δικτύου με τηκτό 30Τ (ΑΖ), τα υπόλοιπα μεγέθη της εγκατάστασης καθορίζονται μετά από ειδική εξέταση.
3. Στη περίπτωση που η λειτουργία των διακοπών φορτίου με ασφάλειες (ΔΦ/Α) δεν είναι εμφανής, πρέπει να προηγούνται αποζεύκτες (ΑΠ/Ζ).
4. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται διακόπτες ισχύος (ΔΙ) αντί των διακοπών φορτίου με ασφάλειες (ΔΦ/Α).

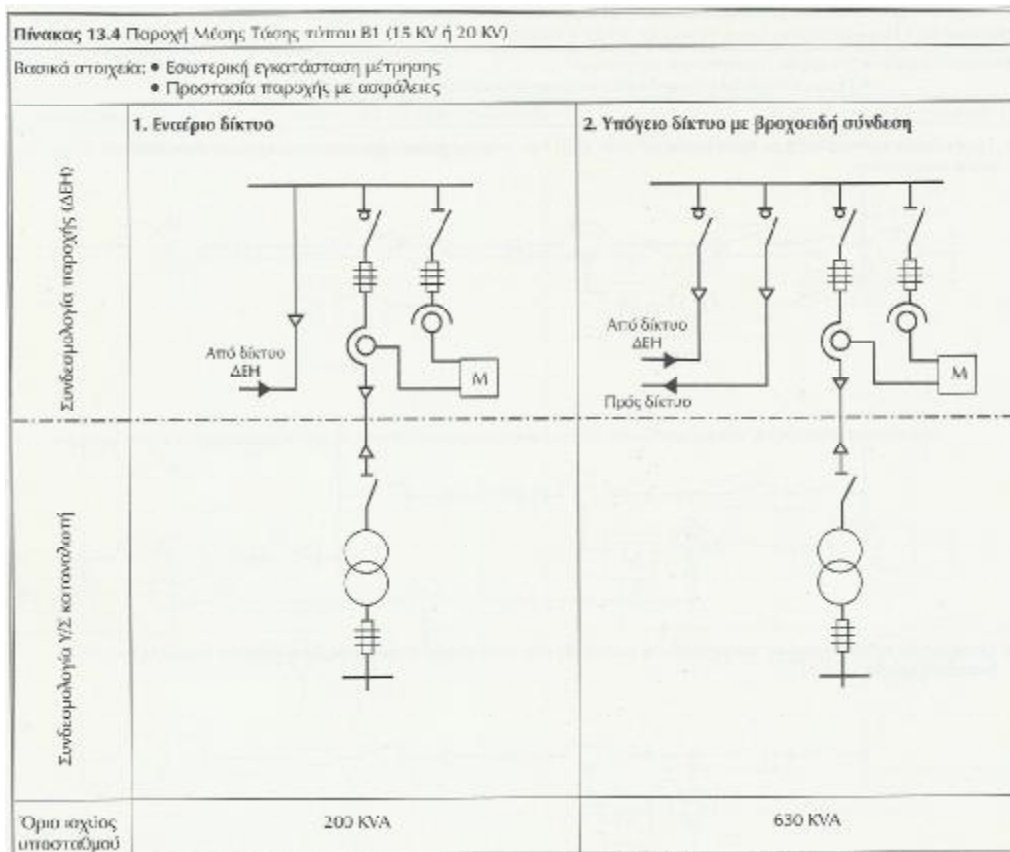




Σχήμα 4.2: Παροχή Μέσης Τάσης τύπου Α2.

### Σημειώσεις

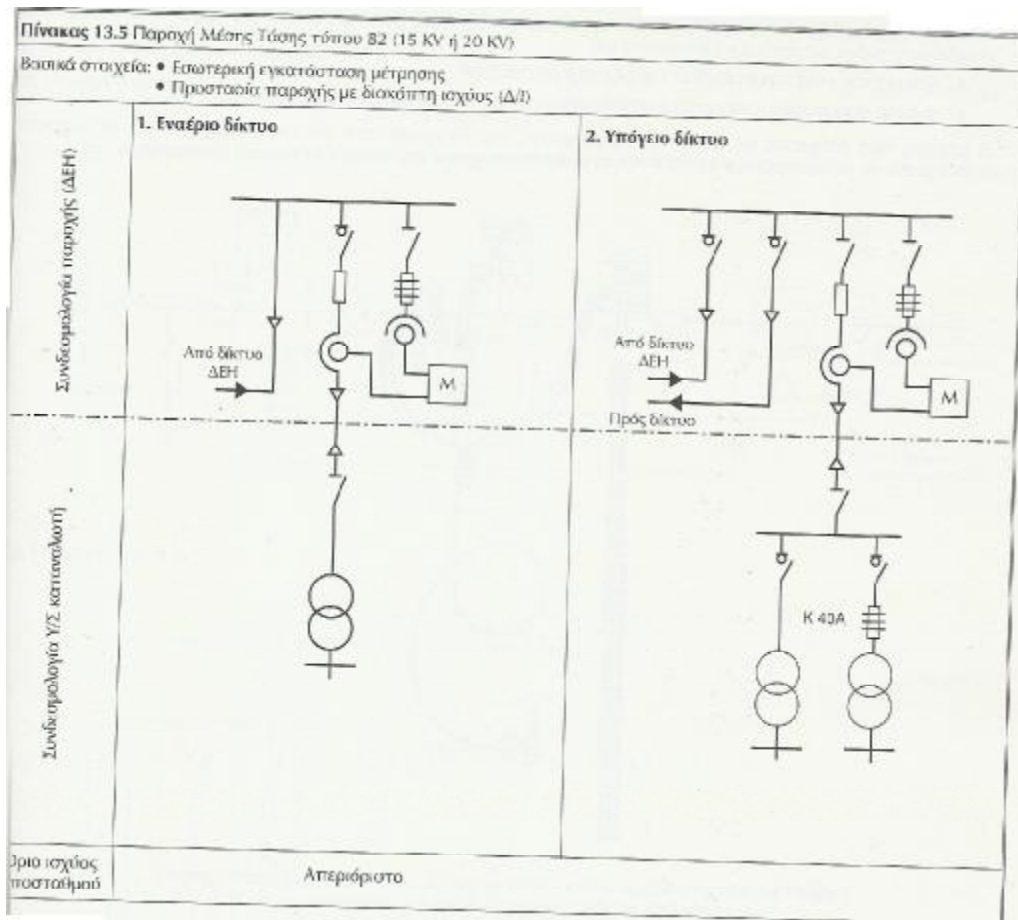
1. Οι τιμές των ασφαλειών, των ρυθμίσεων των διακοπών ισχύος και ισχύων που σημειώνονται στα παραπάνω σχήματα είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες.
2. Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή παροχών τύπου Α2 είναι η προστασία του δικτύου από διακόπτες ισχύος που έχουν την δυνατότητα να εκτελούν κατάλληλο κύκλο αυτόματων επαναφορών για την ενεργοποίηση των αντίστοιχων διακοπών απόμεινωσης.
3. Στην περίπτωση που η διακοπή διαμέσου των διακοπών ισχύος με ασφάλειες (ΔΦ/Α) δεν είναι εμφανής, πρέπει να προηγούνται αποζεύκτες.
4. Ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα μεταξύ τους.



Σχήμα 4.3: Παροχή Μέσης Τάσης τύπου B1.

### Σημειώσεις

1. Στην περίπτωση που ο υποσταθμός περιλαμβάνει περισσότερους από έναν μετασχηματιστή, με όργανα προστασίας σε κάθε μετασχηματιστή, τότε κατασκευάζεται παροχή τύπου B2, ανεξάρτητα από την ισχύ του υποσταθμού.
2. Είναι απαραίτητο να υπάρχει γενικό μέσο προστασίας προς την πλευρά της χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή (π.χ. ασφάλειες ή αυτόματος διακόπτης με στοιχεία αυτόματου στιγμιαίας λειτουργίας).
3. Ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα μεταξύ τους.



Σχήμα 4.4: Παροχή Μέσης Τάσης τύπου B2.

### Σημειώσεις

1. Η εγκατάσταση προστασίας μέσης τάσης δεν ενδείκνυται για τον κάθε μετασχηματιστή, εκτός εάν η ονομαστική ένταση του μικρότερης ισχύος μετασχηματιστή είναι μικρότερη από το 10% της έντασης στην οποία ρυθμίζεται ο διακόπτης ισχύος της ΔΕΗ.
2. Οι τιμές των ασφαλειών που σημειώνονται στα παραπάνω σχήματα, είναι οι μέγιστες επιτρεπόμενες.
3. Ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές που λειτουργούν παράλληλα μεταξύ τους.

# Κεφάλαιο 5

## Ηλεκτρικοί πίνακες υποσταθμών Μέσης Τάσης

---

### 5.1 Πίνακες υποσταθμών μέσης τάσης

Σε μία εγκατάσταση ΜΤ, αν ο παροχέας είναι η ΔΕΗ, έχουμε δύο πίνακες ΜΤ, δηλαδή:

- **Πίνακας μέσης τάσης της ΔΕΗ<sup>1</sup>**. Σε ξεχωριστό δωμάτιο υπάρχει ο πίνακας μέσης τάσης της ΔΕΗ. Ο πίνακας αυτός ανήκει εξ' ολοκλήρου στη ΔΕΗ, η οποία και έχει την αρμοδιότητα να επεμβαίνει σε αυτόν.
- **Πίνακας μέσης τάσης του καταναλωτή**. Ο πίνακας μέσης τάσης είναι το σημείο της ηλεκτρικής εγκατάστασης όπου έρχονται (αφίξεις) τα παροχικά καλώδια από τη ΔΕΗ, και φεύγουν (αναχωρήσεις) τα καλώδια για τους μετασχηματιστές ισχύος ή για άλλο πίνακα μέσης τάσης.

Στις διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ΥΣ μέσης τάσης χρησιμοποιούνται τυποποιημένα μεταλλικά ερμάρια που χαρακτηρίζονται ως ηλεκτρικοί πίνακες ΜΤ ή κυψέλες, που διαθέτουν εξοπλισμό διακοπιών σταθερού ή συρόμενου τύπου, τεχνολογίας εξαφθοριούχου θείου (SF<sub>6</sub>). Οι διακόπτες αυτοί των οποίων ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, μπορεί να είναι:

- διακόπτες φορτίου,
- αυτόματοι διακόπτες,

---

<sup>1</sup>αν η παροχή είναι τύπου Β.

- αποζεύκτες,
- τηλεχειριζόμενοι διακόπτες (ρελέ) για κινητήρες μέσης τάσης.

Στις προδιαγραφές κατασκευής των κυψελών ΜΤ πρέπει να περιλαμβάνεται και η δυνατότητα της μελλοντικής τους επέκτασης. Η αναγκαιότητα αυτή καλύπτεται με την απλή προσθήκη και σύνδεση με μπάρες (ζυγούς) των νέων κυψελών με τις ήδη υπάρχουσες. Ακόμη, οι κυψέλες ΜΤ σύγχρονης τεχνολογίας μπορεί να εφοδιασθούν με ειδικούς μηχανισμούς λειτουργίας τους με κινητήρες για τον έλεγχο, τον χειρισμό και την επικοινωνία τους από απόσταση (τηλεχειρισμός).

Οι πίνακες εγκαθίστανται πάντα σε κλειστό χώρο. Στον πίνακα πραγματοποιούνται όλοι οι χειρισμοί που αφορούν την τάση των 20 kV. Ο πίνακας ΜΤ αποτελείται από μία ή περισσότερες κυψέλες ή πεδία.

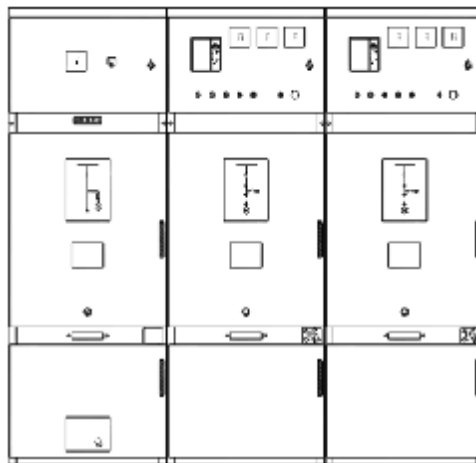
Οι κυψέλες είναι αυτοτελείς κατασκευές που συναρμολογούνται στο εργοστάσιο κατασκευής τους και κατόπιν συνδέονται μεταξύ τους με βίδες για να αποτελέσουν τον τελικό πίνακα.

Οι κυψέλες αποτελούνται από τρία βασικά τμήματα :

**[1] Το κάτω τμήμα,** στο οποίο συνδέονται τα στοιχεία αναχώρησης προς το εσωτερικό του ΥΣ (καλώδια, ασφαλαιοαποζεύκτες, γειωτές κλπ.).

**[2] Το επάνω τμήμα,** στο οποίο συνδέονται οι μπάρες των ζυγών χαμηλής τάσης οι οποίες στηρίζονται με την κυψέλη με μονωτήρες διέλευσης.

**[3] Το τμήμα που περιέχει όργανα και ηλεκτρονόμους.**



Σχήμα 5.1: Μπροστινή όψη πίνακα 20 kV.

Η συναρμολόγηση του πίνακα γίνεται από εμπρός. Συνεπώς, πρέπει να υπάρχει μία πόρτα σε κάθε κυψέλη. Στην πόρτα υπάρχει σχεδιασμένο το μονογραμμικό διάγραμμα της κυψέλης και επίσης υπάρχει ένα τζάμι (π.χ. 2 × 30 cm) για επιθεώρηση. Στην εμπρόσθια πλευρά του πίνακα βρίσκονται επίσης και οι διακόπτες χειρισμού ή όργανα ένδειξης και σήμανσης.

Τα τοιχώματα των κυψελών είναι από χαλύβδινη λαμαρίνα, πάχους τουλάχιστον 1.5 mm. Πολλές κατασκευές γίνονται με πάχος 3 mm. Αυτό για λόγους στιβαρότητας και αντοχής στο ηλεκτρικό τόξο. Ψιλή λαμαρίνα μπορεί να λιώσει αν πέσει πάνω της ηλεκτρικό τόξο.

Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται οι διαστάσεις και το βάρος των προκατασκευασμένων κυψελών που χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς μέσης τάσης (υπάρχουν προκατασκευασμένες κυψέλες SF<sub>6</sub> με μικρότερες διαστάσεις) και στον Πίνακα 5.2 δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προκατασκευασμένων κυψελών υποσταθμών μέσης τάσης.

<b>Ύψος [mm]</b>	<b>Πλάτος [mm]</b>	<b>Βάθος [mm]</b>	<b>Βάρος [kg]</b>
1600	375	940	120
1600	500	940	200
1600	375	940	130
1600	625	940	230
2050	750	940	390
1600	750	1220	400
1600	375	940	190
1600	500	940	210
1600	750	1020	290
1600	750	940	260
1600	125	840	300
1600	125	920/1060	300/350
1600	375	870	120
1600	500	1020	120
1600	375	940	120
1600	375/500	940	190

Πίνακας 5.1: Διαστασιολόγιο και βάρος κυψελών υποσταθμών μέσης τάσης.

Ονομαστική τάση [kV]	7.2	12	17.5	25
Ονομαστικό ρεύμα [A]	400	630	1250	
Μέγιστη τιμή ρεύματος μικρής διάρκειας 1s [kA]	12.5	16	20	25
Θερμοκρασία λειτουργίας	από -5 °C μέχρι και +40 °C			
Ικανότητα ζεύξης	2.5 φορές το ονομαστικό ρεύμα μικρής διάρκειας			

Πίνακας 5.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά κυψελών υποσταθμών μέσης τάσης.

Στο κάτω μέρος της κυψέλης εισέρχονται τα καλώδια. Συνεπώς, πρέπει να υπάρχει ένα χαντάκι στο οποίο θα οδεύουν τα καλώδια. Το χαντάκι κατασκευάζεται λαμβάνοντας υπ' όψη ότι τα καλώδια πρέπει να οδηγηθούν από τη γη στην κυψέλη, και ότι τα καλώδια έχουν μία ελάχιστη ακτίνα κάμψης:

$$\text{Ελάχιστη ακτίνα κάμψης} = 15 \times \text{εξωτερική διάμετρο (400-600 mm)}$$

Το χαντάκι καταλαμβάνει όλο το κάτω μέρος των κυψελών. Συνήθως αρκεί ένα βάθος ίσο με την ελάχιστη ακτίνα κάμψης ( $\approx 400$  mm για καλώδιο  $50 \text{ mm}^2$ ). Τα χαντάκια πρέπει να μην επιτρέπουν στο νερό να λιμνάζει, που σημαίνει ότι πρέπει να αποχετεύονται και να έχουν κατάλληλη κλίση.

Τέλος, τα σημεία της βάσης στα οποία υπάρχουν θέσεις (τρύπες) για το πέρασμα μπουλονιών για τη στερέωση των κυψελών στη θέση τους.

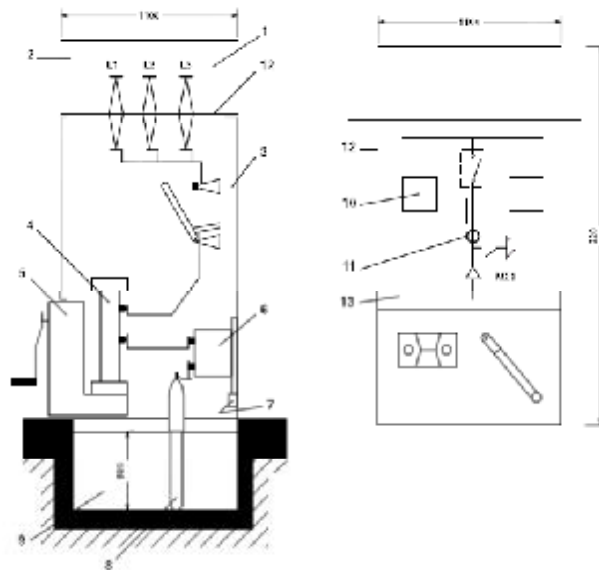
## 5.2 Διάταξη κυψελών Μ.Τ.

Στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.2) παρουσιάζεται μία τυπική κυψέλη προστασίας για αναχωρήσεις καλωδίων ή του μετασχηματιστή ισχύος. Τέτοιες κυψέλες κατασκευάζονται από πολλές Ελληνικές βιοτεχνίες που ασχολούνται με την κατασκευή ηλεκτρικών πινάκων. Το διακοπτικό υλικό και οι συσκευές μέτρησης/προστασίας είναι κατά κανόνα εισαγωγής.

