

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΚΕΜΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΣΑΝΔΑΛΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ - - ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ

Α' τεύχος

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ

2ος κύκλος

Ειδικότητα: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2001

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
-----------------	---

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1

1.1.1 Ακτινικά δίκτυα μέσης τάσης	15
1.1.2 Βροχοειδή δίκτυα μέσης τάσης	16
1.1.3 Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης	17
1.1.4 Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης	18
1.1.5 Τύποι παροχών μέσης τάσης	19
1.1.6 Υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης	20
Ερωτήσεις	22
Ασκήσεις	22

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.2

1.2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη του μετασχηματιστή ισχύος	26
1.2.2 Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού	28
1.2.3 Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτο-ρητίνης	30
1.2.4 Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος	32
1.2.5 Απώλειες χαλκού και σιδήρου	34
1.2.6 Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση	36
1.2.7 Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα	38
1.2.8 Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος	39
1.2.9 Επιλεκτική προστασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή	40
1.2.10 Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος	41
Ερωτήσεις	42
Ασκήσεις	42

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.3

1.3.1 Είδη καλωδίων μέσης τάσης	46
1.3.2 Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης	47
1.3.3 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες	49
1.3.4 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος	50
Ερωτήσεις	51
Ασκήσεις	51

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.4

1.4.1	Συστήματα γειώσεων	56
1.4.2	Η αντίσταση γείωσης	57
1.4.3	Βηματική τάση και τάση επαφής	59
1.4.4	Ισοδυναμικές επιφάνειες	60
1.4.5	Θεμελιακή γείωση	61
1.4.6	Σύνδεση των διαφόρων ειδών γείωσης σε κοινό γειωτή	62
	Ερωτήσεις	63
	Ασκήσεις	63

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.5

1.5.1	Ασφάλειες μέσης τάσης	67
1.5.1α	Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης	68
1.5.1β	Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC)	69
1.5.1γ	Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC	70
1.5.1δ	Χαρακτηριστικές απόξευξης των ασφαλειών HRC	71
1.5.1ε	Χαρακτηριστικές περιορισμού του I_k των ασφαλειών HRC	72
1.5.2	Διακόπτες ισχύος (circuit-breaker)	73
1.5.2α	Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος	74
1.5.2β	Τα μέρη του διακόπτη ισχύος (Δ.Ι.)	76
1.5.2γ	Διακόπτες ισχύος επί φορείου (Truck mounted circuit breaker)	78
1.5.3	Διακόπτης φορτίου (load-switch)	79
1.5.3α	Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου	80
1.5.3β	Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC	81
1.5.4	Αποξεύκτες, γειωτές	82
1.5.5	Σύγκριση των διακοπών μέσης τάσης	84
1.5.5	Σύμβολα διακοπών	85
	Ερωτήσεις	87
	Ασκήσεις	88

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.6

1.6.1	Μετασχηματιστές έντασης	92
1.6.1α	Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης	93
1.6.1β	Πυρήνας μέτρησης και πυρήνας προστασίας, συντελεστές κορεσμού	94
1.6.1γ	Σύνδεση μετασχηματιστών μέτρησης	96
1.6.2	Μετασχηματιστές τάσης	98
1.6.2α	Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης	99
1.6.2β	Σύνδεση μετασχηματιστών τάσης	100

1.6.3	Ηλεκτρονόμοι προστασίας	101
1.6.3α	Πως είναι κατασκευασμένος ένας ηλεκτρονόμος προστασίας	102
1.6.3β	Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου (overcurrent relay with definite time-delay)	103
1.6.3γ	Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντίστροφου χρόνου (overcurrent relay with inverse time-delay)	104
1.6.3δ	Επιλογική προστασία	105
1.6.4	Απαγωγείς τάσεων (αλεξικέραυνα)	106
1.6.4α	Πως είναι κατασκευασμένοι οι απαγωγείς τάσης	107
1.6.4β	Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων	108
	Ερωτήσεις	109
	Ασκήσεις	109

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.7

1.7.1	Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης	114
1.7.2	Προκατασκευασμένες κυψέλες με αποζεύκτη φορτίου	116
1.7.3	Προκατασκευασμένες κυψέλες με διακόπτη ισχύος	119
1.7.4	Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα μέσης τάσης	120
1.7.5	Σχέδια όψης πίνακα μέσης τάσης	122
1.7.6	Κατάλογος υλικών πίνακα μέσης τάσης	124
1.7.7	Λειτουργικά σχέδια πίνακα μέσης τάσης	125
	Ερωτήσεις	126
	Ασκήσεις	126

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.8

1.8.1	Αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων κινητήρων	132
1.8.2	Μόνωση των τυλιγμάτων του στάτη	134
1.8.3	Ψύξη των κινητήρων μέσης τάσης	135
1.8.4	Προστασία των κινητήρων μέσης τάσης	136
1.8.5	Ομαλός εκκινητής μέσης τάσης	137
1.8.6	Ρύθμιση στροφών κινητήρων μέσης τάσης με μεταβολή της συχνότητας	138

ΕΝΟΤΗΤΑ 1.9

1.9.1	Αλληλοδεσμεύσεις - Χειρισμοί	143
1.9.1α	Ηλεκτρικές αλληλοδεσμεύσεις	144
1.9.1β	Μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις	145
1.9.2	Συντήρηση υποσταθμού	147
1.9.2α	Συντήρηση κύριου εξοπλισμού	148
1.9.2β	Συντήρηση του βοηθητικού εξοπλισμού	149

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ανακεφαλαίωση κεφαλαίου 1	152
---------------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Εισαγωγή	156
Σχόλια φύλλου 10	158
Σχόλια φύλλου 20	160
Σχόλια φύλλου 30	162
Σχόλια φύλλου 31	164
Σχόλια φύλλου 32	166
Σχόλια φύλλου 33	168
Σχόλια φύλλου 34	170
Σχόλια φύλλου 35	172
Σχόλια φύλλου 36	174
Σχόλια φύλλου 37	176
Σχόλια φύλλου 38	178

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΤΕΥΧΟΥΣ Α'	183
--------------------------------------	-----

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	184
-----------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΤΕΥΧΟΥΣ Α΄

1. Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης, Π.Ντοκόπουλος, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
2. Electrical Installation Guide, Technical Series, Groupe Schneider
3. Electrical Installations Handbook, Seip, Siemens

Στην συγγραφή του Τεύχους Α΄ χρησιμοποιήθηκε υλικό (φωτογραφίες, σχήματα κλπ) από διάφορα τεχνικά φυλλάδια των παρακάτω εταιρειών

- ABB
- Siemens
- Groupe Schneider
- OBO BETTERMANN
- IME
- EMM
- 3M
- ERICO

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Για την καλύτερη ανάγνωση των κειμένων του Τεύχους Α', χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συντομογραφίες

ΔΕΗ	= Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
Δ.Δ.Ε.	= Διακόπτης Διαφυγής Έντασης
Ε.Η.Ε.	= Εσωτερική Ηλεκτρική Εγκατάσταση
A/Z	= Ασφαλειο-αποζεύκτης
M/Σ	= Μετασχηματιστής
Υ/Σ	= Υποσταθμός
H/N	= Ηλεκτρονόμος
Δ.Ι.	= Διακόπτη Ισχύος
M.T.	= Μέση Τάση
Χ.Τ.	= Χαμηλή Τάση
E.P.	= Εναλασσόμενο Ρεύμα
Σ.Ρ.	= Συνεχές Ρεύμα
A-μετρο	= Αμπερόμετρο
V-μετρο	= Βολτόμετρο
W-μετρο	= Βατόμετρο
kWh-μετρο	= Μετρητής Ενέργειας
AC	= Εναλασσόμενο Ρεύμα
DC	= Συνεχές Ρεύμα

ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

1

Ενότητα 1.1

- 1.1.1** Ακτινικά δίκτυα μέσης τάσης
- 1.1.2** Βροχοειδή δίκτυα μέσης τάσης
- 1.1.3** Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης
- 1.1.4** Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης
- 1.1.5** Τύποι παροχών μέσης τάσης
- 1.1.6** Υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να γνωρίζουν τις βασικές τάσεις σε kV των ηλεκτρικών δικτύων που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη.
- ☞ να ξεχωρίζουν τα πλεονεκτήματα των βροχοειδών δικτύων μέσης τάσης.
- ☞ να αναφέρουν τις αιτίες των σφαλμάτων στα εναέρια και υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης.
- ☞ να διατυπώνουν την σημασία της επαναφοράς (ξανα-κλεισίματος) του αυτόματου διακόπτη.
- ☞ να σχεδιάζουν το μονογραμμικό διάγραμμα ενός υποσταθμού με ένα ή δύο Μ/Σ και να ξεχωρίζουν τα βασικά του μέρη.

1.1 Δίκτυα μέσης τάσης

Οι βιομηχανικοί καταναλωτές, δηλαδή τα εργοστάσια και οι μεγάλες βιοτεχνίες αλλά και μεγάλα συγκροτήματα κτιρίων (νοσοκομεία, κτίρια γραφείων) έχουν εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ πολύ μεγάλη.

Θυμίζουμε ότι με τον όρο **εγκατεστημένη ισχύς** εννοούμε το άθροισμα των ονομαστικών ισχύων (σε kW), όλων των ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχουν στο κτίριο.

Επειδή είναι πρακτικά αδύνατον να συμβεί όλες οι ηλεκτρικές συσκευές να δουλεύουν ταυτόχρονα στην ονομαστική τους ισχύ, έχουμε την έννοια της **απορροφούμενης ή ζητούμενης ισχύος**.

Η ισχύς που ζητάμε από το δίκτυο της ΔΕΗ, είναι η ζητούμενη ισχύς που προφανώς είναι μικρότερη από την εγκατεστημένη.

Κατά κανόνα, μέχρι τη ζητούμενη ισχύ των 135 kVA (παροχή αριθμός 6 της ΔΕΗ), η ΔΕΗ μας συνδέει στο δίκτυο χαμηλής τάσης των 400 V και έτσι έχουμε τους **καταναλωτές χαμηλής τάσης**. Όταν όμως η ζήτηση ξεπεράσει το όριο των 135 kVA, τότε επιβάλλεται η σύνδεση του καταναλωτή με το δίκτυο μέσης τάσης και έτσι έχουμε τους **καταναλωτές μέσης τάσης**.

Με τον όρο μέση τάση εννοούμε τα δίκτυα της ΔΕΗ με ονομαστική (πολική) τάση 20 kV (20.000 V).

Σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας (ακόμα και στο κέντρο της Αθήνας) συναντάμε ακόμα και σήμερα δίκτυα μέσης τάσης με ονομαστική τάση 3.3, 6.6 ή 15 kV. Τα δίκτυα αυτά είναι κατάλοιπα των ηλεκτρικών δικτύων που προϋπήρχαν στη χώρα μας πριν από τη δημιουργία της ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) το 1953. Σταδιακά όμως η ΔΕΗ μετατρέπει όλα τα παλαιά δίκτυα μέσης τάσης σε δίκτυα 20 kV.

Λέγοντας μέση τάση, στην Ελλάδα και σε όλη την Ευρώπη, εννοούμε την τάση των 20 kV. Η τάση αυτή είναι πάντα πολική τάση, δηλαδή είναι η τάση μεταξύ δύο φάσεων. Στη μέση τάση δεν χρησιμοποιείται η φασική τάση, δηλαδή η τάση μεταξύ φάσης και ουδετέρου, διότι δεν υπάρχει αγωγός ουδετέρου.

Η μέση τάση είναι απαραίτητη για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1000 m περίπου.

Έτσι τα δίκτυα μέσης τάσης τα συναντάμε σε όλες τις αστικές ή αγροτικές περιοχές.

Για τη μεταφορά ενέργειας σε μεγαλύτερες αποστάσεις, π.χ από την Πτολεμαΐδα στην Αθήνα χρησιμοποιούνται τάσεις 150 ή 400 kV και τα δίκτυα αυτά τα ονομάζουμε δίκτυα υψηλής και υπερ-υψηλής τάσης αντίστοιχα.

Ο παρακάτω Πίνακας 1.1 μας δείχνει συνοπτικά τα είδη των τάσεων που υπάρχουν σήμερα σε όλη την Ευρώπη.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1, μπορούμε να ξεχωρίσουμε την τάση κάθε δικτύου από το ύψος των μονωτήρων. Στη μέση τάση (20 kV) το ύψος των μονωτήρων είναι περίπου 20 cm ενώ στην υπερ-υψηλή τάση (400 kV) το ύψος των μονωτήρων είναι περίπου 2 m.

Τα δίκτυα μέσης τάσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ακτινικά δίκτυα
- Βροχοειδή δίκτυα

Πίνακας 1.1, Τυποποιημένες τάσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	
Περιγραφή	Πολική Τάση [kV]
Υπερ-υψηλή τάση (ΥΥΤ)	400
Υψηλή τάση (ΥΤ)	150
Μέση τάση (ΜΤ)	20
Χαμηλή τάση (ΧΤ)	0,4



Εικόνα 1.1 Ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς
(α) δίκτυο 150 kV
(β) δίκτυο 20 kV
(γ) υποσταθμός 150/20 kV

1.1.1 Ακτινικά δίκτυα μέσης τάσης

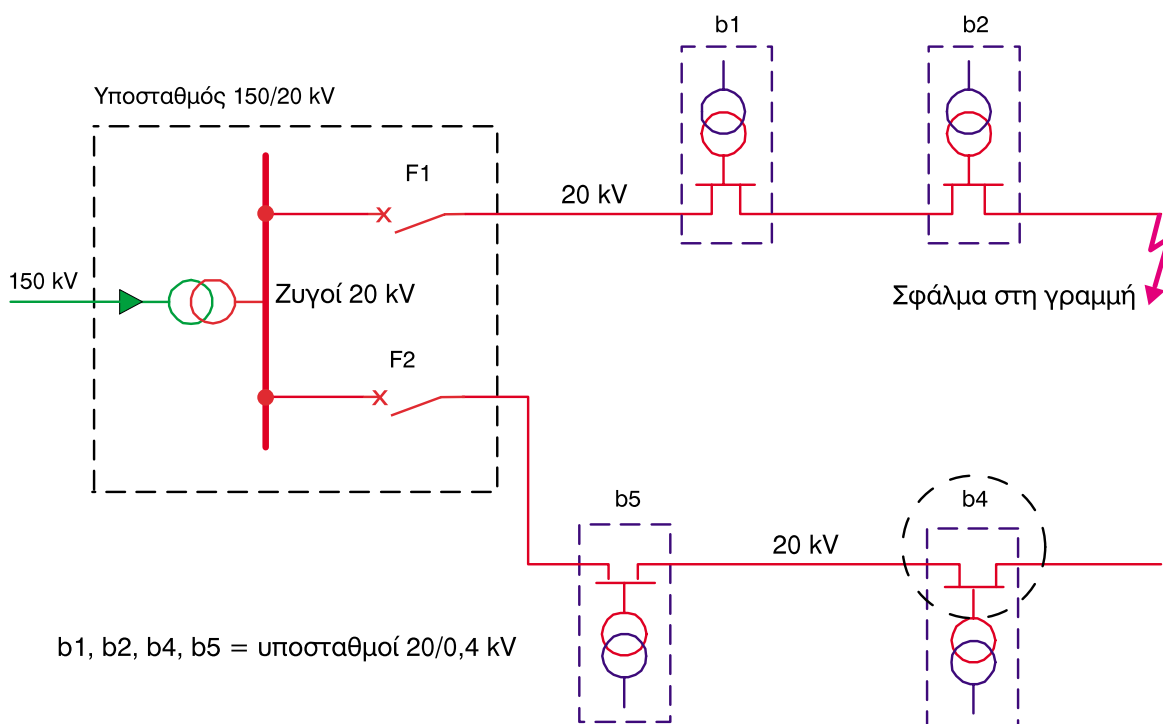
Στα ακτινικά δίκτυα οι γραμμές των 20 kV (συνήθως εναέριες) αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ και απλώνονται σαν τις ακτίνες ενός κύκλου, από όπου και το όνομά τους, δηλαδή ακτινικά (Εικόνα 1.1.1). Κατά μήκος κάθε γραμμής συνδέονται οι καταναλωτές Μέσης Τάσης. Κάθε καταναλωτής Μέσης Τάσης πρέπει να διαθέτει το δικό του ιδιωτικό υποσταθμό για να μπορέσει να συνδεθεί με ασφάλεια στο δίκτυο της Μέσης Τάσης.

Βασικό μειονέκτημα των ακτινικών δικτύων είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος κατά μήκος της γραμμής, ο διακόπτης ισχύος (circuit-breaker) F1 (Εικόνα 1.1.1) που υπάρχει στην αρχή της γραμμής ανοίγει με αποτέλεσμα όλοι οι καταναλωτές που υπάρχουν κατά μή-

κος της γραμμής να μείνουν χωρίς τάση. Οι συνέπειες της απώλειας της μέσης τάσης για τους καταναλωτές είναι κρίσιμες και, πολλές φορές, επικίνδυνες.

Στην περίπτωση εγκαταστάσεων με ηλεκτρικά φορτία που δεν πρέπει να μείνουν πολύ χρόνο εκτός λειτουργίας, π.χ νοσοκομεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, ψυγεία, χημικές βιομηχανίες κ.λπ., η απώλεια της μέσης τάσης αντιμετωπίζεται με την ύπαρξη ενός τοπικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (ντηζελομηχανή και γεννήτρια 400 V). Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει τα κρίσιμα φορτία της εγκατάστασης, μέχρι την αποκατάσταση του σφάλματος και την επαναφορά της μέσης τάσης στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Για το λόγο αυτό τα ακτινικά δίκτυα δεν είναι πολύ διαδεδομένα στη μέση τάση. Αντίθετα, στη χαμηλή τάση, το σύνολο των δικτύων είναι ακτινικού τύπου.



Εικόνα 1.1.1 Ακτινικό δίκτυο μέσης τάσης

1.1.2 Βροχοειδή (ring main) δίκτυα μέσης τάσης

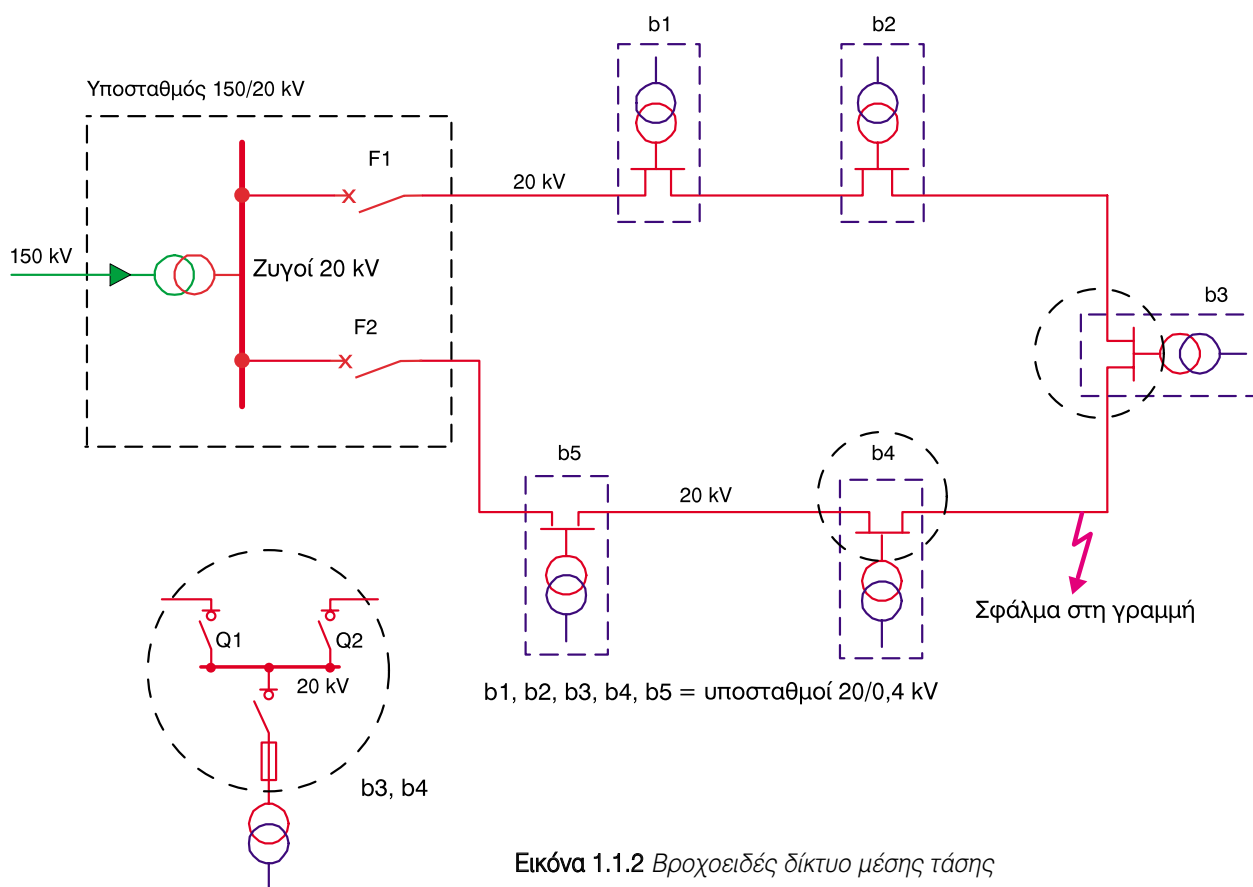
Το βασικό μειονεκτήματα των ακτινικών δικτύων ξεπερνιέται με τα βροχοειδή δίκτυα.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1.2, οι γραμμές των 20 kV (εναέριες ή υπόγεια καλώδια) που αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ, σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει στους ζυγούς των 20KV του υποσταθμού 150/20 kV.

Κατα μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές b1, b2, b3, b4, b5. Ο βρόχος προστατεύεται στις δύο άκρες του με τους διακόπτες ισχύος F1, F2. Σε περίπτωση σφάλματος σε κάποιο σημείο του

βρόχου, π.χ στο τμήμα b3, b4 λειτουργούν οι προστασίες των διακοπών F1, F2, οι διακόπτες ανοίγουν και ο βρόχος μένει χωρίς τάση. Αφού εντοπίσουμε τη θέση του σφάλματος, ανοίγουμε τους διακόπτες φορτίων Q1 στο b3 και Q2 στο b4 και απομονώνουμε το τμήμα b3, b4. Ξανακλείνουμε τους διακόπτες F1, F2 και επανέρχεται η μέση τάση στο δίκτυο. Το βροχοειδές δίκτυο τώρα λειτουργεί σαν δύο ακτινικά δίκτυα.

Τα συνεργεία αποκαθιστούν τη ζημιά, οι διακόπτες φορτίου Q1, Q2 ξανακλείνουν και ο βρόχος επανέρχεται στην κανονική του λειτουργία.



Εικόνα 1.1.2 Βροχοειδές δίκτυο μέσης τάσης

1.1.3 Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης

Τους χειμερινούς μήνες, ο δυνατός άνεμος ή ο σχηματισμός πάγου μπορεί να φέρουν σε επαφή τους αγωγούς των εναερίων γραμμών, δημιουργώντας στιγμιαία ένα προσωρινό βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων ή μεταξύ φάσης και γης.

Τους καλοκαιρινούς μήνες, η αστοχία στη μόνωση των ραγισμένων μονωτήρων σε συνδυασμό με τη σκόνη που επικάθεται στους μονωτήρες δημιουργεί υπερπηδήσεις που προκαλούν βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσης και γης.

Τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα είναι αυτο-καθαριζόμενα. Για παράδειγμα, η έντονη ζέστη που δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο έχει σαν αποτέλεσμα να καθαρίσει τη διαδρομή του ρεύματος, π.χ να λιώσει ο πάγος, με συνέπεια την αποκατάσταση της μόνωσης.

Εν τω μεταξύ η προστασία της γραμμής έχει δώσει εντολή και ο διακόπτης ισχύος στην αρχή της γραμμής ανοίγει (πολλές φορές λέμε πέφτει αντί ανοίγει).

Η εμπειρία μας έχει δείξει ότι τις περισσότερες φορές η απλή επαναφορά της τάσης με το ξανα-κλείσιμο του διακόπτη ισχύος είναι αρκετή για να επαναφέρει το δίκτυο στην κανονική του κατάσταση.

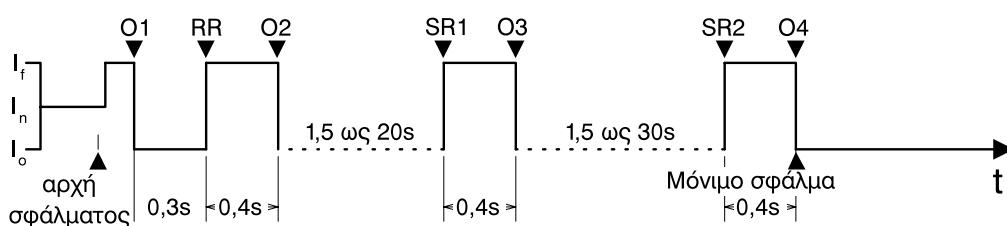
Έτσι, είναι δυνατόν να βελτιώσουμε την αξιοπιστία των εναέριων δικτύων δίνοντας απλά εντολή στο διακόπτη ισχύος να εκτελέσει περισσότερους

(συνήθως τρεις) κύκλους λειτουργίας (άνοιγμα-κλείσιμο), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1.3β.

Οι επαναφορές δεν εκτελούνται στα υπόγεια δίκτυα, γιατί τα σφάλματα εκεί είναι κατά κανόνα μόνιμα.



Εικόνα 1.1.3α Διακόπτης ισχύος στην αρχή της γραμμής



O = Άνοιγμα διακόπτη

RR = Γρήγορο επανακλείσιμο

SR = Αργό επανακλείσιμο

I_o = μηδενικό ρεύμα

I_n = κανονικό ρεύμα γραμμής

I_f = ρεύμα σφάλματος

Εικόνα 1.1.3β Κύκλοι επαναφοράς αυτόματου διακόπτη στην αρχή της εναέριας γραμμής

1.1.4 Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης

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

Τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα καλωδίων μερικές φορές οφείλονται στην απροσεξία κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, π.χ κακές συνδέσεις (μούφες) ή κακό τράβηγμα κατά την εγκατάσταση.

Τις περισσότερες φορές οφείλονται σε εκτελούμενες εργασίες από συνεργεία άλλων δημοσίων υπηρεσιών, π.χ Εταιρεία Ύδρευσης - Αποχέτευσης, που χρησιμοποιούν εκσκαφείς, κομπρεσέρ κ.λπ.

Άλλες φορές παρατηρείται λόγω υπερτάσεων, αστοχία στα ακροκιβώτια των καλωδίων 20 kV, στα σημεία που αυτά συνδέονται με εναέριες γραμμές. Οι υπερτάσεις αυτές είναι κατά κανόνα ατμοσφαιρικής προέλευσης (κεραυνοί).

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

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



Εικόνα 1.1.4 Εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων σε δίκτυο 20 kV

1.1.5 Τύποι παροχών μέσης τάσης

Η ΔΕΗ έχει τυποποιήσει τέσσερις τύπους παροχών μέσης τάσης που αναφέρονται στον παρακάτω Πίνακα 1.2.

Παροχή τύπου A1 και A2

Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο των 20 kV και είναι η απλούστερη σε διατάξεις. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, δηλαδή ασφαλειο-αποζεύκτης, Μ/Σ μέτρησης έντασης και τάσης είναι πάνω σε στύλο, δηλαδή υπαίθρια (Εικόνα 1.1.5). Οι μετρητές ενέργειας τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Από το στύλο αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον υποσταθμό του καταναλωτή, την οποία κατασκευάζει ο καταναλωτής. Η παροχή A1 ασφαλίζεται με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης μέχρι 30 A. Η παροχή A2 διαφέρει από την A1 στο ότι χρησιμοποιεί διακόπτη απομόνωσης αντί ασφαλειοαποζεύκτη.

Παροχή τύπου B1 και B2

Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές με αυξημένη ζήτηση ισχύος και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού τύπου. Ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να διαθέσει στη ΔΕΗ ένα χώρο διαμορφωμένο σύμφωνα με τις οδηγίες της ΔΕΗ. Στο χώρο αυτό η ΔΕΗ εγκαθιστά έναν προκατασκευασμένο πίνακα 20 kV που περιλαμβάνει εκτός των διακοπών, τους Μ/Σ μέτρησης και τους μετρητές ενέργειας. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται κατά κανόνα ακτινικά, αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο ή βροχοειδώς, αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στη βροχοειδή σύνδεση έχουμε δύο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από τον προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο της παροχής οδηγεί στον επόμενο καταναλωτή (Εικόνα 1.1.2).

Πίνακας 1.2 Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ		
Τύπος	Εγκατάσταση μέτρησης	Μέγιστη ισχύς μετασχηματιστή
A1	Εξωτερικά (υπαίθρια)	630 kVA
A2	Εξωτερικά (υπαίθρια)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο MT
B1	Εσωτερικά (στεγασμένη)	1250 kVA
B2	Εσωτερικά (στεγασμένη)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο MT



Εικόνα 1.1.5
Μέτρηση παροχής
τύπου A1 ή A2

δίοδος μετασχηματιστής
μέτρησης τάσης

μετασχηματιστής
μέτρησης έντασης

1.1.6 Υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης

Με τον όρο **υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης** ή απλά υποσταθμός (Υ/Σ) εννοούμε το σύνολο του εξοπλισμού που έχει σαν στόχο τον ασφαλή υποβιβασμό της Μέσης Τάσης (20 kV) σε Χαμηλή Τάση (400 V).

Χαμηλή Τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μικρότερη από 1000 V.

Μέση Τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μεγαλύτερη από 1000 V και μικρότερη από 30.000 V.

Στην Ελλάδα αλλά και σε όλη την Ευρώπη η χαμηλή τάση που χρησιμοποιείται είναι η τάση 400/230 V.

Όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό διάγραμμα της Εικόνας 1.1.6, τα βασικά μέρη ενός υποσταθμού καταναλωτή είναι:

- **Ο Πίνακας 20 kV**

Στον πίνακα 20 kV έρχεται το καλώδιο από το δίκτυο της ΔΕΗ και αναχωρεί το καλώδιο προς το μετασχηματιστή (Μ/Σ). Αν ο υποσταθμός έχει και δεύτερο Μ/Σ τότε για κάθε Μ/Σ υπάρχει ξεχωριστή γραμμή από τον πίνακα 20 kV. Κάθε μετασχηματιστής προστατεύεται με ασφάλειες σκόνης ή διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμους προστασίας.

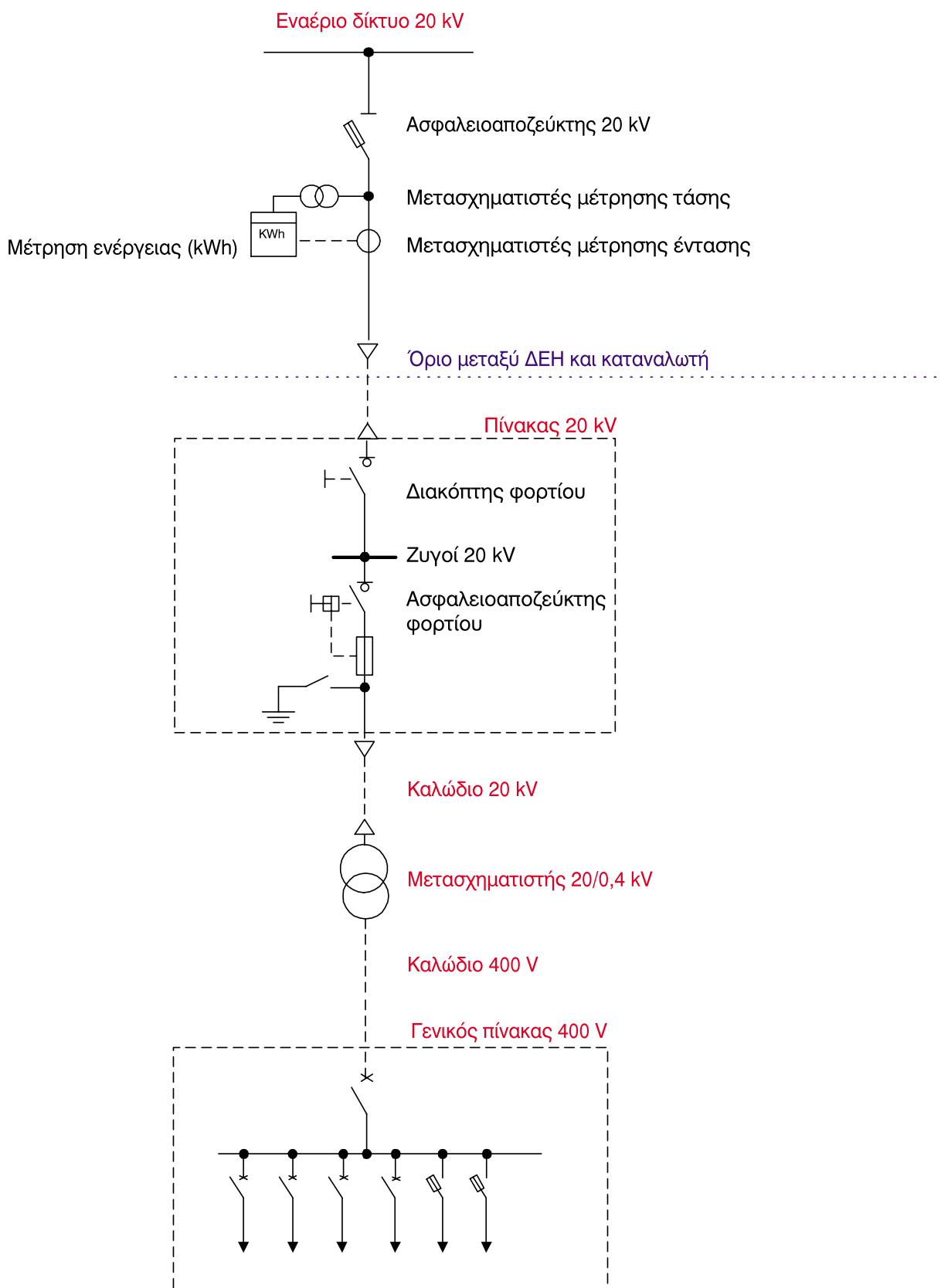
- **Ο Μετασχηματιστής 20/0,4 kV**

Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση των 20 kV σε τάση διανομής 400 V για τα φορτία του καταναλωτή. Το πρωτεύον τύλιγμά του είναι σε τρίγωνο (Δ) και το δευτερεύον τύλιγμά του σε αστέρα (Υ) με γειωμένο τον ουδέτερο κόμβο.

- **Ο Γενικός Πίνακας 400 V**

Στο γενικό πίνακα 400 V έρχεται το ρεύμα χαμηλής τάσης με τη βοήθεια καλωδίων ή εγκιβωτισμένων ζυγών αν το ρεύμα είναι πολύ μεγάλο (> 2000 A). Στην άφιξη του πίνακα υπάρχει ένας διακόπτης ισχύος με θερμική και μαγνητική προστασία. Οι αναχωρήσεις προστατεύονται με διακόπτες ισχύος ή τηκτές ασφάλειες και τροφοδοτούν τους πίνακες διανομής 400/230 V που υπάρχουν στην εγκατάσταση του καταναλωτή.

Όταν ο Υ/Σ έχει δύο Μ/Σ τότε ο Πίνακας 400 V διαθέτει δύο αφίξεις (εισόδους) και οι ζυγές τους χωρίζονται σε δύο μέρη. Τα δύο μέρη των ζυγών συνδέονται με διακόπτη ισχύος.



Εικόνα 1.1.6 Μονογραμμικό διάγραμμα υποσταθμού μέσης τάσης παροχής Α1

Δίκτυα μέσης τάσης

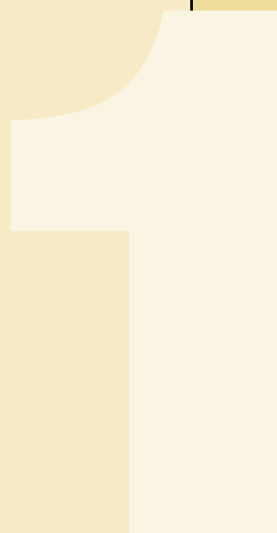
Ερωτήσεις

1. Τι ονομάζουμε εγκατεστημένη και τι απορροφούμενη (ή ζητούμενη) ηλεκτρική ισχύ; Ποια είναι μεγαλύτερη και γιατί ;
2. Ποιες ήταν οι τιμές σε kV των ονομαστικών τάσεων, διανομής μέσης τάσης, που είχαμε στην Ελλάδα; Γιατί στόχος της ΔΕΗ είναι η αντικατάσταση όλων με την τιμή των 20 kV.
3. Κοιτώντας ένα εναέριο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πώς μπορούμε να ξεχωρίσουμε την ονομαστική του τάση ;
4. Τι ονομάζουμε ακτινικά δίκτυα; Πού τα συναντάμε συχνά ;
5. Τι ονομάζουμε βροχοειδή δίκτυα; Πού τα συναντάμε συχνά ;
6. Γιατί τα σφάλματα στα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης είναι συχνότερα από τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης ;

Ασκήσεις

1. Στο μπλοκ σχεδίου να σχεδιάσετε το πολυγραμμικό διάγραμμα που αντιστοιχεί στο μονογραμμικό της Εικόνας 1.1.6.
2. Στο μπλοκ σχεδίου να σχεδιάσετε το μονογραμμικό διάγραμμα ενός Υποσταθμού Μέσης τάσης, με δύο Μ/Σ που λειτουργούν ανεξάρτητα, δηλαδή δεν είναι παραλληλισμένοι στην πλευρά της Χαμηλής τάσης.
3. Στο μπλοκ σχεδίου να σχεδιάσετε το μονογραμμικό διάγραμμα ενός Υποσταθμού Μέσης τάσης, με δύο Μ/Σ που λειτουργούν παράλληλα.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



Ανακεφαλαίωση κεφαλαίου 1

Οι δυνατότητες του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλή τάση (400 V) της ΔΕΗ είναι περιορισμένες. Έτσι οι μεγάλοι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας - όπως είναι τα νοσοκομεία, οι βιομηχανίες, τα κτίρια γραφείων κ.ά - συνδέονται απευθείας στο δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20000 V) της ΔΕΗ.

Ο υποβιβασμός της μέσης τάσης σε χαμηλή, γίνεται με τη βοήθεια ενός ή περισσότερων μετασχηματιστών (Μ/Σ) ισχύος που βρίσκονται σε έναν ανεξάρτητο ιδιωτικό χώρο που ονομάζεται υποσταθμός. Λέγοντας ιδιωτικός χώρος, εννοούμε ότι ο υποσταθμός ανήκει στον καταναλωτή και, συνεπώς, αυτός είναι υπεύθυνος για την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρησή του.

Παλιότερα, οι Μ/Σ που συναντούσαμε στους ιδιωτικούς υποσταθμούς ήταν αποκλειστικά με μόνωση ορυκτού λαδιού, με αποτέλεσμα να υπάρχει πάντα ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Σήμερα, είναι προτιμότεροι οι Μ/Σ ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης, παρόλο που είναι ακριβότεροι.

Σε περίπτωση βλάβης του Μ/Σ, ο καταναλωτής θα μείνει χωρίς ηλεκτρική ενέργεια και οι συνέπειες είναι γνωστές. Έτσι η σωστή προστασία του Μ/Σ, τόσο στην πλευρά μέσης τάσης όσο και στην πλευρά χαμηλής τάσης, αποτελεί το βασικό παράγοντα για την απρόσκοπτη λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Για Μ/Σ μέχρι 630 kVA, η προστασία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός διακόπτη φορτίου με ασφάλειες υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC) στην πλευρά μέσης τάσης και με αυτόματο διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης.

Για μεγαλύτερους Μ/Σ, στην πλευρά μέσης τάσης χρησιμοποιούμε διακόπτη ισχύος.

Ο διακόπτης ισχύος (circuit breaker) αποτελεί το βασικό μέσο προστασίας στα δίκτυα μέσης τάσης διότι έχει την ικανότητα να διακόπτει το ρεύμα του βραχυκυκλώματος χωρίς να καταστρέφεται. Η τηκτική ασφάλεια, σε αντιδιαστολή διακόπτει το βραχυκύκλωμα αλλά καταστρέφεται και χρειάζεται αντικατάσταση. Οι διακόπτες ισχύος που συναντάμε στους ιδιωτικούς υποσταθμούς, ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου, είναι ορυκτού ελαίου ή εξα-φθορειούχου θείου (SF₆).

Για να μπορέσει ο διακόπτης ισχύος να λειτουργήσει σαν όργανο προστασίας πρέπει να συμπληρωθεί με μετασχηματιστές έντασης και τους κατάλληλους ηλεκτρονόμους προστασίας. Οι μετασχηματιστές έντασης χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του ρεύματος που εισέρχεται στο πρωτεύον τύλιγμα. Αφενός απομονώνουν γαλβανικά το δίκτυο μέσης τάσης από το κύκλωμα προστασίας, αφετέρου δε υποβιβάζουν το ρεύμα σε 5 A. Το ρεύμα του δευτερεύοντος εισέρχεται στο Η/Ν που ελέγχει αν ξεπέρασε τα όρια που έχουμε ορίσει για χρόνο που ξεπερνά το χρόνο που έχουμε ρυθμίσει. Αν τα όρια που έχουμε ορίσει ξεπεραστούν, ο Η/Ν προστασίας αυτόματα κλείνει τη βοηθητική επαφή του και έτσι το ρεύμα καταλήγει στο πηνίο ανοίγματος του διακόπτη ισχύος. Οι κύριες επαφές του διακόπτη ισχύος ανοίγουν και το σφάλμα διακόπτεται.

Ρεύμα σφάλματος στο δίκτυο 20 kv $\xrightarrow{\text{Μ/Σ έντασης}}$ Ρεύμα χαμηλής τάσης $\rightarrow$

ΗΝ προστασίας $\rightarrow$ Διακόπτης ισχύος $\rightarrow$ το κύκλωμα διακόπτεται

Σε περίπτωση σφάλματος το ρεύμα διαρρέει στη γή μέσω του συστήματος γείωσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία επικίνδυνων **τάσεων επαφής** μεταξύ των μεταλλικών μερών του υποσταθμού. Για να ελαττώσουμε τις τάσεις επαφής δημιουργούμε **ισοδυναμικές συνδέσεις** μεταξύ των μεταλλικών μερών του υποσταθμού.

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

- 1.2.1** Χαρακτηριστικά μεγέθη του μετασχηματιστή ισχύος
- 1.2.2** Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού
- 1.2.3** Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτο-ρητίνης
- 1.2.4** Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος
- 1.2.5** Απώλειες χαλκού και σιδήρου
- 1.2.6** Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση
- 1.2.7** Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα
- 1.2.8** Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος
- 1.2.9** Επιλεκτική προστασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή
- 1.2.10** Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να διατυπώνουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη του Μετασχηματιστή (Μ/Σ) Ισχύος.
- ☞ να αναφέρουν τα βασικά μέρη ενός Μετασχηματιστή με μόνωση λαδιού.
- ☞ να απαριθμούν τα βασικά μέρη ενός Μετασχηματιστή με μόνωση ρητίνης.
- ☞ να ξεχωρίζουν τους περιορισμούς του Μ/Σ λαδιού σε αντιδιαστολή με τον Μ/Σ ξηρού τύπου.
- ☞ να αναφέρουν το τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων των τριφασικών Μ/Σ ισχύος.
- ☞ να αναφέρουν και να ερμηνεύουν τα δύο είδη απωλειών που συναντάμε στους Μ/Σ.
- ☞ να περιγράφουν την προστασία του Μ/Σ από υπερφόρτιση.
- ☞ να περιγράφουν την προστασία του Μ/Σ από εσωτερικά σφάλματα.
- ☞ να περιγράφουν την επιλεκτική συνεργασία των οργάνων προστασίας του Μ/Σ.
- ☞ να διατυπώνουν την ανάγκη και τον τρόπο φυσικού αερισμού του χώρου που βρίσκεται ο Μ/Σ.

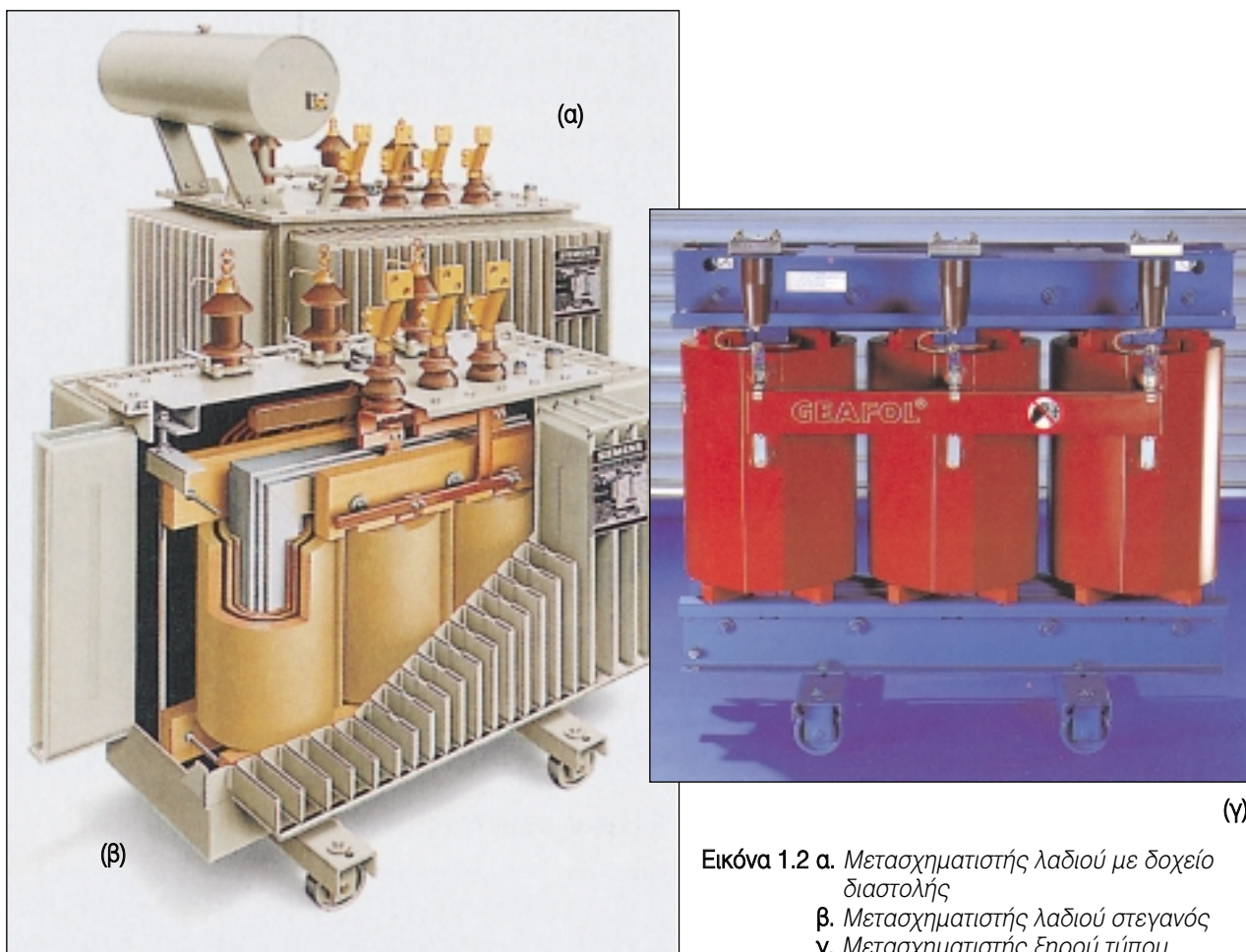
1.2 Μετασχηματιστής ισχύος

Ο μετασχηματιστής ισχύος (power transformer) ή απλά μετασχηματιστής (Μ/Σ) είναι η βασική συσκευή κάθε υποσταθμού μέσης τάσης, διότι υποβιβάζει την τάση μεταφοράς των 20 kV σε τάση διανομής 400 V.

Οι Μ/Σ ισχύος είναι συνήθως ελαιόψυκτοι (Εικόνα 1.2α και 1.2β), εκτός αν έχουμε ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος, π.χ εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Στις περιπτώσεις αυτές επιλέγονται Μ/Σ ξηρού τύπου με μόνωση από χυτορητίνη (Εικόνα 1.2γ).

Σε υποσταθμούς με ζητούμενη ισχύ > 600 kVA έχουμε κατά κανόνα δύο Μ/Σ για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση σφάλματος στον ένα Μ/Σ, αναλαμβάνει ο δεύτερος Μ/Σ να καλύψει το συνολικό φορτίο για όσο χρόνο διαρκέσει η επισκευή του πρώτου Μ/Σ.

Δύο Μ/Σ συναντάμε και σε υποσταθμούς - ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ - που τροφοδοτούν κρίσιμα φορτία όπως, νοσοκομεία, αεροδρόμια κ.ά.



Εικόνα 1.2 α. Μετασχηματιστής λαδιού με δοχείο διαστολής

β. Μετασχηματιστής λαδιού στεγανός

γ. Μετασχηματιστής ξηρού τύπου

1.2.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη του Μετασχηματιστή ισχύος

Ονομαστική Ισχύς, θερμοκρασίες λειτουργίας, επιτρεπόμενη φόρτιση

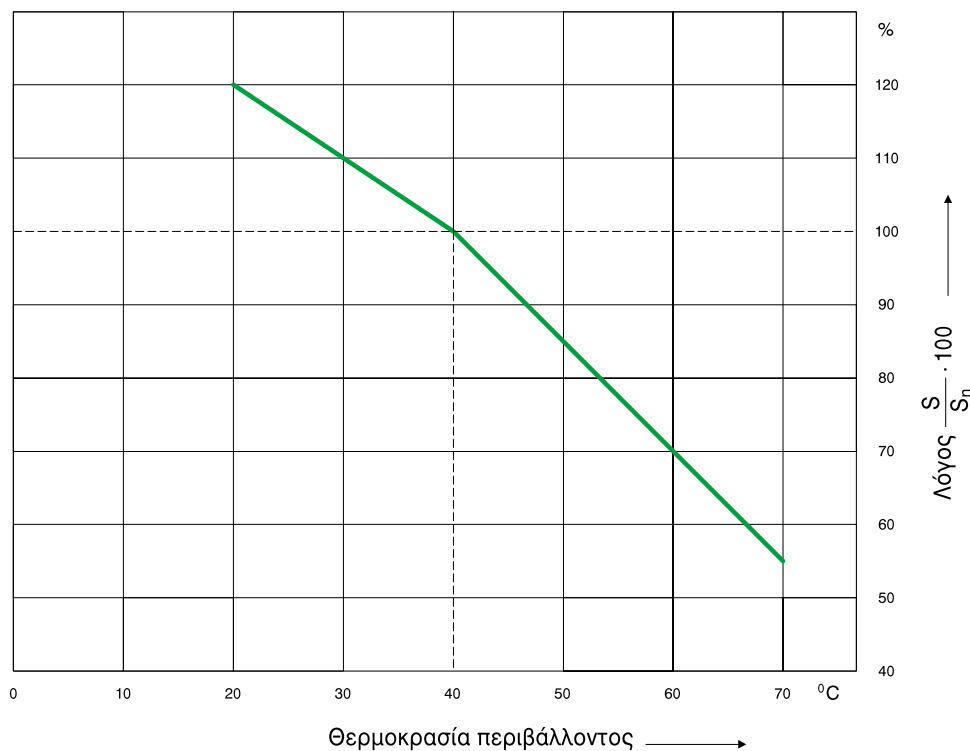
Το μέγεθος του Μ/Σ προσδιορίζεται από την προβλεπόμενη μέγιστη ζήτηση ισχύος σε kVA για τα επόμενα πέντε ως δέκα χρόνια από την ημέρα μελέτης-σχεδίασης του υποσταθμού.

Η ονομαστική ισχύς (S_n) των Μ/Σ κυμαίνεται από 25 kVA μέχρι 2500 kVA.

Λέγοντας ονομαστική ισχύ (Rated power) εννοούμε την ισχύ για την οποία έχει κατασκευαστεί ο Μ/Σ να λειτουργεί συνεχώς, 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 1000 m 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 . Στην εικόνα 1.2.1 βλέπουμε ότι η ισχύς S μικραίνει όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μεγαλώνει. Αλλά και αντίστροφα, η ισχύς S αυξάνει όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 40 °C. Πρακτικά, το 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 να φθάσει τα 480 kVA. Τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού, όταν η εξωτερική θερμοκρασία φθάνει τους 50 °C, η φόρτιση του Μ/Σ δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το 85% της ονομαστικής ισχύος, δηλαδή τα 340 kVA.



Εικόνα 1.2.1α Επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση μετασχηματιστών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του 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 το δευτερεύον, το ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα. Η τάση αυτή δίνεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος, και έτσι έχουμε την ονομαστική τάση

βραχυκύκλωσης (u_k).

Η τάση βραχυκύκλωσης μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την εσωτερική σύνθετη (ωμική + επαγωγική) αντίσταση του Μ/Σ που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της στάθμης του ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_k) στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

Η γνώση της τιμής του ρεύματος βραχυκυκλώματος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ είναι πολύ σημαντική, διότι με βάση αυτή την τιμή πρέπει να επιλέξουμε τον εξοπλισμό χαμηλής τάσης (διακόπτες ισχύος κ.λπ.) όσο αφορά την αντοχή του σε βραχυκύκλωμα.

Παράδειγμα

Να υπολογισθεί το ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δευτερεύον ενός Μ/Σ 20/0,4 kV ονομαστικής ισχύος $S_n=630$ kVA και με τάση βραχυκύκλωσης $u_k = 4\%$.

Λύση

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος υπολογίζεται από τον τύπο:
$$I_k = \frac{100 \cdot S_n}{1,732 \cdot u_k \cdot U_2}$$

όπου: S_n = Ονομαστική ισχύς Μ/Σ σε kVA

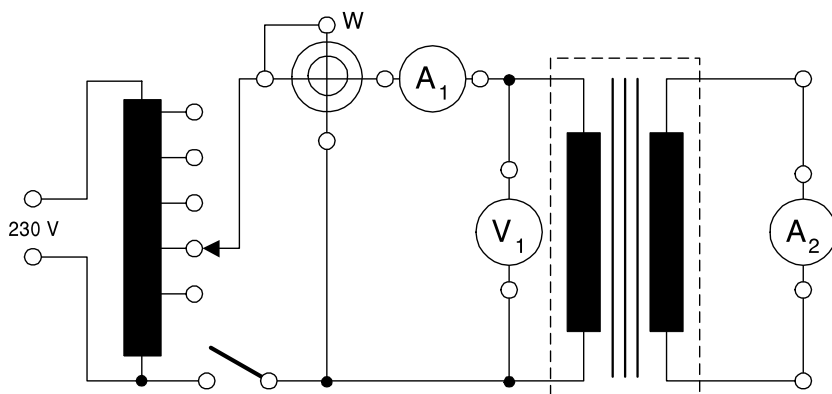
U_2 = Ονομαστική τάση δευτερεύοντος σε kV

u_k = τάση βραχυκύκλωσης σε %

I_k = ρεύμα βραχυκυκλώματος σε kA

Αντικαθιστούμε στον παραπάνω τύπο $S_n = 630$ kVA, $U_2 = 0,4$ kV, $u_k = 4\%$ και έχουμε

$$I_k = \frac{100 \cdot 630}{1,732 \cdot 4 \cdot 230} = 22,8 \text{ kA}$$



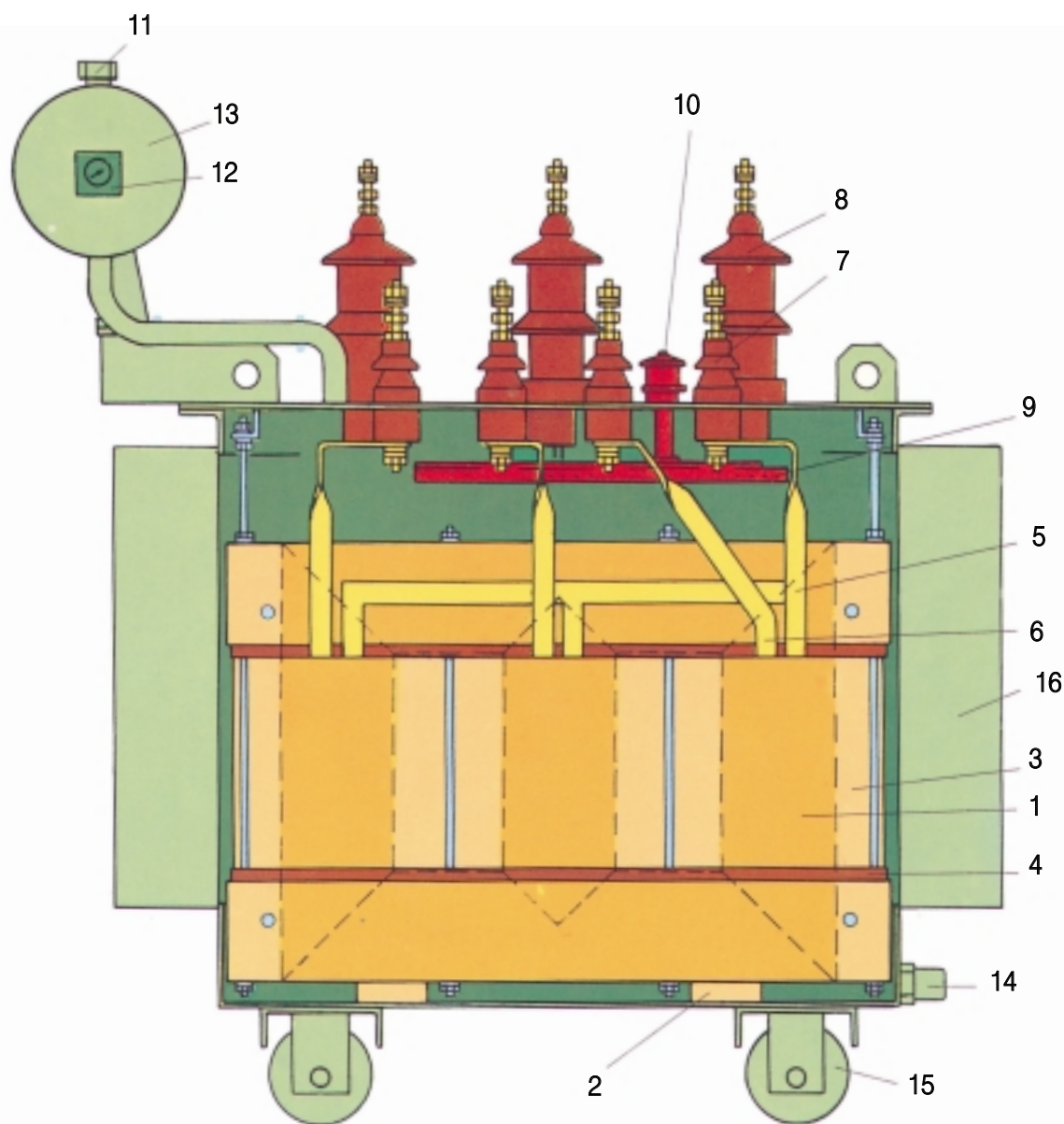
Εικόνα 1.2.1β Το πείραμα για τη μέτρηση της τάσης βραχυκύκλωσης του Μ/Σ

1.2.2 Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) με μόνωση λαδιού

Στην Εικόνα 1.2.2 βλέπουμε την τομή ενός τριφασικού Μ/Σ λαδιού. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 16 και αναλύονται παρακάτω.

