

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1354

ΘΕΜΑ: Περιγραφή εγκαταστάσεων ΜΤ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ(ΕΣ) :

Σχοινάς Νικόλαος

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ(ΕΣ) :

Χαράλαμπος Τσάπαλος

Χρήστος Τσάπαλος

ΠΑΤΡΑ 2013

Πρόλογος

Η εργασία αυτή έχει σκοπό την περιγραφή εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης .

Στην αρχή αναφερόμαστε στις εγκαταστάσεις καταναλωτών Μέσης τάσης , στη συνέχεια στα μέσα προστασίας δικτύων και στην εκλογή κινητήρα καθώς και στον προσδιορισμό της ονομαστικής ισχύος . Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά μέσω δύο παραδειγμάτων ο τρόπος προσδιορισμού της διατομής των αγωγών και όλων των μέσων προστασίας σε μια βιομηχανική ηλεκτρική εγκατάσταση και ο τρόπος σύνδεσης της εγκατάστασης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είτε στη μέση ή στη χαμηλή τάση . Τέλος αναφερόμαστε στον διακόπτη διαφυγής έντασης , στην ουδετέρωση και στις συνθήκες ουδετέρωσης καθώς και στη μελέτη καλωδίων σε συνθήκες βραχυκυκλώματος .

Οι κύριες πηγές μας ήταν οι σημειώσεις που μας έδωσε ο εισηγητής μας κ. Σχοινάς Νικόλαος αλλά και τα βιβλία που αναφέρονται στην βιβλιογραφία .

Οι σπουδαστές Χαράλαμπος Τσάπαλος και Χρήστος Τσάπαλος θέλουν να ευχαριστήσουν ιδιαίτερος τον εισηγητή καθηγητή κ. Σχοινά Νικόλαο για την βοήθεια και τις πληροφορίες που μας παρείχε αλλά και για την άψογη συνεργασία και τον χρόνο που μας διέθεσε ώστε να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία . Τέλος ευχαριστούμε θερμά την οικογένεια μας και ιδιαίτερα τους γονείς μας για την συμπαράσταση τους , από την αρχή έως το τέλος των σπουδών μας .

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται αρχικά όλος ο εξοπλισμός που υπάρχει στους ιδιωτικούς υποσταθμούς μέσης τάσης των καταναλωτών . Στους υποσταθμούς μέσης τάσης υπάρχουν οι ασφάλειες μέσης τάσης τύπου κόνεως , τα αλεξικέραυνα , οι αποζεύκτες , οι γειωτές , οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος μέσης τάσης με ή χωρίς δευτερογενή προστασία . Παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες των ασφαλειών τύπου κόνεως . Στη συνέχεια της εργασίας δίνεται ο τρόπος διασύνδεσης με το δίκτυο μέσης τάσης ενός καταναλωτή με ισχύ μεγαλύτερη από 135 KVA και οι συσκευές μέτρησης καταναλισκώμενης ηλεκτρικής ενέργειας (μετασχηματιστές τάσης , έντασης) . Στη συνέχεια δίνονται διάφορα στοιχεία που αφορούν τη μελέτη κίνησης για τους κινητήρες σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς και ο τρόπος υπολογισμού της ονομαστικής ισχύος ενός κινητήρα σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως αντλίες , ανεμιστήρες , ανελκυστήρες . Στις αντλίες θα πρέπει να είναι γνωστά το μανομετρικό ύψος και η παροχή του υγρού ώστε να προσδιορισθεί η ονομαστική ισχύς του κινητήρα που θα κινήσει την αντλία . Στους ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι γνωστά η διαφορά της πίεσης μεταξύ των χώρων όπου κινείται ο αέρας και στους ανελκυστήρες το βάρος και η ταχύτητα με την οποία γίνεται η ανέλκυση . Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά μέσω δύο παραδειγμάτων ο τρόπος προσδιορισμού της διατομής των αγωγών και όλων των μέσων προστασίας σε μια βιομηχανική ηλεκτρική εγκατάσταση και ο τρόπος σύνδεσης της εγκατάστασης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είτε στη μέση ή στη χαμηλή τάση . Στο τέλος της εργασίας αναφερόμαστε στον διακόπτη διαφυγής έντασης , στην ουδετέρωση και στις συνθήκες ουδετέρωσης καθώς και στη μελέτη καλωδίων σε συνθήκες βραχυκυκλώματος .

Περιεχόμενα

Σελίδα

Κεφάλαιο 1^ο

Εγκαταστάσεις καταναλωτών Μέσης Τάσης (ΜΤ)	6
1.1 Ασφάλειες ΜΤ εσωτερικού χώρου τύπου “κόνεως”	6
1.2 Αποζεύκτες - Γειωτές	8
1.3 Διακόπτες φορτίου	9
1.4 Ηλεκτρονόμοι	11
1.5 Αυτόματος διακόπτης ισχύος (Α.Δ.Ι)	13
1.6 Μετασηματιστές μέτρησης	15
1.7 Μετασηματιστές έντασης	16
1.8 Τυποποιημένες παροχές ΜΤ	18
1.8.1 Παροχή τύπου Α1	19
1.8.2 Παροχή τύπου Α2	19
1.8.3 Παροχή τύπου Β1	20
1.8.4 Παροχή τύπου Β2	21
1.9 Τριφασικός ΜΣ ισχύος υποσταθμών διανομής καταναλωτών	24
1.10 Εναέριοι υποσταθμοί διανομής	30
1.11 Κυψέλες Μέσης Τάσης	30

Κεφάλαιο 2^ο

Μέσα προστασίας δικτύων	33
2.1 Ηλεκτρονόμοι των μέσων προστασίας που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα	33
2.2 Συσκευές προστασίας στα δίκτυα ΜΤ	35
2.2.1 Διακόπτης Απομόνωσης	35
2.2.2 Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς	35
2.2.3 Διακόπτης Ισχύος	37
2.2.4 Αλεξικέραυνα	38
2.3 Ασφάλειες εναέριων δικτύων ΜΤ τύπου εκτόνωσης	39

Κεφάλαιο 3^ο

Εκλογή κινητήρα	48
3.1 Εκλογή κινητήρα με βάση την κλάση μόνωσης.....	48
3.1.1 Προστασία από ξένα σώματα και νερό.....	49
3.1.2 Κινητήρες για εκρηκτικό περιβάλλον.....	51
3.2 Μορφή – έδραση κινητήρων.....	52
3.3 Κινητήρες Μέσης Τάση... ..	55

Κεφάλαιο 4^ο

Προσδιορισμός ονομαστικής ισχύος	58
4.1 Γενικά στοιχεία περί έργου και ισχύς	58
4.2 Προσδιορισμός ισχύος κινητήρα	59
4.3 Σχέση μετάδοσης κίνησης με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα	61

Κεφάλαιο 5^ο

Παραδείγματα	63
5.1 Παράδειγμα 1.....	63
5.2 Παράδειγμα 2.....	67

Κεφάλαιο 6^ο

Διακόπτης Διαφυγής Έντασης (ΔΔΕ)	75
---	----

Κεφάλαιο 7^ο

Ουδετέρωση	79
-------------------	----

7.1 Ουδετέρωση.....	79
---------------------	----

7.2 Συνθήκες ουδετέρωσης.....	80
-------------------------------	----

Κεφάλαιο 8^ο

Μελέτη καλωδίων σε συνθήκες βραχυκυκλώματος	81
--	----

Βιβλιογραφία	91
---------------------	----

Κεφάλαιο 1°

Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης Τάσης (Μ.Τ.)

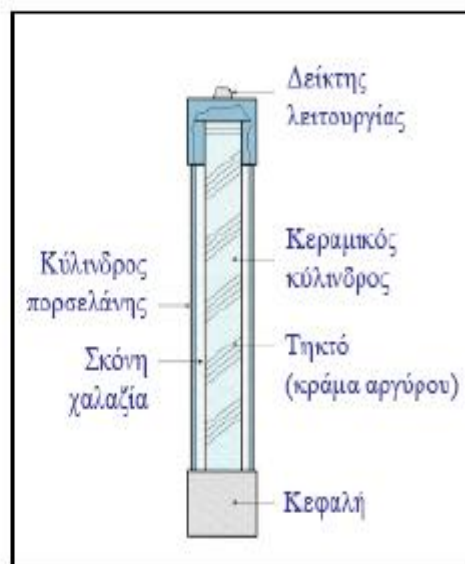
Όταν η ονομαστική ισχύς ενός καταναλωτή υπερβαίνει τα 135 KVA , τότε αυτός θα συνδεθεί στο δίκτυο της Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) διότι το ρεύμα στη χαμηλή τάση (400V) είναι πολύ υψηλό και θα προκληθεί μεγάλη πτώση τάσης ή και βύθιση τάσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Αυτό σημαίνει ότι ο καταναλωτής θα περιλαμβάνει δικό του υποσταθμό με μετασχηματιστή ώστε να τροφοδοτήσει τα φορτία του. Ο υποσταθμός του καταναλωτή θα περιέχει τις καμπίνες Μ.Τ με τον εξοπλισμό για το χειρισμό και την προστασία του μετασχηματιστή. Ο εξοπλισμός που περιλαμβάνεται συνήθως σε έναν ιδιωτικό υποσταθμό Μέσης τάσης είναι :

1.1 Ασφάλειες ΜΤ εσωτερικού χώρου τύπου "Κόνεως" (σκόνης)

Προστατεύουν τον ΜΣ από βραχυκύκλωμα . Το τηκτό βρίσκεται μέσα σε έναν κύλινδρο που περιέχει σκόνη χαλαζία .Το τηκτό που αποτελείται από άργυρο είναι τυλιγμένο γύρω από ένα κεραμικό υλικό και περιβάλλεται από τη σκόνη χαλαζία .Η σκόνη βοηθάει στη γρήγορη σβέση του τόξου που δημιουργείται από το μεγάλο ρεύμα βραχυκυκλώματος και ταυτόχρονα δημιουργείται μεγάλη αντίσταση η οποία μειώνει το ρεύμα βραχυκυκλώματος .



Ασφάλειες Σκόνης



Βασικά μέρη μιας Ασφάλειας Σκόνης



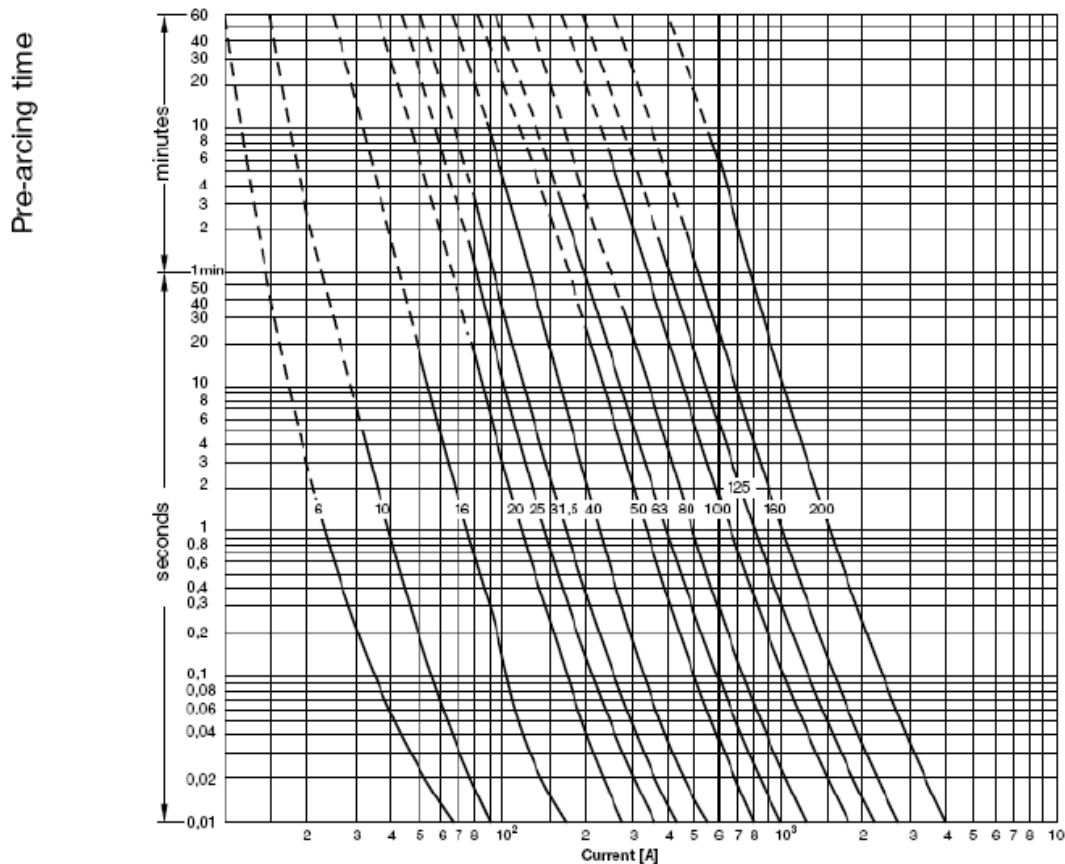
Τομή μιας Ασφάλειας.

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

Πνακίδα με τα ονομαστικά στοιχεία της Ασφάλειας.

Υπάρχουν 2 τύποι ασφαλειών : ο CEF και ο CMF που είναι αποκλειστικά για την προστασία κινητήρων MT . Ονομαστικά στοιχεία ασφαλειών MT εσωτερικού χώρου :

I_N : ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας : το ρεύμα που μπορεί να διαρρέει συνεχώς την ασφάλεια χωρίς να λιώνει το τηκτό , U_N : ονομαστική τάση λειτουργίας , I_3 : το ελάχιστο ρεύμα που μπορεί να διακόψει η ασφάλεια , I_1 : το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να διακόψει . Όπως και οι ασφάλειες XT έτσι και αυτές έχουν χαρακτηριστική ρεύματος – αντιστρόφου χρόνου και δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



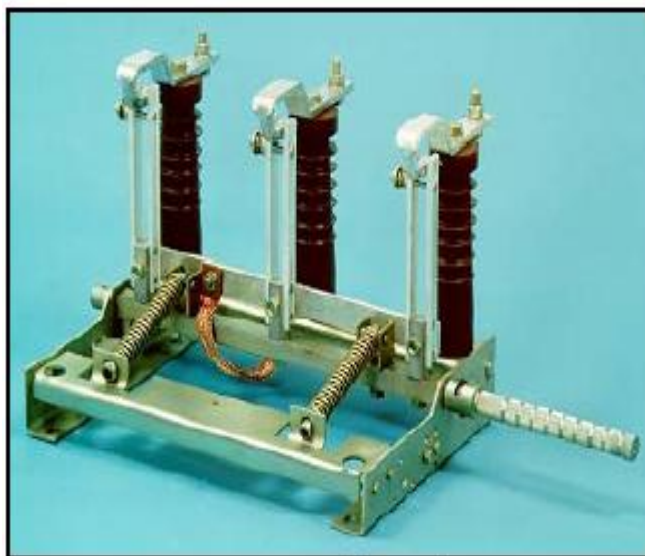
Χαρακτηριστική καμπύλη ασφάλειας σκόνης

1.2 Αποζεύκτες – γειωτές

Ανοίγουν ή κλείνουν το κύκλωμα χωρίς φορτίο . Ο αποζεύκτης απομονώνει ορατά ένα τμήμα της εγκατάστασης . Για λόγους ασφαλείας το τμήμα γειώνεται μέσω του γειωτή , ο οποίος συνδέει τα μεταλλικά μέρη όλα με τη γείωση . Τα ονομαστικά μεγέθη των αποζευκτών και γειωτών πέρα από την ονομαστική τάση έχουν να κάνουν με την αντοχή σε βραχυκύκλωμα , το μέγιστο (κρουστικό) ρεύμα βραχυκύκλωσης που αντέχουν και το χρόνο που μπορούν να δέχονται αυτό το ρεύμα βραχυκύκλωσης.



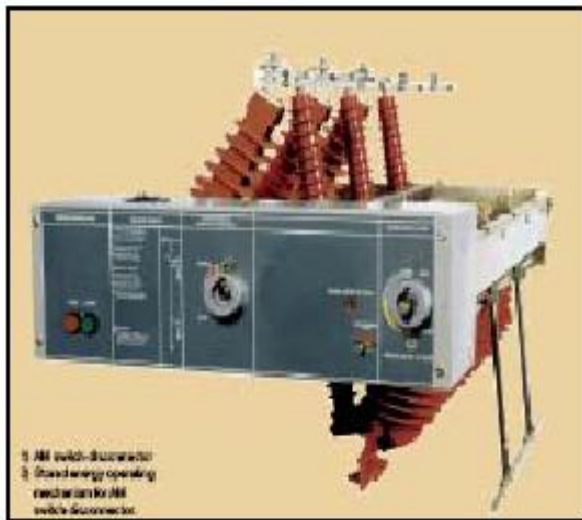
Αποζεύκτης ΜΤ
εσωτερικού χώρου



Γείωτής

1.3 Διακόπτες φορτίου

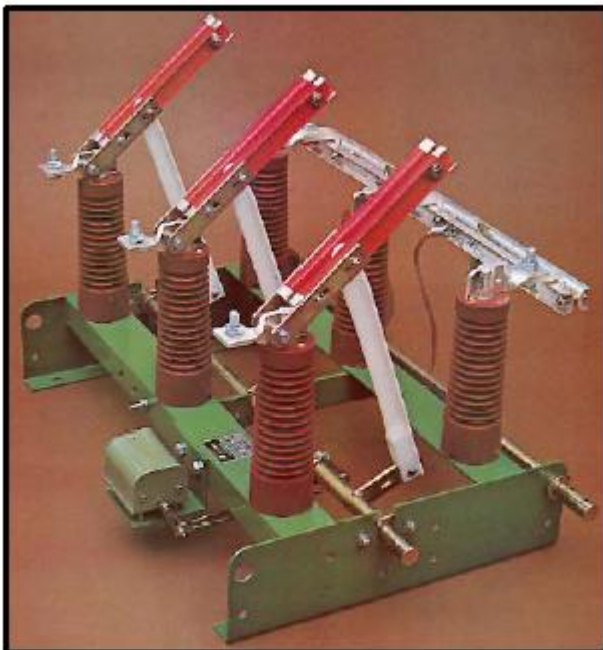
Ανοίγουν και κλείνουν ένα κύκλωμα υπό φορτίο . Κατά το άνοιγμα των διακοπών δημιουργείται τόξο . Για την σβέση έχουμε διαφορετικά είδη διακοπών : διακόπτης κενού , διακόπτης ελαίου , διακόπτης αερίου SF₆ (εξαφθοριούχου θείου) ανάλογα με το μέσον που χρησιμοποιούν για τη σβέση του τόξου . Συνοδεύονται από γειωτή ή αποζεύκτη – γειωτή .



Ασφαλειοδιακόπτης,
με ορατές επαφές



ΔΦ με SF6 με γειωτή



Αποζεύκτης και γειωτής MT
εσωτερικού χώρου



Ασφαλειοδιακόπτης με ασφάλεια σκόνης

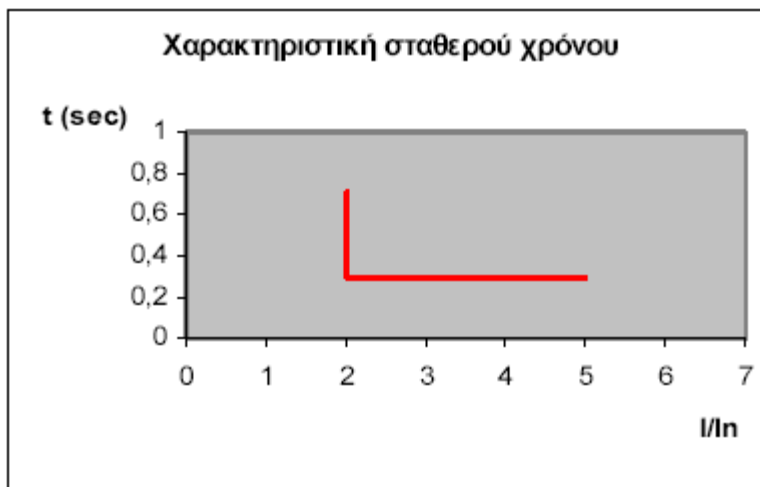
8.3. Triple – Pole Earthing Switch Type ADJ. Technical Data.									
Type	List no. Without interlocking	Rated Voltage kV	Rated peak withstand current kA	Rated short time current Ith (1s) kA	Operating angle of shaft	Withstand Voltage 50 Hz kV	Impulse Withstand Voltage kV	For attaching to Isolator Type ADN	Weight kg
ADJ 12 /100	53780/00	12	100	40	90°	35	75	12 kV 630-1250 A	
ADJ 12 /125	53781/01		125	50				12 kV 1600 A	
ADJ 12 /150	53782/02		150	60				12 kV 2500 A	
ADJ 24 / 65	53785/05	24	65	35	90°	55	125	24 kV 630-1250 A	
ADJ 24 /125	53786/06		125	50				24 kV 1600 A	
ADJ 24 /150	53787/07		150	60				24 kV 2500 A	
ADJ 36 / 75	53790	36	75	30	90°	75	170	36 kV 630-1250 A	
ADJ 36 /110	53791		110	45				36 kV 1600 A	
ADJ 36 /150	53792		150	60				36 kV 2500 A	

Όνομαστικά στοιχεία Αποξέυκτη και Γειωτή

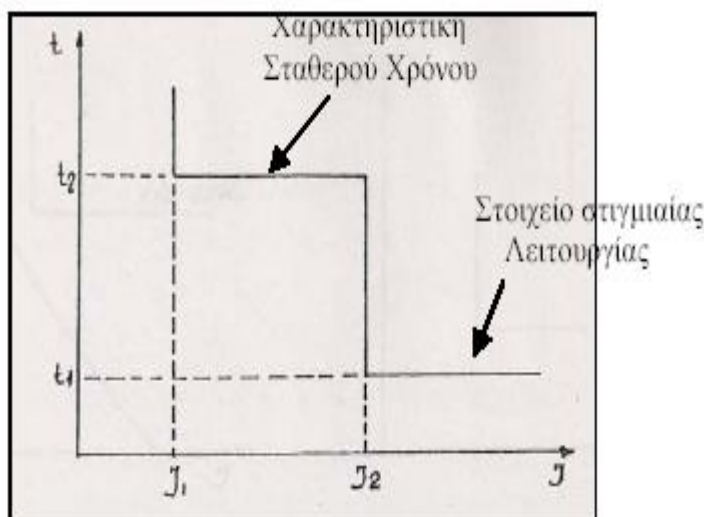
1.4 Ηλεκτρονόμοι

Οι ηλεκτρονόμοι (HN) είναι διατάξεις οι οποίες συνεργάζονται με έναν διακόπτη με σκοπό την προστασία του κυκλώματος . Μέσω μετασχηματιστών μέτρησης τάσης και έντασης “διαβάζουν” την ένταση του ρεύματος σε κάθε φάση αλλά και την τάση σε αυτήν . Όταν οι τιμές εντάσεων και τάσεων είναι εκτός των προκαθορισμένων ορίων που τους έχουν δοθεί ,

δίνουν εντολή στο διακόπτη να ανοίξει το κύκλωμα . Υπάρχουν οι ηλεκτρονόμοι οι οποίοι επιτηρούν το ρεύμα μεταξύ φάσεων (HN φάσεων) και είναι υπεύθυνα για διφασικά και τριφασικά σφάλματα . Στα σφάλματα αυτά , το ρεύμα έχει τιμή πολλαπλάσια του ονομαστικού σε 2 ή και στις 3 φάσεις ταυτόχρονα , οπότε ο διακόπτης ανοίγει και τις 3 φάσεις . Στα μονοφασικά σφάλματα , το ρεύμα αυξάνεται μόνο σε μια φάση , οπότε ο αντίστοιχος HN γης δίνει εντολή στον διακόπτη να ανοίξει και πάλι το κύκλωμα . Οι HN έχουν και αυτοί τη δική τους χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας . Οι HN οι οποίοι συνεργάζονται με αυτόματους διακόπτες ισχύος σε ιδιωτικούς υποσταθμούς Μέσης Τάσης , έχουν χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας "χρόνου απόκρισης – έντασης ρεύματος" που ονομάζεται σταθερού χρόνου και έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος .