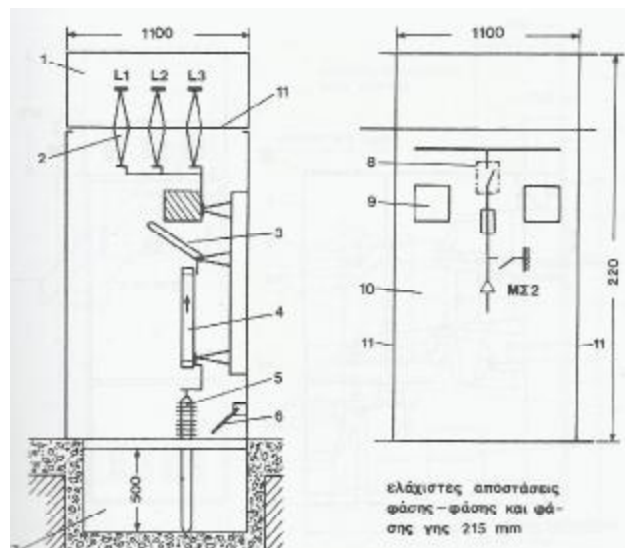
Στην κυψέλη του Σχήματος 5.2 έχουν αριθμηθεί τα διάφορα μέρη της και περιγράφονται παρακάτω:

- 1. Διαμέρισμα ζυγών μέσης τάσης.** Οι χάλκινες μπάρες (ζυγοί) κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό διατομής τουλάχιστον  $40 \times 5$  mm. Στηρίζονται σε μονωτήρες εποξειδικής ρητίνης με ύψος τουλάχιστον 210mm και βιδώνονται με καδμιόμενους κοχλίες M12.
- 2. Διαμέρισμα χαμηλής τάσης.** Στο διαμέρισμα αυτό υπάρχουν οι κλεμμοσειρές στις οποίες καταλήγουν όλα τα ηλεκτρικά μέρη της κυψέλης, όπως τα δευτερεύοντα και η γείωση του κυκλώματος κατά την εργασία συντήρησής του.
- 3. Αποζεύκτης κενού ή διακόπτης φορτίου** (μανδαλωμένος με το γειωτή). Προτιμάται ο διακόπτης φορτίου, αν και είναι οικονομικά ακριβότερος. Αν χρησιμοποιηθεί αποζεύκτης κενού, πρέπει να μανδαλωθεί με το διακόπτη ισχύος. Βασική λειτουργία του διακόπτη είναι η δημιουργία ορατής απομόνωσης του κυκλώματος των 20 kV σε περίπτωση που θέλουμε να συντηρήσουμε το κύκλωμα.
- 4. Διακόπτης ισχύος SF<sub>6</sub> ή πτωχού ελαίου σταθερού τύπου.** Ο διακόπτης είναι προσαρμοσμένος με βίδες και χάλκινες μπάρες, με το διακόπτη φορτίου και τους μετασχηματιστές έντασης.
- 5. Μηχανισμός χειρισμού διακόπτη ισχύος.** Περιέχει τα ελατήρια κλεισίματος και ανοίγματος, το μηχανισμό τάνυσης των ελατηρίων (χειροκίνητο ή ηλεκτροκίνητο), τα πηνία κλεισίματος και ανοίγματος, τις βοηθητικές επαφές και άλλα. Τα ηλεκτρικά μέρη του συνδέονται με εύκαμπτα καλώδια H07V-K (NYAF) στις κλεμμοσειρές που υπάρχουν στο διαμέρισμα χαμηλής τάσης.
- 6. Μετασχηματιστές έντασης** για μέτρηση και προστασία. Τα δευτερεύοντα τυλίγονται συνδέονται με εύκαμπτα καλώδια H07V-K (NYAF) στις κλεμμοσειρές που υπάρχουν στο διαμέρισμα χαμηλής τάσης. Οι κλέμμες που χρησιμοποιούνται είναι ειδικές, ώστε να μην μένουν ανοικτά ποτέ τα δευτερεύοντα.
- 7. Γειωτής,** μανδαλωμένος με το διακόπτη φορτίου. Σκοπός του είναι ο μηδενισμός των στατικών φορτίων κατά μήκος του καλωδίου και η γείωση του κυκλώματος κατά την εργασία συντήρησής του.
- 8. Καλώδιο μέσης τάσης** προς το φορτίο, δηλαδή προς το μετασχηματιστή ισχύος του ΥΣ. Συνήθως είναι τρία μονοπολικά καλώδια τύπου N2XSΥ με μόνωση από XLPE, διατομής τουλάχιστον 50 μμ<sup>2</sup>. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον τερματισμό των καλωδίων με τη χρήση ειδικών ακροκεφαλών.
- 9. Χαντάκι** για την όδευση των καλωδίων βάθους τουλάχιστον 0.5 m. Το βάθος του χαντακιού είναι κρίσιμο, διότι τα καλώδια μέσης τάσης έχουν μία ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας περίπου  $R=0.5m$  που δεν πρέπει να υπερβεί, αλλιώς θα τραυματιστεί η μόνωσή τους.
- 10. Παράθυρο ελέγχου** του εσωτερικού της κυψέλης και ειδικότερα της θέσης του αποζεύκτη φορτίου.
- 11. Μονογραμμικό διάγραμμα** της συνδεσμολογίας της κυψέλης στη μπροστινή επιφάνεια.
- 12. Χωρίσματα** από χαλυβδοέλασμα πάχους 2 mm.



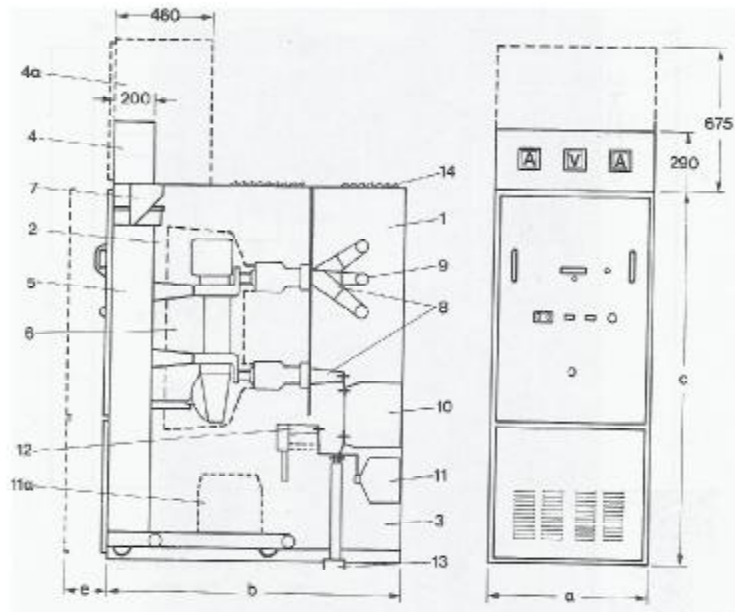


Σχήμα 5.2: Διάταξη κυψέλης προστασίας με διακόπτη ισχύος σταθερού τύπου.



Σχήμα 5.3: Διάταξη κυψέλης αναχώρησης, προστατευμένης με ασφάλειες.

- |                        |                        |                                   |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 1. Χώρος ζυγών         | 5. Ακροκεφαλή καλωδίου | 8. Μονογραμμικό διάγραμμα κυψέλης |
| 2. μονωτήρες διέλευσης | 6. Γειωτής             | 9. Παράθυρα                       |
| 3. Διακόπτης φορτίου   | 7. Χαντάκι καλωδίων    | 10. Πόρτα                         |
| 4. Ασφάλειες σκόνης    |                        | 11. Διαχωριστικά τοιχώματα        |



Σχήμα 5.4: Προκατασκευασμένη κυψέλη μέσης τάσης, με συρόμενους διακόπτες ισχύος.

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. Χώρος ζυγών                            | 8. Επάνω και κάτω μονωτήρες διέλευσης |
| 2. Χώρος διακόπτη ισχύος                  | 9. Μονωμένοι ζυγοί                    |
| 3. Χώρος καλωδίου                         | 10. ΜΣ έντασης                        |
| 4. Μικρό κιβώτιο οργάνων                  | 11. ΜΣ τάσης μονοπολικός              |
| 4α. Μεγάλο κιβώτιο οργάνων (κατ' επιλογή) | 11α. ΜΣ τάσης (εναλλακτικά)           |
| 5. Όχημα διακόπτη ισχύος                  | 12. Γειωτής                           |
| 6. Προστατευτικό κάλυμμα σε κάθε πόλο     | 13. Ακροκεφαλή καλωδίου               |
| 7. Σύνδεση χαμηλής τάσης                  | 14. Δικλείδες εκτόνωσης               |

### 5.3 Χαρακτηριστικά ζυγών

Οι μπάρες των ζυγών της MT και της XT κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό και οι συνδέσεις τους πραγματοποιούνται με επικαδμιωμένους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής τουλάχιστον 5.8 (DIN 267). Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι “μονωτήρες εσωτερικού χώρου” από εποξειδική ρητίνη.

Ο υπολογισμός των διαστάσεων των ζυγών πραγματοποιείται με βάση την αντοχή τους:

- ⇒ στην ένταση του ρεύματος συνεχούς φορτίου, και
- ⇒ στη μηχανική καταπόνησή τους κατά το τριφασικό βραχυκύκλωμα.

Διάσταση μπάρας	Βάρος	Ονομαστική τάση (V <sub>0</sub> )				Ρυθμίστρες (W) στην απόσταση (L)			
		Καταγωγική τάση		Απορροφητική τάση		Απόσταση		Απόσταση	
		1	2	1	2	W	L	W	L
[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[A]	[A]	[A]	[A]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]
12x12	0,21	120	220	110	200	0,048	0,0288	0,048	0,0028
15x15	0,27	150	270	135	250	0,075	0,0450	0,075	0,0045
15x3	0,09	150	270	135	250	0,110	0,0660	0,110	0,0066
18x3	0,33	180	330	165	300	0,132	0,0792	0,132	0,0081
20x3	0,53	200	360	180	360	0,200	0,2000	0,200	0,0045
20x1	0,50	200	360	180	360	0,333	0,3333	0,333	0,0228
25x3	0,67	250	450	225	400	0,332	0,3300	0,332	0,0066
25x1	1,11	250	450	225	400	0,521	0,5211	0,521	0,026
30x3	0,81	300	540	270	450	0,370	0,3700	0,370	0,0067
30x1	1,34	300	540	270	450	0,710	1,224	0,710	0,034
40x3	1,07	400	720	360	600	0,811	1,000	0,811	0,009
40x1	1,78	400	720	360	600	1,333	1,3333	1,333	0,019
50x1	2,54	500	900	450	750	2,000	2,0000	2,000	0,033
50x3	2,23	500	900	450	750	2,000	2,0000	2,000	0,030
60x1	3,15	600	1080	540	900	3,000	3,0000	3,000	0,046
60x3	2,67	600	1080	540	900	3,000	3,0000	3,000	0,033
60x3L	6,34	12,0	2,3	11,0	2,0	6,0L	18,0L	1,0L	0,500
80x3	3,55	800	1440	720	1050	4,333	21,330	4,333	0,0833
80x3L	7,12	16,0	2,500	14,0	2,000	10,000	42,000	1,333	0,666
100x3	4,59	1000	1800	900	1300	6,333	31,330	6,333	0,100
100x3L	9,10	18,0	3,300	17,0	2,500	10,000	60,000	1,666	0,833

Σχήμα 5.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά χάλκινης μπάρας ορθογωνικής διατομής για εναλλασσόμενη τάση συχνότητας από 40 μέχρι 60Hz και θερμοκρασία χώρου 30 °C

Διάσταση μπάρας	Βάρος	Ονομαστική τάση (V <sub>0</sub> )				Ρυθμίστρες (W) στην απόσταση (L)			
		Καταγωγική τάση		Απορροφητική τάση		Απόσταση		Απόσταση	
		1	2	1	2	W	L	W	L
[mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[A]	[A]	[A]	[A]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>2</sup> ]
12x12	0,049	0	15	80	150	0,018	0,0108	0,018	0,0018
15x15	0,081	220	220	95	170	0,075	0,0525	0,075	0,0045
15x3	0,123	150	270	135	210	0,112	0,0744	0,112	0,0074
18x3	0,108	180	324	162	240	0,133	0,2376	0,133	0,009
20x3	0,146	200	360	180	270	0,166	0,2664	0,166	0,0115
21x3	0,270	210	378	189	280	0,233	0,2331	0,233	0,0238
25x3	0,200	250	450	225	320	0,312	0,3900	0,312	0,030
25x1	0,333	250	450	225	320	0,521	0,5211	0,521	0,026
30x3	0,253	300	540	270	350	0,461	0,4610	0,461	0,030
31x3	0,300	300	450	225	300	0,351	1,350	0,351	0,013
40x3	0,324	370	670	335	500	0,500	1,5000	0,500	0,050
40x1	0,660	400	720	360	600	1,333	2,6666	1,333	0,066
50x1	1,18	500	900	450	750	2,000	3,0000	2,000	0,033
50x3	0,67	500	900	450	750	2,000	3,0000	2,000	0,033
60x3L	1,35	12,0	2,400	11,0	1,300	4,000	19,400	0,833	0,416
80x3	0,81L	8,0	1,600	7,0	9,00	3,000	9,000	0,250	0,125
80x1	1,62	16,0	3,200	14,0	13,0	6,000	18,000	1,000	0,500
80x3L	1,08	8,0	1,600	6,0	11,70	3,333	21,330	0,333	0,0833
80x1L	2,16	16,0	3,200	14,0	16,67	10,000	32,000	1,333	0,666
100x3	1,35	10,0	2,000	7,5	14,0	3,333	11,000	0,400	0,104
100x1L	2,70	18,0	3,600	14,0	15,57	10,000	33,000	1,666	0,833

Σχήμα 5.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά αλουμινένιας μπάρας ορθογωνικής διατομής για εναλλασσόμενη τάση συχνότητας από 40 μέχρι 60 Hz και θερμοκρασία χώρου 30 °C

Διάσταση μπάρας	Ύψος [mm]	Όρισμα από μετρήσεις				Παράδειγμα από [W] Πυκνότητα [J]			
		Καταγραφή φάσης		Αντιπρόσθετος		W		J	
		β	α	β	α	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]
60x10	8,36	2050	2800	3820	4520	2.665	5.333	0.665	0.333
50x5	2,43	1750	2510	3410	4100	2.180	5.200	0.208	0,104
60x5	2,46	2500	3310	4210	5100	4.160	10.400	0.823	0.412
60x5	2,67	1950	2630	3510	4100	3.100	9.000	0.250	0,125
60x10	5,34	2800	3810	4810	5800	6.100	15.000	1.000	0,500
80x5	3,36	2300	3110	3810	4500	3.335	8.100	0.333	0,167
80x10	7,12	3420	4650	5820	6920	10.650	26.600	1.333	0,667
100x5	3,46	2900	3810	4610	5400	3.335	8.100	0.333	0,167
100x10	6,92	4900	6400	7900	9400	10.650	26.600	1.665	0,833

Σχήμα 5.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά χάλκινης μπάρας ορθογωνικής διατομής για εναλλασσόμενη τάση συχνότητας από 40 μέχρι 60 Hz και θερμοκρασία χώρου 30 °C

Διάσταση μπάρας	Ύψος [mm]	Όρισμα από μετρήσεις				Παράδειγμα από [W] Πυκνότητα [J]			
		Καταγραφή φάσης		Αντιπρόσθετος		W		J	
		β	α	β	α	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]
40x10	2,08	1650	2260	3050	3610	2.668	6.668	0.668	0,334
50x5	0,625	1700	2300	3000	3500	2.080	5.200	0.168	0,084
50x10	1,25	1950	2650	3500	4100	4.160	10.400	0.333	0,167
60x5	0,817	1550	2150	2800	3300	3.070	7.667	0.250	0,125
60x10	1,63	2250	3050	3900	4600	6.070	15.333	0.500	0,250
80x5	1,08	1950	2600	3400	4000	3.335	8.330	0.333	0,167
80x10	2,16	2950	3950	5000	5900	10.650	26.600	1.333	0,667
100x5	1,36	2550	3400	4200	4900	3.335	8.330	0.333	0,167
100x10	2,72	4350	5800	7300	8700	10.650	26.600	1.665	0,833

Σχήμα 5.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά αλουμινένιας μπάρας ορθογωνικής διατομής για εναλλασσόμενη τάση συχνότητας από 40 μέχρι 60 Hz και θερμοκρασία χώρου 30 °C

➔ **Ελάχιστες αποστάσεις, τάσεις αντοχής.**

Οι ελάχιστες αποστάσεις φάσης-φάσης και φάσης-γης είναι 215 mm για τάση 20 kV και καθορίζονται από τις τάσεις που πρέπει να αντέχει η εγκατάσταση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3.

Μπροστά από τις κυψέλες πρέπει να υπάρχει διάδρομος με ελάχιστο πλάτος 0.7 m κατά VDE 101. Συνιστάται όμως ένα πλάτος 1.50 m για την εύκολη συναρμολόγηση των κυψελών. Γενικά, οι ελάχιστες αποστάσεις καθορίζονται από τις απαιτήσεις για άνετη πρόσβαση στις εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής και συντήρησης του ΥΣ. Οι πόρτες των κυψελών πρέπει να έχουν αρκετό καθαρό άνοιγμα για να περνούν οι συσκευές. Για ΜΣ ακόμα και 1250 kVA αρκεί ένα πλάτος 1.20 m. Ο χώρος των ΜΣ έχει διάτρητα τμήματα επάνω και κάτω για την κυκλοφορία του ψυκτικού αέρα. Το απαιτούμενο άνοιγμα γι' αυτό είναι περίπου 0.11 m<sup>2</sup> επάνω, και 0.10 m<sup>2</sup> κάτω για κάθε kW απωλειών. Αρκούν ανοίγματα των 0.8 m<sup>2</sup> για ΜΣ ισχύος μέχρι 630 kVA.

Ονομαστική τάση	20 kV
Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη τάση	24 kV
Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση, 1 min	50 kV
Αντοχή σε κρουστική τάση 1.2/5 μs	50 kV
Ελάχιστη απόσταση	
φάσης-φάσης ή φάσης-γης	215 mm

Πίνακας 5.3: Τάσεις δοκιμής και ελάχιστες αποστάσεις για εγκαταστάσεις υπαίθριες ή εσωτερικού χώρου ονομαστικής τάσης 20kV/24kV

## 5.4 Υπολογισμός διατομής ζυγών

Οι υπολογισμοί προέρχονται από τους κανονισμούς VDE 0103/1988, DIN 57103/1988 και IEC 865. Σκοπός αυτών των κανονισμών είναι να δοθεί μία απλή και γρήγορη μέθοδος για να ελεγχθεί η μηχανική αντοχή των τριφασικών ζυγών. Οι υπολογισμοί θα έχουν μια συνήθως ασήμαντη απόκλιση από λεπτομερείς υπολογισμούς, αλλά αυτή η απόκλιση θα οδηγεί πάντα στην ασφαλή πλευρά των αποφάσεων. Συνεπώς, αυτή η μέθοδος από άποψη εξασφάλισης της αντοχής είναι αποδεκτή.

⇒ Αρχικά επιλέγεται η τυποποιημένη διατομή των ζυγών από τους πίνακες των Σχημάτων 5.5, 5.6, 5.7 και 5.8. Κατόπιν ελέγχεται με συγκεκριμένη υπολογιστική διαδικασία, η συμπεριφορά τους σε καταστάσεις βραχυκυκλωμάτων.

Η επιλογή της διατομής των ζυγών γίνεται με βάση:

- το είδος του υλικού κατασκευής (χαλκός ή αλουμίνιο)
- τη μορφή της διατομής του (ορθογωνική ή κυκλική).

⇒ Υπολογίζεται η **μηχανική δύναμη F** μεταξύ των ζυγών από την σχέση:

$$F = 2.04 \cdot 10^{-2} \cdot I_S^2 \cdot \frac{l}{d} \quad [\text{kg}]$$

όπου:

$l$  = το μήκος του ζυγού [ $m$ ] μεταξύ των πακτωμένων άκρων του

$d$  = η απόσταση μεταξύ των ζυγών [ $m$ ], η οποία συνήθως λαμβάνεται 0.2 m

$I_S$  = η ένταση του κρουστικού εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο της μέσης τάσης της ΔΕΗ

⇒ Η ένταση του κρουστικού εναλλασσόμενου ρεύματος βραχυκύκλωσης υπολογίζεται από τη σχέση :

$$I_S = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{SW} \quad [\text{kA}]$$

όπου :

$K$  = συντελεστής, που στις περιπτώσεις των ζυγών θεωρούμε τη μέγιστη τιμή του η οποία είναι 1.8

$I_{SW}$  = η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ. Οι τιμές του δίνονται στον Πίνακα 5.4.