1. **Πυρήνας (Core).** Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.
2. **Στηρίγματα πυρήνα (Core support).** Μεταξύ του 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 τύλιγμα της χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) και εξωτερικά το τύλιγμα της μέσης τάσης. Το τύλιγμα Χ.Τ. είναι κατασκευασμένο από χάλκινες ή αλουμινένιες μπάρες, ενώ το τύλιγμα της Μ.Τ. είναι από χάλκινο σύρμα.
4. **Στηρίγματα τυλιγμάτων (winding support).** Η στερέωση των τυλιγμάτων Χ.Τ. και Μ.Τ. τόσο μεταξύ τους όσο και πάνω στον πυρήνα είναι πολύ κρίσιμη και γίνεται με μονωτικά στηρίγματα. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται στα τυλίγματα μεγάλες δυνάμεις Laplace που μπορούν να καταστρέψουν το Μ/Σ.
5. Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης γεφυρώνονται με χάλκινη μπάρα και δημιουργείται ο ουδέτερος κόμβος. Ο ουδέτερος συνδέεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα διέλευσης και προκύπτει έτσι ο **ακροδέκτης του ουδέτερου (η)**.
6. Τα τρία άλλα άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης συνδέονται στους μονωτήρες διέλευσης και προκύπτουν οι **ακροδέκτες 2U, 2V, 2W**.
7. **Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. (LV bushing)** από πορσελάνη. Ονομάζονται μονωτήρες διέλευσης διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα Χ.Τ. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Χ.Τ. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Χ.Τ. που αναχωρούν από το Μ/Σ.
8. **Μονωτήρες διέλευσης Μ.Τ. (MV bushing)** από πορσελάνη. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Μ.Τ. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Μ.Τ. που έρχονται από την κυψέλη προστασίας του Μ/Σ.
9. **Ρυθμιστής τάσης (off-circuit tap changer).** Τα τυλίγματα μέσης τάσης έχουν ενδιάμεσα λήψεις που καταλήγουν σε ένα περιστροφικό διακόπτη. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).
10. **Χειριστήριο ρυθμιστή τάσης**
11. **Δοχείο διαστολής (expansion vessel).** Η θερμοκρασία του λαδιού σε κανονική λειτουργία του Μ/Σ φτάνει τους 100 °C, με αποτέλεσμα τη διαστολή του. Το δοχείο διαστολής συνδέεται με σωλήνα με το δοχείο του Μ/Σ και όσο η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει, ανεβαίνει η στάθμη του λαδιού, διώχνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοχείου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του λαδιού κατεβαίνει. Σήμερα κατασκευάζονται στεγανοί Μ/Σ λαδιού, με ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια ψύξης που παίρνουν τις διαστολές του λαδιού και, συνεπώς, δεν χρειάζονται δοχείο διαστο-

Εικόνα 1.2.2 Τομή μετασχηματιστή λαδιού



λής. Οι στεγανοί (sealed tank) Μ/Σ δεν χρειάζονται συντήρηση, διότι το λάδι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και έτσι δεν αλλοιώνεται.

12. Δείκτης στάθμης λαδιού (oil-level indicator). 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 κύλησης (Roller). Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

16. Ψυκτήρες (cooling ribs). Μοιάζουν με τις φέτες των θερμαντικών σωμάτων ακτινοβολίας και χρησιμεύουν για τη φυσική ψύξη του λαδιού.

1.2.3 Πως είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτο-ρητίνης

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

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

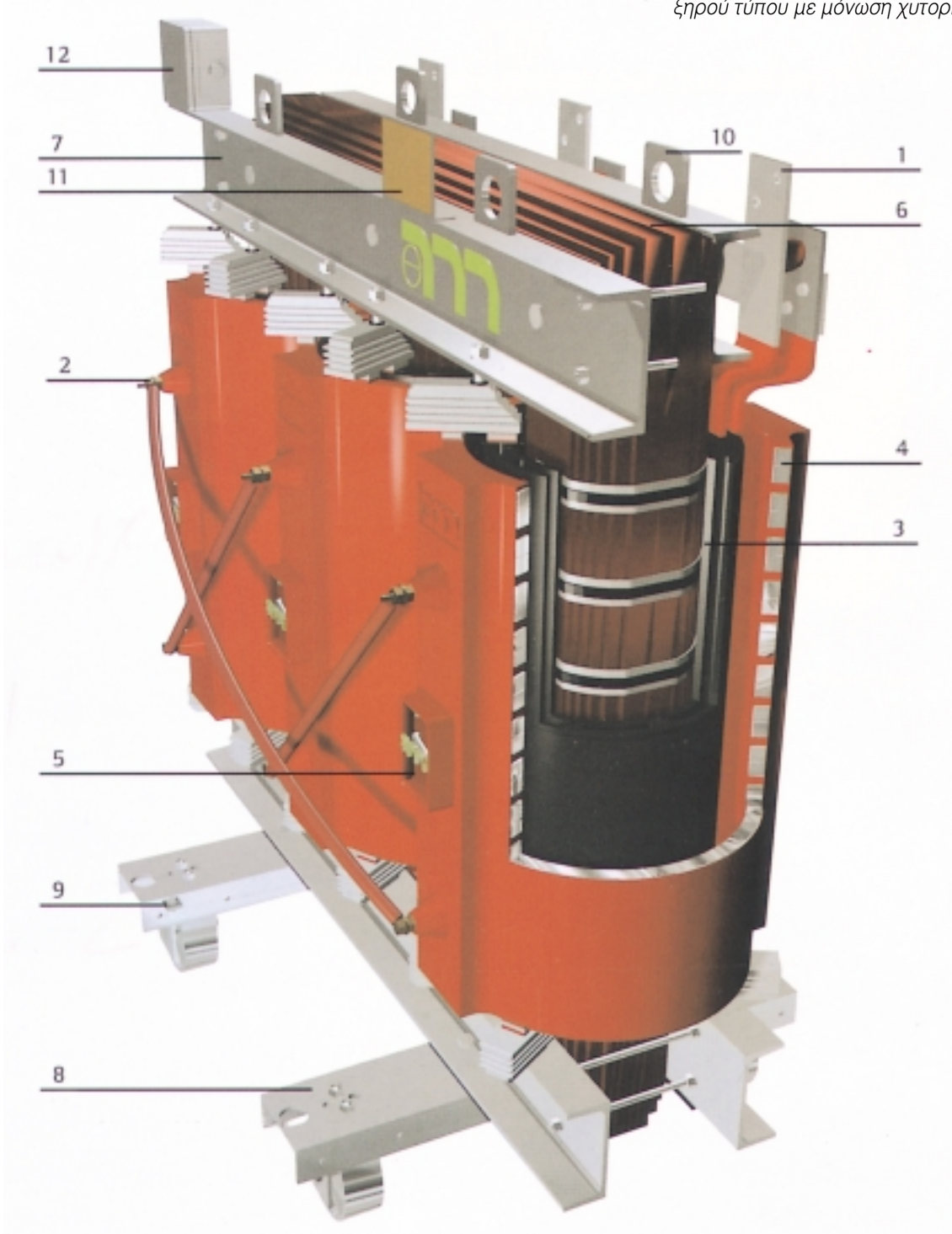
Στην Εικόνα 1.2.3 βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 12 και αναλύονται παρακάτω.

- 1. Ακροδέκτες χαμηλής τάσης.** Κάθε ένα από τα τρία τυλίγματα Χ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι τρεις ακροδέκτες γεφυρώνονται με αλουμινένια ή χάλκινη μπάρα και προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδετέρου. Τα υπόλοιπα τρία άκρα καταλήγουν στους ακροδέκτες Χ.Τ., όπου συνδέονται τα καλώδια των 400 V.
- 2. Ακροδέκτες μέσης τάσης.** Κάθε ένα από τα τρία τυλίγματα Μ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες γεφυρώνονται χιαστί με μονωμένους αγωγούς για να δημιουργήσουν το τρίγωνο (Δ) των τυλιγμάτων της μέσης τάσης.
- 3. Τύλιγμα χαμηλής τάσης.** Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε

μορφή κυλίνδρου. Τα φύλλα μονώνονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Κατόπιν εμποτίζονται με εποξεική ρητίνη και ψήνονται σε ειδικούς φούρνους.

- 4. Τύλιγμα μέσης τάσης.** Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή πηνίου. Κατόπιν χυτεύονται σε καλούπια με χυτορητίνη. Η διαδικασία της χύτευσης αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του Μ/Σ.
- 5. Ρυθμιστής τάσης.** Κάθε τύλιγμα μέσης τάσης έχει ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε ένα κιβώτιο ακροδεκτών στο μπροστινό μέρος κάθε τυλίγματος. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).
- 6. Πυρήνας (Core).** Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.
- 7. Σφικτήρες πυρήνα.** Στο πάνω και στο κάτω μέρος του Μ/Σ υπάρχουν σιδερένια δοκάρια που σχηματίζουν το πλαίσιο του Μ/Σ και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται για τη σύσφιξη των ελασμάτων του πυρήνα.
- 8. Τροχοί κύλησης (Roller).** Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.
- 9. Ακροδέκτης γείωσης.** Στον ακροδέκτη αυτό γειώνονται όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ (πυρήνας, πλαίσιο κ.λπ.) που δε διαρρέονται από ρεύμα.
- 10. Άγκιστρα ανύψωσης.** Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του Μ/Σ.

Εικόνα 1.2.3 Μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτορητίνης



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

12. Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας. Στο κου-

τί αυτό καταλήγουν τα καλώδια από τους θερμίστορες που υπάρχουν στα τυλίγματα ΧΤ και μας επιτρέπουν να προστατεύουμε το Μ/Σ από υπερφόρτιση.

1.2.4 Συνδεσμολογία τυλιγμάτων μετασχηματιστή ισχύος

Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία των τριφασικών εναλασσόμενων ρευμάτων, ένα τριφασικό σύστημα αποτελείται από τρία πηνία που συνδέονται σε τρίγωνο ή αστέρα.

Η εναλλασσόμενη τάση κάθε πηνίου παριστάνεται με ένα διάνυσμα, δηλαδή ένα βέλος.

Στην περίπτωση συνδεσμολογίας τριγώνου, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο ή το κεφαλαίο γράμμα Δ .

Στην περίπτωση συνδεσμολογίας αστέρα, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν ένα αστέρα ή το κεφαλαίο γράμμα Y .

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών διανυσμάτων είναι 120° ή αλλιώς μπορούμε να πούμε, ότι η φασική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων είναι 120 μοίρες.

Στην περίπτωση του Μ/Σ έχουμε δύο τριφασικά συστήματα, ένα στην πλευρά της μέσης και ένα στην πλευρά της χαμηλής τάσης.

Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε τη συνδεσμολογία κάθε πλευράς του Μ/Σ και ταυτόχρονα και τη φασική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών, χρησιμοποιούμε τα γράμματα D και Y σε συνδυασμό με έναν αριθμό από το 1 ως το 12.

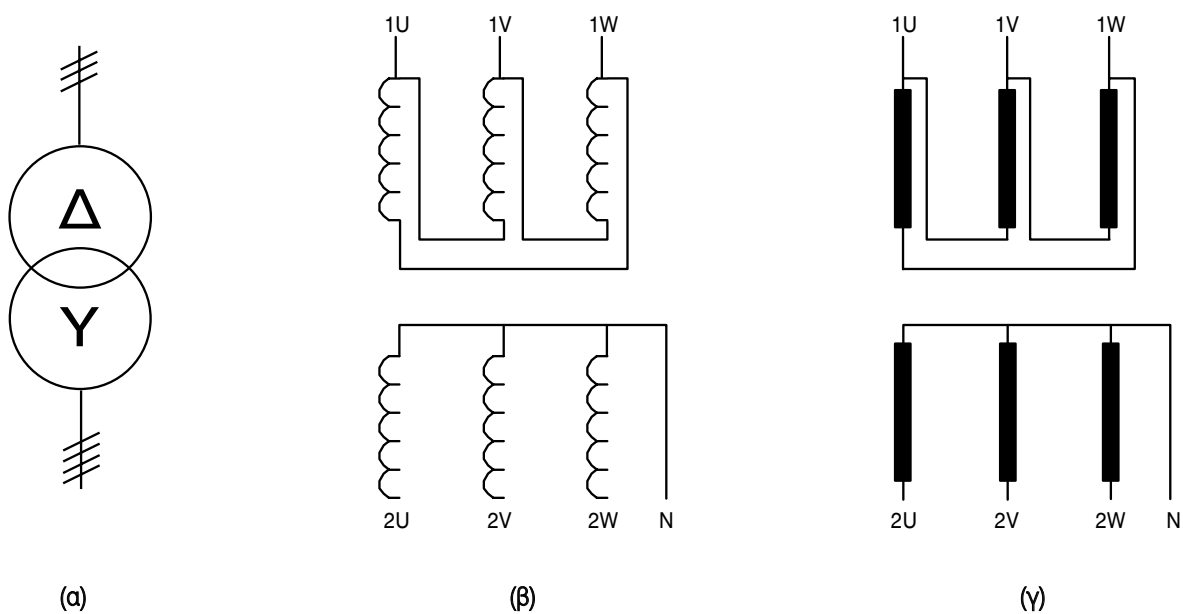
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.4δ, η συνδεσμολογία των Μ/Σ είναι συνήθως **Dyn5** ή **Dyn11** - (το Dyn5 διαβάζεται δέλτα-ύψιλον-νι-πέντε).

Παρακάτω αναλύεται η σημασία του κάθε γράμματος-αριθμού:

- Το πρώτο κεφαλαίο γράμμα **D** σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 20 kV είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο, δηλαδή σχηματίζουν το γράμμα Δ .
- Το δεύτερο μικρό γράμμα **y** σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 400 V είναι συνδεδεμένα σε αστέρα, δηλαδή σχηματίζουν το γράμμα Y . Για να δηλώσουμε ότι είμαστε στη χαμηλή τάση το γράφουμε μικρό **y**.
- Το τρίτο μικρό γράμμα **n** σημαίνει ότι στην πλευρά χαμηλής τάσης υπάρχει ακροδέκτης ουδέτερου (neutral)
- Ο τέταρτος αριθμός δείχνει τη φασική διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων των τάσεων της ίδιας φάσης στην πλευρά μέσης και της χαμηλής τάσης. Αν το διάνυσμα τάσης της μέσης τάσης (1 V) το θεωρήσουμε ότι είναι στη θέση 12 του ρολογιού, τότε το αντίστοιχο διάνυσμα της χαμηλής τάσης (2V) είναι στην ώρα 5. Συνεπώς η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων 1V και 2V είναι $5 \times 30 = 150^\circ$.

Σημειώνουμε ότι ικανή και αναγκαία συνθήκη για να μπορέσουν δύο Μ/Σ να λειτουργήσουν παράλληλα (να παραλληλιστούν) είναι:

- να έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού π.χ 20/0,4 kV
- να έχουν την ίδια συνδεσμολογία π.χ Dyn5
- να μη διαφέρουν σημαντικά οι ονομαστικές ισχείς τους.



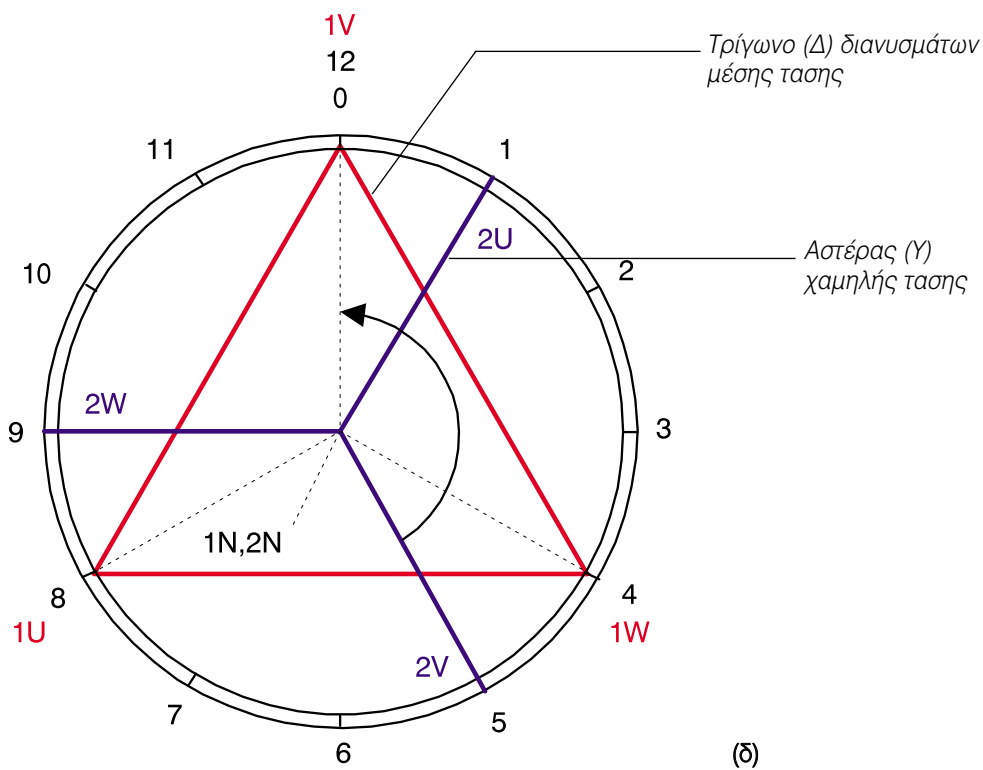
Εικόνα 1.2.4 Συμβολισμοί τριφασικού μετασχηματιστή

α. Μονογραμμικό σύμβολο

β. Σύμβολο με ακροδέκτες κατά IEC

γ. Σύμβολο με ακροδέκτες (παλαιό σύμβολο)

δ. Ομάδα διανυσμάτων Dyn5



1.2.5 Απώλειες χαλκού και σιδήρου

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

- Μαγνητικές απώλειες
- Ηλεκτρικές απώλειες

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

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

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

Πίνακας 1.2 Τεχνικά στοιχεία ματασχηματιστών λαδιού ονομαστικής τάσης 20/0,4 kV

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

Παράδειγμα υπολογισμού

Ενας Μ/Σ έχει $S_n = 630$ kVA και εργάζεται 10 ώρες την ημέρα στο 50% του ονομαστικού ρεύματος. Να βρείτε τις ημερήσιες απώλειες ενέργειας σε kWh.

Λύση

Από τον Πίνακα 1.2 βρίσκουμε ότι οι απώλειες σιδήρου είναι 1300 W, δηλαδή

$$P_{cu} = 1300 \text{ W}$$

Από τον Πίνακα βρίσκουμε επίσης ότι οι απώλειες χαλκού είναι 6500W για το 100% του ονομαστικού ρεύματος (I_n). Επειδή οι απώλειες χαλκού είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος λειτουργίας για $I = 0,5 \cdot I_n$ είναι:

$$P_{cu} = (0.5)^2 \cdot 6500 = 1625 \text{ W.}$$

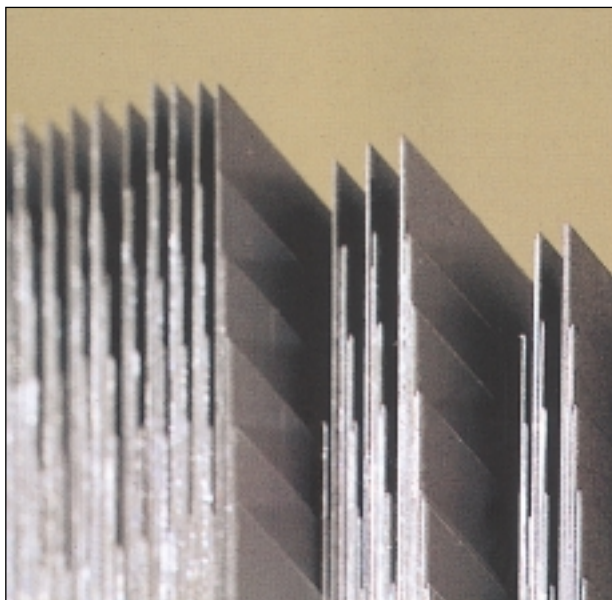
Για λειτουργία 10 ωρών ημερησίως, οι απώλειες ενέργειας ημερησίως είναι ($E = P \cdot t$):

$$E_{\mu} = 1300 \cdot 24 + 1625 \cdot 10 = 47450 \text{ Wh} = 47,45 \text{ kWh/ημέρα}$$

Για να αντιληφθούμε το μέγεθος αυτών των απωλειών, ας τις συγκρίνουμε με την ενέργεια E_{θ} που καταναλώνει ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας ($P=3.0$ kW) του σπιτιού μας, όταν τον ανάβουμε για $t=0.5$ ώρα την ημέρα έχουμε:

$$E_{\theta} = P_{\theta} \cdot t = 3 \cdot 0.5 = 1,5 \text{ kWh/ημέρα}$$

Συγκρίνοντας τις δύο παραπάνω ενέργειες βλέπουμε ότι οι απώλειες μιας ημέρας του Μ/Σ είναι αρκετές για να θερμάνουν το νερό χρήσης ενός νοικοκυριού για ένα μήνα ($47,45/1,5 = 30$ ημέρες).



Εικόνα 1.2.5 α. Μαγνητικά ελάσματα του πυρήνα

β. Πηνία χαμηλής τάσης Μ/Σ ξηρού τύπου πριν από τη συναρμολόγησή τους

1.2.6 Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση

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

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

Για Μ/Σ λαδιού χρησιμοποιούνται τα θερμόμετρα λαδιού (Εικόνα 1.2.6) που παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού. Αυτή πρέπει να είναι μικρότερη των 100 °C.

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

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

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

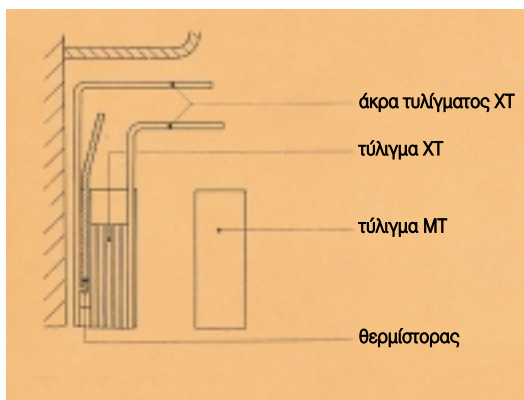
Στους Μ/Σ χυτορητίνης υπάρχουν τοποθετημένα μέσα στα τυλίγματα της χαμηλής τάσης θερμίστορες (συνήθως δύο θερμίστορες σε κάθε φάση). Οι θερμίστορες είναι ηλεκτρονικά στοιχεία που η αντίστασή τους μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία τους.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.6β οι θερμίστορες είναι οργανωμένοι σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα δίνει εντολή οπτικού και ηχητικού συναγερμού (ρελέ K2) και η δεύτερη ομάδα δίνει εντολή απόζευξης (trip) (ρελέ K1) του διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

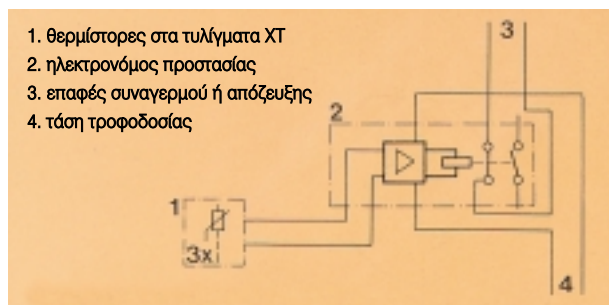
Το θερμόμετρο (στους Μ/Σ λαδιού) ή οι θερμίστορες (στους Μ/Σ χυτορητίνης) δίνουν εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης.



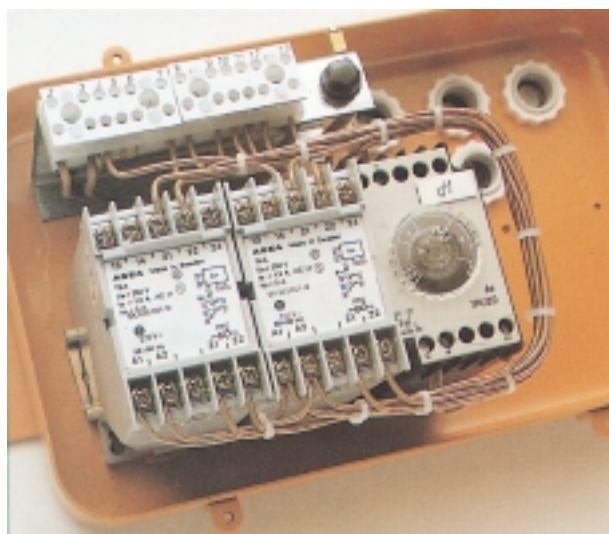
Εικόνα 1.2.6 Θερμόμετρο μέτρησης και προστασίας μετασχηματιστή λαδιού.



(α)



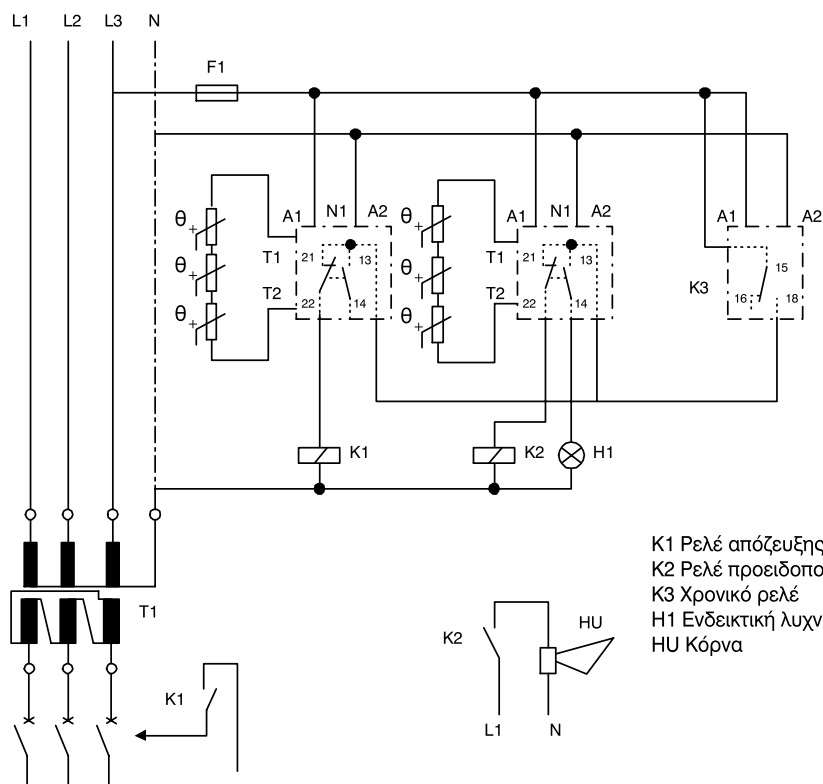
(β)



(γ)

Εικόνα 1.2.6

- α. Τοποθέτηση των θερμιστόρων στα τυλίγματα χαμηλής τάσης
- β. Αρχή λειτουργίας της προστασίας με θερμίστορες
- γ. Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας
- δ. Λειτουργικό διάγραμμα προστασίας ΜΣ με θερμίστορες



- K1 Ρελέ απόζευξης
K2 Ρελέ προειδοποίησης
K3 Χρονικό ρελέ
H1 Ενδεικτική λυχνία
HU Κόρνα

(δ)

1.2.7 Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα

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

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

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

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

- τη συγκέντρωση φουσαλίδων. Όταν ο όγκος του

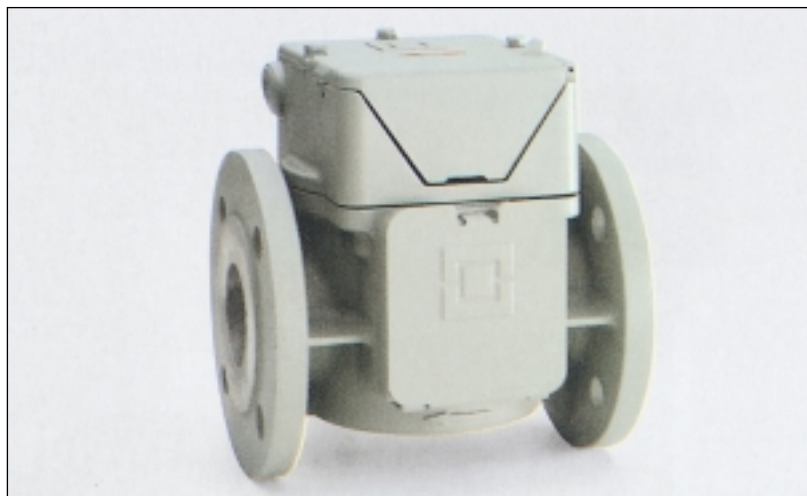
αερίου ξεπεράσει κάποιο όριο δίνει αρχικά εντολή σήμανσης κινδύνου και, αν ο όγκος εξακολουθεί να αυξάνει, εντολή απόζευξης.

- την έντονη ροή του λαδιού στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του Μ/Σ. Δίνει αμέσως εντολή απόζευξης.
- την πτώση στάθμης του λαδιού (λόγω διαρροής). Όταν η στάθμη του λαδιού κατέβει κάτω από το επιτρεπτό όριο δίνει αρχικά σήμανση κινδύνου. Αν η στάθμη εξακολουθεί να κατεβαίνει και πέσει κάτω και από το όριο ασφαλείας τότε δίνει εντολή απόζευξης.

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

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

Ο H/N Buchholz δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος ή διακόπτη φορτίου στην πλευρά μέσης τάσης για να έχουμε πλήρη απομόνωση του Μ/Σ από το δίκτυο των 20 kV.



Εικόνα 1.2.7
Τύποι ηλεκτρονόμων (H/N) Buchholz

1.2.8 Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος

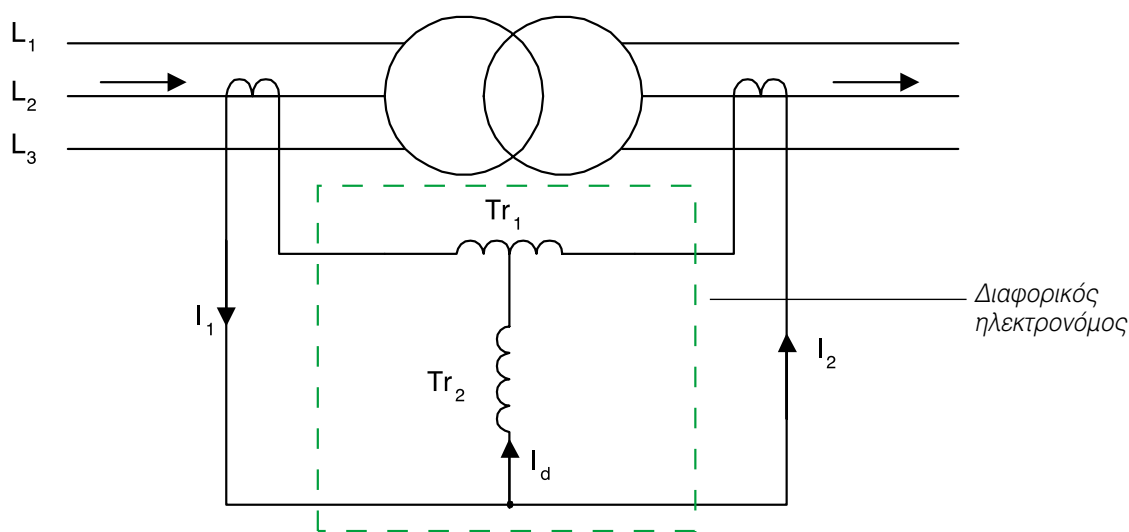
Στη διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ανηγμένων ρευμάτων, πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Για να γίνει αυτό χρειαζόμαστε από τρεις Μ/Σ έντασης στη μέση και χαμηλή τάση αντίστοιχα.

Τα δευτερεύοντα των έξι Μ/Σ καταλήγουν στο διαφορικό Η/Ν, που ελέγχει ότι τα ανηγμένα εισερχόμενα ρεύματα είναι ίσα με τα εξερχόμενα ρεύματα. Αν η **διαφορά** των δύο ρευμάτων (απ' όπου και το όνομα διαφορικός Η/Ν) ξεπερνά ένα όριο, π.χ 100 mA, τότε ο Η/Ν δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά μέσης τάσης.

Η διαφορική προστασία έχει το πλεονέκτημα ότι

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

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



Εικόνα 1.2.8 Αρχή λειτουργίας διαφορικής προστασίας Μ/Σ
(για λόγους απλοποίησης έχουν σχεδιασθεί δύο από τους έξι Μ/Σ έντασης)

1.2.9 Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή

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

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

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

Στην Εικόνα 1.2.9. έχουμε σχεδιάσει σε κοινό σύστημα αξόνων:

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

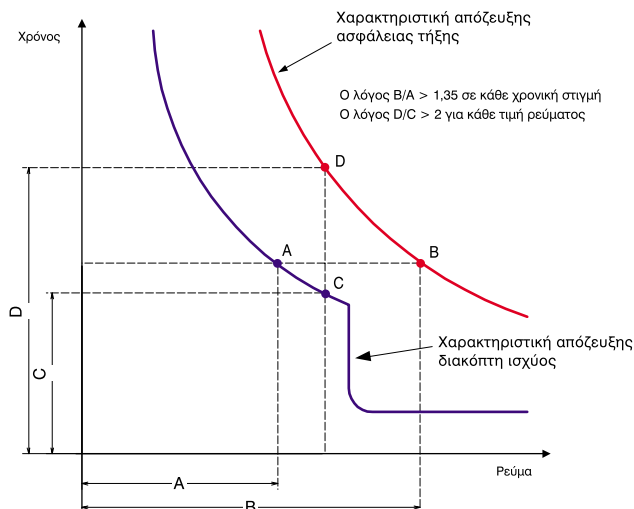
Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA ενώ ο κατακόρυφος σε s.

Και οι δύο χαρακτηριστικές έχουν την ιδιότητα του αντίστροφου χρόνου, δηλαδή όσο μεγαλώνει

το ρεύμα τόσο ελαττώνεται ο χρόνος απόζευξης. Η χαρακτηριστική της ασφάλειας είναι μια συνεχής καμπύλη ενώ η χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη έχει ένα απότομο σκαλοπάτι που οφείλεται στη λειτουργία του μαγνητικού στοιχείου.

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

- Όλα τα σημεία της καμπύλης της ασφάλειας να είναι πάνω και δεξιά από την καμπύλη του αυτόματου διακόπτη.
- Αν φέρουμε μια οριζόντια ευθεία, που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία Α και Β αντίστοιχα, πρέπει $B/A > 1,35$, δηλαδή, αν το ρεύμα στο σημείο Α είναι 1000 A, το ρεύμα στο σημείο Β της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 1350 A.
- Αν φέρουμε μια κάθετη ευθεία που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία C και D αντίστοιχα, πρέπει $D/C > 2$, δηλαδή, αν ο χρόνος στο σημείο C είναι 1,5 s ο χρόνος στο σημείο D της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 3,0 s



Εικόνα 1.2.9 Επιλεκτικότητα μεταξύ των ασφαλειών ΜΤ και του διακόπτη ισχύος Χ.Τ που χρησιμοποιούνται στην προστασία ενός μετασχηματιστή

1.2.10 Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος

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

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

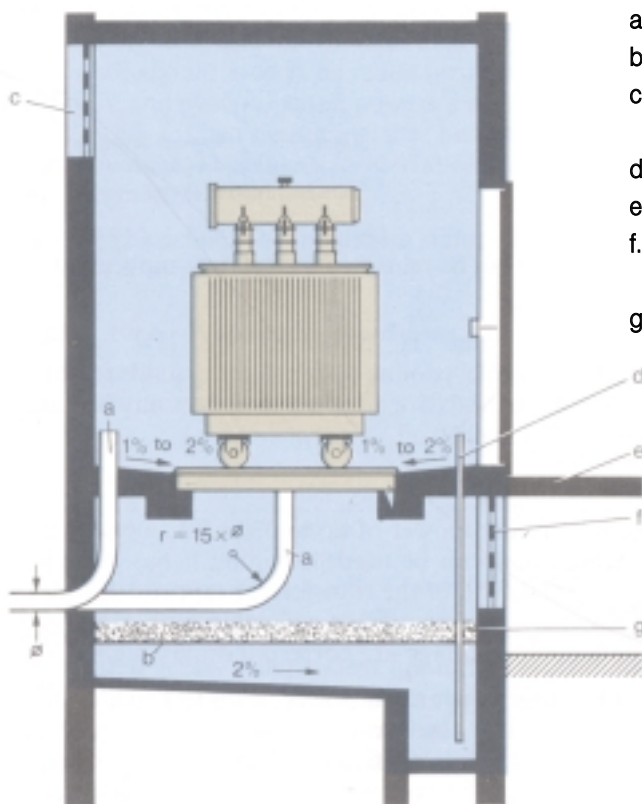
Στην Εικόνα 1.2.10 βλέπουμε την τομή του δωματίου ενός Μ/Σ λαδιού. Κάτω από το Μ/Σ υπάρχει ένας στεγανός λάκκος από σκυρόδεμα για τη συγκέντρωση του λαδιού σε περίπτωση διαρροής. Η

στρώση με τα χαλίκια (g) έχει σκοπό να μειωθεί η ποσότητα του λαδιού που μπορεί να καεί σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ο Μ/Σ πατάει πάνω σε σιδηροτροχιές.

Η είσοδος του αέρα είναι στο χαμηλότερο σημείο (f) και η έξοδος στο υψηλότερο σημείο (c). Το μέγεθος των ανοιγμάτων υπολογίζεται από το μέγεθος των μετασχηματιστών. Έτσι σχηματίζεται ένα φυσικό ρεύμα αέρα γύρω από το Μ/Σ που είναι απαραίτητο για τη σωστή ψύξη του.

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



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

Εικόνα 1.2.10 Παράδειγμα εσωτερικής εγκατάστασης Μ/Σ λαδιού

Μετασχηματιστής ισχύος

Ερωτήσεις

1. Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός μετασχηματιστή (Μ/Σ) ισχύος;
2. Μπορεί ένας Μ/Σ ονομαστικής ισχύος 630 kVA να χρησιμοποιηθεί στα 800 kVA.
Αν ναι τότε μπορεί να συμβεί;
3. Τι ονομάζουμε τάση βραχυκύκλωσης ενός Μ/Σ;
4. Ποια είναι η λειτουργία του δοχείου διαστολής σε ένα Μ/Σ λαδιού;
5. Ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα του Μ/Σ ξηρού τύπου σε σχέση με το Μ/Σ λαδιού
6. Στη πινακίδα ενός Μ/Σ μεταξύ των άλλων γράφει
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων: Dyn5
Να εξηγήσετε τι σημαίνει.
7. Σε περίπτωση υπερθέρμανσης του λαδιού του Μ/Σ δίνεται εντολή ανοίγματος στην πλευρά χαμηλής ή μέσης τάσης; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
8. Τι είναι οι απώλειες χαλκού και τι οι απώλειες σιδήρου σε ένα Μ/Σ;
9. Πως λειτουργεί η διαφορική προστασία σε ένα Μ/Σ;
Γιατί τη συναντάμε μόνο στους μεγάλους (σε kVA) Μ;

Ασκήσεις

1. Ενας υπαίθριος Μ/Σ διανομής της ΔΕΗ έχει ονομαστική ισχύ 250 kVA. Να βρείτε:
 - α. το επιτρεπτό φορτίο του σε kVA για τις κρύες ημέρες του χειμώνα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι 0°C
 - β. το ρεύμα σε A στο δευτερεύον του Μ/Σ.
2. Η πινακίδα ενός Μ/Σ γράφει:

$$S_n = 1000 \text{ kVA}$$

$$U_1 = 20 \text{ kV}$$

$$U_2 = 0,4 \text{ kV}$$

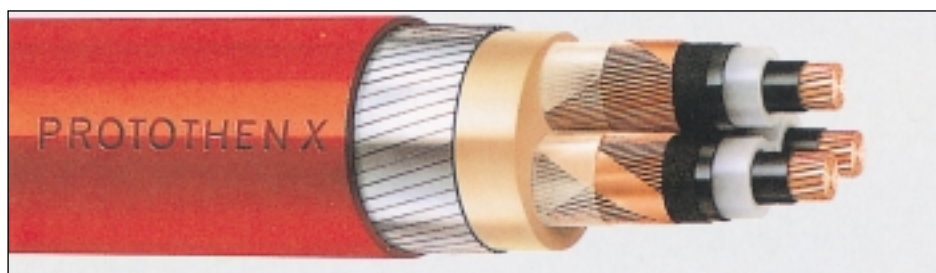
$$u_k = 5 \%$$
 Να βρείτε το ρεύμα βραχυκυκλώματος στην πλευρά χαμηλής τάσης.
3. Να σχεδιάσετε τα διανύσματα των τάσεων στη μέση και χαμηλή τάση ενός Μ/Σ με συνδεσμολογία Dyn5.
4. Ενας μετασχηματιστής έχει $S_n = 1000 \text{ kVA}$ και εργάζεται 10 ώρες την ημέρα στο 50% του ονομαστικού ρεύματος. Να βρείτε:
 - α. τις απώλειες σιδήρου σε W
 - β. τις απώλειες χαλκού σε W
 - γ. τις ημερήσιες απώλειες ενέργειας σε kWh.

3

Ενότητα 1.3

ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

- 1.3.1** Είδη καλωδίων μέσης τάσης
- 1.3.2** Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης
- 1.3.3** Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες
- 1.3.4** Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ✎ να περιγράφουν τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα μονοπολικό ή τριπολικό καλώδιο μέσης τάσης.
- ✎ να αναφέρουν την ανάγκη και τον τρόπο τερματισμού των καλωδίων μέσης τάσης.
- ✎ να γνωρίζουν τον τρόπο εγκατάστασης των καλωδίων μέσης τάσης πάνω σε σχάρες ή μέσα στο έδαφος.

1.3 Καλώδια μέσης τάσης

Τα καλώδια μέσης τάσης χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του υποσταθμού μας με το εναέριο (Εικόνα 1.3α) ή υπόγειο δίκτυο 20 kV της ΔΕΗ. Επίσης τα χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση του πίνακα 20 kV με το μετασχηματιστή ισχύος (Εικόνα 1.3β).

Τα καλώδια μέσης τάσης που συναντάμε σήμερα έχουν μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE). Παλιότερα η μόνωσή τους ήταν από μάζα χαρτιού εμποτισμένη με μονωτικό λάδι (ίδιο με το λάδι των μετασχηματιστών λαδιού).

Ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών φάσεων που έχουν τα καλώδια τα χωρίζουμε σε:

- μονοπολικά (N2XSY) (Εικόνα 1.3.1α) και
- τριπολικά (2XSEYFY) (Εικόνα 1.3.1β)

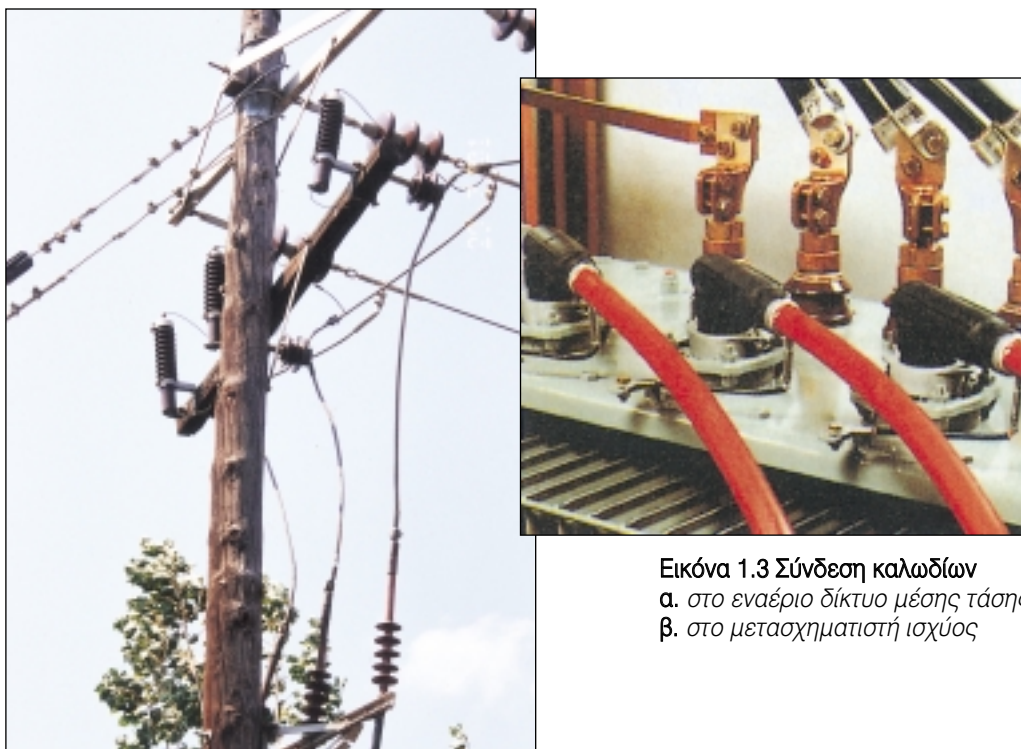
Η ονομαστική τους τάση είναι $U_0/U = 12/20$ kV, δηλαδή λειτουργούν σε φασική τάση 12 kV και πολιτική τάση 20 kV. Πολλές φορές, για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας, χρησιμοποιούμε στα δίκτυα των 20 kV καλώδια ονομαστικής τάσης 18/30 kV.

Τα καλώδια 12/20 kV δοκιμάζονται στο εργοστάσιο κατασκευής τους (σύμφωνα με το IEC 502) σε τάση 36 kV μεταξύ φάσης και θωράκισης για 4 ώρες. Δηλαδή η τάση δοκιμής είναι 3 φορές μεγαλύτερη από τη φασική τάση λειτουργίας (12 kV).

Οι τυποποιημένες διατομές των καλωδίων είναι 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240 και 300 mm²

Στα δίκτυα των 20 kV η ελάχιστη διατομή είναι (για λόγους βραχυκυκλώματος) 50 mm².

Τα καλώδια μπορούν να εγκατασταθούν σε σχάρες ή να ενταφιαστούν στο χώμα.



Εικόνα 1.3 Σύνδεση καλωδίων
α. στο εναέριο δίκτυο μέσης τάσης
β. στο μετασχηματιστή ισχύος

1.3.1 Είδη καλωδίων μέσης τάσης

Παρακάτω περιγράφονται κάποια από τα κατασκευαστικά στοιχεία των καλωδίων μέσης τάσης.

- **Οι αγωγοί τους είναι από χαλκό** (σπάνια από αλουμίνιο) και περιβάλλονται από μία μαύρη ημιαγωγίμη ταινία που σκοπό έχει την εξομάλυνση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο εσωτερικό του καλωδίου, μεταξύ του αγωγού και της θωράκισης.
- **Η μόνωσή τους είναι από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο (XLPE)**, δηλαδή ένα πλαστικό μίγμα που έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες για να αντέχει στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο εσωτερικό του καλωδίου.

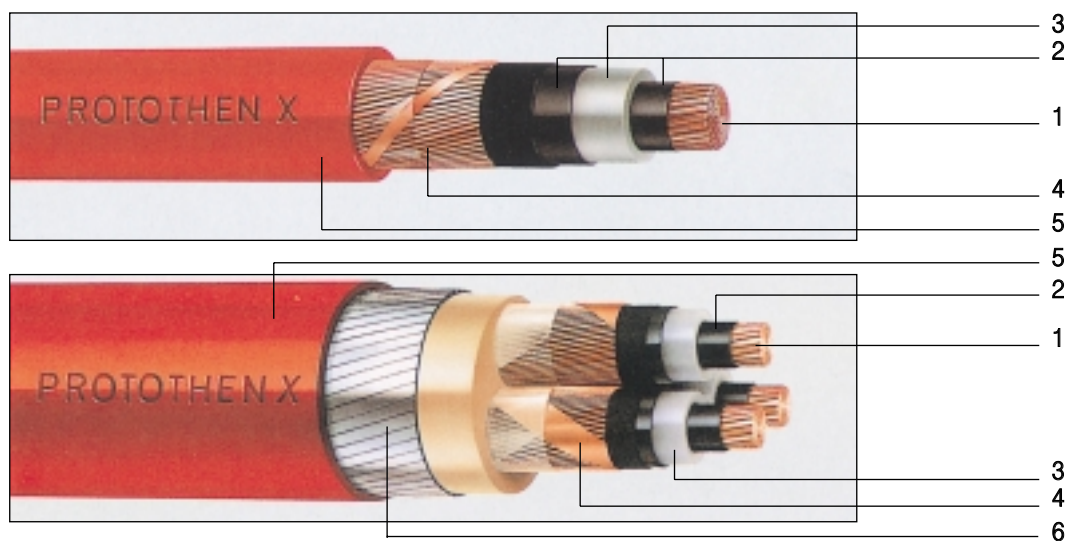
Η μόνωση αυτή αντέχει για συνεχή λειτουργία σε 90 °C και για χρόνο 5 s (δηλαδή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος) τους 250 °C.

- **Η θωράκιση** είναι απαραίτητη στα καλώδια Μ.Τ. διότι δημιουργεί μαζί με τον αγωγό του καλωδίου, ένα ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Αυτή γειώνεται και στις δύο άκρες του καλωδίου στο σύστημα γεί-

ωσης μέσης τάσης. Η ύπαρξη των δύο αγωγίμων επιφανειών, δηλαδή του αγωγού φάσης και της θωράκισης με το διηλεκτρικό (=μονωτικό) μεταξύ τους δημιουργεί εκ των πραγμάτων ένα παρασιτικό πυκνωτή. Έτσι τα καλώδια μέσης τάσης χαρακτηρίζονται από τη χωρητικότητά τους (C), κάτι που δεν ισχύει στα κοινά καλώδια χαμηλής τάσης. Για καλώδια διατομής 50 mm² είναι $C = 0.25 \mu\text{F/km}$.

Έτσι, όταν διακόπτεται η τάση σε ένα καλώδιο, ο παρασιτικός πυκνωτής παραμένει φορτισμένος για αρκετές ώρες. Γι'αυτό πρέπει να γειώνουμε προσεκτικά τα καλώδια, προτού εργαστούμε στα δίκτυα των 20 kV.

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



1. χάλκινος αγωγός
2. ημιαγωγίμη θωράκιση κάτω και πάνω από τη μόνωση από XLPE
3. μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο
4. πλέγμα από χάλκινα συρματίδια
5. περίβλημα από PVC
6. θώρακας από πεπλατωμένα ατσάλινα συρματίδια

Εικόνα 1.3.1 Καλώδια μέσης τάσης με μόνωση από XLPE

α. μονοπολικό τύπου N2XSY

β. τριπολικό τύπου 2XSEYFY

1.3.2 Τερματισμός καλωδίων μέσης τάσης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον τερματισμό (termination) των καλωδίων μέσης τάσης.

Ο λόγος είναι ότι στο σημείο που διακόπτεται η θωράκισή του, το ηλεκτρικό πεδίο γίνεται ανομοιογενές και πολύ ισχυρό. Ετσι με την πρώτη καταπόνηση του καλωδίου (π.χ υπέρταση), η μόνωσή του καταστρέφεται (τρυπάει) και έχουμε σφάλμα μεταξύ του αγωγού φάσης και της γειωμένης θωράκισης, δηλαδή σφάλμα φάσης-γής.

Για να αποφύγουμε τα παραπάνω προβλήματα χρησιμοποιούμε, και στις δύο τις άκρες του καλωδίου, ειδικά σύνολα (κιτ) εξαρτημάτων που ονομάζονται ακροκεφαλές ή ακροκιβώτια.

Πρέπει να ακολουθήσουμε προσεκτικά τις οδηγίες που υπάρχουν στο κιτ της ακροκεφαλής. Στην Εικόνα 1.3.2α βλέπουμε τα μέρη μιας πλαστικής

ακροκεφαλής που χρησιμοποιείται για τον τερματισμό καλωδίων με πλαστική μόνωση.

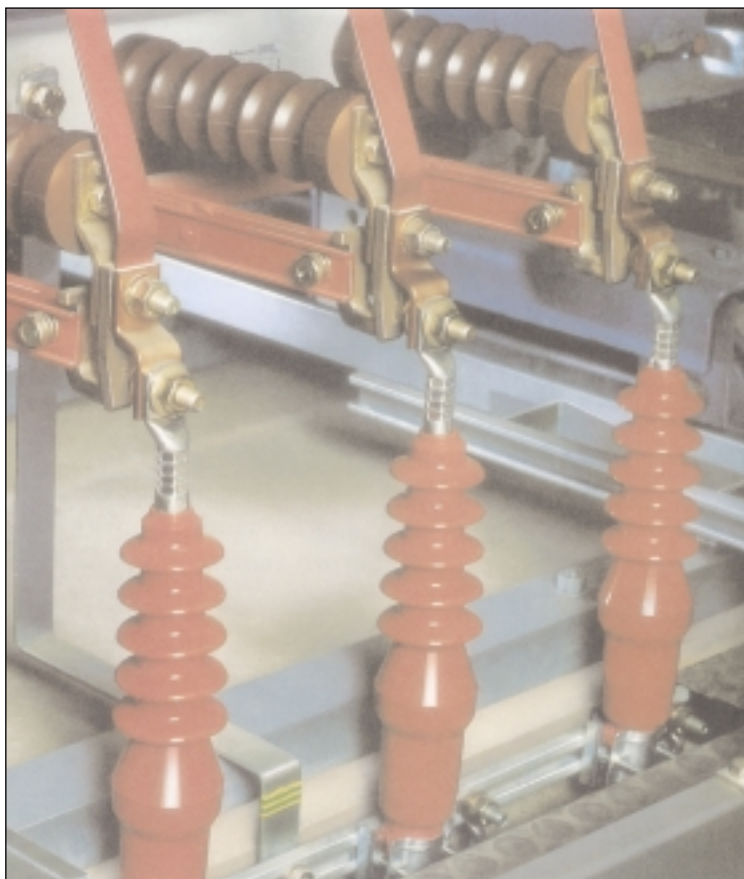
Σε γενικές γραμμές η σειρά των εργασιών για την εφαρμογή μιας πλαστικής ακροκεφαλής είναι:

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

Σε παλιότερες εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν καλώδια με χάρτινη μόνωση, θα συναντήσουμε ακροκεφαλές από πορσελάνη γεμάτες με μονωτικό λάδι.

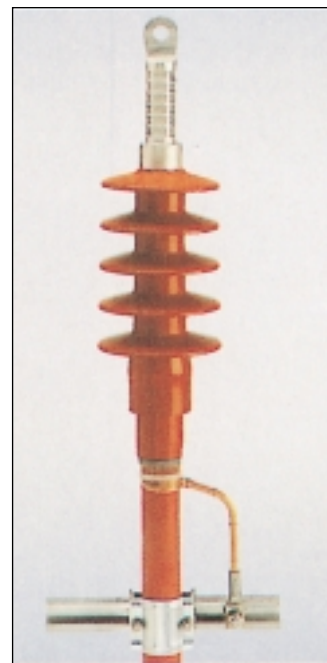
Σε πολλούς υποσταθμούς συναντάμε πλαστικές θερμοσυστελλόμενες ακροκεφαλές (Εικόνα 1.3.2β).

Σήμερα είναι πολύ διαδεδομένες οι ψυχοσυστελλόμενες ακροκεφαλές.



(α)

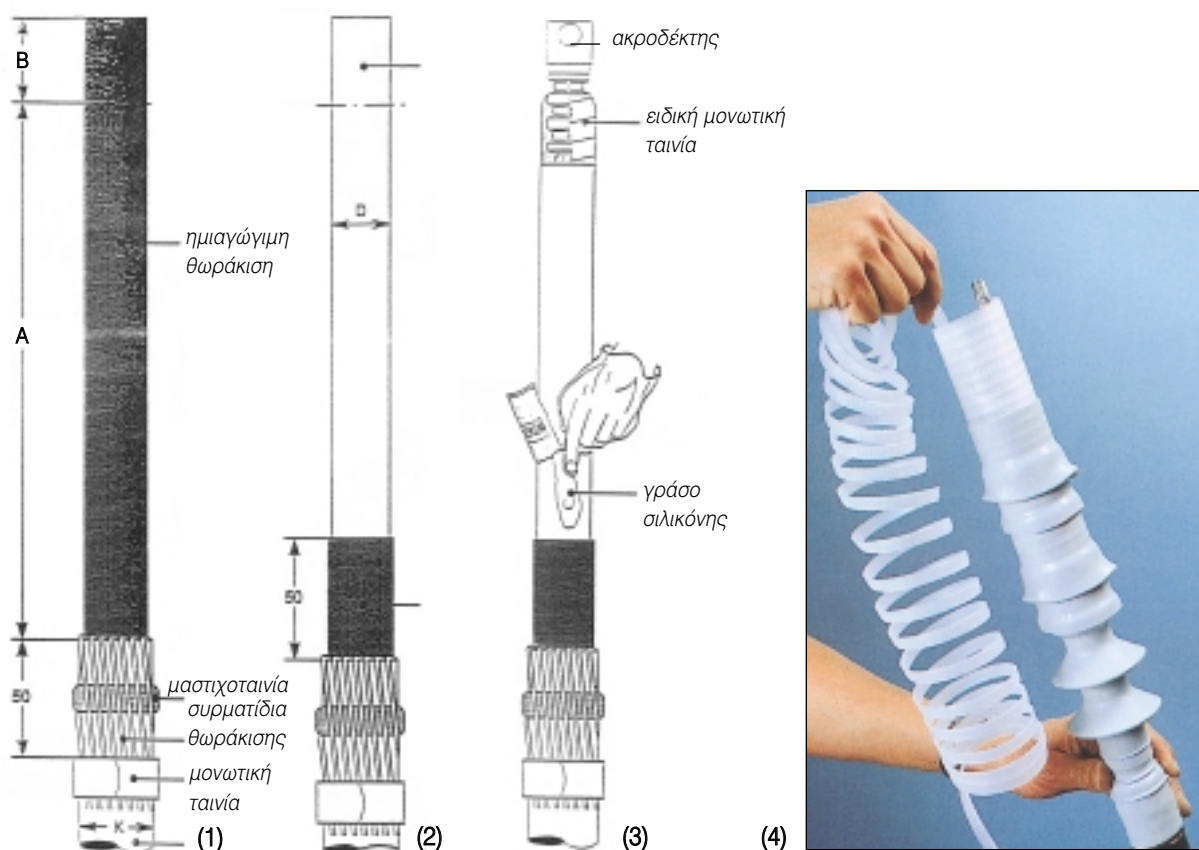
(β)



Εικόνα 1.3.2

α. Τερματισμός και σύνδεση καλωδίων σε κυψέλη μέσης τάσης

β. Μονοπολικό πλαστικό θερμοσυστελλόμενο με ακροκιβώτιο



Εικόνα 1.3.2 Τα βήματα για την κατασκευή ακροκεφαλής σε μονοπολικό καλώδιο μέσης τάσης

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα για την κατασκευή μιας ψυχροσυστελλόμενης ακροκεφαλής:

Βήμα 1

- Αφαιρούμε τον εξωτερικό μανδύα σε μήκος $A + B$. Οι διαστάσεις A , B υπάρχουν στις οδηγίες που συνοδεύει το ακροκιβώτιο. Για ακροκιβώτια των 20 kV είναι, $A = 200$ mm και $B = 40$ mm.
- Τοποθετούμε τη μαστιχοταινία και λυγίζουμε τα συρματίδια της θωράκισης πάνω στη μαστιχοταινία. Τα στερεώνουμε με μονωτική ταινία.

Βήμα 2

Αφαιρούμε την ημιαγώγιμη θωράκιση μέχρι 50 mm μπροστά από την άκρη του μανδύα.

Βήμα 3

- Αφαιρούμε την κύρια μόνωση σύμφωνα με τη

διάσταση B .

- Τοποθετούμε και συμπιέζουμε τον ακροδέκτη χρησιμοποιώντας χειροκίνητη ή υδραυλική πρέσα.
- Τυλίγουμε τον ακροδέκτη με την ειδική μονωτική ταινία, μέχρι να φτάσει τη διάμετρο της κύριας μόνωσης.
- Απλώνουμε το γράσο σιλικόνης στο τέλος της ημιαγώγιμης θωράκισης και για 40 mm πάνω στην κύρια μόνωση, προσπαθώντας να γεμίσουμε το σκαλοπάτι που δημιουργείται μεταξύ κύριας μόνωσης και ημι-αγώγιμης θωράκισης.