Χαρακτηριστική σταθερού Χρόνου



Στο δεύτερο σχήμα φαίνονται οι 2 ρυθμίσεις που δίνουμε στον HN . Η τιμή J_1 είναι λίγο μεγαλύτερη από την ονομαστική τιμή του ρεύματος . Όταν ο Μ/Σ έντασης μετρήσει ρεύμα J_1

, τότε ο ΗΝ σε χρόνο t_2 δίνει εντολή στο διακόπτη να ανοίξει το κύκλωμα . Υπάρχει η ρύθμιση J_2 , η οποία είναι μια τιμή πολύ μεγαλύτερη του ονομαστικού ρεύματος ($8-12 * I_n$) . Όταν το ρεύμα ξεπεράσει την τιμή J_2 , ο ΗΝ δίνει σε χρόνο t_1 πάρα πολύ μικρό , εντολή στο διακόπτη να ανοίξει το κύκλωμα . Λόγω της πολύ μικρής τιμής του χρόνου t_1 , η ρύθμιση αυτή ονομάζεται " Στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας " . Έχει προηγηθεί η μελέτη βραχυκύκλωσης και έχουν υπολογισθεί τα βραχυκυκλώματα που αναμένεται να "διαβάσει" ο ΗΝ και τα οποία θα πρέπει να είναι στην περιοχή τιμών δεξιά της ρύθμισης J_1 . Η χαρακτηριστική καμπύλη του ΗΝ γης θα βρίσκεται πάντα αριστερά της καμπύλης του ΗΝ φάσεων (οι ρυθμίσεις δηλαδή J_1, J_2 είναι σε μικρότερες τιμές) .

1.5 Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος (Α.Δ.Ι.)

Όπως και οι διακόπτες φορτίου , κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για τη σβέση του τόξου που εμφανίζεται όταν ανοίγουν το κύκλωμα με ρεύμα (φορτίο) . Έτσι υπάρχουν οι διακόπτες "πτωχού" ελαίου , οι διακόπτες με αέριο SF_6 και οι διακόπτες κενού οι οποίοι χρησιμοποιούν αντίστοιχα λάδι , αέριο SF_6 ή το κενό . Οι διακόπτες ελαίου χρησιμοποιούνται στους υποσταθμούς της ΔΕΗ στις αναχωρήσεις των γραμμών (ο όρος "πτωχού ελαίου" είναι για τη μικρή ποσότητα ελαίου που απαιτείται) ενώ στους ιδιωτικούς υποσταθμούς έχουμε διακόπτες κενού και διακόπτες με SF_6 .

Αν ο διακόπτης περιέχει μόνο θερμικό και ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο για προστασία από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα αντίστοιχα , η προστασία ονομάζεται "πρωτογενή" . Όταν ο διακόπτης συνεργάζεται με ηλεκτρονόμους οι οποίοι του δίνουν εντολή για ενεργοποίηση , η προστασία ονομάζεται "δευτερογενή" . Σήμερα οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος περιέχουν σύστημα με μικροπολογιστή και οι ρυθμίσεις δίνονται στους ΗΝ φάσεων και γης με προγράμματα . Τα ονομαστικά μεγέθη ενός Α.Δ.Ι. είναι η ονομαστική τάση , η κρουστική τάση αντοχής , ονομαστικό ρεύμα συνεχούς λειτουργίας , το ονομαστικό (ενεργός τιμή) και κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης , ρεύμα βραχυκύκλωσης αντοχής για 3 sec .



Διακόπτες Ισχύος



Περιγραφή των βασικών στοιχείων ενός ΔΙ με SF6

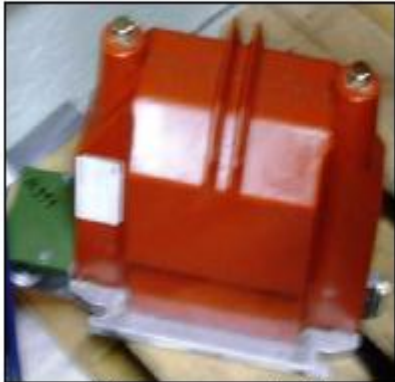
- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Στοιχεία ΗΝ προστασίας | 9 Ελεγκτές Ρεύματος των ΗΝ |
| 2 Άξονας τάνυσης του ελατηρίου | 10 Ένας πόλος του ΔΙ |
| 3 Κουμπί ενεργοποίησης ΗΝ | 11 Κλειδί μανδάλωσης (λειτουργίας) |
| 4 Κουμπί απενεργοποίησης ΗΝ | 12 Μετρητής Λειτουργίας |
| 5 Χρωματική Ένδειξη ελατηρίου λειτουργίας συμπιεσμένο (κίτρινο) , χαλαρό (άσπρο) | |
| 6 Ένδειξη πίεσης του SF6 και μηχανισμός κλεισίματος | |
| 7 Ένδειξη Λειτουργίας του ΔΙ (Ο/Ι) | |
| 8 Ακροδέκτες | |

1.6 Μετασηματιστές μέτρησης

Οι ΗΝ επιτηρούν την τάση μέσω μετασηματιστών τάσης , οι οποίοι υποβιβάζουν την τάση από $20000/\sqrt{3}$ V σε $100-150/\sqrt{3}$ προκειμένου αυτή να μπορεί να μετρηθεί από τα κυκλώματα ελέγχου των ΗΝ . Υπάρχει ασφάλεια τήξης στην πλευρά της ΥΤ για την προστασία τους , διότι πιθανή καταστροφή τους θα οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα . Αν χρησιμοποιούν στερεά μόνωση δεν ασφαλίζονται στην ΥΤ διότι δεν υπάρχει φόβος έκρηξης .

Ονομαστικά μεγέθη : ονομαστικές τάσεις U_1, U_2 , ονομαστική ισχύς S_r , μέγιστη ισχύς S_m , ονομαστικό φορτίο $Z_0=U_2^2/S_r$ σε Ω . Κλάση ακρίβειας cl 0,2 σημαίνει σφάλμα 0,2 % υπό ονομαστική ισχύ . Για ισχύ μεγαλύτερη από S_r η ακρίβεια μειώνεται . Υπάρχουν 2 δευτερεύοντα τυλίγματα σε συνδεσμολογία " ανοικτού τριγώνου " ώστε να μπορούν να

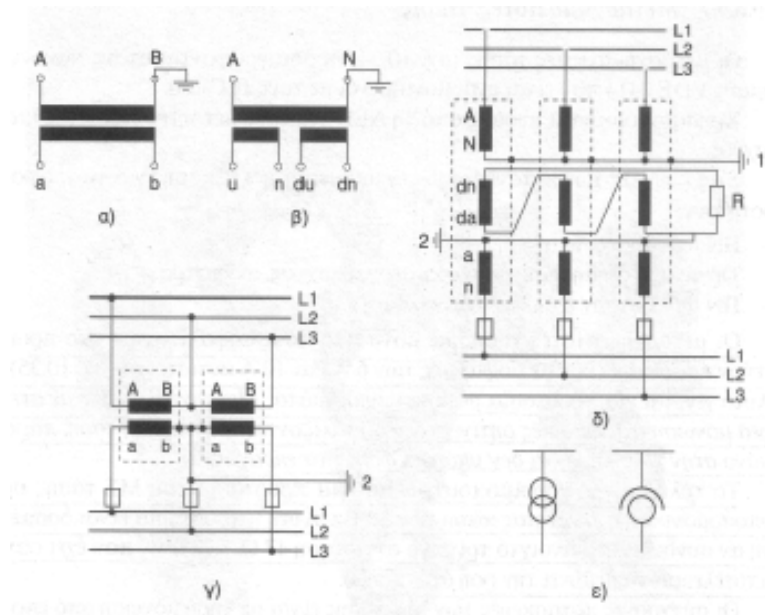
ανιχνευθούν διαρροές προς τη γη (ο δρόμος "γη" δεν υπάρχει στα 20 kv ,πιθανή καταστροφή όμως του ΜΣ τάσης θα επιφέρει και εκεί σφάλμα).



Μετασχηματιστής Τάσης

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

Ονομαστικά Στοιχεία ΜΣ τάσης



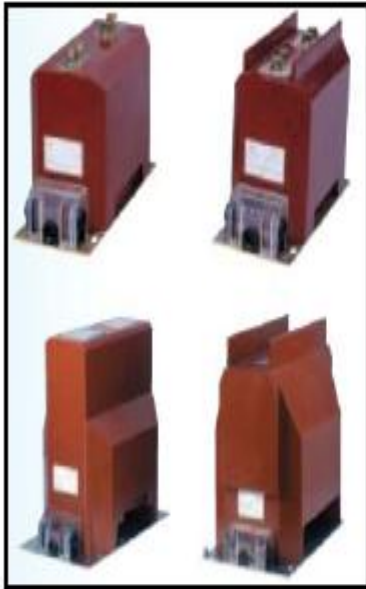
Μετασχηματιστές τάσης.

- α) ΜΣ μέτρησης έντασης, συμβολισμοί κατά IEC και VDE,
- β) ΜΣ τάσης δύο δευτερευόντων, συμβολισμών κατά IEC και VDE,
- γ) συνδεσμολογία αστέρα-ανοικτού τριγώνου για μέτρηση (ux) και ανίχνευση σφάλματος γης (en), κατά IEC 186,
- δ) συνδεσμολογία κατά v, κατά IEC 186,
- ε) σύμβολο μονογραμμικού σχεδίου κατά IEC 186.

1.7 Μετασχηματιστές έντασης

Υποβιβάζουν το ρεύμα της υψηλής τάσης σε επίπεδο που μπορεί να μετρηθεί από τα κυκλώματα ελέγχου , συνήθως 5A ή 1A . Η κατασκευή είναι από ξηρή μόνωση από εποξειδικές ρητίνες . Χαρακτηριστικά μεγέθη : ονομαστική τάση , ονομαστική ισχύς S_T , κλάση ακρίβειας c1 η οποία δίνεται με : c1 0,2 σημαίνει 0,2 % σφάλμα στην ονομαστική ισχύ και SP10 σημαίνει 5% σφάλμα σε ρεύμα δεκαπλάσιο του ονομαστικού , ονομαστικά

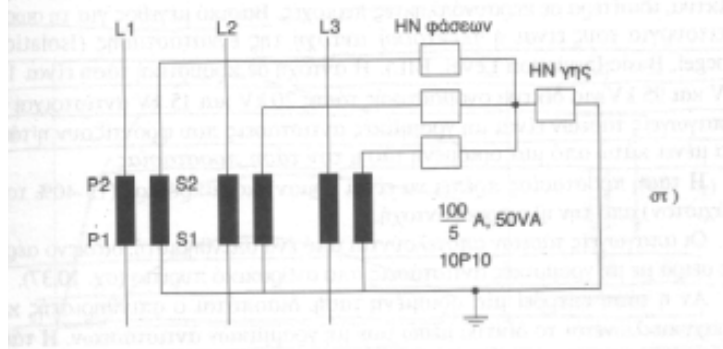
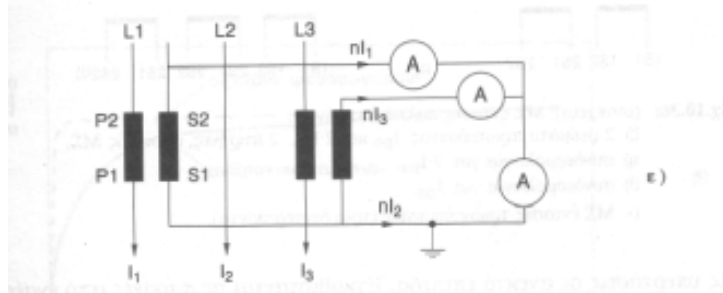
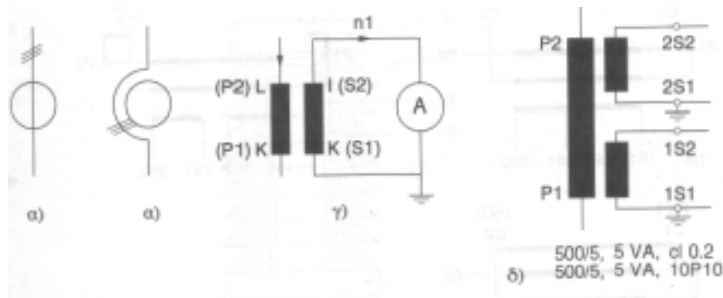
ρεύματα πρωτεύοντος-δευτερεύοντος , οριακό θερμικό ρεύμα I_{th} : ενεργός τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης για 1 sec , δυναμικό οριακό ρεύμα I_{dyn} : κρουστική τιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης που αντέχει ο μετασχηματιστής , ονομαστικό φορτίο $Z_0=S_r/I_0^2$ (Ω) . Ο ΜΣ έντασης μπορεί να έχει ένα ή δύο τυλίγματα στο δευτερεύον με ξεχωριστούς πυρήνες .



Μετασχηματιστές έντασης

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

Ονομαστικά στοιχεία ΜΣ Έντασης



- Μετασχηματιστές έντασης.
- α) σύμβολο σε μονογραμμικό σχέδιο,
 - β) μονογραμμικό σύμβολο ΜΣ προστασίας, 3 ΜΣ,
 - γ) σύμβολο ΜΣ ρεύματος με αεροδέκτες,
 - δ) ΜΣ ρεύματος δύο πυρήνων για προστασία (πυρήνας 1) και μέτρηση (πυρήνας 2),
 - ε) μέτρηση ρευμάτων σε τριφασικό σύστημα με δύο ΜΣ,
 - στ) σφαιριστική συνδεομολογία ΜΣ για προστασία με HN φάσεων και HN γης.

1.8 Τυποποιημένες παροχές ΜΤ

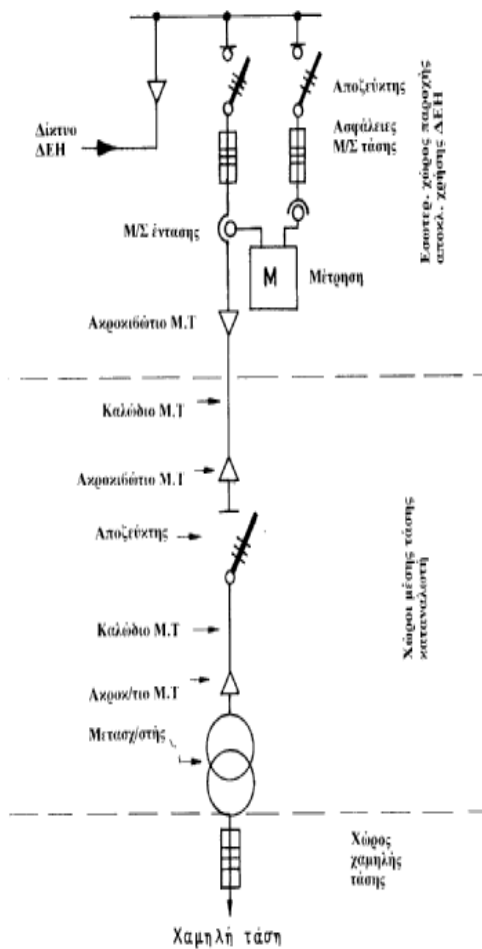
Υπάρχουν τέσσερις τυποποιημένες παροχές ΜΤ : Α1 , Α2 , Β1 , Β2 . Στις παροχές Α1 ,Α2 η μέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας του καταναλωτή από τη ΔΕΗ γίνεται εξωτερικά του υποσταθμού του καταναλωτή , σε ερμάριο στον τελευταίο στύλο του δικτύου ΜΤ . Στις παροχές τύπου Β1,Β2 η μέτρηση γίνεται εσωτερικά στον υποσταθμό του καταναλωτή . Όταν το δίκτυο είναι υπόγειο , η παροχή φέρνει και το γράμμα Κ , πχ : ΒΚ2 . Πιο κάτω δίνονται τα σύμβολα μονογραμμικών σχεδίων των εγκαταστάσεων ΜΤ .

1		ΑΠΖ, Αποξεύκτης
2		ΔΦ, Διακόπτης φορτίου
3		Ασφάλεια σκόνης 40 Α
4		ΔΦ/Α, Διακόπτης φορτίου με ασφάλειες
5		ΔΙ, Διακόπτης ισχύος
6		30 T AZ, Ασφαλειοαποξεύκτης εναερίου δικτύου με τηκτά 30 T.
7		ΔΑ, Διακόπτης απομόνωσης Sectionalizer
8		Μετρητής
9		Αλεξικέραυνο
10		Καλώδιο
11		ΜΣ Τάσης
12		ΜΣ Έντασης

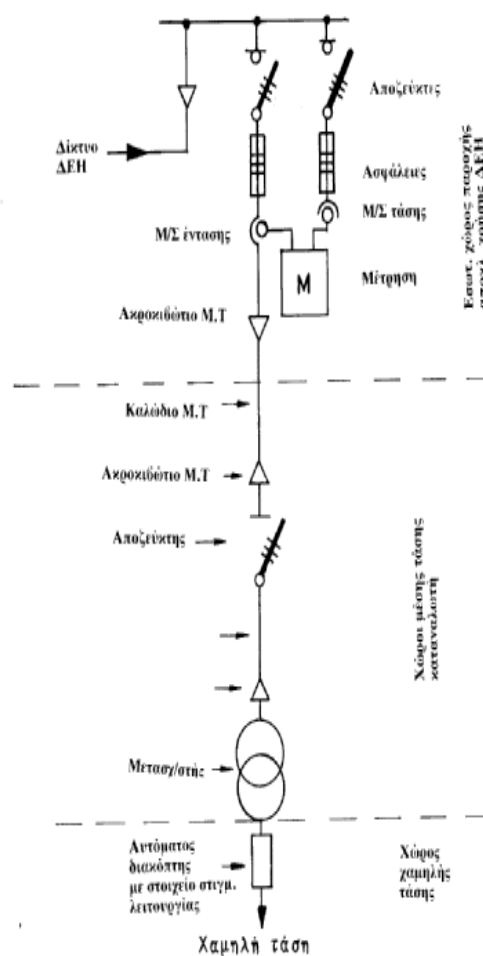
1.8.1 Παροχή τύπου Α1 : Ολική ισχύς καταναλωτή μέχρι 630 KVA .

Μέσο προστασίας Δικτύου : Ασφάλεια ΜΤ εξωτερικού χώρου (εκτόνωσης) τύπου Τα μέχρι 30Α . Μέσο προστασίας μετασχηματιστή : ασφάλεια ΜΤ εσωτερικού χώρου (τύπου κόνεως) μέχρι 40Α (τύπου κ).

1.8.2 Παροχή τύπου Α2 : Ισχύς απεριόριστη . Μέσο προστασίας δικτύου : Διακόπτης απομόνωσης . Κάθε μετασχηματιστής του καταναλωτή μέχρι 800KVA , ώστε να μπορεί να προστατευτεί με ασφάλεια ΜΤ τύπου κόνεως μέχρι 50Α . Μπορεί να υπάρχει και γενικό μέσο προστασίας ένας Α.Δ.Ι.



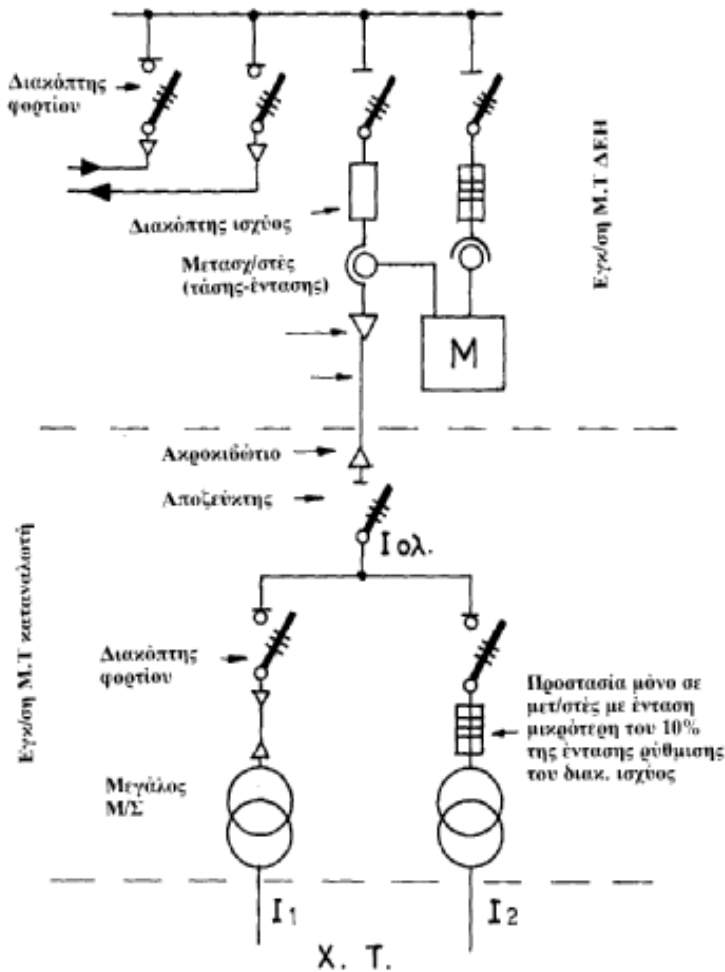
Υποσταθμός εσωτερικού χώρου με παροχή Μέσης Τάσης τύπου Β1, με ένα μετασ/στή 200-630 KVA και προστασία στη Χ.Τ με ασφάλειες. Με την ίδια διάταξη είναι δυνατή η εγκατάσταση περισσότερων παράλληλων μετασ/στών με την προϋπόθεση ότι η ζήτηση των καταναλωτή δεν θα ξεπεράσει τα 630 KVA



Υποσταθμός εσωτερικού χώρου με παροχή μέσης τάσης τύπου Β2, με ένα μετασ/στή 200-630KVA και προστασία στη Χ.Τ με αυτόματο διακόπτη εφοδιασμένο με στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Με την ίδια διάταξη είναι δυνατή η εγκατάσταση περισσότερων παράλληλων μετασχηματιστών με την προϋπόθεση ότι η ζήτηση των καταναλωτή δεν θα ξεπεράσει τα 630KVA

1.8.4 Παροχή τύπου Β2 : Στεγασμένη εγκατάσταση για την μέτρηση , απεριόριστη ισχύς . Ο πάροχος του δικτύου έχει δικό του ΑΔΙ με ΗΝ σταθερού χρόνου . Ο καταναλωτής δεν χρειάζεται να έχει μέσο προστασίας στη ΜΤ εκτός αν υπάρχει ΜΣ με ένταση μικρότερη του 10% της έντασης ρύθμισης του ΔΙ .

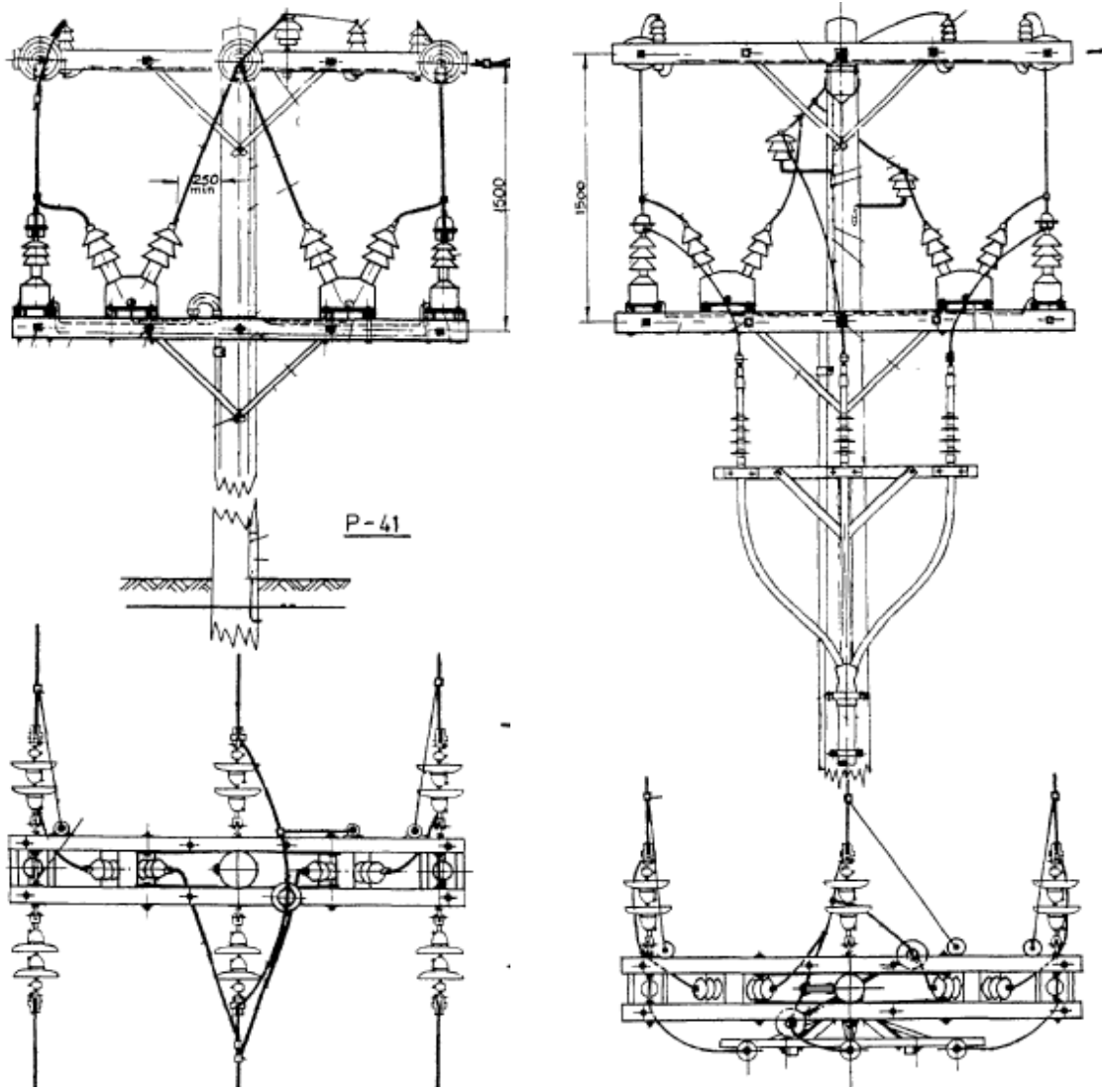
Γενικά όταν υπάρχουν ΜΣ μέχρι 800 KVA σε εναέριο δίκτυο τοποθετούνται ΑΣ ΜΤ τύπου κόνεως μέχρι 40Α οι οποίες συνεργάζονται εύκολα με τα μέσα προστασίας του δικτύου . Σε μεγαλύτερες ισχύς ή για συνολικό μέσο προστασίας τοποθετείται ΑΔΙ με ΗΝ σταθερού χρόνου , οι ρυθμίσεις των οποίων εξαρτώνται και από τα μέσα προστασίας του δικτύου .