Όνομαστική τάση παροχής τάση παροχής [kV]	Μέγιστη τάση λειτουργίας [kV]	Εναλλασσόμενο τμήμα έντασης ρεύματος βραχ/σης [kA]
6.6	7.2	10
15	17.5	10
20	24	7.2

Πίνακας 5.4: Τιμές έντασης ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ.

⇒ Υπολογίζεται η **ροπή κάμψης**  $M_b$  του ζυγού από τη σχέση :

$$M_b = \frac{F \cdot I}{16} \quad [\text{kg} \cdot \text{cm}]$$

όπου :

$F$  = η μηχανική δύναμη μεταξύ των ζυγών [kg]

$I$  = το μήκος του ζυγού [m]

⇒ Ελέγχεται η **μηχανική τάση αντοχής** ( $s$ ) των ζυγών από τη σχέση :

$$s = \frac{M_b}{W} \leq s_{ep} \quad [\text{kg}/\text{cm}^2]$$

όπου :

$M_b$  = η ροπή κάμψης του ζυγού [kg · cm]

$W$  = η ροπή αντίστασης του ζυγού [cm<sup>3</sup>], η οποία λαμβάνεται από τους πίνακες

$s_{ep}$  = η επιτρεπόμενη τιμή μηχανικής τάσης των ζυγών, η οποία ορίζεται από τον Πίνακα 5.5.

Ψλικό κατασκευής ζυγού	Επιτρεπόμενες τιμές μηχανικής τάσης ζυγών
Χαλκός	από 1000 μέχρι 1200 kg/cm <sup>2</sup>
Αλουμίνιο	από 400 μέχρι 600 kg/cm <sup>2</sup>

Πίνακας 5.5: Επιτρεπόμενα όρια τιμών μηχανικής τάσης αντοχής ζυγών.

Στην περίπτωση που η προκύπτουσα τιμή είναι εκτός των ορίων του Πίνακα 5.5, επιλέγεται ως διατομή η αμέσως μεγαλύτερη, ή επιλέγεται διαφορετικό μήκος ζυγού ή και τα δύο.

⇒ Ελέγχεται τέλος για μηχανική τάση αντοχής εντός των επιτρεπόμενων ορίων, η **ιδιοσυχνότητα f** των ζυγών από τη σχέση:

$$f = 112 \frac{\sqrt{E \cdot J}}{g \cdot l} \quad \text{Hz}$$

όπου:

E = το μέτρο της ελαστικότητας του υλικού του ζυγού: για χαλκό →  $1.25 \cdot 10^6$  [kg/cm<sup>2</sup>]  
και για αλουμίνιο →  $0.72 \cdot 10^6$  [kg/cm<sup>2</sup>]

J = η ροπή αδράνειας του ζυγού [cm<sup>4</sup>], η οποία λαμβάνεται από τους πίνακες

g = το βάρος του ζυγού [kg/cm]

l = το μήκος του ζυγού [cm]

Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος οι ζυγοί καταπονούνται μηχανικά και υπάρχει περίπτωση να επέλθει μηχανικός συντονισμός, όταν η ιδιοσυχνότητα κυμαίνεται μεταξύ των ορίων ±10% των ±50% Hz. Έτσι αν συμβεί και μηχανικός συντονισμός των ζυγών επέρχεται μια επιπλέον καταπόνηση των ζυγών, ιδίως ορθογώνιας διατομής, αλλά και των μονωτήρων στήριξής τους.

Το πρόβλημα της ιδιοσυχνότητας των ζυγών αντιμετωπίζεται με την επιλογή της αμέσως μεγαλύτερης τυποποιημένης διατομής ζυγών ή με την επιλογή διαφορετικού μήκους ζυγού.

## Κεφάλαιο 6

# Γειώσεις υποσταθμών Μέσης Τάσης

---

Κάθε αγώγιμη σύνδεση ενός κυκλώματος ή ενός μεταλλικού αντικειμένου με τη γη, ονομάζεται γείωση. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παραμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή, οπότε μιλάμε για ανοιχτή γείωση, η οποία συναντάται, όχι όμως κατά κανόνα, σε εγκαταστάσεις αλεξικέραυνων.

Κάθε γείωση διακρίνεται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ➡ Από το σκοπό για τον οποίο γίνεται (γείωση αλεξικέραυνου, γείωση μέσω επικοινωνίας, γείωση ουδέτερου κόμβου, γείωση προστασίας σε εσωτερικές εγκαταστάσεις κ.α.)
- ➡ Από την αντίσταση γείωσης
- ➡ Από τον τρόπο κατασκευής της

Στην κατάταξη των γειώσεων κατά είδος, αναφέρεται η σκοπιμότητα χρήσης τους σε κάθε περίπτωση. Η αντίσταση γείωσης υπολογίζεται έτσι ώστε να εξυπηρετήσει σωστά το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται, και ο τρόπος κατασκευής εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους, τα υπάρχοντα μέσα και το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει.

Οι γειώσεις, ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσουν, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- ➡ **Γείωση λειτουργίας** είναι η γείωση ενός σημείου ενός ενεργού κυκλώματος. Η γραμμή γείωσης μπορεί γενικά να έχει αυτεπαγωγές ή αντιστάσεις στα δίκτυα ή να είναι συνεχής αγωγός. Τέτοιου είδους γειώσεις συναντάμε κυρίως [1] στη γείωση του ουδέτερου κόμβου στην πλευρά της χαμηλής τάσης του Μ/Σ<sup>1</sup>, [2] στη κατά διαστήματα γείωση του ουδέτερου αγωγού ενός δικτύου ΧΤ, [3] στη γείωση της σιδηροτροχιάς (ράγας) των ηλεκτρικών τρένων, [4] στη χρησιμοποίηση της γης σαν δεύτερου αγωγού σε τηλεφωνικές γραμμές

---

<sup>1</sup>Τα δίκτυα με γειωμένο ουδέτερο ονομάζονται δίκτυα TN (T = Terre, N = Neutral). Στη κατηγορία αυτή ανήκει όλο το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης της ΔΕΗ.



με τη βοήθεια δύο γειώσεων στα άκρα της γραμμής, και [5] γενικά όπου χρησιμοποιείται η γη με τη βοήθεια ακραίων γειώσεων σαν αγωγός για τη λειτουργία ενός κυκλώματος. Σε ειδικές εγκαταστάσεις, όπως αίθουσες χειρουργείων, σφαγεία και γενικά χώρους με υγρασία, συναντάμε δίκτυα IT (I = Isolee, T = Terre) δηλαδή δίκτυα με μονωμένο (αγειώτο) ουδέτερο κόμβο.

➡ **Γείωση προστασίας** είναι η αγώγιμη σύνδεση με τη γη όλων των μεταλλικών τμημάτων μιας εγκατάστασης, π.χ. η γείωση του κελύφους μιας συσκευής, πάνω στα οποία δεν θέλουμε να εμφανιστεί επικίνδυνη τάση επαφής. Η γείωση προστασίας είναι πάντα συνεχής, δηλαδή δεν παρεμβάλλονται αντιστάσεις ή διάκενα και έχει σκοπό την προστασία των ανθρώπων από την παρουσία επικίνδυνης τάσης επαφής πάνω στα μεταλλικά μέρη των συσκευών που σε κανονική λειτουργία δεν θα είχαν τάση.

➡ **Γείωση ασφαλείας** μπορούμε να ονομάσουμε κάθε γείωση που χρησιμεύει για τη μεταφορά στατικών ηλεκτρικών φορτίων στη γη. Κυριότερες γειώσεις αυτής της κατηγορίας είναι οι γειώσεις των προστατευτικών διατάξεων κατά των κεραυνών, οι οποίες μπορεί να είναι ανοιχτές ή συνεχείς. Οι ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση.

Τα τρία είδη γειώσεων συνυπάρχουν συνήθως στις εγκαταστάσεις. Μπορεί οι γειωτές που χρησιμοποιούνται να είναι ταυτόσημοι, δηλαδή κοινός (ή κοινά ηλεκτρόδια γείωσης) και για τις τρεις γειώσεις. Προτείνεται να γίνεται κάθε προσπάθεια ώστε και οι τρεις γειώσεις να απολήξουν στο ίδιο ηλεκτρόδιο ή στην ίδια εγκατάσταση γείωσης.

## 6.1 Αντίσταση γείωσης

Αντίσταση γείωσης είναι η αντίσταση από το ηλεκτρόδιο γείωσης μέχρι την άπειρη γη, όταν δεν υπάρχουν άλλα ηλεκτρόδια στο έδαφος. Άπειρη γη είναι ένα σημείο στην επιφάνεια σε άπειρη απόσταση από τον γειωτή, το οποίο λαμβάνεται σαν σημείο αναφοράς των δυναμικών. Λέμε ότι η τάση της άπειρης γης είναι μηδέν. Για πρακτικούς σκοπούς, η *άπειρη απόσταση* είναι 5-10 φορές επί την μεγαλύτερη διάσταση του γειωτή. Για γειωτές πασσάλους με 3 m βάθος, η απόσταση της άπειρης γης είναι 20 m. Σ' αυτή την απόσταση το δυναμικό αποτελεί το 2% του δυναμικού του πασσάλου.

Αν ένας γειωτής τεθεί υπό τάση  $U$  (=100%) ως προς την άπειρη γη, δημιουργείται ένα πεδίο ροής και δυναμικού γύρω από τον γειωτή. Όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από τον γειωτή, τόσο μειώνεται η τάση. Το διάγραμμα τάσης - απόστασης ονομάζεται χοάνη δυναμικού του γειωτή. Από τη χοάνη δυναμικού μπορεί κανείς να διαπιστώσει την τάση επαφής και την βηματική τάση. Η τάση επαφής είναι ίση με την πτώση τάσης σε απόσταση στο έδαφος μήκους 1 μέτρου από το γειωτή. Η βηματική τάση είναι η μέγιστη πτώση τάσης σε μήκος 1 μέτρου κατά μήκος του πεδίου ροής του ρεύματος, στην περιοχή του εδάφους που μας ενδιαφέρει. Η χοάνη δυναμικού δίνει επίσης την περιοχή επίδρασης του γειωτή ή την απόσταση της άπειρης γης, και τέλος χρησιμοποιείται για να εκτιμήσουμε το σφάλ-

μα στη μέτρηση της αντίστασης γειωτών. Εδώ σημειώνουμε ότι η χοάνη δυναμικού δεν εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους, εφ' όσον το έδαφος είναι ομοιογενές.

Η αντίσταση γείωσης εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους, η οποία επηρεάζεται από τα εξής:

- **Σύσταση του εδάφους**, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1

Έδαφος	Ελώδες υγρό	Άργυλος, πηλός, αγρός	Υγρή άμμος	Υγρά χαλίκια	Ξηρή άμμος, χαλίκια	Βράχος
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	30-50	100	200	500	1000	3000

Πίνακας 6.1: Ενδεικτικές μέσες τιμές της ειδικής αντίστασης εδάφους.

- **Υγρασία.** Η αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται η υγρασία του εδάφους. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί το έδαφος να ξηραίνεται επιφανειακά, αλλά σε βάθος κάτω του 0.5 m διατηρείται συνήθως υγρό, σε όλες τις εποχές του έτους. Έτσι σε γειωτές ράβδους πασσαλωμένους, λαμβάνεται σαν ενεργό μήκος αυτό που βρίσκεται κάτω του 0.5 m. Γι' αυτό τον λόγο τοποθετούμε τους γειωτές ταινίας σε βάθη μεγαλύτερα από του 0.5 m.

- **Θερμοκρασία.** Η μεταβολή της αντίστασης του εδάφους με τη θερμοκρασία φθάνει περίπου το ποσοστό της τάξης του  $\pm 30\%$  κατά τη διάρκεια του έτους. Τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο είναι υψηλότερη, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο χαμηλότερη. Η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

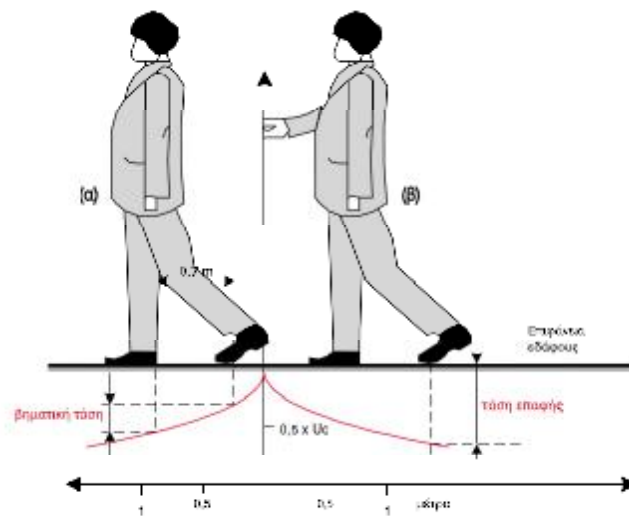
- **Μορφή της τάσης.** Σε κρουστικές τάσεις και για γειωτές με μήκος από 10 m, έχει παρατηρηθεί άνοδος της αντίστασης. Σε αρνητικές κρουστικές τάσεις 0.3/30 μση αντίσταση θεμελιακού γειωτή αυξάνεται από τα 3  $\Omega$  στα 26  $\Omega$ . Η άνοδος της αντίστασης γίνεται κατά το μέτωπο της κρουστικής τάσης. Η αντίσταση σε κρουστικές τάσεις χαρακτηρίζεται και σαν κρουστική αντίσταση.

Τέλος, έχει μετρηθεί ότι η επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη σε μικρά βάθη (0.5 - 1 m) παρά σε μεγάλα βάθη. Έτσι, ο γειωτής ράβδου που τοποθετείται σε μεγάλο βάθος, σε σύγκριση με έναν επιφανειακό γειωτή, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερότητας της αντίστασης κατά τη διάρκεια του έτους. Η ειδική αντίσταση του εδάφους μετριέται με ειδική γέφυρα 4 ηλεκτροδίων.

## 6.2 Βηματική τάση και τάση επαφής

Οι ισοδυναμικές γραμμές στην επιφάνεια της γης, γύρω από ένα ηλεκτρόδιο που βρίσκεται υπό τάση λόγω σφάλματος, είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το σημείο που έχουμε

τοποθετήσει το ηλεκτρόδιο. Αν σχεδιάσουμε ένα σύστημα αξόνων, τοποθετώντας στον κάθετο άξονα τις τιμές των ισοδυναμικών κύκλων και στον οριζόντιο άξονα τις αποστάσεις τους από το κέντρο (δηλαδή το σημείο που βρίσκεται το ηλεκτρόδιο) θα προκύψει η καμπύλη του Σχήματος 6.1 που ονομάζεται προφίλ δυναμικού. Ένας άνθρωπος που τα δύο του πόδια βρίσκονται σε επαφή με δύο από αυτούς τους κύκλους, θα βρεθεί υπό τάση που είναι η διαφορά των δυναμικών των δύο κύκλων. Θεωρώντας ότι η απόσταση μεταξύ των ποδιών καθώς βαδίζουμε είναι 0.7 m, τότε η τάση που υπάρχει μεταξύ των δύο κύκλων με μεταξύ τους απόσταση 0.7 m, ονομάζεται βηματική τάση (step voltage).



Σχήμα 6.1: Καμπύλη προφίλ δυναμικού συναρτήσει της απόστασης **α)** βηματική τάση **β)** τάση επαφής.

Για να βρούμε τη βηματική τάση στο προφίλ του δυναμικού, φέρνουμε κάθετους στα σημεία που βρίσκονται τα πόδια του ανθρώπου. Οι κάθετες αυτές τέμνουν το προφίλ δυναμικού, και στον κάθετο άξονα διαβάζουμε τη τιμή της βηματικής τάσης. Όσο απομακρυνόμαστε από το ηλεκτρόδιο, τόσο ελαττώνεται η βηματική τάση.

Αν κάποιος ακουμπά με το χέρι του στο ηλεκτρόδιο ή σε κάποιο μεταλλικό αντικείμενο που είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρόδιο, τότε θα βρεθεί σε τάση η οποία είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ισοδυναμικού κύκλου που βρίσκεται στο πόδι του ανθρώπου. Η τάση αυτή ονομάζεται τάση επαφής (touch voltage).

Αν κάποια από τις δύο τάσεις (βηματική ή επαφής) υπερβεί τα 50 V για χρόνο μεγαλύτερο από 0.2 s, τότε ο άνθρωπος κινδυνεύει από ηλεκτροπληξία. Η τάση επαφής είναι πιο επικίνδυνη, γιατί το ρεύμα στην διαδρομή του από το χέρι στο πόδι, διέρχεται από τον θώρακα του ανθρώπου, όπου βρίσκονται ζωτικά όργανα όπως οι πνεύμονες και η καρδιά.

### 6.3 Θεμελιακή γείωση

Η θεμελιακή γείωση σύμφωνα με το ΦΕΚ 1222/05-09-2006 τεύχος Β' αριθ. Φ. Α' 50/12081/642 άρθρο 2, καθίσταται πλέον υποχρεωτική σε όλες τις νεοαναγειρόμενες εκ θεμελίων οικοδομές.

Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων και αποτελεί ένα κλειστό βρόχο. Επειδή το έδαφος σε αυτό το βάθος, καθώς και το σκυρόδεμα των θεμελίων διατηρούν σταθερή την υγρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά χαμηλή αντίσταση γείωσης. Τιμές των 2 Ω ή μικρότερες δεν είναι σπάνιες.

Τα πλεονεκτήματα της θεμελιακής γείωσης έναντι άλλων συστημάτων γειώσεων συνοψίζονται στα εξής:

- Χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης
- Σταθερή τιμή αντίστασης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
- Μηχανική προστασία - Αντοχή σε Διάβρωση
- Εξάλειψη βηματικών τάσεων
- Ισοδυναμικές συνδέσεις
- Ευελιξία για εγκατάσταση ΣΑΠ (Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας)
- Χαμηλό κόστος

Ως γειωτής εγκαθίσταται ταινία χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη (St/tZn) διαστάσεων 30×3,5 mm με πάχος επιψευδαργύρωσης 500gr/m<sup>2</sup> εντός των θεμελίων του κτιρίου. Συνήθως στη θεμελιακή γείωση χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο υπό μορφή χαλύβδινης ή χάλκινης ταινίας, με αντίστοιχους σφικτήρες σύνδεσής της με τον οπλισμό, επιμήκυνσης - διασταύρωσής της και τέλος σφικτήρες σύνδεσής της με στρογγυλό αγωγό. Δεν υπάρχει φόβος για διάβρωση του χαλκού ή του χάλυβα, εφόσον τοποθετηθεί εντός της θεμελίωσης. Ο λόγος είναι ότι το ηλεκτροχημικό δυναμικό κάθε υλικού εξαρτάται από το ίδιο το υλικό αλλά και από το υλικό που το περιβάλλει. Στο σκυρόδεμα, ο χάλυβας αποκτά το ίδιο ηλεκτροχημικό δυναμικό με το χαλκό και ως εκ τούτου δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης.

Η θεμελιακή γείωση εγκαθίσταται συνήθως κατά τη φάση τοποθέτησης του οπλισμού των θεμελίων και φυσικά πριν τη σκυροδέτηση, όπου η ταινία τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση περιμετρικά της θεμελίωσης αλλά και σε εγκάρσιες και διαμήκης πεδιλοδοκούς στο κέντρο του κτιρίου συνδεδεμένη ανά 2m με τον οπλισμό (πεδιλοδοκών, τοιχείων). Οι αναμονές που αφήνονται από αυτή (για ισοδυναμικές συνδέσεις, αγωγούς καθόδου, κλπ.) ομοίως προεκτείνονται προς τις επιθυμητές θέσεις κατά τη φάση της τοποθέτησης του

οπλισμού στα αντίστοιχα υποστυλώματα - τοιχία. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι και οι αναμονές αυτές συνδέονται με κατάλληλους σφικκτήρες ανά 2m με τον οπλισμό.