Βήμα 4

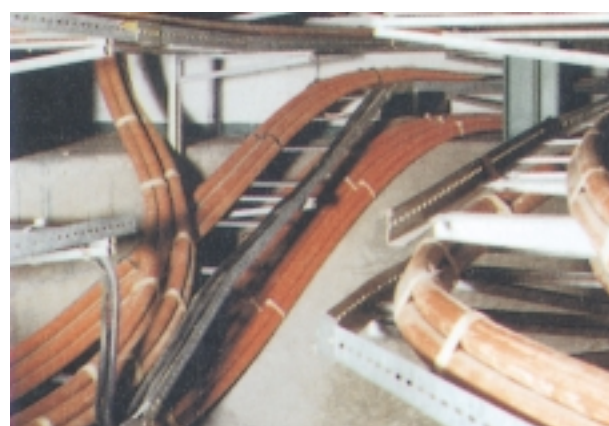
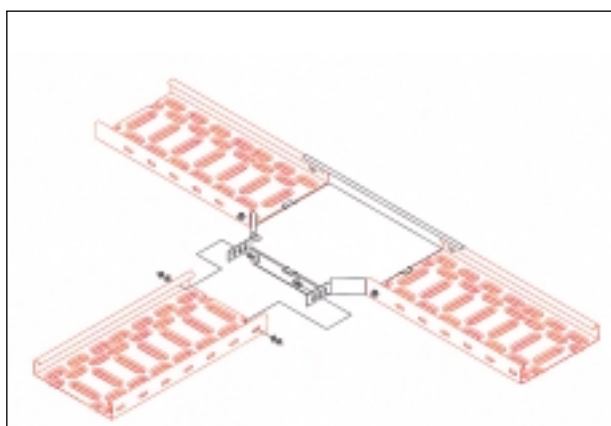
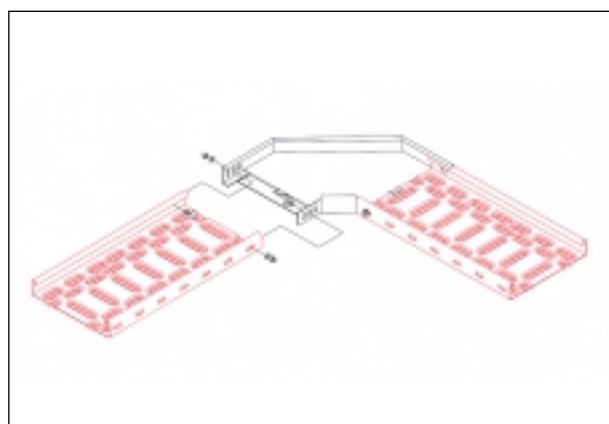
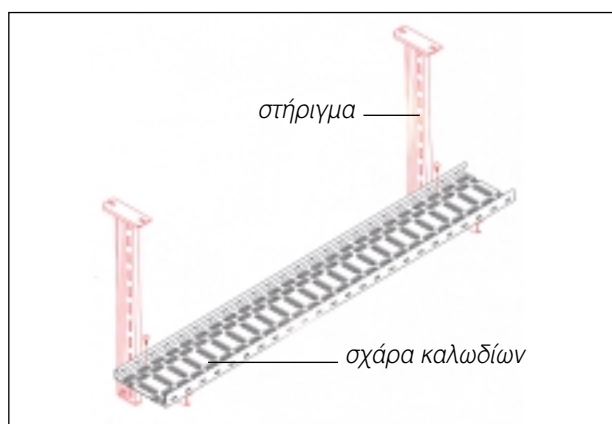
- Φοράμε το ακροκιβώτιο στο καλώδιο (τα πιάτα να κοιτάζουν προς τα κάτω) και το φέρνουμε μέχρι τη μονωτική ταινία.
- Τραβάμε την άκρη του πλαστικού ελατηρίου προσέχοντας το ακροκιβώτιο να είναι στη θέση του.

1.3.3 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες

Η εγκατάσταση των καλωδίων μέσης τάσης στον αέρα γίνεται πάνω σε προκατασκευασμένες διάτρητες μεταλλικές σχάρες καλωδίων (Εικόνα 1.3.3α). Οι σχάρες είναι διάτρητες για να μην εμποδίζουν το φυσικό αερισμό (ψύξη) των καλωδίων. Κατασκευάζονται από γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους 0,5 έως 2 mm και σε μήκη από 2 έως 4 m. Οι σχάρες στηρίζονται στον τοίχο ή στην οροφή, ανά 1,5 m περίπου, με ειδικά μεταλλικά στηρίγματα. Οι κατασκευαστές σχαρών καλωδίων, κατασκευάζουν και μια σειρά από εξαρτήματα όπως γωνίες, ταυ,

σταυρούς κ.λπ (Εικόνα 1.3.3β και 1.3.3γ), που μας επιτρέπουν να συνδέσουμε τις σχάρες μεταξύ τους και να δημιουργήσουμε το δίκτυο των σχαρών καλωδίων μέσης και χαμηλής τάσης. Πάνω στις σχάρες μέσης τάσης τοποθετούνται μόνο τα καλώδια μέσης τάσης, ενώ στις σχάρες χαμηλής τάσης μόνο τα καλώδια χαμηλής τάσης.

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



Εικόνα 1.3.3 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης σε σχάρες
 α. σχάρα καλωδίων με τα στηρίγματά της
 β. γωνία 90° για τη σύνδεση δύο σχαρών με γωνία 90°
 γ. εξάρτημα ταυ για τη σύνδεση τριών σχαρών
 δ. δέσιμο καλωδίων πάνω στις σχάρες

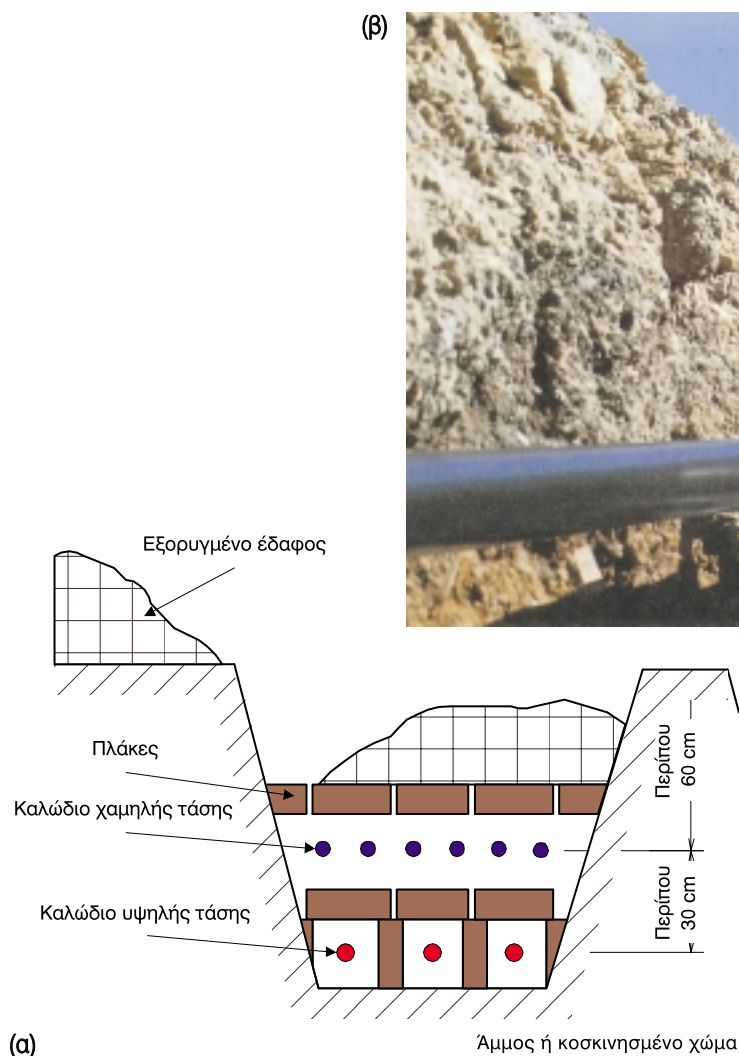
1.3.4 Εγκατάσταση καλωδίων μέσης τάσης μέσα στο έδαφος

Η εγκατάσταση των καλωδίων στο έδαφος γίνεται μέσα σε ειδικά χαντάκια που ανοίγονται κατά μήκος των δρόμων. Αν στο χαντάκι οδεύουν και καλώδια χαμηλής τάσης, τότε τα καλώδια μέσης τάσης τοποθετούνται στο κάτω μέρος του χαντακιού και διαχωρίζονται μεταξύ τους και με τα καλώδια χαμηλής τάσης με τσιμεντένιες πλάκες (Εικόνα 1.3.4α).

Τα καλώδια παραδίδονται από το εργοστάσιο κατασκευής τους τυλιγμένα σε ξύλινα στροφεία (Εικόνα 1.3.4β). Η τοποθέτηση των καλωδίων στο χαντάκι γίνεται με προσεκτικό ξετύλιγμα από το

στροφείο και με τη βοήθεια ειδικών κυλιστήρων (ράουλα) που επιτρέπουν το τράβηγμα του καλωδίου χωρίς να τραυματίζεται η μόνωσή τους (Εικόνα 1.3.4β).

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



Εικόνα 1.3.4

- α. Τομή χαντακιού με καλώδια μέσης και χαμηλής τάσης
- β. Ξετύλιγμα καλωδίου από το ξύλινο στροφείο

Καλώδια μέσης τάσης

Ερωτήσεις

1. Ενα καλώδιο γράφει στο μανδύα του $U_0/U = 12/20$ kV. Να εξηγήσετε τι σημαίνει.
2. Στην αποθήκη του εργοταξίου υπάρχουν κουλούρες με τα εξής είδη καλωδίων :
 $NYN \ 1 \times 50 \text{ mm}^2, U_0/U = 0,6/1 \text{ kV}$
 $N2XSY \ 1 \times 50 \text{ mm}^2, U_0/U = 6/10 \text{ kV}$
 $N2XSY \ 1 \times 50 \text{ mm}^2, U_0/U = 12/20 \text{ kV}$
 $N2XSY \ 1 \times 50 \text{ mm}^2, U_0/U = 18/30 \text{ kV}$
 Ποιο από αυτά θα χρησιμοποιήσετε για τη σύνδεση του ΜΣ 20 kV με το δίκτυο της ΔΕΗ και ποιο για τη σύνδεση του κινητήρα των 3.3 kV. Δώστε εναλλακτικές επιλογές, αν το μήκος κάποιου καλωδίου δεν είναι αρκετό.
3. Γιατί πρέπει να τερματίζονται με ακροκεφαλές τα καλώδια μέσης τάσης ;
4. Ποιά είναι η σειρά των εργασιών για τον τερματισμό ενός μονοπολικού καλωδίου στα 20 kV ;

Ασκήσεις

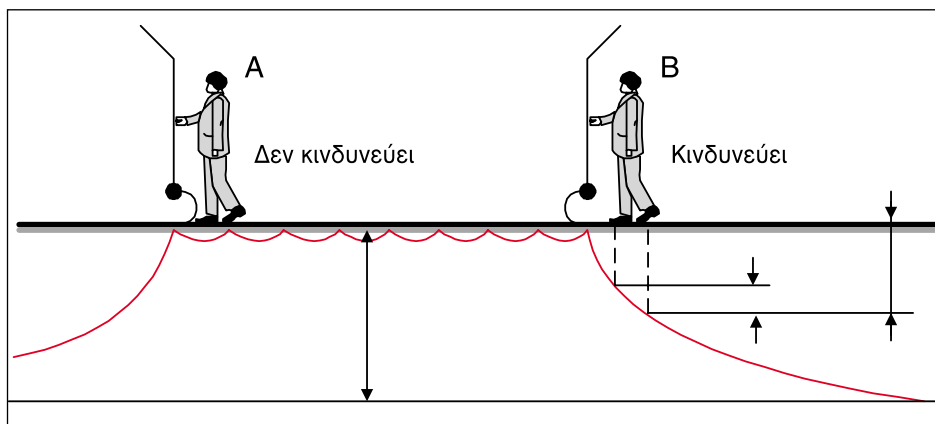
1. Ενα τριπολικό καλώδιο τύπου 2XSEYFY, $U_0/U = 12/20$ kV έχει παρασιτική χωρητικότητα $C = 0.25 \text{ μF/km}$. Αν το μήκος του καλωδίου είναι $L = 10 \text{ km}$ και η τάση λειτουργίας είναι 20 kV να βρείτε :
 α. τη συνολική χωρητικότητα του C σε μF
 β. τη χωρητική σύνθετη αντίσταση του X_C σε Ω
 γ. το ρεύμα διαρροής σε A.
 Θυμίζουμε ότι $X_C = 1/(\omega \times C)$, $\omega = 2 \times \pi \times f$, $f = 50 \text{ Hz}$

ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



Ενότητα 1.4

- 1.4.1** Συστήματα γειώσεων
- 1.4.2** Η αντίσταση γείωσης
- 1.4.3** Βηματική τάση και τάση επαφής
- 1.4.4** Ισοδυναμικές επιφάνειες
- 1.4.5** Θεμελιακή γείωση
- 1.4.6** Σύνδεση των διαφόρων ειδών γείωσης σε κοινό γειωτή



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να γνωρίζουν τους βασικούς ορισμούς των γειώσεων.
- ☞ να αναφέρουν τα συστήματα γειώσεων που συναντάμε σε έναν υποσταθμό.
- ☞ να ορίζουν την αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου καρφωμένου στο έδαφος.
- ☞ να αναφέρουν τη βηματική τάση και την τάση επαφής.
- ☞ να διακρίνουν τα πλεονεκτήματα και τον τρόπο κατασκευής των ισοδυναμικών πλεγμάτων.

1.4 Γειώσεις υποσταθμών

Ορισμοί

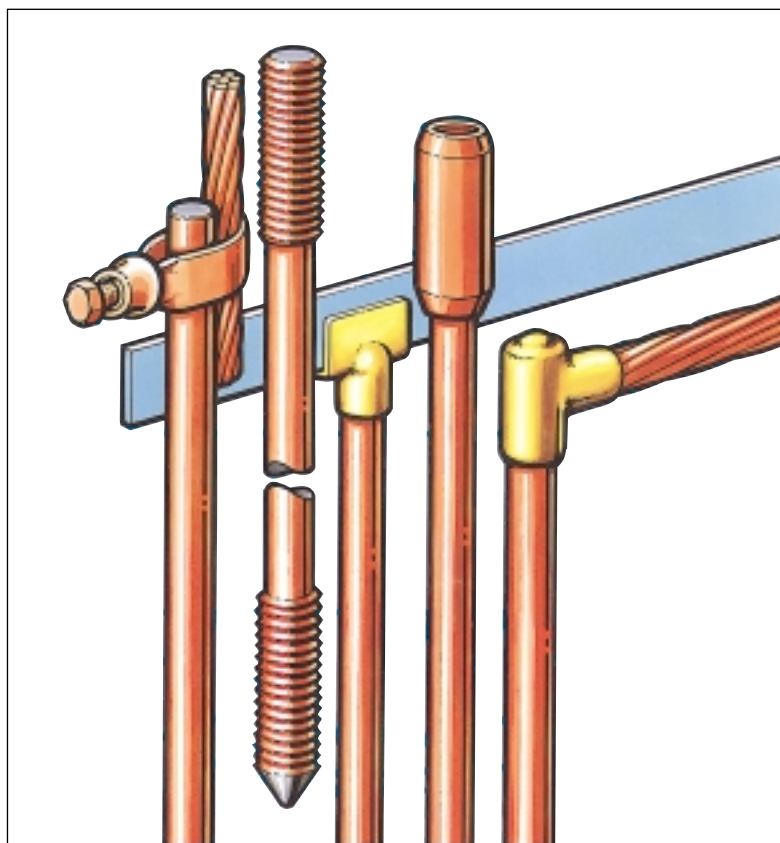
Γείωση είναι η σύνδεση ενός σημείου ηλεκτρικού κυκλώματος ή ενός μεταλλικού αντικειμένου με μία εγκατάσταση γείωσης.

Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα η περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης καρφωμένα ή θαμμένα μέσα στο χώμα σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m από την επιφάνεια της γής.

Γή είναι η αγώγιμη μάζα του εδάφους, του οποίου το δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο θεωρείται συμβατικά ίσο με το μηδέν.

Τα **ηλεκτρόδια γείωσης** (earth electrode) συνήθως είναι:

- ράβδοι κυκλικής ή άλλης διατομής
- πλάκες από γαλβανισμένη λαμαρίνα ή επικασιτερωμένο χαλκό
- ταινίες (τσέρκι) απο γαλβανισμένο χάλυβα διατομής 30x4 mm



Εικόνα 1.4 Ηλεκτρόδια γείωσης κυκλικής διατομής και διάφοροι τρόποι σύνδεσής τους με τον αγωγό γείωσης

1.4.1 Συστήματα γειώσεων

Στην Εικόνα 1.4.1 βλέπουμε τα τρία είδη γειώσεων που συναντάμε στους υποσταθμούς μέσης τάσης.

A. Γείωση προστασίας

Χωρίζεται σε δύο μέρη:

A1. Γείωση προστασίας μέσης τάσης

Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού που λειτουργούν με ονομαστική τάση $> 1 \text{ kV}$, τα οποία δεν ανήκουν στο ενεργό κύκλωμα αλλά μπορούν να γίνουν ενεργά σε περίπτωση σφάλματος ή ακόμα και τόξου. Τέτοια είναι ο πίνακας μέσης τάσης, το δοχείο του μετασχηματιστή, οι θωρακίσεις των καλωδίων μέσης τάσης κ.ά.

A2. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης

Στο σύστημα αυτό συνδέονται όλα τα μεταλλικά μέρη του εξοπλισμού με ονομαστική τάση $< 1 \text{ kV}$, δηλαδή ο πίνακας χαμηλής τάσης, οι θωρακίσεις των καλωδίων χαμηλής τάσης κ.λπ.

B. Γείωση λειτουργίας

Είναι η γείωση ενός σημείου του ενεργού κυκλώματος, π.χ η γείωση του ουδέτερου κόμβου της χα-

μηλής τάσης του μετασχηματιστή 20/0,4 kV. Αυτή είναι άμεση, δηλαδή δεν μεσολαβεί κάποια αντίσταση. (*)

Η γείωση είναι απαραίτητη για να μην εμφανισθούν επικίνδυνες τάσεις στο δίκτυο χαμηλής τάσης.

Τα δίκτυα με γειωμένο ουδέτερο κόμβο ονομάζονται και δίκτυα TN (T=Terre, N=Neutral). Στην κατηγορία αυτή ανήκει όλο το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (400 V) της ΔΕΗ. Τα δίκτυα που μελετάμε στο παρόν βιβλίο ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Σε ειδικές εγκαταστάσεις, όπως αίθουσες χειρουργείων, σφαγεία και γενικά χώρους με υγρασία, συναντάμε τα δίκτυα IT (Isolee Terre), δηλαδή δίκτυα με μονωμένο (αγεώτο) ουδέτερο κόμβο.

Γ. Γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Στη γείωση αυτή καταλήγουν οι αγωγοί του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας για να διαχετεύσουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γή.



Εικόνα 1.4.1 Τα τρία συστήματα γειώσεων

α. Γείωση προστασίας μέσης τάσης

β. Γείωση προστασίας χαμηλής τάσης

γ. Γείωση λειτουργίας (ουδέτερου) χαμηλής τάσης

(*) Αντίθετα στα δίκτυα 150/20 kV ο ουδέτερος του μετασχηματιστή στη πλευρά των 20 kV γειώνεται μέσω αντίστασης $R = 10 \Omega$ περίπου έτσι ώστε να περιορίζεται το ρεύμα σφάλματος προς γή.

1.4.2 Η αντίσταση γείωσης

Για να καταλάβουμε τη λειτουργία της γείωσης σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση, θα πρέπει αρχικά να καταλάβουμε τον τρόπο που λειτουργεί ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο καρφωμένο κάθετα στη γή, σε βάθος μεγαλύτερο από 0.5 m (Εικόνα 1.4.2). Σε βάθος κάτω από 0.5 m το χώμα παραμένει υγρό όλες τις εποχές του χρόνου και έτσι το ηλεκτρόδιο έρχεται σε καλή επαφή με τη γή.

Στο πάνω μέρος του ηλεκτροδίου συνδέουμε με καλώδιο τα μεταλλικά μέρη των ηλεκτρικών συσκευών. Όσο η εγκατάστασή μας λειτουργεί κανονικά, το ηλεκτρόδιο έχει το δυναμικό της γής αλλά και όλα τα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης που είναι συνδεδεμένα σε αυτό έχουν και αυτά το δυναμικό της γής.

Το πρόβλημα εμφανίζεται όταν σε περίπτωση σφάλματος κάποιας φάσης με τη γή, στο ηλεκτρόδιο εμφανισθεί μια τάση έστω U_0 ως προς την άπειρη γή.

Με τον όρο **άπειρη γή** θεωρούμε ένα σημείο στην επιφάνεια της γής, θεωρητικά σε άπειρη απόσταση από το γειωτή, στο οποίο έχουμε καρφώσει ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο.

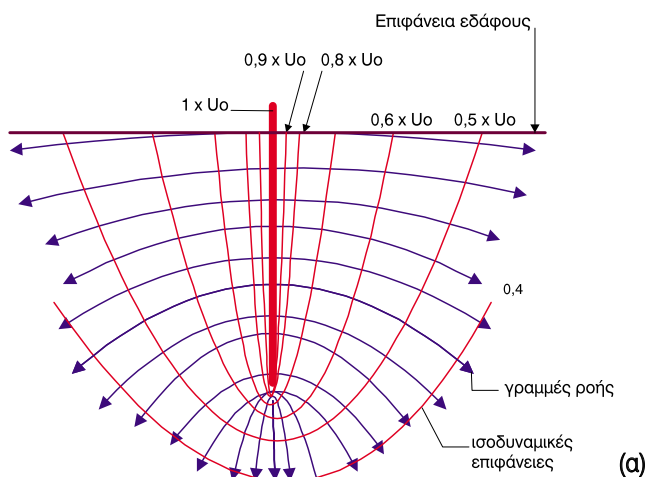
Πρακτικά η *άπειρη απόσταση* είναι περίπου 10 φορές το μήκος του ηλεκτροδίου, δηλαδή $2 \cdot 10 = 20 \text{ m}$.

Η τάση U_0 που εφαρμόσαμε στο ηλεκτρόδιο δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο αυτό περιγράφεται με τις ισοδυναμικές γραμμές του (κόκκινες γραμμές) και τις γραμμές ροής του ρεύματος (μπλέ γραμμές) που ακολουθεί το ρεύμα για να καταλήξει στο σημείο της άπειρης γής. Οι γραμμές ροής είναι κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές.

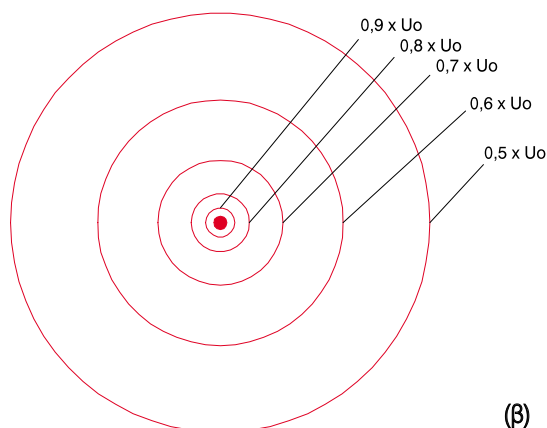
Θα πρέπει να φανταστούμε τις ισοδυναμικές γραμμές και τις γραμμές ροής να διασχίζουν όλο το εσωτερικό της γήινης σφαίρας για να καταλήξουν στο δεύτερο ηλεκτρόδιο που είναι καρφωμένο σε άπειρη (θεωρητικά) απόσταση.

Αν διαιρέσουμε την τάση U_0 με το ρεύμα I_0 που εισέρχεται στο ηλεκτρόδιο (και εξέρχεται στην άπειρη γή) διασχίζοντας το εσωτερικό της γήινης σφαίρας), τότε έχουμε βρεί την **αντίσταση γείωσης R του ηλεκτροδίου**, δηλαδή

$$R = U_0 / I_0$$



(α)



(β)

Εικόνα 1.4.2 Ηλεκτρικό πεδίο γύρω από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης

α. τομή της γής

β. κάτοψη (οι ισοδυναμικές γραμμές είναι ομόκεντροι κύκλοι)

Η **αντίσταση γείωσης** του ηλεκτροδίου δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο:

$$R = \frac{\rho}{L_{\text{EV}}}$$

όπου:

- L_{EV} = το μήκος του ηλεκτροδίου που βρίσκεται κάτω από το 0,5 m της επιφάνειας της γής, δηλαδή αν το ηλεκτρόδιό μας έχει καρφωθεί 2,0 m μέσα στη γή, το ενεργό μήκος του είναι 1,5 m
Όλα τα είδη γειωτών (πλάκας, ταινίας κλπ) πρέπει να τοποθετούνται σε βάθος $> 0,5$ m
- ρ = ειδική αντίσταση του εδάφους . Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Για ελώδες υγρό έδαφος είναι $\rho=30 \Omega \cdot \text{m}$, ενώ για βραχώδες έδαφος φτάνει $\rho=3000 \Omega \cdot \text{m}$.

Παράδειγμα

Να υπολογίσετε την αντίσταση γείωσης ενός γαλβανισμένου χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου 1" (1 ίντσας) που έχει καρφωθεί σε βάθος 2 m σε: **α.** υγρό ελώδες έδαφος

β. βράχο

Λύση

Η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο

$$R = \rho / L_{\text{EV}}$$

$$L_{\text{EV}} = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

α. για υγρό ελώδες έδαφος $\rho=30 \Omega \cdot \text{m}$. Αντικαθιστούμε στον τύπο και έχουμε

$$R = 30 / 1,5 = 20 \Omega$$

β. για βραχώδες έδαφος $\rho=3000 \Omega \cdot \text{m}$. Αντικαθιστούμε στον τύπο και έχουμε

$$R = 3000 / 1,5 = 2000 \Omega$$

Για να μικρύνουμε την αντίσταση γείωσης, καρφώνουμε τρία ηλεκτρόδια στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου (**τρίγωνο γείωσης**). Η πλευρά του τριγώνου πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το μήκος των ηλεκτροδίων, ώστε το ηλεκτρικό πεδίο του ενός να μην επηρεάζει σημαντικά το ηλεκτρικό πεδίο των άλλων.

Τα τρία ηλεκτρόδια συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να λειτουργούν παράλληλα.

Η συνολική αντίσταση είναι η αντίσταση του ενός ηλεκτροδίου διαιρούμενη δια του τρία, δηλαδή τον αριθμό των ηλεκτροδίων.

Στο παράδειγμά μας, η συνολική αντίσταση είναι $R = 20/3 = 7\Omega$ περίπου.

1.4.3 Βηματική τάση και τάση επαφής

Οι ισοδυναμικές γραμμές, στην επιφάνεια της γής, γύρω από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης που βρίσκεται υπό τάση λόγω σφάλματος, είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το σημείο που έχουμε καρφώσει το ηλεκτρόδιο (Εικόνα 1.4.2β). Αν σχεδιάσουμε ένα σύστημα αξόνων, με κάθετο άξονα τις τιμές του δυναμικού των ισοδυναμικών κύκλων και οριζόντιο άξονα την απόστασή τους από το σημείο που είναι καρφωμένο το ηλεκτρόδιο, θα προκύψει η καμπύλη της Εικόνας 1.4.3 που ονομάζεται **προφίλ δυναμικού**.

Ενας άνθρωπος που τα δύο του πόδια βρίσκονται σε επαφή με δύο απ' αυτούς τους κύκλους θα βρεθεί σε τάση που είναι η διαφορά των δυναμικών των δύο κύκλων.

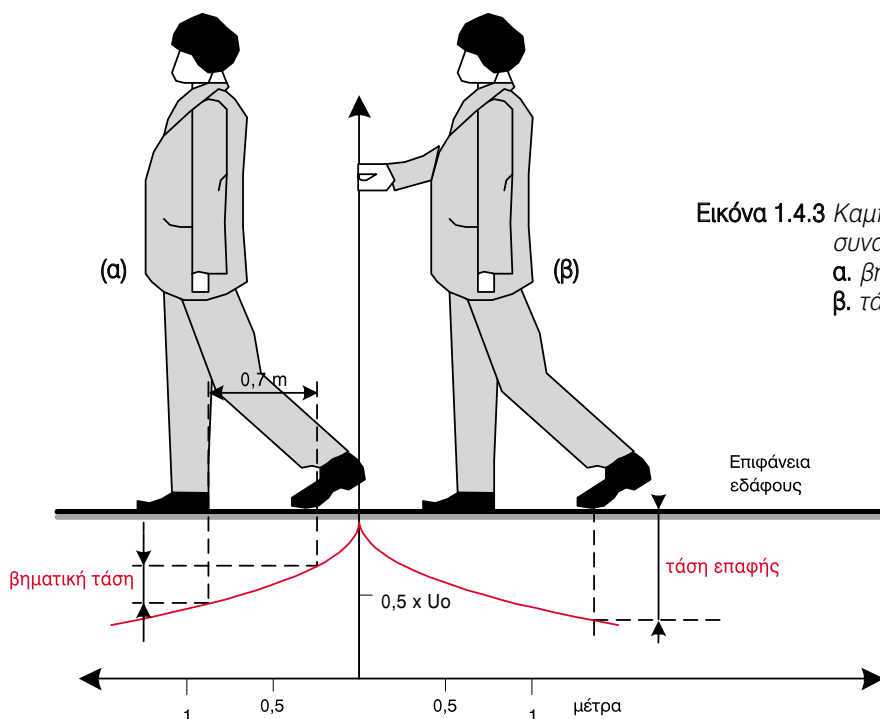
Θεωρώντας ότι η απόσταση μεταξύ των ποδιών - όταν βαδίζουμε - είναι 0,7 m, η τάση που υπάρχει μεταξύ δύο κύκλων με απόσταση μεταξύ τους 0,7 m, ονομάζεται **βηματική τάση** (step voltage).

Για να βρούμε τη βηματική τάση, στο προφίλ του δυναμικού, φέρνουμε καθέτους στα σημεία

που βρίσκονται τα πόδια του ανθρώπου. Οι κάθετες αυτές τέμνουν το προφίλ δυναμικού, και στον κάθετο άξονα διαβάζουμε την τιμή της βηματικής τάσης. Όσο απομακρυνόμαστε από το ηλεκτρόδιο, τόσο η βηματική τάση ελαττώνεται.

Αν ο άνθρωπος ακουμπά με το χέρι του στο ηλεκτρόδιο - ή σε κάποιο μεταλλικό αντικείμενο που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο - τότε θα βρεθεί και σε τάση που είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ισοδυναμικού κύκλου που βρίσκεται το πόδι του. Η τάση αυτή λέγεται **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 διότι το ρεύμα στη διαδρομή του από το χέρι στο πόδι περνά από το θώρακα του ανθρώπου.



Εικόνα 1.4.3 Καμπύλη προφίλ δυναμικού συναρτήση της απόστασης
α. βηματική τάση
β. τάση επαφής

1.4.4 Ισοδυναμικές επιφάνειες

Τα ρεύματα σε σφάλματα γής στα 20 kV μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος επιδιώκουμε χαμηλές αντιστάσεις γείωσης και τη δημιουργία ισοδυναμικών επιφανειών (ή εξίσωση δυναμικών) με τη βοήθεια γειωμένων πλεγμάτων στο δάπεδο του υποσταθμού (Εικόνα 1.4.4α).

Ως ισοδυναμικό πλέγμα χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα από διασταυρωμένα και συγκολλημένα χαλύβδινα σύρματα με διάμετρο 5 mm τουλάχιστον, με ανοίγματα το πολύ 30 x 30 cm. Το δομικό πλέγμα βρίσκεται μέσα στο μπετόν του δαπέδου σε βάθος 5-10 cm. Στο πλέγμα συγκολλούνται αναμονές από χαλύβδινες γαλβανισμένες ταινίες 30x4 mm. Στις αναμονές αυτές σύνδεονται (συγκολλητά ή βιδωτά) όλα τα μεταλλικά μέρη του υποσταθμού, π.χ. κυψέλες μέσης και χαμηλής τάσης, μεταλλικά κουφώματα, σωλήνες νερού κ.ά.

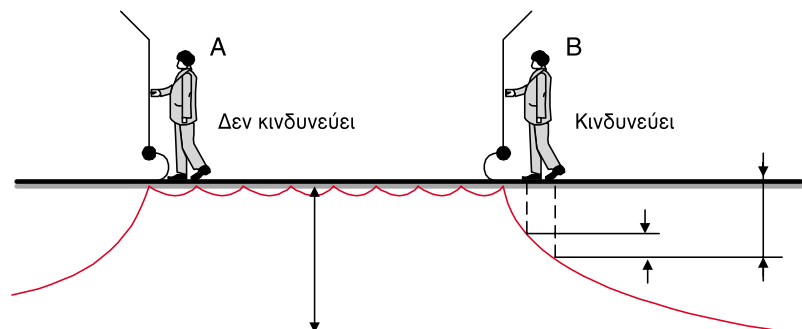
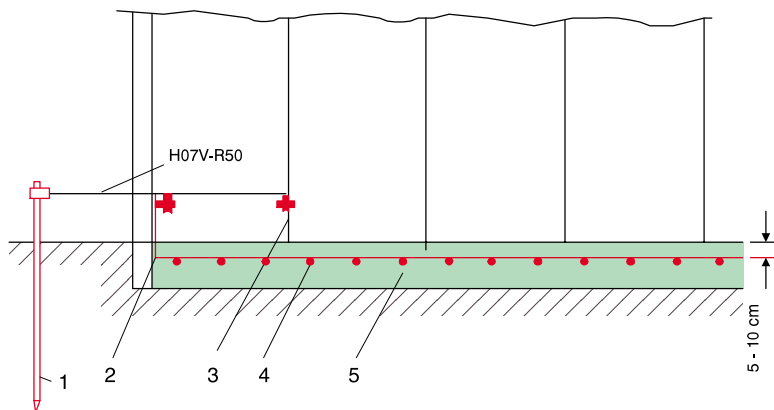
Σε περίπτωση σφάλματος γής, ολοκληρω το γειωμένο πλέγμα και όλα τα μεταλλικά μέρη που συνδέονται σε αυτό (μαζί με τους ανθρώπους που είναι παρόντες) μπορεί να ανέβει σε μερικές εκατοντάδες (ή χιλιάδες) Volts χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας (άνθρωπος A στην Εικόνα 1.4.4β).

Σε υπαίθριους χώρους που δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί η τεχνική των ισοδυναμικών επιφανειών, για να ελαττώσουμε το ρεύμα που θα περάσει μέσα από τα πόδια του ανθρώπου, καταφεύγουμε σε επιφάνειες που παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση, όπως η στρώση με άσφαλτο σε μεγάλο πάχος ή επίστρωση σε ικανό βάθος με καθαρά μεγάλα χαλίκια ή κροκάλες.

Τα χαλίκια ή ή κροκάλες παρέχουν μια πολύ καλή μόνωση, ακόμα και όταν είναι υγρά, εφόσον είναι καθαρά. Λάσπη ή φύλλα μεταξύ των χαλικιών ελαττώνουν τη μονωτική τους ικανότητα.

Εικόνα 1.4.4α Ισοδυναμικό πλέγμα σε υποσταθμό μέσης τάσης (τομή)

- 1 = ηλεκτρόδιο γείωσης
- 2 = χαλύβδινη ταινία
- 3 = σύνδεση με μεταλλικά μέρη
- 4 = δομικό πλέγμα
- 5 = μπετόν δαπέδου



Εικόνα 1.4.4β Προφίλ δυναμικού κατά μήκος ενός γειωμένου πλέγματος

1.4.5 Θεμελιακή γείωση

Η θεμελιακή γείωση θεωρείται η καλύτερη γείωση αλλά έχει το μειονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε νέα κτίρια.

Η θεμελιακή γείωση αποτελείται από ένα γειωτή ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτησή του γίνεται στη βάση των εξωτερικών τοίχων (Εικόνα 1.4.5α) και σχηματίζει ένα κλειστό βρόχο. Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρά όλο το έτος, πετυχαίνουμε σχετικά χαμηλές αντιστάσεις γείωσης. Τιμές των 2Ω ή μικρότερες δεν είναι σπάνιες.

Ο αγωγός του γειωτή μπορεί να είναι:

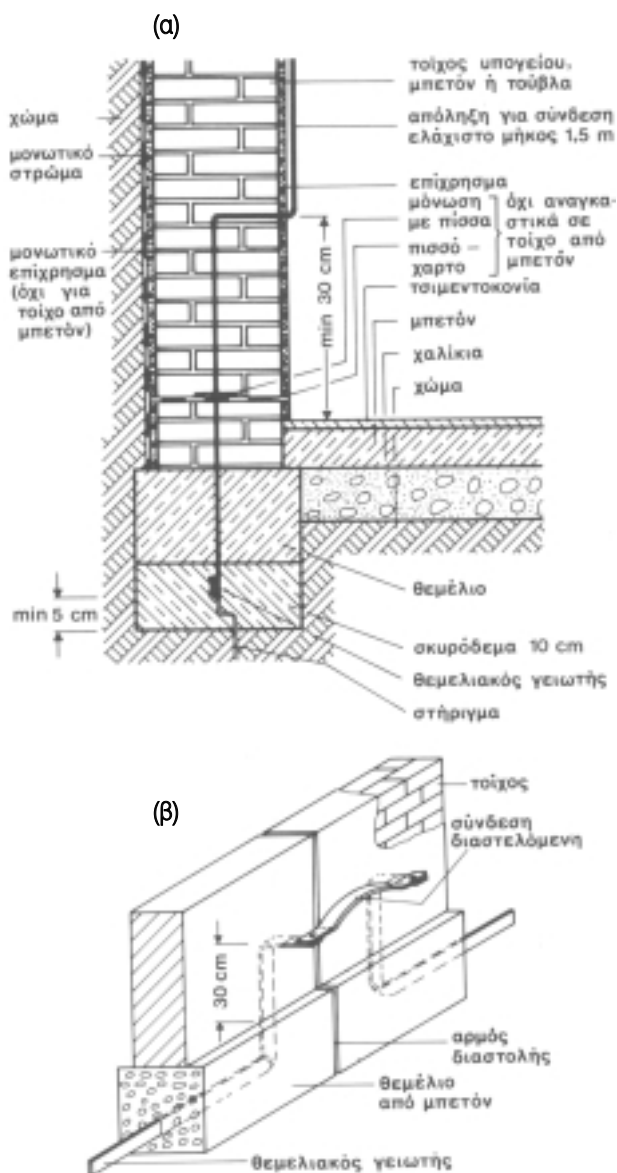
- γαλβανισμένη χαλύβδινη ταινία (τσέρκι) ελάχιστης διατομής $30 \times 3,5$ mm ή 25×4 mm. Συνιστάται διατομή 40×5 mm ή 50×4 mm
- βέργα γαλβανισμένου χάλυβα ελάχιστης διαμέτρου 10 mm. Συνιστάται διάμετρος 12 mm.

Μετά την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μία στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10 cm (μπετόν καθαρισμού). Στη φάση αυτή τοποθετείται περιμετρικά των θεμελίων ο αγωγός του γειωτή. Αν χρησιμοποιήσουμε ταινία, τότε τοποθετείται με την πλατιά της πλευρά όρθια. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα είδη εξαρτημάτων που μας βοηθάνε στη στερέωση της ταινίας. Στη συνέχεια τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο. Η όρθια τοποθέτηση της ταινίας εξασφαλίζει άνετη τοποθέτηση αλλά και ευκολία για λύγισμα στις γωνίες του κτιρίου.

Όταν το κτίριο έχει μεγάλες διαστάσεις προβλέπονται αρμοί διαστολής κατά μήκος των θεμελίων. Στους αρμούς διαστολής, η ταινία καταλήγει σε αναμονές, που γεφυρώνονται με εξωτερικούς διαστελόμενους συνδέσμους (Εικόνα 1.4.5β).

Συνιστάται να συνδέεται (με συγκόλληση ή σφύξιμο με σύρμα) στο γειωτή όλος ο οπλισμός του σκυροδέματος του κτιρίου.

Οι απολήξεις του γειωτή έχουν την ίδια διατομή με το ηλεκτρόδιο του γειωτή και μήκος 1.5 m και τοποθετούνται στον τοίχο εσωτερικά του κτιρίου. Η απόληξη απέχει στο κάτω μέρος της 30 cm από το έδαφος. Στις απολήξεις αυτές συνδέονται οι αγωγοί προστασίας (PE)



Εικόνα 1.4.5 Λεπτομέρειες θεμελιακής γείωσης

α. τομή θεμελίου

β. αρμός διαστολής

1.4.6 Σύνδεση των διαφόρων ειδών γείωσης σε κοινό γειωτή

Στους υποσταθμούς μέσης τάσης έχουμε πέντε κυκλώματα ή σύνολα κυκλωμάτων που πρέπει να γειωθούν.

- Στην είσοδο του υποσταθμού, στον εναέριο στύλο της ΔΕΗ γειώνονται οι απαγωγείς τάσης σε ξεχωριστό ηλεκτρόδιο και μακριά από τις άλλες γειώσεις.
- Στο μετασχηματιστή και τις κυψέλες των 20 kV γειώνονται τα μεταλλικά μέρη. Έχουμε δηλαδή τη γείωση προστασίας μέσης τάσης.
- Στο μετασχηματιστή γειώνεται ο ουδέτερος κόμβος. Έχουμε δηλαδή τη γείωση λειτουργίας.
- Στους πίνακες χαμηλής τάσης γειώνονται τα μεταλλικά μέρη. Έχουμε δηλαδή τη γείωση προστασίας χαμηλής τάσης.
- Στην εγκατάσταση γειώνεται το συλλεκτήριο σύστημα της αντικεραυνικής προστασίας.

Αν το άθροισμα όλων των παραπάνω αντιστάσεων γείωσης έχει τιμή μικρότερη του 1 Ω, τότε μπορούμε να συνδέσουμε τη γείωση του ουδέτερου κόμβου με τη γείωση της μέσης τάσης.

Αν δεν ισχύει η παραπάνω συνθήκη ($R < 1\Omega$), τότε θα πρέπει να έχουμε χωριστές γειώσεις και να ισχύει:

- η αντίσταση γείωσης της μέσης τάσης να είναι μικρότερη από 40 Ω,
- η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου να είναι μικρότερη από 10 Ω

Οι γειωτές της χαμηλής τάσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 m μακριά από τους γειωτές μέσης τάσης, έτσι ώστε να μην αλληλοεπηρεάζονται οι δύο εγκαταστάσεις γείωσης. Επειδή ο ηλεκτρικός διαχωρισμός των δύο γειώσεων δεν είναι εύκολος πρέπει να γίνεται κάθε προσπάθεια για να επιτευχθεί η συνθήκη χαμηλής αντίστασης, δηλαδή $R < 1\Omega$.

Γειώσεις στη μέση τάση

Ερωτήσεις

1. Ποιά μέρη του υποσταθμού συνδέονται στη γείωση προστασίας μέσης τάσης;
2. Ποιά μέρη του υποσταθμού συνδέονται στη γείωση προστασίας χαμηλής τάσης;
3. Τι σημαίνει σύστημα TN και τι σύστημα IT; Που εφαρμόζεται το καθένα;
4. Εξηγήστε τον όρο άπειρη γή.
5. Από τι εξαρτάται η αντίσταση γείωσης ενός ηλεκτροδίου καρφωμένου στη γή;
6. Τι ονομάζουμε βηματική και τι τάση επαφής;
7. Περιγράψτε τον τρόπο κατασκευής του ισοδυναμικού πλέγματος στο εσωτερικό ενός υποσταθμού.
8. Περιγράψτε τον τρόπο κατασκευής της θεμελιακής γείωσης ενός υποσταθμού.
9. Πότε επιτρέπεται να έχουμε κοινή γείωση σε ένα υποσταθμό;

Ασκήσεις

1. Το τρίγωνο γείωσης των μεταλλικών μερών μέσης τάσης ενός υποσταθμού, αποτελείται από χαλύβδινα ηλεκτρόδια μήκους 3 m καρφωμένα σε υγρό έδαφος με ειδική αντίσταση $\rho = 30 \Omega/\text{m}$. Να βρείτε :
 - α. την αντίσταση γείωσης του τριγώνου
 - β. την τάση του τριγώνου όταν σε περίπτωση σφάλματος διέλθει ρεύμα 1000 A.
2. Η αντίσταση γείωσης για τις θεμελιακές γειώσεις υπολογίζεται από τον τύπο

$$R = \frac{2 \cdot \rho}{\pi \cdot D}$$

όπου ρ = ειδική αντίσταση του εδάφους στο βάθος των θεμελίων σε Ω/m

D = ισοδύναμη διάμετρος κύκλου με περίμετρο ίση με την περίμετρο του αγωγού γείωσης, υπολογίζεται από τον τύπο

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

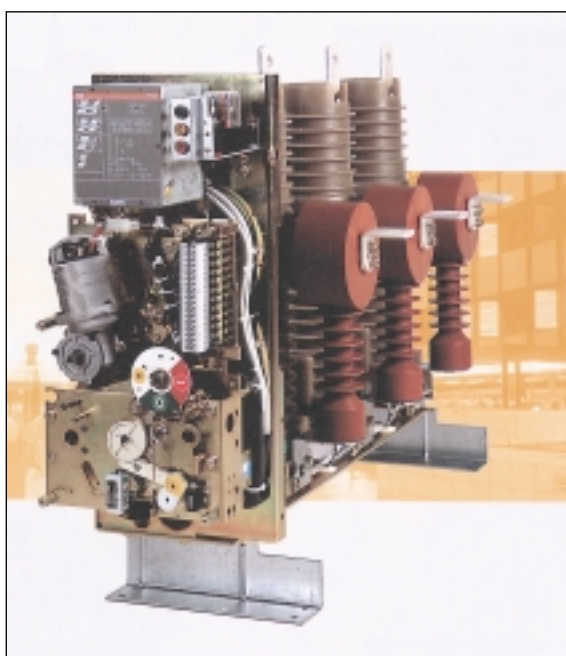
όπου S = περίμετρος αγωγού θεμελιακής γείωσης

Να υπολογίσετε τη θεμελιακή γείωση ενός υποσταθμού με περίμετρο $S = 40 \text{ m}$

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

5 Ενότητα 1.5

- 1.5.1** Ασφάλειες μέσης τάσης
- 1.5.2** Διακόπτες ισχύος (circuit-breaker)
- 1.5.3** Διακόπτες φορτίου (load-switch)
- 1.5.4** Αποζεύκτες, γειωτές
- 1.5.5** Σύγκριση των διακοπών μέσης τάσης
- 1.5.5** Σύμβολα διακοπών



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ✎ να απαριθμούν τα είδη των ασφαλειών που χρησιμοποιούνται στη μέση τάση.
- ✎ να εξηγούν τη λειτουργία μιας ασφάλειας HRC.
- ✎ να βρίσκουν το χρόνο λειτουργίας μιας ασφάλειας, όταν έχουν τη χαρακτηριστική από-
ζευξης.
- ✎ να αναφέρουν τα είδη των διακοπών και να εξηγούν τις διαφορές τους.
- ✎ να αναφέρουν το μηχανισμό λειτουργίας ενός διακόπτη.
- ✎ να κατανοούν το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται κατά το άνοιγμα μιας επαφής και τις
τεχνικές για την ασφαλή σβέση του.

1.5.1 Ασφάλειες μέσης τάσης

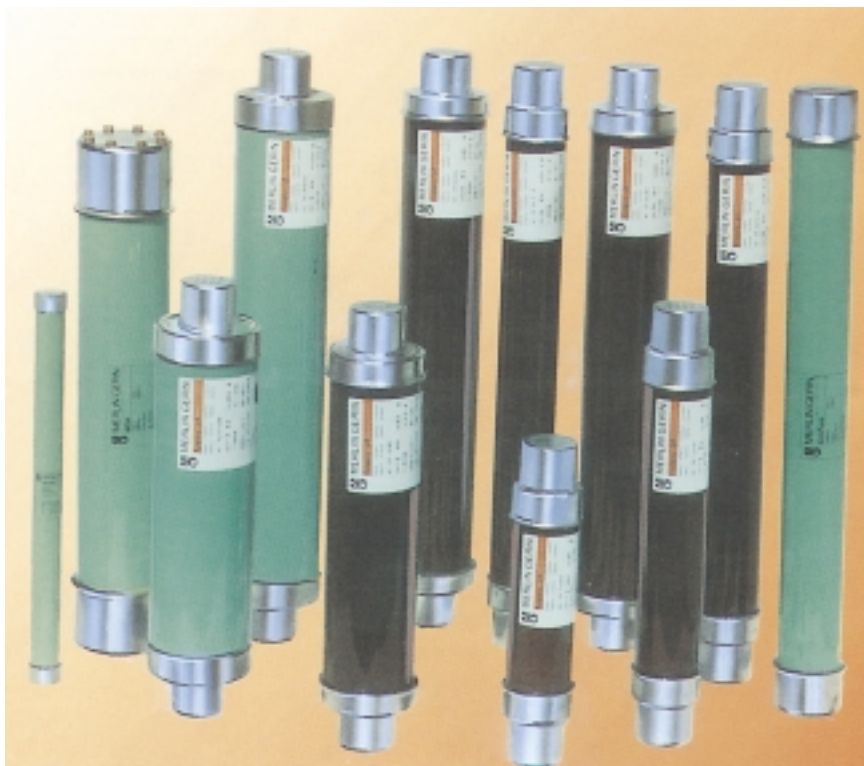
Οι ασφάλειες μέσης τάσης (τηκτά), σε αντίθεση με τις ασφάλειες χαμηλής τάσης, χρησιμοποιούνται μόνο για την προστασία από βραχυκυκλώματα και όχι για την προστασία από υπερφορτίσεις.

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 1.5.1 οι ασφάλειες μέσης τάσης είναι κυλινδρικές με σώμα από πορσελάνη ή άλλο μονωτικό υλικό. Κατασκευάζονται για διάφορες ονομαστικές τάσεις και ονομαστικές εντά-

σεις. Το μήκος τους είναι ανάλογο της ονομαστικής τους τάσης και η διάμετρός τους ανάλογη της ονομαστικής τους έντασης.

Διακρίνουμε δύο είδη ασφαλειών στη μέση τάση:

- ασφάλειες εκτόνωσης
- ασφάλειες σκόνης (HRC) υψηλής ικανότητας διακοπής



Εικόνα 1.5.1 Ασφάλειες (τηκτά) υψηλής ικανότητας διακοπής για ονομαστικές τάσεις από 3,6 ως 24 kV

1.5.1α Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης

Τις ασφάλειες εκτόνωσης τις συναντάμε στα σημεία διακλαδώσεων των εναέριων δικτύων της ΔΕΗ.

Αποτελούνται από ένα κοίλο μονωτικό σωλήνα διαμέτρου 2-3 cm και μήκους 30-35 cm (Εικόνα 1.5.1α) το εσωτερικό του οποίου είναι καλυμμένο με βορικό οξύ.

Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει ένας αγωγός, το τηκτό, τανυσμένος με ελατήριο.

Σε περίπτωση υπερέντασης, το τηκτό τήκεται (λιώνει), δημιουργείται τόξο στο εσωτερικό του σωλήνα, το οποίο παράγει υδρατμούς που βοηθούν στη σβέση του τόξου.



Εικόνα 1.5.1α Ασφάλειες εκτόνωσης σε δίκτυο 20 kV της ΔΕΗ

1.5.1β Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC)

Βασικοί ορισμοί

Ονομαστική τάση (U_n)

Είναι η μέγιστη πολική τάση του δικτύου, στην οποία μπορεί να εργασθεί συνεχώς η ασφάλεια.

Για το δίκτυο μέσης των 20 kV, είναι $U_n=24$ kV.

Άλλες τυποποιημένες ονομαστικές τάσεις είναι 3.6, 7.2, 12 και 17.5 kV. Προφανώς μια ασφάλεια ονομαστικής τάσης 24 kV μπορεί να εργασθεί σε δίκτυο 15 kV, το αντίστροφο όμως δεν ισχύει.

Ονομαστικό ρεύμα (I_n)

Είναι το ρεύμα που μπορεί να περνά συνεχώς μέσα από την ασφάλεια, χωρίς η θερμοκρασία της να ξεπεράσει τους 65 °C. Οι τυποποιημένες ονομαστικές τιμές των ασφαλειών είναι:

6.3, 10, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 και 100 A.

Το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας επιλέγεται από το μέγεθος του μετασχηματιστή ισχύος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.5.1.

Ελάχιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής (I_3)

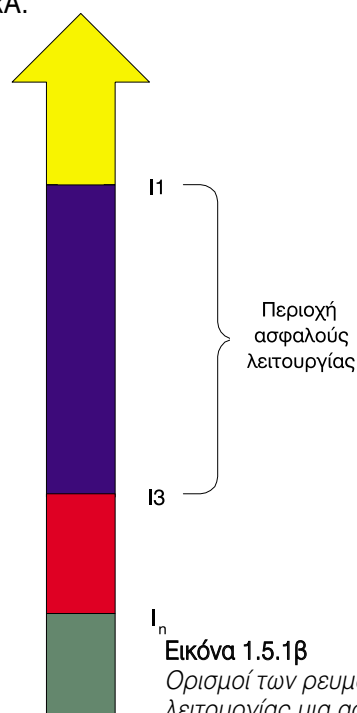
Είναι το ελάχιστο ρεύμα που προκαλεί την τήξη και διακοπή της ασφάλειας. Η τιμή του I_3 είναι 3 ως 5 φορές το ρεύμα I_n . Σημειώνουμε ότι για να διακοπεί το ρεύμα δεν είναι αρκετό το τήξιμο της ασφάλειας. Αν το ρεύμα του σφάλματος είναι μι-

κρότερο του I_3 , η ασφάλεια τήκεται αλλά δεν διακόπτεται απαραίτητα και το ρεύμα.

Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της ασφάλειας στην περιοχή μεταξύ I_n και 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.



Εικόνα 1.5.1β
Ορισμοί των ρευμάτων
λειτουργίας για ασφάλειας HRC

Πίνακας 1.5.1 Επιλογή ασφάλειας HRC με βάση την τάση λειτουργίας και την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή

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

1.5.1γ Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC

Οι ασφάλειες σκόνης (Εικόνα 1.5.1γ) έχουν ένα πυρήνα από κεραμικό υλικό (3), πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένο σε μορφή σπείρας το τηκτό (4). Το τηκτό είναι από κράμα αργύρου για να έχει όσο γίνεται μικρότερη αντίσταση. Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία (5). Το εξωτερικό περίβλημα είναι από πορσελάνη (2).

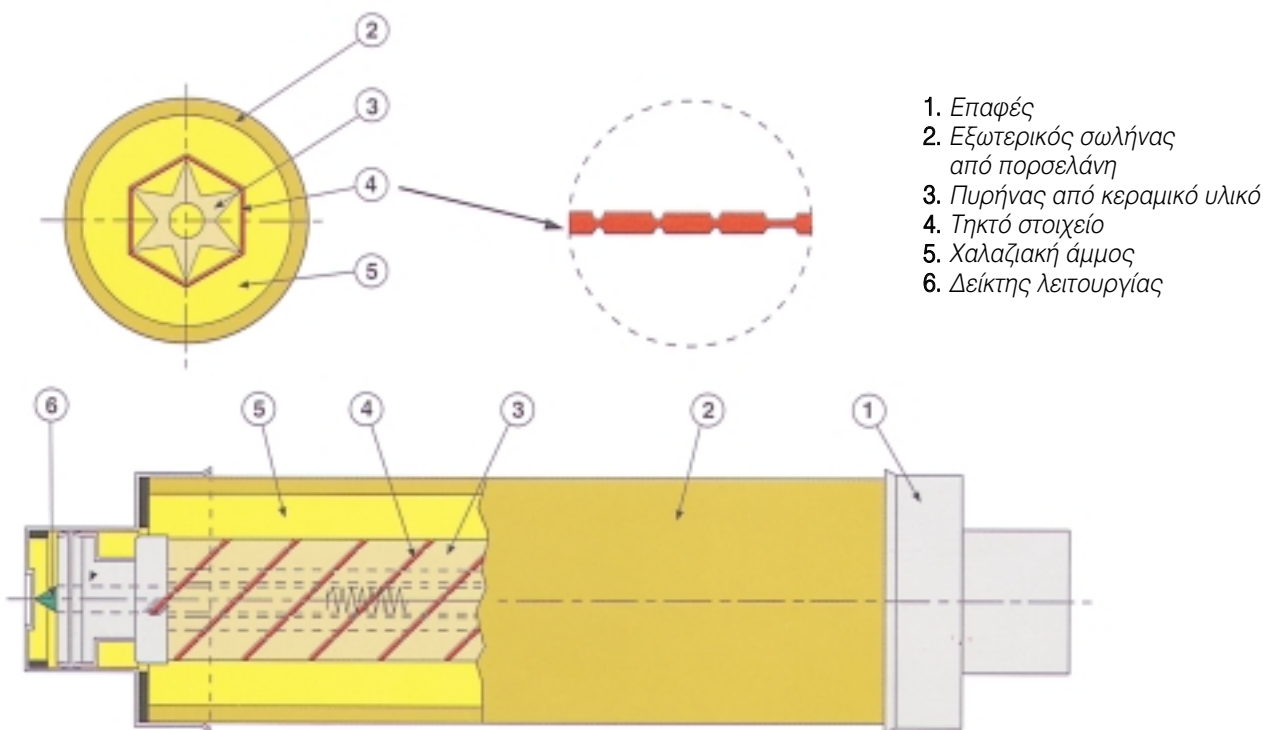
Όταν το ρεύμα ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή I , τότε τήκεται ο αγωγός σε ένα ή περισσότερα σημεία, με αποτέλεσμα η ενέργεια που εκλύει το τόξο να απορροφάται από τη χαλαζιακή άμμο που λιώνει και μετατρέπεται σε πορσελάνη. Η αντίσταση που παρεμβάλλεται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος είναι τεράστια και το ρεύμα βραχυκυκλώματος περιορίζεται προτού φτάσει στη μέγιστη τιμή του (κορυφή). Αυτό έχει ως συνέπεια, πέρα από την διακοπή του σφάλματος, και το σημαντικό περιορισμό της κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να δημιουργήσει

δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του υποσταθμού.

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

- α. δείχνει ότι η ασφάλεια έχει λειτουργήσει και συνεπώς πρέπει να αντικατασταθεί,
- β. χτυπά με δύναμη την άκρη ενός πλαστικού μοχλού που με τη βοήθεια ενός μηχανισμού δίνει εντολή απόξευξης στο διακόπτη φορτίου.

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



Εικόνα 1.5.1γ Τα μέρη μια ασφάλειας HRC

1.5.1δ Χαρακτηριστικές απόζευξης των ασφαλειών HRC

Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε σωστά την ασφάλεια που θα χρησιμοποιήσουμε σε ένα δίκτυο, θα πρέπει να γνωρίζουμε το χρόνο που χρειάζεται η ασφάλεια να διακόψει το σφάλμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τις ασφάλειες που συναντάμε στην πλευρά μέσης τάσης του μετασχηματιστή ισχύος, διότι θα πρέπει να συνεργαστούν με τις ασφάλειες (ή το διακόπτη ισχύος) που υπάρχουν στην πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή.

Στην εικόνα 1.5.1δ βλέπουμε τις καμπύλες που δείχνουν το χρόνο τήξης σε συνάρτηση με το ρεύμα. Οι καμπύλες αυτές ονομάζονται χαρακτηριστικές απόζευξης και για κάθε ασφάλεια υπάρχει μια χαρακτηριστική.

Σημειώνουμε ότι και οι δύο άξονες, δηλαδή ο χρόνος και το ρεύμα είναι βαθμολογημένοι λογαριθμικά για να περιορισθεί η έκταση του διαγράμματος.

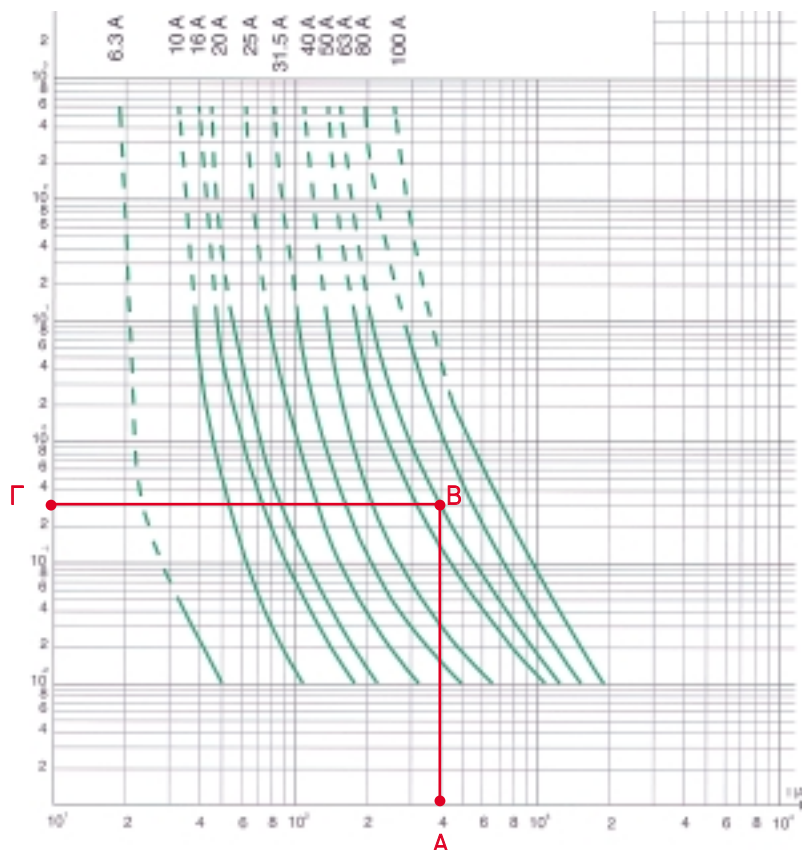
Το αριστερό τμήμα κάθε χαρακτηριστικής είναι με διακεκομμένη γραμμή και δείχνει την περιοχή στην οποία πρέπει να αποφεύγεται η λειτουργία της ασφάλειας, γιατί η διακοπή της ασφάλειας δεν είναι εγγυημένη.