Υποσταθμός Μ.Τ με παροχή τύπου Β2 με μετασχηματιστές μεγάλης διαφοράς ισχύος $I_2 < 0,1 \cdot I_{ολ.}$.

Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τροφοδότηση παροχών Α1, Α2.

Πριν το στύλο που συνδέεται ο καταναλωτής ΜΤ, υπάρχει σε στύλο του δικτύου μαχαιρωτός αποζεύκτης, ώστε να αποσυνδέεται ο συγκεκριμένος καταναλωτής από τη γραμμή και να υπάρχει και ορατή επαφή με την κατάσταση του διακόπτη (οι επαφές φαίνεται ότι είναι ανοικτές και δεν υπάρχει περίπτωση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση να γίνει αλλιώς). Στη συνέχεια υπάρχει ο στύλος στον οποίο τερματίζει η γραμμή ΜΤ. Υπάρχουν οι εναέριοι ΜΣ μέτρησης στο στύλο ώστε να μετριέται η ενέργεια που καταναλώνει ο υποσταθμός και στη βάση του το ερμάριο με το μετρητή. Από τον υποσταθμό έρχεται υπογείως μέχρι τη βάση του στύλου το καλώδιο ΜΤ τύπου Ν(Α)2ΧSΥ σύνδεσης του υποσταθμού και επί του στύλου βρίσκεται εντός σιδηροσωλήνα βαρέως τύπου. Στο επάνω μέρος του στύλου ο αγωγός του κάθε καλωδίου Ν(Α)2ΧSΥ (ένα για κάθε φάση και ένα εφεδρικό) συνδέεται αντίστοιχα με τον εναέριο αγωγό ΑCΣR. Αν έχει προηγηθεί διακλάδωση, στο στύλο της διακλάδωσης τοποθετείται ασφάλεια ΜΤ τύπου εκτόνωσης τύπου Τ.

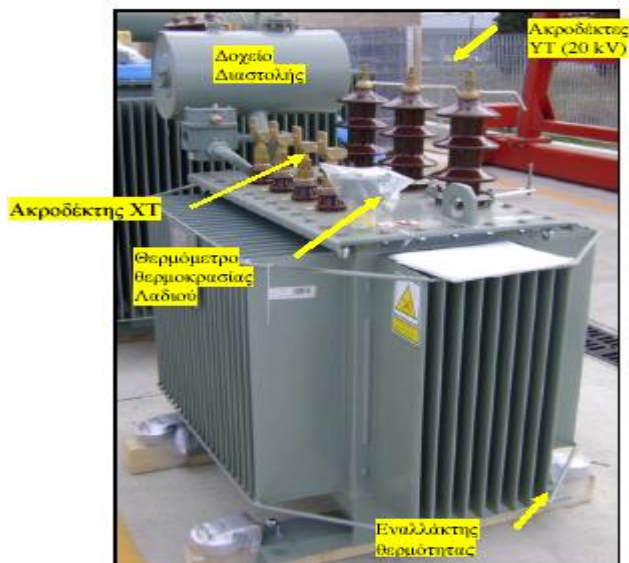


Στην κατασκευή P-41 η γραμμή συνεχίζει μετά την παροχή A1 του καταναλωτή ενώ στην κατασκευή P-43 η γραμμή τερματίζει (τερματικός στύλος) στο σημείο της παροχής .



1.9 Τριφασικός ΜΣ ισχύος υποσταθμών διανομής καταναλωτών

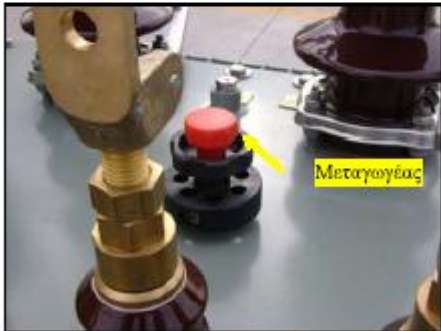
Οι μετασχηματιστές (ΜΣ) κατασκευάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα DIN42500 , DIN42511 , DIN42523 , DIN46635 . Είναι ελαιόψυκτοι συνήθως εκτός και εάν υπάρχουν ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος (κίνδυνος πυρκαγιάς) οπότε είναι στερεής μόνωσης .



Ελαιόκαρπος ΜΣ 20/0,4 kV 400 kVA



Ακροδέκτες ΥΤ και ΧΤ



Μεταγωγέας

Ο συμβολισμός των ακροδεκτών παλιότερα ήταν U-V-W (τύλιγμα υψηλής) u,v,w (τύλιγμα χαμηλής τάσης) . Σήμερα είναι 1U-1V-1W (τύλιγμα υψηλής τάσης) , 2U-2V-2W (τύλιγμα υψηλής) κατά VDE και IEC . Η επιλογή του ΜΣ έχει να κάνει με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης . Για λόγους εφεδρείας ίσως είναι καλύτερα η αγορά και δευτέρου ΜΣ και όχι η αγορά ενός μεγάλου , διότι θα υπάρχουν πολλές απώλειες σιδήρου που μειώνουν πάρα πολύ τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης . Επίσης με την μεγάλη αύξηση του υψομέτρου περιορίζεται η απόδοση του ΜΣ . Η ρύθμιση της τάσης επιτυγχάνεται με το μεταγωγέα , ο οποίος αλλάζει με συγκεκριμένο αριθμό τυλιγμάτων του πρωτεύοντος το λόγο μετασχηματισμού . Συνηθισμένες θέσεις είναι 19 , 19.5 , 20 , 20.5 , 21 , 21.5 KV . Αυξάνοντας τον αριθμό σπειρών του πρωτεύοντος αυξάνεται η τάση πρωτεύοντος και μειώνεται η τάση στο δευτερεύον και αντίστροφα .

Ο ΜΣ περιλαμβάνει εξωτερικά δοχείο διαστολής του ελαίου , ώστε αυτό να μπορεί απορροφά τις θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό του ,θερμόμετρο ,στάθμη λαδιού στο δοχείο διαστολής και αφυγραντήρα . Η μέγιστη θερμοκρασία του λαδιού είναι 65⁰C υψηλότερα του περιβάλλοντος και 105⁰C μέγιστη .

Για την προστασία του ΜΣ σε βραχυκύκλωμα υπάρχουν οι ασφάλειες κόνεως στους ασφαλειοαποζεύκτες του υποσταθμού ή με τον Α.Δ.Ι κεντρικά του υποσταθμού . ΜΣ με ονομαστική ισχύ μέχρι 800 KVA δέχονται ΑΣ 50Α . Για μεγαλύτερες ισχύς η προστασία επιτυγχάνεται με Α.Δ.Ι και ΗΝ φάσεων και γης με χαρακτηριστική σταθερού χρόνου .

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

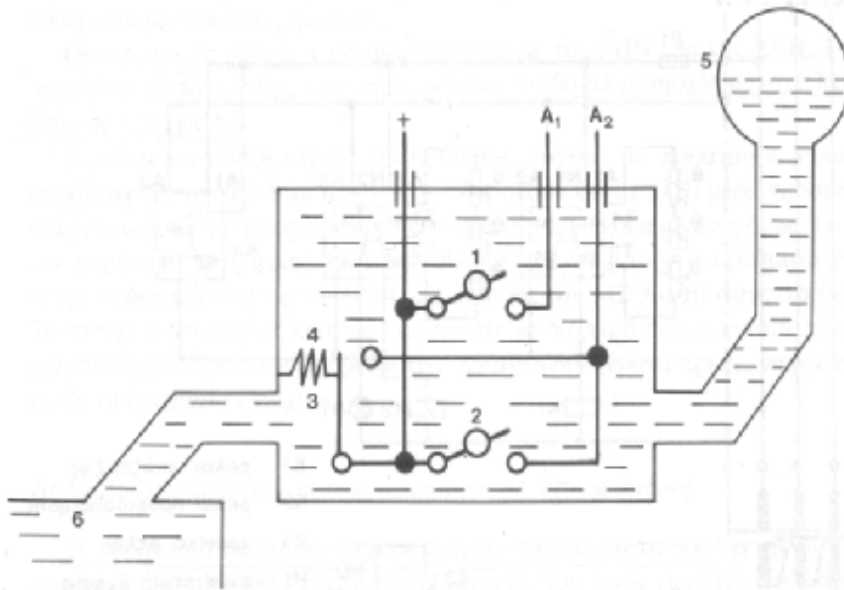
Απώλειες ΜΣ ισχύος , μέσης τάσης 20KV και ονομαστικής τάσης βραχυκύκλωσης . Το ρεύμα μαγνήτισης στα πιο κάτω μεγέθη είναι τυπικά το 2% του ονομαστικού ρεύματος.

Ισχύς ΜΣ (KVA)	Ρεύμα ΜΤ (A)	Ρεύμα ΧΤ (A)	Ονομαστικό ρεύμα ασφάλειας	
			Ελάχιστο (A)	Μέγιστο (A)
20KV				
50	1,5	72	6,3	10
75	2,2	108	10	16
100	2,9	144	10	16
125	3,9	180	16	25
160	4,7	230	16	25
200	5,8	290	16	40
250	7,3	360	16	25
315	9,2	455	16	40
400	11,6	576	25	40
500	14,5	720	25	63
630	18,2	910	25	63
800	23,1	1160	40	100
1000	29	1440	40	100
1250	39	1800	63	100

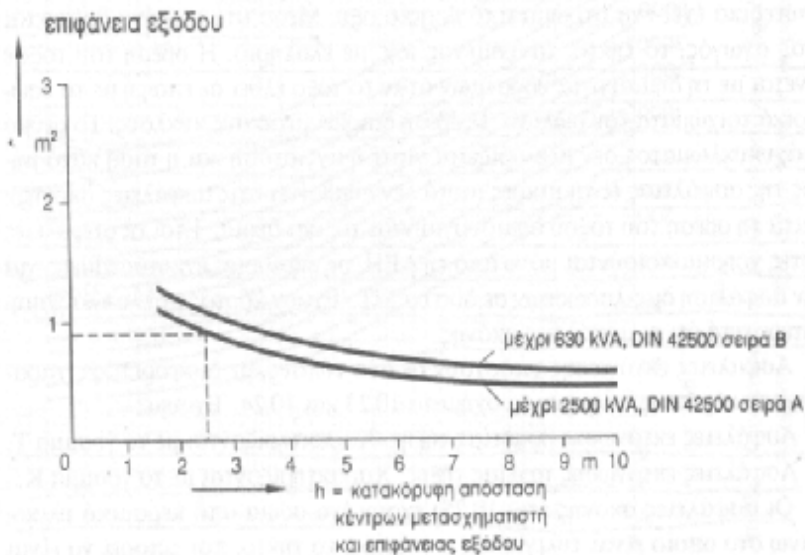
Εκλογή ασφαλειών σκόνης ανάλογα με την ισχύ των ΜΣ .

Η προστασία του ΜΣ σε υπερφόρτιση , εξασφαλίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από τις ασφάλειες και τον αυτόματο διακόπτη στην πλευρά της χαμηλής τάσης . Σε μεγάλους ΜΣ ξηρής μόνωσης μπορεί να έχουμε βοηθητική προστασία με θερμίστορες . Σε ΜΣ λαδιού υπάρχει η προστασία με ηλεκτρονόμο Buchholz ο οποίος τοποθετείται μεταξύ δοχείου ΜΣ και δοχείου διαστολής . Περιλαμβάνει 2 φλοτεροδιακόπτες και έναν ακόμη διακόπτη που εργάζεται με μια πλάκα . Αν εμφανιστούν φυσαλίδες ή υπάρξει έλλειψη λαδιού τότε κλείνει ο διακόπτης 1 και δίνει σήμανση κινδύνου A1 . Αν τα αέρια είναι αρκετά κλείνει ο διακόπτης 2

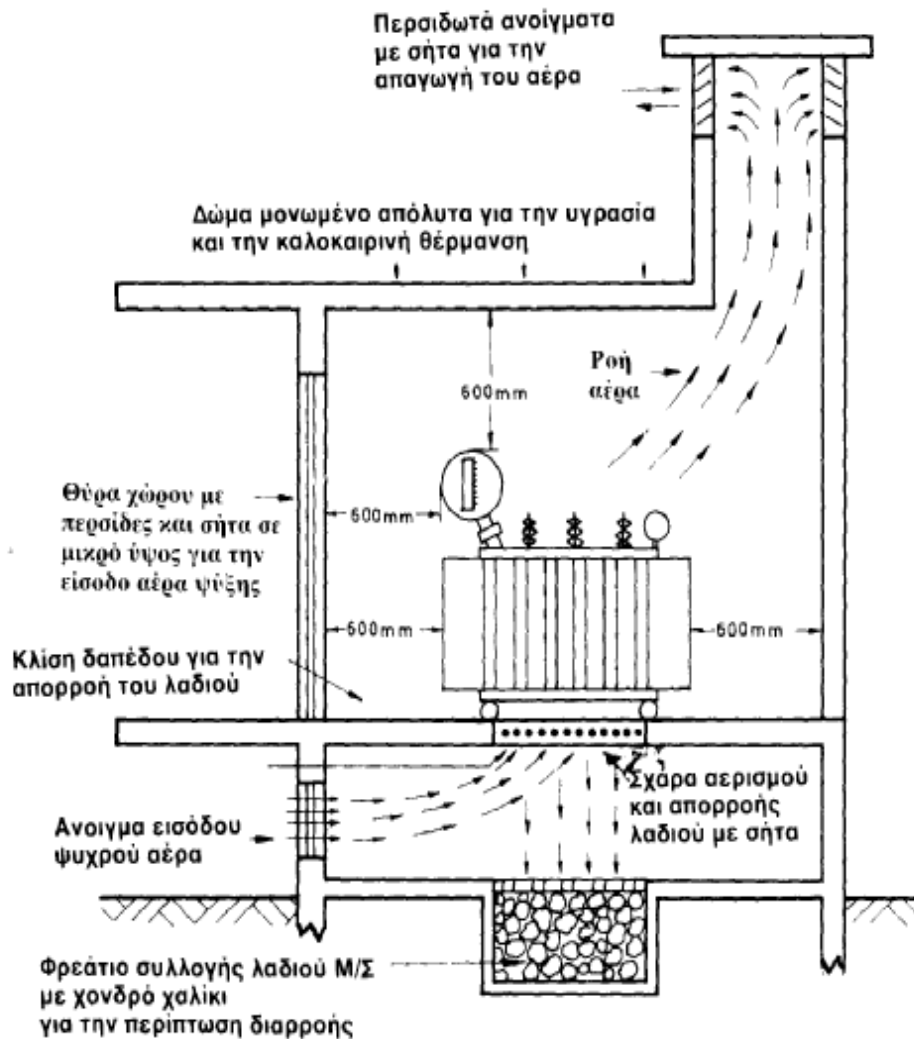
και δίνει σήμανση A2 για αποσύνδεση . Πιο κάτω δίνονται οι ελάχιστες αποστάσεις του ΜΣ από τους τοίχους του χώρου στον οποίο βρίσκεται .



Ηλεκτρονόμος Buchholz. Εγκατάσταση μεταξύ δοχείου ΜΣ και δοχείου διαστολής. 1. πλωτήρας για προειδοποίηση, 2 πλωτήρας για άμεση διέγερση, 3 διακόπτης που διεγείρεται από έντονη ροή, 4 ελατήριο συγκράτησης, 5 δοχείο διαστολής, 6 δοχείο μετασχηματιστή, A₁ ακροδέκτης προειδοποιητικού σήματος, A₂ ακροδέκτης σήματος διέγερσης προς διακόπτη.



Επιφάνεια εξόδου αερισμού κτίσματος μετασχηματιστή.



Τομή χώρου μετασχηματιστή με κατασκευαστικές λεπτομέρειες και ελάχιστες αποστάσεις μετασχ/στή από στοιχεία κτιρίου

Επιπλέον κατασκευαστικές λεπτομέρειες του υποσταθμού :

- Οι εξωτερικοί τοίχοι εισόδου της ΜΤ πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος 20 εκ. και να είναι επιχρισμένοι με τσιμεντοκονία ή μαρμαροκονία .
- Γενικά κάτω από τον ΜΣ πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα συγκομιδής του λαδιού σε περίπτωση διαρροής .
- Στο δάπεδο , πριν από την τελική επίστρωση πρέπει να τοποθετείται δομικό πλέγμα που θα συνδέεται με λάμες ή ράβδους εξόδου στην τελική επιφάνεια και να συνδέονται στη γείωση . Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται ο κίνδυνος εμφάνισης βηματικών τάσεων .
- Οι σιδερένιες θύρες από λαμαρίνα πάχους 1,25 χιλ . Η εξωτερική θύρα πρέπει να έχει περσιδωτά ανοίγματα στο άνω και κάτω μέρος επιφάνειας $1,5 \text{ m}^2$.
- Το πλέγμα από γαλβανισμένο σύρμα διατομής τουλάχιστον 4 mm^2 με μέγιστη επιφάνεια ανοίγματος στο πλέγμα 550 mm^2 και μέγιστη πλευρά ανοίγματος 55mm .

Διαφορετικά σε βάθος 50 χιλ δομικό πλέγμα από συγκολλημένα σίδηρα διαμέτρου 4mm με ανοίγματα όχι μεγαλύτερα από 30 cm . Πρέπει να υπάρχει πλήρης προστασία των καλωδίων ΜΤ που συνήθως εισέρχονται σε χώρο κάτω του δαπέδου και οδεύουν προς τα πάνω προς τον πίνακα ΜΤ . Σε όλα τα ανοίγματα πρέπει να υπάρχουν περσίδες . Το ενδοδαπέδιο πλέγμα συνδέεται με λάμες περιφερειακά με τη γείωση σε 4 σημεία . Περιφερειακή λάμα γείωσης επί του τοίχου με χαλκοταινία σε ύψος 0,40 – 0,50 m από το δάπεδο . Διατομή 90mm² .

Ο τρόπος ψύξης του κάθε ΜΣ αναγράφεται στα ονομαστικά του στοιχεία και αποτελείται από 4 κεφαλαία γράμματα . Τα 2 πρώτα περιγράφουν το μέσο ψύξης του πυρήνα και τον τρόπο κυκλοφορίας του . Τα 2 επόμενα δηλώνουν το μέσο ψύξης του εναλλάκτη και τον τρόπο κυκλοφορίας του . Τα μέσα ψύξης είναι :

- O : (ορυκτό) λάδι
- A : αέρας
- W : νερό
- L : clophen (λάδι δυσανάφλεκτο)
- G : Αέριο
- N : φυσική κυκλοφορία
- F : βεβιασμένη κυκλοφορία

1.10 Εναέριοι υποσταθμοί διανομής

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένας τυπικός εναέριος υποσταθμός διανομής .

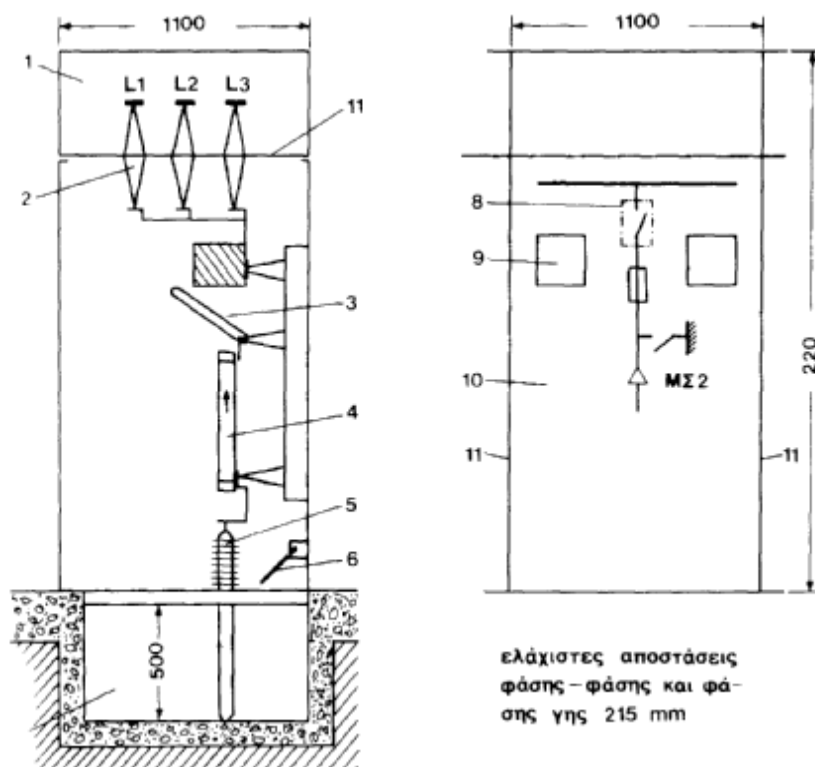


- 1 : Γραμμή Μέσης Τάσης
- 2 : Ασφάλειες εκτόνωσης τύπου K για την προστασία του ΜΣ από βραχυκύκλωμα
- 3 : Καλώδιο χαμηλής τάσης
- 4 : Ερμάριο με ασφάλειες χαμηλής τάσης στο εσωτερικό του
- 5 : Γραμμή ΧΤ παλαιού τύπου (με γυμνούς αγωγούς ΑΙ)
- 6 : Γραμμή ΧΤ νέου τύπου (με συνεστραμμένο καλώδιο)

1.11 Κυψέλες Μέσης Τάσης

Οι αναχωρήσεις των καλωδίων και τα μέσα ζεύξης και προστασίας μέσης τάσης εγκαθίστανται σε κλειστές καμπίνες , οι οποίες ονομάζονται κυψέλες ΜΤ ή πεδία ή πίνακες ΜΤ . Τα πεδία τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο .

Υπάρχουν 3 τμήματα : στο πρώτο τμήμα (κάτω) έρχονται τα καλώδια που καταλήγουν στους ασφαλειοαποξευκτές ή διακόπτες φορτίου ή αυτόματους διακόπτες ΜΤ . Πιο πάνω στο δεύτερο τμήμα έχουμε τους ζυγούς που συνδέονται με τα άλλα τμήματα μέσω μονωτήρων διέλευσης . Στο τρίτο τμήμα υπάρχουν όργανα και ηλεκτρονόμοι . Τα τοιχώματα γίνονται από λαμαρίνα πάχους τουλάχιστον 1,5 mm για λόγους αντοχής στα ηλεκτρικά τόξα . Οι κυψέλες στα 20 KV έχουν συνήθως τις εξής διαστάσεις : πλάτος 0,70 – 1,20 m , βάθος 1,0 – 1,20 m , ύψος 2 – 2,50 m . Οι κυψέλες με SF6 έχουν μικρότερες διαστάσεις διότι εκεί το τόξο αποσβέννηται πολύ πιο γρήγορα . Τα καλώδια εισέρχονται στο πεδίο από το κάτω μέρος όπου υπάρχει χαντάκι για την τοποθέτησή τους . Η ελάχιστη ακτίνα κάμψης πλαστικών καλωδίων είναι 400 – 600 mm .