Μερικά σημεία που χρήζουν προσοχής είναι τα παρακάτω:

- ➡ Η ταινία τοποθετείται με τη μεγάλη της επιφάνεια κάθετα στο έδαφος.
- ➡ Η ταινία γείωσης θα καλύπτεται από σκυρόδεμα B 225 (300 κιλά ανά κυβικό) για τουλάχιστον 5 cm.
- ➡ Απαγορεύεται αυστηρά η συγκόλληση της ταινίας ως και η συγκράτησή της επί του οπλισμού με σύρμα.
- ➡ Η θεμελιακή γείωση δεν μπορεί να κατασκευαστεί σε μία νεοαναγειρόμενη κατασκευή εφ' όσον και μόνο κάτω από τη θεμελίωση του κτιρίου πρόκειται να τοποθετηθεί μονωτική μεμβράνη για την κατασκευή στεγανολεκάνης. Στην περίπτωση αυτή είναι προφανές ότι δεν υπάρχει αγωγιμότητα μεταξύ της ταινίας και του εδάφους.

Οι παρακάτω περιπτώσεις πρέπει να αποφεύγονται κατά την κατασκευή θεμελιακής γείωσης λόγω των διαφορετικών ηλεκτρολυτικών τάσεων που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα εκτεταμένο βαθμό διάβρωσης.

**1.** Απαγορεύεται η ίδια η χαλύβδινη ταινία της θεμελιακής γείωσης ή οποιαδήποτε αναμονή από αυτή να εξέρχεται του σκυροδέματος προς τον περιβάλλοντα χώρο (έδαφος) του κτιρίου. Στην περίπτωση αυτή η χαλύβδινη ταινία θα διαβρωθεί σε πολύ σύντομο χρόνο. Σωστή εγκατάσταση είναι τα παραπάνω τμήματα (ταινία, αναμονές) να κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό.

**2.** Απαγορεύεται η απ' ευθείας σύνδεση υπόγειων παροχών κοινωφελών δικτύων, σωλήνων, κλπ. με τη θεμελιακή γείωση εφ' όσον αυτές είναι χαλύβδινες. Για τον παραπάνω λόγο είναι προφανές ότι ο χαλύβδινος σωλήνας θα διαβρώνεται με μεγάλη ταχύτητα. Το σωστό είναι η σύνδεση, όπου απαιτείται, να γίνεται μέσω σπινθηριστή αμέσως μετά την είσοδο του δικτύου εντός του κτιρίου ή εντός φρεατίου.

## 6.4 Γειώσεις σε υποσταθμούς καταναλωτών μέσης τάσης

Η γείωση στους υποσταθμούς μέσης τάσης πραγματοποιείται για τους εξής λόγους:

▮ Προστασία ατόμων κατά επικίνδυνων τάσεων επαφής και βηματικών τάσεων σε βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσης και γης στη ΜΤ, τα οποία ονομάζονται και σφάλματα γης ή υπερπηδήσεις μέσης τάσης. Παράδειγμα αποτελεί η υπερπήδηση τόξου μεταξύ φάσης και δοχείου διαστολής του Μ/Σ ή και άλλων λειτουργικών μερών του υποσταθμού.

▮ Λειτουργική γείωση του ουδετέρου του Μ/Σ και γείωση προστασίας στην εγκατάσταση ΧΤ για προστασία ατόμων κατά επικίνδυνων τάσεων επαφής.

Η γείωση ΜΤ φέρει σημαντικά ρεύματα σε σφάλματα γης. Το ρεύμα γης ρέει μέσω των αντιστάσεων που υπάρχουν στο δίκτυο των 150 kV, στα τυλίγματα του Μ/Σ 15/20 kV και τη γείωσή του, στις γραμμές των 20 kV και στην αντίσταση γείωσης του ΥΣ του καταναλωτή. Μία από τις μεγαλύτερες αντιστάσεις στο παραπάνω σύστημα, είναι η αντίσταση γείωσης του Μ/Σ 150/20 kV, που συνήθως είναι 12 Ω για ισχύ 50 MVA. Αυτή η αντίσταση έχει εκλεγεί έτσι ώστε να περιορίζει το ρεύμα σφαλμάτων γης στα 1000 A, χωρίς όμως να είναι πολύ μεγάλη ώστε να ανυψώνει το δυναμικό του ουδετέρου του Μ/Σ 150/20 kV.

Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να ρέει σε σφάλματα γης μπορεί να είναι 1000 A και η διάρκειά του εξαρτάται από τη ρύθμιση των ΗΝ γης, που είναι συνήθως 80A, 1στο πολύ.

Τα ρεύματα σε σφάλματα γης στη ΜΤ μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος επιδιώκονται μικρές αντιστάσεις γείωσης και ισοδυναμικά πλέγματα.

Η υλοποίηση των γειώσεων στην ΜΤ εστιάζεται στην τελική τιμή της αντίστασης γείωσης. Έτσι, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

▮ Η συνισταμένη αντίσταση γείωσης ΜΤ και ΧΤ είναι μικρότερη από 1 Ω.

▮ Η συνισταμένη αντίσταση γείωσης ΜΤ και ΧΤ είναι μεγαλύτερη από 1 Ω.

Η περίπτωση στην οποία η τελική τιμή της αντίστασης γείωσης για έναν υποσταθμό ΜΤ είναι μικρότερη από 1 Ω, θεωρείται η καλύτερη δυνατή.

### ▮ Αντίσταση γείωσης του ΥΣ μικρότερη από 1 Ω

Σε παροχές ΜΤ μπορεί η εγκατάσταση γείωσης ΜΤ και ΧΤ να είναι κοινή αν η συνισταμένη αντίσταση είναι μικρότερη από 1 Ω. Θεωρείται ότι για παροχές από υπόγειο καλωδιακό δίκτυο, με καλώδια μολύβδινου μανδύα Ν(Α)ΕΚΒΑ και μήκος μεγαλύτερο από 1200 m, η αντίσταση γείωσης είναι μικρότερη του 1 Ω. Ανεξάρτητα από αυτό το γεγονός, πρέπει σε

όλες τις καλωδιακές παροχές να κατασκευάζονται οι παρακάτω γειωτές και εγκαταστάσεις γείωσης.

#### ➔ Παροχές τύπου Α με κοινή γείωση ΜΤ και ΧΤ

Σε παροχές εξωτερικού χώρου, δηλαδή τύπου Α, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Τα αλεξικέραυνα της ΔΕΗ γειώνονται σε ιδιαίτερο γειωτή, π.χ. πάσσαλο 3 m στο έδαφος, όπου βρίσκεται η κατασκευή της ΔΕΗ. Τα μεταλλικά μέρη της ΜΤ και ΧΤ γειώνονται σε κοινή εγκατάσταση γείωσης. Τα μεταλλικά μέρη αυτά μπορεί να είναι οι μετρητές, τα αλεξικέραυνα του καταναλωτή, οι μανδύες των καλωδίων ΜΤ, τα μεταλλικά μέρη των κυψελών μέσης τάσης του καταναλωτή, το δοχείο του Μ/Σ, ο ουδέτερος κόμβος από την πλευρά της χαμηλής τάσης του Μ/Σ, το ισοδυναμικό πλέγμα.

Έχουμε τρεις εγκαταστάσεις γείωσης. Η πρώτη είναι αυτή των αλεξικέραυνων της ΔΕΗ (πάσσαλος), η δεύτερη είναι στο στύλο των μετρητών (πάσσαλος) και η τρίτη είναι στον εσωτερικό χώρο του καταναλωτή. Η τελευταία γείωση πραγματοποιείται με πασσάλους από γαλβανισμένο σωλήνα, διαμέτρου 2 mm και τοποθετείται σε βάθος 3 m μέσα στο έδαφος. Οι πάσσαλοι ενδείκνυται να είναι τουλάχιστον τρεις σε απόσταση 6 m ο ένας από τον άλλο, γενικά όμως προτιμάται η εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης. Στην εγκατάσταση του εσωτερικού χώρου ενδείκνυται η τοποθέτηση ισοδυναμικού πλέγματος σε βάθος 5-10 cm σε όλο το δάπεδο του ΥΣ μέσης τάσης που είναι βατό από ανθρώπους. Σαν ισοδυναμικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα διαμέτρου 5 mm τουλάχιστον, με ανοίγματα το πολύ  $300 \times 300 \text{ mm}^2$ . Στο πλέγμα συγκολλούνται χαλύβδινες ταινίες  $30 \times 3.5 \text{ mm}^2$ , όπου και συνδέονται τα μεταλλικά μέρη των κυψελών και οι γειωτές. Προτιμάται η χρήση του γαλβανισμένου χάλυβα.

Υπάρχει περίπτωση όπου αντί δομικού πλέγματος, να χρησιμοποιηθούν ταινίες γαλβανισμένου χάλυβα  $30 \times 3.5 \text{ mm}^2$  σε βάθος 5 cm στο μπετόν. Τοποθετούνται παράλληλα σε απόσταση 0.5 - 0.7 m η μία από την άλλη και συνδέονται με βίδες μετωπικά με ταινίες των ίδιων διαστάσεων. Δεν ενδείκνυται η χρήση πλέγματος από χαλκό σε συνδυασμό με χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης, γιατί μπορεί να επέλθει ηλεκτροχημική διάβρωση του χάλυβα.

Για τη γείωση χρησιμοποιούνται αγωγοί που μπορούν να φέρουν ρεύματα 1000 A για 1 sec. Η διατομή που αντιστοιχεί σε τέτοιους αγωγούς είναι  $25 \text{ mm}^2$ . Συνιστάται η χρήση χονδρόκλωνων αγωγών H07VR 35...70 για λόγους μηχανικής αντοχής.

#### ➔ Παροχές τύπου Β με κοινή γείωση ΜΤ και ΧΤ

Στις παροχές τύπου Β, οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ και των καταναλωτών γειώνονται ή σε πασσαλο-γειωτές, όπως στις παροχές τύπου Α, ή σε θεμελιακή γείωση. Στο χώρο της ΔΕΗ και του καταναλωτή τοποθετούνται ισοδυναμικά πλέγματα. Στο χώρο της ΔΕΗ χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα με σύρματα διαμέτρου 5 mm τουλάχιστον, και διαστάσεων

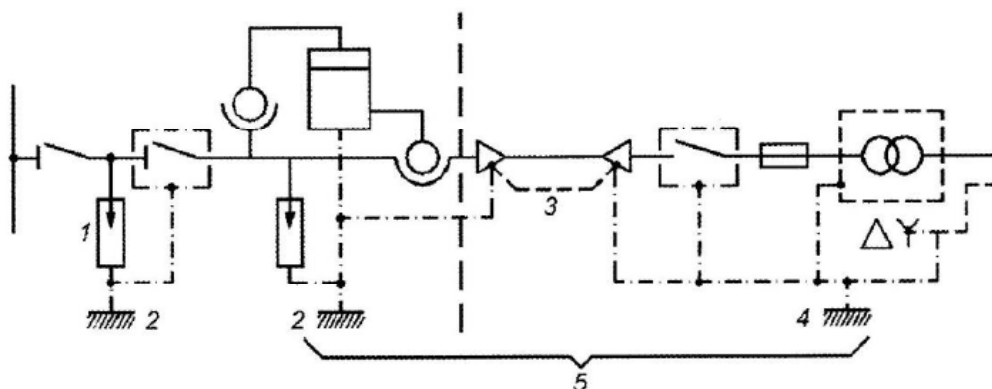
ανοιγμάτων το πολύ  $300 \times 300 \text{ mm}^2$ .

### ➔ Αντίσταση γείωσης του ΥΣ μεγαλύτερη από $1 \Omega$

Σε αυτή τη περίπτωση οι γειωτές μέσης και χαμηλής τάσης δεν ενώνονται. Οι κατασκευές των γειωτών και τα ισοδυναμικά πλέγματα γειώνονται στη ΜΤ, όπως και στην περίπτωση όπου η αντίσταση γείωσης είναι μικρότερη από  $1 \Omega$ . Για λόγους ασφαλείας των ατόμων, η αντίσταση γείωσης των γειωτών ΜΤ πρέπει να είναι μικρότερη από  $40 \Omega$ .

Η γείωση του ουδετέρου του Μ/Σ και ενδεχομένως του ουδετέρου αγωγού στους πίνακες ΧΤ, πρέπει να έχουν συνολική συνισταμένη αντίστασης γείωσης χαμηλότερη των  $10 \Omega$ . Οι γειωτές της ΧΤ πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον  $20 \text{ m}$  από τους γειωτές της ΜΤ, ώστε να μην αλληλοεπιηρεάζονται οι δύο εγκαταστάσεις γείωσης.

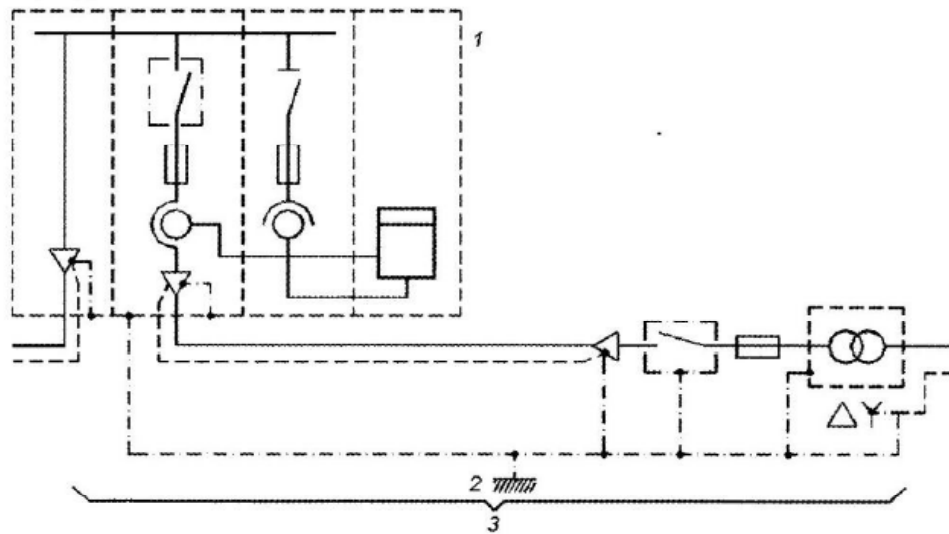
Εδώ σημειώνουμε ότι στην περίπτωση ξεχωριστών γειώσεων, όπου η αντίσταση γείωσης ΜΤ είναι μεγάλη (π.χ.  $40 \Omega$ ), η μόνωση του Μ/Σ καταπονείται σε σφάλματα γης. Επίσης, ο ηλεκτρικός διαχωρισμός των δύο γειώσεων της χαμηλής και της μέσης τάσης δεν είναι εύκολος. Γι' αυτό πρέπει να γίνεται προσπάθεια ώστε να επιτευχθεί χαμηλή αντίσταση γείωσης του ΥΣ.



Σχήμα 6.2: Παροχή Α - Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μικρότερη από  $1 \Omega$ .

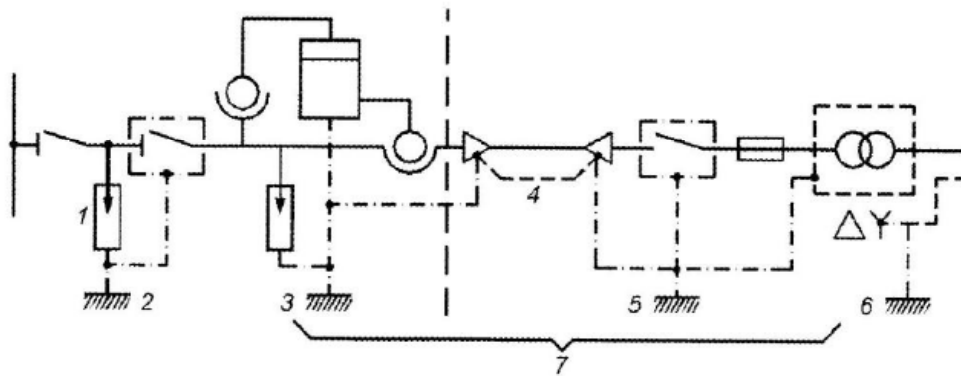
- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Μόνο σε κεραυνόπληκτες περιοχές | 4. Γείωση (κατά προτίμηση θεμελιακή) |
| 2. Απλή γείωση με ένα ηλεκτρόδιο   | 5. Συνολική αντίσταση γείωσης        |
| 3. Μολύβδινος μανδύας καλωδίου     | $X_T$ και $M_T < 1\Omega$            |





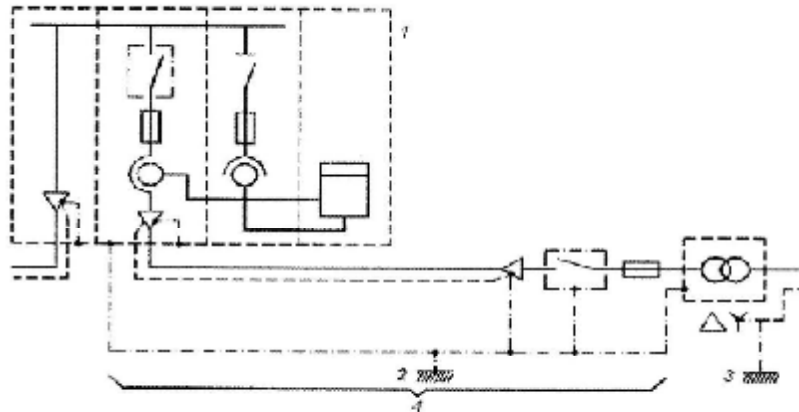
Σχήμα 6.3: Παροχή Β - Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μικρότερη από 1 Ω.

- |                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Κυψέλες ΜΤ                        | 3. Συνολική αντίσταση γείωσης |
| 2. Γείωση (κατά προτίμηση θεμελιακή) | ΧΤ και ΜΤ < 1Ω                |



Σχήμα 6.4: Παροχή Α - Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μεγαλύτερη από 1 Ω.

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Μόνο σε κεραυνόπληκτες περιοχές | 5. Γείωση (κατά προτίμηση θεμελιακή) |
| 2. Απλή γείωση                     | 6. Γείωση ουδετέρου < 10 Ω           |
| 3. Αποτελεσματική γείωση (πλέγμα)  | 7. Αντίσταση γείωσης ΜΤ < 40Ω        |
| 4. Μολύβδινος μανδύας καλωδίου     |                                      |



Σχήμα 6.5: Παροχή Β - Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μεγαλύτερη από 1 Ω.

- |                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Κυψέλες ΜΤ                        | 3. Γείωση ουδετέρου < 10 Ω    |
| 2. Γείωση (κατά προτίμηση θεμελιακή) | 4. Αντίσταση γείωσης ΜΤ < 40Ω |

## 6.5 Υπολογισμός διατομής αγωγού γείωσης

Η διατομή των αγωγών γείωσης, των αγωγών προστασίας και των ισοδυναμικών συνδέσεων προσδιορίζονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Επίσης σε εγκαταστάσεις ΜΤ, η διατομή των καλωδίων προσδιορίζεται κυρίως από το ρεύμα βραχυκύκλωσης, ακόμα και σε μεγάλες ισχύες (5 MW). Επομένως, η διατομή προσδιορίζεται από την ισχύ βραχυκύκλωσης  $S_k$ .