Παράδειγμα

Στην πλευρά μέσης τάσης ενός Μ/Σ 630 kVA χρησιμοποιούμε ασφάλειες HRC με $I_n=63$ A. Να βρείτε το χρόνο τήξης (t_s) της ασφάλειας, αν το ρεύμα σφάλματος είναι 400 A.

Λύση

Στον οριζόντιο άξονα επιλέγουμε το σημείο $A = 400A$. Στο σημείο A φέρνουμε την κάθετη που τέμνει τη χαρακτηριστική της ασφάλειας των 63A στο σημείο B . Από το σημείο B φέρνουμε την οριζόντια ευθεία που τέμνει τον οριζόντιο άξονα στο σημείο Γ . Διαβάζουμε $t_s = 0.3s$.



Εικόνα 1.5.1δ
Χαρακτηριστικές
απόζευξης ασφαλειών
20 kV υψηλής
ικανότητας
διακοπής

1.5.1ε Χαρακτηριστικές περιορισμού του I_k των ασφαλειών HRC

Όπως είδαμε, ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ασφαλειών HRC είναι η ικανότητά τους να περιορίζουν το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος I_k (Prospective short circuit current).

Στο ερώτημα «πόσο περιορίζουν οι ασφάλειες HRC το I_k » απαντάνε οι χαρακτηριστικές της Εικόνας 1.5.1ε

Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA και δείχνει την ενεργό τιμή (RMS value) του αναμενόμενου ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_k), δηλαδή του ρεύματος βραχυκυκλώματος που θα περνούσε από το δίκτυο μέσης τάσης, αν δεν υπήρχε η ασφάλεια.

Ο κατακόρυφος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA και δείχνει την τιμή κορυφής (Peak value) του ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_s) με ή χωρίς την ύπαρξη της ασφάλειας HRC

Παράδειγμα

Ένας Μ/Σ με $S_n = 630$ kVA προστατεύεται (από βραχυκύκλωμα) με ασφάλειες HRC $I_n = 50$ A

Η ενεργός τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος είναι $I_k = 7$ kA. Να βρείτε:

1. την τιμή κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος I_s .

2. την τιμή κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος I_s , αν δεν υπήρχαν οι ασφάλειες (π.χ αν υπήρχε διακόπτης ισχύος με Ηλεκτρονόμους προστασίας).

Λύση 1

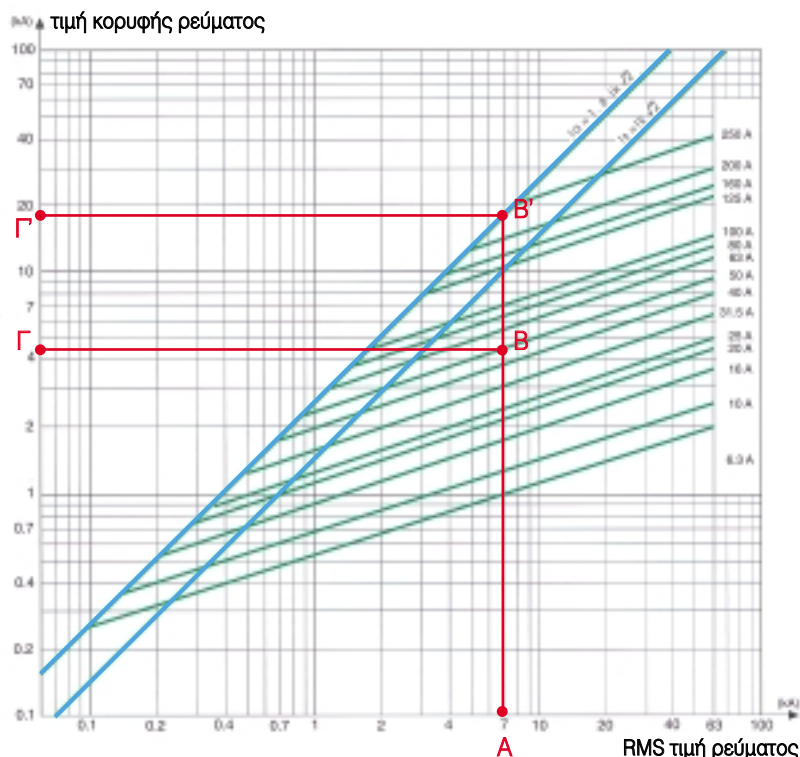
Με τη βοήθεια ενός χάρακα και ενός μολυβιού φέρουμε την κάθετη στο σημείο 7 του οριζόντιου άξονα. Η κάθετος αυτή κόβει την πλάγια πράσινη γραμμή της ασφάλειας 50 A στο σημείο B. Από το σημείο B φέρουμε την οριζόντια ευθεία που τέμνει τον κάθετο άξονα στο σημείο Γ και διαβάζουμε $I_s = 4,5$ kA.

Λύση 2

Με τη βοήθεια ενός χάρακα και ενός μολυβιού φέρουμε την κάθετη στο σημείο 7 του οριζόντιου άξονα. Η κάθετος αυτή κόβει την πλάγια γαλάζια γραμμή στο σημείο B'. Από το σημείο B' φέρουμε την οριζόντια ευθεία που τέμνει τον κάθετο άξονα στο σημείο Γ και διαβάζουμε $I_s = 18$ kA.

Η ασφάλεια περιορίσε το ρεύμα I_s από 18 kA σε 4,5 kA δηλ 4 φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο εξοπλισμός μέσης και χαμηλής τάσης θα καταπονηθεί θερμικά 4 φορές λιγότερο και δυναμικά 16 φορές λιγότερο (διότι οι δυνάμεις Laplace είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος).

Εικόνα 1.5.1ε Χαρακτηριστικές περιορισμού του ρεύματος βραχυκυκλώματος



1.5.2 Διακόπτες ισχύος (circuit-breaker)

Οι διακόπτες ισχύος (circuit-breaker) ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλ. τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα.

Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν είναι πάνω από 7 kA (*), δηλαδή, όσο το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα.

Ο διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει, αμέσως μετά τη σβέση του τόξου, στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου.

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

- πτωχού ελαίου (oil-minimum)
- εξα-φθοριούχου θείου (SF₆)

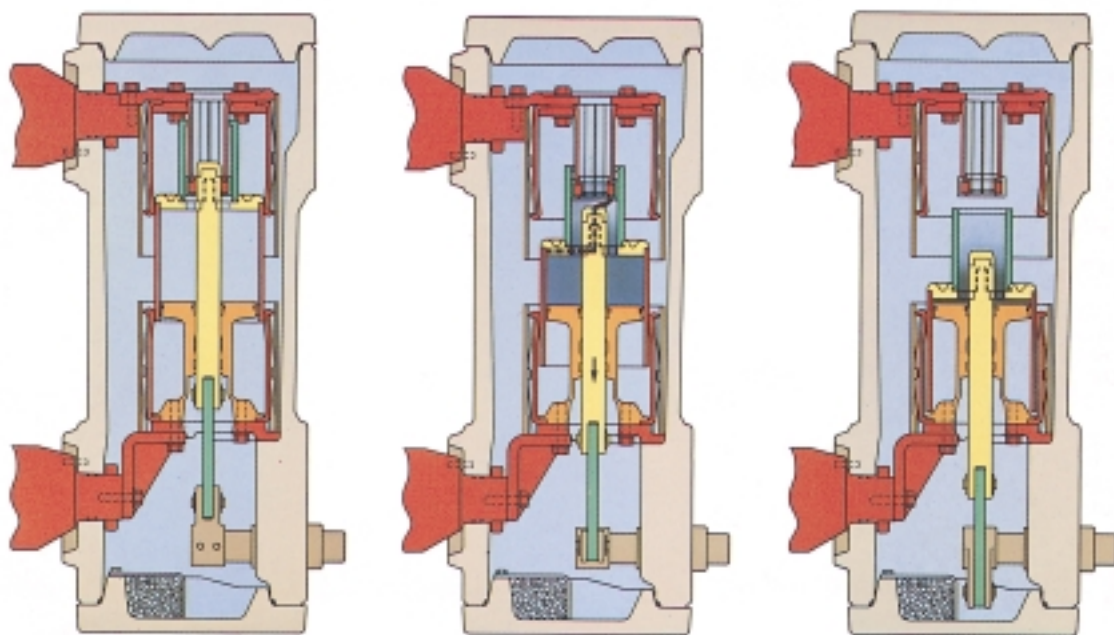
(προφέρεται ες εφ σιξ)

- κενού (vacuum)

Στις δεκαετίες 1970-1990 κυριάρχησε ο διακόπτης πτωχού ελαίου (ονομάστηκε έτσι σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού).

Στην τελευταία δεκαετία αντικαταστάθηκε από το διακόπτη ισχύος με SF₆. Το άεριο SF₆ είναι ένα αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ιδιότητες που βρίσκεται μέσα στους πόλους του διακόπτη ισχύος.

Οι διακόπτες ισχύος με κενό χρησιμοποιούν σαν μονωτικό το κενό, δηλαδή την έλλειψη οποιουδήποτε αερίου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το απόλυτο κενό είναι το τέλειο μονωτικό.



Εικόνα 1.5.2 Οι φάσεις κατά την σβέση του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη ισχύος SF₆

(*) Η ΔΕΗ έχει υπολογίσει για το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο μέσης τάσης της χώρας μας, την τιμή του αναμενόμενου βραχυκυκλώματος σε 7 kA. Στον υπολογισμό αυτό συμμετέχουν όλες τις γεννήτριες, οι αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς και πολλές άλλες παραμέτροι.

Πολλές φορές το συναντάμε και σαν ισχύ συμμετρικού βραχυκυκλώματος στη μέση τάση $S = 250 \text{ MVA}$

Αυτό προκύπτει από τον γνωστό τύπο $S = V \cdot I = 1,73 \cdot (20 \text{ kV}) \cdot (7 \text{ kA}) \cong 250 \text{ MVA}$

1.5.2α Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος

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

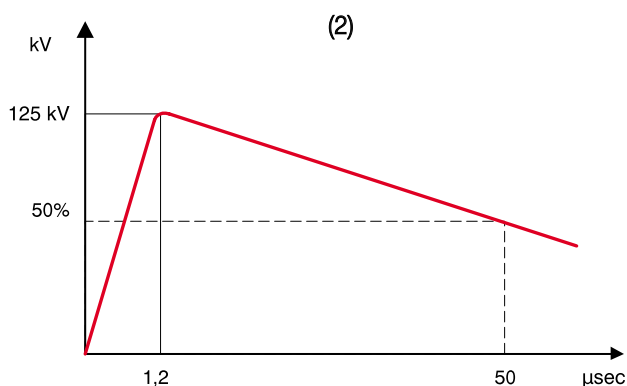
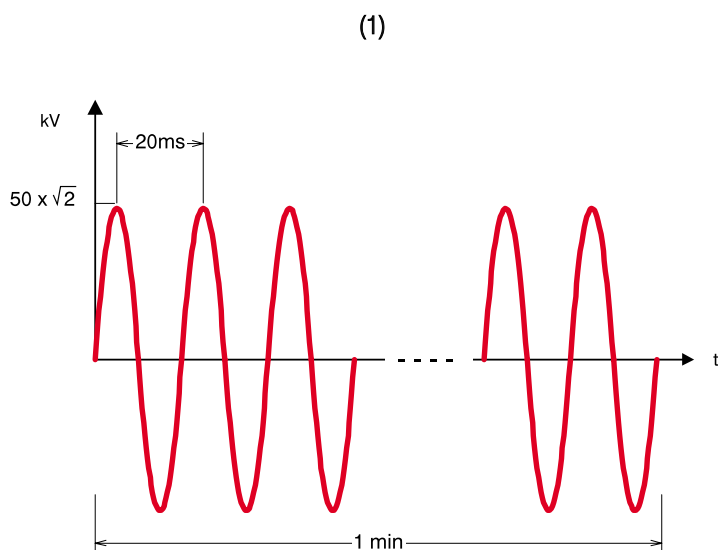
Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση

- **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 είναι 20% μεγαλύτερη από την τάση 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 μέσης τάσης, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή σειράς. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τάση δοκιμής είναι 50 kV (Εικόνα 1.5.2α1).
- **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 μέσης τάσης, η τιμή της κρουστικής τάσης είναι 125 kV (Εικόνα 1.5.2α2).

Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα

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



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

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF₆

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος SF₆ είναι η πίεση του αερίου SF₆ που υπάρχει μέσα στους πόλους. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0,5 bar μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αν και οι πόλοι είναι σφραγισμένοι από το εργοστάσιο, σε περίπτωση που έχουμε διαρροή του

αερίου σε κάποιον από τους τρεις πόλους, τότε ο διακόπτης ισχύος θα αστοχήσει στην επόμενη εντολή διακοπής και αυτό μπορεί να είναι μοιραίο.

Συνήθως οι διακόπτες ισχύος SF₆ είναι εφοδιασμένοι με ειδικό μηχανισμό που ελέγχει την πίεση του αερίου. Σε περίπτωση ελαττωμένης πίεσης σε κάποιον από τους πόλους δίδεται ένδειξη και ταυτόχρονα μπλοκάρεται το κλείσιμο του διακόπτη ισχύος.

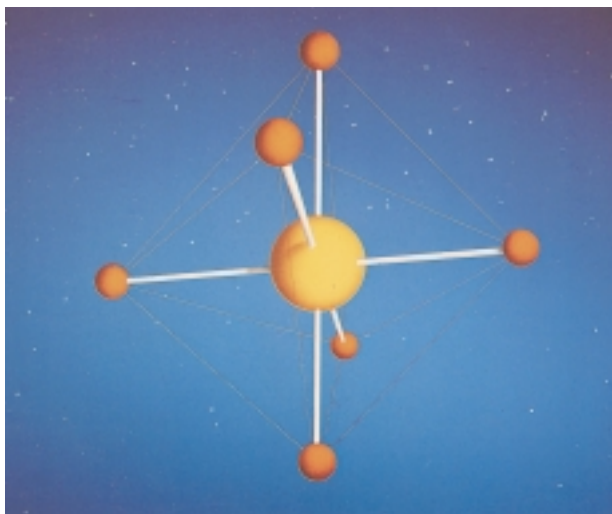
Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου είναι ο έλεγχος της στάθμης και η ποιότητα του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στους πόλους.

Αυτό γίνεται εύκολα, διότι οι μπουκάλες των πόλων είναι από διαφανές υλικό (πλεξιγκλάς ενισχυμένο με υαλόνημα) και έτσι εύκολα μπορούμε να ελέγχουμε τη στάθμη. Η συμπλήρωση με ειδικό λάδι γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η ποιότητα του λαδιού ελέγχεται συνήθως οπτικά βλέποντας το χρώμα του. Αντικατάσταση στο λάδι πρέπει να γίνεται μετά από έναν αριθμό κανονικών χειρισμών (συνήθως 500 χειρισμοί).

Οι διακόπτες ισχύος θα πρέπει να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή βραχυκυκλώματος.

(3)



Εικόνα 1.5.2α

1. Εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 Hz ενεργούς τιμής 50 kV
2. Κρουστική τάση 1,2/50 μs
3. Μοριακή δομή του αερίου SF₆

1.5.2β Τα μέρη του διακόπτη ισχύος (Δ.Ι.)

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο (λάδι, SF₆, κενό) που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου και το εργαστάσιο κατασκευής τους, όλοι οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από τα ίδια μέρη.

Στην Εικόνα 1.5.2β βλέπουμε ένα διακόπτη ισχύος SF₆ ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικού ρεύματος 400 A. Στην εικόνα έχουν σημειωθεί με αριθμούς από το 1 έως το 10 τα μέρη του διακόπτη ισχύος που ενδιαφέρουν άμεσα το συντηρητή του υποσταθμού.

Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται οι αριθμοί που υπάρχουν στην Εικόνα 1.5.2β.

Διατηρήσαμε και τις αγγλικές εκφράσεις, διότι τα τεχνικά φυλλάδια που συνοδεύουν τους διακόπτες, σπάνια είναι μεταφρασμένα στα Ελληνικά.

Εκτός από τα μέρη του διακόπτη ισχύος που φαίνονται στην Εικόνα 1.5.2β, υπάρχουν μια σειρά από εξαρτήματα που αποτελούν το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος και τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

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

- το ελατήριο κλεισίματος
- το ελατήριο ανοίγματος

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

Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό, οι κινητές επαφές του διακόπτη ισχύος.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος περιστρέφει τον άξονα, έτσι ώστε οι κινητές επαφές να έλθουν σε επαφή με τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης κλείνει.

#		
1	Ηλεκτρονόμος υπερέντασης	Overcurrent release
2	Μοχλός για τη μηχανική τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος	Shaft for manual closing spring charging
3	Κουμπί ανοίγματος	Opening knob
4	Κουμπί κλεισίματος	Closing knob
5	Ένδειξη ότι το ελατήριο κλεισίματος είναι • τανυσμένο(κίτρινο) • ατάνυστο (λευκό)	Signal for closing springs charged (yellow) and discharged (white)
6	Συσκευή μπλοκαρίσματος και ένδειξης της πίεσης του αερίου SF ₆	Device for locking and signalling the state of SF ₆ gas
7	Ένδειξη ανοικτός/κλειστός διακόπτη ισχύος	Circuit-breaker open/closed signalling device
8	Ακροδέκτες μέσης τάσης	Medium voltage terminals
9	Μετασχηματιστές έντασης για τον HN υπερέντασης	Current sensor for overcurrent release
10	Πόλος διακόπτη ισχύος	Circuit-breaker pole

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

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

- χειροκίνητα με ένα μοχλό (μανιβέλλα) (2)
- ηλεκτρικά με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ΣΡ ή ΕΡ.

Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος

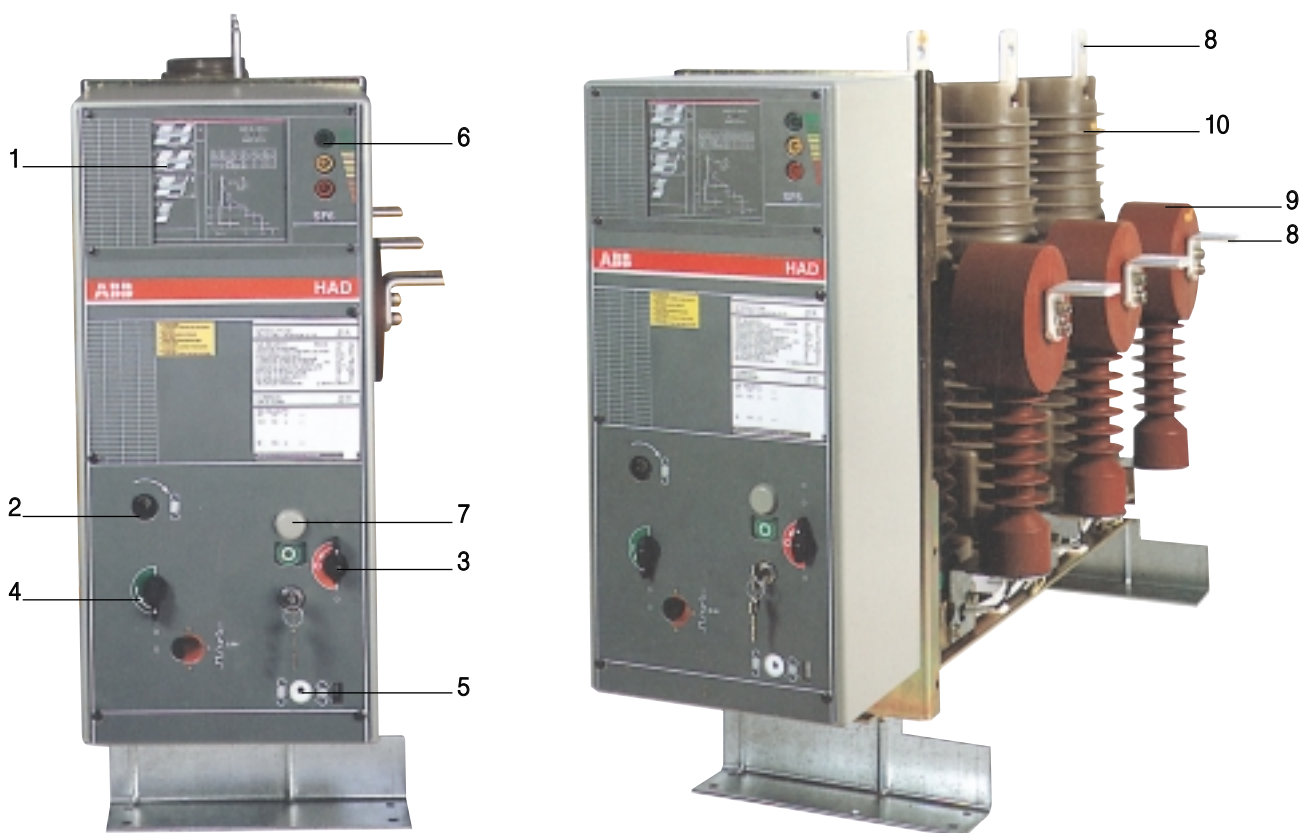
μπορεί να γίνει:

- χειροκίνητα με το κουμπί κλεισίματος (4)
- ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη κλεισίματος (closing solenoid).

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

Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος μπορεί να γίνει:

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



Εικόνα 1.5.2β Διακόπτης ισχύος SF6

1.5.2γ Διακόπτες ισχύος επί φορείου (Truck mounted circuit breaker)

Τους διακόπτες ισχύος επί φορείου τους συναντάμε και με το όνομα **συρόμενοι ή συρταρωτοί**.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.5.2γ, ο διακόπτης ισχύος πτωχού ελαίου είναι τοποθετημένος σε φορείο με ρόδες. Κάθε πόλος του διακόπτη περιλαμβάνει δύο βυσματωτές επαφές που του επιτρέπουν να συνδέεται και να αποσυνδέεται από το κύριο κύκλωμα.

Μετά το άνοιγμα (opening) του διακόπτη ισχύος μπορούμε να τον τραβήξουμε και να δημιουργήσουμε έτσι μια ικανή απόσταση (περίπου 20 cm). Η απόσταση αυτή θεωρείται απόσταση ασφαλείας για τη δημιουργία απομόνωσης.

Έτσι οι κυψέλες Μ.Τ. που φιλοξενούν τους διακόπτες ισχύος επί φορείου δε χρειάζεται να περιλαμβάνουν διακόπτη απομόνωσης (αποζεύκτη), τόσο στην πλευρά των ζυγών όσο και στην πλευρά του καλωδίου.

Το κόστος του διακόπτη αυτού σε συνδυασμό με την αντίστοιχη κυψέλη που θα τον φιλοξενήσει, είναι αρκετά υψηλότερο από το συνδυασμό του σταθερού διακόπτη ισχύος και του αποζεύκτη φορτίου.

Έτσι τον συναντάμε στα πρωτογενή δίκτυα διανομής μέσης τάσης, δηλαδή στους κεντρικούς υποσταθμούς της ΔΕΗ ή στους σταθμούς παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.



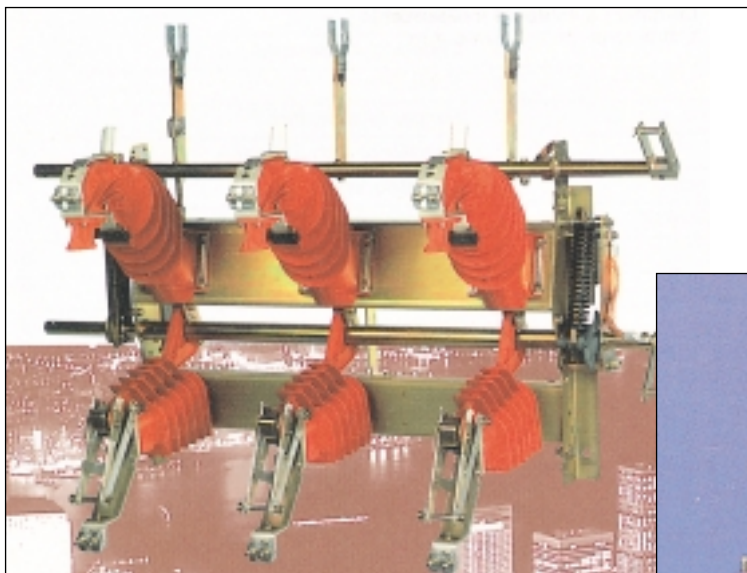
Εικόνα 1.5.2γ Διακόπτης ισχύος επί φορείου

1.5.3 Διακόπτες φορτίου (load-switch)

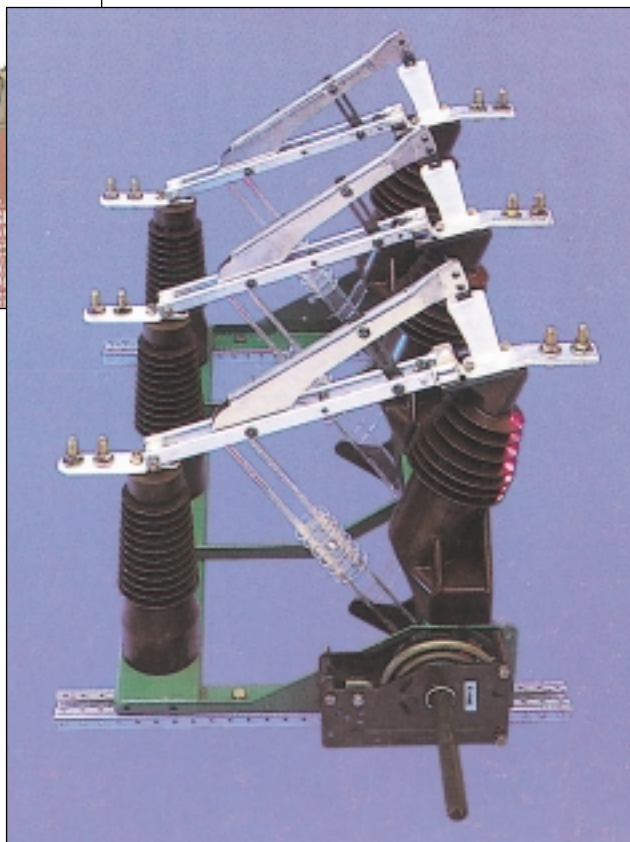
Οι διακόπτες φορτίου είναι κατασκευασμένοι για να διακόπτουν με ασφάλεια ρεύματα μέχρι το ονομαστικό τους ρεύμα (συνήθως 400 A). Ετσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακοπή σφαλμάτων, δηλαδή ρεύμα βραχυκυκλώματος που φθάνει τα 7 kA, όπως συμβαίνει με τους διακόπτες ισχύος.

Ο μηχανισμός λειτουργίας για το κλείσιμο και το άνοιγμα ενός διακόπτη φορτίου είναι παρόμοιος με το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος που αναλύθηκε στην παράγραφο 1.5.2β

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



Εικόνα 1.5.3 Διάφοροι τύποι διακοπών φορτίων-αποζευκτών μέσης τάσης

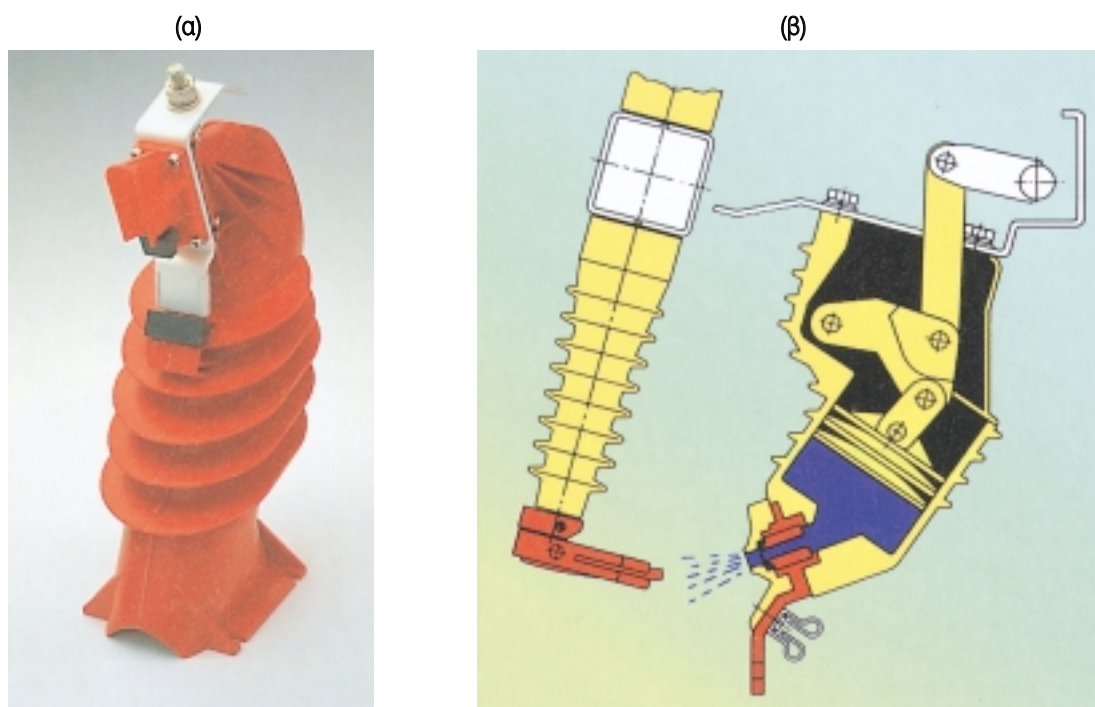


1.5.3α Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου

Τη χρονική στιγμή της αποχώρησης των επαφών ενός διακόπτη δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο. Η ασφαλής σβέση του τόξου αποτελεί το πλέον κρίσιμο σημείο στη λειτουργία ενός διακόπτη φορτίου. Στην Εικόνα 1.5.3α βλέπουμε τον ειδικό μονωτήρα που υπάρχει σε κάθε πόλο του διακόπτη φορτίου που χρησιμοποιεί την τεχνική του φυσήματος αέρα για τη σβέση του τόξου.

Ο μονωτήρας είναι κούφιος και το εσωτερικό του σχηματίζει ένα κύλινδρο. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει ένα έμβολο, που παίρνει κίνηση από τον κύριο άξονα του διακόπτη, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μοχλών από μονωτικό υλικό.

Με το άνοιγμα του διακόπτη, αρχίζει η συμπίεση του αέρα με τη βοήθεια του εμβόλου. Ο 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 αποχωρίζονται οι επαφές και το ηλεκτρικό τόξο είναι πολύ έντονο. Ο δυνατός αέρας βοηθά στη διάχυση του τόξου και την ταυτόχρονη ψύξη του, με αποτέλεσμα να σβήνει γρήγορα.



Εικόνα 1.5.3α α. Εξωτερική όψη κούφιου μονωτήρα
β. Τομή μονωτήρα και όψη λειτουργίας

1.5.3β Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες HRC

Ο διακόπτης φορτίου από μόνος του - επειδή δεν έχει την ικανότητα να διακόψει το ρεύμα βραχυκυκλώματος - δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο προστασίας.

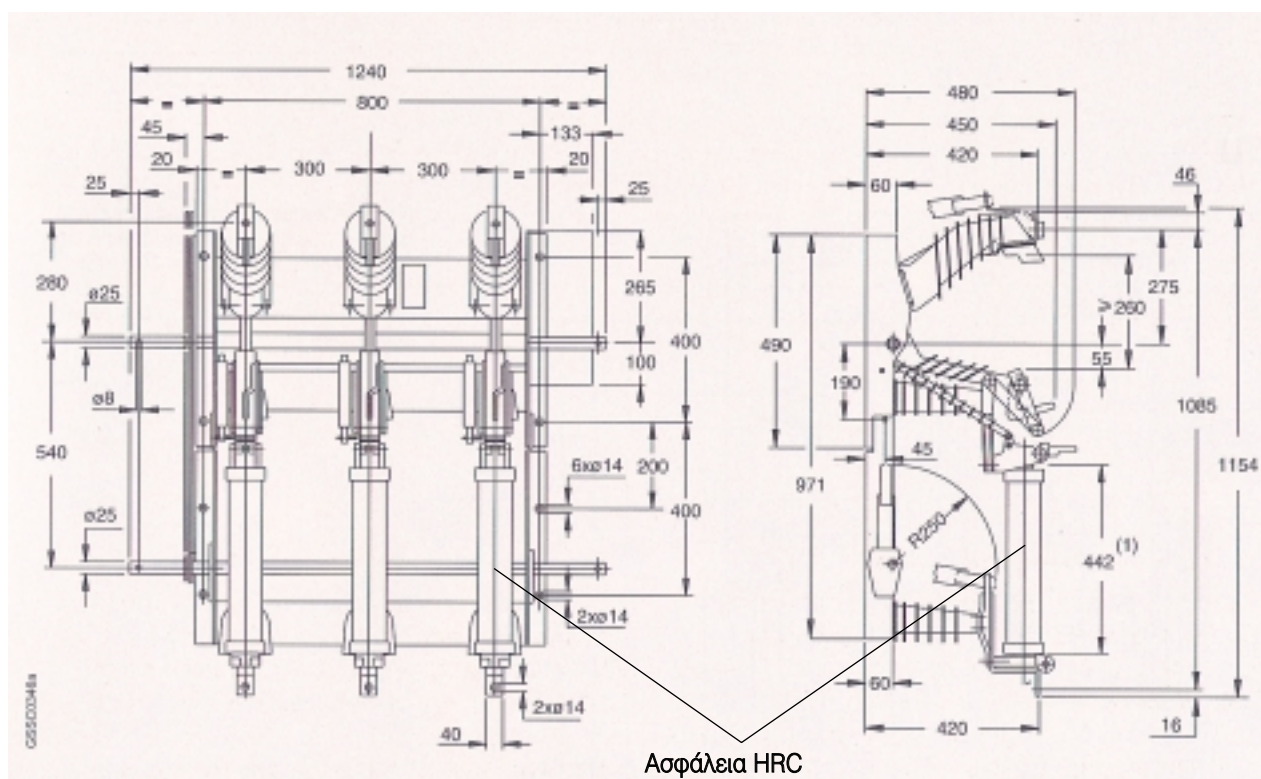
Σε συνδυασμό όμως με ασφάλειες HRC μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο προστασίας των καλωδίων ή του μετασχηματιστή ισχύος.

Ο συνδυασμός αυτός ονομάζεται και ασφαλειο-διακόπτης φορτίου ή **ασφαλειο-αποζεύκτης φορτίου** (fuse-load switch). Τον συναντάμε κατά κανόνα ως μέσο προστασίας Μ/Σ μέχρι 630 kVA.

Σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκυκλώματος) τήκεται κάποια από τις τρεις ασφάλειες και απελευθερώνεται ο δείκτης λειτουργίας της (striker).

Ο δείκτης κτυπά με δύναμη έναν μηχανισμό από μοχλούς που καταλήγει στην απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος και στο αυτόματο άνοιγμα του διακόπτη φορτίου.

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



Εικόνα 1.5.3β Διαστάσεις σε mm ασφαλειοαποζεύκτη φορτίου ονομαστικής τάσης 24 kV

1.5.4 Αποξεύκτες, γειωτές

Οι αποξεύκτες και οι γειωτές είναι διακόπτες που ανοίγουν ένα κύκλωμα υπό ελάχιστο φορτίο και με ελάχιστη τάση. Δηλαδή πρέπει να τους χειριζόμαστε χωρίς ρεύμα ή τάση στους πόλους του. Γι'αυτό ονομάζονται και διακόπτες χωρίς φορτίο (off-load switch).

Χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ορατές διακοπές στα κυκλώματα μέσης τάσης.

Έτσι είμαστε σίγουροι ότι το κύκλωμα είναι απομονωμένο και μπορούμε να αρχίσουμε τις εργασίες σε αυτό. Γι'αυτό ονομάζονται και απομονωτές (isolator switch).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.5.4 ο αποξεύκτης αποτελείται από:

1. δύο μονωτήρες σε κάθε πόλο
2. τους ακροδέκτες σύνδεσης στην κορυφή των μονωτήρων
3. τις κινητές επαφές που μοιάζουν με μαχαίρια
4. το σιδερένιο άξονα που με την περιστροφή του

δίνει κίνηση στα μαχαίρια

5. ράβδους από μονωτικό υλικό που συνδέουν τον άξονα με τα μαχαίρια

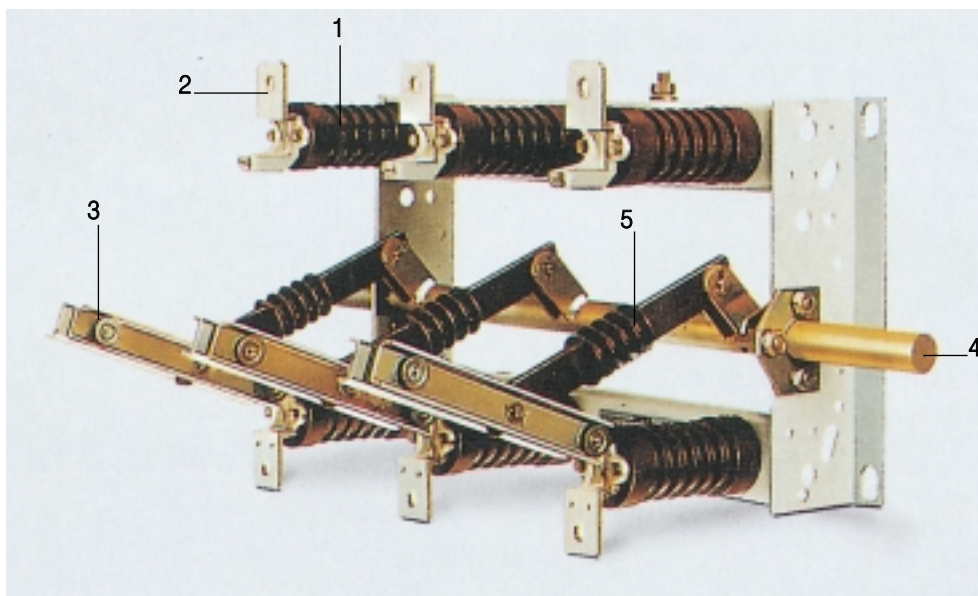
Οι αποξεύκτες πρέπει να αντέχουν:

- σε κλειστή θέση τα ρεύματα σφαλμάτων
- σε ανοικτή θέση τις υπερτάσεις του δικτύου

Σήμερα, επειδή η διαφορά τιμής είναι μικρή, χρησιμοποιούμε διακόπτες φορτίου αντί αποξευκτών. Έτσι απλοποιούνται οι χειρισμοί-μανδαλώσεις για την απομόνωση ενός κυκλώματος.

Οι γειωτές (earthing switch) είναι πρακτικά αποξεύκτες με τη διαφορά ότι η μια τους πλευρά συνδέεται πάντα στη γείωση. Χρησιμοποιούνται:

- α) για να μηδενίσουν τα ηλεκτρικά φορτία που παραμένουν στα κυκλώματα μέσης τάσης και οφείλονται στους παρασιτικούς πυκνωτές που υπάρχουν κυρίως στα καλώδια,
- β) για να γειώσουν το τμήμα του δικτύου στο οποίο θα εργαστούμε (συντήρηση ή επιδιόρθωση).



Εικόνα 1.5.4 Αποξεύκτης ονομαστικής τάσης 24 kV με μαχαίρια

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

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

Τελειώνοντας τις εργασίες πρέπει να κάνουμε με τη σειρά τις παρακάτω ενέργειες:

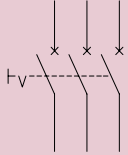
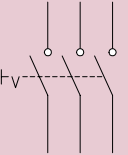
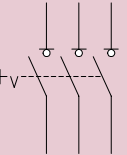
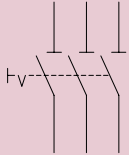
- Να επαναφέρουμε το γειωτή στην ανοιχτή θέση.
- Να κλείσουμε τους διακόπτες με την αντίστροφη σειρά που τους ανοίξαμε, δηλαδή πρώτα το διακόπτη και μετά τον αποζεύκτη.

1.5.5 Σύγκριση των διακοπών μέσης τάσης

Στον παρακάτω πίνακα προσπαθήσαμε να δείξουμε τα κοινά χαρακτηριστικά όλων των διακοπών μέσης τάσης. Στο πίνακα σημειώνεται με **x**, αν ο διακόπτης έχει την αντίστοιχη ικανότητα.

Βλέπουμε ότι την ικανότητα διακοπής του ρεύματος βραχυκυκλώματος την έχει μόνο ο διακόπτης ισχύος, γι' αυτό και είναι το βασικό όργανο διακοπής στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο πίνακας 1.5.2 ισχύει και για τους διακόπτες χαμηλής τάσης (< 1000 V)

Πίνακας 1.5.2 Συγκριτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά των διακοπών				
	Διακόπτης ισχύος	Διακόπτης φορτίου	Αποζεύκτης φορτίου	Αποζεύκτης
				
Ικανότητα διακοπής κυκλώματος σε ονομαστικό ρεύμα (I_n)	x	x	x	
Ικανότητα διακοπής του κυκλώματος σε ρεύμα βραχυκύκλωματος (I_k)	x			
Ικανότητα ζεύξης στο ρεύμα βραχυκύκλωματος (*)	x	x	x	x
Ικανότητα ορατής απομόνωσης			x	x
Αντοχή στο ρεύμα βραχυκυκλώματος για $t=2s$	x	x	x	x

(*) Με το όρο αυτό εννοούμε την ικανότητα του διακόπτη να κλείσει όταν:

- υπάρχει στο δίκτυο βραχυκύκλωμα, π.χ ξεχάσαμε να ανοίξουμε το γειωτή μετά από τη συντήρηση του υποσταθμού
- τη χρονική στιγμή που κλείνει ο διακόπτης προκαλείται στο δίκτυο ένα βραχυκύκλωμα

1.5.6 Σύμβολα διακοπών

Η ανάγκη για την εύκολη και σωστή ανάγνωση-δημιουργία των ηλεκτρολογικών σχεδίων από όλους τους ηλεκτρολόγους σε όλο τον κόσμο, οδήγησε τη διεθνή επιτροπή IEC (International Electrical Committee) να τυποποιήσει τα σύμβολα των διακοπών.

Σημειώνουμε ότι, τα σύμβολα αυτά ισχύουν κατά κανόνα για οποιαδήποτε τάση λειτουργίας, για παράδειγμα το σύμβολο του διακόπτη ισχύος είναι το ίδιο για τάση λειτουργίας 400.000, 150.000, 20.000, 400V ή άλλη και για οποιοδήποτε ρεύμα.

Αξίζει να δούμε την τεχνική με την οποία παράγονται τα σύμβολα αυτά.

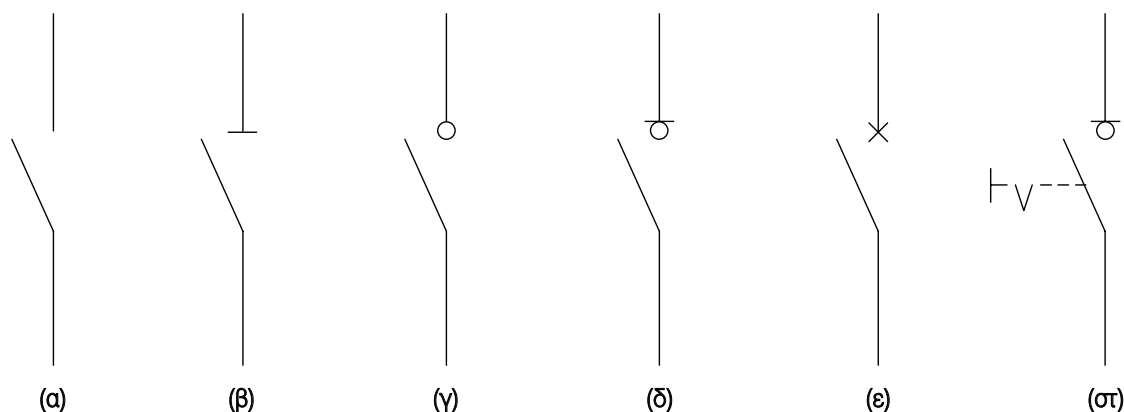
Το βασικό σύμβολο για όλους τους διακόπτες είναι το σύμβολο της ανοικτής επαφής (Εικόνα 1.5.6). Στο πάνω μέρος της ανοικτής επαφής προσθέτουμε ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω σύμβολα:

- ➔ ικανότητα απομόνωσης
- o ➔ ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου
- x ➔ ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος

και προκύπτουν έτσι τα σύμβολα του αποζεύκτη, διακόπτη φορτίου και διακόπτη ισχύος αντίστοιχα.

Για να δείξουμε τον τρόπο χειρισμού του διακόπτη, προσθέτουμε στο σύμβολο τα παρακάτω γεωμετρικά σχήματα :

- | ➔ χέρι
 - ➔ σύνδεση
 - v ➔ συγκράτηση
- και ο διακόπτης γίνεται χειροκίνητος.



Εικόνα 1.5.6 α. Ανοικτή επαφή
 β. Επαφή με ικανότητα απομόνωσης
 γ. Επαφή με ικανότητα διακοπής του ονομαστικού ρεύματος (I_n)
 δ. Επαφή με ικανότητα απομόνωσης και διακοπής του ονομαστικού ρεύματος (I_n)
 ε. Επαφή με ικανότητα διακοπής του ονομαστικού ρεύματος (I_n) και του ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_k)
 στ. Χειροκίνητος διακόπτης φορτίου-απομόνωσης

Πίνακας 1.5.1 Σύμβολα διακοπών που συναντάμε στη μάζη τάση	
	Τριπολικός διακόπτης απομόνωσης ή τριπολικός αποξεύκτης ή τριπολικός διακόπτης κενού
	Τριπολικός διακόπτης φορτίου
	Τριπολικός διακόπτης φορτίου-αποξεύκτης ή τριπολικός αποξεύκτης φορτίου
	Τριπολικός αποξεύκτης φορτίου με ασφάλειες HRC ή τριπολικός ασφαλειοαποξεύκτης φορτίου
	Τριπολικός διακόπτης ισχύος (Δ.Ι.)
	Συρόμενος τριπολικός διακόπτης ισχύος (ΔΙ)

Συσκευές διακοπής και απομόνωσης μέσης τάσης

Ερωτήσεις

1. Να εξηγήσετε τη διαφορά μεταξύ των ρημάτων **διακόπτω** και **απομονώνω** στη μέση τάση.
Γιατί οι έννοιες αυτές δεν είναι τόσο κρίσιμες στη χαμηλή τάση;
2. Γιατί οι ασφάλειες μέσης τάσης που συναντάμε στους υποσταθμούς ονομάζονται ασφάλειες υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC);
3. Περιγράψτε τη λειτουργία μιας ασφάλειας υψηλής ικανότητας διακοπής. Σε τι διαφέρει από τις ασφάλειες χαμηλής τάσης;
4. Τι είναι η χαρακτηριστική λειτουργίας μιας ασφάλειας υψηλής ικανότητας διακοπής;
Πού τη χρησιμοποιούμε;
5. Τι είναι η χαρακτηριστική περιορισμού του I_k μιας ασφάλειας υψηλής ικανότητας διακοπής;
Που τη χρησιμοποιούμε;
6. Με βάση το είδος του ρευστού που υπάρχει στους πόλους του διακόπτη ισχύος, ποια είδη διακοπών ισχύος συναντάμε σήμερα;
7. Γιατί οι διακόπτες ισχύος με λάδι ονομάζονται πτωχού ελαίου (oil minimum);
8. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά των υλικών μέσης τάσης που αναφέρονται στην αντοχή τους σε τάση;
Σε ποια υλικά μέσης τάσης συναντάμε τα χαρακτηριστικά αυτά;
Να βρείτε τις τιμές (σε kV) των αντίστοιχων χαρακτηριστικών για τα υλικά χαμηλής τάσης.
9. Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά του διακόπτη ισχύος που αναφέρονται στην αντοχή του σε ρεύμα;
10. Γιατί οι διακόπτες ισχύος και οι διακόπτες φορτίου - τόσο στη μέση όσο και στη χαμηλή τάση - έχουν δύο ελατήρια στο μηχανισμό λειτουργίας τους;
11. Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα του διακόπτη ισχύος πάνω σε φορείο;
12. Ποιά είναι η βασική διαφορά μεταξύ του διακόπτη ισχύος (circuit breaker) και του διακόπτη φορτίου (load switch);
13. Προσθέτοντας σε ένα διακόπτη φορτίου ασφάλειες υψηλής ικανότητας διακοπής τι πετυχαίνουμε;
14. Θέλουμε συντηρήσουμε το Μ/Σ του υποσταθμού. Να αναφέρατε τις ενέργειες που πρέπει να κάνουμε για την ασφαλεία μας.

Ασκήσεις

- 1.** Να σχεδιάσετε στο μπλοκ σχεδίασης τα παρακάτω σύμβολα :
 - α.** Τριπολικό διακόπτη απομόνωσης (αποζεύκτης)
 - β.** Τριπολικό διακόπτη φορτίου - αποζεύκτη
 - γ.** Τριπολικό διακόπτη φορτίου - αποζεύκτη με ασφάλειες
 - δ.** Τριπολικές ασφάλειες
 - ε.** Τριπολικό διακόπτη ισχύος
- 2.** Σε διπλό λογαριθμικό χαρτί (αν δεν βρείτε χρησιμοποιήστε απλό μιλιμετρέ χαρτί) να αντιγράψετε τη χαρακτηριστική της ασφάλειας των 50 A (Εικόνα 1.5.1δ). Στη συνέχεια να βρείτε σε πόσο χρόνο θα διακόψει η ασφάλεια για τα παρακάτω ρεύματα
 - α.** 100 A
 - β.** 200 A
 - γ.** 300 A
 - δ.** 1000 A
- 3.** Το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στην πλευρά μέσης τάσης είναι 8 kA. Να βρείτε την τιμή κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_s) στις παρακάτω τρεις περιπτώσεις
 - α.** Αν δεν υπάρχουν ασφάλειες HRC στη διαδρομή του σφάλματος
 - β.** Αν υπάρχουν ασφάλειες HRC 25 A στη διαδρομή του σφάλματος
 - γ.** Αν υπάρχουν ασφάλειες HRC 100 A στη διαδρομή του σφάλματος

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ

6

Ενότητα 1.6

- 1.6.1** Μετασχηματιστές έντασης
- 1.6.2** Μετασχηματιστές τάσης
- 1.6.3** Ηλεκτρονόμοι προστασίας
- 1.6.4** Απαγωγείς τάσης (αλεξικέραυνα)



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να αναφέρουν τα είδη μετασχηματιστών μέτρησης που χρησιμοποιούνται στη μέση τάση.
- ☞ να γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών μέτρησης.
- ☞ να αναφέρουν τη λειτουργία των δύο πυρήνων που συναντάμε στους μετασχηματιστές έντασης με δύο δευτερεύοντα τυλίγματα.
- ☞ να διαβάζουν και να σχεδιάζουν τα λειτουργικά διαγράμματα που περιέχουν μετασχηματιστές μέτρησης.
- ☞ να μπορούν να περιγράψουν τη λειτουργία και τα είδη των ηλεκτρονόμων που συναντάμε στους υποσταθμούς μέσης τάσης.
- ☞ να αναφέρουν τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου υπερέντασης σταθερού και αντιστροφου χρόνου.
- ☞ να αναφέρουν τη λειτουργία της επιλογικής προστασίας μεταξύ δύο διαδοχικών οργάνων προστασίας.
- ☞ να αναφέρουν τη λειτουργία των απαγωγέων τάσης (αλεξικέραυνων).
- ☞ να απαριθμούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων που χρησιμοποιούμε στα 20 kV.

1.6 Συσκευές μέτρησης και προστασίας υποσταθμών

Όπως γνωρίζουμε, στα δίκτυα μέσης τάσης η πολική τάση είναι 20.000V, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από την τάση των 400/230V που συναντάμε στις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης. Έχουμε μάθει ότι και μόνο το πλησίασμα σε αγωγούς μέσης τάσης είναι θανατηφόρο.

Όλα τα όργανα μέτρησης και προστασίας που διαθέτουμε είναι κατασκευασμένα να λειτουργούν με τάση όχι μεγαλύτερη των 1000 V. Σε περίπτωση που εισέλθει στα όργανα μεγαλύτερη τάση, τότε καταστρέφεται η μόνωσή τους, με αποτέλεσμα το όργανο να αχρηστεύεται και ταυτόχρονα να είναι επικίνδυνο για το χειριστή.

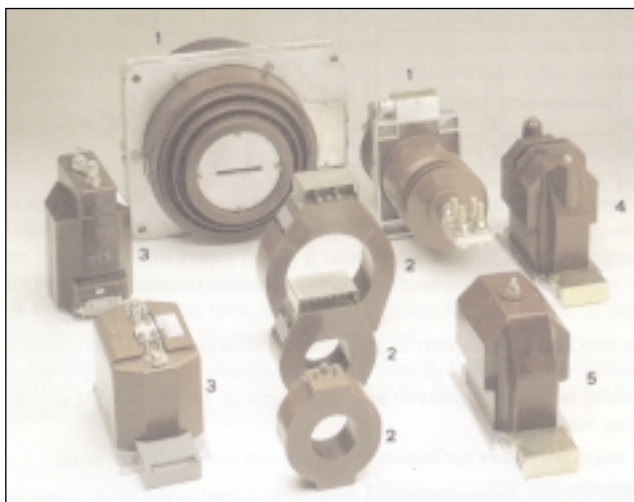
Η ανάγκη όμως μέτρησης αλλά και προστασίας στα δίκτυα μέσης τάσης είναι εξίσου ή και περισσότερο επιτακτική από τα δίκτυα χαμηλής τάσης.

Για να απομονώσουμε γαλβανικά(*) τα όργανα μέτρησης/προστασίας από τη μέση τάση, χρησιμοποιούμε ειδικούς μετασχηματιστές των οποίων το πρωτεύον συνδέεται στη μέση τάση και το δευτερεύον συνδέεται στα όργανα μέτρησης/προστασίας.

Τους ονομάζουμε μετασχηματιστές μέτρησης ή μετασχηματιστές οργάνων (instrument transformers) για να τους ξεχωρίζουμε από τους μετασχηματιστές ισχύος (power transformers) που έχουμε γνωρίσει στην Ενότητα 1.2.

Οι μετασχηματιστές μέτρησης, ανάλογα με το μέγεθος που μετρούν (ένταση ή τάση), χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μετασχηματιστές έντασης (current transformers)
- Μετασχηματιστές τάσης (voltage transformers)



Εικόνα 1.6 Μετασχηματιστές μέτρησης

1. Μετασχηματιστές έντασης τύπου μονωτήρα διέλευσης (bushing)
2. Μετασχηματιστές έντασης ανοιχτού πυρήνα ή τοροειδής
3. Μετασχηματιστές έντασης τύπου μονωτήρα
4. Διπολικός μετασχηματιστής τάσης
5. Μονοπολικός μετασχηματιστής τάσης

(*) Ο όρος γαλβανική απομόνωση δηλώνει ότι δεν υπάρχει οποιαδήποτε άμεση σύνδεση μεταξύ της μέσης και χαμηλής τάσης και συνεπώς μπορούμε να εργαστούμε στην πλευρά χαμηλής τάσης, λαμβάνοντας μόνο τις γνωστές προφυλάξεις. Εκτός των ΜΣ μετρήσεων χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνικές μέτρησης των δικτύων μέσης τάσης, όπως είναι οι χωρητικοί ή ωμικοί καταμεριστές τάσης. Τότε όμως δεν έχουμε γαλβανική απομόνωση.

1.6.1 Μετασχηματιστές έντασης

Οι μετασχηματιστές έντασης αποτελούνται από ένα πρωτεύον και ένα ή περισσότερα (συνήθως δύο) δευτερεύοντα τυλίγματα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.6.1, το πρωτεύον χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **P1**, **P2** και τα δευτερεύοντα με τα γράμματα **S1**, **S2**. Αν ο μετασχηματιστής διαθέτει περισσότερα του ενός δευτερεύοντα, τότε χρησιμοποιούμε τα γράμματα **1S1**, **1S2** για το πρώτο, τα γράμματα **2S1**, **2S2** για το δεύτερο κ.ό.κ.

Το ένα δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστικό ρεύμα 5 A (σπάνια 1 A) των οργάνων μέτρησης όπως:

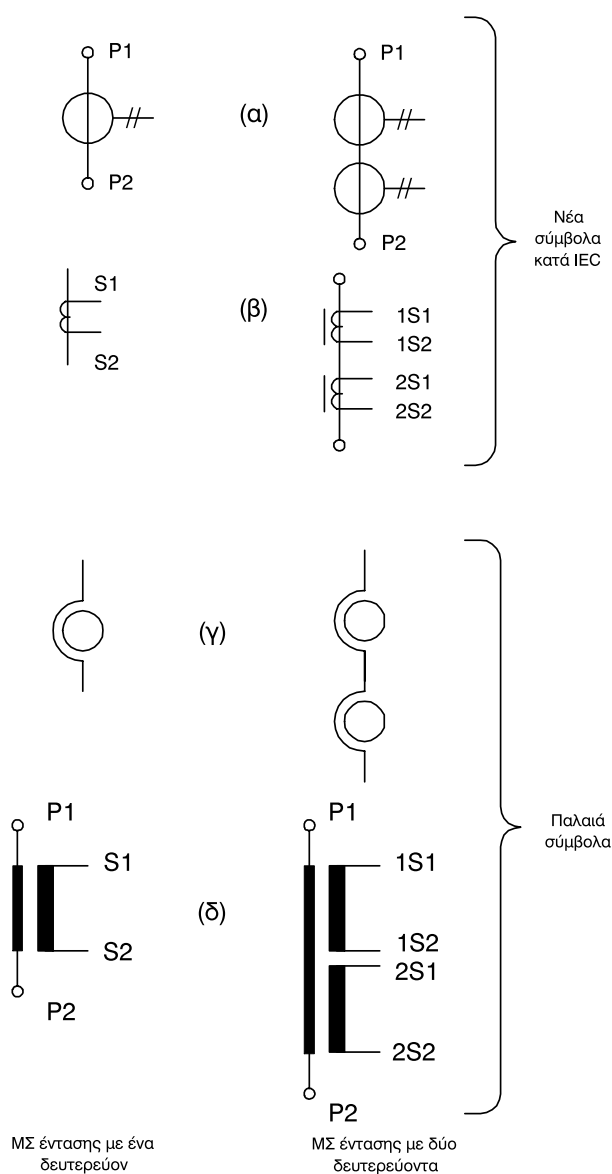
- Α-μετρα
- kW-μετρα (μετρητές ισχύος)
- kWh- μετρα (μετρητές ενέργειας)

Το άλλο δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστικό ρεύμα 5 A (σπάνια 1 A) των ηλεκτρονόμων προστασίας, όπως:

- Ηλεκτρονόμος υπερέντασης
- Ηλεκτρονόμος διαρροής προς γή
- Άλλοι τύποι ηλεκτρονόμων

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.6.1, το σώμα των μετασχηματιστών έντασης είναι κατασκευασμένο από χυτο-ρητίνη (cast-resin). Το πρωτεύον τύλιγμα αποτελείται συνήθως από μία ή δύο σπείρες χοντρού χάλκινου αγωγού, στις άκρες του οποίου συγκολλούνται οι ακροδέκτες μέσης τάσης (P1, P2) που καταλήγουν σε σπειρώματα M12.

Το πρωτεύον τύλιγμα διέρχεται από τους πυρήνες μέτρησης και προστασίας, πάνω στους οποίους είναι τοποθετημένα τα δευτερεύοντα τυλίγματα.



Εικόνα 1.6.1 Μετασχηματιστές έντασης
 α. μονογραμμικό σύμβολο κατά IEC
 β. σύμβολο με ακροδέκτες κατά IEC
 γ. μονογραμμικό σύμβολο (παλαιό)
 δ. σύμβολο με ακροδέκτες (παλαιό)

1.6.1α Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης

Τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης είναι:

- **Ονομαστική τάση**, π.χ $U_n = 20/24\text{KV}$
- **Ονομαστική ισχύς ή φορτίο** (rated burden), π.χ $S_n = 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90\text{ VA}$. Οι κατασκευαστές δίνουν το φορτίο σε συνδυασμό με την κλάση ακριβείας.
- **Κλάση ακριβείας (cl) για το τύλιγμα μέτρησης** είναι από 0.2 έως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό.
- **Κλάση ακριβείας (class) για το τύλιγμα προστασίας** είναι το % σφάλμα, το γράμμα P και το πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος που αντιστοιχεί το σφάλμα. Π.χ 5P15 σημαίνει σφάλμα 5% στο δεκαπενταπλάσιο του ονομαστικού.
- **Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος** $I_{1n} = 5$ έως 3000 A.
- **Ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος** $I_{2n} = 5\text{A}$ ή 1A. Η τιμή του 1A προτιμάται όταν η απόσταση του μετασχηματιστή από τα όργανα μέτρησης/προστασίας είναι μεγάλη ($L > 50\text{m}$).
- **Αντοχή σε ρεύμα βραχείας διάρκειας** I_{th} σε kA. Είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος που αντέχει ο μετασχηματιστής για χρόνο $t = 1\text{s}$. Συνήθως είναι 20 έως 60 φορές το ονομαστικό ρεύμα I_{1n} .