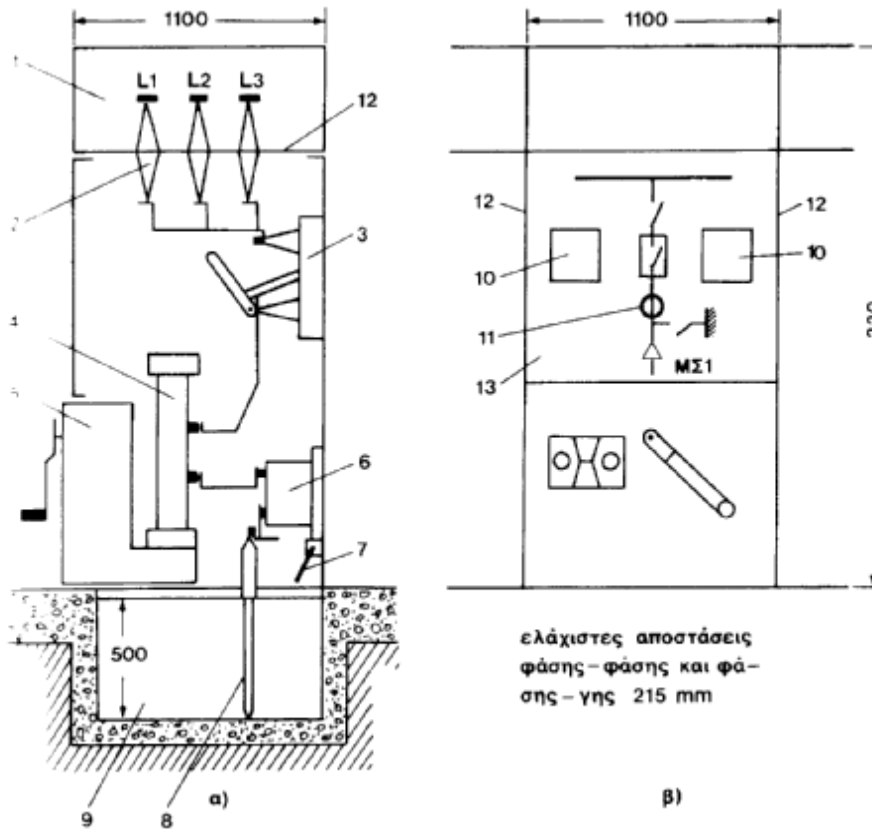
Διάταξη κυψέλης αναχωρήσης, προστατευμένης με ασφάλειες.

1 χώρος ζυγών, 2 μονωτήρες διέλευσης, 3 διακόπτης φορτίου με ορατές επαφές, 4 ασφάλειες σκόνης, 5 ακροκεφαλή καλωδίου, 6 γειωτής, 7 χαντάκι καλωδίων, 8 μονογραμμικό διάγραμμα κυψέλης, 9 παράθυρα, 10 πόρτα, 11 διαχωριστικά τοιχώματα.

Οι μονωτήρες διέλευσης των ζυγών είναι από εποξειδική ρητίνη . Οι ζυγοί θα πρέπει να αντέχουν το μόνιμο φορτίο και τα κρουστικά ρεύματα βραχυκύκλωσης . Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον $40 \times 5 \text{ mm}^2$. Για τις συνδέσεις χρησιμοποιούνται επικαδμιόμενοι χαλύβδινοι κοχλίες Μ10 , αντοχής τουλάχιστον S8 .

Οι προδιαγραφές για εγκαταστάσεις ονομαστικής τάσης 20 kv / 24 kv είναι :

Μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη τάση : 24 kv , αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση για 1 min 50 kv , αντοχή σε κρουστική τάση 1,2 / 5 μs 125 kv ,ελάχιστη απόσταση φάσης – φάσης ή φάσης – γης 215 mm .



Διατάξη κυψέλης αναχώρησης, προστατευμένης με διακόπτη ισχύος.

α) τομή-πλάγια όψη.

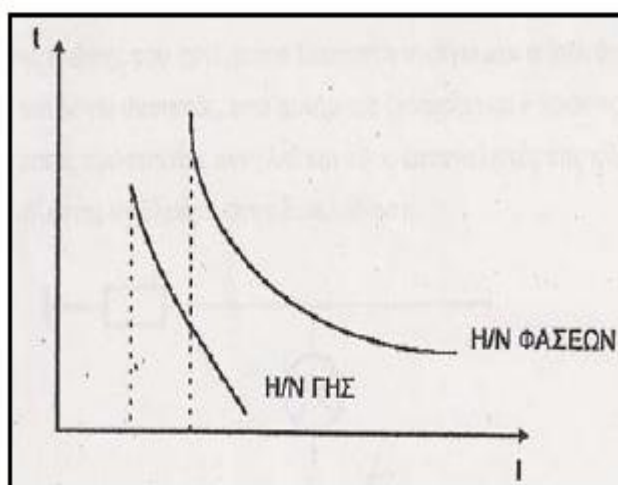
β) πρόσοψη. 1 χώρος ζυγών, 2 μονωτήρες διέλευσης, 3 αποξείκιτης, 4 διακόπτης ισχύος, 5 μηχανισμός και ρυθμίσεις του διακόπτη ισχύος, 6 μετασηματιστές ρεύματος, 7 γειωτής, 8 καλώδιο, 9 χαντάκι, 10 παράθυρο, 11 μονογραμμικό διάγραμμα, 12 λαμαρινένια χωρίσματα από κυψέλη σε κυψέλη και μεταξύ ζυγών και λοιπων συσκευων.

Κεφάλαιο 2°

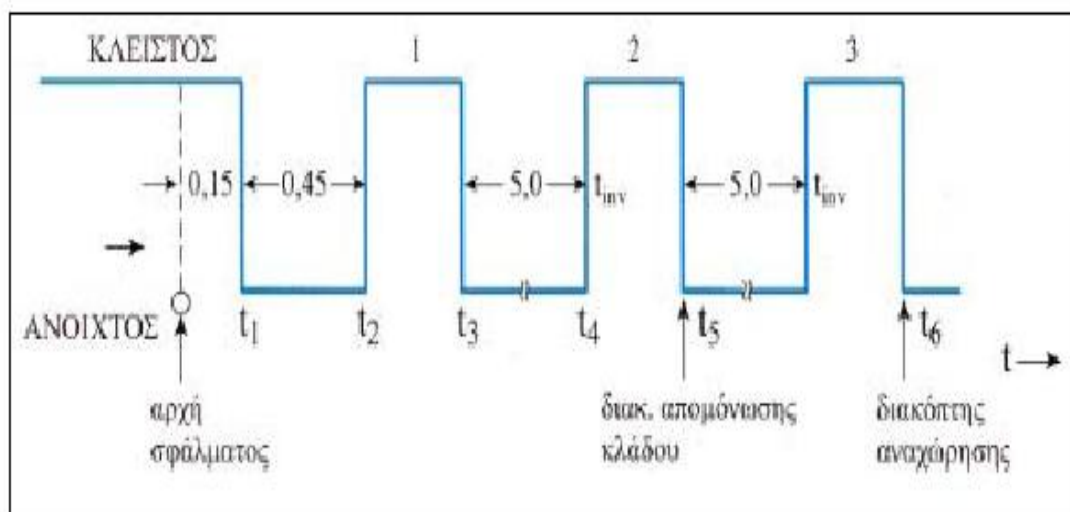
Μέσα προστασίας δικτύων

2.1 Ηλεκτρονόμοι των μέσων προστασίας που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα

Έχει εξηγηθεί ο όρος "Ηλεκτρονόμος" (HN) . Οι HN των ΔΙ που χρησιμοποιούνται στους ιδιωτικούς υποσταθμούς έχουν χαρακτηριστική σταθερού χρόνου . Ηλεκτρονόμους χρησιμοποιούν και οι διακόπτες ισχύος στις αναχωρήσεις των εναέριων γραμμών ΜΤ . Οι HN των διακοπών ισχύος στα εναέρια δίκτυα έχουν χαρακτηριστική αντιστρόφου χρόνου , όπως και οι ασφάλειες και φαίνονται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα .



Χαρακτηριστική αντιστρόφου χρόνου : Φαίνεται ότι η ρύθμιση του HN ΓΗΣ έγινε σε χαμηλότερα ρεύματα από ότι ο HN ΦΑΣΕΩΝ .



Κύκλοι επαναφοράς ενός ΔΙ της Δ.Ε.Η

Όταν συμβεί ένα σφάλμα στη γραμμή , ο ΗΝ δίνει εντολή στον ΔΙ να κλείσει και να ανοίξει διαδοχικά σε συγκεκριμένους χρόνους , εκτελώντας έναν συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας . Όταν συμβαίνει το σφάλμα , σε χρόνο 0,15 sec ο ΔΙ ανοίγει μετά από εντολή του ΗΝ και παραμένει ανοικτός για 0,45 sec ενώ στη συνέχεια ο ΗΝ του δίνει εντολή να κλείσει . Σε περίπτωση που το σφάλμα παραμένει , ο ΗΝ δίνει εντολή στον ΔΙ τη χρονική στιγμή t_3 να ξανά-ανοίξει και παραμένει ανοικτός έως τη χρονική στιγμή t_4 οπότε ξανακλείνει . Αν το σφάλμα παραμένει , ο ΔΙ ανοίγει τη χρονική στιγμή t_5 κ.ο.κ. . Η λειτουργία αυτή χαρακτηρίζεται ως ο-c-o (open-close-open) . Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο ΗΝ έχει ρυθμιστεί για 3 κύκλους ανοίγματος – κλεισίματος πριν το οριστικό εάν το σφάλμα παραμένει (3 κύκλοι επαναφοράς) . Η πρώτη δράση του ΔΙ σε 0,15 sec αναφέρεται ως Στοιχείο Στιγμιαίας Λειτουργίας (ΣΛ) και ο σκοπός του είναι να ανοίξει ο ΔΙ για λίγο ώστε να εκκαθαρισθούν τα παροδικά και γρήγορα σφάλματα (πχ από κεραυνούς) χωρίς να μείνει η γραμμή μόνιμα εκτός . Η λειτουργία των κύκλων επαναφοράς βοηθάει στο γεγονός ότι μπορούν να αντιδράσουν άλλα μέσα προστασίας που βρίσκονται πιο κοντά στο σφάλμα (πχ ασφάλειες εκτόνωσης ή ΔΙ ιδιωτικών υποσταθμών) και να μην μείνει όλη η γραμμή εκτός . Οι διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούν ΗΝ με κύκλους επαναφοράς ονομάζονται Διακόπτες Αυτόματης Επαναφοράς ή "Έλαιδιακόπτες" αν χρησιμοποιούν το λάδι ως μέσο για τη σβέση του τόξου .

2.2 Συσκευές προστασίας στα δίκτυα ΜΤ

2.2.1 Διακόπτης Απομόνωσης (ΔΑ) (sectionalizer)

Ο ΔΑ συνεργάζεται με τον ΔΙ που υπάρχει στην αρχή της γραμμής ΜΤ .



Διακόπτης Απομόνωσης
με δοχείο Λαδιού

Ο ΔΑ μπαίνει σε καταναλωτές ΜΤ με παροχές τύπου Α2 . Μια βασική ρύθμιση είναι τα ζεύγη « υπερέντασης-διακοπής » που θα μετρήσει ο ΔΑ και στη συνέχεια θα ανοίξει . Η ρύθμιση έχει τιμές 1,2,3 .

Αν η ρύθμιση είναι πχ 2 , τότε ο ΔΑ θα ανοίξει μετά από 2 ανοίγματα του ΔΙ στην αρχή της γραμμής (ο ΔΙ εκτελεί κύκλους επαναφοράς) και εφόσον “βλέπει” ακόμα υπερένταση μέσα από αυτόν .

Χρόνος ανοίγματος : ο χρόνος στον οποίο θα ανοίξει ο ΔΑ μετά τον ΔΙ αφού έχει μετρήσει τις αντίστοιχες τιμές “υπερέντασης-διακοπής” .

Χρόνος επαναφοράς : ο χρόνος που ο ΔΑ μηδενίζει τις καταγεγραμμένες τιμές “υπερέντασης-διακοπής” .

Ρεύμα ζεύξης : το ρεύμα που αμελεί ο ΔΑ γιατί δεν πρόκειται για σφάλμα .

Ρεύμα σφάλματος : το ρεύμα που ο ΔΑ θεωρεί ως σφάλμα .

2.2.2 Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς (Δ/ΑΕ)

Ο διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς διαθέτει ΗΝ φάσεων και γης που εκτελούν κύκλους επαναφοράς όταν ανιχνεύσουν ένα σφάλμα (τιμή ρεύματος μεγαλύτερη από μια προκαθορισμένη τιμή) . Υπάρχει πίνακας ελέγχου στον οποίο γίνονται οι εξής ρυθμίσεις :

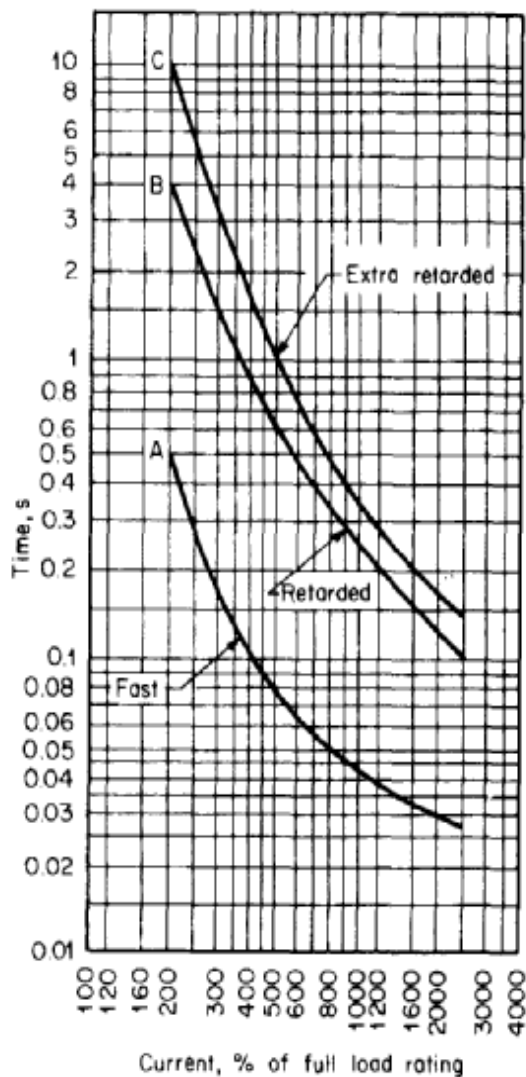
1. Ελάχιστη ένταση ρεύματος διέγερσης για σφάλματα φάσεων και γης (trip currents)
2. Καμπύλη χρονικής καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας (fast and time-delay)
3. Αριθμός λειτουργιών με και χωρίς χρονική καθυστέρηση
4. Χρόνοι επανάζευξης
5. Χρόνος επαναφοράς σε αρχική κατάσταση

Συνεπώς ο Δ/ΑΕ έχει τις δικές του χαρακτηριστικές έντασης – χρόνου φάσεων και γης . Παλαιότερα οι ρυθμίσεις γίνονταν με την τοποθέτηση των σωστών στοιχείων (πχ

αντιστάσεων) πάνω σε πλακέτα του ελεγκτή ή με άλλους μηχανικούς τρόπους σε υδραυλικούς Δ/ΑΕ . Σήμερα γίνεται με το λογισμικό που συνοδεύει τον ελεγκτή του Δ/ΑΕ .

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τυπικές καμπύλες "έντασης-χρόνου" όπως δίνονται σε έναν Δ/ΑΕ . Η πρώτη καμπύλη οφείλεται στο στοιχείο Στιγμαϊαίας Λειτουργίας . Οι επόμενες δύο λειτουργίες είναι με χρονικές καθυστερήσεις . Δηλαδή ο συγκεκριμένος Δ/ΑΕ εκτελεί 3 κύκλους αυτόματης επαναφοράς .

Στους Δ/ΑΕ με ηλεκτρονικό έλεγχο οι καμπύλες που διαθέτουν είναι τυποποιημένες και απλά επιλέγονται οι κατάλληλες .



Κριτήρια επιλογής : τάση δικτύου , μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης , μέγιστο ρεύμα φορτίου , ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης (trip-current value) .

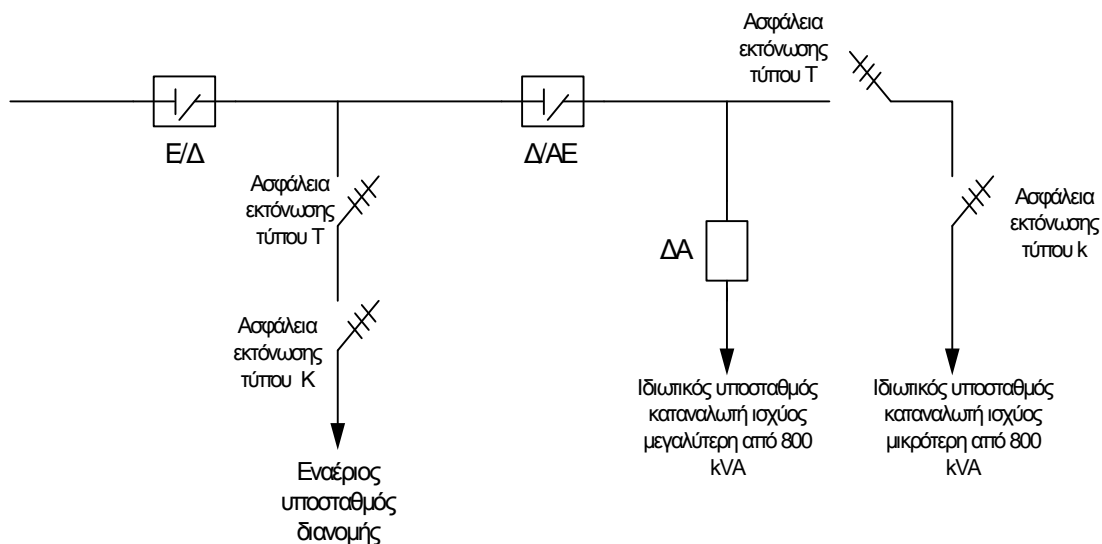
Συνήθως ένα ρεύμα διέγερσης σφάλματος είναι τουλάχιστον διπλάσιο του ρεύματος φορτίου

2.2.3 Διακόπτης Ισχύος (Ελαιοδιακόπτης) (ΔΙ)

Ο ΔΙ στην αναχώρηση της γραμμής χρησιμοποιεί ως μέσο σβέσης του τόξου που αναπτύσσεται κατά το άνοιγμα των επαφών υπό βραχυκύκλωμα το λάδι , γι' αυτό και ονομάζεται " Ελαιοδιακόπτης (Ε/Δ) " . Στην ουσία η λειτουργία του είναι ακριβώς παρόμοια με αυτήν του Δ/ΑΕ , αφού διαθέτει ΗΝ φάσεων και γης , εκτελεί κύκλους επαναφοράς και δίνονται οι χαρακτηριστικές " έντασης – χρόνου " .

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται όλα τα μέσα προστασίας σε μια γραμμή εναέρια μέσης τάσης όπως έχουν περιγραφεί . Στις διακλαδώσεις υπάρχουν ασφάλειες εκτόνωσης τύπου Τα ενώ στους εναέριους υποσταθμούς διανομής και στους καταναλωτές ΜΤ με μετασχηματιστές μέχρι 800 ΚVΑ ασφάλειες τύπου Κ , ενώ σε ισχύς πάνω από 630 ΚVΑ υπάρχει ΔΑ ο οποίος συνεργάζεται με τον Δ/ΑΕ ή τον Ε/Δ που προηγείται .

Γενικά μία γραμμή ΜΤ



- Υπόγεια Δίκτυα ΜΤ

Δίκτυα X1 : υποσταθμοί διανομής με ΜΣ 1000 ΚVΑ ή 2 x 630 ΚVΑ . Υπάρχει ασφάλεια σκόνης 63Α , η οποία όμως συνεργάζεται δύσκολα με την ΗΝ γης . Γι' αυτό δεν είναι τυποποιημένη η ρύθμιση στους ΗΝ γης εδώ και εξαρτάται από τον κατασκευαστή . Οι ΗΝ φάσεων για μεγαλύτερα ρεύματα .

Δίκτυα Υ2 : υποσταθμοί διανομής με ΜΣ 630 ΚVΑ . Ως μέσο προστασίας ασφάλεια σκόνης 40Α που συνεργάζεται εύκολα με ΗΝ γης . Τυποποιημένη ρύθμιση : εξαιρετικά αντιστρόφου χρόνου : 80Α -0,7 sec , σταθερού χρόνου : 160Α -1 sec . Στα αμιγή υπόγεια δίκτυα δεν υπάρχουν παροδικά σφάλματα και επίσης η γείωση των υπογείων καλωδίων παρέχουν προστασία από τάσεις επαφής . Γι' αυτό οι Ε/Δ δεν εκτελούν κύκλους επαναφοράς .

Στα μικτά δίκτυα (υπόγεια – εναέρια) μπαίνουν ΗΝ εξαιρετικά αντιστρόφου χρόνου ώστε να μπορούν να συνεργάζονται με τις ασφάλειες εκτόνωσης εναέριων δικτύων 30 Τ και όχι ΗΝ σταθερού χρόνου .

2.2.4 Αλεξικέραυνα (απαγωγέας υπερτάσεων)

Χρησιμοποιούνται για την όδευση του ρεύματος του κεραυνού προς τη γη και τη διατήρηση της τάσης σε ανεκτά επίπεδα ώστε να μην προκαλούνται βλάβες στις εγκαταστάσεις ΜΤ . Τοποθετείται μεταξύ αγωγού (φάσης) και γη . Αποτελείται από ένα διάκενο αέρα σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις από ανθρακικό πυρίτιο . Κατά τη διάρκεια της υπέρτασης το διάκενο διασπάται και ο αγωγός βραχυκυκλώνεται μέσω των αντιστάσεων προς τη γη . Όσο το ρεύμα αυξάνεται οι αντιστάσεις μειώνονται ώστε να μην αυξάνεται η τάση . Σε διαφορετική περίπτωση ο αγωγός δεν έρχεται σ' επαφή με γη αφού υπάρχει το διάκενο .

Αντοχή σε κρουστική τάση : για τη ΜΤ είναι η 125 KV

Τάση αφής : η τάση στην οποία ενεργοποιείται : 38 KV

Τάση σβέσης : $1,2 \times U_n$ δηλαδή 24 KV ,τάση βέβαιης απενεργοποίησης .



Σχ. 2.27: Απαγωγέας POLIM-S



Σχ. 2.28: Διάφοροι τύποι Απαγωγέων της σειράς POLIM της ABB.

Continuous operating voltage U_c	4 – 44 kV
8/20 μ s nominal discharge current I_n	20 kA
High current impulse I_{no} 4/10 μ s	100 kA
Energy absorption capacity	13.3 kJ / kV U_c
Long duration current impulse	1350 A / 2 ms
IEC line discharge class	4
ANSI	station class high energy
Cantilever strength (withstand value 1 min.)	6000 Nm
MPSL (IEC 60 099-4, Ed. 2:1)	8000 N

Τεχνικά χαρακτηριστικά POLIM – H

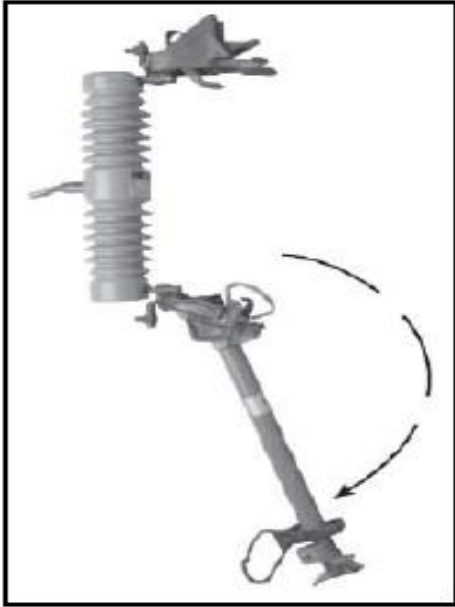
- Ονομαστικό κρουστικό ρεύμα : η κορυφή του κρουστικού ρεύματος στο οποίο μπορεί να αντέχει με βεβαιότητα ο απαγωγέας . Συνήθως 5 KA ή σε πολύ κεραυνόπληκτες περιοχές 10 KA .
- Παραμένουσα τάση : η τάση που εφαρμόζεται όταν περνάει το κρουστικό ρεύμα .
- Αντοχή σε κρουστικά ρεύματα βραχείας διάρκειας (5/10 μ s) και μακράς διάρκειας (1000-2000 μ s) .