Τα Σχήματα 6.6 έως και 6.9 δείχνουν τις επιτρεπόμενες εντάσεις σε βραχυκυκλώματα για καλώδια και γυμνούς αγωγούς. Τα διαγράμματα που αντιστοιχούν στα σχήματα προήλθαν από τον τύπο του ρεύματος σε συνάρτηση του χρόνου, στη δυσμενέστερη περίπτωση (έναρξη βραχυκυκλώματος με μέγιστη θερμοκρασία αγωγού).

$$I_{th} = \frac{k \cdot A}{\sqrt{t}}$$

$I_{th}$  = το θερμικά επιτρεπόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης (A)

$A$  = η πραγματική διατομή ( $mm^2$ )

$t$  = η διάρκεια βραχυκύκλωσης (s)

$k$  = η ονομαστική πυκνότητα ( $A \cdot \sqrt{t} \cdot mm^2$ )

Οι τιμές του k προσδιορίζονται ως εξής:

<b>Τιμές του k για καλώδια χαλκού (Cu)</b>	
109	για πολυαιθυλαίνιο, χαρτί 6.6 και 15 kV, βουτύλιο
115	για PVC, χαρτί 20 και 22 kV
143	για δικτυομένο πολυαιθυλένιο
<b>Τιμές του k για καλώδια αλουμινίου (Al)</b>	
72	για πολυαιθυλαίνιο, χαρτί 6.6 και 15 kV, βουτύλιο
76	για PVC, χαρτί 20 και 22 kV
94	για δικτυομένο πολυαιθυλένιο
<b>Τιμές του k για εναέρια γραμμές</b>	
110	για χαλκό (Cu)
54	για αλουμίνιο (Al)
66	για ACSR

Πίνακας 6.2: Τιμές της ονομαστικής πυκνότητας k για καλώδια χαλκού και αλουμινίου.

Η αναγκαία διατομή των καλωδίων A, έτσι ώστε να αντέξουν σε βραχυκύκλωμα, δίνεται από την σχέση:

$$A = \frac{1000 \cdot S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot k} \cdot \sqrt{t} \quad [mm^2]$$

$S_k$  = ισχύς βραχυκύκλωσης (MVA)

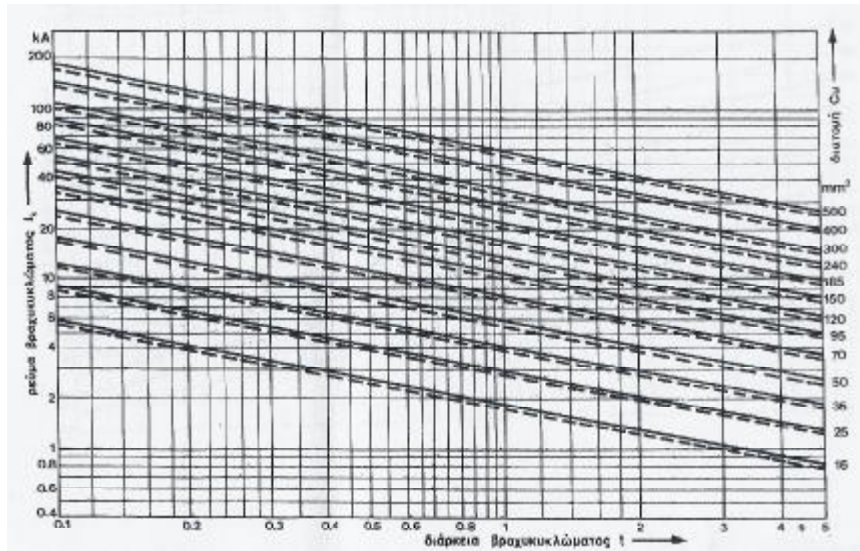
$U_n$  = ονομαστική τάση (kV)

t = η διάρκεια βραχυκύκλωσης (s)

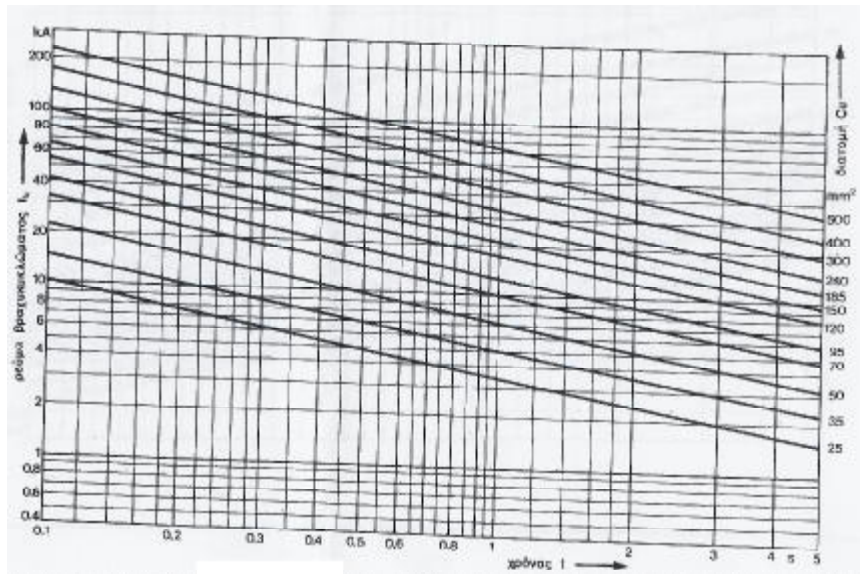
k = η ονομαστική πυκνότητα ( $A \cdot \sqrt{t} \cdot mm^2$ )

Σαν διάρκεια βραχυκυκλώματος t λαμβάνεται, σε διακόπτες με κύκλους επαναφοράς, το άθροισμα των χρόνων που ο διακόπτης είναι εντός.

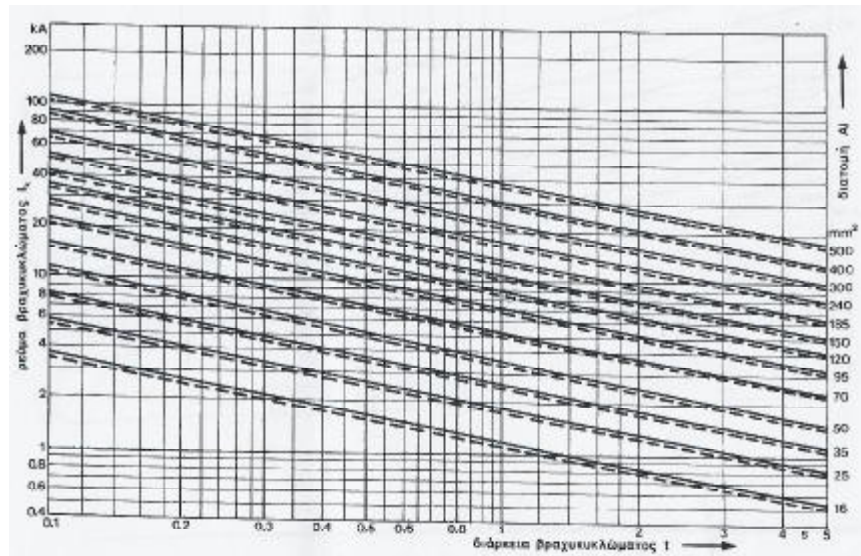
Στα Σχήματα 6.6 έως και 6.9 μπορούμε να δούμε την απαραίτητη διατομή του αγωγού γείωσης για αγωγό χαλκού ή αλουμινίου. Στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται η διάρκεια βραχυκυκλώματος t σε sec, στον αριστερό κάθετο άξονα βρίσκεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_k$  σε kA, και στον δεξιό κάθετο άξονα βρίσκεται η διατομή του αγωγού σε  $mm^2$ .



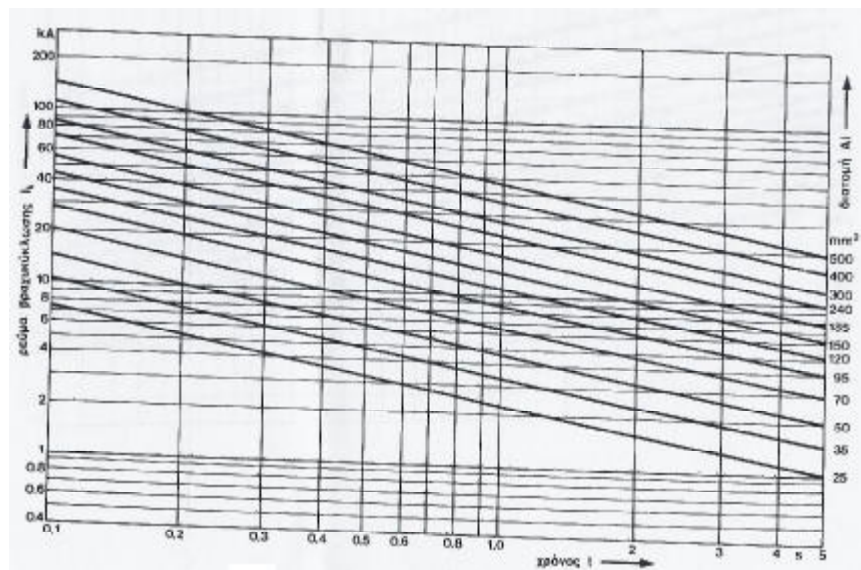
Σχήμα 6.6: Θερμική αντοχή καλωδίων χαλκού σε βραχυκυκλώματα.  
 Οριζόντια γραμμή: καλώδια χαρτιού (6 kV, 15 kV) βουτυλίου.  
 Διακεκομμένη γραμμή: καλώδια χαρτιού 20 kV και PVC.



Σχήμα 6.7: Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου με αγωγό χαλκού κατά VDE 0298. Το ρεύμα  $I_k$  είναι το ενεργό ρεύμα (το ισοδύναμο θερμικό ρεύμα).



Σχήμα 6.8: Θερμική αντοχή καλωδίων αλουμινίου σε βραχυκυκλώματα.  
 Οριζόντια γραμμή: καλώδια χαρτιού 20 kV και PVC.  
 Διακεκομμένη γραμμή: καλώδια χαρτιού (6 kV, 15 kV) βουτυλίου



Σχήμα 6.9: Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου με αγωγό αλουμινίου.

# Κεφάλαιο 7

## Κτίρια υποσταθμών Μέσης Τάσης

---

Η εγκατάσταση των Μ/Σ μπορεί να γίνει υπαίθρια ή στεγασμένη, και πάντα σε δικό τους ανεξάρτητο χώρο. Οι Μ/Σ λαδιού εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητο οικίσκο, ενώ οι Μ/Σ ξηρού τύπου μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε όροφο του κτιρίου. Βασική απαίτηση για την απρόσκοπτη λειτουργία του Μ/Σ είναι ο σωστός φυσικός ή τεχνητός αερισμός του χώρου της εγκατάστασης, ώστε να απάγεται η θερμότητα (= απώλειες) που δημιουργείται.

### 7.1 Υπολογισμός θαλάμου του μετασχηματιστή ισχύος (κατά Gotter)

Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής ισχύος πρόκειται να τοποθετηθεί σε θάλαμο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις διαστάσεις του θαλάμου που θα τον φιλοξενήσει και στον τρόπο αερισμού του. Από τους δύο αυτούς παράγοντες επηρεάζεται η ψύξη των μετασχηματιστών, η οποία με την σειρά της επηρεάζει την διάρκεια ζωής του.

➔ Οι τοίχοι του θαλάμου και τα ακρότατα σημεία του Μ/Σ πρέπει να έχουν μεταξύ τους απόσταση 0.5-0.6 m.

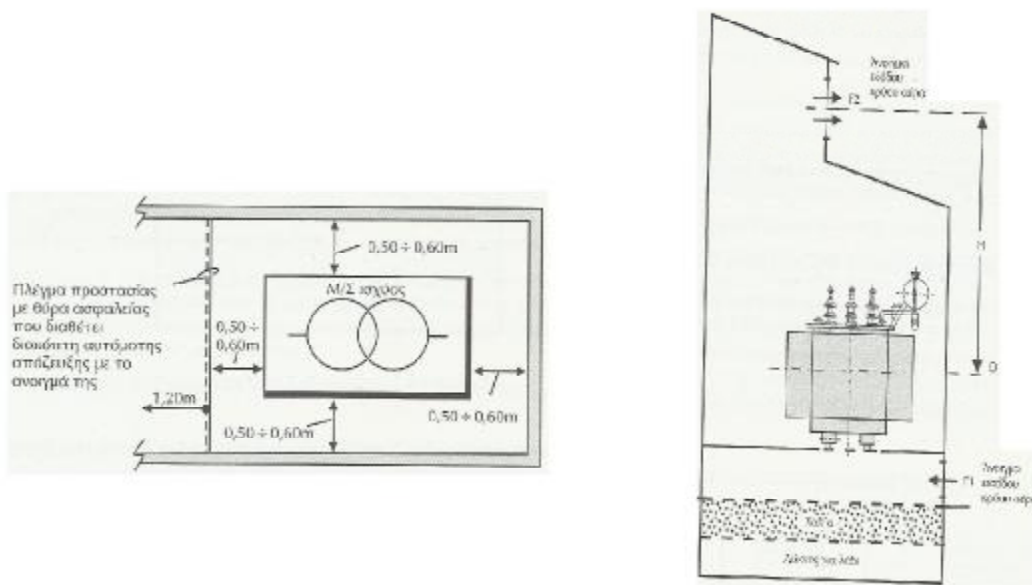
➔ Η αντίσταση του αέρα για ανοίγματα χωρίς κιγκλιδώματα, πλέγματα, περσίδες κλπ. πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον  $W_{min} = 4$ .

➔ Για κάθε κιγκλιδώμα, πλέγμα και περσίδα, πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον  $W_K = 1$ ,  $W_{pl} = 1.5$  και  $W_{per} = 3$  αντίστοιχα.



Έτσι η συνολική αντίσταση του αέρα για θάλαμο Μ/Σ με δύο ανοίγματα περιόδων είναι:

$$W = W_{min} + 2 \cdot W_{per} = 4 + 2 \cdot 3 = 10$$



Σχήμα 7.1: Χώρος σε κάτοψη γύρω από τον μετασχηματιστή ισχύος σε θάλαμο υποσταθμού μέσης τάσης (αριστερά).

Τομή θαλάμου μετασχηματιστή ισχύος (δεξιά).

Προκειμένου δε να δημιουργείται ρεύμα αέρος, το άνοιγμα εξόδου θερμού αέρα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο ψηλά, ενώ το άνοιγμα εισόδου του κρύου αέρα (περιθάλωντος) πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά.

Το εμβαδόν του ανοίγματος εισόδου του αέρα ( $F_1$ ) υπολογίζεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$F_1 = \frac{4.25}{100} \cdot V \cdot \frac{\sqrt{104 \cdot W}}{H \cdot t^3} \quad [m^2]$$

όπου:

**V** = οι συνολικές απώλειες [kW]

**W** = η αντίσταση του αέρα

**H** = το ύψος ανοίγματος εξόδου του αέρα [m]

$t$  = η ανύψωση της θερμοκρασίας του θαλάμου σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος [ $^{\circ}C$ ]

Το εμβαδόν του ανοίγματος εξόδου του αέρα ( $F_2$ ) υπολογίζεται κατά 10-15% μεγαλύτερο από το άνοιγμα  $F_1$ .

## 7.2 Προδιαγραφές κατασκευής υπαίθριου επίγειου υποσταθμού Μέσης Τάσης

Οι υπαίθριοι επίγειοι υποσταθμοί MT 20 kV / 0.4-0.231 kV, χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Η κατασκευή των οικίσκων των υποσταθμών αυτών είναι μεταλλική και αποτελείται από σκελετό μορφοσιδήρου με επένδυση λαμαρίνας ψυχρής εξέλασης (DKP).

Το εσωτερικό του οικίσκου του υποσταθμού χωρίζεται σε τρία διαμερίσματα:

1. στο διαμέρισμα άφιξης της μέσης τάσης (20 kV)
2. στο διαμέρισμα του μετασχηματιστή
3. στο διαμέρισμα αναχώρησης της χαμηλής τάσης (0.4/0.231 kV).

Καθένας από τους τρεις παραπάνω χώρους είναι επισκέψιμος μέσω διπλών ανοιγμένων θυρών κατάλληλων διαστάσεων που επιτρέπουν εύκολη πρόσβαση στα παραπάνω διαμερίσματα, ώστε να γίνονται με ευκολία οι χειρισμοί συσκευών και οργάνων και οι εργασίες συντήρησης ή αντικατάστασης του εξοπλισμού. Τα φύλλα των θυρών όταν ανοίγουν περιστρέφονται προς τα έξω με άνοιγμα μέχρι  $90^{\circ}$ , πάνω σε θυροστροφείς (μεντεσέδες) βαριάς κατασκευής. Η κατασκευή των θυρών είναι επίσης βαριά, με ενισχύσεις για πρόσθετη αντοχή στις υπερπίεσεις.

Για τον φυσικό αερισμό των χώρων, και ειδικώς για την ψύξη του διαμερίσματος του Μ/Σ, οι θύρες έχουν σε όλο το ύψος τους ειδικές ανωδειομένες περιόδους που επιτρέπουν την είσοδο του αέρα, έτσι ώστε να εξασφαλίσουν επαρκή φυσικό αερισμό για την απαγωγή θερμότητας του ΜΣ ισχύος, χωρίς να αναιρείται η κλάση προστασίας και η μηχανική αντοχή του περιβλήματος.

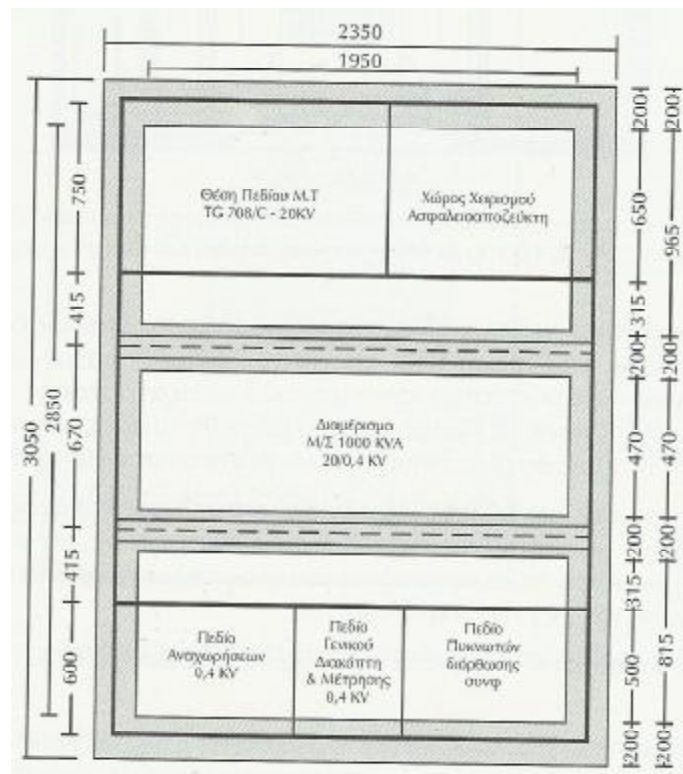
Η κλάση προστασίας του οικίσκου είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC 529, και η κλάση προστασίας των διαμερισμάτων είναι IR 43.

Το περίβλημα του οικίσκου είναι κατασκευασμένο από λαμαρίνα DKP πάχους 2 mm, τα μεταλλικά φύλλα της επένδυσης αποτελούν ενιαίο κομμάτι και όχι συρραφή μικρότερων κομματιών, ενώ το πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα μορφοσιδήρου πάχους 2.5 mm, έτσι ώστε ο σκελετός να είναι ανθεκτικός σε μηχανικές καταπονήσεις και να παρουσιάζει αντοχή και ακαμψία.

Ο ειδικός τρόπος κατασκευής και συναρμολόγησης του οικίσκου του ΥΣ στο χώρο τοποθέτησής του αποτρέπει μόνιμες παραμορφώσεις, θραύσεις, κακή λειτουργία των θυρών ή ακόμα βλάβες στον εξοπλισμό του ΥΣ τόσο κατά τη λειτουργία του, όσο και κατά την φορτοεκφόρτωσή του.