Μετασχηματιστής ARJP1/N2F

- με ένα τύλιγμα στο πρωτεύον
- με δύο τυλίγματα στο δευτερεύον για μέτρηση και προστασία

αντοχή σε ρεύμα βραχίας διάρκειας I_{th} (kA)

	50	100	150	200
I_{1n} (A)	50	100	150	200
I_{th} (kA)	4	10	10	10
t (s)	1			
μέτρηση 5 A	7,5 VA - class 0,5			
προστασία 5A	5 VA - 5P10			

Εικόνα 1.6.1α Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών έντασης, όπως τα συναντάμε σε φυλλάδια εταιριών

1.6.1β Πυρήνας μέτρησης και πυρήνας προστασίας, συντελεστές κορεσμού

Στην εικόνα 1.6.1β βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή έντασης με δύο διαφορετικούς πυρήνες, ένα για μέτρηση και ένα για προστασία.

Ο πυρήνας για τη μέτρηση είναι κατασκευασμένος από ειδικό κράμμα σιδήρου, ώστε να εμφανίζει όσο γίνεται μικρότερο συντελεστή κορεσμού (saturation factor), έτσι ώστε και με μικρές υπερεντάσεις στο πρωτεύον, το ρεύμα στο δευτερεύον περιορίζεται. Έτσι οι συσκευές μέτρησης δεν καταστρέφονται.

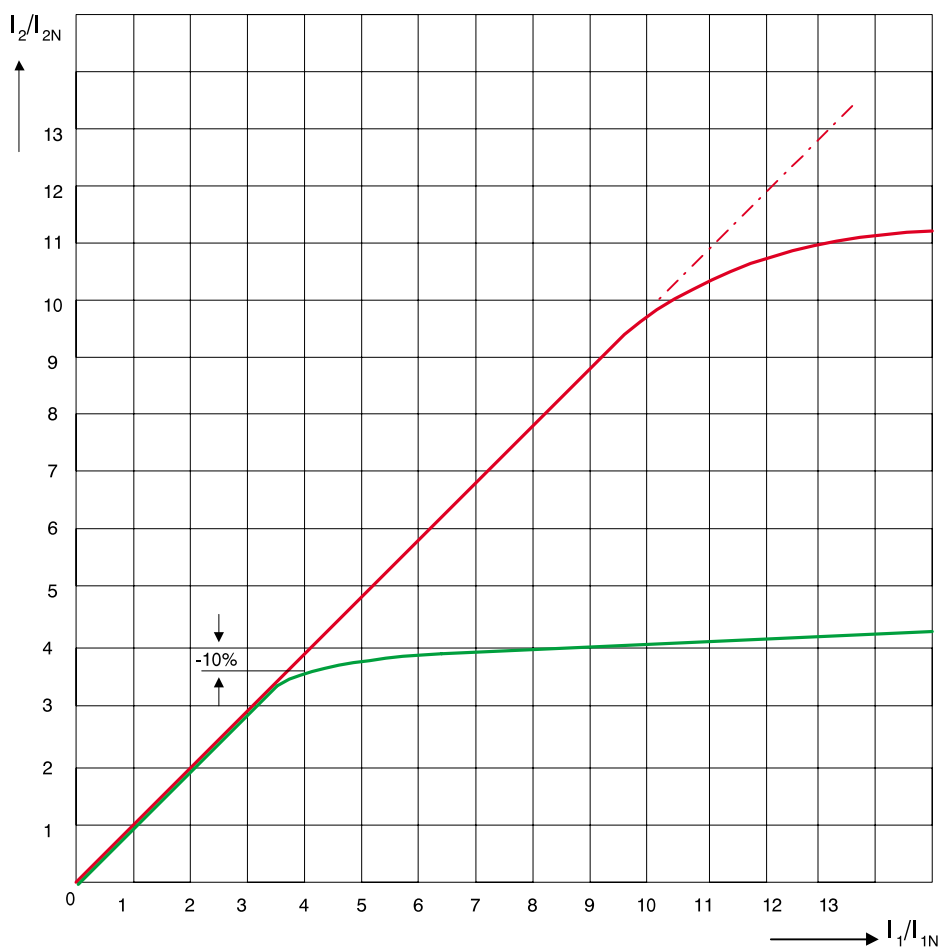
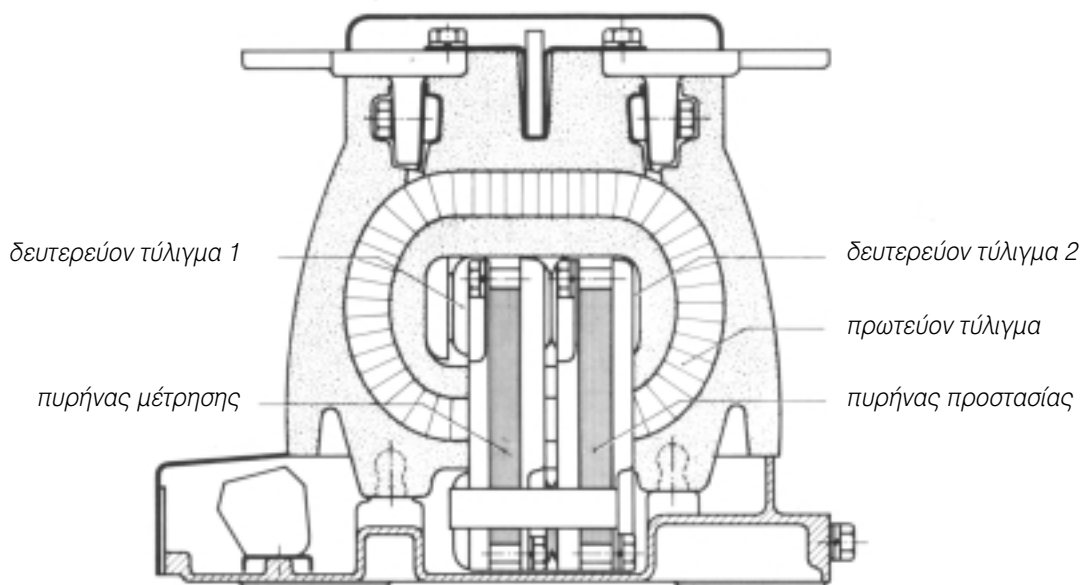
Για να το καταλάβουμε καλύτερα, χρησιμοποιούμε τις καμπύλες απόκρισης του μετασχηματιστή έντασης (Εικόνα 1.6.1β) Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I_1/I_{1N} του πρωτεύοντος, ενώ ο κάθετος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I_2/I_{2N} του δευτερεύοντος. Οι καμπύλες απόκρισης μας δείχνουν τη συμπεριφορά του μετασχηματιστή σε συνθήκες υπερέντασης στο πρωτεύον.

Η πράσινη καμπύλη αποτελείται από ένα ευθύγραμμο κομμάτι (για λόγο I_1/I_{1N} μέχρι το 3) που στη συνέχεια σχηματίζει ένα γόνατο. Πρακτικά το

γόνατο μας δείχνει ότι ο σιδερένιος πυρήνας του μετασχηματιστή έχει εισέλθει στην περιοχή του μαγνητικού κορεσμού.

Βλέπουμε ότι για το λόγο $I_1/I_{1N} = 4$ (δηλ. για ρεύμα πρωτεύοντος 4 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα), ο λόγος I_2/I_{2N} γίνεται 3,6 αντί του αναμενόμενου 4, δηλαδή έχουμε ένα σφάλμα $4,0 - 3,6 = 0,4$. Κάνοντας αναγωγή του σφάλματος $0,4$ στην τιμή 4 το σφάλμα είναι 10%. Το σφάλμα αυτό μεγαλώνει όσο μεγαλώνει ο λόγος I_1/I_{1N} , με αποτέλεσμα το ρεύμα στο δευτερεύον να περιορίζεται και έτσι δεν καταστρέφονται οι συσκευές μέτρησης.

Ο πυρήνας για την προστασία είναι κατασκευασμένος από διαφορετικό κράμμα σιδήρου, ώστε να εμφανίζει όσο γίνεται μεγαλύτερο συντελεστή κορεσμού ($F_s > 10$). Το ρεύμα του δευτερεύοντος αυξάνεται ανάλογα με το ρεύμα του πρωτεύοντος και περιορίζεται μόνο όταν τα ρεύματα είναι πολύ μεγάλα, π.χ βραχυκύκλωμα. Έτσι ο ΗΝ προστασίας παρακολουθεί σωστά το ρεύμα του δικτύου για να επέμβει, όταν χρειαστεί.



Εικόνα 1.6.1β 1. Τομή μετασχηματιστή έντασης με δύο πυρήνες
 2. Χαρακτηριστικές κορεσμού των πυρήνων ενός μετασχηματιστή έντασης
 Η πράσινη καμπύλη αντιστοιχεί στον πυρήνα μέτρησης
 Η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στον πυρήνα προστασίας

1.6.1γ Σύνδεση μετασχηματιστών μέτρησης

Στην Εικόνα 1.6.1γ βλέπουμε το λειτουργικό διάγραμμα (circuit diagram) ενός διακόπτη ισχύος με τρεις μετασχηματιστές έντασης. Σε κάθε φάση υπάρχει ένας μετασχηματιστής έντασης με δύο δευτερεύοντα τυλίγματα, ένα για τη μέτρηση και ένα για προστασία.

Τα τυλίγματα μέτρησης καταλήγουν μέσω της κλεμμοσειράς(*) X1 στα όργανα μέτρησης που είναι τρία Α-μετρα (ένα για κάθε φάση). Τα ίδια τυλίγματα τροφοδοτούν και άλλα όργανα μέτρησης που χρειάζονται το ρεύμα για να μπορέσουν να με-

τρήσουν. Τέτοια όργανα είναι το τριφασικό kW-μετρο, που δείχνει τη στιγμιαία συνολική ηλεκτρική ισχύ και το τριφασικό kWh-μετρο που καταγράφει την ηλεκτρική ενέργεια που έχουμε καταναλώσει.

Σημειώνουμε ότι τα όργανα μέτρησης είναι βαθμολογημένα πάντα σε αληθινές τιμές.

Για παράδειγμα, αν ο μετασχηματιστής έντασης έχει λόγο 100/5/5A, τότε η κλίμακα του Α-μέτρου είναι από 0-100 A, δηλ. όταν το ρεύμα που περνά μέσα από το Α-μετρο είναι 5 A, η βελόνα του δείχνει 100A.

Ετσι όταν παραγγέλνουμε:

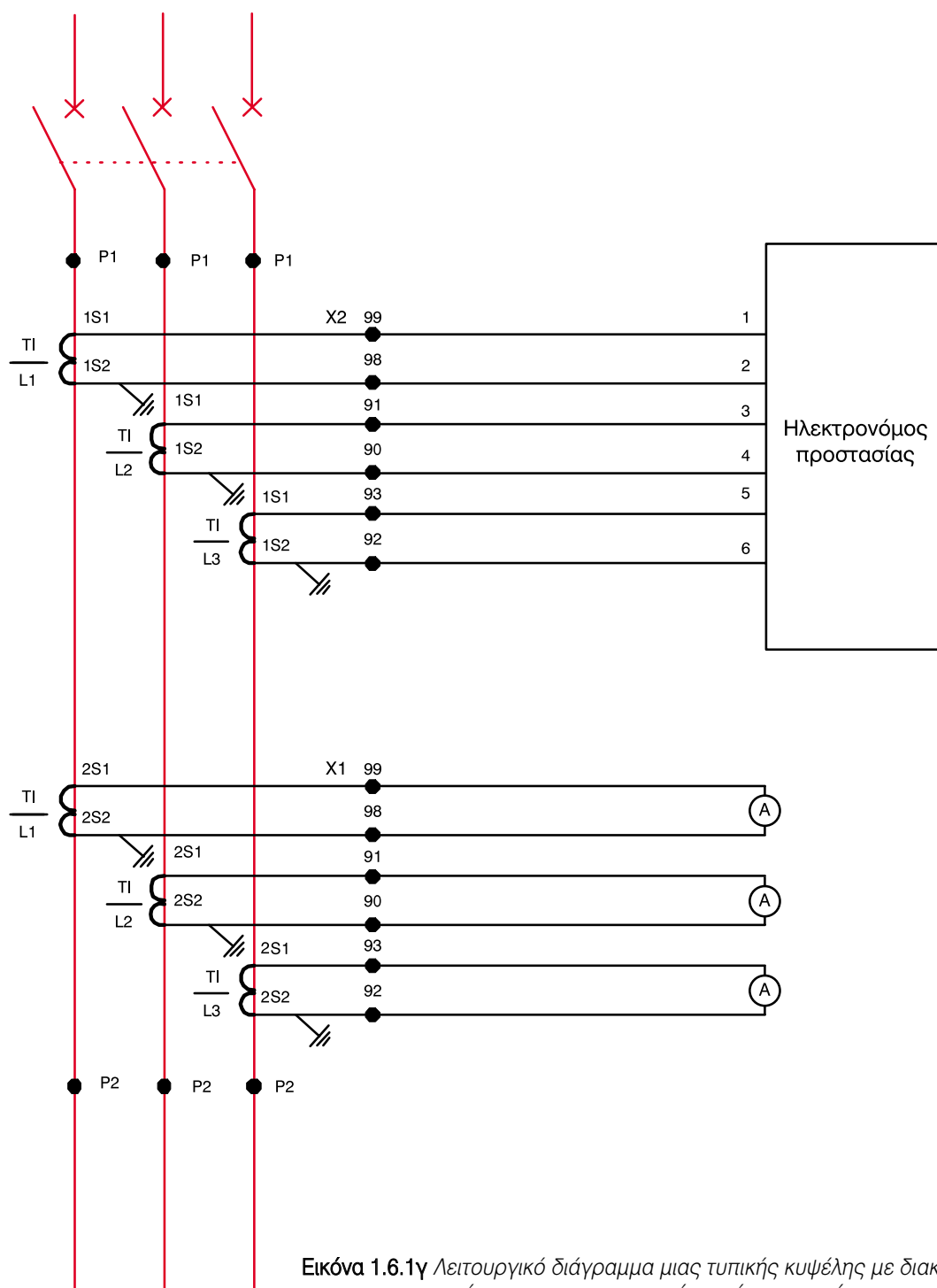
- **ένα Α-μετρο, πρέπει να ορίζουμε και το λόγο του μετασχηματιστή έντασης με τον οποίο θα συνεργαστεί το Α-μετρο.**
- **ένα V-μετρο, πρέπει να ορίζουμε και το λόγο του μετασχηματιστή τάσης με τον οποίο θα συνεργαστεί το V-μετρο.**
- **ένα KW-μετρο, πρέπει να ορίζουμε και τους λόγους των μετασχηματιστών έντασης και τάσης με τους οποίους θα συνεργαστεί το KW-μετρο**

Σημειώνουμε ότι τα όργανα που μετρούν ισχύ και ενέργεια χρειάζονται εκτός του ρεύματος της κάθε φάσης και την αντίστοιχη φασική τάση.

Τα τυλίγματα προστασίας καταλήγουν μέσω της κλεμμοσειράς(*) X2 στον ηλεκτρονόμο προστασίας. Ο ηλεκτρονόμος ελέγχει συνεχώς την τιμή του ρεύματος σε κάθε φάση και, αν ξεπεράσει την τιμή που τον έχουμε ρυθμίσει για περισσότερο χρόνο από αυτό που επίσης έχουμε ρυθμίσει, τότε δίνει εντολή (trip) στο πηνίο ανοίγματος και ο διακόπτης ισχύος ανοίγει.

(*) Αν το δευτερεύον του ΜΣ έντασης μείνει ανοικτό, τότε στα άκρα του δημιουργείται επικίνδυνη υπέρταση.

Οι κλεμμοσειρές X1, X2 που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση των μετασχηματιστών έντασης είναι ειδικές κλέμες, που μας επιτρέπουν να βραχυκυκλώνουμε τα δευτερεύοντα τυλίγματα των μετασχηματιστών. Αυτό γίνεται όταν θέλουμε να απομονώσουμε τα όργανα μέτρησης/προστασίας για να τα ελέγξουμε ή να τα ρυθμίσουμε.



Εικόνα 1.6.1γ Λειτουργικό διάγραμμα μιας τυπικής κυψέλης με διακόπτη ισχύος και μετασχηματιστές εντάσης για μέτρηση και προστασία

1.6.2 Μετασχηματιστές τάσης

Οι μετασχηματιστές τάσης αποτελούνται από ένα πρωτεύον και ένα ή δύο δευτερεύοντα τυλίγματα. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **Μονοπολικοί**, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ μιας φάσης και της γής, δηλαδή τη φασική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **A,N** και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα **a,n**.
- **Διπολικοί**, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ δύο φάσεων, δηλαδή την πολική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **A,B** και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα **a,b**.

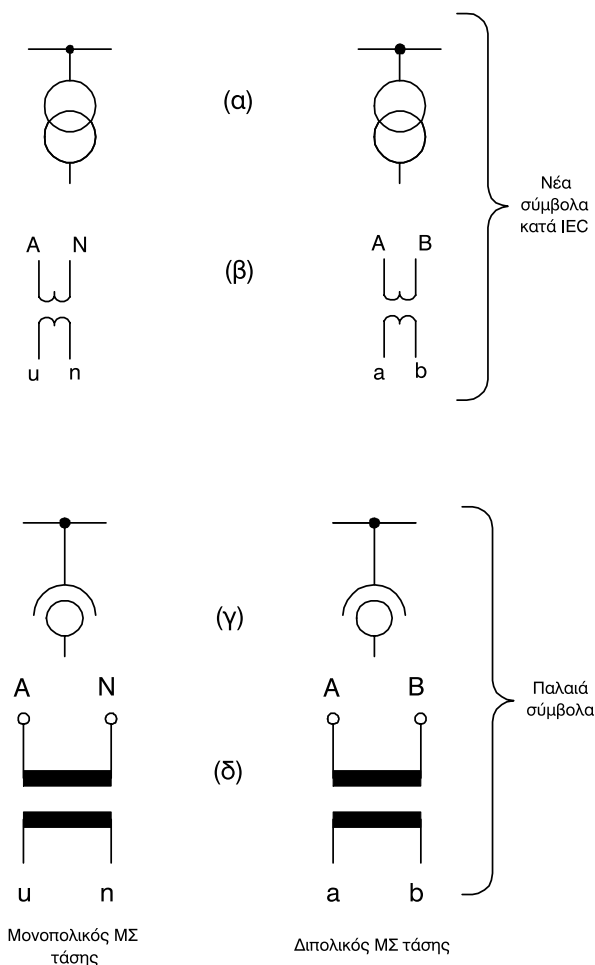
Το ένα δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστική τάση 100 V (ή $100/\sqrt{3}$) των οργάνων μέτρησης όπως:

- V-μετρα
- kW-μετρα (μετρητές ισχύος)
- kVA-μετρα (μετρητές αέργου ισχύος)
- kWh-μετρα (μετρητές ενέργειας)
- κ.ά

ή οργάνων προστασίας όπως:

- ηλεκτρονόμος υπέρτασης (over-voltage relays)
- ηλεκτρονόμος υπότασης (under-voltage relays)
- ηλεκτρονόμος σφάλματος προς γή
- κ.ά

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.6.2α, το σώμα των μετασχηματιστών τάσης είναι κατασκευασμένο από χυτο-ρητίνη (cast-resin). Εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε αν ο Μ/Σ τάσης είναι μονοπολικός ή διπολικός. Συνήθως προτιμάμε τους διπολικούς Μ/Σ, διότι με δύο μόνο Μ/Σ μπορούμε να μετρήσουμε ένα τριφασικό σύστημα. Αν αντίθετα χρησιμοποιήσουμε μονοπολικούς Μ/Σ θα χρειαζόμαστε τρεις.



Εικόνα 1.6.2 Μετασχηματιστές τάσης
α. μονογραμμικό σύμβολο κατά IEC
β. σύμβολο με ακροδέκτες κατά IEC
γ. μονογραμμικό σύμβολο (παλαιό)
δ. σύμβολο με ακροδέκτες (παλαιό)

1.6.2α Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης

Τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών τάσης είναι:

- **Ονομαστική τάση**, π.χ $U_n = 20/24 \text{ kV}$
- **Ονομαστική ισχύς** ή φορτίο (rated burden), π.χ $S_n = 30$ έως 300 VA . Οι κατασκευαστές δίνουν το φορτίο σε συνδυασμό με την κλάση ακριβείας
- **Κλάση ακριβείας** (class), η οποία είναι από 0.2 έως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό
- **Ονομαστική τάση πρωτεύοντος** $U_{1n} = 20 \text{ kV}$ για διπολικούς ή $20/\sqrt{3}$ για μονοπολικούς
- **Ονομαστική τάση δευτερεύοντος** $U_{2n} = 100 \text{ V}$ για διπολικούς ή $100/\sqrt{3}$ για μονοπολικούς. Σπάει να συναντάμε την τιμή 110 V αντί των 100 V .
- **Μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς** $S_{\max}$ σε VA. Συνήθως είναι 10 φορές το S_n .

Διευκρινίζουμε ότι η ονομαστική ισχύς είναι η τάση 100 V επί το ρεύμα στο δευτερεύον. Μπορεί να γίνει υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος S_n μέχρι $S_{\max}$, π.χ όταν ο μετασχηματιστής τροφοδοτεί φορτία και όχι μόνο όργανα αλλά η κλάση ακριβείας μεγαλώνει.

Για ένα τυπικό μετασχηματιστή τάσης 30 VA class 0.2 έχουμε:

S σε VA	30	50	100	250
Class	0.2	0.5	1.0	3.0



Μετασχηματιστές VRC2/S1 (μονοπολικός) 50/60 Hz

ονομαστική τάση (kV)	24			
τάση πρωτεύοντος (kV)	$10/\sqrt{3}$	$15-20/\sqrt{3}$	$20/\sqrt{3}$	
τάση δευτερεύοντος (V)	$100/\sqrt{3}$			
μέγιστη ισχύς (VA)	250	250	250	
κλάση ακριβείας	0,5	0,5	0,5	0,5
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για μονοπολικούς (VA)	30	30		30
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για διπολικούς (VA)			30-50	

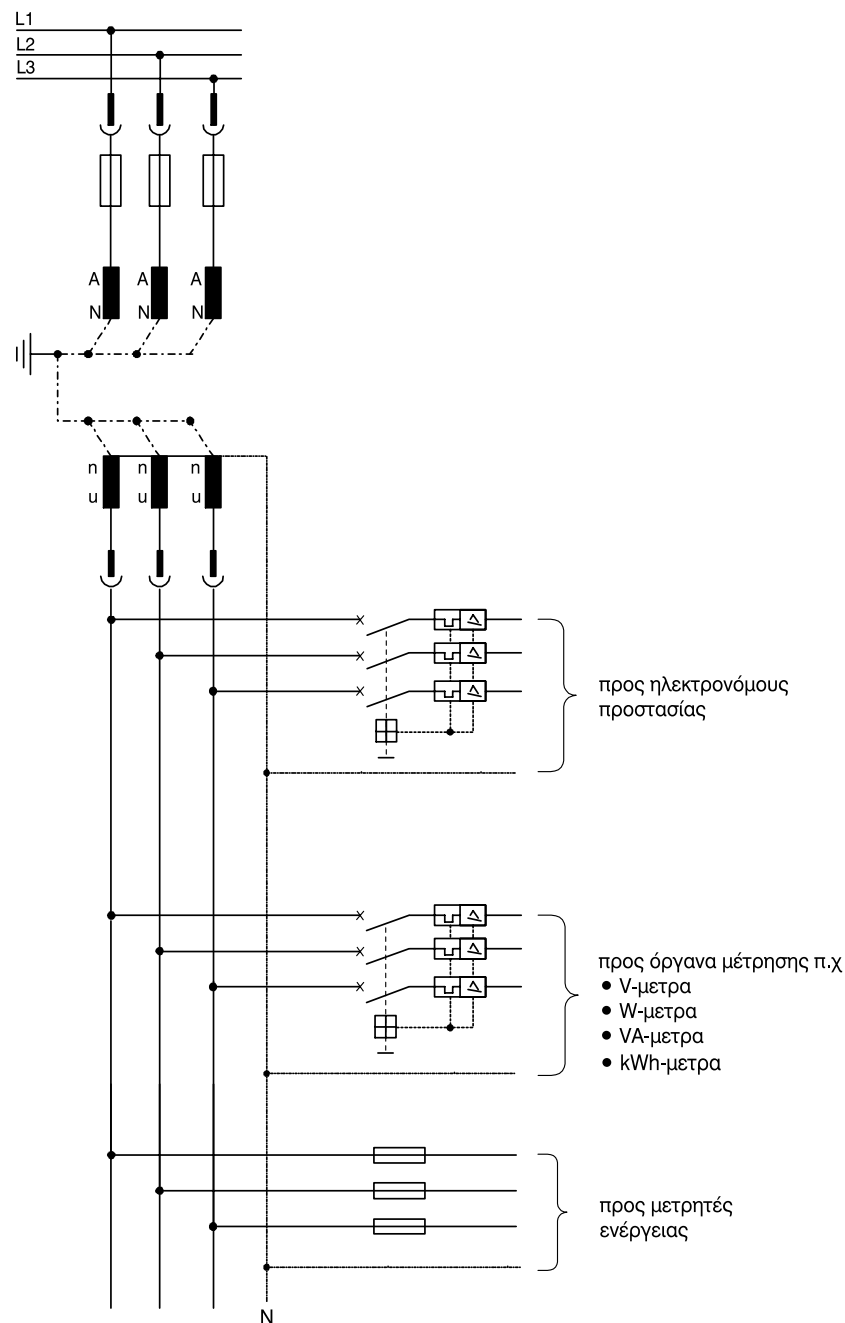
Μετασχηματιστές VRC2/S1 (διπολικός) 50/60 Hz

ονομαστική τάση (kV)	24		
τάση πρωτεύοντος (kV)	10	15	20
τάση δευτερεύοντος (V)	100		
μέγιστη ισχύς (VA)	500		
κλάση ακριβείας	0,5		
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για μονοπολικούς (VA)	50		

Εικόνα 1.6.2α Τεχνικά χαρακτηριστικά μετασχηματιστών τάσης όπως τα συναντάμε σε φυλλάδια εταιριών

1.6.2β Σύνδεση μετασχηματιστών τάσης

Στην Εικόνα 1.6.2β βλέπουμε το λειτουργικό διάγραμμα μιας κυψέλης μέτρησης με τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές τάσης. Το δευτερεύον τροφοδοτεί με ξεχωριστές γραμμές τα όργανα μέτρησης και τα όργανα προστασίας. Οι γραμμές ασφαλίζονται με μικρο-αυτόματους διακόπτες ή τηκτές ασφάλειες.



Εικόνα 1.6.2β
Λειτουργικό διάγραμμα
κυψέλης μέτρησης

1.6.3 Ηλεκτρονόμοι προστασίας (Protective relays)

Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (ΗΝ) είναι συσκευές που έχουν σκοπό τη συνεχή επιτήρηση ενός ηλεκτρικού μεγέθους (συνήθως ρεύμα) σε ένα τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Αν το μέγεθος ξεφύγει από τα όρια επιτήρησης, τότε αυτόματα δίνουν τις απαραίτητες εντολές (συνήθως εντολή ανοίγματος), με σκοπό να αποτρέψουν τις συνέπειες στον εξοπλισμό.

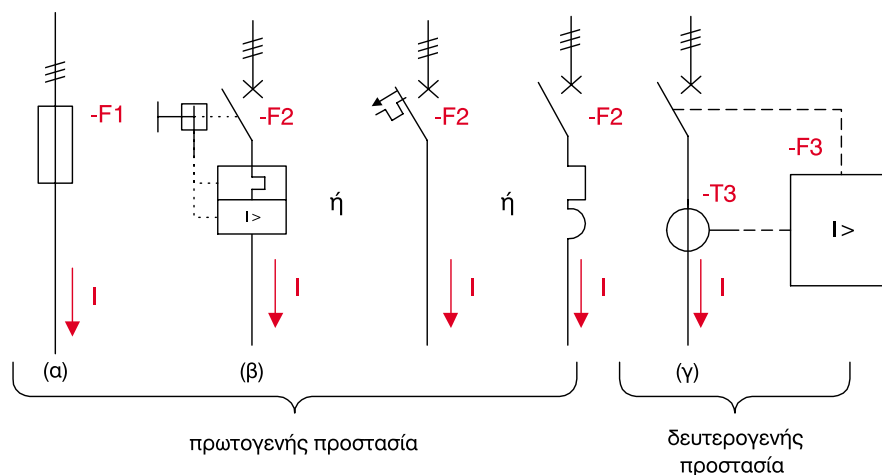
Στη χαμηλή τάση έχουμε γνωρίσει τα θερμικά και

μαγνητικά στοιχεία που υπάρχουν στις αυτόματες ασφάλειες⁽¹⁾ που χρησιμοποιούμε για να ασφαλίσουμε τις γραμμές των ηλεκτρικών πινάκων (Εικόνα 1.6.3). Τα στοιχεία αυτά είναι πρακτικά ηλεκτρονόμοι προστασίας, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα της γραμμής που πρέπει να επιτηρούν. Η προστασία αυτή ονομάζεται πρωτογενής προστασία (primary protection), διότι το ρεύμα που διέρχεται μέσα από τον ηλεκτρονόμο είναι το ίδιο το ρεύμα της γραμμής.

Στα δίκτυα των 20 kV, το πρωτογενές ρεύμα δεν είναι δυνατόν⁽²⁾ να περάσει μέσα από τα όργανα προστασίας, γι' αυτό μετασχηματίζεται με τη βοήθεια των μετασχηματιστών έντασης. Έτσι μέσα από τον ηλεκτρονόμο διέρχεται το πολύ μικρότερο ρεύμα του δευτερεύοντος τυλίγματος, γι' αυτό και ονομάζεται δευτερογενής προστασία (secondary protection)

Υπάρχουν δεκάδες διαφορετικοί τύποι ηλεκτρονόμων προστασίας. Παρακάτω αναφέρουμε τους πιο συνηθισμένους που συναντάμε στα δίκτυα καταναλωτών μέσης τάσης.

- ΗΝ υπερέντασης (Overcurrent relay)
- ΗΝ έλλειψης τάσης (Undervoltage relay)
- ΗΝ σφάλματος προς γή (Ground overcurrent relay)
- ΗΝ διαφορικής προστασίας (Differential protection relay)



Εικόνα 1.6.3 Τα δύο βασικά είδη προστασίας

- α. πρωτογενής προστασία μιας τηκτής ασφάλειας
- β. πρωτογενής προστασία μιας αυτόματης ασφάλειας
- γ. δευτερογενής προστασία σε διακόπτη ισχύος

(1) Σημειώνουμε ότι η αυτόματη ασφάλεια (ή μικροαυτόματος) είναι πρακτικά ένας διακόπτης ισχύος (circuit-breaker) με ενσωματωμένους τους ηλεκτρονόμους (ή στοιχεία) προστασίας, δηλαδή θερμικό και μαγνητικό.

(2) Σε παλιούς υποσταθμούς μπορεί να συναντήσουμε διακόπτες ισχύος 20 kV με πρωτογενή προστασία, δηλαδή το θερμικό και μαγνητικό στοιχείο ήταν πάνω στους πόλους του διακόπτη και με την βοήθεια μονωμένων μοχλών έδινε εντολή στο μηχανισμό ανοίγματος.

1.6.3α Πως είναι κατασκευασμένος ένας ηλεκτρονόμος προστασίας

Μέχρι τη δεκαετία του 1950 οι ηλεκτρονόμοι ήταν ηλεκτρομαγνητομηχανικοί. Αποτελούνταν από μηχανικά μέρη (γρανάζια, ελατήρια, βραχίονες κ.λπ), τα οποία συνεργάζονταν με ηλεκτρομαγνήτες που διεγείρονταν από το δευτερεύον ρεύμα των μετασχηματιστών έντασης. Η έξοδός τους ήταν μια σειρά από βοηθητικές επαφές που έκλειναν και έδιναν έτσι την εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.

Από τη δεκαετία του 1960 οι ηλεκτρονόμοι αυτοί άρχισαν να αντικαθίστανται με ηλεκτρονικούς. Αποτελούνταν από ηλεκτρονικά στοιχεία στερεάς κατάστασης, δηλαδή τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Με την πρόοδο των ψηφιακών ηλε-

κτρονικών οι ηλεκτρονικοί ηλεκτρονόμοι έγιναν πολύ έξυπνοι, δηλαδή συνδυάζουν πολλές λειτουργίες και πολλές ρυθμίσεις.

Σήμερα οι ηλεκτρονόμοι είναι εξ' ολοκλήρου ψηφιακές συσκευές, οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον ένα μικρο-επεξεργαστή που αναλαμβάνει το σύνολο των συμβατικών λειτουργιών του ηλεκτρονόμου προστασίας (Εικόνα 1.6.3α).

Παράλληλα ο μικρο-επεξεργαστής, μπορεί να επικοινωνεί με συστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA), κάτι που είναι πολύ σημαντικό στα πολύπλοκα ηλεκτρικά δίκτυα που υπάρχουν σήμερα.



Ενδεικτικές λυχνίες που μας δείχνουν ποιο είναι το μετρούμενο μέγεθος

Ψηφιακή οθόνη που βλέπουμε:

- τις ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου
- το μετρούμενο μέγεθος, δηλαδή το ρεύμα
- τις αποθηκευμένες τιμές προηγούμενων σφαλμάτων

Κομβίο που μας επιτρέπει να προγραμματίσουμε τη λειτουργία και τις ρυθμίσεις του ΗΝ

Εικόνα 1.6.3α Ψηφιακός ηλεκτρονόμος υπερέντασης και σφάλματος προς γη

1.6.3β Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου (overcurrent relay with definite time-delay)

Ο Η/Ν αυτός περιλαμβάνει για κάθε φάση δύο στοιχεία που είναι τα εξής:

- Στοιχείο υπερφόρτισης (overload operation) με σταθερή χρονική καθυστέρηση, δηλαδή αν το ρεύμα κάποιας φάσης υπερβεί το όριο I_1 αλλά όχι το όριο I_2 (Εικόνα 1.6.3β), θα υπάρξει διέγερση και, ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος, μετά την παρέλευση του σταθερού χρόνου t_1 , ο ηλεκτρονόμος 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 δώσει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.

Συνήθως ο Η/Ν είναι εφοδιασμένος και με

- στοιχείο σφάλματος προς γή, δηλαδή ελέγχει αν

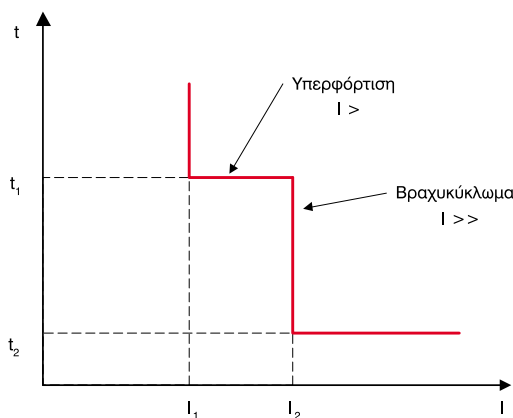
το άθροισμα των τριών ρευμάτων είναι μηδέν⁽¹⁾. Σε περίπτωση σφάλματος κάποιας φάσης προς τη γή, το άθροισμα των τριών ρευμάτων παύει να είναι μηδέν και ο Η/Ν διεγείρεται αμέσως.

Ο τρόπος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου παρίστανται με τη βοήθεια της χαρακτηριστικής ρεύματος-χρόνου (Εικόνα 1.6.3β) που μοιάζει με σκαλοπάτι.

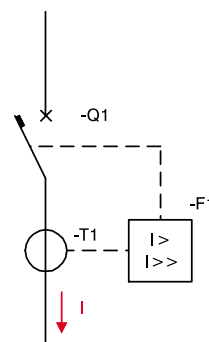
Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I/I_n ($I_n = 5 \text{ A}$) και ο κάθετος άξονας είναι βαθμολογημένος σε s.

Οι ρυθμίσεις (set-points) σε αυτό τον ηλεκτρονόμο είναι οι παρακάτω τρεις:

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



(1)



(2)

Εικόνα 1.6.3β

1. Χαρακτηριστική ρεύματος-χρόνου ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου
2. Λειτουργικό διάγραμμα διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμο σταθερού χρόνου

(1) Πολλές φορές το στοιχείο σφάλματος προς γή, τροφοδοτείται από το δευτερεύον ενός 4ου διαφορικού μετασχηματιστή έντασης. Ο μετασχηματιστής αυτός αποτελείται από ένα στρογγυλό μαγνητικό πυρήνα, μέσα από τον οποίο διέρχονται τα καλώδια 20 kV και των τριών φάσεων, δηλαδή οι αγωγοί των καλωδίων λειτουργούν σαν πρωτεύον τύλιγμα. Σε περίπτωση σφάλματος προς τη γή, το άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων παύει να είναι μηδέν, με αποτέλεσμα στο δευτερεύον τύλιγμα να εμφανίζεται ρεύμα. Σημειώνουμε ότι, η λειτουργία του διαφορικού μετασχηματιστή είναι ακριβώς ίδια με τη λειτουργία του διαφορικού μετασχηματιστή που υπάρχει στους διακόπτες διαφυγής έντασης (αντι-ηλεκτροπληξιακούς διακόπτες) που συναντάμε στους οικιακούς ηλεκτρικούς πίνακες 230/400 V.

1.6.3γ Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντίστροφου χρόνου (overcurrent relay with inverse time-delay)

Ο Η/Ν υπερέντασης σταθερού χρόνου έχει το μειονέκτημα, ότι ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος (εφόσον είναι $< I_2$), περιμένει τον ίδιο χρόνο πριν δώσει την εντολή απόζευξης.

Αυτό μπορεί να είναι μοιραίο για εναέρια δίκτυα ή υπόγεια καλώδια. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούμε τους **Η/Ν αντίστροφου χρόνου**, δηλαδή όσο αυξάνεται το ρεύμα τόσο μειώνεται ο χρόνος διέγερσης (Εικόνα 1.6.3γ). Κατά τ' άλλα ισχύουν αυτά που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο για τον Η/Ν σταθερού χρόνου.

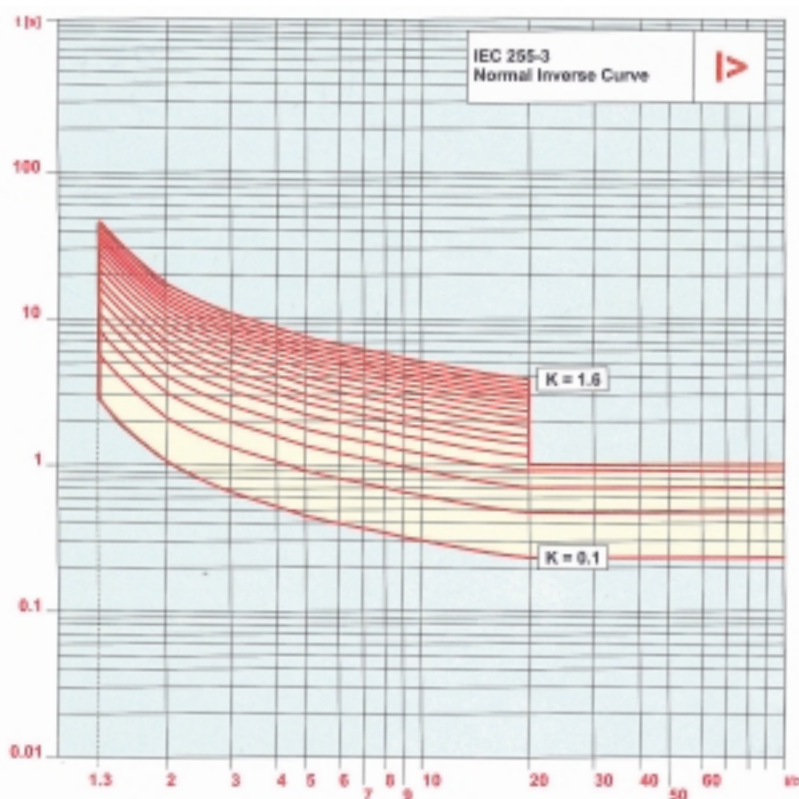
Για να μπορούμε να ρυθμίσουμε τους Η/Ν που υπάρχουν σε ένα εκτεταμένο ηλεκτρικό δίκτυο ώστε να συνεργάζονται σωστά, δηλαδή το στοιχείο προστασίας που είναι πλησιέστερα στο σφάλμα να ανοίγει πρώτο, χρησιμοποιούμε Η/Ν υπερέντασης:

- **πολύ αντίστροφου χρόνου** (very inverse time-delay)
- **υπερβολικά αντίστροφου χρόνου** (extremely inverse time-delay)

Η διαφορά των δύο αυτών Η/Ν από τον Η/Ν αντίστροφου χρόνου είναι στην κλίση χαρακτηριστικών καμπυλών, που είναι πολύ πιο απότομες.

Σήμερα, οι κατασκευαστές Η/Ν διαθέτουν στην αγορά ένα μοντέλο Η/Ν υπερέντασης, που προγραμματίζεται και μας επιτρέπει:

- να επιλέξουμε τον τρόπο λειτουργίας δηλαδή σταθερού, αντιστρόφου κ.λπ. χρόνου
- την καμπύλη λειτουργίας από ένα σμήνος καμπυλών (Εικόνα 1.6.3γ).
- τις ρυθμίσεις $I>$, $I>>$, $t>$, $t>>$ κ.α.



Εικόνα 1.6.3γ Σμήνος καμπυλών αντιστρόφου χρόνου ΗΝ υπερέντασης

1.6.3δ Επιλογική προστασία

Σε περίπτωση σφάλματος στο τέλος της γραμμής, όλα τα στοιχεία προστασίας διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Επομένως πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι από τα τρία στοιχεία προστασίας θα ανοίξει μόνο το F3. Έτσι θα μείνει χωρίς τάση μόνο το κομμάτι της εγκατάστασης που είναι μετά από το F3. Σε αντίθετη περίπτωση, π.χ αν άνοιγε πρώτος ο διακόπτης F2 ή ο F1, τότε θα έβγαине εκτός λειτουργίας ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος της εγκατάστασής μας.

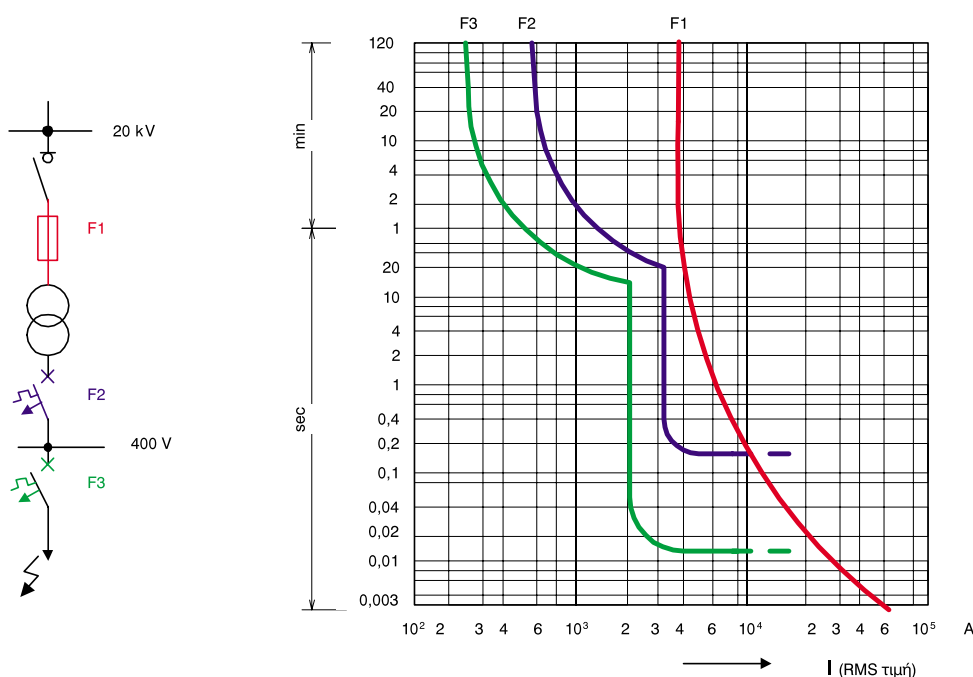
Λέγοντας επιλογική προστασία ή επιλεκτική συνεργασία εννοούμε ότι:

- **το όργανο προστασίας που είναι πλησιέστερο στο σφάλμα πρέπει να διακόπτει πρώτο.**
- **σε περίπτωση αστοχίας θα πρέπει να διακόψει το αμέσως επόμενο όργανο προστασίας κ.ο.κ.**

Για να λειτουργήσει ένα μέσο προστασίας γρηγορότερα από ότι ένα άλλο, εφ'όσον διαρρέονται και τα δύο από το ίδιο ρεύμα, πρέπει ο χρόνος αντίδρασης του πρώτου να είναι μικρότερος απ' ότι ο χρόνος του δεύτερου για το ίδιο ρεύμα. Η χρονική διαφορά πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,4 s.

Η μελέτη της επιλογικής προστασίας γίνεται πάνω σε διπλό λογαριθμικό χαρτί (Εικόνα 1.6.3δ), στο οποίο σχεδιάζουμε με ακρίβεια τις χαρακτηριστικές απόξευξης, όλων των οργάνων προστασίας που βρίσκονται στη διαδρομή του σφάλματος. Πρέπει, η καμπύλη του F1 να είναι κάτω από την καμπύλη του F2, και η καμπύλη του F2 να είναι κάτω από την καμπύλη του F1

Τη μελέτη αυτή την κάνει ο παροχέας μέσης τάσης (δηλαδή η ΔΕΗ), που μας ορίζει σε ποια περιοχή πρέπει να ρυθμίσουμε τους ηλεκτρονόμους του υποσταθμού μας, ώστε σε περίπτωση σφάλματος στον υποσταθμό μας, να μη δημιουργήσουμε πρόβλημα και σε άλλους καταναλωτές.



Εικόνα 1.6.3δ

1. Μονογραμμικό διάγραμμα εγκατάστασης με τα στοιχεία προστασίας F1, F2, F3
2. Οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των F1, F2, F3 σχεδιάζονται στο ίδιο λογαριθμικό χαρτί

1.6.4 Απαγωγείς τάσης (αλεξικέραυνα)

Οι υπερτάσεις στα δίκτυα μέσης τάσης είναι:

- **εξωτερικές**, δηλαδή να προέρχονται από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (κεραυνούς).
- **εσωτερικές**, δηλαδή να προέρχονται από το άνοιγμα ή κλείσιμο διακοπών που τροφοδοτούν επαγωγικά ή χωρητικά φορτία.

Στα δίκτυα 20 kV συναντάμε δύο είδη απαγωγών τάσεων:

- **Σπινθηριστές ακίδων**. Τους συναντάμε συνήθως στους ακροδέκτες μέσης τάσης των μετασχηματιστών.
- **Απαγωγείς τάσεων** με μη γραμμικές αντιστάσεις

Θυμίζουμε ότι για τα δίκτυα των 20 kV οι ονομαστικές τάσεις που χαρακτηρίζουν την αντοχή είναι:

- ενεργός τιμή 24 kV για βιομηχανική συχνότητα 50 Hz και χρόνο απερίοριστο.
- ενεργός τιμή 50 kV για βιομηχανική συχνότητα 50 Hz και χρόνο $t = 1\text{s}$.
- τιμή κορυφής 125 kV για κρουστική τάση μορφής

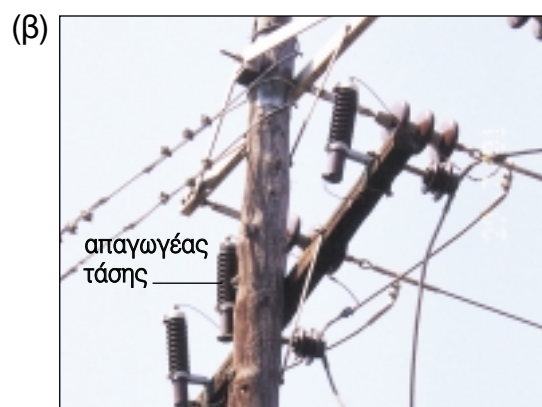
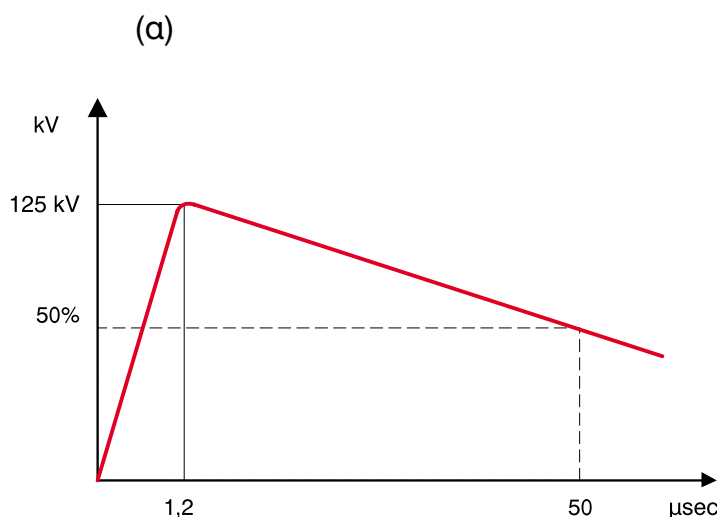
1,2/50 μs (Εικόνα 1.6.4α).

Βλέπουμε δηλαδή ότι η εγκατάστασή μας αντέχει σε διάφορα επίπεδα τάσεων, ανάλογα με το χρόνο διάρκειας της τάσης. Σκοπός των απαγωγών τάσης (surge arresters) είναι να μειώσουν τις υπερτάσεις σε επίπεδα που δεν υπερβαίνουν τις ονομαστικές τάσεις του εξοπλισμού.

Οι απαγωγείς τάσης συνδέονται μεταξύ φάσεων και γης. Όταν η τάση σε κάποια φάση ξεπεράσει κάποια όρια, αυτόματα δημιουργούν αγωγίμο δρόμο προς τη γή, απάγοντας έτσι την υπέρταση στη γείωση. Ο αγωγίμος αυτός δρόμος διαρκεί όσο διαρκεί η υπέρταση, δηλαδή συνήθως κάποια μs ($1\text{ }\mu\text{s} = 1\text{ εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου}$). Όταν τελειώσει η υπέρταση, ο απαγωγέας αυτόματα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

Εγκαθίστανται κοντά στις παροχές των εναέριων γραμμών, ώστε να προστατεύουν την εγκατάσταση από ατμοσφαιρικές υπερτάσεις που εμφανίζονται πάνω στις γραμμές από πτώση κεραυνών (Εικόνα 1.6.4β).

Για λόγους ασφαλείας, το ηλεκτρόδιο γείωσης των απαγωγών είναι διαφορετικό από τις άλλες γειώσεις του υποσταθμού.



Εικόνα 1.6.4 α. Τυποποιημένη μορφή κρουστικής τάσης 1,2/50 μs
β. Απαγωγείς τάσης σε εναέριο δίκτυο 20 kV

1.6.4α Πως είναι κατασκευασμένοι οι απαγωγείς τάσης

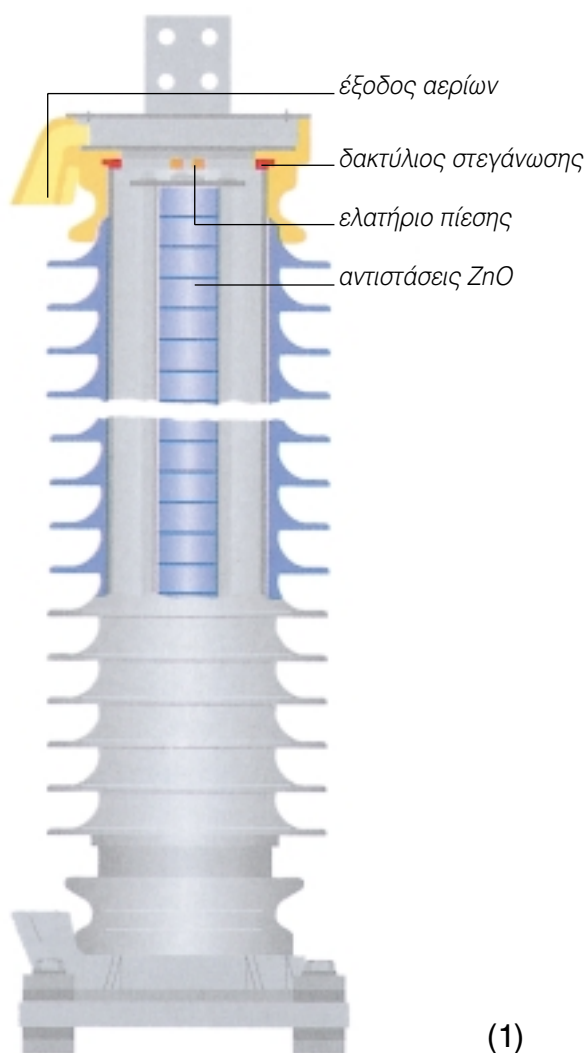
Βασικό μέγεθος για τη σωστή επιλογή των απαγωγέων τάσεων είναι η ηλεκτρική αντοχή της εγκατάστασης (BIL = Basic Insulation Level). Η αντοχή σε κρουστική τάση για τα δίκτυα 20 kV είναι 125 kV.

Οι απαγωγείς τάσης είναι μη γραμμικές αντιστάσεις που φροντίζουν η τάση να μένει κάτω από μια ορισμένη τιμή, την τάση προστασίας.

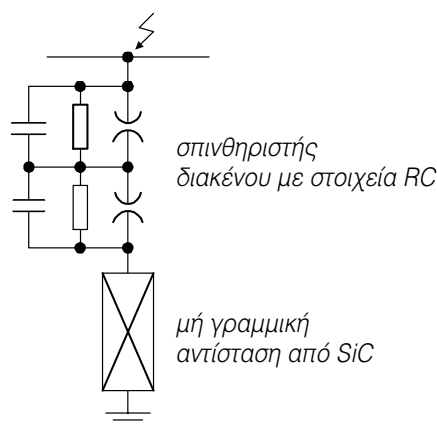
Οι απαγωγείς τάσης αποτελούνται από ένα σπιν-

θηριστή (διάκενο αέρα) σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις από ανθρακικό πυρίτιο (SiC). (Εικόνα 1.6.4α2).

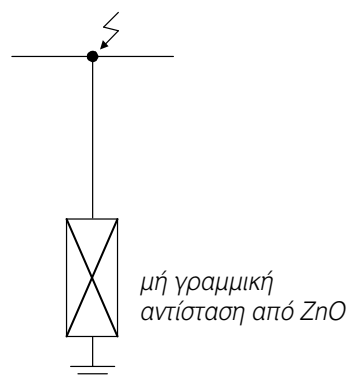
Υπάρχουν και απαγωγείς τάσεων με αντιστάσεις από οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO) που δεν χρειάζονται σπινθηριστή, διότι παρουσιάζουν πιο έντονη μη γραμμικότητα από τις αντιστάσεις του ανθρακικού πυριτίου. Αυτοί δεν χρειάζονται σπινθηριστή, γιατί το ρεύμα στην τάση των 20 kV είναι ασήμαντο. (Εικόνα 1.6.4α3)



(1)



(2)



(3)

Εικόνα 1.6.4α Απαγωγέας τάσης

1. τομή απαγωγέα τάσης με αντιστάσεις ZnO
2. ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγέα τάσης SiC
3. ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγέα τάσης ZnO

1.6.4β Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων

Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσης είναι:

Τάση αφής (Spark-over voltage). Είναι η τάση που ενεργοποιούνται οι απαγωγείς.

Οι κανονισμοί ορίζουν δύο τιμές τάσης αφής:

- σε ενεργό τιμή για βιομηχανική συχνότητα 50 Hz
- σε τιμή κορυφής για κρουστική τάση 1.2/50 μ s

Για απαγωγείς δικτύων 20 kV οι τιμές αυτές είναι αντίστοιχα 38 kV και 79 kV.

Τάση σβέσης (Rated voltage). Είναι η τάση στην οποία απενεργοποιούνται (σβήνουν) με βεβαιότητα οι απαγωγείς. Για τα δίκτυα των 20 kV ή τάση αυτή είναι τα 24 kV.

Ονομαστικό κρουστικό ρεύμα (Rated discharge current). Είναι η κορυφή του κρουστικού ρεύματος

σε kA στο οποίο μπορεί να αντέξει επανειλημμένα ο απαγωγέας. Αυτό είναι 5 kA ή 10 kA για απαγωγείς δικτύων 20 kV. Σε πολύ κεραυνόπληκτες περιοχές (> 20 κεραυνοί ανά έτος και τετραγωνικό χιλιόμετρο) επιλέγονται απαγωγείς των 10 kA.

Αντοχή σε κρουστικά ρεύματα (Impulse withstand current).

Οι κανονισμοί ορίζουν τιμές αντοχής για κρουστικά ρεύματα:

- βραχείας διάρκειας 4/10 μ s
- μακράς διάρκειας 2000 μ s

Για απαγωγείς δικτύων 20 kV οι τιμές αυτές είναι αντίστοιχα 100 kA και 250A.

Ρεύματα πάνω από την αντοχή των απαγωγέων μπορεί να οδηγήσουν σε έκρηξη του απαγωγέα και βραχυκύκλωμα του δικτύου

Παραμένουσα τάση (Residual voltage) Είναι η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του απαγωγέα όταν περνά το κρουστικό ρεύμα. Δίνεται συνήθως για το ονομαστικό κρουστικό ρεύμα (5 kA ή 10 kA) και επιπρόσθετα και για άλλα ρεύματα.

Συσκευές μέτρησης και προστασίας υποσταθμών

Ερωτήσεις

1. Γιατί πρέπει να χρησιμοποιούμε απαραίτητα μετασχηματιστές μέτρησης στη μέση τάση;
2. Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης;
3. Ο υποσταθμός μας έχει ένα Μ/Σ ονομαστικής ισχύος 800 kVA. Στην αρχική σχεδίαση του Υ.Σ. δεν είχε προβλεφτεί η μέτρηση στην πλευρά μέσης τάσης. Τι υλικά πρέπει να παραγγείλουμε και πώς θα τα συνδέσουμε για να βλέπουμε τα ρεύματα στις 3 φάσεις;
4. Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης;
5. Ποια είναι η βασική δουλειά του Η/Ν υπερέντασης; Αν διαπιστώσει σφάλμα σε ποιό δίνει εντολή να δράσει ώστε να περιοριστεί το σφάλμα;
6. Πόσες ρυθμίσεις έχει ένας Η/Ν υπερέντασης σταθερού χρόνου;
7. Πόσες ρυθμίσεις έχει ένας Η/Ν υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου;
8. Τι ονομάζουμε επιλογική προστασία; Δώστε ένα παράδειγμα.
9. Πως λειτουργεί ο απαγωγέας τάσης;

Ασκήσεις

1. Στο μπλοκ σχεδίασης να σχεδιάσετε τρεις Μ/Σ έντασης με ένα δευτερεύον τύλιγμα μέτρησης έκαστος, που τροφοδοτούν
 - α. τρία Α-μετρα.
 - β. ένα Α-μετρο μέσω ενός ειδικού μεταγωγικού διακόπτη Α-μέτρων, όπως περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα.
2. Στο μπλοκ σχεδίασης να σχεδιάσετε τρεις Μ/Σ έντασης με δύο δευτερεύοντα τύλιγματα έκαστος (μέτρηση και προστασία) που τροφοδοτούν
 - α. τρία Α-μετρα.
 - β. ένα τριφασικό Η/Ν σταθερού χρόνου
 - γ. Τι θα συμβεί, αν τα δύο τυλίγματα από λάθος συνδεθούν αντίστροφα, δηλαδή το τύλιγμα μέτρησης στο ΗΝ και το τύλιγμα προστασίας στα Α-μετρα.
3. Στο μπλοκ σχεδίασης να σχεδιάσετε το κύκλωμα της Εικόνας 6.6.2 και να προσθέσετε τρία V-μετρα και ένα 3φασικό Η/Ν έλλειψης τάσης.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΞΗΣ

- 1.7.1** Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης
- 1.7.2** Προκατασκευασμένες κυψέλες με αποζεύκτη φορτίου
- 1.7.3** Προκατασκευασμένες κυψέλες με διακόπτη ισχύος
- 1.7.4** Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα μέσης τάσης
- 1.7.5** Σχέδιο όψης πίνακα μέσης τάσης
- 1.7.6** Κατάλογος υλικών πίνακα μέσης τάσης
- 1.7.7** Λειτουργικά σχέδια πίνακα μέσης τάσης



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

-  να αναφέρουν τα μέρη μιας τυπικής κυψέλης μέσης τάσης.
-  να γνωρίζουν τον τρόπο λειτουργίας του χωρητικού καταμεριστή τάσης που συναντάμε στις κυψέλες μέσης τάσης.
-  να διαβάζουν και να σχεδιάζουν σε μονογραμμική μορφή τα διάφορα είδη κυψελών άφιξης.
-  να αναγνωρίζουν και να σχεδιάζουν σε μονογραμμική μορφή τα διάφορα είδη κυψελών προστασίας με αυτόματο διακόπτη ή αποζεύκτη φορτίου με ασφάλειες HRC.
-  να διαβάζουν και να σχεδιάζουν τα βασικά λειτουργικά διαγράμματα του πίνακα μέσης τάσης ενός απλού υποσταθμού.
-  να διαβάζουν και να συσχετίζουν τη λίστα υλικών με τα λειτουργικά διαγράμματα του πίνακα μέσης τάσης.