2.3 Ασφάλειες εναέριων δικτύων MT τύπου εκτόνωσης .

Η ασφάλεια εκτόνωσης είναι ένας μονωτικός κυλινδρικός σωλήνας μέσα στον οποίο υπάρχει το τηκτό τανυσμένο από ελατήριο . Εσωτερικά επίσης υπάρχει βορικό οξύ για τη σβέση του τόξου κατά την περίπτωση σφάλματος . Κατά τη διάρκεια της σβέσης δημιουργούνται τοξικά αέρια τα οποία ελκύονται στο περιβάλλοντα χώρο . Υπάρχουν 2 κατηγορίες : βραδείας τήξης τύπου Ta και ταχείας τήξης τύπου K . Οι τύπου Ta χρησιμοποιούνται στις διακλαδώσεις και οι τύπου K στους υπαίθριους υποσταθμούς . Σε συνδυασμό με τη βάση μπορούν να λειτουργήσουν και ως αποζεύκτες . Στο σφάλμα , η ασφάλεια αποσυνδέεται απ το ένα άκρο της βάσης και έτσι υπάρχει ορατός έλεγχος .



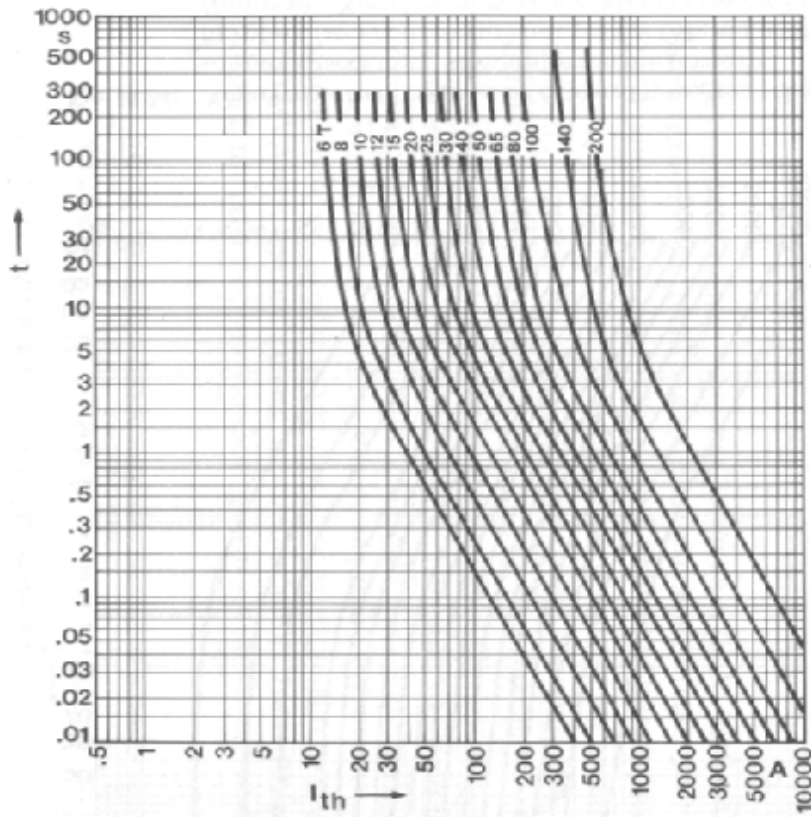
Ασφάλεια εκτόνωσης σε κατάσταση μόνιμης λειτουργίας



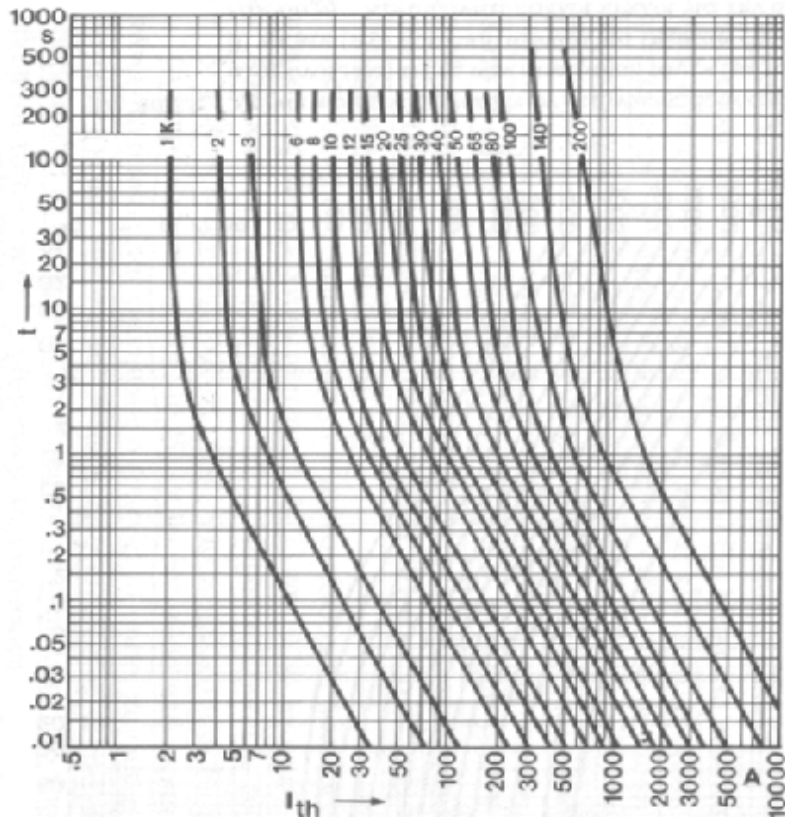
Ασφάλεια εκτόνωσης καμένη και αποσυνδεδεμένη από τη βάση της

Παρακάτω δίνονται οι χαρακτηριστικές εντάσεις χρόνου :

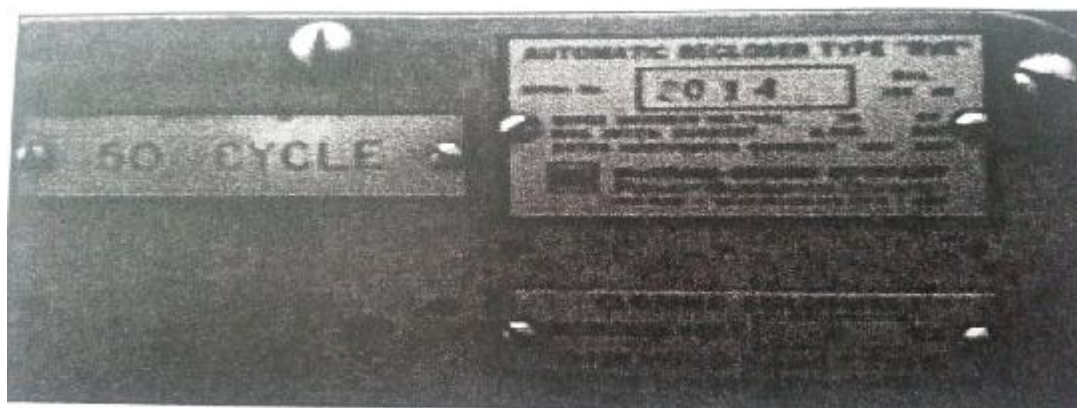
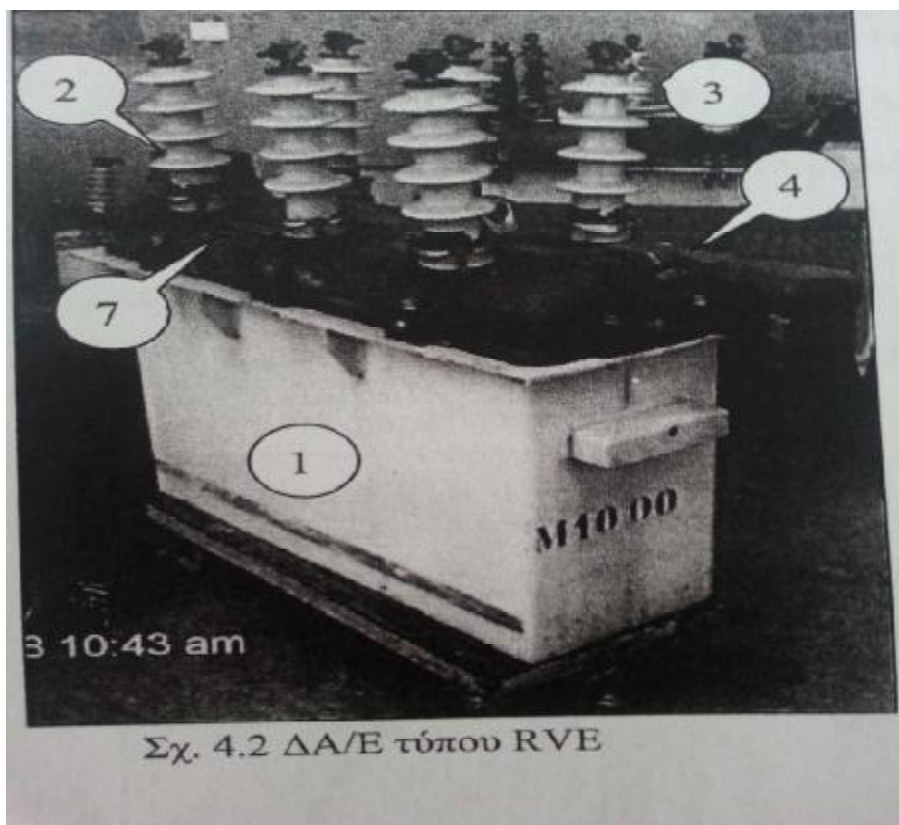
Χαρακτηριστική ασφάλειας εκτόνωσης βραδείας τήξης(τύπου T) .



Χαρακτηριστική ασφάλειας εκτόνωσης ταχείας τήξης(τύπου K)



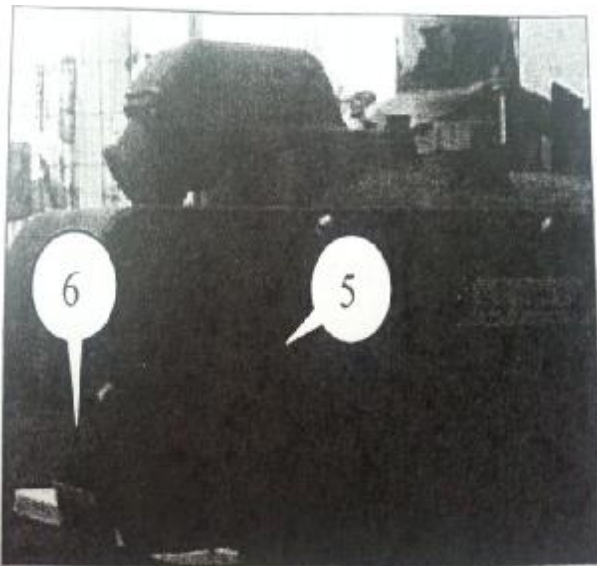
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι όψεις ενός Δ/ΑΕ της εταιρείας Mc-Graw Edison τύπου RVE .



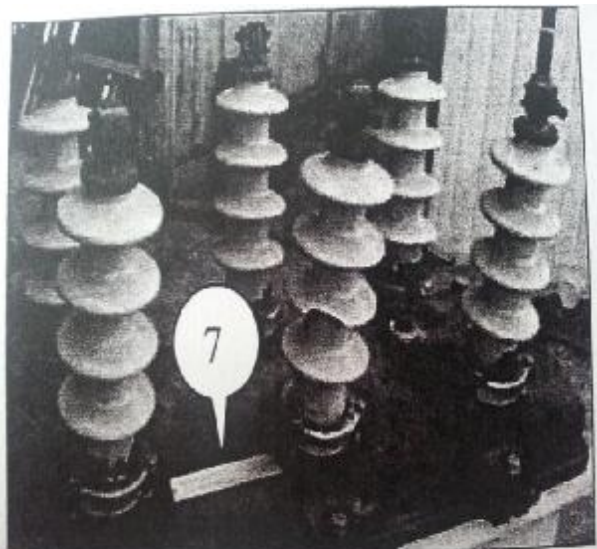
Σχ. 4.3: Ονομαστική Πινακίδα Δ/ΑΕ RVE

Ονομαστικά Στοιχεία RVE	
Ονομαστική Τάση	38 kV
Ονομαστική Ένταση	400 A
Μέγιστη Ένταση	6000 A
Μέγιστη Τάση Αντοχής Μόνωσης (BIL)	150 kV
Ονομαστική Συχνότητα	50 Hz (CYCLE)

Πίνακας 4.2: Ονομαστικά Στοιχεία



Σχ. 4.4: Χειροκίνητη λειτουργία



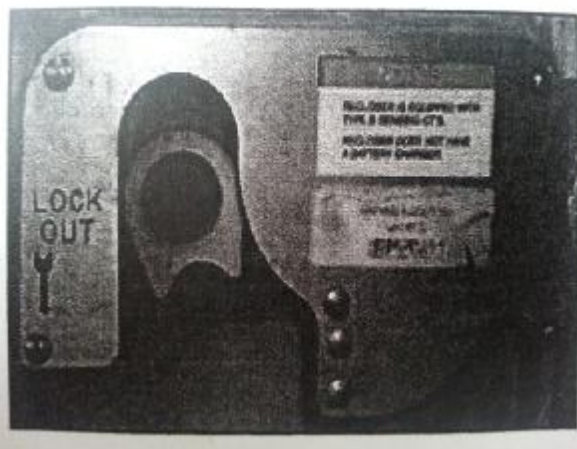
Σχ. 4.5: Επαφές

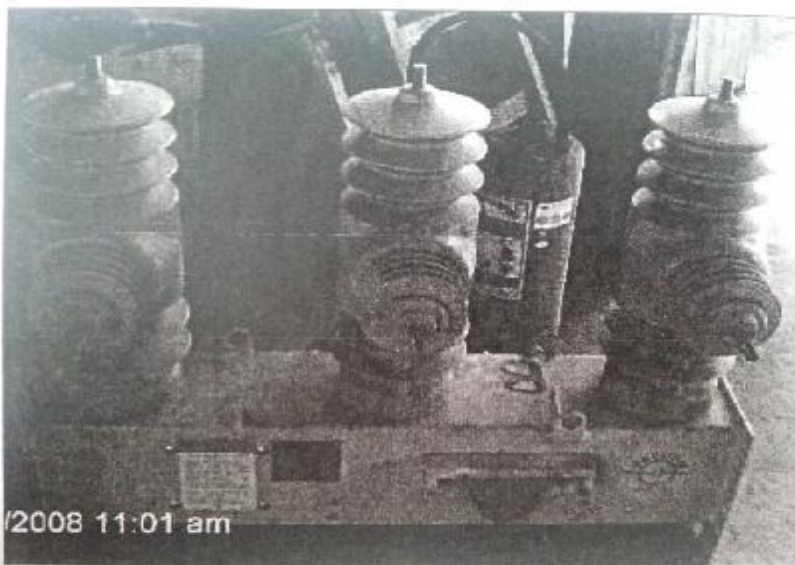
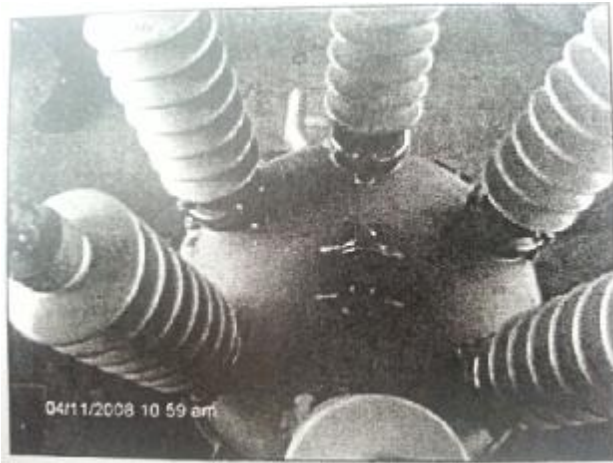
- 1 : Δοχείο λαδιού
- 2 : Μονωτήρες –Ακροδέκτες
- 3 : Σύνδεση φάσεων
- 4 : Σύνδεση controller
- 5 : Χειροκίνητη λειτουργία
- 6 : Ενδείξεις
- 7 : Σύνδεση αγωγών υπό τάση

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται επίσης ένας άλλος Δ/ΑΕ λαδιού τύπου KFVME της εταιρείας Cooper και στο επόμενο σχήμα ο Δ/ΑΕ ξηρού τύπου "NOVA 27" της ίδιας εταιρείας .

Ονομαστικά Στοιχεία KFVME	
Ονομαστική Τάση	27 kV
Ονομαστική Ένταση	500 A
Μέγιστη Ένταση	8000 A
Μέγιστη Τάση Αντοχής Μόνωσης (BIL)	125 kV
Ονομαστική Συχνότητα	50 Hz (CYCLE)

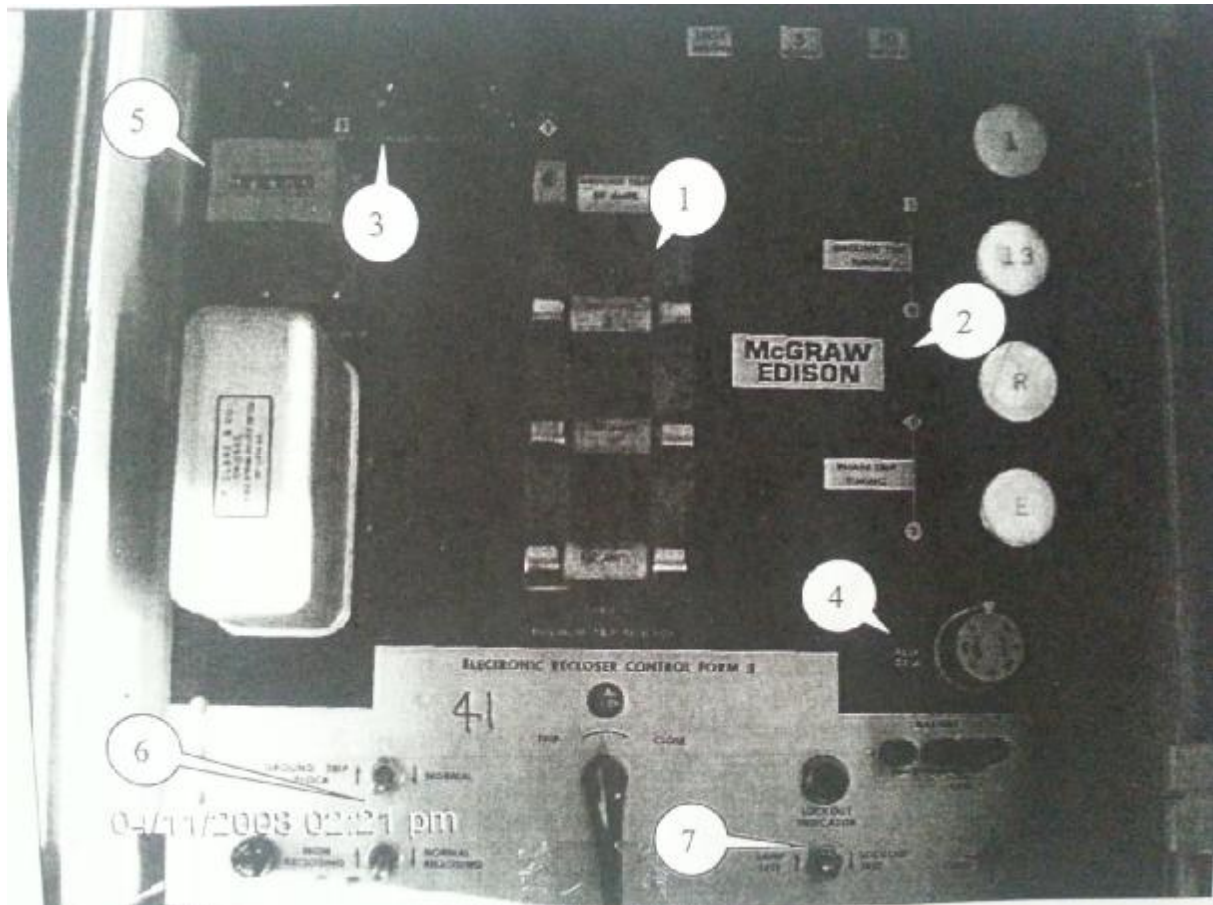
Πίνακας 4.3: Ονομαστικά Στοιχεία





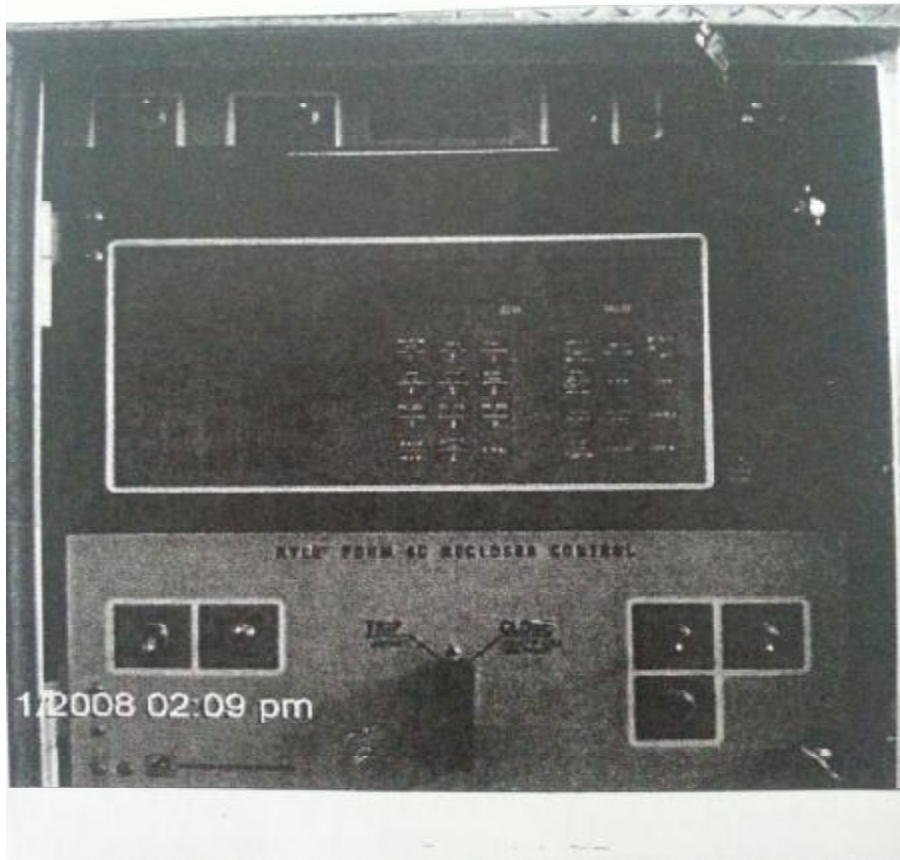
Σχ. 4.7: Δ/ΑΕ ξηρού τύπου "NOVA 27"

Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχει το κύκλωμα ελέγχου στο οποίο δίνονται όλες οι ρυθμίσεις προστασίας που θα πρέπει να "γνωρίζει" ο Δ/ΑΕ. Παλαιότερα, το κύκλωμα ελέγχου υλοποιούνταν με ηλεκτρονικά στοιχεία σε πλακέτα η οποία συνόδευε τον Δ/ΑΕ. Τοποθετώντας τις σωστές αντιστάσεις στην πλακέτα, δίνονταν οι αντίστοιχες ρυθμίσεις. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



- Ρυθμίσεις :
- 1 : Ελάχιστο ρεύμα διέγερσης για το αντίστοιχο σφάλμα .
 - 2 : Χαρακτηριστικές εντάσεως – χρόνου .
 - 3 : Αριθμός λειτουργίας των ΗΝ και κύκλοι επαναφοράς .
 - 4 : Χρόνος επαναφοράς στην αρχική κατάσταση .
 - 5 : Μετρητής διέγερσης του Δ/ΑΕ .
 - 6 : Δέσμευση μη λειτουργίας .
 - 7 : Έλεγχος ενδείξεων .