Επισημαίνεται ότι το σύνολο της κατασκευής είναι απόλυτα προφυλαγμένο από οξειδώσεις, διότι τα επιμέρους τμήματα είναι λυόμενα και όχι συγκολλούμενα. Η όλη κατασκευή, που θα είναι εκτεθειμένη σε συνθήκες υπαίθρου, πρέπει να είναι προεγμένη, χωρίς προεξοχές, βαμμένη εξωτερικά και εσωτερικά με ισχυρή αντιδιαβρωτική βαφή (ηλεκτροστατική βαφή RAL) για μακρόχρονη αντοχή χωρίς συντήρηση στην ηλιακή ακτινοβολία και γενικά σε συνθήκες εξωτερικού χώρου.



Σχήμα 7.2: Κάτοψη βάσης υποσταθμού μέσης τάσης και διαμόρφωση χώρων.

Το περίβλημα των ΥΣ έχει ειδικούς ανθεκτικούς κρίκους ανάρτησης, έτσι ώστε να διευκολύνεται η φορτοεκφόρτωση και μεταφορά του οικίσκου χωρίς να φθείρεται το περίβλημα, ο σκελετός ή η αντιδιαβρωτική προστασία του ΥΣ. Οι ΥΣ αυτού του είδους εγκαθίστανται πάνω σε βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει χωρίς φθορές από τους κραδασμούς που προέρχονται από εξωτερικά αίτια ή χειρισμούς, να επιτρέπεται επαρκής αντίσταση στις πιέσεις των ανέμων και να αποκλείει την ανατροπή κατά τις θύελλες.

Στη βάση των ΥΣ ενσωματώνεται ισοδυναμικό πλέγμα σε βάθος 5-10 cm από το δάπεδο. Το πλέγμα αυτό αποτελείται από χαλύβδινες ράβδους διαμέτρου 4 mm, ανοίγματος περίπου 300 × 100 mm, και με δύο γαλβανισμένες ταινίες 30 × 35 mm με τη μεταλλική κατασκευή του ΥΣ και στη συνέχεια συνδέεται με την εγκατάσταση γείωσης. Η μεταλλική

κατασκευή του οικίσκου έχει μεταλλική συνέχεια για την καλή γείωσή της. Το ίδιο ισχύει και για τις θύρες του ΥΣ που έχουν ηλεκτρική σύνδεση μέσω πλεκτού χάλκινου αγωγού.

Οι εργασίες για τη σύνδεση, καθώς και για τον έλεγχο της γείωσης, γίνονται με ευχέρεια και χωρίς επέμβαση στο περίβλημα. Ο ΜΣ ισχύος μεταφέρεται και εγκαθίσταται στον ΥΣ ανεξάρτητα του οικίσκου. Τοποθετείται πάνω σε ράγες κυλίσεως, που στηρίζονται στη βάση από σκυρόδεμα. Η σύνδεσή του με τον ασφαλειοαποξεύκτη μέσης τάσης γίνεται μέσω χάλκινων ζυγών και μονωτήρων διέλευσης. Η αντίστοιχη σύνδεση με τον αυτόματο διακόπτη ισχύος χαμηλής τάσης γίνεται μέσω καλωδίων J1W-R (NW) κατάλληλης διατομής.

Ο φωτισμός ασφαλείας των χώρων της μέσης και της χαμηλής τάσης καθώς και του μετασχηματιστή εξασφαλίζεται με χρήση φορητής συσκευής αυτονομίας 6 ωρών.

Συνήθεις ανάγκες μεγέθυνσης σε αντικατάσταση του Μ/Σ ισχύος, με άλλον με ισχύ μεγαλύτερη των 1000 kVA, καλύπτεται με ιδιοκατασκευή που αυξάνει ανάλογα τις διαστάσεις του χώρου του μετασχηματιστή.

# Κεφάλαιο 8

## Συντήρηση Υποσταθμών

---

### 8.1 Γενικά

Οι εργασίες συντήρησης στους ΥΣ μέσης τάσης μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες :

#### 1. Επιθεώρηση

Ο ΥΣ λειτουργεί και γίνεται οπτικός έλεγχος και παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων από το προσωπικό συντήρησης. Οι παρατηρήσεις καταγράφονται και ακολουθεί επεξεργασία με σκοπό να βγούν συμπεράσματα για τη λήψη αποφάσεων.

#### 2. Προληπτική συντήρηση

Περιλαμβάνει λεπτομερή επιθεώρηση και περιοδικές μετρήσεις και δοκιμές στον εξοπλισμό και τις διατάξεις του ΥΣ. Στο πρόγραμμα εφαρμογής της προληπτικής συντήρησης καθορίζονται :

- ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών συντηρήσεων,
- το πλήθος των χειρισμών μετά τη συμπλήρωση των οποίων απαιτείται συντήρηση,
- η μέγιστη διάρκεια λειτουργίας του μηχανήματος ή εξαρτήματος, μετά την οποία απαιτείται η αντικατάστασή του.

Σημείο αναφοράς είναι οι οδηγίες του κατασκευαστή του μηχανήματος και η πείρα από τη χρήση.

### 3. Επισκευαστική συντήρηση

Η επισκευαστική συντήρηση γενικά δεν γίνεται βάσει προγράμματος. Εφαρμόζεται όταν η λειτουργία ενός μηχανήματος παρουσιάσει πρόβλημα (π.χ. υπερθέρμανση) και εκτιμάται ότι η κατάσταση του θα επιδεινωθεί. Επίσης όταν συμβεί ένα σφάλμα στη λειτουργία του (π.χ. βραχυκύκλωμα, πώση κεραυνού), μπορεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή να απαιτείται πρόσθετος έλεγχος, προληπτική αντικατάσταση ή έκτακτη συντήρηση. Το μηχάνημα βγαίνει εκτός λειτουργίας και επισκευάζεται βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή. Σκοπός της είναι να επαναφέρει τη σωστή λειτουργία του μηχανήματος.

Γενικά η συντήρηση των υποσταθμών μέσης τάσης πρέπει να γίνεται σε σύντομα χρονικά διαστήματα και από εξειδικευμένο προσωπικό ειδικότητας Ηλεκτρολόγου ΣΤ. Η ειδικότητα ΣΤ περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις παραγωγής, μετατροπής, μεταφοράς, μετασχηματισμού και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το χρονικό διάστημα στο οποίο πρέπει υποχρεωτικά να γίνεται η συντήρηση των υποσταθμών μέσης τάσης, δίνεται στον Πίνακα 8.1.

<b>α/α</b>	<b>Σημείο για συντήρηση</b>	<b>Ενδεικνυόμενο χρονικό διάστημα</b>
1.	Γείωση υποσταθμού	Κάθε καλοκαίρι που το έδαφος είναι ξηρό
2.	Λάδια μετασχηματιστών	Κάθε χρόνο

Πίνακας 8.1: Χρονικά διαστήματα για συντήρηση υποσταθμών.

Παρακάτω εξετάζεται σταδιακά η διαδικασία που πρέπει να ακολουθείται για τη συντήρηση ενός υποσταθμού μέσης τάσης με προτεραιότητα πάντα την ασφάλεια του συντηρητή.

- ⇒ Οπτικός έλεγχος της εγκατάστασης του ΥΣ, για εξακρίβωση της ομαλής λειτουργίας.
- ⇒ Σταδιακή αποσύνδεση φορτίων χαμηλής τάσης που τροφοδοτούνται από τον ΜΣ του ΥΣ.
- ⇒ Αποσύνδεση του ΜΣ από το πεδίο της ΜΤ και εξακρίβωση μηδενικής τάσης στο δευτερεύον του.
- ⇒ Έλεγχος εξακρίβωσης ολόκληρου του δικτύου της ΜΤ για μηδενική τάση (πραγματική αποσύνδεση) προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του συντηρητή.
- ⇒ Συνήθως γειώνεται ο ουδέτερος του ΜΣ ισχύος για να απομακρυνθούν προς τη γη τυχόν υπάρχοντα χωρητικά φορτία.
- ⇒ Έλεγχος της αντίστασης γείωσης, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη του  $1 \Omega$  στη περίπτωση που υπάρχει κοινή ένωση μεταξύ των γειωτών μέσης και χαμηλής τάσης.

- ⇒ Έλεγχος της αντίστασης μόνωσης της μέσης και χαμηλής τάσης, καθώς επίσης και του ΜΣ. Στη μέτρηση αυτή, που πραγματοποιείται με το Megger, η τιμή της αντίστασης μόνωσης δίνεται στον Πίνακα 8.2.
- ⇒ Έλεγχος και καθαρισμός των επαφών των διακοπών και των ασφαλειών.
- ⇒ Έλεγχος του ΜΣ ισχύος.

Τμήμα μέτρησης	Τιμή αντίστασης μόνωσης
Μέση Τάση	> 1000 Ω/V
Χαμηλή Τάση (μέχρι 250 Ω)	> 250 ΚΩ
Φάσεις χαμηλής τάσης	> 500 ΚΩ

Πίνακας 8.2: Τιμές αντίστασης μόνωσης.

Ο ΜΣ ισχύος ως πολύ αξιόπιστο μηχάνημα, πρακτικά δεν χρειάζεται συντήρηση, με την προϋπόθεση όμως ότι είναι καθαρός, δεν έχει υπερφορτωθεί περισσότερο από τα όρια του φορτίου του και της επιτρεπόμενης χρονικής του διάρκειας, δεν έγιναν υπερτάσεις από κεραυνούς και πως οι συσκευές ζεύξης της μέσης και της χαμηλής τάσης λειτουργούν σωστά, όπως επίσης και οι αντίστοιχες συσκευές προστασίας.

## 8.2 Συντήρηση κύριου εξοπλισμού

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

### ➔ Διακόπτες SF<sub>6</sub>

Η γενική συντήρηση των διακοπών SF<sub>6</sub>, γίνεται με βάση τις καταπονήσεις που ήσουν και όχι ανά σταθερά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα η γενική επιθεώρηση γίνεται ύστερα από 5.000 λειτουργίες (άνοιγμα-κλείσιμο) με εντάσεις μέχρι την ονομαστική ένταση. Σε περίπτωση λειτουργίας με ρεύμα σφάλματος, καλό είναι να γίνεται έκτακτη επιθεώρηση του διακόπτη.

Έκτακτη συντήρηση του διακόπτη γίνεται αν π.χ. αυτό υποδειχθεί από συσκευή παρακολούθησης της κατάστασής του - εφόσον υπάρχει τέτοια συσκευή - ή αν εμφανιστεί κάποια ανώμαλη συνθήκη στο διακόπτη. Στη γενική συντήρηση ελέγχουμε τα παρακάτω:

- Συνεχής παρακολούθηση της πυκνότητας (πίεσης) του αερίου SF<sub>6</sub>.
- Δοκιμές καλής λειτουργίας με μηδενικό φορτίο.
- Επιθεώρηση του μηχανισμού κίνησης του διακόπτη.

#### ➔ **Μετασχηματιστής λαδιού.**

Ο οπτικός έλεγχος του μετασχηματιστή λαδιού περιλαμβάνει:

- Έλεγχο καθαρότητας του, ιδίως στους μονωτήρες που μαζεύεται σκόνη και υγρασία, οι οποίες συντελούν σε υπερπηδήσεις.
- Έλεγχο διαρροής λαδιού.
- Έλεγχο σκουριάς στο δοχείο του, που πιθανόν να προέρχεται από κτυπήματα κλπ.
- Έλεγχο της στάθμης του ελαιοδείκτη ώστε να είναι αυτή για την οποία αντιστοιχεί η θερμοκρασία του λαδιού.
- Έλεγχο της κατάστασης του αφυγραντήρα ως εξής:

{ **Γαλάζιο χρώμα** → καλή κατάσταση

{ **Ροζ χρώμα** → πρέπει να αντικατασταθεί το Silica Gel (ζελατίνα πυριτίου) ή να ξηρανθεί

#### ➔ **Έλεγχος λαδιού του μετασχηματιστή ισχύος.**

Ο έλεγχος του λαδιού του μετασχηματιστή ισχύος περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Έλεγχο της διηλεκτρικής αντοχής του λαδιού, βάσει δείγματος τουλάχιστον ενός λίτρου που λαμβάνεται από το σύστημα του αντίστοιχου διακόπτη εκκένωσης. Το δείγμα, το οποίο τοποθετείται σε καθαρό δοχείο και κλείνει ερμητικά μετά το γέμισμα, στέλνεται για έλεγχο σε ανάλογο εργαστήριο. Σε περίπτωση που έχουν αλλοιωθεί τα χαρακτηριστικά του λαδιού, πρέπει να αντικατασταθεί ή να ανακυκλωθεί με ειδικό μηχάνημα.
- Έλεγχο λειτουργίας του ηλεκτρονόμου Buchholz.
- Έλεγχο του θερμομέτρου και της κατάστασης των επαφών του.
- Απομάκρυνση όλων των εργαλείων από τον χώρο του ΥΣ, γίνεται η τροφοδοσία της μέσης τάσης και ελέγχεται η άφιξή της.
- Έλεγχος σωστού εξαερισμού των διαμερισμάτων του ΥΣ.
- Έλεγχος του Μ/Σ χωρίς το φορτίο του.
- Σταδιακή σύνδεση των φορτίων του Μ/Σ στην πλευρά της χαμηλής του τάσης, και έλεγχος της τιμής αυτής.

- Παρακολούθηση της λειτουργίας του ΥΣ για λίγες ώρες μετά τη διαδικασία της συντήρησής του.

#### ➔ **Μετασχηματιστής ξηρού τύπου.**

Η συντήρηση του Μ/Σ ξηρού τύπου έγκειται στην εξωτερική επιθεώρηση μία φορά το χρόνο.

### **8.3 Συντήρηση βοηθητικού εξοπλισμού**

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

#### ➔ **Συσσωρευτές μολύβδου.**

Κατά τη συντήρηση των παραδοσιακών συσσωρευτών μολύβδου γίνονται γενικά :

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

Στους ανοιχτούς συσσωρευτές μολύβδου ελέγχεται η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ανά μήνα και αυτό αποτελεί μέρος της χωρητικότητας του συσσωρευτή. Στους κλειστούς συσσωρευτές μολύβδου ελέγχονται οι βαλβίδες τους για τυχόν απώλεια ηλεκτρολύτη. Σε αυτού του τύπου συσσωρευτές δεν γίνεται μέτρηση της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη. Κάθε 5-10 χρόνια απαιτείται η αντικατάσταση των συσσωρευτών μολύβδου.

#### ➔ **Συσσωρευτές καδμίου - νικελίου.**

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

### ➤ **Φορτιστές**

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



# Κεφάλαιο 9

## Αντιστάθμιση

---

### 9.1 Χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους του μελετητή μιας εγκατάστασης ηλεκτρικής ισχύος είναι να μειώσει με λογικά μέσα τη χρέωση της ενέργειας. Η χρέωση των καταναλωτών μέσης τάσης είναι μηνιαία, και προσφέρεται το γενικό τιμολόγιο μέσης τάσης βιομηχανικής χρήσης το οποίο ισχύει από 1η Φεβρουαρίου 2012. Μέχρι πρότινος υπήρχε διάκριση μεταξύ δύο τιμολογίων βιομηχανικής χρήσης (B1B και B2B) τα οποία πλέον έχουν συγχωνευθεί. Στο Σχήμα 9.1 και 9.2 βλέπουμε το γενικό τιμολόγιο βιομηχανικής χρήσης που ισχύει από 1-2-2012.

Ζώνη	Χρέωση Ισχύος (€ / kW / μήνα)	Χρέωση Ενέργειας (€ / kWh)
7:00 - 23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος	7,25	
7:00 - 23:00 τις εργάσιμες μέρες όλο το έτος		0,06388
23:00-7:00 τις εργάσιμες μέρες και όλες τις ώρες του Σαββατοκύριακου και των αργιών του έτους		0,05015

Σχήμα 9.1: Γενικό τιμολόγιο βιομηχανικής χρήσης από 1-2-2012.

### ►►Ειδικοί όροι τιμολογίου βιομηχανικής χρήσης

Όταν ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης είναι μικρότερος από 0.25, τότε ισχύει:

$$XZ = (0.75 + \text{Συντελεστής χρησιμοποίησης}) \times MZ \times \text{Ημέρες περιόδου κατανάλωσης}/30$$

Σε κάθε άλλη περίπτωση ισχύει:

$$XZ = MZ \times \text{Ημέρες περιόδου κατανάλωσης}/30$$

### ►►Σημειώσεις

**Συντελεστής χρησιμοποίησης:** Κατανάλωση περιόδου / (24 × Ημέρες περιόδου κατανάλωσης × ΚΜΖ)

**ΧΖ:** Χρεωστέα ζήτηση

**ΜΖ:** Καταμετρηθείσα μέγιστη ζήτηση στις εργάσιμες ημέρες μεταξύ 7.00 και 23.00

**ΚΜΖ:** Καταμετρηθείσα μέγιστη ζήτηση οποιαδήποτε ώρα ή ημέρα

	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ		ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (€/kWh)
	Χρέωση Ισχύος (*) (€/kW/μήνα)	Λοιπές Επιβαρύνσεις (€/kWh)	Χρέωση Ισχύος (Μοναδιαία Πάγια Χρέωση) (€/kW/μήνα)	Χρέωση Ενέργειας (Μοναδιαία Μεταβλητή Χρέωση) (€/kWh)	
Βιομηχανικό	2,025	0,00044	1,210	0,0033	0,00691 (**)

Σχήμα 9.2: Ρυθμιζόμενες χρεώσεις τιμολογίου βιομηχανικής χρήσης από 1-2-2012.

### ►►Σημειώσεις

(\*) Χρεωστέα Ισχύς: Η καταμετρηθείσα μέγιστη ζήτηση (ΜΑ) της περιόδου κατανάλωσης μεταξύ 11.00 - 14.00. Η Ενεργειακή Χρέωση του δικτύου διανομής προσαυξάνεται σε συνάρτηση με το **συνφ**

(\*\*) Οι νέες τιμές των ΥΚΩ ισχύουν από 1-1-2012

Ο συντελεστής ισχύος ή μηνιαίος συντελεστής ισχύος ή μηνιαίο συνημίτονο cosφ προσδιορίζεται από τις ενδείξεις του μετρητή:

- Πραγματικής ενέργειας W σε kWh, και κατ' επέκταση πραγματικής ισχύος P σε kW
- Άεργης ενέργειας A σε kVAh, και κατ' επέκταση άεργης ισχύος Q σε kVA, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\cos\phi = \frac{W}{\sqrt{W^2 + A^2}} \quad \cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Στους υπολογισμούς χρέωσης των διάφορων καταναλωτών και για να μην ζημιώνεται η ΔΕΗ εισάγεται ο συντελεστής προσαρμογής  $k$  της εγκατάστασης, ο οποίος προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$k = \frac{\cos\phi}{\cos\phi_1}$$

$\cos\phi = 0.85$  (επιθυμητή τιμή συντελεστή ισχύς) και  
 $\cos\phi_1 =$  συντελεστής ισχύος που μετράται στην εγκατάσταση

Με τον συντελεστή προσαρμογής καθορίζεται η επιπλέον ισχύς που πρέπει να πληρωθεί επιπρόσθετα στη ΔΕΗ από τον ιδιώτη, σε σχέση με την πραγματική ισχύ που καταγράφεται για την ηλεκτρική εγκατάσταση στο χρονικό διάστημα ενός μήνα.