1.7 Πίνακες μέσης τάσης

Σε μια εγκατάσταση μέσης τάσης, αν ο παροχέας είναι η ΔΕΗ, έχουμε δύο πίνακες μέσης τάσης, δηλαδή:

- **Πίνακα μέσης τάσης της ΔΕΗ** (αν η παροχή της ΔΕΗ είναι τύπου Β). 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 σ' αυτόν.
- **Πίνακα 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.

Ο πίνακας εγκαθίσταται πάντα σε κλειστό χώρο. Στον πίνακα γίνονται με ασφάλεια όλοι οι χειρισμοί που αφορούν την τάση των 20 kV. Ο πίνακας μέσης τάσης αποτελείται από μία ή περισσότερες κυψέλες ή πεδία.

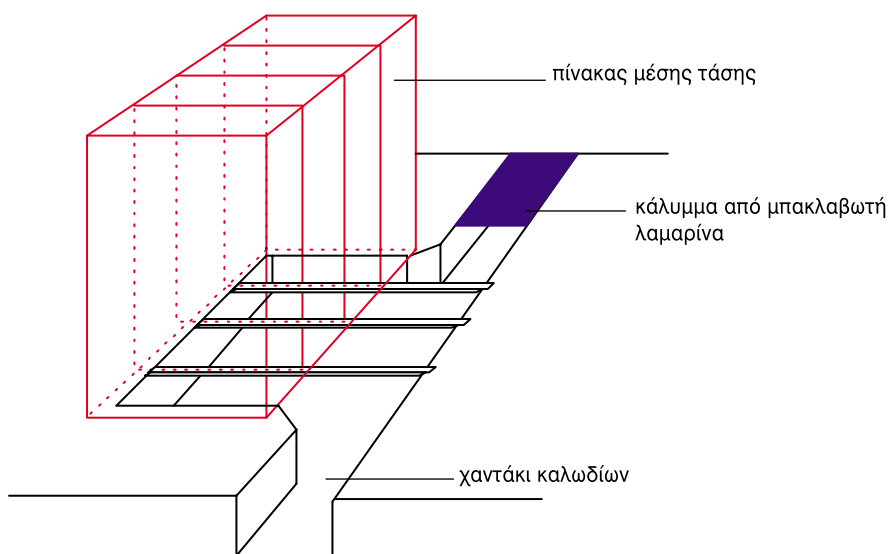
Οι κυψέλες είναι αυτοτελείς κατασκευές που συναρμολογούνται στο εργοστάσιο κατασκευής τους και κατόπιν συνδέονται μεταξύ τους με βίδες για να αποτελέσουν τον τελικό πίνακα.

Οι διαστάσεις των κυψελών ποικίλλουν, αλλά γενικά ισχύουν οι παρακάτω διαστάσεις:

- Πλάτος 0,70 έως 1,30 m
- Βάθος 1,00 έως 1,50 m
- Ύψος 1,50 έως 2,30 m

Τα καλώδια συνήθως έρχονται από το κάτω μέρος του πίνακα, γι'αυτό και θα πρέπει να προβλέπονται ειδικά χαντάκια στο κάτω μέρος του πίνακα (Εικόνα 1.7).

Τα τοιχώματα των κυψελών είναι από χαλυβδοελάσματα πάχους 2 έως 3 mm. Έτσι σε περίπτωση τόξου σε μια κυψέλη το σφάλμα περιορίζεται σ' αυτήν.



Εικόνα 1.7 Πίνακας μέσης τάσης με χαντάκι καλωδίων στο κάτω μέρος του

1.7.1 Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης

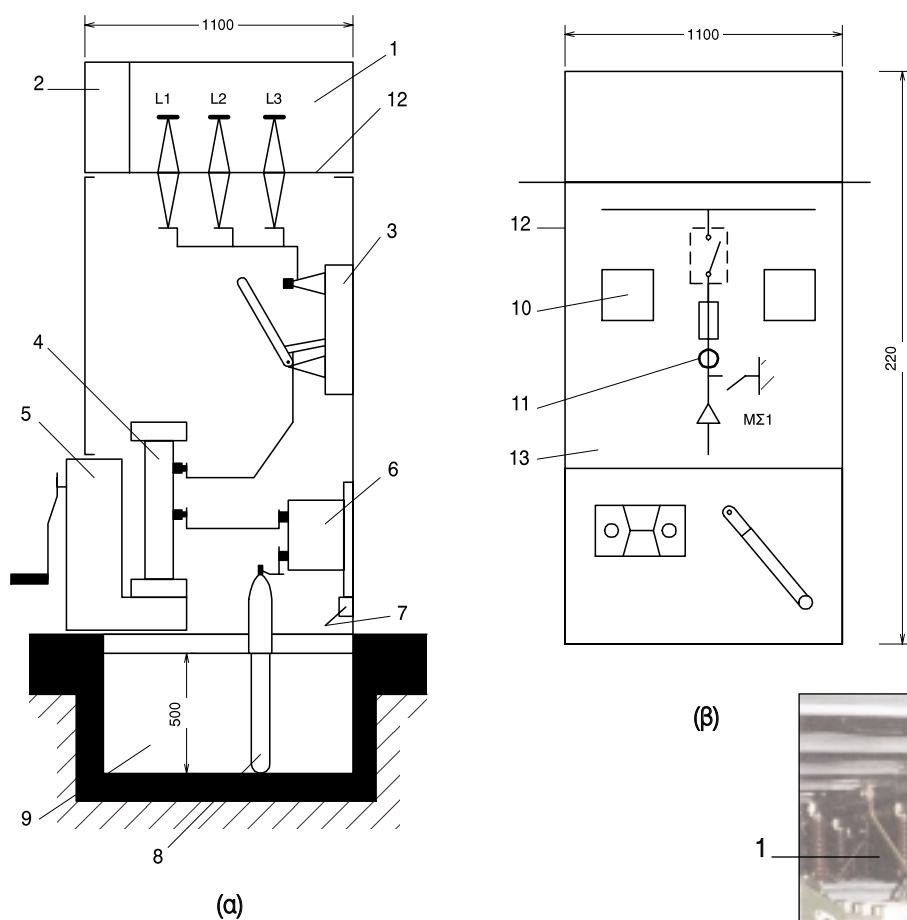
Στην εικόνα 1.7.1 βλέπουμε το σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής κυψέλης προστασίας για αναχωρήσεις καλωδίων ή του μετασχηματιστή ισχύος.

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 της Εικόνας 1.7.1 έχουν αριθμηθεί τα διάφορα μέρη της με τους αριθμούς 1 έως 12 και περιγράφονται παρακάτω:

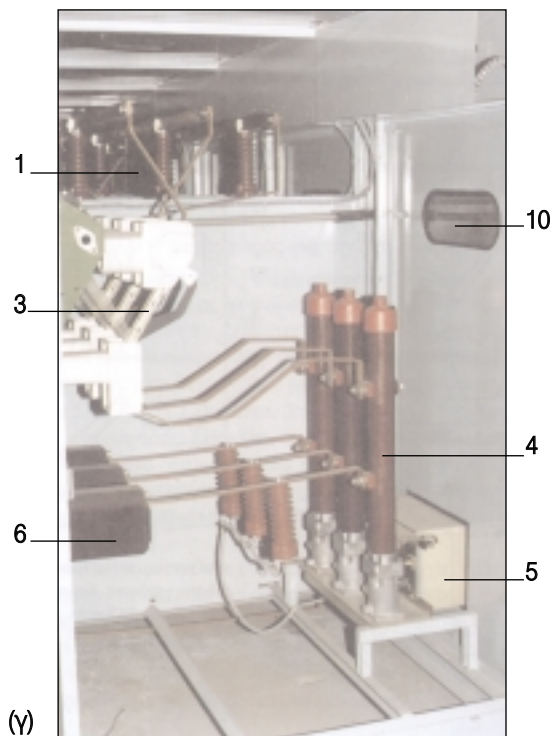
- 1. Διαμέρισμα ζυγών μέσης τάσης.** Οι χάλκινες μπάρες (ζυγοί) κατασκευάζονται από ηλεκτρολυτικό χαλκό διατομής τουλάχιστον 40x5 mm. Στηρίζονται σε μονωτήρες εποξειδικής ρητίνης με ύψος τουλάχιστον 210 mm και βιδώνονται με καδμιωμένους κοχλίες M12.
- 2. Διαμέρισμα χαμηλής τάσης.** Στο διαμέρισμα αυτό υπάρχουν οι κλεμμοσειρές στις οποίες καταλήγουν όλα τα ηλεκτρικά μέρη της κυψέλης, όπως τα δευτερεύοντα τυλίγματα των μετασχηματιστών μέτρησης, οι βοηθητικές επαφές και τα πηνία λειτουργίας του διακόπτη ισχύος κ.λπ. Στην πόρτα του διαμερίσματος υπάρχουν τα όργανα μέτρησης (π.χ Α-μετρα), και τα όργανα προστασίας (π.χ ηλεκτρονόμος υπερέντασης).
- 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 SF₆** 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 κ.α. 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 τυλίγματα 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 υποσταθμού. Συνήθως είναι τρία μονοπολικά καλώδια τύπου N2XSΥ με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο XLPE, διατομής 50 mm². Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στον τερματισμό των καλωδίων με τη χρήση των ειδικών ακροκεφαλών.

(*) μανδαλωμένος σημαίνει ότι ο γειωτής δε μπορεί να κλείσει αν δεν έχει ήδη ανοίξει ο αποζεύκτης φορτίου αλλά και αντίστροφα, ο αποζεύκτης φορτίου δε μπορεί να κλείσει αν δεν έχει ανοίξει προηγουμένως ο γειωτής



Εικόνα 1.7.1 Διάταξη κυψέλης προστασίας με διακόπτη ισχύος σταθερού τύπου
α. τομή-πλάγια όψη
β. πρόσοψη
γ. φωτογραφία από το εσωτερικό της κυψέλης

(β)



(γ)

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 $R = 0,5 \text{ m}$ που δεν πρέπει να υπερβούμε, αλλιώς θα τραυματίσουμε τη μόνωσή τους.

10. Παράθυρο ελέγχου του εσωτερικού της κυψέλης και ειδικότερα της θέσης του αποζεύκτη φορτίου.
11. Μονογραμμικό διάγραμμα της συνδεολογίας της κυψέλης στη μπροστινή επιφάνεια.
12. Χωρίσματα από χαλυβδοέλασμα (λαμαρίνα) πάχους 2 mm.

1.7.2 Προκατασκευασμένες κυψέλες με αποζεύκτη φορτίου

Στην Εικόνα 1.7.2α βλέπουμε μια σειρά από προκατασκευασμένες κυψέλες μιάς βιομηχανίας κατασκευής ηλεκτρολογικού υλικού. Για κάθε κυψέλη έχουμε το σχέδιο:

- της μπροστινής όψης
- του μονογραμμικού της διαγράμματος (με πράσινο χρώμα)

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των κυψελών είναι ότι περιέχουν ένα περιστροφικό διακόπτη φορτίου τριών θέσεων (ON-OFF-EARTH) με μονωτικό μέσο το αέριο SF₆.

Στη μπροστινή επιφάνεια καθε κυψέλης, υπάρχει σχεδιασμένο το μιμικό διάγραμμα της. Στο μιμικό διάγραμμα φαίνεται εκτός από το μονογραμμικό διάγραμμα της κυψέλης και η κατάσταση του διακόπτη (ανοικτός - κλειστός).

Κυψέλες άφιξης

Οι κυψέλες 1, 2, 3 περιέχουν μόνο αποζεύκτες φορτίου. Οι κυψέλες 1 και 2 χρησιμοποιούνται ως κυψέλες άφιξης. Τα καλώδια έρχονται (αφικνούνται) από το κάτω μέρος της κυψέλης.

Η κυψέλη 2 διαφέρει από την κυψέλη 1 στο ότι περιέχει και μετασχηματιστές τάσης ή έντασης για μέτρηση/προστασία. Γι' αυτό έχει μεγαλύτερο πλά-

τος από τις δύο άλλες.

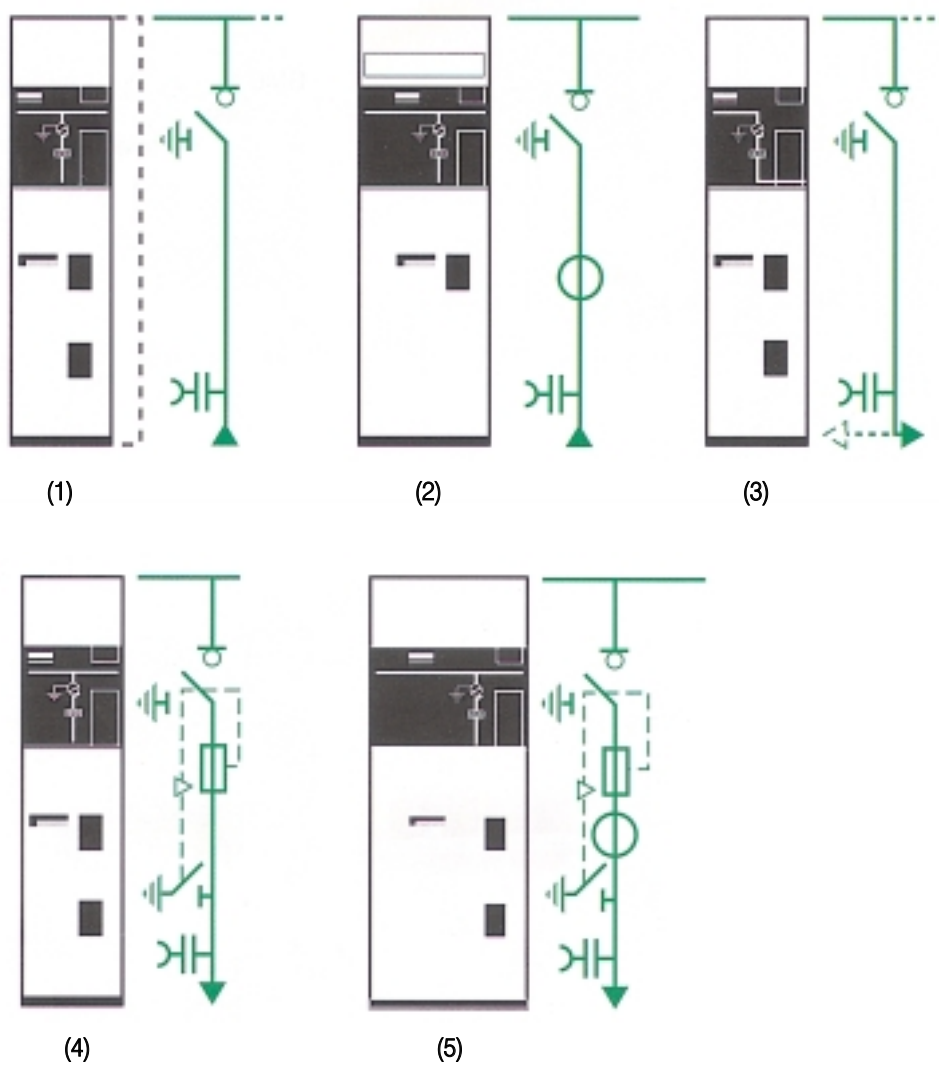
Η κυψέλη 3 χρησιμοποιείται για **τομή ζυγών**, δηλαδή, όταν θέλουμε να διακόψουμε τους ζυγούς των 20 kV σε δύο ανεξάρτητα συστήματα. Την κυψέλη 3 τη συναντάμε σε πιο σύνθετους υποσταθμούς.

Κυψέλες χειρισμού-προστασίας

Οι κυψέλες 4 και 5 συνδυάζουν τον αποζεύκτη-φορτίου με ασφάλειες HRC, συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν κυψέλες προστασίας του μετασχηματιστή ή της αναχώρησης (καλωδίου) προς άλλο υποσταθμό.

Η διακεκομένη γραμμή που συνδέει την ασφάλεια με το διακόπτη μας δείχνει, ότι σε περίπτωση που θα λειτουργήσει κάποια από τις τρεις ασφάλειες, τότε αυτόματα ανοίγει ο διακόπτης φορτίου.

Η διακεκομένη γραμμή με το τριγωνάκι που συνδέει το διακόπτη με το γειωτή στην πλευρά του καλωδίου, μας δείχνει ότι υπάρχει αλληλοδέσμευση (μανδάλωση) μεταξύ τους. Δηλαδή, δεν μπορούμε να κλείσουμε το γειωτή, αν δεν έχει ανοίξει πρώτα ο διακόπτης αλλά και το αντίστροφο, δηλαδή δε μπορούμε να κλείσουμε το διακόπτη, αν δεν έχει ανοίξει πρώτα ο γειωτής.



Εικόνα 1.7.2α Προκατασκευασμένες κυψέλες 20 kV με αποζεύκτη φορτίου όπως εμφανίζονται στα φυλλάδια των εταιριών

1. κυψέλη άφιξης
2. κυψέλη άφιξης με μέτρηση στο καλώδιο
3. κυψέλη τομής ζυγών
4. κυψέλη χειρισμού-προστασίας M/Σ
5. κυψέλη χειρισμού-προστασίας M/Σ με μέτρηση

Μονωτήρας με χωρητικό καταμεριστή τάσης

Στο κάτω μέρος κάθε κυψέλης (Εικόνα 1.7.2α) υπάρχουν τρεις μονωτήρες με ενσωματωμένους χωρητικούς καταμεριστές τάσης.

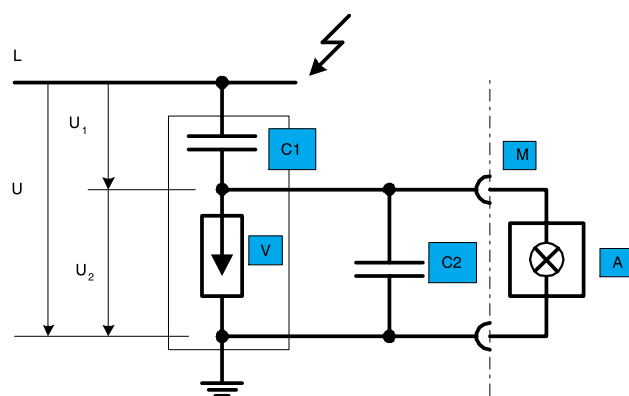
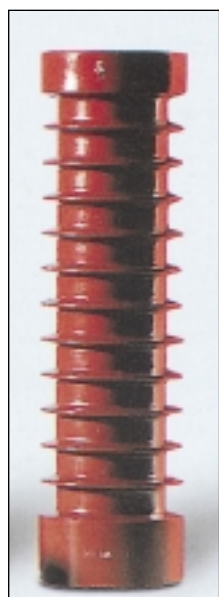
Οι καταμεριστές τάσης τροφοδοτούν τρεις ενδεικτικές λυχνίες αίγλης, που βρίσκονται στη μπροστινή όψη της κυψέλης, για να βλέπουμε αν υπάρχει τάση ⁽¹⁾ στα καλώδια. Η τεχνική αυτή είναι μια οικονομική λύση για τον έλεγχο ύπαρξης τάσης στα δίκτυα 20 kV.

Στην Εικόνα 1.7.2β, βλέπουμε την αρχή λειτουργίας του χωρητικού καταμεριστή. Στο εσωτερικό του μονωτήρα, κατά τη χύτευσή του, ενσωματώθηκε ένας κεραμικός πυκνωτής (C_1) και ένας απαγωγέας τάσης (V). Η μια άκρη του απαγωγέα τάσης γειώνεται με τον κοχλία στήριξης του μονωτήρα, και η άλλη άκρη καταλήγει στον πυκνωτή C_2 . Το σύστημα των δύο εν σειρά πυκνωτών λειτουργεί, όπως γνωρίζουμε από την ηλεκτροτεχνία, σαν καταμεριστής τάσης, δηλαδή η τάση U_2 είναι μέρος της U .

Η τάση U_2 υπολογίζεται από τον τύπο:

$$U_2 = U \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

Αν οι τιμές των δύο πυκνωτών εκλεγούν κατάλληλα, τότε για $U = 20.000 \text{ V}$ έχουμε $U_2 = 100 \text{ V}$ περίπου. Παράλληλα με το C_2 συνδέεται μια λυχνία αίγλης ονομαστικής τάσης 100 V που ανάβει, όταν υπάρχει η τάση U .



- L = αγωγός μέση τάσης
- U = τάση λειτουργίας
- U_1 = τάση στα άκρα του πυκνωτή C_1
- U_2 = τάση στα άκρα του πυκνωτή C_2
- C_1 = πυκνωτής ζεύξης με τη μέση τάση
- C_2 = πυκνωτής χαμηλής τάσης
- V = απαγωγέας τάσης (αλεξικέραυνο)
- A = φως με ενδεικτική λυχνία αίγλης

Εικόνα 1.7.2β Μονωτήρας με χωρητικό καταμεριστή τάσης για την ένδειξη τάσης
1. φυσική μορφή του μονωτήρα
2. η αρχή λειτουργίας

(1) Η αρχή λειτουργίας του χωρητικού καταμεριστή θυμίζει το δοκιμαστικό κατσαβίδι που χρησιμοποιούμε στα δίκτυα 230/400 V για να ελέγχουμε αν υπάρχει τάση. Η διαφορά είναι ότι στο δοκιμαστικό κατσαβίδι ο καταμεριστής τάσης αποτελείται από δύο αντιστάσεις (ωμικός καταμεριστής) στη θέση των πυκνωτών.

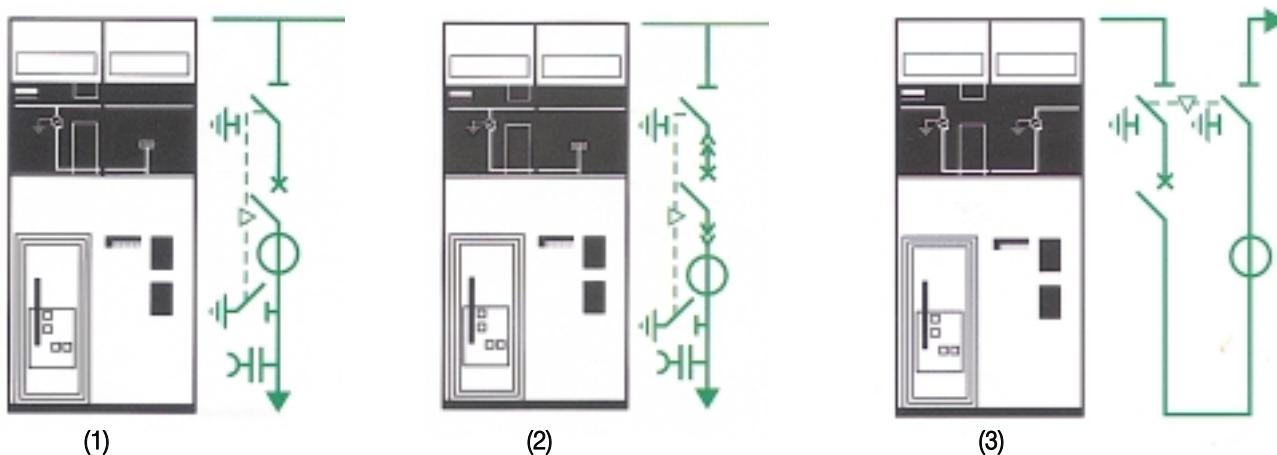
1.7.3 Προκατασκευασμένες κυψέλες με διακόπτη ισχύος

Στην Εικόνα 1.7.3 βλέπουμε μια σειρά από προκατασκευασμένες κυψέλες μιάς βιομηχανίας κατασκευής ηλεκτρολογικού υλικού. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των κυψελών είναι, ότι περιέχουν ένα διακόπτη ισχύος SF₆ και έναν ή δύο αποζεύκτες SF₆.

Παρατηρούμε ότι στις κυψέλες της Εικόνας 1.7.3 χρησιμοποιούνται μόνο αποζεύκτες, σε αντίθεση με τις κυψέλες της Εικόνας 1.7.2α που χρησιμοποιούνται αποζεύκτες φορτίου. Ο λόγος είναι ότι το ρεύμα φορτίου διακόπτεται από το διακόπτη ισχύος, συνεπώς χρειαζόμαστε ένα απλό αποζεύκτη για να πετύχουμε την απομόνωση.

Σε γενικές γραμμές ισχύουν οι παρατηρήσεις της προηγούμενης παραγράφου 1.7.2, με τις εξής προσθήκες:

1. Οι κυψέλες 1 και 2 χρησιμοποιούνται ως **κυψέλες χειρισμού-προστασίας** του μετασχηματιστή ή της αναχωρήσης (καλωδίου) προς άλλο υποσταθμό. Το στοιχείο προστασίας είναι ο διακόπτης ισχύος σε συνδυασμό με τους μετασχηματιστές έντασης και τον ηλεκτρονόμο προστασίας. Για να απομονώσουμε το Μ/Σ, πρέπει να ανοίξουμε και τους δύο διακόπτες με τη σειρά, πρώτα το διακόπτη ισχύος και κατόπιν τον αποζεύκτη.
2. Οι κυψέλες 1 και 2 μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ως **κυψέλες άφιξης**.
3. Στην κυψέλη 1 ο διακόπτης ισχύος είναι σταθερός, ενώ στην κυψέλη 2 ο διακόπτης ισχύος είναι συρταρωτός. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η συντήρηση της κυψέλης 2 είναι πιο εύκολη, διότι ο διακόπτης ισχύος σύρεται έξω από την κυψέλη. Αντίθετα στην κυψέλη 1, πρέπει να λύσουμε τις βίδες που συνδέουν το διακόπτη με τα υπόλοιπα στοιχεία της κυψέλης.
4. Η κυψέλη 3 ονομάζεται **κυψέλη τομής ζυγών**, διότι χωρίζει τους ζυγούς των 20 kV σε δύο ανεξάρτητα συστήματα ζυγών.



Εικόνα 1.7.3 Προκατασκευασμένες κυψέλες 20 kV με διακόπτη ισχύος

1. Κυψέλη προστασίας με σταθερό διακόπτη ισχύος
2. Κυψέλη προστασίας με συρταρωτό διακόπτη ισχύος
3. Κυψέλη τομής ζυγών με διακόπτη ισχύος και αλληλοδεσμευμένους αποζεύκτες φορτίου

1.7.4 Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα μέσης τάσης

Το πρώτο και βασικό σχέδιο του πίνακα μέσης τάσης είναι το μονογραμμικό σχέδιο (ή διάγραμμα). Ο τρόπος σχεδίασής του υπακούει στους βασικούς κανόνες παραγωγής του ηλεκτρολογικού σχεδίου, δηλαδή γίνεται σε χαρτί A4 όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.7.4. Γύρω από το χαρτί σχεδιάζεται ένα διπλό πλαίσιο και δημιουργείται ένας οριζόντιος κάρναβος με τα γράμματα **A, B, C, D, E, F** και ένας κάθετος κάρναβος με τους αριθμούς **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8**. Έτσι, κάθε περιοχή του σχεδίου χαρακτηρίζεται από τις συντεταγμένες του. Για παράδειγμα, ο διακόπτης ισχύος της κυψέλης άφιξης

βρίσκεται στις συντεταγμένες A3. Οι συντεταγμένες, όπως θα δούμε παρακάτω, μας βοηθάνε στη γρήγορη εύρεση των επαφών των υλικών.

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε το μονογραμμικό σχέδιο του πίνακα των 20 kV.

Το μονογραμμικό σχέδιο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή του μια κυψέλη του πίνακα των 20 kV. Κάτω από κάθε γραμμή υπάρχει ένας κατάλογος με τα υλικά που αναφέρονται στο μονογραμμικό και συνεπώς στα υλικά που υπάρχουν στην κυψέλη.

Πάνω από τις μπάρες γράφεται :

- η ονομαστική τάση (24 kV)
- το ονομαστικό ρεύμα (1250 A)
- η αντοχή σε βραχυκύκλωμα (25 kA RMS), 50 kA κορυφή

Κάθε υλικό προσδιορίζεται από τον κωδικό του π.χ - **Q00**

ο κωδικός προσδιορισμού ξεκινά πάντα με παύλα -, ακολουθεί ένα γράμμα και κατόπιν ένας α/α.

Για τα πιο συνηθισμένα, το γράμμα αυτό είναι :

Q = διακόπτης κύριος

F = στοιχείο προστασίας, π.χ ασφάλεια, αυτόματος διακόπτης

T = μετασχηματιστής

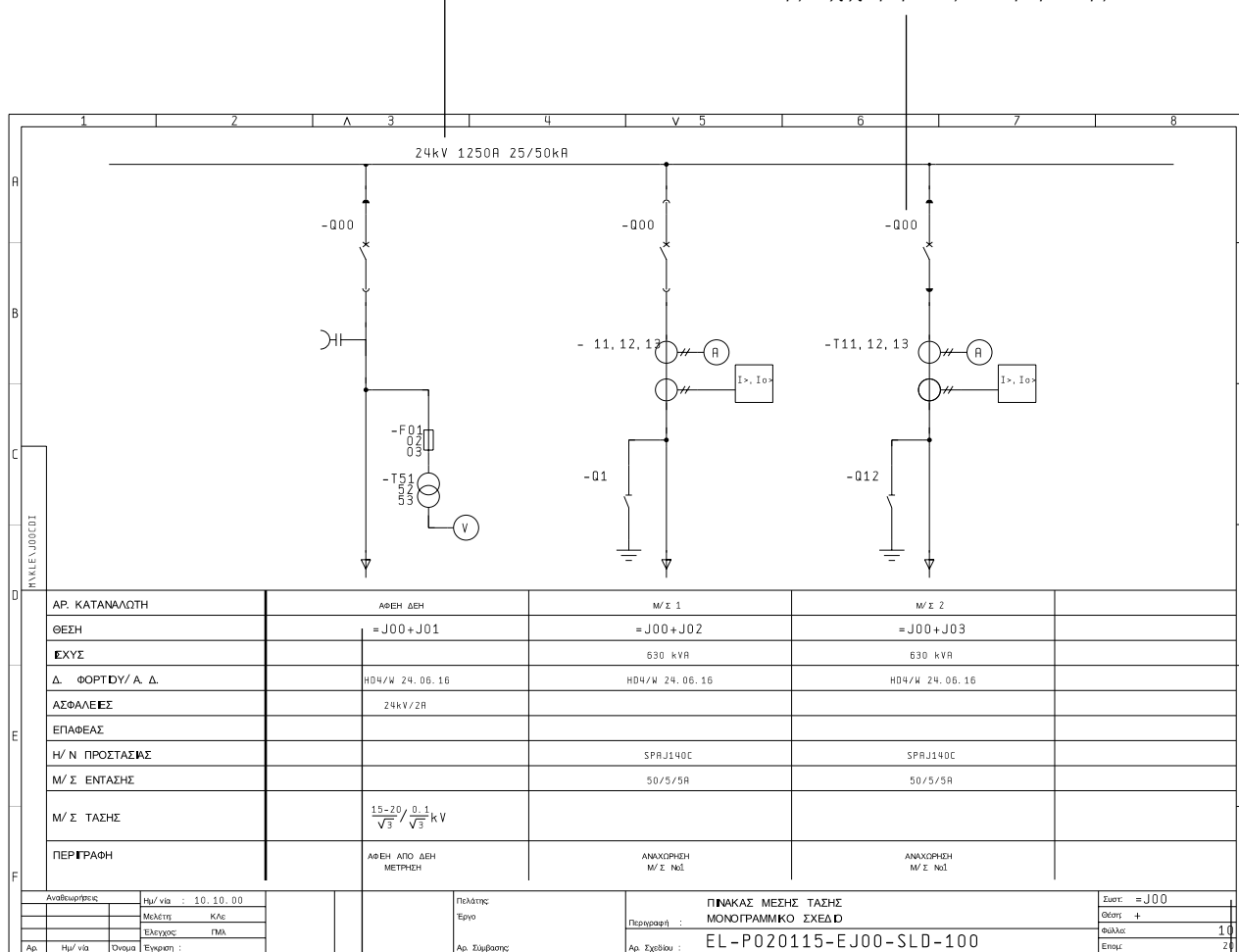
H = ενδεικτική λυχνία

S = διακόπτης ελέγχου, μπουτόν

K = ρελέ

P = όργανο μέτρησης π.χ Α-μετρο

C = πυκνωτής π.χ χωρητικός καταμεριστής



Κάτω από το μονογραμμικό διάγραμμα κάθε κυψέλης υπάρχει μια σύντομη περιγραφή του κύριου εξοπλισμού που υπάρχει στην κυψέλη

Η θέση της κυψέλης προσδιορίζεται από το σύστημα στο οποίο ανήκει (=J00) και την θέσης της (+J01). Το σύστημα ξεκινά με το ίσον = ενώ η θέση με το συν +

Εικόνα 1.7.4 Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα 20 kV

1.7.5 Σχέδιο όψης πίνακα μέσης τάσης

Στην Εικόνα 1.7.5 βλέπουμε την όψη ενός πίνακα 20 kV που αποτελείται από τρεις κυψέλες. Το μονογραμμικό του πίνακα φαίνεται στην Εικόνα 1.7.5.

Τον πίνακα αυτό τον συναντάμε σε υποσταθμούς με δύο Μ/Σ. Η πρώτη, από αριστερά, είναι η κυψέλη άφιξης (J01). Οι επόμενες δύο κυψέλες (J02 και J03) είναι οι κυψέλες χειρισμού-προστασίας των Μ/Σ, μία για κάθε Μ/Σ.

Ο πίνακας αυτός θα χρησιμοποιηθεί και στις επόμενες παραγράφους ως τυπικό παράδειγμα που θα μας επιτρέψει να γνωρίσουμε τα διάφορα ηλεκτρολογικά σχέδια που υπάρχουν σε έναν υποσταθμό.

Στην Εικόνα 1.7.5 μπορούμε να ξεχωρίσουμε τα

διαμερίσματα που χωρίζεται κάθε κυψέλη, δηλαδή:

- το κάτω μέρος είναι το διαμέρισμα των καλωδίων και των ακροκιβωτίων
- το μεσαίο μέρος είναι το διαμέρισμα που βρίσκεται ο διακόπτης ισχύος SF₆
- το πάνω μέρος είναι το διαμέρισμα χαμηλής τάσης

Στα διαμερίσματα χαμηλής τάσης, έχουν σχεδιασθεί τα όργανα μέτρησης και προστασίας. Παρατηρήστε ότι στην κυψέλη J01 υπάρχει ένα V-μετρο με μεταγωγικό διακόπτη. Στις κυψέλες J02 και J03 υπάρχουν από τρία Α-μετρα, ένας ΗΝ προστασίας και έξι ενδεικτικές λυχνίες ή μπουτόν.

Παρατηρούμε ότι κάθε κυψέλη χαρακτηρίζεται από τον κωδικό της, π.χ η πρώτη κυψέλη με το συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών = **J00 + J01**

Το 1ο μέρος χαρακτηρίζει το συγκρότημα, δηλαδή τον Πίνακα 20 kV

Το 2ο μέρος χαρακτηρίζει τη θέση της κυψέλης στο συγκρότημα

Χαρακτηρισμός συγκροτήματος (=)

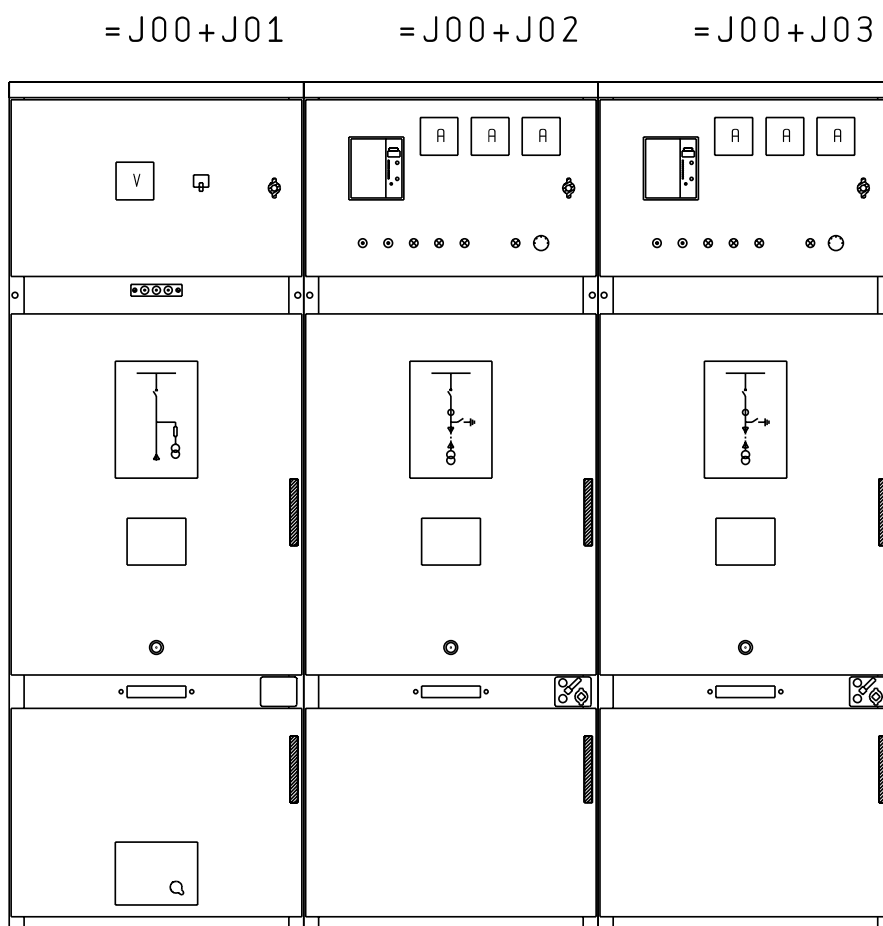
Κάθε συγκρότημα που υπάρχει στον υποσταθμό χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό κωδικό. Ο κωδικός του συγκροτήματος ξεκινά με το σύμβολο = και ακολουθεί ένα γράμμα (το **J**) και αμέσως μετά ένας διψήφιος αριθμός (**00** για το πρώτο συγκρότημα).

Αλλα συγκροτήματα που συναντάμε στον υποσταθμό είναι:

- ο μετασχηματιστής, που χαρακτηρίζεται με τον κωδικό =**T00**
- ο γενικός πίνακας 400 V, που χαρακτηρίζεται με τον κωδικό =**N00**

Χαρακτηρισμός θέσης (+)

Κάθε κυψέλη χαρακτηρίζεται από τη θέση της στο συγκρότημα. Ο κωδικός της θέσης ξεκινά με το σύμβολο +, ακολουθεί ένα γράμμα (το **J**) και αμέσως μετά ένας διψήφιος αριθμός (**01** για την πρώτη, **02** για τη δεύτερη κ.ο.κ.).



Εικόνα 1.7.5 Μπροστινή όψη πίνακα 20 kV

5.7.6 Κατάλογος υλικών πίνακα μέσης τάσης

Τόσο κατά το στάδιο της κατασκευής του πίνακα μέσης τάσης, όσο και στο στάδιο της λειτουργίας και συντήρησής του, πρέπει να γνωρίζουμε για κάθε κυψέλη τα υλικά που περιέχει, τον τύπο κάθε υλικού και τον κατασκευαστή του. Για παράδειγμα, θέλουμε να παραγγείλουμε για λόγους ασφαλείας, έναν εφεδρικό διακόπτη ισχύος. Το μονογραμμικό σχέδιο αλλά και τα λειτουργικά σχέδια δεν περιέχουν τέτοιες πληροφορίες. Τη λύση τη δίνει ο κατάλογος υλικών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.7.6.

Ο προσδιορισμός του υλικού π.χ **-Q01** είναι βασικό στοιχείο για την εύρεσή του στον κατάλογο με τα υλικά της κυψέλης

Στη στήλη ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ υπάρχει μια σύντομη περιγραφή του υλικού με έμφαση στα **ηλεκτρικά χαρακτηριστικά** του

Στη στήλη ΤΥΠΟΣ υπάρχει ο τύπος ή αριθμός καταλόγου του υλικού. Σε συνδυασμό με τον κατασκευστή, μας επιτρέπει να παραγγείλουμε ανταλλακτικά για τον υποσταθμό.

A/A	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΥΠΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	-K30	ΒΟΗΘ. ΡΕΛΑΙ, 220VAC, 4 ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ	55.34.8.230 + 94.74			
	-K31					
	-K32					
	-Q01	ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ SF6, 3-ΠΟΛΙΚΟΣ, ΣΥΡΟΜΕΝΟΣ 24kV, 630A, 16A, ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕ: - ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΤΑΝΥΣΗΣ 220VAC - ΠΗΝΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ) 110V DC - ΠΗΝΙΟ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ 220VAC - ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΗ ΦΡΑΓΗΣ 220VAC - ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ 4NO+5NC - ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ SF6 ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΜΕΣ, ΤΡΕΙΣ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΗΝΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 220VAC	HD4/W 24.06.16			
	-S10	ΚΟΜΒΙΟ, 1NO, ΚΟΚΚΙΝΟ, Φ22	CBK			
	-S40	ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗΣ ΧΩΡΟΥ, 0-40°C	TR/711N/0-40°			
	-T51	Μ/Σ ΤΑΣΗΣ 15: V3-20: V3/0,1: V3kV, 100VA-cl, 1	EPR 20F			
	-T52					
	-T53					
	-H1	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΑΣΗΣ	CL-495-1			
	-S11	ΚΟΜΒΙΟ, 1NO, ΠΡΑΣΙΝΟ, Φ22	CBK			

Αναθεωρήσεις	Ημερομηνία	Πελάτης	ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	Συστ.	=J00
	10 10 2000	Έργο	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ	Θέση	+J01
	Μελέτη Κ/ε	Αρ.	Περιγραφή	Φύλλο	101
	Έλεγχος Γ.ΜΑ	Συμβ.	Αρ. Σχεδίου	Επόμενο	102
	Έγκριση		EL-P020115-EJ00-PLI-100		

Ο κατάλογος υλικών αποτελεί μέρος του φακέλου με τα σχέδια του υποσταθμού. Έτσι κάθε φύλλο του αριθμείται π.χ **101** και το επόμενο φύλλο είναι το **102**

Για να ξέρουμε σε ποια κυψέλη αναφέρεται ο κατάλογος υλικών, σε κάθε σελίδα γράφεται το σύστημα **(=J00)** και η θέση **(+J01)**, δηλαδή βρισκόμαστε στην κυψέλη άφιξης

Πίνακες μέσης τάσης

Ερωτήσεις

1. Ποια καλώδια αφικνούνται (έρχονται) και ποια καλώδια αναχωρούν (φεύγουν) από τον πίνακα μέσης τάσης;
2. Στον υποσταθμό μας έχουμε δύο Μ/Σ των 400 kVA.
Πόσες κυψέλες και ποιές πρέπει να έχει ο πίνακας μέσης τάσης;
3. Σε πόσα διαμερίσματα χωρίζεται κάθε κυψέλη;
4. Πως λειτουργεί ο μονωτήρας με το χωρητικό καταμεριστή;

Ασκήσεις

1. Στο μπλοκ σχεδίασης να σχεδιάσετε τα πολυγραμμικά διαγράμματα των κυψελών της Εικόνας 1.7.2
2. Στο μπλοκ σχεδίασης να σχεδιάσετε τα πολυγραμμικά διαγράμματα των κυψελών της Εικόνας 1.7.3

8

Ενότητα 1.8

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

- 1.8.1** Αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων κινητήρων
- 1.8.2** Μόνωση των τυλιγμάτων του στάτη
- 1.8.3** Ψύξη των κινητήρων μέσης τάσης
- 1.8.4** Προστασία των κινητήρων μέσης τάσης
- 1.8.5** Ομαλός εκκινητής μέσης τάσης
- 1.8.6** Ρύθμιση στροφών κινητήρων μέσης τάσης με μεταβολή της συχνότητας



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να γνωρίζουν την αρχή λειτουργίας του ασύγχρονου κινητήρα.
- ☞ να ξεχωρίζουν τις κατασκευαστικές ιδιομορφίες της μόνωσης των τυλιγμάτων στους κινητήρες μέσης τάσης.
- ☞ να αναφέρουν τον τρόπο ψύξης στους κινητήρες μέσης τάσης.
- ☞ να διακρίνουν τις διάφορες προστασίες που εφαρμόζουμε στους κινητήρες μέσης τάσης.
- ☞ να αναφέρουν την αρχή λειτουργίας του ομαλού εκκινήτη με θυρίστορ.
- ☞ να απαριθμούν τα πλεονεκτήματα της ομαλής εκκίνησης.
- ☞ να αναφέρουν συγκεκριμένες εφαρμογές όπου η ρύθμιση των στροφών είναι βασικό στοιχείο στη λειτουργία του φορτίου.

1.8 Κινητήρες μέσης τάσης

Σε μεγάλους ηλεκτρικούς καταναλωτές, όπως είναι τα αντλιοστάσια, οι βιομηχανίες, τα λατομεία, οι ταινιόδρομοι, οι σταθμοί παραγωγής κ.ά, απαιτείται η ηλεκτρική κίνηση μηχανημάτων με ισχύ πολλών εκατοντάδων kW.

Οι κινητήρες χαμηλής τάσης (400 V) που υπάρχουν στην αγορά περιορίζονται σε ονομαστική ισχύ μέχρι τα 300 kW περίπου. Πάνω από αυτή την ισχύ, το ρεύμα του κινητήρα είναι τόσο μεγάλο που η κατασκευή των τυλιγμάτων τους είναι πολύ δύσκολη και αντιοικονομική. Από την άλλη πλευρά, οι μεγάλοι καταναλωτές είναι υποχρεωτικά καταναλωτές μέσης τάσης. Έτσι καταλήγουμε στους κινητήρες μέσης τάσης, με ονομαστική τάση 3 kV, 6 kV, ή 10 kV.

Οι κινητήρες που συνήθως συναντάμε είναι κινητήρες των 6 kV που συνδέονται στο δίκτυο των 20 kV μέσω μετασχηματιστή ισχύος 20/6.3 kV. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8α ο ασύγχρονος κινητήρας μέσης τάσης μοιάζει στην κατασκευή του με τον αντίστοιχο κινητήρα χαμηλής τάσης. Ένα σημείο που τον κάνει να ξεχωρίζει, είναι το κιβώτιο σύνδεσης του, που είναι πιο ογκώδες από το κιβώτιο σύνδεσης του κινητήρα χαμηλής τάσης. Το ηλεκτρικό του μέρος αποτελείται από:

- το ακίνητο μέρος, που ονομάζεται *στάτης*
- το κινητό μέρος που ονομάζεται *δρομέας*



Εικόνα 1.8α Κινητήρας 1000 kW, 6.6 kV, 1486 rpm, IM B3, IP23

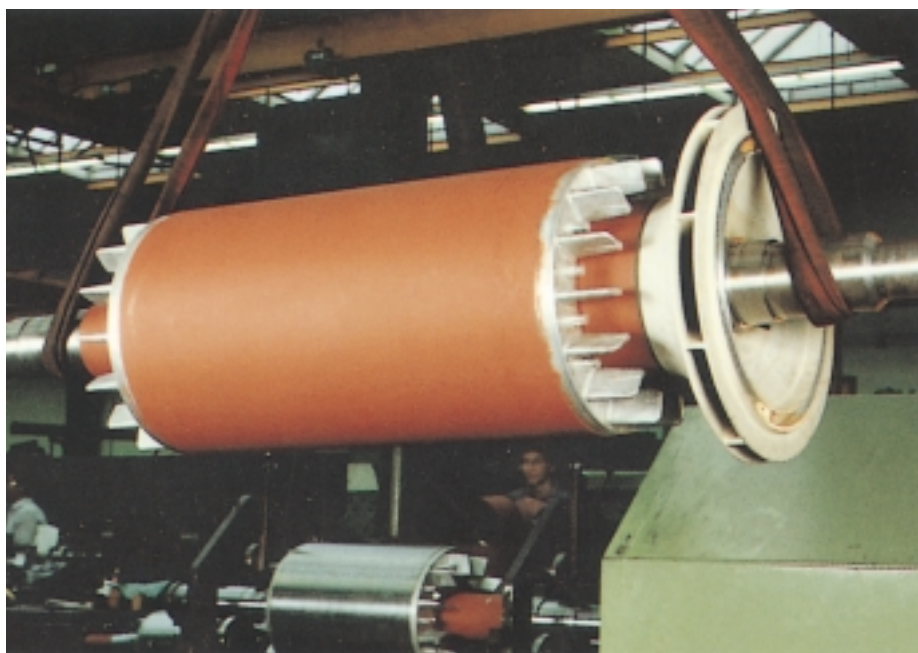
Ο στάτης είναι κατασκευασμένος από πολλά μαγνητικά ελάσματα απο πυριτιούχο χάλυβα που κόβονται σε ειδικές πρέσες. Τα ελάσματα είναι περασμένα με ειδικό μονωτικό βερνίκι και συγκρατούνται σφικτά μεταξύ τους με ραφές συγκόλλησης στην εξωτερική τους περιφέρεια. Στα αυλάκια που σχηματίζουν τα ελάσματα του στάτη, τοποθετούνται οι τρεις φάσεις του τύλιγματος.

Το τύμπανο του δρομέα είναι κατασκευασμένο με παρόμοιο τρόπο, όπως ο στάτης. Ανάλογα με τον τρόπο που κατασκευάζεται το τύλιγμα του δρομέα, οι ασύγχρονοι κινητήρες χωρίζονται σε:

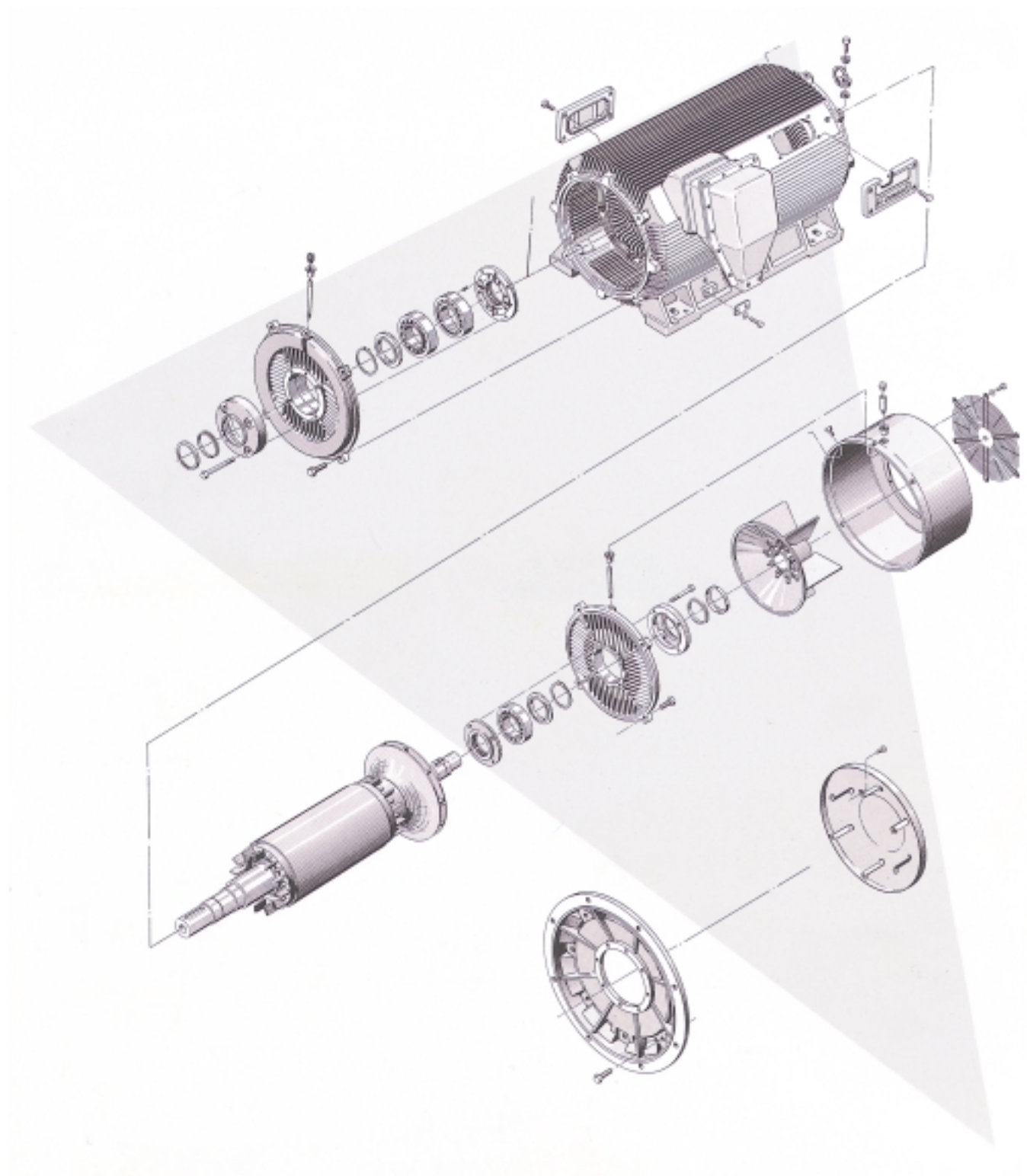
- **βραχυκυκλωμένου δρομέα (ή κλωβού).** Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από χάλκινες ράβδους ή συνήθως από καθαρό χυτό αλουμίνιο. Το αλουμίνιο, σε υγρή μορφή, χυτεύεται με πίεση μέσα στα αυλάκια του τυμπάνου του δρομέα. Ταυτόχρονα χυτεύονται και τα δύο δακτυλίδια που βραχυκυκλώνουν τις ράβδους στα άκρα τους.
- **δακτυλιοφόρου δρομέα.** Το τύλιγμα του δρομέα μοιάζει με το τύλιγμα του στάτη. Καταλήγει σε τρία μονωμένα μεταξύ τους δακτυλίδια, στερεωμένα πάνω στον άξονα του δρομέα. Στα δακτυλίδια εφάπτονται ψήκτρες, με ψηκτροθήκες στερεωμένες στο στάτη. Κινητήρες αυτού του τύπου συναντάμε σε ειδικές εφαρμογές, όπου απαιτείται υψηλή ροπή εκκίνησης, δηλαδή, κατά την εκκίνηση, στον άξονα του κινητήρα εφαρμόζεται (αντιτίθεται) πολύ μεγάλο μηχανικό φορτίο. Για παράδειγμα αναφέρουμε τους ταινιόδρομους που μεταφέρουν το λιγνίτη από τα λιγνιτορυχεία στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα οι κινητήρες αυτού του τύπου αντικαθίστανται με απλούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, σε συνδυασμό με ομαλούς εκκινητές (παράγραφο 1.8.5).

Υπενθυμίζουμε ότι, το τύλιγμα του στάτη είναι το μόνο στοιχείο του κινητήρα που συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο. Το ρεύμα στο τύλιγμα του δρομέα δημιουργείται εξ' επαγωγής



Εικόνα 1.8β
Δρομέας κινητήρα 6.6 kV



Εικόνα 1.8γ Κατασκευή κινητήρα
μέσης τάσης οριζόντιου τύπου (IM B3)
με βαθμό προστασίας IP 54

1.8.1 Αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων κινητήρων

Η αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων κινητήρων μέσης τάσης, είναι ακριβώς ίδια με αυτή των κινητήρων χαμηλής τάσης. Επειδή θεωρούμε ότι είναι απαραίτητη για την κατανόηση των παραγράφων που ακολουθούν, παρακάτω παρουσιάζεται σύντομα η αρχή αυτή.

Στάδιο 1. Η δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στο στάτη

Όταν τροφοδοτήσουμε τα τυλίγματα του στάτη με ένα τριφασικό συμμετρικό σύστημα εναλλασσόμενων ρευμάτων, στο εσωτερικό της μηχανής δημιουργείται ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Η ταχύτητα περιστροφής του είναι η σύγχρονη ταχύτητα n_s και εξαρτάται από τη συχνότητα του δικτύου (50 Hz) και τον αριθμό των πόλων που δημιουργούν τα τυλίγματα του στάτη. Για διπολικούς κινητήρες είναι $n_s = 3000$ RPM, για τετραπολικούς $n_s = 1500$ RPM, για εξαπολικούς $n_s = 1000$ RPM κ.ο.κ.

Στάδιο 2. Η δημιουργία εξ'επαγωγής ρεύματος στο δρομέα

Τα τυλίγματα του δρομέα κόβονται από τις μαγνητικές γραμμές του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη και, συνεπώς, εμφανίζεται σε αυτά τάση εξ'επαγωγής. Αν ο δρομέας είναι τύπου βραχυκυκλωμένου δρομέα, τότε στους βραχυκυκλωμένους αγωγούς του κλωβού δημιουργούνται πολύ ισχυρά ρεύματα. Αν πάλι έχουμε δακτυλιοφόρο δρομέα, τότε το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει μέσω των εξωτερικών αντιστάσεων εκκίνησης.

Το αποτέλεσμα, και στις δύο περιπτώσεις, είναι

ότι στο δρομέα εμφανίζονται εξ'επαγωγής ρεύματα. Μοιάζει, δηλαδή, ο ασύγχρονος κινητήρας με μετασχηματιστή με την αντιστοιχία:

- πρωτεύον τύλιγμα -> το τύλιγμα του στάτη
- δευτερεύον τύλιγμα -> το τύλιγμα του δρομέα

Στάδιο 3. Η εμφάνιση δυνάμεων Laplace στο δρομέα

Συνεχίζοντας το συλλογισμό μας, βλέπουμε ότι έχουμε ρευματοφόρους αγωγούς (τα τυλίγματα του δρομέα) μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο (το πεδίο του στάτη), και, συνεπώς, πάνω στους αγωγούς θα ασκηθούν δυνάμεις Laplace. Η φορά των δυνάμεων Laplace είναι τέτοια, ώστε πάνω στο δρομέα δημιουργείται ροπή με αποτέλεσμα την περιστροφή του δρομέα.

Ο δρομέας αρχίζει να περιστρέφεται και επιταχύνει όσο ασκείται ροπή.

Στάδιο 4. Η προσπάθεια του δρομέα να φτάσει τη σύγχρονη ταχύτητα

Ο ρότορας προσπαθεί να φτάσει την ταχύτητα (n_s) του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Όσο όμως πλησιάζει να τη φτάσει, η σχετική ταχύτητα των αγωγών του ελαττώνεται και, συνεπώς, η εξ'επαγωγής τάση μειώνεται, το ρεύμα μειώνεται, και η ροπή μειώνεται. Αποτέλεσμα είναι ότι ο δρομέας πλησιάζει πολύ κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα αλλά ποτέ δεν τη φτάνει (απ' όπου και το όνομα ασύγχρονος).

Όσο μεγαλύτερο είναι το μηχανικό φορτίο στον άξονα του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόκλιση (ολίσθηση) του δρομέα από τη σύγχρονη ταχύτητα.

Στον Πίνακα 1.8 βλέπουμε τα τεχνικά στοιχεία των κινητήρων ενός κατασκευστή. Παρατηρούμε ότι η ονομαστική ταχύτητα των 2-πολικών κινητήρων είναι 2980 έως 2986 RPM, δηλαδή πολύ κοντά στις 3000 RPM. Αντίστοιχα για τους 4-πολικούς είναι 1489 έως 1494 RPM, δηλαδή πολύ κοντά στις 1500 RPM.