Στους σύγχρονους Δ/ΑΕ ο έλεγχος πραγματοποιείται με μικροϋπολογιστές και οι ρυθμίσεις δίνονται με λογισμικό . Τέτοια κυκλώματα ελέγχου δίνονται στα επόμενα σχήματα :



Κεφάλαιο 3°

Εκλογή κινητήρα

3.1 Εκλογή κινητήρα με βάση την κλάση μόνωσης .

Η μόνωση του κινητήρα μπορεί να αντέξει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία . Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις κλάσεις μόνωσης , όπου οι πιο συνηθισμένες είναι οι B και F για μηχανές και A για μετασχηματιστές . Σε ειδικές κατασκευές μπορεί να δούμε την κλάση H για θερμοκρασίες μέχρι 180°C . Η ισχύς των κινητήρων πάντως δίνεται για θερμοκρασία περιβάλλοντος 40°C .

Κλίσεις μόνωσης για μηχανές (ατά VDE 0530) και μέγιστες συνθήκες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες.

κλίση μόνωσης	παράδειγμα μονωτικών	μέγιστη διαρκώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία, °C
Υ	Βαμβάκι, μετάξι, χαψί, Presspan, χυρίες ελαστικό, πολυαθθένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πλέξη γλάσ, πολυανθρακική.	90°C
A (μετασχηματιστές, πηνία με λάδι)	Βαμβάκι, μετάξι, χαψί, εμποτισμένα με λάδι μονωτικά, μονωτικό λάδι.	105°C
E (παύλα σε μηχανές)	Σμάλτο για σήματα περιελέθρον από οξείκο πολυβινύλιο (Polyvinylacetat), γύαλα πλαστικά, Φαινολικές ρητίνες με οφθαλμικές πυρομαχίες, Εποξειδικές και πολυαμιδικές ρητίνες.	120°C
B (συνθετική μόνωση μικρών μεγέθους μηχανών < 100 kW)	Σμάλτο για σήματα από πολυτερφθαλική περερονη (Polyterephthalat), σύνθετα γλάσ από υαλοίνες, μίκα, αμιάντος με συνθετικό εποξειδικές και οξυλικές ρητίνες, Φύλλα πλαστικά από πολυεότερες του τερεφθαλικού οξέος με αθθύλων γλυκόλη (polyaethylenglykolpherephthalat).	130°C
I (συνθετική μόνωση μεγ., ιδίως με γάλοι μεγέθους > 100 kW)	Σμάλτο για σήματα από πολυεστεροϊμιδια (Polyesterimid), σύνθετα γλάσ από υαλοίνες, μίκα, αμιάντος εμποτισμένα με οξυλικές ρητίνες.	155°C
H (μόνωση μηχανών τριδικών συνθηκών)	Υαλοίνες, μίκα εμποτισμένη με ελαστικό οξυλικών, τεφλόν ελαστικό οξυλικών.	180°C. (190°C κατά IEC)
C	Μίκα, πορσελάνη, γυαλί, χαλαζίας χυρίες εμποτισμό	> 180°C (> 190°C κατά IEC)

3.1.1 Προστασία από ξένα σώματα και νερό .

Στις συσκευές αντιστοιχεί ένας βαθμός προστασίας που χαρακτηρίζεται από το σύμβολο IP (international protection) ακολουθούμενο από 2 νούμερα : το πρώτο δίνει την προστασία έναντι σκόνης , εργαλείων και ξένων σωμάτων γενικά και το δεύτερο έναντι εισχώρησης νερού .

Σημασία του πρώτου αριθμού X. Αφορά είσοδο ξένων σωμάτων ή επαφή με το ανθρώπινο σώμα

0	Καμμία προστασία. Καμμία προστασία για επαφή με το χέρι ή το σώμα.
1	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 50 mm. Αποκλείεται η επαφή με το σώμα, αλλά χωρούν να μπουν δάκτυλα.
2	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 12 mm. Αποκλείεται επαφή με το δάκτυλο.
3	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 2,5 mm. Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων, π.χ. κατσαβιδιών ή συρμάτων, με διάσταση πάνω από 2,5 mm.
4	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 1 mm. Αποκλείεται η επαφή μέσω εργαλείων άνω του 1 mm.
5	Δεν μπαίνει τόση σκόνη ώστε να επικαθήσει στο εσωτερικό. Αποκλείεται παντελώς η επαφή.
6	Δεν μπαίνει καθόλου σκόνη. Αποκλείεται η επαφή.

Σημασία του δεύτερου αριθμού Y. Αφορά είσοδο νερού.

0	Καμμία προστασία
1	Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν κατακόρυφα
2	Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν με κλίση μέχρι και 15° ως προς την κατακόρυφο.
3	Δεν μπαίνουν σταγόνες μέχρι και 60° κλίση ως προς την κατακόρυφο.
4	Δεν μπαίνει νερό που ψεκάζεται από όλες τις κατευθύνσεις.
5	Δεν μπαίνει νερό που πέφτει υπό μορφή δέσμης απ' όλες τις κατευθύνσεις.
6	Δεν μπαίνει νερό από παροδική πλημμύρα.
7	Δεν μπαίνει νερό σε παροδικό εμβαπτισμό υπό δοσμένη πίεση και χρόνο
8	Δεν μπαίνει νερό σε μόνιμο εμβαπτισμό σε δοσμένη πίεση.

Παραδείγματα κινητήρων:

IP44 (ή IP54) = κλειστοί κινητήρες. Αντέχουν σε ψεκασμό νερού (ή δέσμη νερού).

IP21 (ή IP23) = ανοιχτοί κινητήρες. Δεν επιτρέπουν σταγόνες νερού που πέφτουν κατακόρυφα (ή σε γωνία 60° ως προς την κατακόρυφο)

3.1.2 Κινητήρες για εκρηκτικό περιβάλλον .

Εκρηκτικό περιβάλλον έχουμε όταν διάφορα αέρια ,ατμοί ,εύφλεκτη σκόνη και ατμοσφαιρικός αέρας μπορούν να αποτελέσουν ένα εύφλεκτο μίγμα . Υπάρχουν τα εξής χαρακτηριστικά για τα εύφλεκτα μίγματα :

- Κλάση θερμοκρασίας είναι η ελάχιστη θερμοκρασία πάνω από την οποία μπορεί να γίνει έκρηξη . Υπάρχουν 6 κλάσεις θερμοκρασίας πχ T1 όπου η θερμοκρασία έναυσης είναι 450⁰C .

Κλάση θερμοκρασίας (παλιά κλάση)	T1 (G1)	T2 (G2)	T3 (G3)	T4 (G4)	T5 (G5)	T6 (-)
θερμοκρασία έναυσης °C	450	300-450	200-300	135-200	100-135	85-100

- Ομάδα εκρηκτικών είναι η ικανότητα ενός μίγματος να μεταδώσει τη φωτιά στο περιβάλλον έξω από τον κινητήρα μετά από μία έκρηξη .

Ομάδα	IIA (παλιά 1)	IIIB (παλιά 2)	IIIC (παλιά 3)
Διάκενο που μόλις επιτρέπει την εξάπλωση φωτιάς	0,5 mm	0,3 mm	< 0,2 mm

Η προστασία κατά των εκρήξεων περιλαμβάνει : προστασία με αυξημένη ασφάλεια (με χαρακτηρισμό e) , προστασία με δοχείο πίεσης (με χαρακτηρισμό d) όπου το κέλυφος του κινητήρα είναι πολύ ανθεκτικό και προστασία με υπερπίεση (με χαρακτηρισμό p) όπου τα μέρη του κινητήρα είναι σε αδρανές αέριο .

Ένας κινητήρας κατάλληλος για εκρηκτικό περιβάλλον αναφέρεται ως EEx . Για παράδειγμα ένας τέτοιος κινητήρας είναι ο EEx d IIIC T1 , δηλαδή έχει δοχείο πίεσης , το διάκενο που έχει είναι μικρότερο των 0,2 mm και είναι για περιβάλλον με θερμοκρασία έναυσης για έκρηξη 450⁰C .

3.2 Μορφή – έδραση κινητήρων .

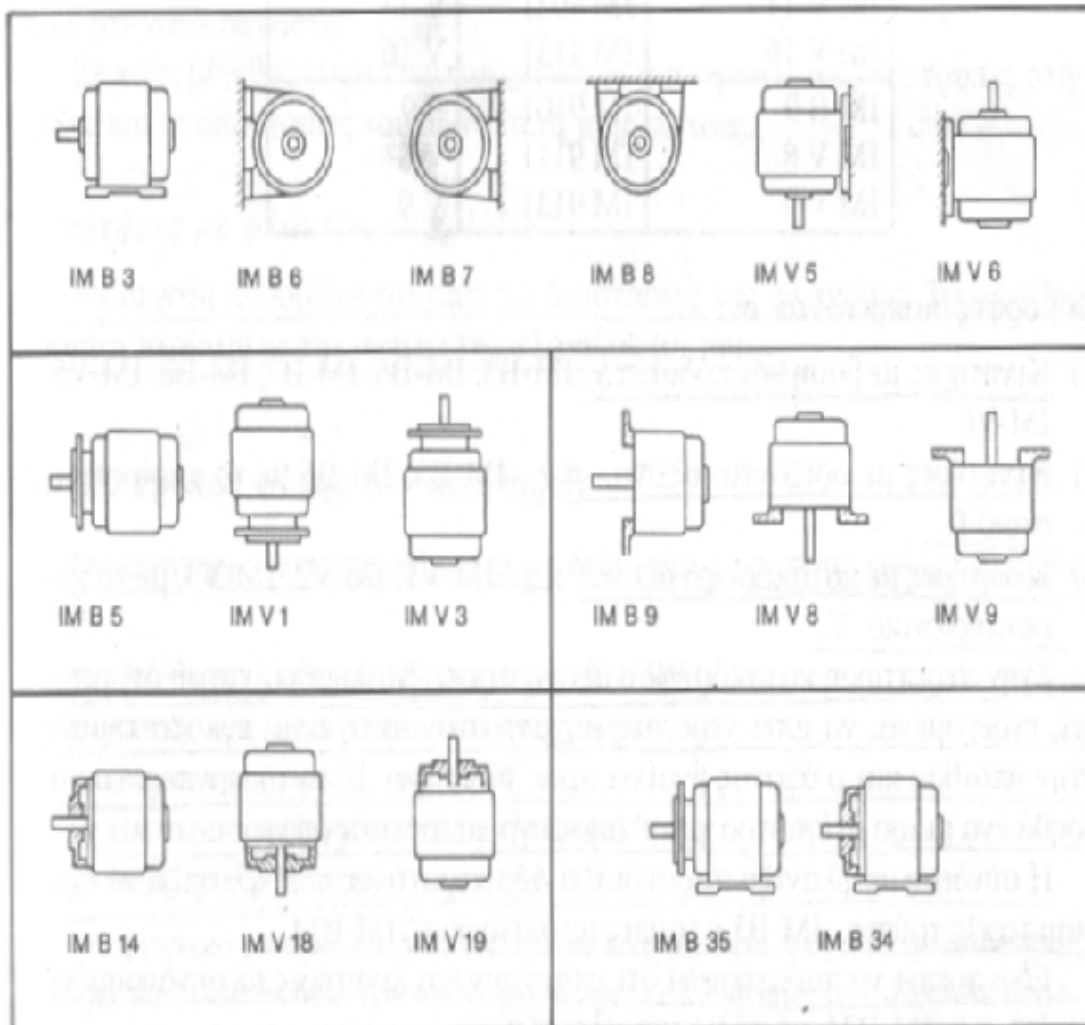
Η μορφή των κινητήρων εξαρτάται από τον τρόπο στήριξης τους . Οι μορφές είναι :

- Κινητήρες με βάση και πόδια .
- Κινητήρες με οριζόντιο άξονα με το χαρακτηριστικό B .
- Κινητήρες με κατακόρυφο άξονα με το χαρακτηριστικό U .

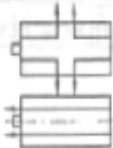
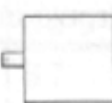



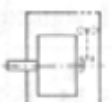

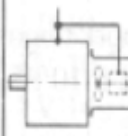

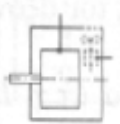

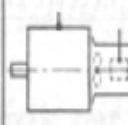

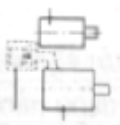
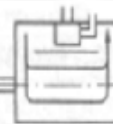
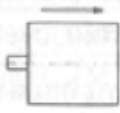
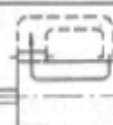
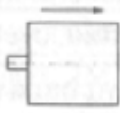

Κινητήρες με πέλματα : το μέγεθος δίνεται από την απόσταση σε mm του κέντρου του άξονα από το πεδίο της έδρασης . Τα μεγέθη συνοδεύονται και από τα γράμματα S = μικρό (small) , M = μέσο (medium) , L = μεγάλο μέγεθος (large) .

Κινητήρες με φλάντζα : τα μεγέθη καθορίζονται από τις διαστάσεις της φλάντζας .

Τύποι έδρασης κινητήρων κατά DIN IEC 34, μέρος 7.



Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο τρόπος χαρακτηρισμού της ψύξης των κινητήρων , ο οποίος είναι με τον κωδικό IC (international cooling) ακολουθούμενος από 2 αριθμούς X και Y . Ο αριθμός X αναφέρεται στον τρόπο κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου και ο αριθμός Y στον τρόπο ανάδευσης , δηλαδή στην κινητήρια μηχανή για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου .

Πρώτος αριθμός X (κυκλοφορία ψυκτικού)	Δεύτερος αριθμός Y (τρόπος ανάδευσης, κίνησης)
0  ελεύθερη είσοδος και έξοδος αέρα, μετωπική ή ακτινική	0  αυτοψυχόμενη μηχανή (χω- ρίς ανεμιστήρα)
1  ψύξη με αεραγωγό εισόδου	1  μηχανή με ανεμιστήρα
2  ψύξη με αεραγωγό εξόδου	2  ανεμιστήρας όχι επάνω στον άξονα
3  αεραγωγοί εισόδου και εξόδου	3  ξένη ψύξη με σύστημα εγ- κατεστημένο δίπλα στη μηχανή. Κίνηση που εξαρ- τάται από τη μηχανή
4  επιφανειακή ψύξη (ατμο- σφαιρικός αέρας).	5  ξένη ψύξη με ενσωματωμένο σύστημα. Κίνηση που εξαρ- τάται από την μηχανή.
5  ενσωματωμένος εναλλάκτης θερμότητας (ατμοσφαιρικός αέρας).	6  ξένη ψύξη με σύστημα δι- πλα στη μηχανή. Κίνηση που δεν εξαρτάται από τη μηχανή.
6  εναλλάκτης επάνω στη μηχανή (όχι ατμοσφαιρικός αέρας)	7  ξένη ψύξη με σύστημα επά- νω στη μηχανή. Κίνηση που είναι ανεξάρτητη από τη μηχανή ή κίνηση από πεπιεσμένο αέρα.
7  ενσωματωμένος εναλλάκτης (όχι ατμοσφαιρικός αέρας)	8  μηχανή με ξεχωριστά εγ- κατεστημένο εναλλάκτη
8  εναλλάκτης επάνω στη μηχανή (όχι ατμοσφαιρι- κός αέρας).	8  κίνηση ψυκτικού με τριβή στο δρομέα.
9  μηχανή με ξεχωριστά εγ- κατεστημένο εναλλάκτη	

Χαρακτηρισμός τρόπου ψύξης μηχανών κατά DIN IEC 34 , tell 6.1C XY(=International Cooling + 2 αριθμοί X , Y)

Παράδειγμα : IC41 = εξωτερική ψύξη σε κινητήρες IP 54 (ή IP 44) με εσωτερικό ανεμιστήρα

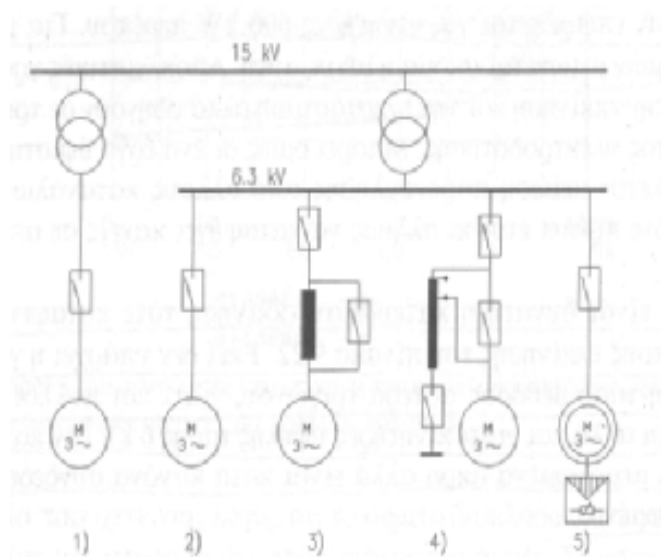
3.3 Κινητήρες μέσης τάσης .

Για κινητήρες με ισχύ 200 KW και άνω , συμφέρει οικονομικά η λύση με υψηλή τάση . Υπάρχουν τυποποιημένες τιμές τάσης 3,6,10 KV αλλά η πιο συνηθισμένη είναι η 6 KV . Οι κινητήρες αυτοί συνδέονται σε καταναλωτή μέσης τάσης , ο οποίος θα πρέπει να περιλαμβάνει και μετασχηματιστή 15/20KV/6,3KV . Η ονομαστική τιμή της τάσης στους ζυγούς των κινητήρων είναι 6,3 KV .

Η εκκίνηση των κινητήρων απαιτεί και μελέτη βύθισης τάσης για τη γραμμή στην οποία συνδέεται ο συγκεκριμένος καταναλωτής . Αν δεν επιτρέπεται η απευθείας εκκίνηση του κινητήρα , τότε υπάρχουν οι τρόποι εκκίνησης που δίνονται στον παρακάτω πίνακα .

Τρόποι εκκίνησης ασύγχρονων κινητήρων υψηλής τάσης βραχυκυκλωμένου κλωβού και δακτυλιοφόρου δρομέα.

	Εκκινήτες Διακόπτες	Προτερήματα	Μειονεκτήματα
1 απ' ευθείας εκκίνηση	1 διακόπτης	Ελάχιστα έξοδα. Πρέπει να προτιμάται εφόσον επιτρέπει το δίκτυο. Πλήρης ροπή στην εκκίνηση.	Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης = 4-6 φορές ον. ρεύμα μεγάλη βύθιση τάσης.
2 ίδιος μετασχηματιστής	1 διακόπτης	Όχι παρενοχλήσεις σε άλλους κινητήρες. Φθηνή και απλή λύση αν έχουμε έναν ή πολλούς μεγάλους κινητήρες.	Αυξημένα έξοδα λόγω ίδιου ΜΣ Μείωση της ροπής. Αυξημένες απώλειες επειδή ο ΜΣ είναι συνέχεια εντός.
3 πηνίο	2 διακόπτες 1 πηνίο	Μικρά έξοδα λόγω πηνίου, απλή λύση, ιδιαίτερα αν το πηνίο τοποθετηθεί στον ουδέτερο.	Μειωμένη ροπή.
4 μετασχηματιστής εκκίνησης	3 διακόπτες 1 ΜΣ	Σταθερή τάση κατά την εκκίνηση. Ο ΜΣ δεν απαιτείται να είναι εντός κατά τη διάρκεια λειτουργίας.	Μειωμένη ροπή Πρόσθετα έξοδα λόγω ΜΣ. Πολύ πιο ακριβή λύση απ' ότι το πηνίο.
5 δακτυλιοφόρος με αντιστάσεις	1 διακόπτης 1 εκκινήτης αντίστασης	Μικρό ρεύμα ελεγχόμενο, μεγάλη ροπή ελεγχόμενη.	Πολυπλοκότης, αύξηση κόστους κατά 50 ... 80 %.



Όταν κατά την εκκίνηση το φορτίο δεν απαιτεί μεγάλη ροπή , πχ σπαστήρας ξύλου , η εκκίνηση μπορεί να γίνει με μειωμένη τάση με αυτομετασχηματιστή ,με εν σειρά πηνίο ή αυξάνοντας την σκέδαση του ίδιου μετασχηματιστή τροφοδότησης . Ο αυτομετασχηματιστής εκκίνησης τίθεται εκτός μετά την εκκίνηση . Η μέθοδος με τον ίδιο μετασχηματιστή είναι ιδιαίτερα αποδοτική για μεγάλους κινητήρες , δεν πρέπει όμως να χρησιμοποιείται για πολλούς κινητήρες ταυτόχρονα . Στις εκκινήσεις με μειωμένη τάση U , η καμπύλη ροπής και το ρεύμα εξαρτώνται από έναν συντελεστή α , δηλαδή $M=M_N \times \alpha^2$, $I_{κiv}=I_{εκ} \times \alpha$. Το μέγεθος α δίνεται από τον παρακάτω πίνακα . Για εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή σε τάση 6 KV το ρεύμα είναι $I=(\frac{U}{U_N})^2 \times I_{εκ}$.

Όταν απαιτείται υψηλή ροπή κατά την εκκίνηση (και μειωμένο ρεύμα εκκίνησης) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί δακτυλιοφόρος κινητήρας .

U/U_N	α για 2-4 πόλους.	α για 6-8 πόλους
1	1,0	1,0
0,90	0,087	0,86
0,85	0,805	0,79
0,80	0,745	0,73
0,75	0,680	0,665
0,70	0,625	0,606
0,60	0,510	0,49
0,50	0,40	0,38

Οι κινητήρες έχουν 3 ακροδέκτες μονωμένους στην πλήρη τάση με χαρακτηρισμό U,V,W ή U1,V1,W1 για εσωτερικά ή εξωτερικά προσβάσιμο ουδέτερο αντίστοιχα . Τα τυλίγματα είναι συνδεδεμένα σε αστέρα με γειωμένο ουδέτερο . Το κοινό σημείο του ουδετέρου μπορεί να οδηγείται σε άλλο κιβώτιο για να παρεμβάλλεται μετασχηματιστής μέτρησης ρευμάτων γης για προστασία .

Συμπεριφορά του κινητήρα σε σφάλματα .

Όταν συμβεί σφάλμα στη γραμμή και ανοίξει ο διακόπτης του δικτύου , η τάση που επάγεται στο δρομέα του κινητήρα δε μηδενίζεται αυτόματα , αλλά με μια χρονική σταθερά που μπορεί να είναι και μερικά δευτερόλεπτα . Επίσης ο κινητήρας συνεχίζει να κινείται λόγω αδράνειας . Αν εν τω μεταξύ , η τάση του δικτύου επανέλθει , τότε θα υπάρχει μεγάλη διαφορά φάσης μεταξύ τάσης δικτύου και επαγόμενης τάσης στον κινητήρα , που θα ισοδυναμεί με βραχυκύκλωμα . Επίσης οι μεγάλοι κινητήρες μέσης τάσης τροφοδοτούν με ρεύμα το βραχυκύκλωμα .

Αντιστάθμιση αέργου ισχύος – προστασία .

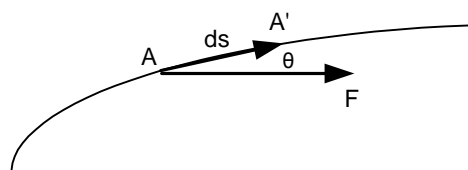
Η αντιστάθμιση γίνεται τοπικά με πυκνωτές ονομαστικής τάσης 6 KV . Η αντιστάθμιση πρέπει να αναφέρεται το μέγιστο στο 90% της αέργου ισχύος που απορροφά ο κινητήρας στην εν κενώ λειτουργία του . Για την προστασία των τυλιγμάτων υπάρχουν ψυχροί αγωγοί (θερμίστορ) ή αντιστάσεις με σύρμα πλατίνας . Η πλήρης προστασία με αυτόματο διακόπτη για προστασία από υπερφόρτιση ($I_{ρ0θ}=I_N$) , βραχυκύκλωμα , υπότασης , υπέρτασης , ασυμμετρία τάσεων ή ρευμάτων κλπ . Ο κινητήρας σε διακοπή τάσης θα πρέπει να αποσυνδέεται σε χρόνο το πολύ 0,2 sec .

Κεφάλαιο 4°

Προσδιορισμός ονομαστικής ισχύος

4.1 Γενικά στοιχεία περί έργου και ισχύος .

Έστω ένα σωματίδιο το οποίο κινείται επί μιας καμπύλης από το σημείο A στο σημείο A' διαγράφοντας απόσταση d_s υπό την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης F .