#### ➔ Τρόποι μείωσης της χρέωσης

Μείωση της χρέωσης μπορεί να γίνει :

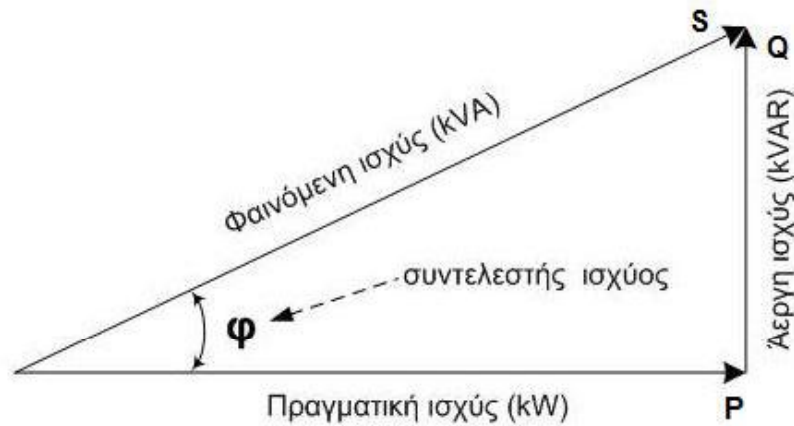
- αυξάνοντας το μηνιαίο συντελεστή ισχύος, διορθώνοντας το  $\cos\phi$  μέχρι π.χ. 0.9
- μεγιστοποιώντας τον συντελεστή χρησιμοποίησης, ο οποίος μειώνει τη μέγιστη ζήτηση
- τοποθετώντας το μέγιστο ζήτησης εκτός των ωρών αιχμής
- κάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας

Εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να γίνει :

- με αποδοτικά μηχανήματα και αποδοτικό φωτισμό
- με παρακολούθηση της λειτουργίας και της απόδοσης των μηχανημάτων καθώς και διόρθωσή τους
- εκλέγοντας το σωστό μέγεθος κινητήρων
- με μεγαλύτερο μετασχηματιστή στον υποσταθμό του καταναλωτή
- αποφεύγοντας περιττές λειτουργίες, με αποδοτική διόρθωση της παραγωγής π.χ. με χρονοδιακόπτες και αυτοματισμούς, καθώς και δείκτες ωρών λειτουργίας στα μηχανήματα

## 9.2 Η σημασία και οι επιπτώσεις του χαμηλού Συντελεστή Ισχύος

Κατά τη λειτουργία ενός κυκλώματος με εναλλασσόμενο ρεύμα ή γενικότερα μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης, δημιουργείται το τρίγωνο των ισχύων (Σχήμα 9.3).



Σχήμα 9.3: Τρίγωνο ισχύος.

Για το τρίγωνο ισχύος ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad \sin\phi = \frac{Q}{S} \quad \tan\phi = \frac{Q}{P}$$

Στην πράξη, πολλές φορές κατά τη λειτουργία μιας εγκατάστασης ή τμήματος αυτής, εμφανίζεται μεγάλη γωνία μεταξύ των διανυσμάτων της πραγματικής P και της φαινόμενης ισχύος (S). Το συνημίτονο αυτής της γωνίας ονομάζουμε **Συντελεστή Ισχύος** (Σ.Ι.) ή  $\cos\phi$ . Συνιστάται διόρθωση του  $\cos\phi$  σε τιμές μεγαλύτερες του 0.85. Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί ένα  $\cos\phi = 0.90 - 0.95$ , γιατί επιπλέον διόρθωση του Σ.Ι επιβαρύνει υπερβολικά το κόστος σε πυκνωτές αντιστάθμισης. Εκτός αυτού, δεν επιτρέπεται η υπεραντιστάθμιση, δηλαδή το χωρητικό συνημίτονο.

### ► Αιτίες μείωσης του συντελεστή ισχύος

Οι αιτίες μείωσης του Σ.Ι. μίας βιομηχανικής κυρίως εγκατάστασης, οφείλονται στην ύπαρξη:

- Ηλεκτροκινητήρων, επειδή συνήθως λειτουργούν με φορτίο μικρότερο από το κανονικό ή με ισχύ μικρότερη από την πραγματική. Στον Πίνακα 9.1 μπορούμε να δούμε πως διαμορφώνεται ο Σ.Ι. ανάλογα με τη λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων.
- Φωτισμού με λαμπτήρες φθορισμού, επειδή στα απαραίτητα για τη λειτουργία τους, περιλαμβάνεται το ballast, το οποίο έχει εμφανίζει μεγάλη αυτεπαγωγή στο πηνίο του.
- Μετασχηματιστή τροφοδοσίας της εγκατάστασης, που προορίζεται είτε για υποβιβασμό της τάσης προκειμένου να τροφοδοτηθούν διάφορες συσκευές και εξαρτήματα, είτε για ανύψωση της τάσης όπως στις εγκαταστάσεις φωτεινών διαφημίσεων Neon, στα ιατρικά μηχανήματα κλπ.

Τρόπος λειτουργίας Ασύγχρονου Κινητήρα	Συντελεστής Ισχύος ( $\cos\phi$ )	Αποτέλεσμα
Χωρίς φορτίο	0.1 - 0.3	$I_o = (30\% - 50\%) \cdot I_N$
Κανονικό φορτίο	αρχικά αυξάνεται και φτάνει στη κανονική τιμή	$I_N$
Υπερφόρτιση	αρχικά μειώνεται μέχρι την ροπή ανατροπής και μετά μειώνεται απότομα	$I_{th} > I_N$ ( $I_{th} \approx 1.15 \cdot I_N$ ) Ανεπίτρεπτη θέρμανση τυλιγμάτων Υπάρχουν μεγάλες απώλειες στον ΑΚ και εμφανίζεται μικρός βαθμός απόδοσης.
Υποφόρτιση	μειώνεται	Καταπόνηση δικτύου και αύξηση πτώσης τάσης σ' αυτό

Πίνακας 9.1: Διαμόρφωση συντελεστή ισχύος με τη λειτουργία ηλεκτροκινητήρων.

### ► Επιπτώσεις από συντελεστή ισχύος χαμηλής τιμής

Στην περίπτωση κατά την οποία μια ηλεκτρική εγκατάσταση λειτουργεί με χαμηλό Σ.Ι., τότε:

➤ Ζημιώνεται ο ιδιώτης ιδιοκτήτης της, γιατί το κόστος υλοποίησής της είναι πολύ μεγάλο. Αυτό συμβαίνει γιατί η εγκατάσταση απορροφά μεγάλη ένταση ρεύματος από το δίκτυο, γεγονός που σημαίνει τοποθέτηση καλωδίου τροφοδοσίας μεγάλης διατομής και κατ' επέκταση μεγάλων τιμών και κόστους ασφάλειας, διακόπτες κλπ

➤ Ζημιώνεται η ΔΕΗ, αφού παράγει την φαινόμενη ισχύ  $S$  και πληρώνεται για την πραγματική ισχύ  $P$  που καταναλώνουν για τη λειτουργία τους οι διάφορες εγκαταστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί εξυπηρετούνται καταναλωτές μικρότερης ισχύος, χρησιμοποιώντας

εξοπλισμό πολύ μεγαλύτερης ισχύος (εναλλακτήρες, μετασχηματιστές, δίκτυα μεταφοράς-διανομής), ανεβάζοντας έτσι το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την αποφυγή των παραπάνω, η ΔΕΗ αξιώνει από τους καταναλωτές της να διατηρούν την γωνία μεταξύ των διανυσμάτων πραγματικής και φαινόμενης ισχύος σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται:

$$\phi = 32^\circ \Leftrightarrow \cos\phi = 0,85$$

### 9.3 Βελτίωση του Συντελεστή Ισχύος

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, στην περίπτωση που η τιμή του Σ.Ι. της εγκατάστασης έχει τιμή μικρότερη του 0.85, απαιτείται η προσέγγιση ή και η υπέρβαση αυτής της τιμής.

Στην πράξη, οι διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις συνολικά, καθώς και οι ηλεκτρικές συσκευές μεμονωμένα, παρουσιάζουν επαγωγική συμπεριφορά. Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος επαγωγικού φορτίου επιτυγχάνεται με την προσθήκη πυκνωτών συνδεδεμένων παράλληλα προς το φορτίο, η διαδικασία δε αυτή ονομάζεται αντιστάθμιση άεργης ισχύος. Με την τοποθέτηση των πυκνωτών αντιστάθμισης, οι οποίοι είναι πηγές άεργης ισχύος, ένα μέρος της άεργης ισχύος που καταναλώνει το επαγωγικό φορτίο παράγεται τοπικά από τους πυκνωτές και προσφέρεται στο φορτίο, ενώ το υπόλοιπο ποσό άεργης ισχύος του φορτίου παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση (βελτίωση) του συντελεστή ισχύος του επαγωγικού καταναλωτή, αφού τώρα το δίκτυο παρέχει στο φορτίο μόνο ένα τμήμα από το συνολικό ποσό άεργης ισχύος που χρειάζεται. Έτσι, η διαδικασία για την εξισορρόπηση της επαγωγικής άεργης ισχύος με χωρητική άεργη ισχύ ονομάζεται αντιστάθμιση ή βελτίωση του συντελεστή ισχύος. Στο Σχήμα 9.4 βλέπουμε το τρίγωνο των ισχύων πριν και μετά την αντιστάθμιση, δηλαδή την μείωση της γωνίας  $\phi$  (γωνία μεταξύ πραγματικής και φαινόμενης ισχύος), άρα και την αύξηση του συνημίτονου της γωνίας  $\phi$  σε μία επιθυμητή τιμή.

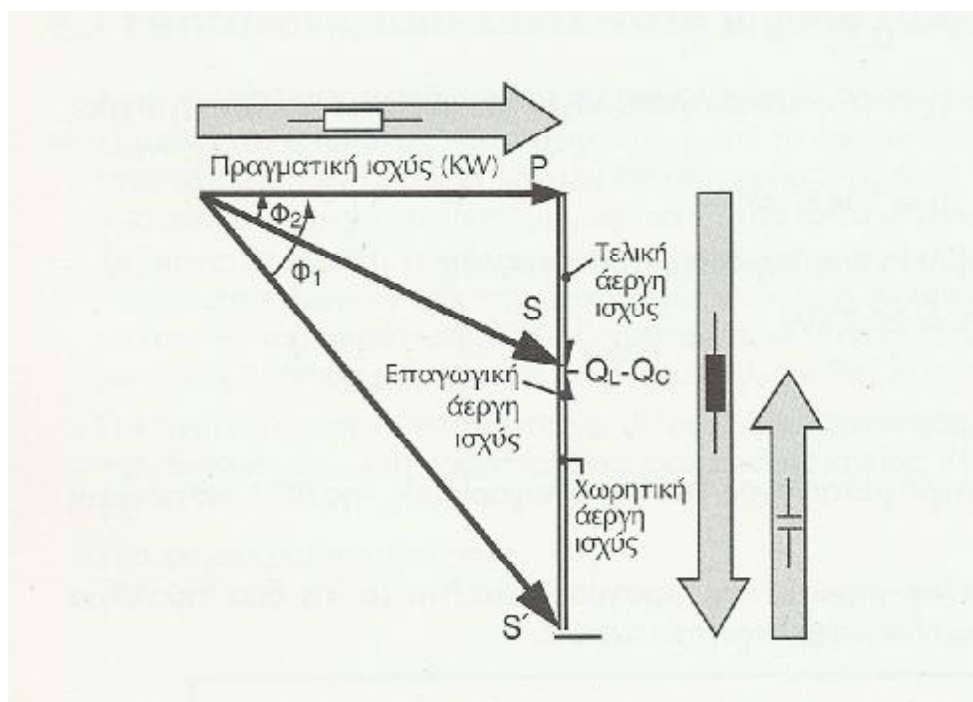
$$\tan_1 = \frac{Q_L}{P} \quad \tan_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$$

$$Q_C = P \cdot (\tan_1 - \tan_2) \quad [\text{kVAR}]$$

$Q_C, Q_L$  = άεργες ισχείς επαγωγικής εγκατάστασης και πυκνωτών

$\phi_1$  = γωνία μετατόπισης φάσης χωρίς αντιστάθμιση

$\phi_2$  = γωνία μετατόπισης φάσης με αντιστάθμιση



Σχήμα 9.4: Τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση.

## 9.4 Κατασκευαστικά στοιχεία πυκνωτών αντιστάθμισης

Η βελτίωση του Σ.Ι. σε μια εγκατάσταση πραγματοποιείται με τη χρήση πυκνωτών κατασκευασμένων από φύλλα πολυπροπυλενίου με ομοιόμορφη επίστρωση μετάλλου, τυλιγμένων στερεά γύρω από πλαστικό πυρήνα. Το σύστημα τοποθετείται σε πλαστικό κάλυμμα διπλής ηλεκτρικής μόνωσης πολύ καλών μηχανικών ιδιοτήτων και με ικανότητα αυτόσβεσης σε περίπτωση φωτιάς.

Οι πυκνωτές αντιστάθμισης εμφανίζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

- την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία
- τη δυνατότητα υπερφόρτισης σε ποσοστό μέχρι και 50% του ονομαστικού ρεύματος
- τη μεγάλη διάρκεια ζωής
- τη σταθερή τιμή της χωρητικότητας τους
- την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- την εύκολη καλωδίωση σε κλέμμες

- την εύκολη στήριξη σε ράγες
- το διπλό σύστημα προστασίας για :

→ Άτομα κατά την αποκοπή του πυκνωτή από το δίκτυο, η οποία είναι δυνατόν να συμβεί αν υπάρχουν υπερπηδησεις, ανεπίτρεπτες υπερφορτίσεις ή τέλος της διάρκειας ζωής του πυκνωτή. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα του διακόπτη υπερπίεσης ανοίγει το ενδιάμεσο τσάκισμα, με αποτέλεσμα να διακόπτει τη σύνδεση των φύλλων του πυκνωτή με τη βάση των κλεμμών.

→ Εγκαταστάσεις κατά τη δημιουργία μεγάλων υπερφορτίσεων ή και υπερεντάσεων που είναι δυνατόν να συμβούν σε κακή λειτουργία του κυκλώματος. Στη περίπτωση αυτή, η τροφοδοσία των πυκνωτών από το δίκτυο διακόπτεται με την τήξη των ασφαλειών που βρίσκονται σε ειδική βάση μέσα στο δοχείο τους και συνδέονται με τη βάση τους.

Η λειτουργία των πυκνωτών στο εναλλασσόμενο ρεύμα επηρεάζεται από την παρουσία των αρμονικών στο δίκτυο. Οι αρμονικές μεταβάλλουν την μορφή της ημιτονικής μορφής του εναλλασσόμενου ρεύματος και τάσης, και γι' αυτό στην πράξη θεωρείται πως μολύνουν το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα φορτία που προκαλούν δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο μπορεί να είναι οι ρυθμιζτές στροφών, οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς, οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, οι επαγωγικοί φούρνοι, οι λαμπτήρες φθορισμού κλπ..

## 9.5 Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτών αντιστάθμισης

Η χωρητικότητα του κάθε πυκνωτή αντιστάθμισης (C) πρέπει να υπολογίζεται έτσι ώστε κατά την παρεμβολή του στο κύκλωμα, να απορροφά την άεργη ισχύ που αντισταθμίζεται από αυτόν και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = \frac{U^2}{1/2\pi f C} \Leftrightarrow Q_C = U^2 C 2\pi f \Leftrightarrow C = \frac{Q_C}{2\pi f U^2}$$

$Q_C$  = άεργη ισχύς πυκνωτή [kVAR]

U = ολική τάση γραμμής [V]

f = συχνότητα εναλλασσόμενης τάσης δικτύου [50 Hz]

C = χωρητικότητα πυκνωτή ανά φάση [μF]



Πιο συγκεκριμένα για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του πυκνωτή αντιστάθμισης, διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

#### →Μονοφασικό κύκλωμα

Η διόρθωση του Σ.Ι. επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός πυκνωτή σε παράλληλη σύνδεση με το φορτίο.

$$C_{1phase} = \frac{Q_C}{2\pi f U^2}$$

#### →Τριφασικό κύκλωμα

Στην πράξη χρησιμοποιείται η σύνδεση πυκνωτών σε τρίγωνο, γιατί απαιτούνται πυκνωτές με μικρότερη κατά 1/3 χωρητικότητα σε σχέση με την σύνδεση πυκνωτών σε αστέρα. Κάτι τέτοιο σημαίνει και μικρότερο κόστος. Η πρώτη σχέση αναφέρεται σε πυκνωτές σε σύνδεση αστέρα και η δεύτερη σχέση σε πυκνωτές σε σύνδεση τριγώνου.

$$C_Y = \frac{Q_C}{2\pi f U_\phi^2} = \frac{Q_C}{2\pi f (U/\sqrt{3})^2} = 3 \cdot \frac{Q_C}{2\pi f U^2}$$

$$C_D = \frac{Q_C}{2\pi f U^2}$$

## 9.6 Είδη αντιστάθμισης

### ↳Τοπική ή ατομική αντιστάθμιση

Εφαρμογή καταναλωτών: Συσκευές που λειτουργούν συνεχώς χωρίς φορτίο, όπως λαμπτήρες, Μ/Σ 20/0.4 kV, κινητήρες.

Σύνδεση πυκνωτών: Άμεσα στον κάθε καταναλωτή.

### ↳Ομαδική αντιστάθμιση

Εφαρμογή καταναλωτών: Συσκευές που λειτουργούν σε ομάδες, συνεχώς και σταθερά, όπως ομάδες κινητήρων που λειτουργούν με σταθερή συνολική ισχύ.

Σύνδεση πυκνωτών: Στην αρχή της ομάδας των καταναλώσεων.

### ↳Κεντρική αντιστάθμιση

Εφαρμογή καταναλωτών: Συσκευές που η φόρτισή τους είναι κυμαινόμενη, δηλαδή συσκευές διαφορετικής ισχύος που λειτουργούν μαζί σε μεταβαλλόμενο χρόνο, όπως εγκαταστάσεις εργοστασίων και ομάδες κινητήρων που λειτουργούν με σταθερή ισχύ.

Σύνδεση πυκνωτών: Στην αρχή της εγκατάστασης μέσω ρυθμιστή άεργης ισχύος που

ζευγνύει και αποζευγνύει από μία συστοιχία πυκνωτών, τόσους πυκνωτές, όσους απαιτούνται για τη στιγμιαία παροχή άεργης ισχύος.

Τοπική ή ομαδική αντιστάθμιση συμφέρει μόνο σε σταθερά, συνεχή φορτία, γιατί μειώνει την ισχύ της κεντρικής ρυθμιζόμενης αντιστάθμισης.

## 9.7 Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε καταναλωτές άεργης ισχύος

### 9.7.1 Μετασχηματιστές

Οι Μ/Σ καταναλώνουν άεργη ισχύ λόγω του ρεύματος μαγνήτισης και των αντιδράσεων σκέδασης. Η άεργη ισχύς υπολογίζεται ως εξής:

$$Q = Q_0 + u_k \frac{S^2}{S_r} S_r$$

$Q_0$  = άεργη ισχύς μαγνήτισης 1.5-3% για Μ/Σ υποσταθμών ΧΤ

$u_k$  = τάση βραχυκύκλωσης per unit

$S$  = φαινόμενη ισχύς kVA

$S_r$  = ονομαστική ισχύς

Για πλήρη ισχύ Μ/Σ μέσης τάσης με δευτερεύον 380 V είναι:

$$Q \approx Q_0 + (0.04...0.006)S_r$$

Μετασχηματιστές 20/0.38 kV μπορούν να αντισταθμιστούν τοπικά, ιδιαίτερα αν φορτίζονται με σταθερή συνεχή ισχύ. Συνήθως η αντιστάθμιση είναι για πλήρη ισχύ.