Πίνακας 1.8 Πίνακας με τεχνικά στοιχεία κινητήρων 6,6 kV 50 Hz όπως εμφανίζεται σε τεχνικά φυλλάδια εταιρειών											
3000 RPM, 2-πόλων, 50 Hz											
Ονομαστική ισχύς	Ονομ. ταχύ- τητα	Από- δοση	συνφ	Απώ- λειες	Ονομ. ρεύμα	Ονομ. ροπή	Ροπή εκκί- νησης	Ρεύμα εκκί- νησης	Ροπή ακιν. δρομέα	Ροπή αδρα- νείας	Βάρος
P_N kW	η_N %	η	$\cos\phi$	P_V kW	I_N A	M_N Nm	M_A/M_N	I_A/I_N	M_K/M_N	kgm ²	t
1040	2980	97,0	0,93	32,2	160	3333	0,60	6,0	2,5	19,0	5,0
1180	2981	97,1	0,93	35,2	182	3760	0,65	6,5	2,6	21,0	5,4
1320	2985	97,0	0,91	40,8	210	4223	0,45	5,8	2,5	28,0	6,0
1460	2985	97,2	0,92	42,1	225	4671	0,45	6,0	2,5	3,0	6,4
1580	2985	97,2	0,92	45,5	245	5055	0,50	6,2	2,6	32,0	6,7
1780	2986	97,4	0,92	47,5	275	5692	0,55	6,5	2,8	34,0	7,0
1500 RPM, 4-πόλων, 50 Hz											
1030	1489	96,8	0,86	34,0	172	6606	0,85	5,6	2,2	30,0	4,9
1180	1489	97,0	0,86	36,5	196	7568	0,85	5,5	2,1	33,5	5,2
1300	1490	97,1	0,86	38,8	215	8332	0,85	5,7	2,2	37,0	5,5
1460	1491	96,9	0,87	46,7	240	93,51	0,70	5,4	2,0	54,0	6,8
1580	1492	97,1	0,86	47,2	265	10113	0,85	5,9	2,3	59,0	7,0
1750	1491	97,2	0,87	50,4	285	11209	0,70	5,5	2,0	64,0	7,3
1960	1491	97,3	0,87	54,4	320	12554	0,70	5,5	2,0	72,0	7,8
2150	1494	97,3	0,88	59,7	350	13743	0,55	5,5	2,3	137,0	11,2
2600	1494	97,5	0,88	66,7	420	16620	0,55	5,5	2,2	157,0	12,2
2900	1494	97,6	0,8	71,3	470	18537	0,50	5,5	2,2	171,0	12,8
3150	1494	97,7	0,88	74,2	510	20136	0,55	5,5	2,2	186,0	13,6

1.8.2 Μόνωση των τυλιγμάτων του στάτη

Όπως είδαμε παραπάνω, τα τυλίγματα του στάτη είναι το ηλεκτρικό μέρος του κινητήρα που συνδέεται με το δίκτυο.

Τα τυλίγματα αποτελούνται από επιμέρους πηνία. Τα πηνία κατασκευάζονται από χάλκινες μπάρες, τις οποίες διαμορφώνουμε σε σχήμα, ώστε να ταιριάζουν στα αυλάκια του στάτη. Κατόπιν, τα περιτυλίγουμε με πολλές στρώσεις από ειδική ταινία μίκας (Εικόνα 1.8.2α).

Η μίκας είναι ένα ορυκτό υλικό που έχει την ιδιότητα να είναι πολύ κακός αγωγός στο ηλεκτρικό ρεύμα (συνεπώς έχει καλές μονωτικές ιδιότητες) και, ταυτόχρονα, είναι αρκετά καλός αγωγός στη μετάδοση της θερμότητας. Ετσι αποτελεί την ιδανική λύση για την περίπτωση που θέλουμε σε περιορισμένο χώρο να έχουμε αγωγούς με ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που διαρρέονται από μεγάλα ρεύματα.

Στην Εικόνα 1.8.2β βλέπουμε τη διαδικασία εμποτισμού του τελειωμένου στάτη με ειδικά εποξειδικά βερνίκια και το ψήσιμό του σε ειδικούς φούρνους με κενό αέρα.

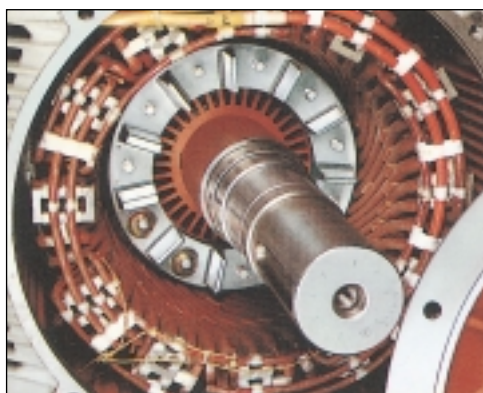
Η μόνωση των πηνίων αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του κινητήρα διότι οποιαδήποτε αστοχία κατά τη λειτουργία του κινητήρα δημιουργεί σφάλμα φάσης προς τη γη και ο κινητήρας πρέπει να επισκευαστεί ή συνήθως να αντικατασταθεί.



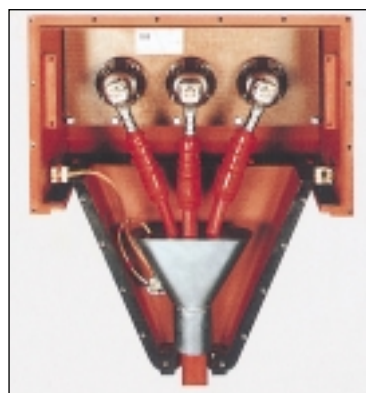
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 1.8.2 α. Αυτόματη περιέλιξη των πηνίων με ταινία μίκας

β. Ο στάτης πλήρης με τα τυλίγματα του, κατεβαίνει στη δεξαμενή εμποτισμού

γ. Ο στάτης τοποθετημένος στο κέλυφος του κινητήρα με τις άκρες των τυλιγμάτων που καταλήγουν στο κιβώτιο σύνδεσης,

δ. κιβώτιο σύνδεσης

1.8.3 Ψύξη των κινητήρων μέσης τάσης

Όπως γνωρίζουμε, κατά τη λειτουργία του κινητήρα, ένα μικρό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ο κινητήρας, μετατρέπεται σε θερμικές απώλειες. Στους κινητήρες μέσης τάσης, επειδή η ονομαστική ισχύς τους είναι μεγάλη, το ποσό των θερμικών απωλειών είναι σημαντικό.

Ένα από τα βασικά στοιχεία στην κατασκευή των κινητήρων μέσης τάσης είναι και το σύστημα ψύξης. Με τον όρο ψύξη, εννοούμε την απαγωγή της θερμότητας που παράγεται στο εσωτερικό του κινητήρα και την αποβολή της στο περιβάλλον.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8.3 οι κινητήρες μέσης τάσης έχουν δύο ανεξάρτητα κυκλώματα ψύξης με αέρα που είναι:

- **ένα κλειστό εσωτερικό κύκλωμα ψύξης** (κόκκινα βέλη)
- **ένα ανοικτό εξωτερικό κύκλωμα ψύξης** (μπλέ βέλη).

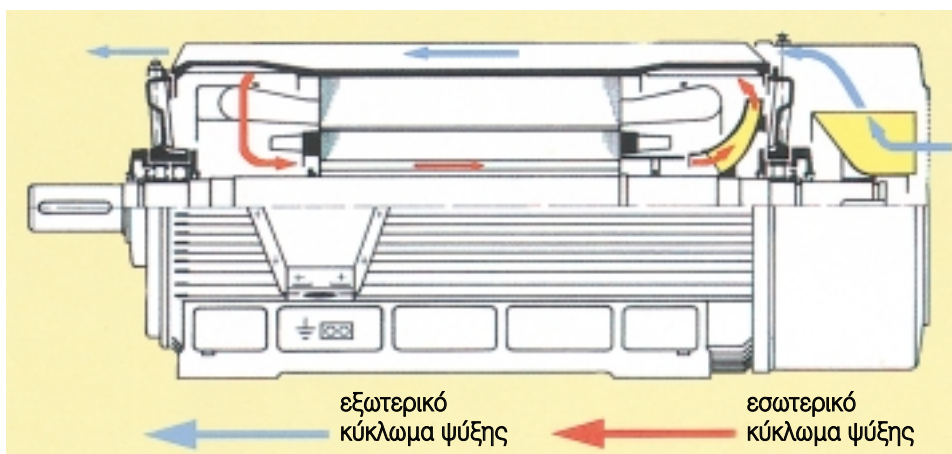
Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας, αναπτύσσεται στα τυλίγματα του στάτη και μεταφέρεται με αγωγιμότητα, από τον πυρήνα του στάτη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8.3, το εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα είναι διαμορφωμένο σε πτερύγια που βοηθάνε στην ψύξη του.

Με τη βοήθεια ενός εσωτερικού ανεμιστήρα, που βρίσκεται στον άξονα του κινητήρα, ο αέρας του εσωτερικού κυκλώματος τίθεται σε κίνηση, και μεταφέρει τη θερμότητα από τα τυλίγματα του δρομέα αλλά και τις άκρες των τυλιγμάτων του στάτη, στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα.

Στο εξωτερικό κύκλωμα ψύξης, ο αέρας του περιβάλλοντος οδηγείται κατά μήκος των πτερυγίων του περιβλήματος. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός εξωτερικού ανεμιστήρα που βρίσκεται πάνω στον άξονα του κινητήρα.

Το εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα, χάρη στην ειδική του διαμόρφωση με πτερύγια ψύξης, λειτουργεί σαν εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού κυκλώματος ψύξης. Έτσι οι θερμικές απώλειες του κινητήρα αποβάλλονται στον αέρα του περιβάλλοντος.

Η σωστή ψύξη των τυλιγμάτων και των εδράνων του κινητήρα, είναι βασική προϋπόθεση για την απρόσκοπτη λειτουργία του.



Εικόνα 1.8.3 Αρχή λειτουργίας ψύξης κινητήρα με αέρα

1.8.4 Προστασία των κινητήρων μέσης τάσης

Για την προστασία των κινητήρων μέσης τάσης, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ηλεκτρονόμων (H/N) προστασίας, που παρέχουν ο καθένας χωριστά, τις προστασίες που αναφέρονται παρακάτω. Στην αγορά, υπάρχουν H/N που περιλαμβάνουν όλες αυτές τις προστασίες σε μια συσκευή και ονομάζονται **ηλεκτρονόμοι ολικής προστασίας κινητήρων**.

Οι προστασίες ενός κινητήρα μέσης τάσης είναι:

- **Θερμοκρασία τυλιγμάτων.** Θερμίστορ⁽¹⁾ ή αντιστάσεις Pt100⁽²⁾ τοποθετούνται στις κεφαλές των τυλιγμάτων του κινητήρα για την επιτήρηση της θερμοκρασίας τους. Στην πράξη, τα θερμίστορ συνδέονται σε σειρά και καταλήγουν σε ειδικό κλεμμοκιβώτιο, από όπου συνδέονται με τον H/N προστασίας. Σε περίπτωση ανύψωσης της θερμοκρασίας, ο H/N δίνει αρχικά εντολή προειδοποίησης (alarm) και, αν η θερμοκρασία συνεχίζει να ανεβαίνει και ξεπεράσει το επιτρεπτό όριο, δίνει εντολή απόζευξης (tripping).
- **Προστασία από υπερφόρτιση, βραχυκύκλωμα.** Γίνεται με κλασσικούς H/N υπερέντασης αντιστρόφου χρόνου που ρυθμίζονται στο ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα.
- **Προστασία από υπέρταση, υπόταση.** Ο H/N αυτός εξασφαλίζει ότι ο κινητήρας εργάζεται μέ-

σα στα ανεκτά όρια τάσης, που έχει ορίσει ο κατασκευστής του. Συνήθως ρυθμίζεται στο $\pm 10\%$ της ονομαστικής τάσης. Υπάρχει πάντα μια μικρή χρονική καθυστέρηση ($\Delta t \cong 100 \text{ ms}$) πριν την εντολή απόζευξης, ώστε να μη διεγείρεται άσκοπα από στιγμιαίες διακυμάνσεις της τάσης του δικτύου που προκαλούνται, π.χ. από το άνοιγμα-κλείσιμο διακοπών και τους κεραυνούς.

- **Προστασία δρομέα από δύσκολες εκκινήσεις.** Σε κινητήρες με υπερβολικά δύσκολες ή συχνές εκκινήσεις μπορεί να καταστραφεί ο ρότορας λόγω υπερθέρμανσης. Η μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στρεφόμενου δρομέα είναι αδύνατη. Έτσι, με τη βοήθεια ειδικών ψηφιακών H/N δημιουργείται ένα μαθηματικό μοντέλο (θερμική εικόνα) εξομείωσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του ρότορα. Ο H/N αυτός διατηρεί στη μνήμη την εικονική θερμοκρασία του δρομέα και αποφασίζει, αν θα επιτρέψει την εκκίνηση του κινητήρα.
- **Προστασία από ασυμμετρία ρευμάτων.** Σε περίπτωση ασυμμετρίας των τριών φάσεων του δικτύου η θερμοκρασία του δρομέα ανεβαίνει κατακόρυφα. Ειδικός H/N αναλαμβάνει την επιτήρηση της συμμετρίας των τριών ρευμάτων και σε περίπτωση που υπερβούμε το επιτρεπτό όριο, δίνει εντολή απόζευξης.

(1) Θερμίστορ είναι αντιστάσεις ημιαγωγών που αλλάζουν την αντίστασή τους ανάλογα με την θερμοκρασία

(2) Οι αντιστάσεις αυτές κατασκευάζονται από σύρμα πλατίνας (Pt) και έχουν ωμική αντίσταση 100Ω σε θερμοκρασία 0°C γι' αυτό και ονομάζονται αισθητήρες Pt100. Όπως γνωρίζουμε η αντίσταση των μετάλλων (στην περίπτωση μας της πλατίνας) αλλάζει με τη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αλλά και την ακριβή μέτρηση της θερμοκρασίας.

1.8.5 Ομαλός εκκινητής μέσης τάσης (medium voltage soft starter)

Κατά την εκκίνησή του, ο κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα, απορροφά ρεύμα που μπορεί να φτάσει το εξαπλάσιο του ονομαστικού του. Έτσι προκαλείται μια **στιγμαία πτώση τάσης** στο δίκτυο, η οποία έχει επιπτώσεις και στους άλλους καταναλωτές. Η πτώση τάσης, που λέγεται και **βύθιση τάσης**, δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα σε κινητήρες, ηλεκτρονικά μηχανήματα κ.ά.

Στους κινητήρες χαμηλής τάσης, έχουν αναπτυχθεί μια σειρά τεχνικές, με στόχο να περιορίσουν το πρόβλημα της εκκίνησής τους. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- εκκίνηση αστέρα-τριγώνου
- εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή
- εκκίνηση με ομαλό (ηλεκτρονικό) εκκινητή

Στους κινητήρες μέσης τάσης, όταν το φορτίο για λόγους μηχανικούς δε μπορεί να ξεκινήσει απ'ευθείας, χρησιμοποιείται ο ομαλός εκκινητής (soft starter)

Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στην Εικόνα 1.8.5. Σε κάθε φάση υπάρχουν δύο θυρίστορ, τοποθετημένοι ανάστροφα, που λειτουργούν ως ηλεκτρονικοί διακόπτες. Κατά την εκκίνηση, οι διακόπτες αυτοί κλείνουν και επιτρέπουν τη διέλευση του ρεύματος μόνο σε ένα μικρό τμήμα της περιόδου T (Εικόνα 1.8.5) της εναλλασσόμενης τάσης. Αν αντιστοιχίσουμε την περίοδο T σε 360° , τότε χρησιμοποιούμε την έννοια της γωνίας αποκοπής α , για

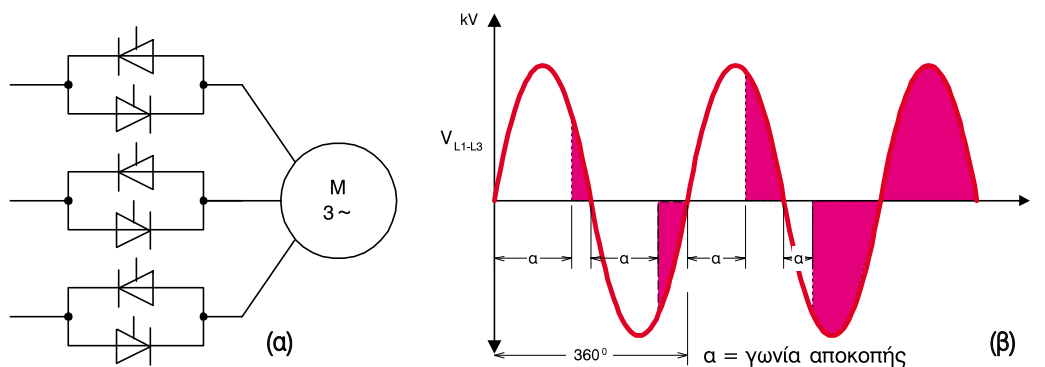
να περιγράψουμε τη λειτουργία του ομαλού εκκινητή.

- Όπου η γωνία αποκοπής είναι $\alpha = 180^\circ$, σημαίνει ότι δεν περνά καθόλου ρεύμα και ο κινητήρας είναι σταματημένος.
- Όταν ο ομαλός εκκινητής λάβει εντολή να ξεκινήσει, το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου αρχίζει να ελαττώνει σταδιακά τη γωνία αποκοπής α , ο κινητήρας επιταχύνει, και φτάνει ομαλά την ονομαστική του ταχύτητα.
- Όταν η γωνία αποκοπής είναι $\alpha = 0^\circ$, σημαίνει ότι το ρεύμα του κινητήρα έχει φτάσει την ονομαστική του τιμή.

Με το ίδιο τρόπο, αλλά αυξάνοντας σταδιακά την γωνία αποκοπής από 0° σε 180° πετυχαίνουμε το ομαλό σταμάτημα του κινητήρα.

Τα πλεονεκτήματα της ομαλής εκκίνησης είναι:

- **Μειωμένο ρεύμα στην εκκίνηση**, με αποτέλεσμα τον περιορισμό στη βύθιση τάσης και την παρενόχληση του δικτύου.
- **Ομαλή επιτάχυνση του φορτίου**, με αποτέλεσμα τον περιορισμό ζημιών στην παραγωγική διαδικασία και στο τελικό προϊόν.
- **Αύξηση του χρόνου ζωής** όλων των μηχανικών μερών, π.χ κιβώτιο ταχυτήτων, εδράνων κ.λπ.



Εικόνα 1.8.5

- α. Αρχή λειτουργίας του ομαλού εκκινητή
β. Έλεγχος της γωνίας αποκοπής

1.8.6 Ρύθμιση στροφών κινητήρων μέσης τάσης με μεταβολή της συχνότητας (medium voltage drive)

Ο μετατροπέας συχνότητας μετατρέπει την τριφασική τάση του δικτύου με σταθερό πλάτος (20 kV) και συχνότητα (50 Hz) σε **τριφασική τάση με μεταβλητό πλάτος και συχνότητα**.

Λόγω του αυξημένου κόστους, τους συναντάμε σε ειδικές εφαρμογές όπου η ρύθμιση των στροφών και της ροπής του φορτίου είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Τέτοιες εφαρμογές είναι:

- μεγάλες αντλίες δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης
- αντλίες, συμπιεστές σε πετροχημικές βιομηχανίες
- κίνηση της προπέλας σε πλοία
- ταινιόδρομοι σε ορυχεία, τσιμεντοβιομηχανίες
- μύλοι άλεσης σε βιομηχανίες τροφίμων
- ανεμιστήρες σε υπόγειες σήραγγες

Η αρχή λειτουργίας του ρυθμιστή στροφών φαίνεται στην Εικόνα 1.8.6α.

1. **Διακόπτης ισχύος**
2. **Μετασχηματιστής ισχύος** με δύο δευτερεύοντα τυλίγματα
3. Διπλή **ανορθωτική διάταξη** αποτελούμενη από διόδους για τη μετατροπή της εναλασσόμενης τάσης σε συνεχή τάση σταθερού πλάτους.
4. **Φίλτρο** από συστοιχία πυκνωτών για την εξομάλυνση της συνεχούς τάσης.
5. **Αντιστροφέας** αποτελούμενος από ειδικά τρανζίστορ ισχύος μέσης τάσης (Εικόνα 1.8.6β). Μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλασσόμενη τά-

ση, μεταβλητής συχνότητας και πλάτους.

Στην Εικόνα 1.8.6δ βλέπουμε ότι η κυματομορφή του εναλασσόμενου ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα δεν είναι τελείως ομαλή αλλά έχει μικρές διακυμάνσεις που οφείλονται στις αρμονικές⁽¹⁾ συχνότητες που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της μετατροπής. Αν το ποσοστό των αρμονικών είναι μεγάλο τότε απαιτούνται επιπλέον φίλτρα στην έξοδο του αντιστροφέα.

6. Μετασχηματιστές τάσης και έντασης για τη μέτρηση της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του ρυθμιστή.

7. Κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα μέσης τάσης. Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα περιστροφής⁽²⁾ του δρομέα εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα του Ε.Ρ που τροφοδοτεί τα τυλίγματά του.

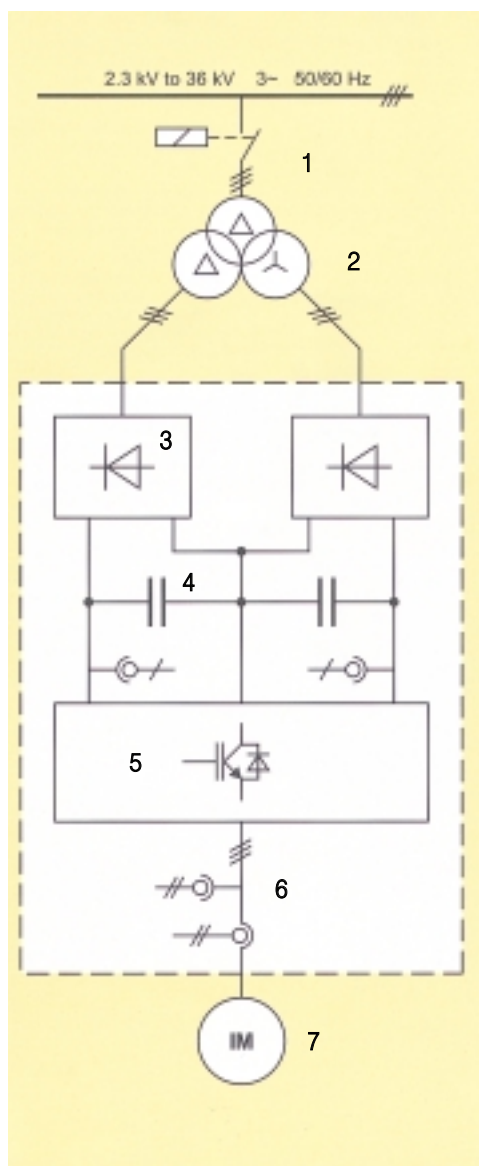
Ο ρυθμιστής στροφών μέσης τάσης αποτελείται από μια μεταλλική ντουλάπα που περιέχει τα ηλεκτρονικά ισχύος (διόδους, τρανζίστορ κα.) αλλά και όλα τα κυκλώματα ελέγχου. Η επιλογή του γίνεται με βάση την ονομαστική ισχύ (kW) του κινητήρα αλλά και τα χαρακτηριστικά του φορτίου. Κατασκευάζονται από τυποποιημένες συρταρωτές ηλεκτρονικές κάρτες (modules), έτσι ώστε να είναι εύκολη η συντήρηση και η επισκευή τους (Εικόνα 1.8.6γ). Στη διαδικασία της μετατροπής του Ε.Ρ σε Σ.Ρ και ξανά σε Ε.Ρ, ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος μετατρέπεται σε θερμότητα. Η ψύξη των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ισχύος γίνεται με αέρα και, σε μεγάλους ρυθμιστές, με νερό (υδροψυκτοι).

(1) Λέγονται αρμονικές συχνότητες, διότι είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας. Για παράδειγμα, αν ο ρυθμιστής παράγει Ε.Ρ συχνότητας 50 Hz, οι αρμονικές είναι 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz κ.ο.κ.

(2) Η ταχύτητα περιστροφής (n_s) του ρότορα δίνεται από τον τύπο

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p}$$

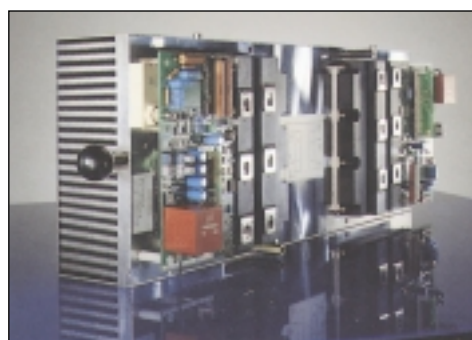
όπου f = συχνότητα Ε.Ρ. που τροφοδοτεί το στάτη, p = αριθμός ζευγών πόλων που σχηματίζουν τα τυλίγματα του στάτη



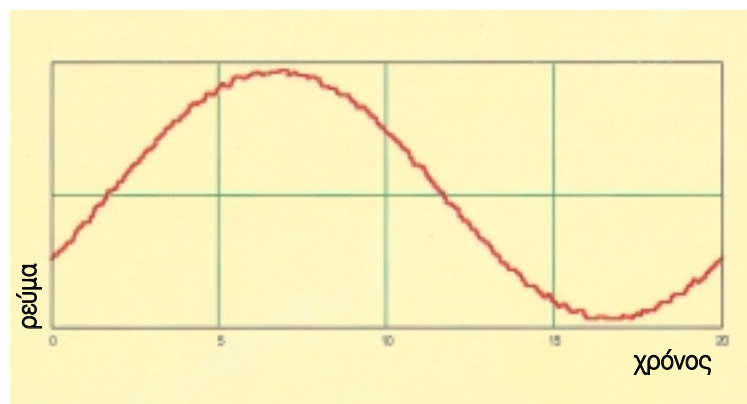
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 1.8.6

- α. Αρχή λειτουργίας ρυθμιστή στροφών μέσης τάσης
- β. Τρανζίστορ μέσης τάσης που χρησιμοποιείται στους ρυθμιστές στροφών
- γ. Υδρόψυκτη κάρτα με τα ηλεκτρονικά ισχύος
- δ. Κυματομορφή του ρεύματος στην έξοδο του ρυθμιστή στροφών.

9

Ενότητα 1.9

ΑΛΛΗΛΟΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ- ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ

1.9.1 Αλληλοδεσμεύσεις - Χειρισμοί

1.9.2 Συντήρηση υποσταθμού



Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος αυτής της ενότητας, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ☞ να διακρίνουν την ανάγκη των αλληλοδεσμεύσεων στο χώρο του υποσταθμού.
- ☞ να διατυπώνουν παραδείγματα μηχανικών και ηλεκτρικών αλληλοδεσμεύσεων.
- ☞ να γνωρίζουν την ανάγκη συντήρησης του εξοπλισμού του υποσταθμού.

1.9.1 Αλληλοδεσμεύσεις - Χειρισμοί

Με το όρο **αλληλοδέσμευση** ή **μανδάλωση** (interlock) εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών, που έχουν ως στόχο την αποφυγή ενεργειών με διαφορετική σειρά από τη σωστή, που μπορεί να προκαλέσουν κίνδυνο στη ζωή μας και ζημιά στον εξοπλισμό του υποσταθμού.

Ενα απλό παράδειγμα, από την καθημερινή μας ζωή, είναι το πέρασμα ενός κεντρικού δρόμου. Η σωστή σειρά των ενεργειών που πρέπει να κάνουμε για να διασχίσουμε με ασφάλεια το δρόμο είναι:

- Σταματάμε στο πεζοδρόμιο.
- Συγκεντρώνουμε την προσοχή μας στους φωτεινούς σηματοδότες.
- Όταν ανάψει το πράσινο φανάρι, και σιγουρευτούμε ότι τα διερχόμενα αυτοκίνητα σταμάτησαν, αποφασίζουμε να περάσουμε στην απέναντι πλευρά του δρόμου.

Στο χώρο ενός υποσταθμού υπάρχουν πολλές ηλεκτρικές και μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις, που είναι απαραίτητες για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία ενός υποσταθμού. Για παράδειγμα δεν πρέπει να ανοίξει ο αποζεύκτης αν δεν ανοίξει πρώτα, ο διακόπτης ισχύος. Η μανδάλωση δεν επιτρέπει στο χειριστή να κάνει χειρισμούς με λάθος σειρά, ακόμα και αν αυτός ξεχαστεί. Στόχος των αλληλοδεσμεύσεων είναι:

- η προστασία των ανθρώπων που χειρίζονται και συντηρούν τον υποσταθμό
- η ασφαλής λειτουργία του εξοπλισμού του υποσταθμού

Οι αλληλοδεσμεύσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Ηλεκτρικές αλληλοδεσμεύσεις
- Μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις

1.9.1α Ηλεκτρικές αλληλοδεσμεύσεις

Οι ηλεκτρικές αλληλοδεσμεύσεις φαίνονται στα αντίστοιχα **λειτουργικά σχέδια** του υποσταθμού. Οι αλληλοδεσμεύσεις αυτές υλοποιούνται με την κατάλληλη σύνδεση των επαφών των οργάνων χειρισμού όπως μπουτόν, διακόπτες ελέγχου αλλά και των βοηθητικών επαφών του κύριου εξοπλισμού. Παρακάτω αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες τυπικές ηλεκτρικές αλληλοδεσμεύσεις που συναντάμε σε κάθε υποσταθμό.

Παράδειγμα 1

Μια από τις βασικές προφυλάξεις που ισχύουν σε κάθε υποσταθμό είναι η αποφυγή της **αντίστροφης λειτουργίας του Μ/Σ**, δηλαδή, αν στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ εμφανισθεί έστω και μια μικρή τάση, τότε αυτή θα ανυψωθεί και θα εμφανιστεί ως πολλαπλάσια τάση στην πλευρά της μέσης τάσης του Μ/Σ. Αυτό, μπορεί να είναι μοιραίο για το συντηρητή, που έχει μπει στο χώρο του Μ/Σ για να το συντηρήσει, παρόλο που έχει λάβει όλα τα μέτρα προφύλαξης για να απομονώσει τη μέση τάση.

Για να αποφύγουμε το παραπάνω ενδεχόμενο, πρέπει να μην μπορούμε να κλείσουμε το γενικό διακόπτη ισχύος στη πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ, αν δεν έχει κλείσει πρώτα ο διακόπτης στην πλευρά μέσης τάσης του Μ/Σ. Αλλά και αντίστροφα, αν ανοίξει ο διακόπτης στη μέση τάση, αυτόματα ανοίγει και ο διακόπτης στη χαμηλή τάση.

Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του πηνίου έλλειψης τάσης που πρέπει να διαθέτει ο διακόπτης ισχύος στη χαμηλή τάση και δεν του επιτρέπει να κλείσει αν δεν υπάρχει τάση στο καλώδιο. Αλλά και αντίστροφα, αν ο διακόπτης είναι κλειστός και χαθεί η τάση στο καλώδιο, τότε αυτόματα ανοίγει.

Παράδειγμα 2

Ο διακόπτης ισχύος SF₆ στη μέση τάση είναι συνήθως συρταρωτός και βρίσκεται πάνω σε φορείο. Το φορείο μπορεί να πάρει δύο θέσεις, τη θέση **ΣΥΝΔΕΣΗ** (ΜΕΣΑ) και τη θέση **ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ** (ΕΞΩ).

Στη θέση ΣΥΝΔΕΣΗ ο διακόπτης συνδέεται στο δίκτυο των 20 kV και λειτουργεί κανονικά.

Στη θέση ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ο διακόπτης έχει απομακρυνθεί από το δίκτυο των 20 kV και έτσι μπορούμε να το συντηρήσουμε και να κάνουμε δοκιμές.

Αν προσπαθήσουμε να το σύρουμε στη θέση ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ από τη θέση ΣΥΝΔΕΣΗ, και ξεχάσουμε να τον ανοίξουμε (OFF), τότε θα δημιουργήσουμε τόξο. Αλλά και αντίστροφα, αν είναι στη θέση ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ και προσπαθήσουμε να τον σύρουμε στη θέση ΣΥΝΔΕΣΗ ενώ είναι σε κατάσταση κλειστός (ON), θα δημιουργήσουμε πάλι τόξο.

Τα παραπάνω αποφεύγονται με τη βοήθεια τερματικών (οριακών) διακοπών που υπάρχουν στο φορείο του διακόπτη και δίνουν αυτόματα εντολή απόζευξης σε περίπτωση που κάνουμε κάποιο λανθασμένο χειρισμό.

1.9.1β Μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις

Οι μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις συνηθίζονται πολύ στις κυψέλες μέσης τάσης. Για παράδειγμα, έχουμε δει, ότι δε μπορούμε να κλείσουμε το γειωτή, αν ο διακόπτης φορτίου είναι κλειστός, αλλά και αντίστροφα, δεν μπορούμε να κλείσουμε το διακόπτη φορτίου αν ο γειωτής είναι κλειστός. Η αλληλοδεσμεύση αυτή επιτυγχάνεται με τη **βοήθεια μοχλών** που παίρνουν κίνηση από τα χειριστήρια των διακοπών.

Πολλές φορές, οι μηχανικές αλληλοδεσμεύσεις πραγματοποιούνται με τη **βοήθεια κλειδίων**. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην απελευθέρωση-παγίδευση ενός ή περισσότερων κλειδίων, ανάλογα με το αν ικανοποιούνται οι συνθήκες ασφάλειας.

Παράδειγμα

Το παράδειγμα αναφέρεται σε ένα κλασικό υποσταθμό που, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.9.1, αποτελείται από μία κυψέλη χειρισμού-προστασίας του Μ/Σ, το Μ/Σ και τον πίνακα Χ.Τ.

Στην πλευρά Μ.Τ. υπάρχει η κυψέλη χειρισμού-προστασίας του Μ/Σ που περιέχει ένα διακόπτη φορτίου με ασφάλειες και ένα γειωτή. Επίσης περιέχει ένα χωρητικό κατανεμητή που με τη βοήθεια ενδεικτικών λυχνιών μας δείχνει, αν υπάρχει τάση στο κάτω μέρος της κυψέλης.

Ο διακόπτης φορτίου και ο γειωτής είναι μηχανικά αλληλοδεσμευμένοι, έτσι ώστε να μη μπορούν να είναι και οι δύο κλειστοί.

Σκοπός της αλληλοδέσμευσης που θα αναλύσουμε είναι:

- να μη μας επιτρέψει την είσοδο στο διαμέρισμα του Μ/Σ αν ο γειωτής δεν έχει προηγουμένως κλείσει.
- να μη μας επιτρέψει το κλείσιμο του γειωτή αν ο διακόπτης ισχύος στη Χ.Τ. δεν έχει προηγουμένως κλειδωθεί στην ανοικτή θέση.

Για να καταλάβουμε τη λειτουργία της μηχανικής αλληλοδέσμευσης πρέπει να καταλάβουμε τη λειτουργία των κλειδίων **Ο** και **Σ**.

Υπάρχουν δύο διαφορετικά κλειδιά, το κλειδί **Ο** και το κλειδί **Σ**. Κλειδαριές για το κλειδί **Ο** υπάρχουν στο διακόπτη Χ.Τ. και στο γειωτή. Κλειδαριές για το κλειδί **Σ** υπάρχουν στο διακόπτη Μ.Τ. και στην πόρτα του δωματίου του Μ/Σ.

Το κλειδί **Ο** είναι παγιδευμένο στο διακόπτη Χ.Τ, δηλαδή για να απελευθερωθεί πρέπει να ανοίξει ο διακόπτης Χ.Τ.

Το κλειδί **Σ** είναι παγιδευμένο στην πόρτα της κυψέλης Μ.Τ, δηλαδή για να απελευθερωθεί πρέπει να ανοίξει ο διακόπτης Μ.Τ.

Βήμα 1

- Ανοίγουμε το διακόπτη Χ.Τ. και τον κλειδώνουμε στη θέση ΑΝΟΙΚΤΟΣ.
- Το κλειδί **Ο** απελευθερώνεται.

Βήμα 2

- Ανοίγουμε το διακόπτη Μ.Τ.
- Ελέγχουμε ότι οι ενδεικτικές λυχνίες σβήνουν.

Βήμα 3

- Με το κλειδί **Ο** ξεκλειδώνουμε το γειωτή και τον κλείνουμε.
- Το κλειδί **Ο** παγιδεύεται στην κλειδαριά του γειωτή.

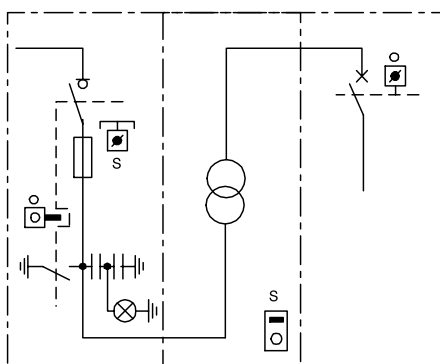
Βήμα 4

- Με το κλειδί **Σ** κλειδώνουμε το διακόπτη Μ.Τ. στην ανοικτή θέση.
- Το κλειδί **Σ** απελευθερώνεται από την κυψέλη Μ.Τ.
- Με το κλειδί **Σ** ανοίγουμε την πόρτα του δωματίου του Μ/Σ.

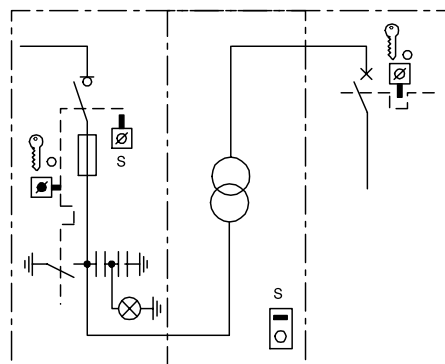
Αποτέλεσμα των παραπάνω βημάτων είναι:

- A. Ο διακόπτης ΜΤ κλειδώνεται στη θέση ΑΝΟΙΚΤΟΣ με το κλειδί S, που S βρίσκεται παγιδευμένο στην ανοικτή πόρτα του δωματίου του Μ/Σ.
- B. Ο γειωτής είναι ΚΛΕΙΣΤΟΣ αλλά όχι κλειδωμένος, δηλαδή μπορούμε να τον χειριστούμε.
- Γ. Ο διακόπτης ΧΤ είναι κλειδωμένος στη θέση ΑΝΟΙΚΤΟΣ με το κλειδί Ο, που βρίσκεται παγιδευμένο στον κλειστό γειωτή.

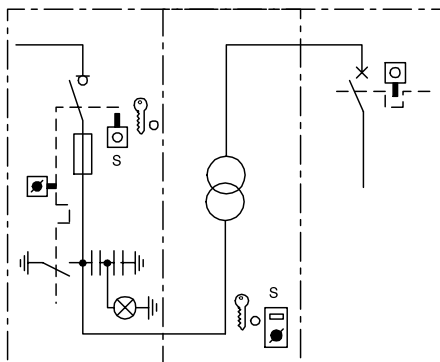
Ο Μ/Σ είναι απομονωμένος και γειωμένος με ασφάλεια και, συνεπώς, μπορούμε να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα της συντήρησής του.



και οι δύο διακόπτες, μέσης και χαμηλής τάσης είναι κλειστοί



η είσοδος στην κυψέλη 20 kV είναι επιτρεπτή



η είσοδος στο δωμάτιο του ΜΣ είναι επιτρεπτή

- το κλειδί λείπει
- το κλειδί είναι ελεύθερο
- το κλειδί είναι παγιδευμένο

Εικόνα 1.9.1

Τα βήματα για τη ασφαλή είσοδο στο δωμάτιο του Μ/Σ

1.9.2 Συντήρηση υποσταθμού

Οι εργασίες συντήρησης στον υποσταθμό μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

1. Επιθεώρηση

Ο υποσταθμός 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 υποσταθμού. 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 κατασκευστή του μηχανήματος και η πείρα από τη χρήση.

3. Επισκευαστική συντήρηση

Η Επισκευαστική συντήρηση γενικά δε γίνεται βάσει προγράμματος. Εφαρμόζεται όταν η λειτουργία ενός μηχανήματος παρουσιάζει πρόβλημα (π.χ. υπερθέρμανση) και εκτιμάμε ότι η κατάστασή του θα επιδεινωθεί. Επίσης όταν συμβεί ένα σφάλμα στη λειτουργία του (π.χ. βραχυκύκλωμα, πτώση 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 του.

Σκοπός της είναι να επαναφέρει τη σωστή λειτουργία του μηχανήματος.

1.9.2α Συντήρηση κύριου εξοπλισμού

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

Διακόπτες SF₆

Η γενική συντήρηση των διακοπών SF₆, 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 παρακαλούθησης της κατάστασής του - εφόσον υπάρχει τέτοια συσκευή - ή αν εμφανιστεί κάποια ανώμαλη συνθήκη στο διακόπτη.

Στη γενική συντήρηση ελέγχουμε τα παρακάτω:

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

Μετασχηματιστής λαδιού

- Οπτικός έλεγχος κάθε τρεις μήνες
- Καθαρίζουμε τη σκόνη από τους μονωτήρες (σκόνη και υγρασία βοηθάνε σε υπερπηδήσεις)
- Ελέγχουμε για πιθανή διαρροή λαδιού
- Ελέγχουμε τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.

- Ελέγχουμε την κατάσταση του αφυγραντήρα ως εξής:

- γαλάζιο χρώμα → καλή κατάσταση
- ρόζ χρώμα → πρέπει να αντικαταστεί το Silica Gel (ζελατίνα πυριτίου) ή να ξηρανθεί.

Έλεγχος λαδιού κάθε χρόνο

Το ορυκτό μονωτικό λάδι, σε συνδυασμό με υλικά από κυτταρίνη (χαρτί, ταινίες βαμβακερές κ.λπ) έχει αποδειχθεί εδώ και 100 χρόνια ως ένας πολύ καλός, συνδυασμός ηλεκτρικής μόνωσης. Παρόλα αυτά, κάθε χρόνο, πρέπει να γίνεται έλεγχος της ποιότητας του λαδιού.

Ο έλεγχος γίνεται βάσει δείγματος που παίρνουμε από τη βάνα εκκένωσης του Μ/Σ. Το δείγμα πρέπει να είναι τουλάχιστον ένα λίτρο. Τα δοχεία, μπουκάλια, χωνιά που θα χρησιμοποιήσουμε, πρέπει να είναι καθαρά και στεγνά. Το δοχείο ή μπουκάλι πρέπει να σφραγιστεί ερμητικά μετά το γέμισμα.

Αν ο εργαστηριακός έλεγχος, δείξει ότι η διηλεκτρική αντοχή αλλά και τα άλλα χαρακτηριστικά του λαδιού δεν είναι εντάξει, το λάδι πρέπει να αντικατασταθεί ή να αναγεννηθεί με ειδική μηχανή καθαρισμού. Την εργασία αυτή την αναλαμβάνουν εξειδικευμένα συνεργεία.

Για την επιμήκυνση της ωφέλιμης ζωής του λαδιού, συνήθως χρησιμοποιούνται πρόσθετα (π.χ. TOPANOL σε αναλογία 0,3%), τα οποία αναμιγνύονται με το καινούργιο ή το αναγεννημένο λάδι.

Μετασχηματιστής ξηρού τύπου

Η συντήρηση του Μ/Σ ξηρού τύπου είναι μόνο εξωτερική επιθεώρηση μια φορά το χρόνο.

1.9.2β Συντήρηση του βοηθητικού εξοπλισμού

Κάθε υποσταθμός χρειάζεται για τη λειτουργία του, μια βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, που πρακτικά είναι μια συστοιχία συσσωρευτών και ένας (ή δύο για λόγους ασφαλείας) φορτιστής.

Το σύστημα συσσωρευτής - φορτιστής παράγει συνεχές ρεύμα με ονομαστική τάση 24 V, 48 V, 110 V ή 220 V, που χρησιμοποιείται για τους χειρισμούς των διακοπών αλλά και τις ενδείξεις του υποσταθμού. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία συντήρησης των συσσωρευτών.

1. Συσσωρευτές μολύβδου

Κατά τη συντήρηση των παραδοσιακών συσσωρευτών μολύβδου γίνονται γενικά :

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

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

Στους **κλειστούς συσσωρευτές μολύβδου** ελέγχονται οι βαλβίδες τους για τυχόν απώλεια ηλε-

κτρολύτη. Δε γίνεται μέτρηση της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη.

Κάθε 5-10 χρόνια απαιτείται η αντικατάσταση των συσσωρευτών μολύβδου

2. Συσσωρευτές καδμίου - νικελίου

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

3. Φορτιστές

Οι φορτιστές έχουν ελάχιστη συντήρηση λόγω της μεγάλης αξιοπιστίας των ηλεκτρονικών τους συστημάτων. Τελευταία, χρησιμοποιούνται διατάξεις παρακαλούθησης 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.

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ 20 kV



Τίτλοι σχεδίων που περιέχονται στο παράρτημα Α

A/A	Τίτλος σχεδίου	Αρ.Φύλλου	Σελίδα
1	Μονογραμμικό σχέδιο πίνακα 20 kV	10	A5
2	Οψη πίνακα 20 kV	20	A7
3	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα ισχύος	30	A9
4	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα ισχύος, ένδειξη τάσης	31	A11
5	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα ισχύος, μέτρηση τάσης	32	A13
6	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα διανομής βοηθ. τάσης - θέρμανσης	33	A15
7	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα ελέγχου	34	A17
8	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα ελέγχου	35	A19
9	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα επιτήρησης	36	A21
10	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα τοπικών ενδείξεων	37	A23
11	Λειτουργικό σχέδιο κυψέλης εισόδου ΔΕΗ, κύκλωμα τηλενδείξεων	38	A25
12	Κατάλογος υλικών κυψέλης άφιξης	100	A26
13	Κατάλογος υλικών κυψέλης άφιξης	101	A27
14	Κατάλογος υλικών κυψέλης άφιξης	102	A28

Εισαγωγή

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται ένα μέρος από τα κατασκευαστικά ηλεκτρολογικά σχέδια του υποσταθμού 20/0,4 kV ενός σύγχρονου αεροδρομίου που βρίσκεται σε κάποιο Ελληνικό νησί.

Ο υποσταθμός του αεροδρομίου περιλαμβάνει δύο μετασχηματιστές των 630 kVA, και αποτελεί ένα τυπικό δείγμα υποσταθμού που συναντάμε στην πλειοψηφία των καταναλωτών μέσης τάσης. Για λόγους ασφάλειας το αεροδρόμιο διαθέτει και τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που σε περίπτωση απώλειας της τάσης από τη ΔΕΗ, αναλαμβάνουν να εξυπηρετήσουν τα σημαντικότερα φορτία του αεροδρομίου (φωτισμός διαδρόμου προσγείωσης, πύργος ελέγχου κ.ά). Για το μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 2-20 s) που μεσολαβεί από τη στιγμή που ο Η/Ν έλλειψης τάσης διαπιστώσει απώλεια τάσης στους ζυγούς των 400 V, μέχρι την αυτόματη εκκίνηση των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, προβλέπεται σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS) που αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση των κρίσιμων ηλεκτρικών φορτίων όπως είναι ο Ηλεκτρονικός Υπολογιστής, τα συστήματα ασφαλείας κ.ά.

Τα σχέδια έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τους ισχύοντες διεθνείς ηλεκτρολογικούς κανονισμούς (IEC) και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους μαθητές σαν πρότυπα σχέδια για οποιαδήποτε άλλη εγκατάσταση, μέσης ή χαμηλής τάσης.

Σημειώνουμε ότι τα σχέδια αυτά - αν εξαιρέσουμε τις ελληνικές λέξεις που υπάρχουν στο υπόμνημα - μπορούν να διαβαστούν από οποιοδήποτε ηλεκτρολόγο σε οποιαδήποτε χώρα του κόσμου αρκεί να γνωρίζει τους κανόνες ανάγνωσης του ηλεκτρολογικού σχεδίου.

Γνωρίζουμε ότι η πρώτη ανάγνωση των σχεδίων αυτών από το μαθητή δεν είναι εύκολη διότι περιέχουν πολλές νέες έννοιες, κωδικοποιημένες πληροφορίες ενώ, ταυτόχρονα, απαιτούν μια βαθιά γνώση του ηλεκτρολογικού υλικού.

Για λόγους πρακτικούς, όλα τα ηλεκτρολογικά σχέδια έχουν μέγεθος A4 και αποτελούν ένα ενιαίο τόμο. Κάθε φύλλο του τόμου χαρακτηρίζεται από τον αριθμό φύλλου. Ο αριθμός φύλλου είναι καθοριστικός στη σύνδεση των λειτουργικών σχεδίων μεταξύ τους για να μπορέσουμε να παρακολουθήσουμε τη λειτουργία της εγκατάστασης.

Κριτήρια στην επιλογή των σχεδίων του παρόντος παραρτήματος ήταν :

- **Να αποτελούν ένα ενιαίο φυσικό και λειτουργικό σύνολο όπως είναι η κυψέλη άφιξης του πίνακα 20 kV.**
- **Να περιέχουν ηλεκτρολογικά υλικά που έχει γνωρίσει ο μαθητής (διακόπτες ισχύος, μετασχηματιστές μέτρησης κ.ά) στο παρόν μάθημα αλλά και σε άλλα μαθήματα (Αυτοματισμοί, Ηλεκτρικές Μηχανές, Ε.Η.Ε).**
- **Να δείχνουν πώς αυτά τα υλικά συνδέονται μεταξύ τους για να εκτελέσουν μια σειρά από λειτουργίες (μανδαλώσεις, επιτήρηση κλπ) που συναντάμε σε κάθε σύγχρονη ηλεκτρική εγκατάσταση.**

Τα σχέδια του υποσταθμού, μελετώνται και σχεδιάζονται από έμπειρους μηχανικούς του τμήματος μελετών της εταιρείας που αναλαμβάνει να προμηθεύσει τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό του αεροδρομίου. Τα σχέδια αυτά αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του πίνακα των 20 kV, και συμμετέχουν σε όλες τις φάσεις του έργου όπως αναλύονται παρακάτω:

- **Φάση I, Συναρμολόγηση του πίνακα 20 kV.**

Με βάση τους καταλόγους υλικών συγκεντρώνονται τα υλικά της κάθε κυψέλης. Τα μεταλλικά μέρη (πλαίσια, πόρτες κλπ) των προκατασκευασμένων κυψελών συναρμολογούνται και βιδώνονται. Κατόπιν τοποθετείται ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός κάθε κυψέλης. Όλα τα υλικά σηματοδοτούνται με κωδικούς προσδιορισμού (-F1, -T51, -X1, -Q0) όπως ακριβώς αναφέρονται στους καταλόγους υλικών. Αυτό γίνεται με μικρά κίτρινα αυτοκόλλητα χαρτάκια -στα οποία αναγράφεται ο κωδικός προσδιορισμού του υλικού- τα οποία κολλιούνται πάνω ή δίπλα στο υλικό. Στη συνέχεια, με βάση τα λειτουργικά σχέδια, γίνονται οι συρματώσεις μεταξύ των υλικών (διακόπτης ισχύος, μετασχηματιστές μέτρησης, όργανα μέτρησης, ηλεκτρονόμους προστασίας, κλεμμοσειρές κλπ) της κάθε κυψέλης.

- **Φάση II, Εγκατάσταση του πίνακα 20 kV στο χώρο του υποσταθμού**

Τα σχέδια χρησιμοποιούνται από τους εγκαταστάτες ηλεκτρολόγους του συνεργείου του Εργολάβου που έχει αναλάβει την κατασκευή του αεροδρομίου. Οι κυψέλες μεταφέρονται στο χώρο του υποσταθμού, και οι ηλεκτρολόγοι βιδώνουν τις κυψέλες μεταξύ τους ώστε να αποτελέσουν τον πίνακα 20 kV. Κατόπιν, με βάση τα λειτουργικά σχέδια, συρματώνουν τις κυψέλες μεταξύ τους αλλά και με τη βοηθητική πηγή τά-

σης του υποσταθμού, δηλαδή τα 220 VAC από το σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS).

- **Φάση III, Ελεγχος - δοκιμές του πίνακα 20 kV πριν τεθεί σε λειτουργία.**

Με βάση τα σχέδια, εξειδικευμένο συνεργείο ελέγχει τα όργανα μέτρησης και προστασίας (ηλεκτρονόμους) του πίνακα 20 kV. Οι διακόπτες ισχύος υφίστανται επανειλημμένες δοκιμές λειτουργίας (ON-OFF) και ταυτόχρονα ελέγχονται όλες οι λειτουργίες όπως ενδείξεις, αλληλοδεσμεύσεις. Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών ο πίνακας είναι εκτός τάσης. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση των δοκιμών και σε συνεννόηση με τη ΔΕΗ, ο πίνακας 20 kV τίθεται υπό τάση. Κατά τη διάρκεια των τριών παραπάνω φάσεων έχουν γίνει αλλαγές- διορθώσεις που αναγράφονται πάνω στα σχέδια. Οι διορθώσεις αυτές μεταφέρονται στα αρχικά σχέδια και προκύπτει ο τελικός φάκελος των σχεδίων όπως αυτά κατασκευάστηκαν (As Build).

- **Φάση IV, Συντήρηση του πίνακα 20 kV.**

Ο τόμος με τα διορθωμένα σχέδια παραδίδεται στο τμήμα συντήρησης του αεροδρομίου. Τα σχέδια αυτά θα χρησιμοποιηθούν από τον ηλεκτρολόγο συντηρητή καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του αεροδρομίου. Επίσης, θα αποτελέσουν σημείο αναφοράς για οποιαδήποτε μελλοντική τροποποίηση ή επέκταση των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου.

Για το σχολιασμό των σχεδίων έχουν προστεθεί σε αυτά κίτρινοι κύκλοι που αριθμούνται με τους αριθμούς 1,2 κλπ. Για κάθε αριθμό υπάρχει το αντίστοιχο σχόλιο που το διαβάζετε στη διπλανή από το σχέδιο σελίδα.

Σχόλια Φύλλου 10

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε το μονογραμμικό σχέδιο του πίνακα των 20 kV.

Το μονογραμμικό σχέδιο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή του μια κυψέλη του πίνακα των 20 kV. Κάτω από κάθε γραμμή υπάρχει ένας κατάλογος με τα κύρια υλικά που αναφέρονται στο μονογραμμικό και συνεπώς στα υλικά που υπάρχουν στην κυψέλη.

Ο πίνακας μέσης τάσης αποτελείται από τρεις (3) κυψέλες, μία κυψέλη άφιξης από τη ΔΕΗ, και δύο κυψέλες προστασίας (αναχώρησης) των ΜΣ.

1. Γύρω από το χαρτί υπάρχει ένα διπλό πλαίσιο που περιέχει τον κάρναβο του σχεδίου. Ο οριζόντιος κάρναβος αποτελείται από τα γράμματα **A,B,C,D,E,F** και ο κάθετος κάρναβος από τους αριθμούς **1,2,3,4,5,6,7,8**. Έτσι μπορούμε να αναφερθούμε σε οποιαδήποτε περιοχή του σχεδίου χρησιμοποιώντας τα γράμματα/αριθμούς του καννάβου.

2. Κάτω δεξιά υπάρχει ο αριθμός του φύλλου, δηλαδή 10 και ο αριθμός του επόμενου φύλλου, δηλαδή 20. Βλέπουμε ότι δεν υπάρχει μια συνέχεια στην αρίθμηση των φύλλων και ο λόγος είναι για να μπορούμε (αν χρειαστεί) να παρεμβάλλουμε νέα φύλλα.

3. Πάνω από τις μπάρες του πίνακα αναγράφονται με τη σειρά:

- η ονομαστική τάση $U_n = 24 \text{ kV}$
- το ονομαστικό ρεύμα $I_n = 1250 \text{ A}$
- η αντοχή σε βραχυκύκλωμα διάρκειας 1 s, $I_k = 25 \text{ kA}$ τιμή RMS και τιμή κορυφής $I_p = 50 \text{ kA}$.

4. Σε όλες τις κυψέλες προβλέπεται συρόμενος διακόπτης ισχύος (Δ.Ι.) SF₆. Σε παρόμοιους υποσταθμούς με παρόμοια ισχύ Μ/Σ συναντάμε αποζεύκτες φορτίου αντί των Δ.Ι. που είναι πολύ πιο οικονομική λύση. Στο αεροδρόμιο όμως για λόγους αυξημένης αξιοπιστίας, σε όλες τις κυψέλες χρησιμοποιούνται διακόπτες ισχύος.

Έτσι υπάρχει η δυνατότητα τηλεχειρισμού όλου του υποσταθμού από ένα κεντρικό σημείο ελέγχου και η δυνατότητα άμεσης αντί-κατάστασης του Δ.Ι.

5. Στην κυψέλη άφιξης υπάρχει χωρητικός καταμεριστής τάσης που τροφοδοτεί τις ενδεικτικές λυχνίες. Έτσι μπορούμε να βλέπουμε αν υπάρχει τάση στο καλώδιο της ΔΕΗ.

6. Για τη μέτρηση της τάσης στο καλώδιο της ΔΕΗ υπάρχουν τρεις Μ/Σ τάσης με λόγο 15-20/0,1 kV.

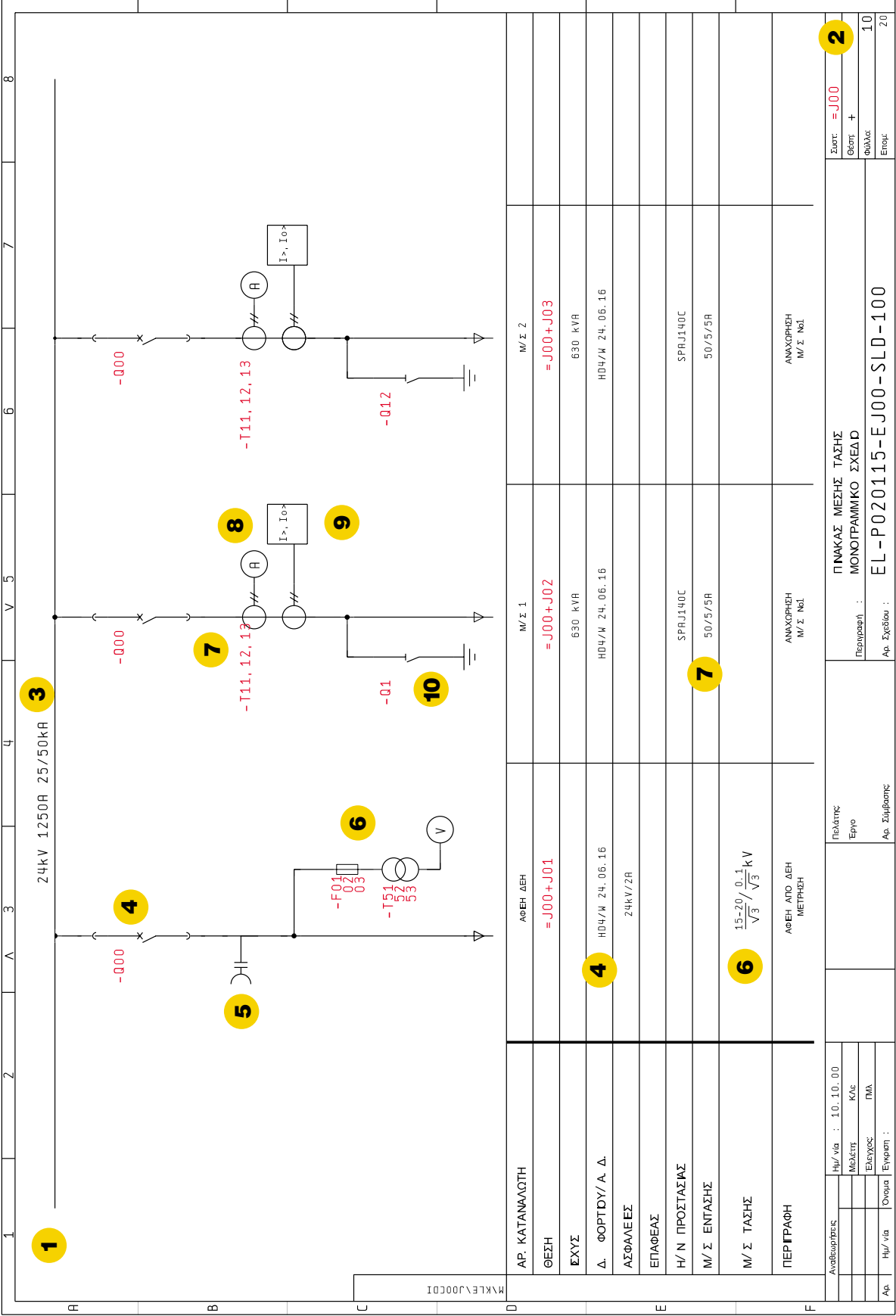
Οι Μ/Σ τάσης έχουν λόγο 15-20 kV, διότι σε πολλά νησιά η μέση τάση της ΔΕΗ είναι ακόμη 15 kV. Έτσι όλο το υλικό του υποσταθμού (Μ/Σ ισχύος, Μ/Σ μέτρησης κ.ά) εργάζεται στα 15 kV. Όταν στο μέλλον, η τάση του δικτύου Μ.Τ. ευθυγραμμισθεί με την τυποποιημένη τάση των 20 kV, το υπάρχον υλικό με μικρές μετατροπές μπορεί να λειτουργήσει και στα 20 kV.