Το στοιχειώδες έργο που απαιτείται για τη μετατόπιση του σωματιδίου από το σημείο A στο σημείο A' (ή διαφορετικά το έργο που παράγεται πάνω στο σωματίδιο) ισούται με :

$$d_w = F \times d_s = F \times d_s \times \cos\theta = F \times \cos\theta \times d_s .$$

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το γινόμενο $F \times \cos\theta$ είναι η συνιστώσα της δύναμης F που είναι παράλληλη προς τη μετατόπιση . Άρα το έργο ισούτε με το γινόμενο της μετατόπισης επί τη συνιστώσα της κινητήριας δύναμης κατά μήκος της μετατόπισης . Το συνολικό έργο για μια μετατόπιση από σημείο A σε σημείο B θα ισούται με : $W = \int_A^B F \times ds$.

Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει ότι η μονάδα του έργου είναι η $Nt \times m$ η οποία ονομάζεται και joule , δηλαδή $1 \text{ joule} = 1 \text{ Nt} \times m = 1 \text{ Kg} \times \frac{m}{\text{sec}^2} \times m = 1 \text{ Kg} \times \frac{m^2}{\text{sec}^2}$

Ως ισχύς ορίζεται ο ρυθμός μεταβολής του έργου , δηλαδή η στιγμιαία ισχύς θα δίνεται από :

$dP = \frac{dw}{dt}$. Η μέση ισχύς θα είναι το πηλίκο του συνολικού έργου W προς το συνολικό χρόνο t που έχει παραχθεί το έργο αυτό , δηλαδή $P = W/t$. Επίσης από τον ορισμό της ταχύτητας $U = ds/dt \rightarrow ds = U \times dt$, δηλαδή $dw = F \times U \times dt$ άρα $dP = F \times U = F \times U \times \cos\theta$.

Δηλαδή η ισχύς είναι το γινόμενο της ταχύτητας επί τη συνιστώσα της κινητήριας δύναμης που είναι παράλληλη της ταχύτητας .

Μονάδα της ισχύος είναι από τον ορισμό $\text{joule/sec} = 1 \frac{Nt \times m}{\text{sec}} = \frac{Kg \times m^2}{\text{sec}^2 \times \text{sec}} = \frac{Kg \times m^2}{\text{sec}^3}$ και ονομάζεται

Watt, δηλαδή $1 \text{ Watt} = 1 \frac{Kg \times m^2}{\text{sec}^3}$.

4.2 Προσδιορισμός ισχύος κινητήρα .

- Ανοψωτικά μηχανήματα – ευθύγραμμη κίνηση .

$P=F \times U/n$ (W) όπου F: δύναμη σε Nt , U: ταχύτητα (m/s) , n: βαθμός απόδοσης ενέργειας του μηχανικού συστήματος . Εάν μεσολαβούν γρανάζια , ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 99-95% ενώ για ατέρμονες κοχλίες είναι 90-50% . Εάν είναι ανελκυστήρας με αντίβαρο , είναι $F=75Kg \times \text{άτομα} \times g/2$ γιατί θεωρούμε το κάθε άτομο με μάζα 75Kg ($F=m \times g$, $g=9,81 \text{ m/sec}^2$, $Kg \times m/\text{sec}^2 = \text{Nt}$)

Παράδειγμα : Για ανελκυστήρες με χωρητικότητα 10 ατόμων , ταχύτητα 0,5 m/sec , κίνηση με ατέρμονα (n=60%) και αντίβαρο , η δύναμη F είναι ίση με :

$F=10 \times 75 \text{ Kg}/2 \times 9,81 \text{ m/sec}^2 = 3678,75 \text{ Kg} \times \text{m/sec}^2$ ή Nt . Ισχύς κινητήρα

: $P=3678,75 \times 0,5/0,6 = 3065,625 \text{ W}$. Πρακτικά το g μπορεί να θεωρηθεί ίσο με 10 m/sec^2 άρα

$F=10 \times 75 \text{ Kg}/2 \times 10 \text{ m/sec}^2 = 3750 \text{ Nt}$, $P=3750 \times 0,5/0,6 = 3,125 \text{ KW}$

- Αντλίες

$P=\gamma \times Q \times h/n$ (W) όπου γ = ειδικό βάρος υγρού Nt/m^3 για το νερό είναι 9180 Nt/m^3 , για πετρέλαιο 8000 Nt/m^3 , Q= παροχή (m^3/s) , h= ύψος (m) , n= βαθμός απόδοσης , όπου περιλαμβάνονται οι απώλειες στο σύστημα των σωληνώσεων και της αντλίας . Τυπική τιμή 0,5 .

Παράδειγμα : Αντληση νερού με παροχή $Q=150 \text{ m}^3/\text{h}$, σε μανομετρικό ύψος $h=10 \text{ m}$ απαιτείται ισχύς κινητήρα για παροχή $Q=150 \text{ m}^3/\text{h} = 150/3600 \text{ m}^3/\text{s} = 0,042 \text{ m}^3/\text{sec}$ άρα $P=9180 \times 0,042 \times 10/0,5 = 7711,2 \text{ W} = 7,7 \text{ KW}$. Προφανώς θα επιλεγεί κινητήρας με την αμέσως μεγαλύτερη ισχύ .

- Ανεμιστήρες , συμπιεστές .

$P=Q \times \Delta P/n$ (W) , όπου : Q= παροχή (m^3/s) , ΔP = διαφορά πίεσης (Nt/m^2) , n=0,6-0,7 για περωτές , 0,7-0,8 για συμπιεστές με έμβολο ισχύει $1 \text{ mm νερού} = 9,81 \text{ Nt/m}^2$, επίσης $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Nt/m}^2$.

Παράδειγμα : Εμβολοφόρος συμπιεστής έχει παροχή $36 \text{ m}^3/\text{h}$ με διαφορά πίεσης 10 bar και συντελεστή απόδοσης 0,8 . Είναι : $\Delta P=10 \times 10^5 = 10^6 \text{ Nt/m}^2$, $Q=36/3600 = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ άρα ισχύς $P=Q \times \Delta P/n = 0,01 \times 10^6/0,8 = 10^2 \times 10^6/0,8 = 12500 \text{ W}$.

Παράδειγμα :

Ανεμιστήρας στέλνει αέρα σε αγωγό διατομής $40 \text{ εκ} \times 50 \text{ εκ}$ με ταχύτητα 5 m/sec . Η διαφορά πίεσης είναι $100 \text{ mm υδάτινης στήλης}$, συντελεστής απόδοσης 0,6 είναι :

Παροχή : $Q=0,4 \times 0,5 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m/sec} = 1 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Διαφορά πίεσης : $\Delta P=9,81 \times 100 = 981 \text{ Nt/m}^2$ άρα ισχύς κινητήρα $P=1 \times 981/0,6 = 1635 \text{ W}$

Οι στροφές του κινητήρα θα πρέπει να προσαρμόζονται στις στροφές του φορτίου (αντλίας , συμπιεστή) . Επίσης , αν $P > 2,5 \text{ KW}$ ή 3 KW απαιτείται διακόπτης αστέρα – τριγώνου κατά την εκκίνηση σε αστέρα , η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι το $1/3$ της ροπής στην απευθείας εκκίνησης . Αν η ροπή δεν αρκεί , θα πρέπει ή να εκλεγεί μεγαλύτερος κινητήρας ή το φορτίο να συνδεθεί στον άξονα του κινητήρα όταν αυτός θα είναι συνδεδεμένος στο τρίγωνο , οπότε υπάρχει η ονομαστική τάση στα τυλίγματα και ο κινητήρας αποδίδει την ονομαστική ισχύ και ροπή .

Σχέση ροπής – ισχύος στροφών κινητήρα .

$$M = P/W = \frac{P}{2\pi \times \frac{n}{60}} = 9,55 \frac{P}{n} \text{ (N}\times\text{m)} , \text{ όπου } P \text{ σε } W , n \text{ σε στροφές / λεπτό .}$$

Επίσης για τον ασύγχρονο κινητήρα , ισχύουν οι σχέσεις :

$$n = ns \left(1 - \frac{s}{100}\right) , ns = 3000/P \text{ όπου } s: \text{ολίσθηση} , P: \text{αριθμός ζευγών πόλων}$$

$$S = 100 \left(1 - \frac{n}{ns}\right) , S \cong \frac{P}{PN} \times S_N \cong \frac{M}{MN} \times S_N \text{ με δείκτη } N: \text{ονομαστικό φορτίο .}$$

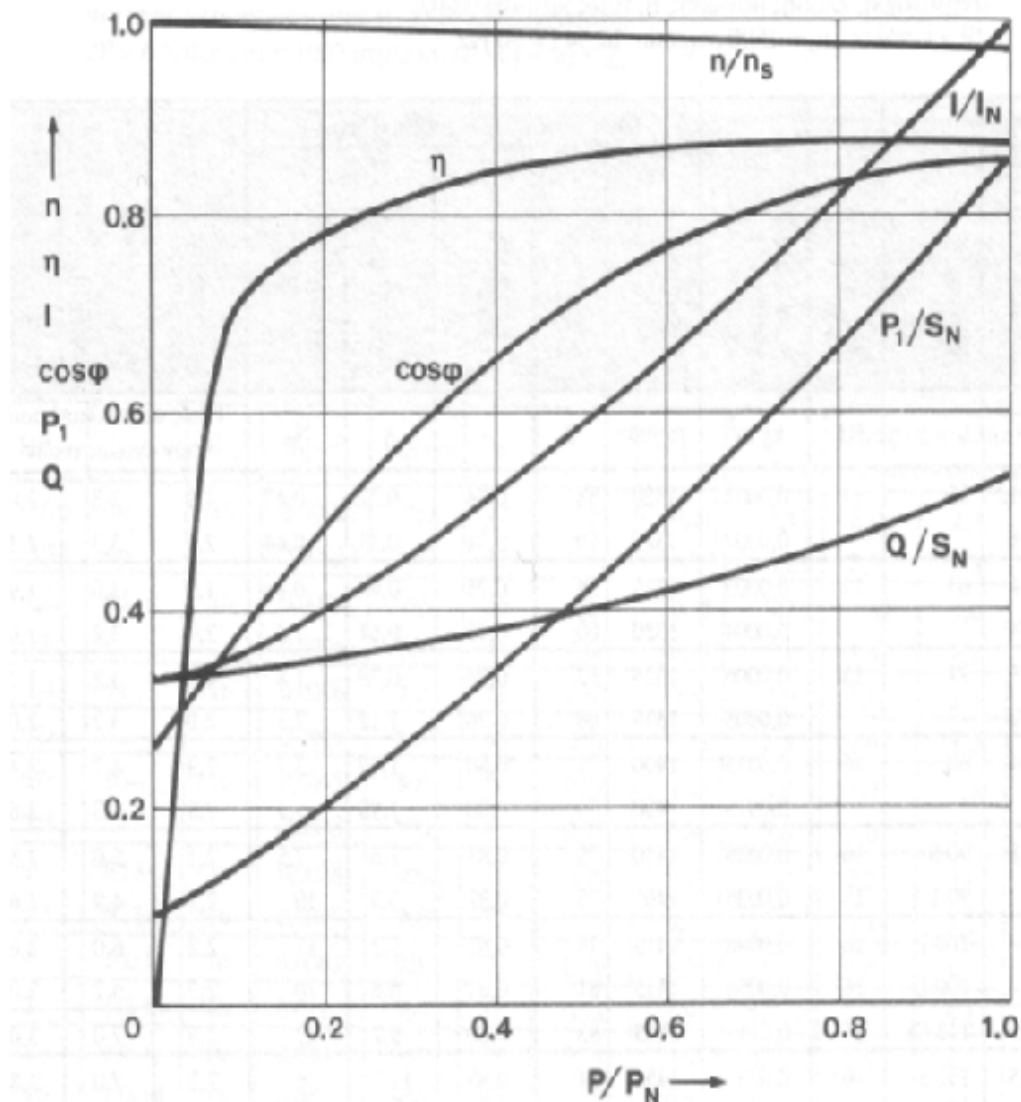
Ροπή εκκίνησης : η ροπή που αναπτύσσει ο κινητήρας στην εκκίνησή του (μετριέται με ακινητοποιημένο δρομέα) . Σε απευθείας εκκίνηση : $M_{εκ} \cong 2-2,7 M_N$

Με σύνδεση αστέρα : $M_Y \cong \frac{1}{3} \times M_{εκ}$. Για το ρεύμα εκκίνησης : $I_{εκ} = 6-8 \times I_N$ για σύνδεση τριγώνου , $I_{εκY} = 2-2,3 \times I_N (= \frac{1}{\sqrt{3}} \times I_{εκ})$ για σύνδεση αστέρα .

Παράδειγμα : Αντληση νερού με σωλήνα 100mm με μανομετρική υψομετρική διαφορά 12m και ταχύτητα 0,8 m/sec , βαθμός απόδοσης 0,5 . Απαιτούμενη ισχύς :

$$\text{Παροχή } Q = \pi \times \frac{d^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} \times U \text{ (m/sec)} = \pi \times \frac{0,1^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} \times 0,8 \text{ (m/sec)} = 6,28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

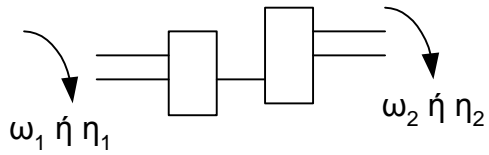
$P = 9810 \times 6,28 \times 10^{-3} \times 12 / 0,5 = 1478,56 \text{ W}$ δηλαδή μονοφασικός κινητήρας 1,5 KW . Από τα προηγούμενα είναι φανερό ότι $1 \text{ Nt} = \text{Kg} \times \text{m/sec}^2$, $1 \text{ W} = \text{Kg} \times \text{m}^2/\text{sec}^3$.



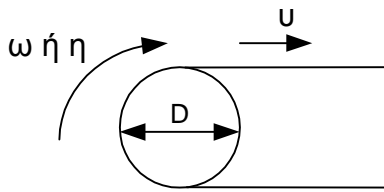
Στο διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή διαφόρων χαρακτηριστικών του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα για διαφορετικές τιμές μηχανικής ισχύος στον άξονα του υπό την ίδια τάση τροφοδοσίας . Ο βαθμός απόδοσης παραμένει σχεδόν σταθερός για φορτίο 60% του ονομαστικού και μεγαλύτερο .

4.3 Σχέση μετάδοσης κίνησης με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα .

Στην περιστροφή , ο κινητήρας μπορεί να κινείται με ταχύτητα $W1=2\pi \times n1/60$, όπου $W1$ γωνιακή ταχύτητα (rad/sec) και $n1$ στροφές/min και το φορτίο με ταχύτητα $W2=2\pi \times n2/60$ όπου $W2$ και $n2$ είναι αντίστοιχα η γωνιακή ταχύτητα και οι στροφές/min του φορτίου . Η μετατροπή της ταχύτητας στην περιστροφή γίνεται με γρανάζια όπου ισχύει $n1/n2=D2/D1$, όπου $D2$, $D1$ είναι η διάμετρος των αντίστοιχων γραναζιών .



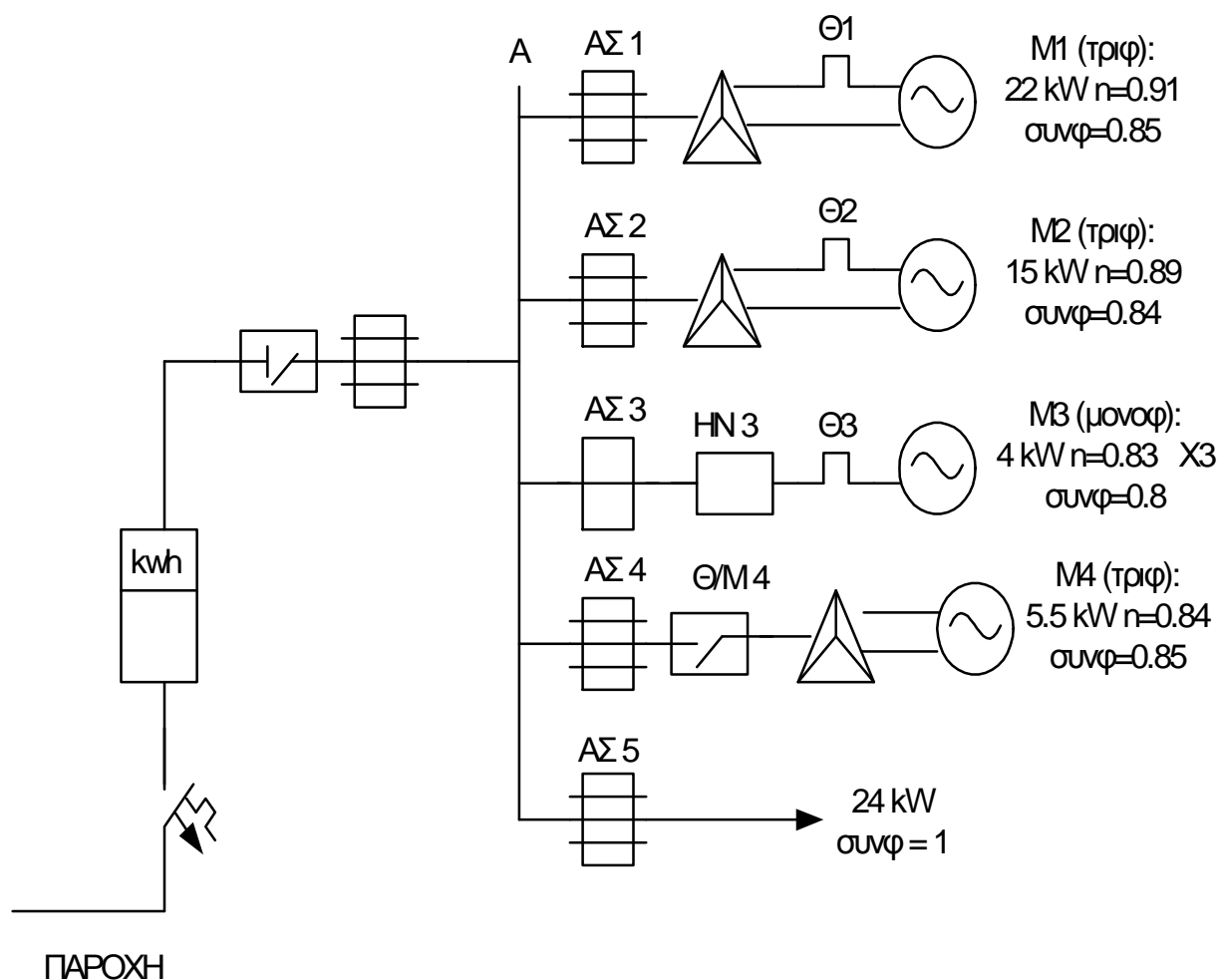
Οι μάντες και οι αλυσίδες χρησιμοποιούνται για μεταφορά της κίνησης από έναν άξονα σε έναν άλλον . Σχέση μεταξύ γραμμικής ταχύτητας και γωνιακής ταχύτητας : $U=D \times \pi \times n = \omega \times R$, όπου D είναι η διάμετρος του άξονα ή του ρουλεμάν , n είναι η ταχύτητά του (στροφές/min) , ω είναι η γωνιακή του ταχύτητα (rad/sec) , R είναι η ακτίνα του , U είναι η αντίστοιχη γραμμική ταχύτητα πχ ενός μάντα που κινείται από τον άξονα αυτόν .



Κεφάλαιο 5°

Παραδείγματα

5.1 Παράδειγμα υπολογισμού διατομών και μέσων προστασίας στον παρακάτω πίνακα .



Η θερμοκρασία του χώρου εγκατάστασης (από το σημείο A και δεξιά) είναι 40°C . Όλα τα καλώδια είναι πολυπολικά NYΥ το κάθε ένα εγκατεστημένο μόνο του στον αέρα εκτός του καλωδίου Μετρητής-Πίνακας που είναι εντός σωλήνα .

Συνεπώς από ΠΙΝ , ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι $n_1=0,87$. Συντελεστής γειννίασης για τα καλώδια της εγκατάστασης δεν υπάρχει συνεπώς $n_2=1$.

$$I_{M1} = \frac{22000/0,91}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,85} = 41,1 \text{ A} \xrightarrow{\times 1,25} 51,37 \xrightarrow{/0,87} 59 \text{ A} \rightarrow 10 \text{ mm}^2 \text{ με } I_0 = 60 \text{ A}$$

$$\text{Ρεύμα από διακόπτη } Y-\Delta \text{ προς κινητήρα } I_{Y\Delta M1} = I_{M1} / \sqrt{3} = 59 / \sqrt{3} = 34,13 \rightarrow 6 \text{ mm}^2$$

Το πραγματικό ρεύμα του κινητήρα είναι 41,1 A και μετά τον διακόπτη ΥΔ είναι $41,1/\sqrt{3}=23,75$ A . Άρα ρύθμιση $\Theta_1=23,75$ A (προστασία υπερφόρτισης) . Ασφάλεια ΑΣ1 μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 41,1 A άρα 50A αΜ (βραχυκύκλωμα) .

$$I_{M2}=\frac{15000/0,89}{\sqrt{3}\times 400\times 0,84}=29A \xrightarrow{\times 1,25} 36,24 \xrightarrow{/0,87} 41,65A \rightarrow 6\text{mm}^2 \text{ με } I_0=43A .$$

Ρεύμα από διακόπτη ΥΔ προς κινητήρα $I_{Y\Delta M2}=41,65/\sqrt{3}=24A \rightarrow 2,5\text{mm}^2$.

Πραγματικό ρεύμα γραμμής κινητήρα 29A και μετά τον διακόπτη ΥΔ : $29/\sqrt{3}=16,76$ A
 Ρύθμιση θερμικού $\Theta_2=16,76$ A (προστασία υπερφόρτισης) . Ασφάλεια ΑΣ2 μπορεί να είναι και μεγαλύτερη από 29 A άρα ΑΣ2=32A αΜ (προστασία βραχυκύκλωσης) .

$$I_{M3}=\frac{4000/0,83}{230\times 0,8}=26,19A \xrightarrow{\times 1,25} 32,74 \xrightarrow{/0,87} 37,63A \rightarrow 6\text{mm}^2$$

Πραγματικό ρεύμα κινητήρα 26,19A άρα ρύθμιση θερμικού $\Theta_3=26,19$ A

Η ασφάλεια ΑΣ3 μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 26,19 A άρα 32A αΜ (προστασία βραχυκύκλωσης) .

$I_{M4}=\frac{5500/0,84}{\sqrt{3}\times 400\times 0,85}=11,13A \xrightarrow{\times 1,25} 13,9A \xrightarrow{/0,87} 16A \rightarrow 1,5\text{mm}^2$ επειδή από κανονισμούς η ελάχιστη διατομή τροφοδότησης κίνησης είναι $2,5 \text{ mm}^2$, επιλέγεται $2,5\text{mm}^2$. Ρεύμα από ΥΔ προς κινητήρα : $I_{Y\Delta M4}=16/\sqrt{3}=9,25A \rightarrow 1,5\text{mm}^2$ επιλέγεται $2,5 \text{ mm}^2$.

Πραγματικό ρεύμα γραμμής κινητήρα 11,13A άρα ρύθμιση $\Theta_{M4}=11,13$ A (είναι στην κύρια γραμμή τροφοδότησης του κινητήρα και όχι μετά τον διακόπτη ΥΔ όπως τα θερμικά) . Για προστασία βραχυκύκλωσης , η ασφάλεια ΑΣ4 μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 11,13 A άρα 16A αΜ .