Για Μ/Σ χαμηλής τάσης 20/0.38 kV, όπου η αντιστάθμιση γίνεται στους ακροδέκτες της ΧΤ ισχύει:

$$Q \approx (0.06...0.008)S_r$$

Μεγάλη τοπική αντιστάθμιση σε Μ/Σ, πέρα της πιο πάνω τιμής, πρέπει να αποφεύγεται λόγω υπερτάσεων σε χαμηλά φορτία. Πρέπει να ισχύει:

$$Q \leq \frac{1.5S_r}{u_k}$$

$u_k$  = τάση βραχυκύκλωσης σε ποσοστό επί τοις εκατό

$S_r$  = ονομαστική ισχύς [kVA]

Στην περίπτωση που θα τοποθετήσουμε σταθερούς πυκνωτές σαν κεντρική αντιστάθμιση της εγκατάστασης, πρέπει να μην υπερβούμε το πιο πάνω όριο.

*Σημείωση:* Η σύνδεση των πυκνωτών αντιστάθμισης πραγματοποιείται στο δευτερεύον του Μ/Σ, εκτός από τους Μ/Σ συγκόλλησης όπου οι πυκνωτές τοποθετούνται πριν την διάταξη του μετασχηματιστή.

### 9.7.2 Ασύγχρονοι κινητήρες

Οι ασύγχρονοι κινητήρες έχουν Σ.Ι. που χειροτερεύει σε χαμηλά φορτία. Γι' αυτό το λόγο δεν πρέπει να εκλέγουμε κινητήρες μεγαλύτερης ισχύος από αυτή που χρειαζόμαστε. Σε κινητήρες με περίπου σταθερό και συνεχές φορτίο συνιστάται τοπική αντιστάθμιση, με την οποία επιτυγχάνουμε μείωση των ρευμάτων και επομένως των διατομών των καλωδίων. Το μέγεθος των πυκνωτών είναι συνήθως 90% της εν κενώ άεργης ισχύος, γιατί με μεγαλύτερη αντιστάθμιση μπορεί να έχουμε αυτοδιέγερση του κινητήρα σε περίπτωση απόζευξης του από το δίκτυο.

Η άεργη ισχύς των πυκνωτών αντιστάθμισης που πρόκειται να συνδεθούν σε ηλεκτροκινητήρα, εξαρτάται από την ισχύ αυτού κατά τη λειτουργία του χωρίς φορτίο και δίνεται στον Πίνακα 9.2.

Ισχύς κινητήρα [kW]	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	30	>30
Άεργη ισχύς πυκνωτών [kVAR]	2	2	3	3	4	7.5	7.5	10	≈ 35% P

Πίνακας 9.2: Προσδιορισμός άεργης ισχύος πυκνωτών αντιστάθμισης κινητήρων.

Κατά την ατομική αντιστάθμιση των ηλεκτροκινητήρων, το θερμικό πρέπει να ρυθμίζεται σε ένταση ρεύματος μικρότερη από την ονομαστική χωρίς αντιστάθμιση. Πιο συγκεκριμένα, ρυθμίζεται σε ένταση ρεύματος που αντιστοιχεί σε εκείνη που διέρχεται από το θερμικό, όταν το φορτίο του ηλεκτροκινητήρα είναι ίσο με το ονομαστικό.

Στις περιπτώσεις ηλεκτροκινητήρων που εκκινούν με αυτόματο διακόπτη αστέρα-τριγώνου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πυκνωτές αντιστάθμισης έξι άκρων ή τριών άκρων. Η σύνδεση των πυκνωτών μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεσα στον ηλεκτροκινητήρα ή έμμεσα σε αυτόν με ηλεκτρονόμο μέσω του οποίου οι πυκνωτές παρεμβάλλονται στο κύκλωμα. Στα κυκλώματα των συνδεσμολογιών αυτών, πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις ή πηνία εκφόρτισης.

Ακόμα στις περιπτώσεις ηλεκτροκινητήρων με δυνατότητα αναστροφής μέσω αυτόματων διακοπών, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση πυκνωτών αντιστάθμισης που συνδέονται άμεσα στον κινητήρα, για την περίπτωση του συνηθισμένου χειρισμού (δεξιόστροφα - stop - αριστερόστροφα) ή έμμεσα σε αυτόν, με ηλεκτρονόμο μέσω του οποίου οι πυκνωτές παρεμβάλλονται στο κύκλωμα, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Στην περίπτωση που ο ηλεκτροκινητήρας διαθέτει ηλεκτρομαγνητική πέδη, η σύνδεση των πυκνωτών αντιστάθμισης σ' αυτόν, πραγματοποιείται με διαφορετικούς ηλεκτρονόμους.

### 9.7.3 Κυκλώματα μετατροπών

Η ατομική αντιστάθμιση ηλεκτροκινητήρων με ρυθμιζόμενες στροφές με ηλεκτρονικά κυκλώματα μετατροπών, πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση ταλαντωτών σειράς, οι οποίοι περιλαμβάνουν πυκνωτή και πηνίο σε σύνδεση σειράς και έχουν σκοπό την αποφυγή των διαταραχών που ενδέχεται να εμφανισθούν από τα φαινόμενα συντονισμού των ταλαντωτών υψηλών συχνοτήτων μεταξύ πυκνωτή αντιστάθμισης και επαγωγής δικτύου.

### 9.7.4 Λαμπτήρων φθορισμού

Στα κυκλώματα λαμπτήρων φθορισμού απαιτείται να συνδεθούν αυτεπαγωγές (ballast) σε σειρά, πράγμα που σημαίνει ότι καταναλώνουν άεργη ισχύ, με τελικό αποτέλεσμα τον πολύ χαμηλό συντελεστή ισχύος ( $\cos\phi \simeq 0.45$ ). Έτσι, η αντιστάθμιση των λαμπτήρων φθορισμού κρίνεται ως επιβεβλημένη. Η αντιστάθμιση συμφέρει να γίνεται ατομικά ή ομαδικά και όχι τοπικά, γιατί σε αυτή την περίπτωση η συντήρηση είναι πολύπλοκη.

Στην **ατομική αντιστάθμιση**, αντιστοιχεί ένας πυκνωτής σε κάθε λαμπτήρα, ενώ στην **ομαδική αντιστάθμιση** ένας πυκνωτής αντιστοιχεί σε μία ομάδα λαμπτήρων.

Με την ομαδική αντιστάθμιση των λαμπτήρων φθορισμού αποφεύγεται η περίπτωση καταστροφής των πυκνωτών ατομικής αντιστάθμισης και ο εντοπισμός ενός κατεστραμμένου πυκνωτή είναι χρονοβόρα.

Η απαιτούμενη άεργη ισχύς του πυκνωτή ομαδικής αντιστάθμισης είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους άεργων ισχύων των λαμπτήρων φθορισμού, σύμφωνα με τον Πίνακα 9.3. Επίσης για την περίπτωση που χρησιμοποιείται πλήθος λαμπτήρων φθορισμού ίδιας ισχύος, ισχύει:

$$Q_C = n \cdot C \cdot 0.015 \quad [kVAR]$$

$n$  = το πλήθος των λαμπτήρων φθορισμού

$C$  = η χωρητικότητα πυκνωτή ατομικής αντιστάθμισης για κάθε λαμπτήρα

Παράλληλα με τους πυκνωτές αντιστάθμισης, μπαίνουν αντιστάσεις εκφόρτισης, συνδεδεμένες μόνιμα στους πυκνωτές. Αρκεί μία τιμή 5 MΩ ανά mF πυκνωτή.

Ονομαστική τάση λαμπτήρα φθορισμού [V]	Συνολική ισχύς διάταξης [W]	Απαιτούμενη άεργη ισχύς πυκνωτή ( $Q_C$ ) [kVAR]	Χωρητικότητα πυκνωτή αντιστάθμισης [ $\mu$ F]
110	20	30	2
	10	30	2
	2×15	55	
230	16	40	
	20	80	4.5
	25	55	3.5
	40	70	4.5
	2×20	70	
	65	110	7

Πίνακας 9.3: Άεργη ισχύς πυκνωτών αντιστάθμισης για λαμπτήρες φθορισμού.

### 9.7.5 Κεντρική αντιστάθμιση

Στις σύγχρονες ηλεκτρικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις η βελτίωση του Σ.Ι. τους πραγματοποιείται με κεντρική αντιστάθμιση, η οποία γίνεται με σύνδεση μίας συσκευής ρύθμισης άεργου ισχύος σε κεντρικό σημείο της εγκατάστασης, π.χ. στους ζυγούς ΧΤ του υποσταθμίου. Ειδικότερα, η συσκευή ρύθμισης άεργου ισχύος τοποθετείται σε στεγασμένους και ξηρούς χώρους, και συνδέεται άμεσα στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή έντασης ρεύματος.

Πλεονεκτήματα της κεντρικής, έναντι της ομαδικής ή ατομικής αντιστάθμισης, είναι:

- ➡ Εύκολη συντήρηση. Δεν χρειάζεται να επιθεωρηθούν όλες οι συσκευές ώστε να εντοπιστεί το σφάλμα σε κάποιο πυκνωτή.
- ➡ Εύκολη επεκτασιμότητα.
- ➡ Σε κυμαινόμενα φορτία και μικρούς συντελεστές ταυτοχρονισμού προκύπτουν μικρότερες ισχύες πυκνωτών, απ' ό,τι θα προέκυπταν με ατομική ή ομαδική αντιστάθμιση.

Με τη χρησιμοποίηση της συσκευής ρύθμισης, ο Σ.Ι. της εγκατάστασης διατηρείται σχεδόν σταθερός, ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της απαιτούμενης άεργης ισχύος. Οι αγωγοί μεταξύ της συσκευής ρύθμισης και των καταναλωτών της εγκατάστασης δεν απαλλάσσονται από την άεργο ισχύ, που σημαίνει ότι μεταφέρουν φαινόμενη ισχύ. Η άεργος ισχύς των πυκνωτών για την κεντρική αντιστάθμιση μίας εγκατάστασης προσδιορίζεται και από τον λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_C = \frac{A - \tan\phi \cdot W}{t} \quad [kVAR]$$

A = άεργος ισχύς [kVARh]

W = πραγματική ενέργεια [kWh]

t = ώρες λειτουργίας της εγκατάστασης [h]

tanφ = συντελεστής που εξαρτάται από την επιθυμητή τιμή του συντελεστή ισχύος cosφ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan\phi = \frac{\sqrt{1 - \cos\phi^2}}{\cos\phi}$$

# Βιβλιογραφία

- [1] Πέτρος Ντοκόπουλος: *Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης*.  
Εκδόσεις Ζήτη, 1992
- [2] Στέφανος Τουλόγλου: *Ηλεκτρικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις κίνησης και Υποσταθμοί Μέσης Τάσης*.  
Εκδόσεις ΙΩΝ, 2001
- [3] Μιλτιάδης Μ. Κάπου: *Γειώσεις και αλεξικέραυνα*.  
Τεχνικές εκδόσεις, Γ' έκδοση, 1988
- [4] Φίλιππος Ι. Δημόπουλος: *Ηλεκτρικές μετρήσεις*.  
Εκδόσεις Αθήνα
- [5] Stephen J. Charman: *Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC*.  
Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
- [6] Κεμίδης Παναγιώτης, Μπαργιώτας Δημήτριος, Σανδαλίδης Χρήστος: *Βιομηχανικές εγκαταστάσεις - Υποσταθμοί*.  
[www.pi-schools.gr/lessons/tee/electrical/biblia.php](http://www.pi-schools.gr/lessons/tee/electrical/biblia.php)  
Αθήνα 2001
- [7] Ερωτόκριτος Τσίγκας: *Ηλεκτρικοί υποσταθμοί μέσης τάσης*.  
Περιοδικό *Κτίριο*, τεύχος 170
- [8] AllKabel: <http://www.allkabel.cz/high-voltage-cables-3630-kv-n2xsy/>
- [9] ABB: <http://www.abb.com/product/us/9AAC720001.aspx>
- [10] Schneider Electric: Τεχνικό τετράδιο Μ/Σ λαδιού.
- [11] ΔΕΗ: <http://www.dei.gr>

# Κατάλογος Πινάκων

1	Ισχύς βραχυκύκλωσης δικτύων μέσης τάσης . . . . .	2
1.1	Επιλογή ασφάλειας κόνεως με βάση την τάση λειτουργίας και την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή . . . . .	6
1.2	Διαστασιολόγιο ασφαλειών κόνεως . . . . .	6
1.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη διακοπών φορτίου για υποσταθμό 20 kV . . . . .	17
1.4	Διάκριση ηλεκτρονόμων μέσης τάσης . . . . .	26
2.1	Μονωτικά Μέσης Τάσης . . . . .	36
3.1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών λαδιού μέσης τάσης . . . . .	47
3.2	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών μέσης τάσης ξηρού τύπου . . . . .	47
3.3	Πιθανά σφάλματα μετασχηματιστών ισχύος και οι επιπτώσεις τους . . . . .	51
3.4	Μέγιστα ρεύματα βραχυκύκλωσης μετασχηματιστών . . . . .	52
3.5	Βασικά χαρακτηριστικά Μ/Σ τάσης για υποσταθμούς 20 kV . . . . .	57
3.6	Χαρακτηρισμός πόλων μετασχηματιστών μετρήσεων . . . . .	57
3.7	Βασικά χαρακτηριστικά Μ/Σ ρεύματος μέσης τάσης για υποσταθμούς 20 kV . . . . .	58
4.1	Παροχές Μέσης Τάσης . . . . .	60
5.1	Διαστασιολόγιο και βάρος κυψελών υποσταθμών μέσης τάσης . . . . .	72
5.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά κυψελών υποσταθμών μέσης τάσης . . . . .	73
5.3	Τάσεις δοκιμής και ελάχιστες αποστάσεις για ονομαστική τάση 20kV/24kV . . . . .	79
5.4	Τιμές έντασης ρεύματος βραχυκύκλωσης για το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ . . . . .	80
5.5	Επιτρεπόμενα όρια τιμών μηχανικής τάσης αντοχής ζυγών . . . . .	81
6.1	Ενδεικτικές μέσες τιμές της ειδικής αντίστασης εδάφους . . . . .	84
6.2	Τιμές της ονομαστικής πυκνότητας k για καλώδια χαλού και αλουμινίου . . . . .	93
8.1	Χρονικά διαστήματα για συντήρηση υποσταθμών . . . . .	102
8.2	Τιμές αντίστασης μόνωσης . . . . .	103
9.1	Διαμόρφωση συντελεστή ισχύος με τη λειτουργία ηλεκτροκινητήρων . . . . .	111
9.2	Προσδιορισμός άεργης ισχύος πυκνωτών αντιστάθμισης κινητήρων . . . . .	117
9.3	Άεργη ισχύς πυκνωτών αντιστάθμισης για λαμπτήρες φθορισμού. . . . .	119



# Κατάλογος Σχημάτων

1.1 Κατασκευαστική δομή ασφάλειας HRC . . . . .	7
1.2 Χαρακτηριστική απόξευξης ασφάλειας HRC . . . . .	8
1.3 Χαρακτηριστική περιορισμού ρεύματος βραχυκύκλωσης ασφάλειας HRC . . . . .	9
1.4 Ασφάλεια εκτόνωσης σε δίκτυο 20 kV της ΔΕΗ . . . . .	10
1.5 Οι φάσεις της οβέσης του τόξου σε διακόπτη SF <sub>6</sub> . . . . .	12
1.6 Διακόπτης ισχύος SF <sub>6</sub> . . . . .	15
1.7 Διακόπτης φορτίου εξωτερικού χώρου . . . . .	16
1.8 Όψη μονωτήρα . . . . .	18
1.9 Αποξεύκτης . . . . .	19
1.10 Διακόπτης απομόνωσης . . . . .	21
1.11 Σύμβολα διακοπιών μέσης τάσης . . . . .	22
1.12 Σύμβολα διακοπιών μέσης τάσης . . . . .	23
1.13 Τομή απαγωγέα τάσης με αντιστάσεις οξειδίου του ψευδαργύρου . . . . .	25
1.14 Σχηματική παράσταση τροφοδοσίας υποσταθμού μέσης τάσης . . . . .	27
1.15 Χαρακτηριστική ρεύματος - χρόνου ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου . . . . .	29
1.16 Καμπύλες ηλεκτρονόμων υπερέντασης αντίστροφου, πολύ αντίστροφου και υπερβολικά αντίστροφου χρόνου . . . . .	30
2.1 Καλώδιο N2XSY . . . . .	34
2.2 Καλώδιο N2XSEY . . . . .	34
2.3 Καλώδιο J1VV-U . . . . .	35
2.4 Καλώδια NKBA, NEKBA, NHKBA . . . . .	35
2.5 Τομή χαντακιού με καλώδια μέσης και χαμηλής τάσης . . . . .	38
2.6 Ακροκεφαλές μέσης τάσης . . . . .	39
3.1 Τομή μετασχηματιστή λαδιού . . . . .	43
3.2 Μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης . . . . .	45
3.3 Επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση μετασχηματιστών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος . . . . .	46
3.4 Σύνδεση τρίγωνο-αστέρας Dyn <sub>5</sub> και Dyn <sub>11</sub> . . . . .	48
3.5 Σύνδεση αστέρας-τεθλασμένος αστέρας Yzn <sub>5</sub> και Yzn <sub>11</sub> . . . . .	49
3.6 Ηλεκτρονόμος Buchholz . . . . .	54
3.7 Αρχή λειτουργίας διαφορικής προστασίας μετασχηματιστή ισχύος . . . . .	55

3.8 Μετασχηματιστές οργάνων (τάσης και έντασης) . . . . .	59
4.1 Παροχή Μέσης Τάσης τύπου A1 . . . . .	66
4.2 Παροχή Μέσης Τάσης τύπου A2 . . . . .	67
4.3 Παροχή Μέσης Τάσης τύπου B1 . . . . .	68
4.4 Παροχή Μέσης Τάσης τύπου B2 . . . . .	69
5.1 Μπροστινή όψη πίνακα 20 kV . . . . .	71
5.2 Διάταξη κυψέλης προστασίας με διακόπτη ισχύος σταθερού τύπου . . . . .	75
5.3 Διάταξη κυψέλης αναχώρησης, προστατευμένης με ασφάλειες . . . . .	75
5.4 Προκατασκευασμένη κυψέλη μέσης τάσης, με συρόμενους διακόπτες ισχύος	76
5.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά ζυγών . . . . .	77
5.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά ζυγών . . . . .	77
5.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά ζυγών . . . . .	78
5.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά ζυγών . . . . .	78
6.1 Καμπύλη προφίλ δυναμικού συναρτήσει της απόστασης για βηματική τάση και τάση επαφής . . . . .	85
6.2 Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μικρότερη από 1 Ω Παροχής A . . . . .	90
6.3 Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μικρότερη από 1 Ω Παροχής B . . . . .	91
6.4 Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μεγαλύτερη από 1 Ω Παροχής A . . . . .	91
6.5 Αντίσταση γείωσης υποσταθμού μεγαλύτερη από 1 Ω Παροχής B . . . . .	92
6.6 Θερμική αντοχή καλωδίων χαλκού σε βραχυκυκλώματα . . . . .	94
6.7 Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου με αγωγό χαλκού κατά VDE 0298 . . . . .	94
6.8 Θερμική αντοχή καλωδίων αλουμινίου σε βραχυκυκλώματα . . . . .	95
6.9 Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου με αγωγό αλουμινίου . . . . .	95
7.1 Χώρος μετασχηματιστή ισχύος σε θάλαμο υποσταθμού μέσης τάσης καιτομή θαλάμου μετασχηματιστή ισχύος . . . . .	97
7.2 Κάτοψη βάσης υποσταθμού μέσης τάσης και διαμόρφωση χώρων . . . . .	99
9.1 Γενικό τιμολόγιο βιομηχανικής χρήσης από 1-2-2012 . . . . .	107
9.2 Ρυθμιζόμενες χρεώσεις τιμολογίου βιομηχανικής χρήσης από 1-2-2012 . . . . .	108
9.3 Τρίγωνο ισχύος . . . . .	110
9.4 Τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση . . . . .	113