7. Στις δύο κυψέλες προστασίας των Μ/Σ ισχύος υπάρχουν τρεις Μ/Σ έντασης (**-T11, -T12, -T13**) με λόγο **50/5/5A**, δηλαδή έχουν δύο δευτερεύοντα τυλίγματα.

8. Το ένα δευτερεύον τυλίγμα χρησιμοποιείται για μέτρηση και τροφοδοτεί τα Α-μετρα.

9. Το άλλο τυλίγμα χρησιμοποιείται για προστασία και τροφοδοτεί τον Ηλεκτρονόμο προστασίας. Ο Η/Ν προστασίας περιλαμβάνει στοιχείο υπερέντασης (ένα για κάθε φάση) και στοιχείο διαρροής ρεύματος προς τη γη. Όταν το ρεύμα ξεπεράσει το όριο στο οποίο έχει ρυθμισθεί δίνει εντολή απόζευξης του **-Q00**.

10. Στις δύο κυψέλες προστασίας των Μ/Σ υπάρχει γειωτής στην πλευρά του καλωδίου. Χρησιμοποιείται για τη γείωση των στατικών φορτίων στη πλευρά των 20 kV του Μ/Σ πριν από την εργασία συντήρησης στο Μ/Σ.



Σχόλια Φύλλου 20

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε τη μπροστινή όψη του πίνακα 20 kV. Ευκολα διακρίνουμε από αριστερά προς τα δεξιά την κυψέλη άφιξης απο ΔΕΗ και τις δύο κυψέλες προστασίας των Μ/Σ.

Οι κυψέλες είναι μεταλλικά διαμερισματοποιημένες δηλαδή χωρίζονται σε ανεξάρτητα διαμερίσματα από χαλυβδοελάσματα.

Στο πάνω μπροστινό μέρος κάθε κυψέλης υπάρχει το *διαμέρισμα χαμηλής τάσης* που είναι τελείως απομονωμένο από την υπόλοιπη κυψέλη. Ακριβώς από πίσω βρίσκεται το *διαμέρισμα των ζυγών* 20 kV. Στο κάτω μέρος κάθε κυψέλης είναι το διαμέρισμα των καλωδίων.

Στο μεσαίο διαμέρισμα κάθε κυψέλης βρίσκεται ο συρόμενος Δ.Ι. Σημειώνουμε ότι όλοι οι Δ.Ι. που υπάρχουν στον πίνακα είναι ακριβώς ίδιοι. Ετσι σε περίπτωση βλάβης σε οποιοδήποτε Δ.Ι., αυτός αντικαθίσταται αμέσως από τον εφεδρικό Δ.Ι. που προβλέπεται στον υποσταθμό.

1. Μιμικό διάγραμμα στο οποίο έχει σχεδιασθεί το μονογραμμικό διάγραμμα της κάθε κυψέλης.

2. Παράθυρο που μας επιτρέπει να δούμε στο εσωτερικό της κυψέλης τη θέση του φορίου του Δ.Ι. και του γειωτή.

3. Στην κυψέλη άφιξης υπάρχουν οι ενδεικτικές λυχνίες που μας επιτρέπουν να βλέπουμε αν υπάρχει τάση στο καλώδιο της ΔΕΗ. Οι ενδεικτικές λυχνίες τροφοδοτούνται από τους χωρητικούς καταμεριστές τάσης.

4. Η απλή ένδειξη της ύπαρξης τάσης στο καλώδιο της ΔΕΗ δε μας αρκεί. Ετσι το V-μετρο (4α) μας δείχνει την ακριβή τάση στο καλώδιο. Το V-μετρο τροφοδοτείται από τα δευτερεύοντα των τριών μονοπολικών Μ/Σ τάσης που υπάρχουν στο κάτω μέρος της κυψέλης. Για να βλέπουμε στο ίδιο V-μετρο την τιμή της τάσης σε κάθε μία από τις τρεις φάσεις, υπάρχει ο περιστροφικός μεταγωγικός διακόπτης (4β) τεσσάρων θέσεων.

- στη θέση 0 το V-μετρο δείχνει 0, δηλαδή απομονώνεται από τους Μ/Σ τάσης
- στη θέση L1-L2 το V-μετρο δείχνει την τάση μεταξύ των φάσεων L1 και L2
- στη θέση L2-L3 το V-μετρο δείχνει την τάση μεταξύ των φάσεων L2 και L3
- στη θέση L3-L1 το V-μετρο δείχνει την τάση μεταξύ των φάσεων L3 και L1

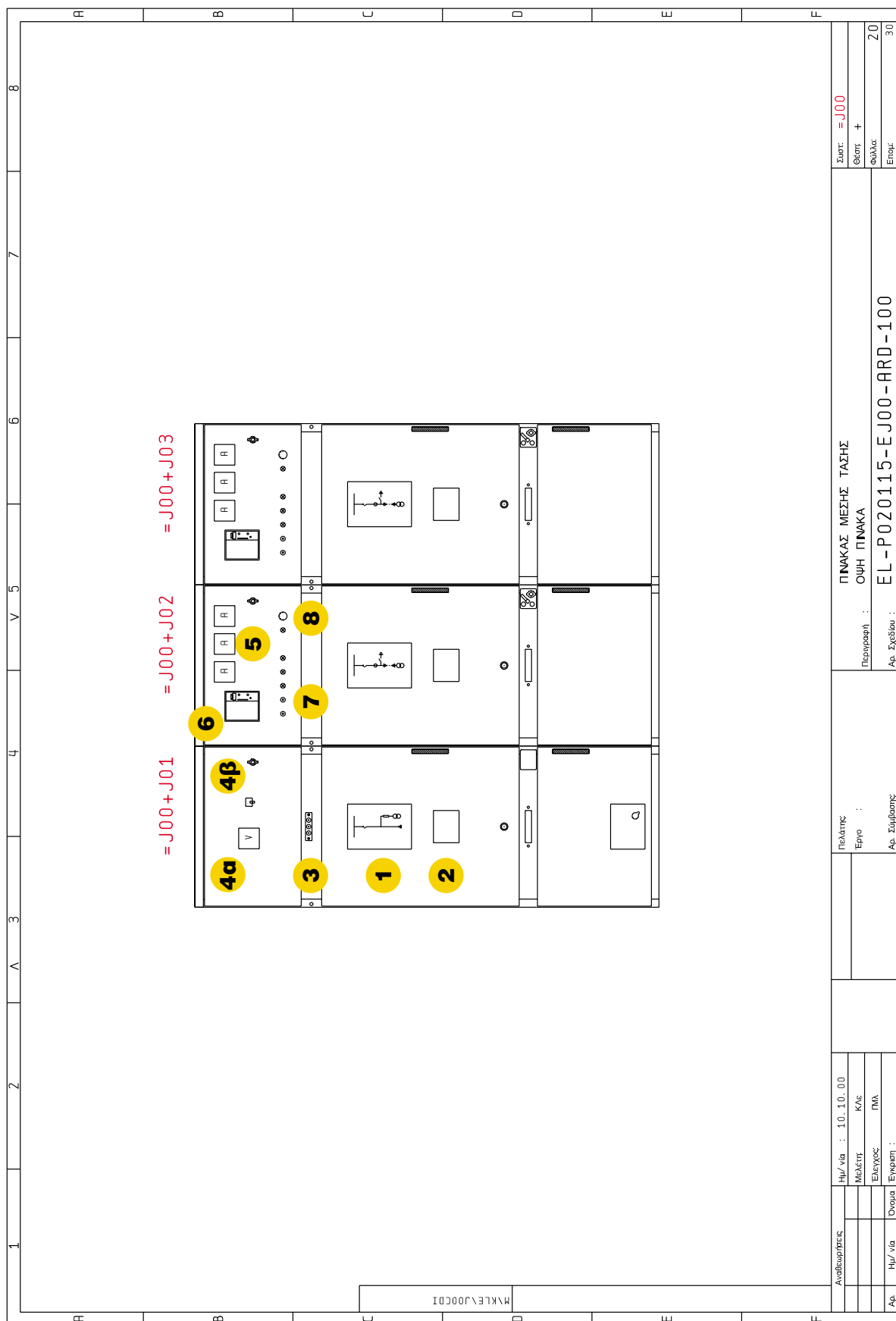
5. Στις κυψέλες προστασίας των Μ/Σ υπάρχουν από τρία Α-μετρα που μας δείχνουν το ρεύμα σε κάθε φάση στην πλευρά Μ.Τ. του Μ/Σ ισχύος. Τα τρία Α-μετρα τροφοδοτούνται από τα τυλίγματα μέτρησης των αντίστοιχων Μ/Σ έντασης που υπάρχουν στο κάτω μέρος της κυψέλης. Τα τρία Α-μετρα, από αριστερά προς τα δεξιά, μετράνε αντίστοιχα τις φάσεις L1, L2, L3.

Στους ηλεκτρικούς πίνακες αλλά και στα ηλεκτρολογικά υλικά ισχύει ο κανόνας ότι κοιτώντας προς τον πίνακα ή το υλικό η σειρά των φάσεων L1, L2, L3 είναι πάντα από αριστερά προς τα δεξιά ή από έξω προς τα μέσα

6. Στις κυψέλες προστασίας των Μ/Σ υπάρχει ο Η/Ν προστασίας που προστατεύει τον Μ/Σ από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα. Ο Η/Ν προστασίας τροφοδοτείται από τα τυλίγματα προστασίας των τριών Μ/Σ έντασης που υπάρχουν στο κάτω μέρος της κυψέλης.

7. Σε κάθε κυψέλη υπάρχουν μια σειρά από ενδεικτικές λυχνίες που μας δείχνουν τη θέση του διακόπτη ισχύος (ΑΝΟΙΚΤΟΣ-ΚΛΕΙΣΤΟΣ) και τις πιθανές βλάβες στα κυκλώματα της κυψέλης (π.χ ο Δ.Ι. δεν είναι διαθέσιμος)

8. Σε κάθε κυψέλη υπάρχουν τουλάχιστον δύο διακόπτες κομβίου (μπουτόν) που μας επιτρέπουν να κλείσουμε και να ανοίξουμε το Δ.Ι. ηλεκτρικά μέσω των αντίστοιχων πηνίων.



Σχόλια Φύλλου 30

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε το πάνω μέρος της κυψέλης άφιξης. Πιο αναλυτικά βλέπουμε:

- ένα μέρος των κύριων ζυγών 20 kV (1α)
- τις κύριες επαφές του διακόπτη ισχύος (Δ-I) (3α)
- τα βοηθητικά μέρη του Δ.Ι., δηλαδή
 - τις βοηθητικές επαφές (3β),
 - τον κινητήρα όπλισης του ελατηρίου ζεύξης (4),
 - το πηνίο ζεύξης (5) και το πηνίο απόζευξης (6),
 - τις επαφές των τερματικών διακοπών του φορείου (7).

1α. Οι οριζόντιοι ζυγοί συνεχίζονται στο φύλλο 60 στήλη 2 (/60.2), δηλαδή μετά το χαρακτήρα / ακολουθεί ο αριθμός του φύλλου (60) και μετά την τελεία ο αριθμός της στήλης. Θυμίζουμε ότι κάθε φύλλο είναι χωρισμένο σε βοηθητικό κάναβο που αποτελείται από έξι οριζόντια και οκτώ κάθετα τμήματα. Έτσι η αναζήτηση σε ένα φύλλο, γίνεται πολύ πιο εύκολη και γρήγορη.

1β. Οι κάθετοι ζυγοί συνεχίζονται στο φύλλο 31 στήλη 2 (/31.2). (Πηγαίνετε στο φύλλο 31 να το επιβεβαιώσετε)

2α. Στη κάτω δεξιά γωνία του υπομνήματος κάθε φύλλου βλέπουμε το σύστημα (=J00) και τη θέση (+J01). Στην ενότητα 1.7.5 αναφερθήκαμε στη χρησιμότητα των δύο αυτών κωδικών. Ο ηλεκτρολόγος που διαβάζει το σχέδιο, με μια ματιά ξέρει ότι βρίσκεται στον πίνακα 20 kV (=J00) και στην κυψέλη άφιξης (+J01).

2β. Στο πλαίσιο *Περιγραφή* στο υπόμνημα του σχεδίου διαβάζουμε ΚΥΨΕΛΗ ΕΙΣΟΔΟΥ ΔΕΗ, ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ. Δηλαδή επιβεβαιώνεται ότι βρισκόμαστε στη κυψέλη άφιξης και ότι βλέπουμε το κύριο κύκλωμα των 20 kV.

3α. Αριστερά από το σύμβολο του διακόπτη ισχύος (-Q01) υπάρχουν τα βασικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ονομαστική τάση (24 kV), ονομαστική ένταση (630 A) και ονομαστικό ρεύμα διακοπής (16 kA).

3β. Στο πλαίσιο με διακεκομμένη γραμμή, βλέπουμε τις βοηθητικές επα-

φές του διακόπτη ισχύος -Q01. Ο διακόπτης είναι εξοπλισμένος με εννέα (9) βοηθητικές επαφές (4 ανοικτές και 5 κλειστές) που με τη βοήθεια πολυμριζίου καταλήγουν στην κλεμμοσειρά -X1. Οι επαφές αυτές χρησιμοποιούνται στα βοηθητικά κυκλώματα του υποσταθμού. Δίπλα σε κάθε επαφή φαίνεται το φύλλο που θα πρέπει να την αναζητήσουμε. Για παράδειγμα οι επαφές Q/2 και Q/3 θα πρέπει να τις αναζητήσουμε στο φύλλο 37.2. Προσέξτε ότι, οι επαφές Q/10, Q/11 και Q/12 είναι εφεδρικές, δηλαδή δεν χρησιμοποιούνται πουθενά και απλά καταλήγουν στην κλεμμοσειρά -X1

4. Ο κινητήρας τάνυσης (κουρδίσματος) του ελατηρίου ζεύξης αποτελεί βασικό εξάρτημα του διακόπτη ισχύος. Σε σειρά με το τύλιγμα του κινητήρα τάνυσης υπάρχει μια τερματική κλειστή επαφή (1-2) που διακόπτει αυτόματα το κύκλωμα του κινητήρα, όταν το ελατήριο ζεύξης τανυσθεί πλήρως. Το κύκλωμα του κινητήρα καταλήγει στις κλέμμες 25,26 της κλεμμοσειράς -X1.

5. Το πηνίο ζεύξης YC του ΔΙ καταλήγει στις κλέμμες 4, 14 της κλεμμοσειράς -X1. Για να κλείσει ο διακόπτη ισχύος πρέπει στις κλέμμες αυτές να εμφανιστεί τάση ίση με την ονομαστική τάση του πηνίου, δηλαδή 220 VAC (βλέπε κατάλογο υλικών φύλλο 101) . Για να δούμε πως γίνεται η εντολή ζεύξης πρέπει να πάμε στο **φύλλο 35.7**

6. Το πηνίο απόζευξης Y01 του ΔΙ καταλήγει στις κλέμμες 30,31 της κλεμμοσειράς -X1. Για να ανοίξει ο διακόπτη ισχύος πρέπει στις κλέμμες αυτές να εμφανιστεί τάση ίση με την ονομαστική τάση του πηνίου, δηλαδή 110 VDC (βλέπε κατάλογο υλικών φύλλο 101). Για να δούμε πως γίνεται η εντολή απόζευξης πρέπει να πάμε στο **φύλλο 35.4**. Προσέξτε ότι σε σειρά με το πηνίο Y01 υπάρχει μια ανοικτή βοηθητική επαφή (1-2) του -Q01. Ο λόγος είναι ότι δεν επιτρέπεται να μένει το πηνίο ζεύξης συνεχώς υπό τάση διότι θα καταστραφεί το τύλιγμα του. Η επαφή 1-2 είναι κλειστή όταν ο διακόπτης -Q01 είναι κλειστός και συνεπώς η εντολή απόζευξης θα τη βρεί κλειστή.

Σχόλια Φύλλου 31

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε το κάτω μέρος της κυψέλης άφιξης. Πιο αναλυτικά βλέπουμε:

- ένα μέρος των κατακόρυφων ζυγών (μπαρών) 20 kV
- τους χωρητικούς καταμεριστές τάσης (2)
- τις ενδεικτικές λυχνίες (3).

1α. Οι κάθετες μπάρες συνεχίζονται προς τα πάνω στο **φύλλο 30.3** (Πηγαίνετε στο φύλλο 30 να το επιβεβαιώσετε)

1α. Οι κάθετες μπάρες συνεχίζονται προς τα κάτω στο **φύλλο 32.3** (Πηγαίνετε στο φύλλο 32 να το επιβεβαιώσετε)

2. Όπως έχουμε αναφέρει στην ενότητα 1.7.2, για να μπορούμε να

βλέπουμε αν υπάρχει τάση στους ζυγούς των 20 kV, χρησιμοποιούμε ειδικούς μονωτήρες με χωρητικούς καταμεριστές τάσης. Στο εσωτερικό κάθε μονωτήρα υπάρχει ο πυκνωτής ζεύξης με την τάση των 20 kV (**-C11, -C12, -C13**).

3. Για να λειτουργήσει ο χωρητικός καταμεριστής τάσης, απαιτείται και ένας δεύτερος πυκνωτής (Εικόνα 1.7.2β), παράλληλα στον οποίο συνδέεται μια λυχνία αίγλης. Για τις τρεις φάσεις απαιτούνται τρεις πυκνωτές χαμηλής τάσης και τρεις ενδεικτικές λυχνίες αίγλης, που περιέχονται σε μια συσκευή με τον κωδικό προσδιορισμού **-H1**. Η συσκευή H1 τοποθετείται στη μπροστινή όψη της κυψέλης και όταν και οι τρεις λυχνίες είναι αναμμένες σημαίνει ότι υπάρχει τάση.

Σχόλια Φύλλου 32.

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε το κάτω μέρος της κυψέλης άφιξης (διαμέρισμα καλωδίων) και το σύστημα μέτρησης των 20 kV. Πιο αναλυτικά βλέπουμε:

- ένα μέρος των κατακόρυφων ζυγών (μπαρών) 20 kV
- τους τρεις μονοπολικούς μετασχηματιστές τάσης (2)
- τις κλέμμες δοκιμών (3).
- τον αυτόματο διακόπτη προστασίας των δευτερευόντων τυλιγμάτων (4)
- το μεταγωγικό διακόπτη και το V-μετρο.

1α. Οι κάθετοι ζυγοί συνεχίζονται προς τα πάνω στο **φύλλο 31.3** (Πηγαίνετε στο φύλλο 31 να το επιβεβαιώσετε)

2. Οι τρεις μονοπολικοί μετασχηματιστές τάσης (**-T51, -T52, -T53**) μετράνε την τάση στο καλώδιο άφιξης. Το πρωτεύον τυλίγμα ασφαλιζεται με ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής HRC (**-F01, -F02, -F03**). Στο δευτερεύον τυλίγμα τους υπάρχει μια μεσαία λήψη ώστε να αλλάξουμε το λόγο τους, όταν η μέση τάση από 15 kV γίνει 20 kV.

Έτσι οι μετασχηματιστές χαρακτηρίζονται με τον λόγο

$$\frac{15000-20000}{V\sqrt{3}} / \frac{100}{V\sqrt{3}}$$

Θυμίζουμε ότι ο παρανομαστής $V\sqrt{3}$ μετατρέπει την πολική τάση σε φασική τάση. Παρόλο που δεν υπάρχει ουδέτερος στα δίκτυα των 20 kV, οι τρεις ακροδέκτες **N** των πρωτευόντων τυλιγμάτων δημιουργούν ένα τεχνητό ουδέτερο που γειώνεται.

3. Τα δευτερεύοντα τυλίγματα των M/Σ τάσης καταλήγουν σε ειδικές κλέμμες στην κλεμμοσειρά **-X0** που μας επιτρέπουν να απομονώνουμε τους M/Σ για να ελέγχουμε την ακρίβεια τους.

4. Τα δευτερεύοντα τυλίγματα των M/Σ τάσης ασφαλιζονται με ένα τριπολικό αυτόματο διακόπτη (**-F10**), ονομαστικού ρεύματος 4A. Ο διακόπτης είναι εφοδιασμένος με μία ανοικτή (**13-14**) και μια κλειστή επαφή (**21-22**). Η ανοικτή επαφή χρησιμοποιείται για σήμανση όπως μπορούμε να δούμε στο **Φύλλο 38.7**. Η κλειστή επαφή χρησιμοποιείται για συναγερμό όπως μπορούμε να δούμε στο **Φύλλο 37.8**.

5. Αντί να χρησιμοποιήσουμε τρία V-μετρα, ένα για κάθε M/Σ μέτρησης, χρησιμοποιούμε ένα V-μετρο (**-P24**) σε συνδυασμό με το μεταγωγικό διακόπτη (**-S24**) 4 θέσεων. Οι θέσεις που παίρνει ο μεταγωγικός διακόπτης είναι **OFF, L1L2, L2L3, L3L1**, δηλαδή μετρά, την τάση μεταξύ δύο οποιονδήποτε φάσεων (πολική τάση).

Σχόλια Φύλλου 33

Για να μπορέσουμε να αναλύσουμε το φύλλο 33 πρέπει να εξηγήσουμε τις παρακάτω έννοιες:

Βοηθητική τάση

Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν τα βοηθητικά κυκλώματα του πίνακα των 20 kV αλλά και όλου του υποσταθμού γενικότερα (π.χ τάνυση ελατηρίων Δ.Ι., ενδεικτικές λυχνίες, εντολές ζεύξης-απόξευξης κ.ά.) απαιτείται μια *βοηθητική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας*. Η βοηθητική πηγή πρέπει να είναι ανεξάρτητη από την παροχή των 20 kV, δηλαδή υπάρχει ακόμα και όταν χαθεί η παροχή των 20 kV, για να μπορούμε να κάνουμε τους χειρισμούς ακόμα και όταν υπάρχει διακοπή από τη ΔΕΗ.

Τις περισσότερες φορές, η βοηθητική πηγή είναι ένα σύστημα φορτιστή - συστοιχίας συσσωρευτών, που παράγει μια συνεχή τάση που η ονομαστική της τιμή συνήθως είναι 24, 48, 110 ή 220 VDC.

Στην περίπτωση του υποσταθμού του αεροδρομίου, επειδή προβλέπεται σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS) σε συνδυασμό με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, η βοηθητική τάση επιλέγεται 220 VAC. Αυτό βέβαια συνεπάγεται ότι και τα αντίστοιχα υλικά του υποσταθμού έχουν την ίδια ονομαστική τάση λειτουργίας π.χ όλοι οι κινητήρες τάσης των ελατηρίων των Δ.Ι. είναι ονομαστικής τάσης 220 VAC.

Κατηγορίες βοηθητικών κυκλωμάτων

Για λόγους ασφαλείας τα βοηθητικά κυκλώματα κάθε κυψέλης χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- κύκλωμα όπλισης του Δ.Ι. (**22L, 22N**)
- κύκλωμα ελέγχου-προστασίας του Δ.Ι. (**23L, 23N**)
- κύκλωμα ενδείξεων (**25L, 25N**)

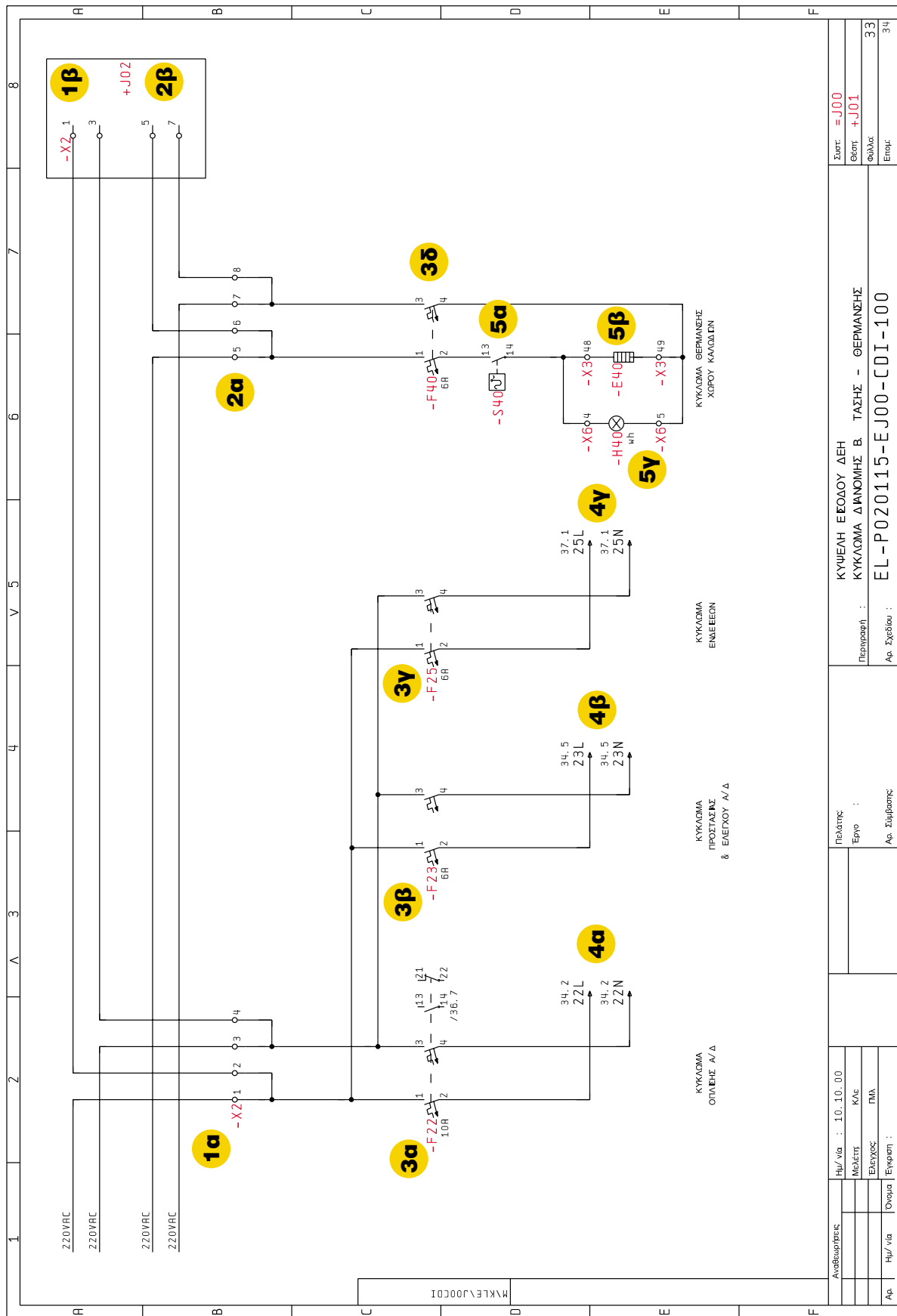
Κάθε κύκλωμα προστατεύεται με ανεξάρτητο μικροαυτόματο διακόπτη (**-F22, -F23, -F25**). Έτσι σε περίπτωση σφάλματος σε ένα κύκλωμα π.χ βραχυκύκλωμα σε μια ενδεικτική λυχνία τα υπόλοιπα κυκλώματα παραμένουν σε λειτουργία.

Θέρμανση χώρου καλωδίων 20 kV

Τους χειμερινούς μήνες, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας συμπυκνωμάτων (υγροποίηση της υγρασίας του αέρα) στο εσωτερικό των κυψελών και ειδικότερα στο κάτω μέρος τους, που συνδέονται τα καλώδια και που επικοινωνεί με τον εξωτερικό αέρα. Για να αποφύγουμε τη δημιουργία συμπυκνωμάτων, θερμαίνουμε τον αέρα στο εσωτερικό της με τη βοήθεια της ηλεκτρικής αντίστασης **-E40** (5γ).

Ερχόμαστε τώρα στην ανάλυση του φύλλου 33.

- 1.** Η βοηθητική τάση των 220 VAC, κατ'αρχάς συνδέεται στις κλέμμες **1** και **3** της κλεμμοσειράς **-X2** της κυψέλης **+J01**. Από εκεί με καλώδια γεφυρώνεται στις αντίστοιχες κλέμμες της κυψέλης **+J02** (1β) κ.ο.κ.
- 2.** Η βοηθητική τάση των 220 VAC για τη θέρμανση, κατ'αρχάς συνδέεται στις κλέμμες **5** και **7** της κλεμμοσειράς **-X2** της κυψέλης **+J01**.
- 3.** Στην αρχή κάθε κυκλώματος προτάσσεται για λόγους προστασίας ένας μικροαυτόματος διακόπτης. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη συμμάτωση της κυψέλης είναι διατομής 1,50 mm² και συνεπώς επιλέγονται μικροαυτόματοι με $I_n = 6 \text{ A}$.
- 4.** Οι βοηθητικές τάσεις χαρακτηρίζονται με κωδικούς με τους οποίους θα τις συναντάμε στα επόμενα λειτουργικά σχέδια. Για παράδειγμα, βοηθητική τάση για τον οπλισμό του Δ.Ι., χαρακτηρίζεται με τους κωδικούς **22L** η φάση και **22N** ο ουδέτερος.
- 5.** Η αντίσταση θέρμανσης **-E40** βρίσκεται στο χώρο των καλωδίων και ελέγχεται από το θερμοστάτη χώρου **-S40**. Ο θερμοστάτης **-S40** είναι ρυθμιζόμενος ώστε η αντίσταση θέρμανσης να λειτουργεί μόνο όταν η θερμοκρασία στο χώρο των καλωδίων κατέβει κάτω από κάποιο όριο π.χ 10 °C. Παράλληλα με την αντίσταση **-E40**, υπάρχει η ενδεικτική λυχνία **-H40**, που βρίσκεται στην εξωτερική όψη του πίνακα, και μας δείχνει αν η αντίσταση θέρμανσης είναι σε λειτουργία.



Σχόλια Φύλλου 34

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε τη λειτουργία:

- του κυκλώματος αυτόματης όπλισης του Δ.Ι.
- του κυκλώματος απαγόρευσης ζεύξης του Δ.Ι. με την απενεργοποίηση (δηλαδή μη διέλευση ρεύματος) του πηνίου **YL1** (αρνητική λογική). Αν διατυπώσουμε το ίδιο πράγμα αλλιώς θα λέγαμε ότι ο Δ.Ι. επιτρέπεται να κλείσει αν από το πηνίο **YL1** διέρχεται ρεύμα (θετική λογική).

- 1.** Η βοηθητική τάση για την όπλιση του Δ.Ι. είναι 220 VAC και χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **22L** (φάση) και **22N** (ουδέτερος).
- 2.** Ο κινητήρας τάνυσης του ελατηρίου ζεύξης ελέγχεται από μία τερματική κλειστή επαφή 1-2 που ανοίγει όταν το ελατήριο σπλίσσει πλήρως. Το ελατήριο αυτό παραμένει σπλισμένο και απελευθερώνεται (αφοπλίζεται) μόνο όταν έλθει η εντολή ζεύξης. Μόλις το ελατήριο αφοπλισθεί, η κλειστή επαφή 1-2 κλείνει και ο κινητήρας αναλαμβάνει αυτόματα να το ξανασπλίσσει. Η αυτόματη όπλιση του ελατηρίου διαρκεί περίπου 5-20 s και μπορεί σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ βλάβη του κινητήρα) να γίνει και χειροκίνητα με τη βοήθεια ενός εξωτερικού μοχλού (μανιβέλας).
- 3.** Η βοηθητική τάση για τα κυκλώματα ελέγχου είναι 220 VAC και χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **23L** (φάση) και **23N** (ουδέτερος). Η γραμμή της φάσης έρχεται από το φύλλο **33.4** και συνεχίζεται στο φύλλο **35.4**

- 4.** Ο ΔΙ μπορεί να κλείσει όταν:

α. Η θέση του φορείου του είναι στη θέση ΣΥΝΔΕΣΗ ή στη θέση ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ. Σε οποιαδήποτε ενδιάμεση θέση το κλείσιμο των επαφών του μπορεί να δημιουργήσει υπερπήδηση της τάσης των 20 kV από το διαμέρισμα των ζυγών στο διαμέρισμα των καλωδίων, θέτοντας σε κίνδυνο την ζωή του προσωπικού.

Τη συνθήκη αυτή την ελέγχει η κλειστή επαφή **3-4** του τερματικού διακόπτη **S75C** που υπάρχει στο φορείο του Δ.Ι.

β. Η πίεση του αερίου SF₆ και στους τρεις πόλους του Δ.Ι. είναι σωστή. Τη συνθήκη αυτή την ελέγχει η κλειστή επαφή **11-12** του βοηθητικού ρελέ **-K163**.

Όταν ισχύουν τα παραπάνω, δηλαδή το φορείο είναι στη σωστή θέση και η πίεση του SF₆ είναι σωστή, τότε το ρεύμα περνά από το πηνίο -YL1 και ο ανοικτός Δ.Ι. μπορεί να κλείσει.

Σε σειρά με το πηνίο YL1 υπάρχει μια κλειστή βοηθητική επαφή **7-8** του **-Q00**. Η επαφή αυτή, ονομάζεται επαφή οικονομίας διότι όταν ο ΔΙ κλείσει, η επαφή αυτή ανοίγει όταν ο Ι.Δ. κλείσει και συνεπώς διακόπτει το ρεύμα που αλλιώς θα συνέχιζε να περνά από το πηνίο **-YL1**

Σχόλια Φύλλου 35

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε:

- τη λειτουργία της ζεύξης (κλείσιμο) και απόζευξης (άνοιγμα) ή αλλιώς ελέγχου του Δ.Ι.
- Τη λειτουργία εποπτείας της καλής κατάστασης των κυκλωμάτων ζεύξης και απόζευξης του Δ.Ι.

Ελεγχος διακόπτη ισχύος

Ο έλεγχος του Δ.Ι επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του πηνίου ζεύξης **YC** (C από τη λέξη closing = κλείσιμο) και του πηνίου απόζευξης **YO1** (O από τη λέξη Opening = άνοιγμα) με τα οποία είναι εφοδιασμένος ο Δ.Ι. Και τα δύο πηνία λειτουργούν σαν ηλεκτρομαγνήτες, δηλαδή όταν περάσει ρεύμα από το πηνίο, μαγνητίζεται ο πυρήνας τους και τραβά τον σπλισμό του. Ο σπλισμός συνδέεται μηχανικά με το μηχανισμό απελευθέρωσης του αντίστοιχου ελατηρίου. Έτσι, όταν περάσει ρεύμα από το πηνίο **YC** ελευθερώνεται το ελατήριο ζεύξης που παρασύρει και κλείνει τις κινητές επαφές του Δ.Ι.

Αντίστοιχα, όταν περάσει ρεύμα από το πηνίο **YO1** ελευθερώνεται το ελατήριο ανοίγματος ζεύξης που παρασύρει και ανοίγει τις κινητές επαφές του Δ.Ι.

1. Η βοηθητική τάση για τα κυκλώματα ελέγχου είναι 220 VAC και χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **23L** (φάση) και **23N** (ουδέτερος). Η γραμμή της φάσης έρχεται από το φύλλο **34.7** και συνεχίζεται στο φύλλο **36.1**

2. Το πηνίο απόζευξης **-YO1** καταλήγει στις κλέμμες **30** και **31** της κλεμμοσειράς **-X1**. Σε σειρά με το πηνίο υπάρχει μια ανοικτή βοηθητική επαφή **1-2** που λειτουργεί σαν επαφή οικονομίας, δηλαδή διακόπτει το ρεύμα από το πηνίο όταν ο Δ.Ι. ανοίξει, που αλλιώς θα συνέχιζε να περνά από το πηνίο.

Η εντολή απόζευξης μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- α.** Με το κλείσιμο της ανοικτής επαφής **3-4** του διακόπτη κομβίου (μπουτόν) **-S11**
- β.** Με το κλείσιμο κάποιας ανοικτής επαφής κάποιοι ηλεκτρονόμευ προσασίας

γ. Με το κλείσιμο κάποιας ανοικτής επαφής από το σύστημα τηλεχειρισμού.

3. Το πηνίο ζεύξης **-YC** καταλήγει στις κλέμμες **4** και **14** της κλεμμοσειράς **-X1**. Η εντολή απόζευξης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

α. Με το κλείσιμο της ανοικτής επαφής **3-4** του διακόπτη κομβίου (μπουτόν) **-S10**

β. Με το κλείσιμο κάποιας ανοικτής επαφής από το σύστημα τηλεχειρισμού.

4. Σκοπός του ρελέ **-K32** είναι η επιτήρηση της υγείας του κυκλώματος απόζευξης .

Το πηνίο **A1-A2** του βοηθητικού ρελαί **-K32** συνδέεται σε σειρά με το πηνίο **-YO1**. Η αντίσταση του πηνίου A1A2 είναι της τάξης των 100 Ω ενώ η αντίσταση του πηνίου **YO1** είναι της τάξης του 1 Ω. Όταν το πηνίο **-YO1** είναι εκτός λειτουργίας αλλά είναι υγιές, τότε δημιουργείται ένας καταμεριστής τάσης με αποτέλεσμα η τάση των 220 V να κατανέμεται κατά 20 V στο πηνίο A1 A2 και 20V στο πηνίο **-YO1**. Η τάση των 20 V ενεργοποιεί το βοηθητικό ρελέ **-K32** ενώ αντίθετα η τάση των 2 V δεν ενεργοποιεί το πηνίο **-YO1**. Σε περίπτωση που το πηνίο **YO1** καεί ή κάποιο καλώδιο του κυκλώματος αποσυνδεθεί ή χαθεί η βοηθητική τάση **23L**, **23N** το βοηθητικό ρελέ **-K32** απενεργοποιείται.

Συμπερασματικά:

-K32 ενεργοποιημένο → κύκλωμα απόζευξης υγιές

-K32 απενεργοποιημένο → κύκλωμα απόζευξης μη υγιές

5. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως παραπάνω λειτουργεί και το βοηθητικό ρελέ **-K31** για το κύκλωμα ζεύξης, δηλαδή:

-K31 ενεργοποιημένο → κύκλωμα ζεύξης υγιές

-K31 απενεργοποιημένο → κύκλωμα ζεύξης μη υγιές

Στο επόμενο φύλλο 36 θα δούμε πως χρησιμοποιούμε τις κλειστές επαφές των **-K31** και **-K32** για να ελέξουμε την διαθεσιμότητα του Δ.Ι.

Σχόλια Φύλλου 36

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε:

- Το ηλεκτρικό κύκλωμα της συσκευής επιτήρησης - ένδειξης της πίεσης του αερίου SF₆ στους πόλους του Δ.Ι.
- Τον τρόπο με τον οποίο διαπιστώνουμε ότι ο Δ.Ι. είναι διαθέσιμος

Συσκευή επιτήρησης της πίεσης του αερίου SF₆ στους πόλους του Δ.Ι.

Σε κάθε έναν από τους τρεις πόλους (L1, L2, L3) του Δ.Ι. υπάρχει ένας πιεσοστάτης (B63), δηλαδή ένας αισθητήρας που ελέγχει συνεχώς την πίεση του αερίου SF₆. Όταν η πίεση είναι πάνω από το επίπεδο 1 (περίπου 0,6 bar πάνω από την ατμοσφαιρική) τότε ανάβει το πράσινο LED (HGN) (Green = πράσινο) μέσω της κανονικά κλειστής επαφής 11-12 του βοηθητικού ρελέ K63.

Όταν η πίεση σε κάποιο πόλο κατέβει κάτω από το επίπεδο 1, ο αντίστοιχος πιεσοστάτης (B63) κλείνει την κανονικά ανοικτή επαφή του 11-14 και ενεργοποιείται το K63. Συμβαίνουν με τη σειρά τα εξής:

- Η κανονικά κλειστή επαφή 11-12 του K63 ανοίγει και σβήνει το πράσινο LED (HGN)
- Η κανονικά ανοικτή επαφή 11-14 του K63 κλείνει και ανάβει το κίτρινο LED (HYE) (Yellow = κίτρινο)
- Η κανονικά κλειστή επαφή 21-22 του K63 ανοίγει και ακυρώνει τη διαθεσιμότητα του ΔΙ

Αν η πίεση του αερίου εξακολουθεί να κατεβαίνει και πέσει κάτω από το επίπεδο 2 (περίπου 0,3 bar πάνω από την ατμοσφαιρική), τότε ο πιεσοστάτης (B63) κλείνει την κανονικά ανοικτή επαφή του 21-22 και ενεργοποιείται το βοηθητικό ρελέ K163. Συμβαίνουν με τη σειρά τα εξής:

- Η κανονικά ανοικτή επαφή 41-44 του K163 κλείνει και ανάβει το κόκκινο LED (HRD) (Red = κόκκινο)
- Η κανονικά ανοικτή επαφή 41-44 του K163 κλείνει, δίνει εντολή από ζευξης του Δ.Ι. με τη βοήθεια του βοηθητικού πηνίου απόζευξης Y02

Ο Διακοπής Ισχύος (Δ.Ι.) είναι διαθέσιμος

Με τον όρο διαθέσιμος εννούμε ότι ο Δ.Ι. είναι σε κατάσταση που μπορεί να εκτελεί με ασφάλεια τις βασικές του λειτουργίες, δηλαδή να ανοίγει και να κλείνει με ασφάλεια τόσο το ονομαστικό του ρεύμα όσο και το ρεύμα σφάλματος. Η διαθεσιμότητα του Δ.Ι. ελέγχεται με τη διέλευση ρεύματος από το πηνίο A1-A2 του βοηθητικού ρελέ -K30. Για να περνάει ρεύμα από το πηνίο A1-A2 πρέπει και οι τέσσερις επαφές που βρίσκονται σε σειρά με αυτό να είναι κλειστές. Παρακάτω αναλύουμε τι κάνει η κάθε μία από τις επαφές αυτές

- Κανονικά ανοικτή επαφή 13-14 του μικροαυτόματου -F22 (φύλλο 33.2). Η επαφή αυτή κλείνει όταν ο -F22 είναι κλειστός και συνεπώς υπάρχει βοηθητική τάση για την όπλιση του ελατηρίου τάνυσης του Δ.Ι.
- Κανονικά ανοικτή επαφή 11-14 του βοηθητικού ρελέ -K31 (φύλλο 35.6). Η επαφή αυτή κλείνει όταν το -K31 είναι ενεργοποιημένο. Το -K31 ελέγχει τη κατάσταση (υγεία) του κυκλώματος απόζευξης και ενεργοποιείται μόνο όταν η κατάσταση του κυκλώματος απόζευξης είναι καλή.
- Κανονικά ανοικτή επαφή 11-14 του βοηθητικού ρελέ -K32 (φύλλο 35.5). Η επαφή αυτή κλείνει όταν το -K32 είναι ενεργοποιημένο. Το -K32 ελέγχει τη κατάσταση (υγεία) του κυκλώματος ζεύξης και ενεργοποιείται μόνο όταν η κατάσταση του κυκλώματος ζεύξης είναι καλή.
- Κανονικά κλειστή επαφή 21-22 του βοηθητικού ρελέ K63. Το K63 ελέγχεται από τη συσκευή επιτήρησης της πίεσης του SF₆ στους πόλους. Το K63 ενεργοποιείται όταν η πίεση του αερίου SF₆ σε κάποιο από τους τρεις πόλους του Δ.Ι. πέσει κάτω από το επίπεδο ασφαλείας.

Σχόλια Φύλλου 37

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε τη λειτουργία του κυκλώματος με τις τοπικές ενδείξεις. Λέγοντας τοπικές ενδείξεις εννοούμε μια σειρά από ενδεικτικές λυχνίες που βρίσκονται στη μπροστινή όψη της κυψέλης. Όταν ο χειριστής βρίσκεται μπροστά στην κυψέλη, βλέποντας την κατάσταση (ON-OFF) κάθε λυχνίας, συμπεραίνει για την θέση που βρίσκεται ο διακόπτης ισχύος (Δ.Ι.) αλλά και αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Παρακάτω αναλύεται κάθε μια από τις ενδεικτικές λυχνίες.

- 1.** Η ενδεικτική λυχνία **-H10** έχει πράσινο χρώμα και ελέγχεται από τη βοηθητική κανονικά κλειστή επαφή **3-4** του Δ.Ι. Συνεπώς ανάβει όταν ο Δ.Ι. είναι ανοικτός.
- 2.** Η ενδεικτική λυχνία **-H11** έχει κόκκινο χρώμα και ελέγχεται από τη βοηθητική κανονικά ανοικτή επαφή **5-6** του Δ.Ι. Συνεπώς ανάβει όταν ο Δ.Ι. είναι κλειστός.
- 3.** Η ενδεικτική λυχνία **-H12** έχει κόκκινο χρώμα και ελέγχεται από την κανονικά κλειστή επαφή **11-12** του βοηθητικού ρελαί **-K30**. Συνεπώς ανάβει όταν ο **-K30** δεν είναι ενεργοποιημένος. Όπως έχουμε δει ο **-K30** ελέγχει τη διαθεσιμότητα του Δ.Ι. και ενεργοποιείται όταν ο Δ.Ι. είναι διαθέσιμος. Συμπερασματικά, αναμμένη κόκκινη λυχνία **-H12** σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα στο Δ.Ι.
- 4.** Η ενδεικτική λυχνία **-H13** έχει κόκκινο χρώμα και ελέγχεται από τη βοηθητική κανονικά κλειστή επαφή **21-22** του μικροαυτόματου δια-

κόπτη **-F10** (φύλλο 32.6). Συνεπώς ανάβει όταν ο **-F10** είναι ανοικτός. Όπως έχουμε δει ο **-F10** προστατεύει τα δευτερεύοντα τυλίγματα των τριών Μ/Σ τάσης που μετράνε την τάση στο καλώδιο άφιξης. Συμπερασματικά, αναμμένη κόκκινη λυχνία **-H13** σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα στη μέτρηση της τάσης της ΔΕΗ.

5. Η βοηθητική τάση για τα κυκλώματα ενδείξεων είναι 220 VAC και χαρακτηρίζεται με τα γράμματα **25L** (φάση) και **25N** (ουδέτερος). Η γραμμή της φάσης έρχεται από το φύλλο **33.5**

Για τα χρώματα των ενδεικτικών λυχνιών που χρησιμοποιούμε στα κυκλώματα ενδείξεων, ισχύουν οι παρακάτω γενικοί κανόνες:

- **κόκκινο χρώμα → προσοχή, υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα (-H11) ή υπάρχει κάποιο πρόβλημα (-H12, -H13)**
- **πράσινο χρώμα → το κύκλωμα είναι ανοικτό (-H10)**
- **κίτρινο χρώμα → προειδοποίηση (π.χ η πίεση του SF6 στους πόλους του διακόπτη έπεσε)**
- **λευκό χρώμα → απλή ένδειξη π.χ η αντίσταση θέρμανσης λειτουργεί (-H40)**

Παρατηρούμε ότι σε γενικές γραμμές ισχύει η ίδια λογική με τα χρώματα των φαναριών που συναντάμε στους δρόμους.

Σχόλια Φύλλου 38

Στο φύλλο αυτό βλέπουμε μια σειρά βοηθητικών επαφών που καταλήγουν στο σύστημα =U00 που είναι το σύστημα τηλεπικοινωνίας και ελέγχου. Συνήθως το συναντάμε με το όνομα **SCADA** από τα αρχικά των αγγλικών γραμμάτων **System Control And Data Acquisition**.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από μονάδες συλλογής στοιχείων διασπαρμένες σε όλο το αεροδρόμιο και ένα δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το σύστημα SCADA αναλύει τα στοιχεία αυτά, τα εμφανίζει στις οθόνες των Η/Υ και μας επιτρέπει να στείλουμε εντολές. Μια τέτοια μονάδα συλλογής στοιχείων βρίσκεται και στον υποσταθμό. Στη μονάδα αυτή καταλήγουν τα σήματα (πρακτικά ανοικτές και κλειστές επαφές) που στέλνονται στο κεντρικό Η/Υ για επεξεργασία.

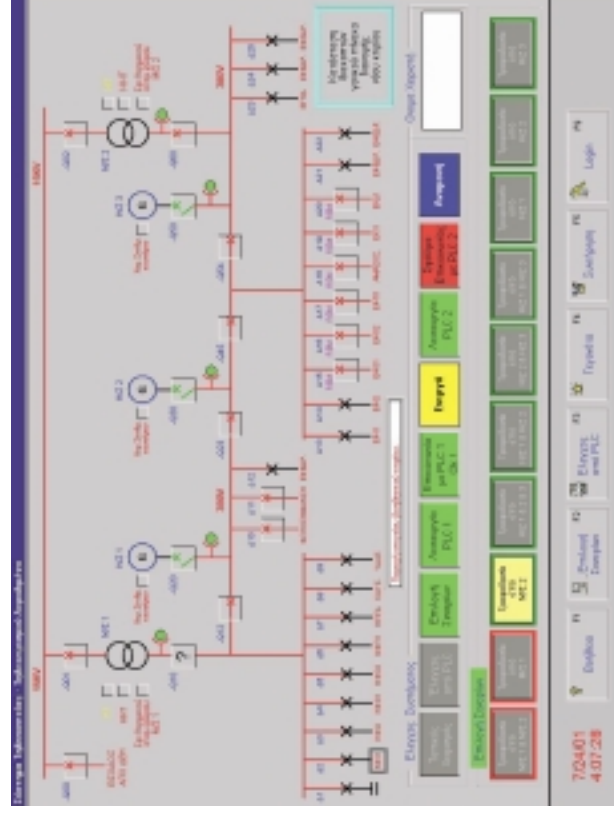
Το σύστημα SCADA επιτρέπει στο συντηρητή ηλεκτρολόγο να βλέπει σε μια οθόνη, το μονογραμμικό διάγραμμα του υποσταθμού. (Εικόνα Α.1)

Δίπλα από κάθε διακόπτη υπάρχει η ένδειξη της θέσης του (ΑΝΟΙΚΤΟΣ-ΚΛΕΙΣΤΟΣ) (τηλένδειξη) και άλλες πληροφορίες.

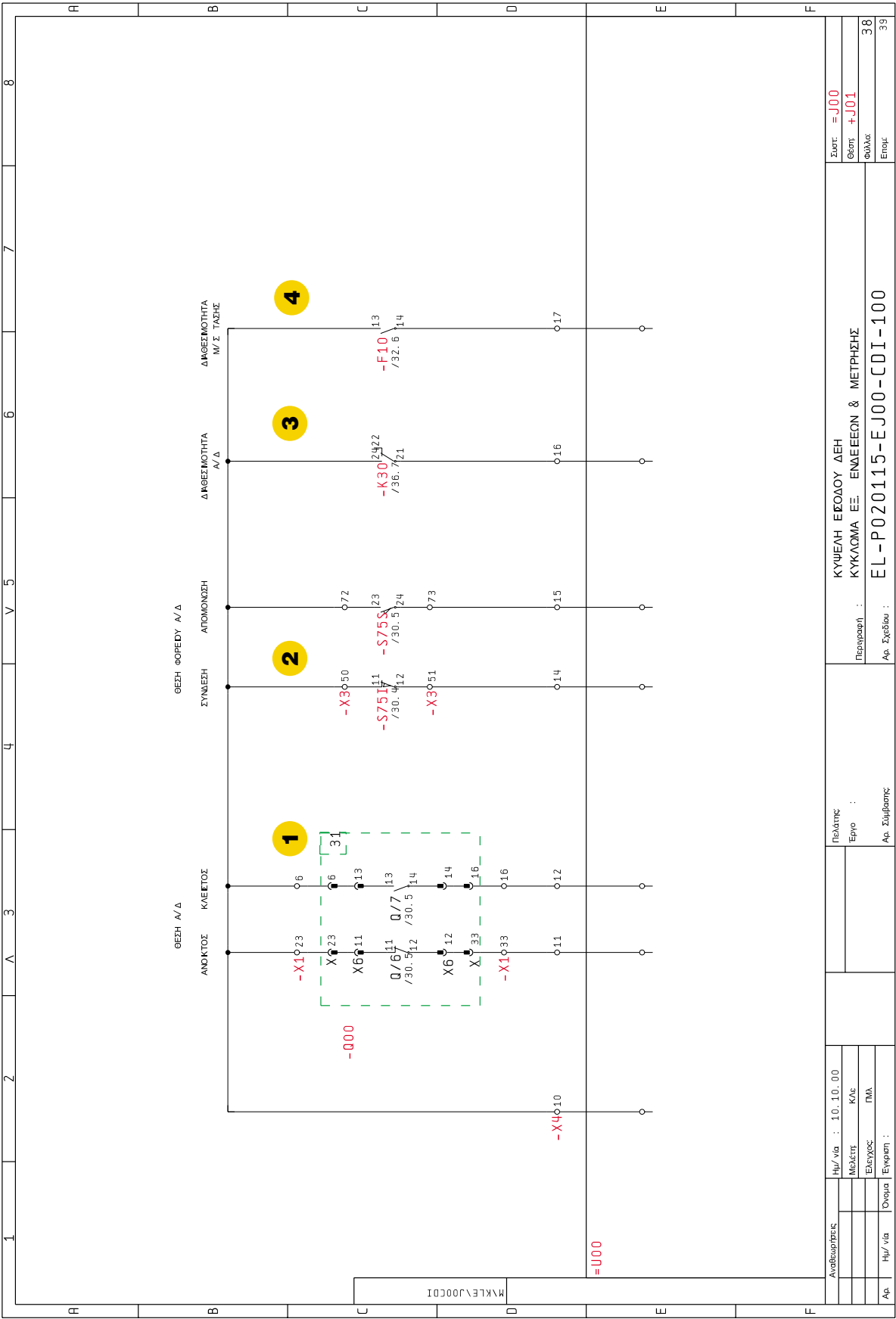
Με τη βοήθεια του πληκτρολογίου ή του ποντικιού ο χειριστής μπορεί να δώσει εντολή να ανοίξει ή να κλείσει κάποιος διακόπτης (τηλεχειρισμός).

Το σύστημα SCADA καταγράφει στη μνήμη του το ιστορικό με τις εντολές που έχουν σταλεί στον υποσταθμό μαζί με την ακριβή ώρα.

1. Για να γνωρίζει το σύστημα SCADA τη θέση του Δ.Ι. (ΑΝΟΙΚΤΟΣ-ΚΛΕΙΣΤΟΣ), στέλνουμε μία βοηθητική κανονικά ανοικτή επαφή **13-14** και μία κλειστή επαφή **11-12** του **-Q00**
2. Για να γνωρίζει το σύστημα SCADA τη θέση του φορείου πάνω στο οποίο βρίσκεται ο ΔΙ (ΣΥΝΔΕΣΗ-ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ), στέλνουμε μία κανονικά κλειστή επαφή **11-12** του τερματικού διακόπτη **-S75I** και μία κανονικά ανοικτή επαφή **23-24** του τερματικού διακόπτη **-S75S**
3. Για να γνωρίζει το σύστημα SCADA αν ο ΔΙ είναι διαθέσιμος, στέλνουμε μία κανονικά ανοικτή επαφή **21-24** του βοηθητικού ρελαί **-K30**
4. Για να γνωρίζει το σύστημα SCADA αν το κύκλωμα μέτρησης τάσης είναι διαθέσιμο, στέλνουμε μία βοηθητική κανονικά ανοικτή επαφή **13-14** του μικροαυτόματου **-F10**



Εικόνα Α.1 Μονογραμμικό διάγραμμα υποσταθμού όπως φαίνεται στην οθόνη του Η/Υ



Ανάβαση/κατάβαση		H ₁ /v ₁ : 10. 10. 00		Πλάτης		ΚΥΨΕΛΗ ΕΞΟΔΟΥ ΔΕΗ		Συντ. = J00	
Μοδέλι		Κ/ε		Εργο :		ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΞ. ΕΝΔΕΞΕΩΝ & ΜΕΤΡΗΣΗΣ		Θέση +J01	
Ελεγχος		ΠΜΑ		Αρ. Σχεδίου :		EL-P020115-EJ00-CDI-100		Φύλλον 38	
H ₂ /v ₂		Όνομα		Αρ. Σελίδας :				Εποχή 39	

Α/Α	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΥΠΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
	-P24	ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ ΚΙΝ. ΣΙΔΗΡΟΥ, 96x96mm, ΚΛΙΜΑΚΑ 0-20-24kV, 90°, cl. 1.5, ΠΙΑ ΜΤ 2010, 1kV				
	-S24	ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΣ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟΥ, 4 ΘΕΣΕΩΝ, "OFF-L1L2-L3L4"				
	-C11, -C12, -C13	ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΤΕΣ ΤΑΣΗΣ 15-20 kV	ΑΒΗ 10-V4			

Αντικείμενο		Ημερομηνία		Παράρτηρ	ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ	Σελ. 1	Σελ. 2
		10.10.2000				Σελ. 1	Σελ. 2
		Μηδμή		Εργασ		Σελ. 1	Σελ. 2
		ΕΛΛΗΝΙΚΗ				Σελ. 1	Σελ. 2
Αρ.	Ημερ.	Όνομα	Επώνυμο	Αρ. Σελίδων	EL-P020115-EJ00-PLI-100	Σελ. 1	Σελ. 2

PLI.doc

Α/Α	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΥΠΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
-E40		ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ, 220V AC, 200W				
-F10		ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ 3-ΠΟΛΙΚΟΣ, 4A ΜΕ ΒΟΗΘ. ΕΠΑΦΕΙΣ 1NO+1NC	S273-K4 + S2-H11			
-F22		ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ 2-ΠΟΛΙΚΟΣ, 10A ΜΕ ΒΟΗΘ. ΕΠΑΦΕΙΣ 1NO+1NC	S262-B10 + S2-H11			
-F23 -F25 -F40		ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ 2-ΠΟΛΙΚΟΣ, 6A	S262-B6			
-F01 -F02 -F03		ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ HRC, 24kV, 2A	24CAV-2A-24kV			
-H10		ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ, ΠΡΑΣΙΝΗ, 220VAC, Φ22	CBK			
-H11, -H12, -H13		ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ, ΚΟΚΚΙΝΗ, 220VAC, Φ22	CBK			
-H40		ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ, ΛΕΥΚΗ, 220VAC	CBK			

Αριθμ.αποστολής	Ημερομηνία	Πολύγωνο	Τύπος	Παραπομπή	Εύρος :	≈J00
	10.10.2000				ακέραια	+J01
	Μήκος				≈J00	100
	Επίπεδος				101	
Νο	Ημερ	Ονομα	Αρ. Έγχειδ.	Αρ. Έγχειδ.	ΕΛ-P020115-EJ00-PLI-100	
	Ονομα	Επίπεδος	Αρ. Έγχειδ.			

Α/Α	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΤΥΠΟΣ	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
-K30 -K31 -K32		ΒΟΗΘ. ΡΕΛΑΙ, 220VAC, 4 ΜΕΤΑΛΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ	55.34.8.230 + 94.74			
-Q00		ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ SF6, 3-ΠΟΛΙΚΟΣ, ΣΥΡΟΜΕΝΟΣ 24kV, 630A, 16kA, ΕΞΟΓΛΙΣΜΕΝΟΣ ΜΕ : - ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΤΑΝΥΣΗΣ 220VAC - ΠΙΝΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ) 220VAC - ΠΙΝΙΟ ΚΛΕΙΣΜΑΤΟΣ 220VAC - ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΗ ΦΡΑΓΗΣ 220VAC - ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ 4NO+5NC - ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ SF6 ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΑΘΜΕΣ, ΤΡΕΙΣ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΙΝΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 220VAC	HD4W 24.06.16			
-S10		ΚΟΜΒΙΟ, 1NO, ΚΟΚΚΙΝΟ, Φ22	CBK			
-S40		ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗΣ ΧΩΡΟΥ, 0-40°C	TR/711N/0-40°			
-T51 -T52 -T53		Μ/Σ ΤΑΣΗΣ 15:V3-20:V3/0,1:V3kV, 100VA-cl. 1	EPR 20F			
-H1		ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΑΣΗΣ	CL-495-1			
-S11		ΚΟΜΒΙΟ, 1NO, ΠΡΑΣΙΝΟ, Φ22	CBK			

Αντικείμενο		Ημερομηνία		Παράρτημα		ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ		Σελίδα	α.000
		13.12.2020						0001	+J01
		Μέλη						0002	101
		Ελεγκτές						0003	102
NO	Η/ΜΟ	Ομάδα	Ενότητα	Παράρτημα	Αρ. Έκδοσης	EL-P020115-EJ00-PLI-100			

P020115