Για τον πίνακα φωτισμού : $I_5=\frac{40000}{\sqrt{3}\times 400}=57,8A \xrightarrow{/0,87} 66,45A \rightarrow 16\text{mm}^2$ με πραγματικό ρεύμα γραμμής 57,8A και μέγιστο ρεύμα αγωγού των 16mm^2 $I_0=80$ A . Η ασφάλεια ΑΣ5 πρέπει να προστατεύει από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα , αφού δεν υπάρχει άλλο μέσο προστασίας στη γραμμή , δηλαδή θα πρέπει $ΑΣ5 \leq I_0 \rightarrow ΑΣ5 \leq 80A$ άρα ΑΣ5=80A gl ή HRC . Για το συνολικό ρεύμα $I_{o\lambda}$: $I_{o\lambda R}=I_{M1}\times \text{συν}\varphi_1 + I_{M2}\times \text{συν}\varphi_2 + 2I_{M3}\times \text{συν}\varphi_3 + I_{M4}\times \text{συν}\varphi_4 + I_s \rightarrow$
 $I_{o\lambda R}=41,1\times 0,85+29\times 0,84 + 2\times 26,19\times 0,8+11,13\times 0,85+57,8=168,5A$

$$I_{o\lambda X}=I_{M1}\times \eta\mu\varphi_1+I_{M2}\times \eta\mu\varphi_2+I_{M3}\times \eta\mu\varphi_3\times 2+I_{M4}\times \eta\mu\varphi_4=$$

$$=41,1\times \eta\mu(\text{συν}^{-1}(0,85))+29\times \eta\mu(\text{συν}^{-1}(0,84))+2\times 26,19\times \eta\mu(\text{συν}^{-1}(0,8))+11,13\times$$

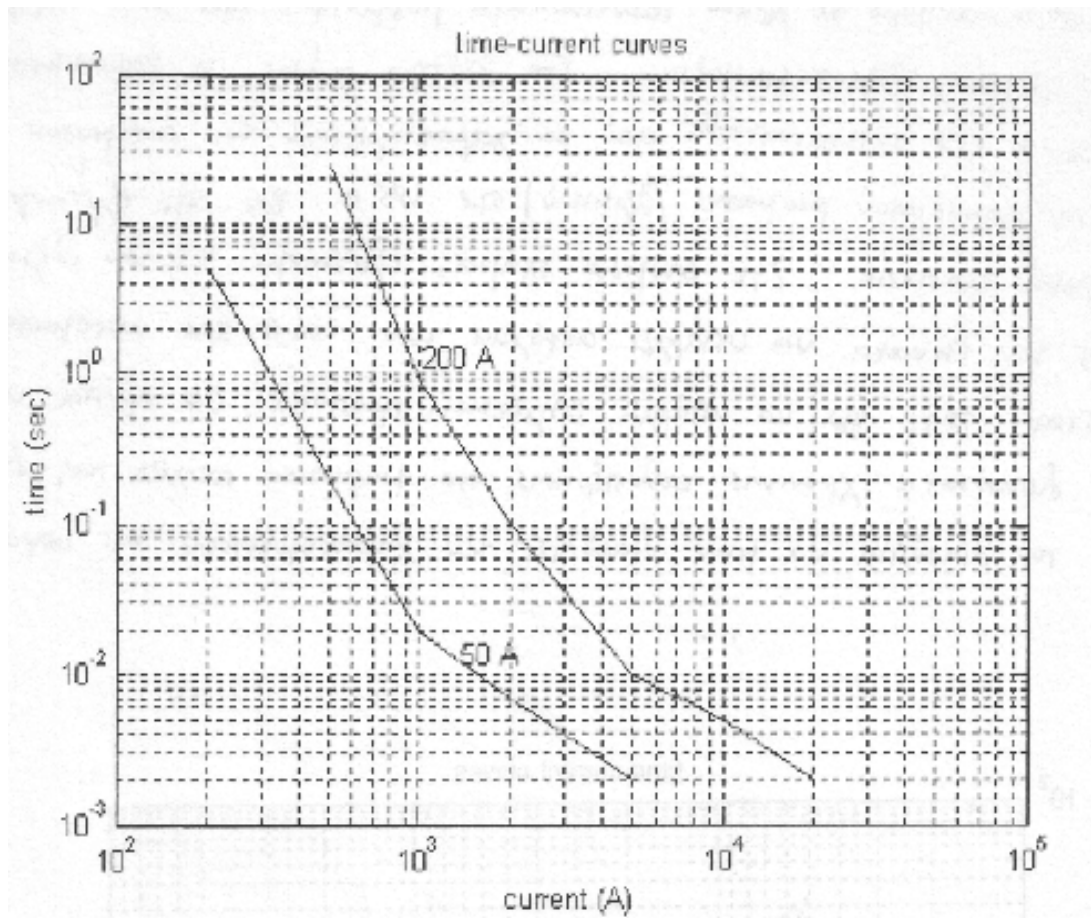
$$\times \eta\mu(\text{συν}^{-1}(0,85))=74,7A \text{ άρα :}$$

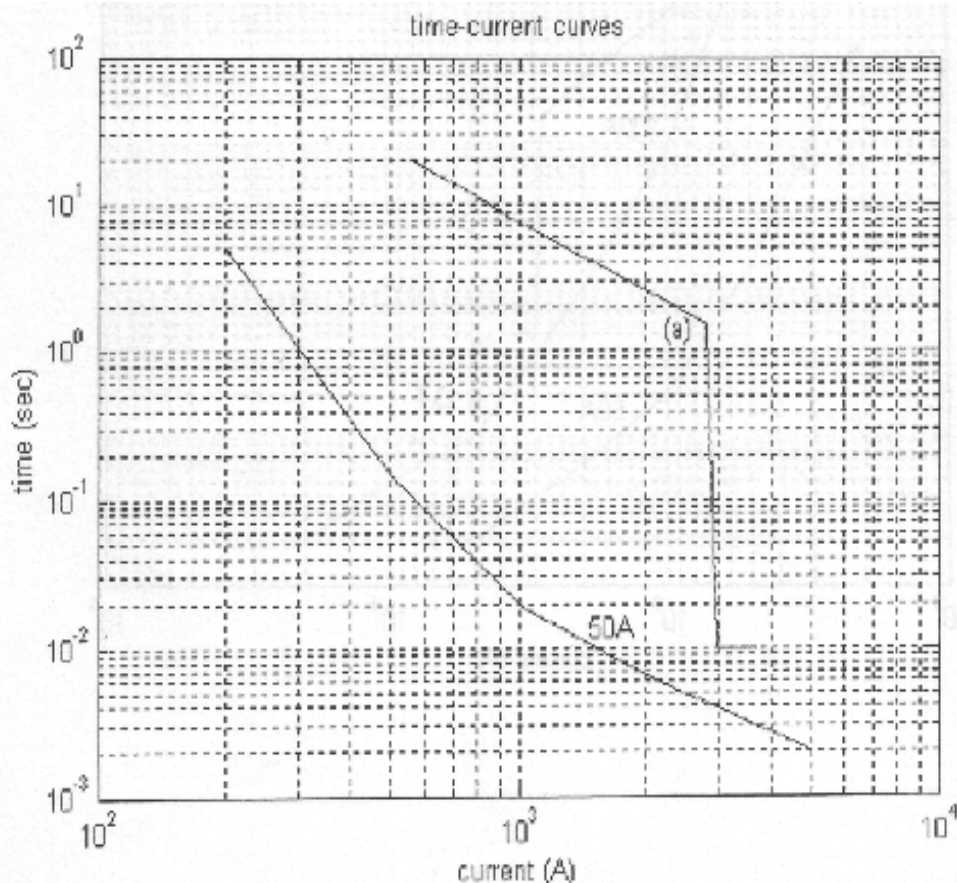
$$I_{o\lambda}=\sqrt{168,5^2 + 74,7^2}=184,31A \text{ με } \text{συν}\varphi_{o\lambda}=\frac{I_{o\lambda R}}{I_{o\lambda}}=168,5/184,3=0,91 .$$

Φαινόμενη ισχύς εγκατάστασης : $S=\sqrt{3}\times 400\times 184,3A=127535VA$.

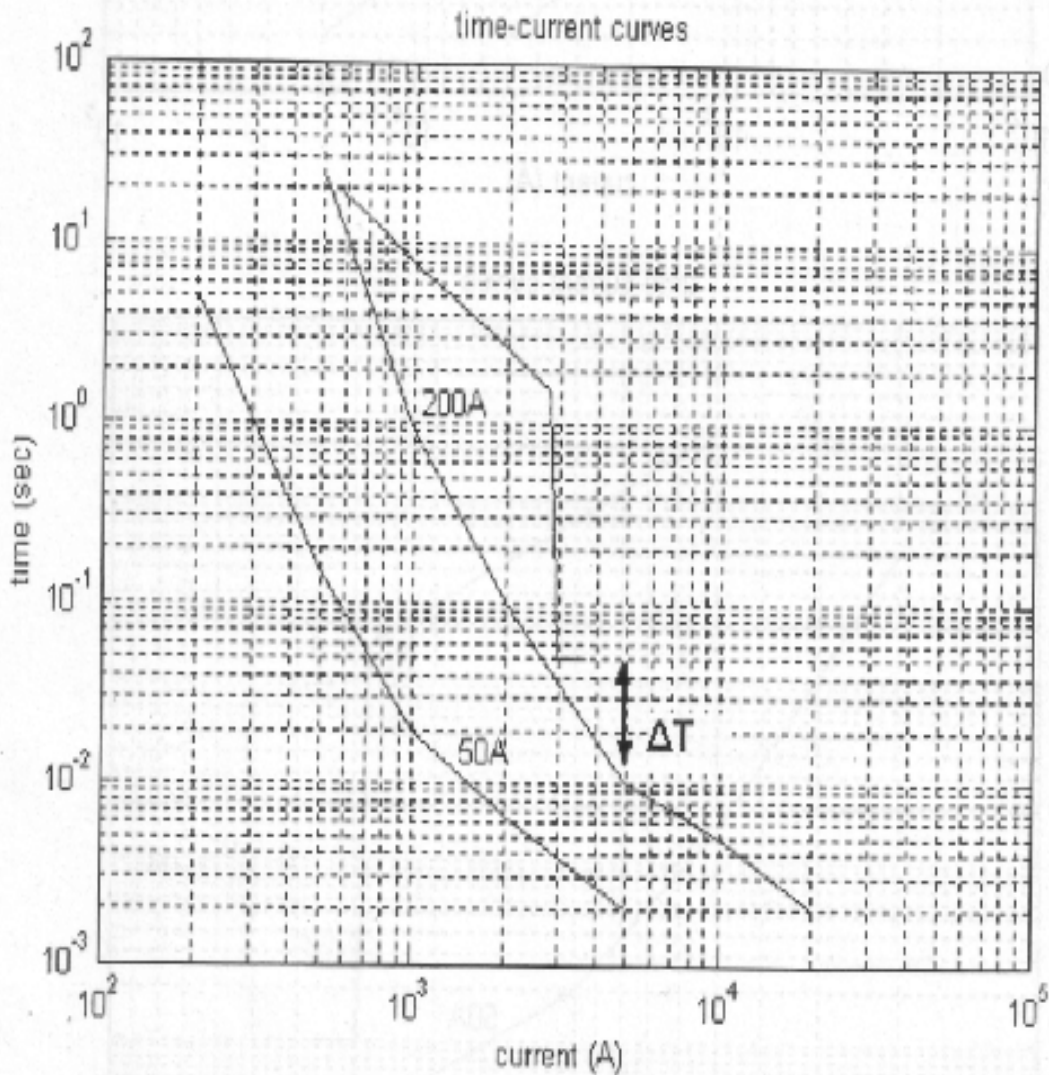
Άρα η εγκατάσταση θα συνδεθεί στη ΧΤ με παροχή Νο6 . Η γραμμή μετρητή-πίνακα επειδή είναι μέσα σε σωλήνα είναι $n_2=0,82$ άρα $I'=184,3/0,82=224,75A \rightarrow 95\text{mm}^2$. Από ΠΙΝ για τις παροχές ΧΤ βλέπουμε ότι η ελάχιστη διατομή είναι 120mm^2 άρα επιλέγεται 120mm^2 . Αν το γενικό μέσο προστασίας είναι ΑΔΙ η ρύθμιση του θερμικού στοιχείου θα είναι στο ονομαστικό ρεύμα , δηλαδή 184,3A . Αν είναι ασφάλεια , θα πρέπει για προστασία υπερφόρτισης και βραχυκύκλωμα να είναι $ΑΣ6 \leq I_0$ με καλώδιο 120mm^2 είναι $I_0=282A$. Από

ΠΙΝ βλέπουμε μέγιστη ασφάλεια 200A που ικανοποιεί την προηγούμενη συνθήκη και καλύπτει το φορτίο (=184,3A).





Στο πρώτο από τα προηγούμενα σχήματα βλέπουμε τις χαρακτηριστικές έντασης-χρόνου της μεγαλύτερης ασφάλειας των επιμέρους γραμμών (50A αΜ) και της γενικής ασφάλειας 200A HRC . Βλέπουμε ότι υπάρχει επιλεκτική προστασία , μιας και η χαρακτηριστική της ασφάλειας των 200A αντιδρά σε χρόνο ικανοποιητικά μεγαλύτερο από την ασφάλεια των 50A για μεγάλο εύρος τιμών βραχυκυκλωμάτων . Στο δεύτερο σχήμα , η χαρακτηριστική της ασφάλειας των 200A έχει αντικατασταθεί από τη χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη ισχύος με ρύθμιση ονομαστικού ρεύματος (θερμικού) στα 185A . Και πάλι βλέπουμε ότι υπάρχει επιλεκτική προστασία . Στο επόμενο σχήμα , βλέπουμε ότι αν θέλουμε στο καλώδιο παροχής του πίνακα να υπάρχει ασφάλεια των 200A και αυτόματος διακόπτης ισχύος να προηγείται , τότε για να υπάρχει επιλεκτική προστασία , θα πρέπει να υπάρχει στο διακόπτη η δυνατότητα χρονικής καθυστέρησης στο μαγνητικό στοιχείο του , έτσι ώστε η χαρακτηριστική του διακόπτη να μην διακόπτει την χαρακτηριστική της ασφάλειας .



5.2 Παράδειγμα 2:

Σε εγκατάσταση υπάρχουν 3 αντλίες νερού με μονομετρική διαφορά 6,5m και παροχή 200lt/sec , 2 ανεμιστήρες με παροχή 50m³/h (συμπιεστής με έμβολο) και διαφορά πίεσης από 3,3 bar σε 19,5 bar , ένα τριφασικό ωμικό φορτίο 15KW , 3 γραμμές πρίζες , φωτιστικά σώματα συνολικά 500W , ένας μονοφασικός κινητήρας 2,5KW με βαθμό απόδοσης 90% , συνφ=0,88 .

1. Να προσδιορισθούν όλοι οι κινητήρες (εκκίνηση όπου χρειάζεται με διακόπτη Υ-Δ) και να γίνει το μονογραμμικό διάγραμμα του πίνακα .
2. Να προσδιορισθούν όλα τα μέσα προστασίας και οι διατομές των αγωγών (τα καλώδια των αντλιών πάνω σε διάτρητη σχάρα , τα καλώδια των ανεμιστήρων πάνω σε άλλη διάτρητη σχάρα , το καλώδιο του ωμικού φορτίου και του μονοφασικού κινητήρα σε σωλήνα γειτονικά μεταξύ τους) . Τα καλώδια πολυπολικά τύπου NYΥ . το καλώδιο παροχής του γενικού πίνακα επίσης μέσα σε σωλήνα .

3. Να προσδιορισθεί η ενεργός , άεργη , φαινόμενη ισχύς της εγκατάστασης , το μέσο συνφ , και να προσδιορισθεί πλήρως ο τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας . Στους κινητήρες να θεωρηθεί βαθμός απόδοσης 90% , συνφ=0,88 .

Λύση :

Για τον προσδιορισμό των αντλιών παροχή : $Q=200\text{lt/sec}=0,2\text{m}^3/\text{sec}$, $h=6,5\text{m}$ άρα
 $P=\frac{9810}{0,5}\times 0,2\times 6,5=25506\text{W}$ για 2 αντλίες είναι 76518W

Για τον προσδιορισμό της ισχύς κάθε ανεμιστήρα :

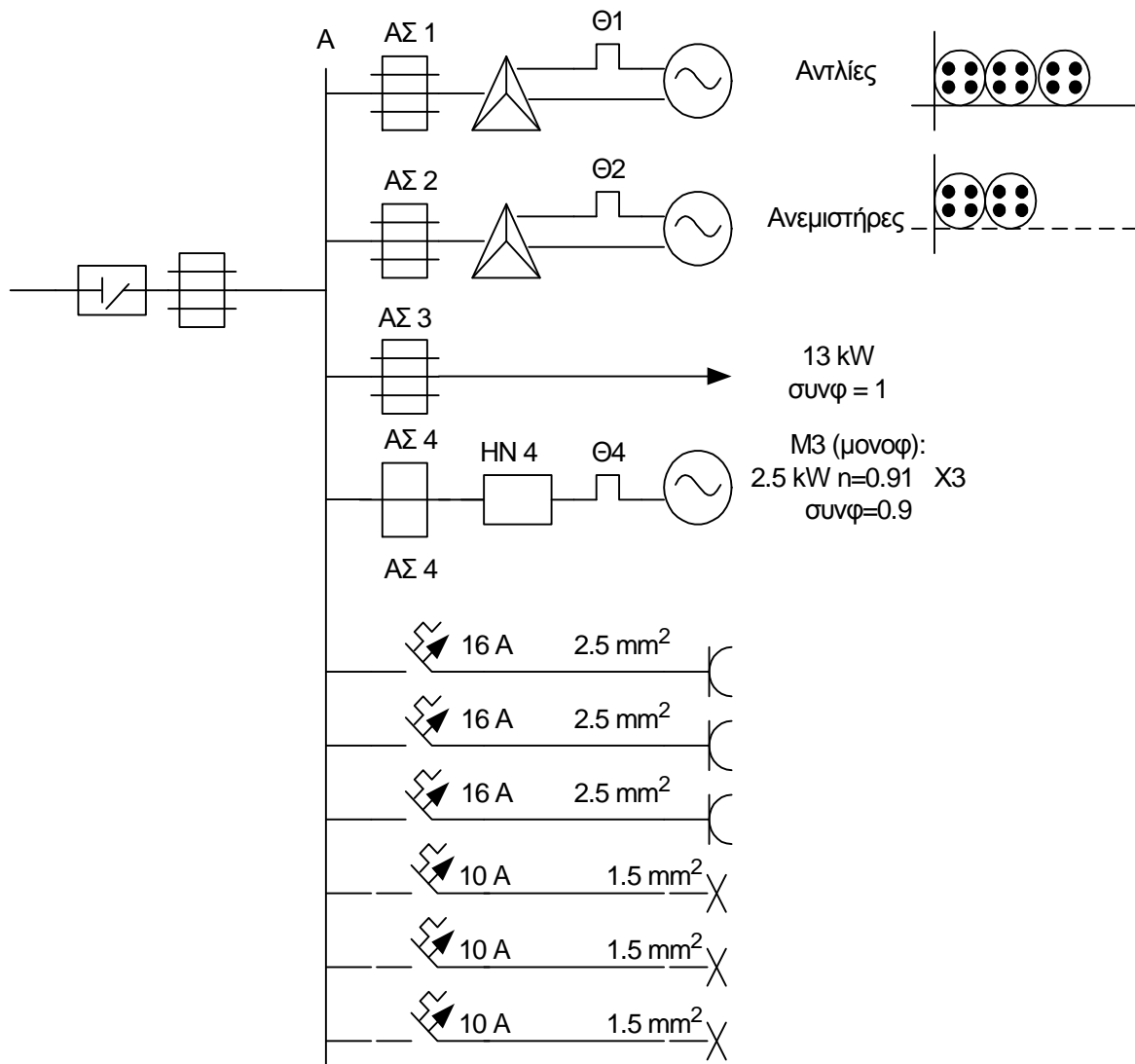
$\Delta P=19,5-3,3\text{ bar}=16,2\text{bar}$ ή $16,2 \times 10^5\text{Nt/m}^2$, παροχή $Q=50\text{m}^3/\text{h}=\frac{50}{3600}\text{m}^3/\text{sec}=0,014\text{m}^3/\text{sec}$.

Με βαθμό απόδοσης $n=0,75$ η ονομαστική ισχύς προκύπτει

$$P=\frac{0,014\times 16,2}{0,75}\times 10^5=0,30\times 10^5\text{W}=30\text{KW} .$$

Έτσι το μονογραμμικό διάγραμμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα .

Οι κινητήρες των 25KW , 30KW εκκινούνται με διακόπτη αστέρα-τριγώνου (εφόσον δεν δίνονται άλλες πληροφορίες για το φορτίο , θεωρούμε ότι η ροπή εκκίνησης με αστέρα ικανοποιεί το φορτίο ή ότι το φορτίο συνδέεται μετά) . Επίσης υπάρχουν 3 γραμμές πρίζες και 3 γραμμές φώτα .



Ρεύμα κάθε αντλίας (Συντελεστής γειννίασης : 0,80)

$$I_1 = \frac{25506/0,90}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,88} = 46,53 \text{ A} \xrightarrow{\times 1,25} 58,17 \text{ A} \xrightarrow{/0,80} 72,71 \text{ A} \rightarrow 16 \text{ mm}^2 \text{ με } I_0 = 80 \text{ A}$$

Ρύθμιση θερμικού μετά το διακόπτη ΥΔ : $I_{\Theta 1} = 46,53 / \sqrt{3} = 26,9 = 27 \text{ A}$ προστασία υπερφόρτισης.

Ασφάλεια ΑΣ1 για προστασία βραχυκυκλώματος ΑΣ1=50Α τύπου αΜ .

Προσαυξημένο ρεύμα μετά το διακόπτη ΥΔ : $26,9 \xrightarrow{\times 1,25} 33,62 \xrightarrow{/0,80} 42 \text{ A} \rightarrow 6 \text{ mm}^2$

Κύκλωμα κάθε ανεμιστήρα (Συντελεστής γειννίασης 0,84)

$$I_2 = \frac{30000/0,90}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,88} = 54,74 \text{ A} \xrightarrow{\times 1,25} 68,42 \text{ A} \xrightarrow{/0,84} 81,45 \text{ A} \rightarrow 25 \text{ mm}^2 \text{ με } I_0 = 106 \text{ A} .$$

Ρύθμιση θερμικού Θ2 μετά το διακόπτη ΥΔ : $I_{\Theta 2} = 54,74 / \sqrt{3} = 31,65 \text{ A}$ προστασία υπερφόρτισης .

Ασφάλεια ΑΣ2 για προστασία βραχυκύκλωσης 63A τύπου αΜ .

Προσαυξημένο ρεύμα μετά το διακόπτη ΥΔ : $31,65 \xrightarrow{\times 1,25} 39,56 \xrightarrow{/0,84} 47 \text{ A} \rightarrow 10 \text{ mm}^2$ με $I_0 = 60 \text{ A}$.

Ωμικό φορτίο 15KW : $I_3 = \frac{15000}{\sqrt{3} \times 400} = 21,67 \text{ A/φάση}$.

Συντελεστής γειτνίασης 0,74 άρα $I_3' = 21,67 / 0,74 = 29,29 \text{ A} \rightarrow 4 \text{ mm}^2$ με $I_0 = 34 \text{ A}$.

Θα πρέπει η ασφάλεια ΑΣ3 να προστατεύει από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα , άρα : $\text{ΑΣ}3 \leq I_0 \rightarrow \text{ΑΣ}3 \leq 34 \text{ A} \rightarrow \text{ΑΣ}3 = 32 \text{ A}$ (και μεγαλύτερη από 21,67A που είναι το πραγματικό φορτίο) .

Μονοφασικός κινητήρας με συντελεστή γειτνίασης επίσης 0,74 .

$I_4 = \frac{2500 / 0,90}{230 \times 0,88} = 13,72 \text{ A} \xrightarrow{\times 1,25} 17,15 \text{ A} \xrightarrow{/0,74} 23,18 \text{ A} \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2$.

Ρύθμιση θερμικού σε ρεύμα 13,72A (προστασία υπερφόρτισης) . Η ασφάλεια ΑΣ4 μπορεί να είναι λίγο μεγαλύτερη του φορτίου , δηλαδή 16A τύπου αΜ για προστασία βραχυκύκλωσης . Οι γραμμές φωτισμού με διατομή $1,5 \text{ mm}^2$ και μικροαυτόματο 10A τύπου C και οι γραμμές πριζών με αγωγό $2,5 \text{ mm}^2$ και μικροαυτόματο 16A τύπου C εκτός αν υπάρχουν επαγωγικά φορτία (μεγάλα ψυγεία ή κλιματιστικά) οπότε θα είναι τύπου D . Μέγιστο φορτίο σε κάθε γραμμή πρίζας θεωρούμε $230 \times 16 \times 0,8 = 2944 \text{ W} = 3000 \text{ W}$.

Συνολικό ρεύμα εγκατάστασης από συνολική ισχύς :

$$P_{\text{ολ}} = 3 \times \frac{25506}{0,9} + 2 \times \frac{30000}{0,9} + 15000 + 3 \times 3000 + 500 + \frac{2500}{0,9} = 178964 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ολ}} = 3 \times \frac{25506}{0,9} \times \text{εφ}(\text{συν}^{-1}0,88) + 2 \times \frac{30000}{0,9} \times \text{εφ}(\text{συν}^{-1}0,88) + \frac{2500}{0,9} \times \text{εφ}(\text{συν}^{-1}0,88) = 83371 \text{ Var}$$

$$S_{\text{ολ}} = \sqrt{(178964 \times 178964) + (83371 \times 83371)} = 197430 \text{ VA} = 200 \text{ KVA}$$

Συνολικό ρεύμα πίνακα :

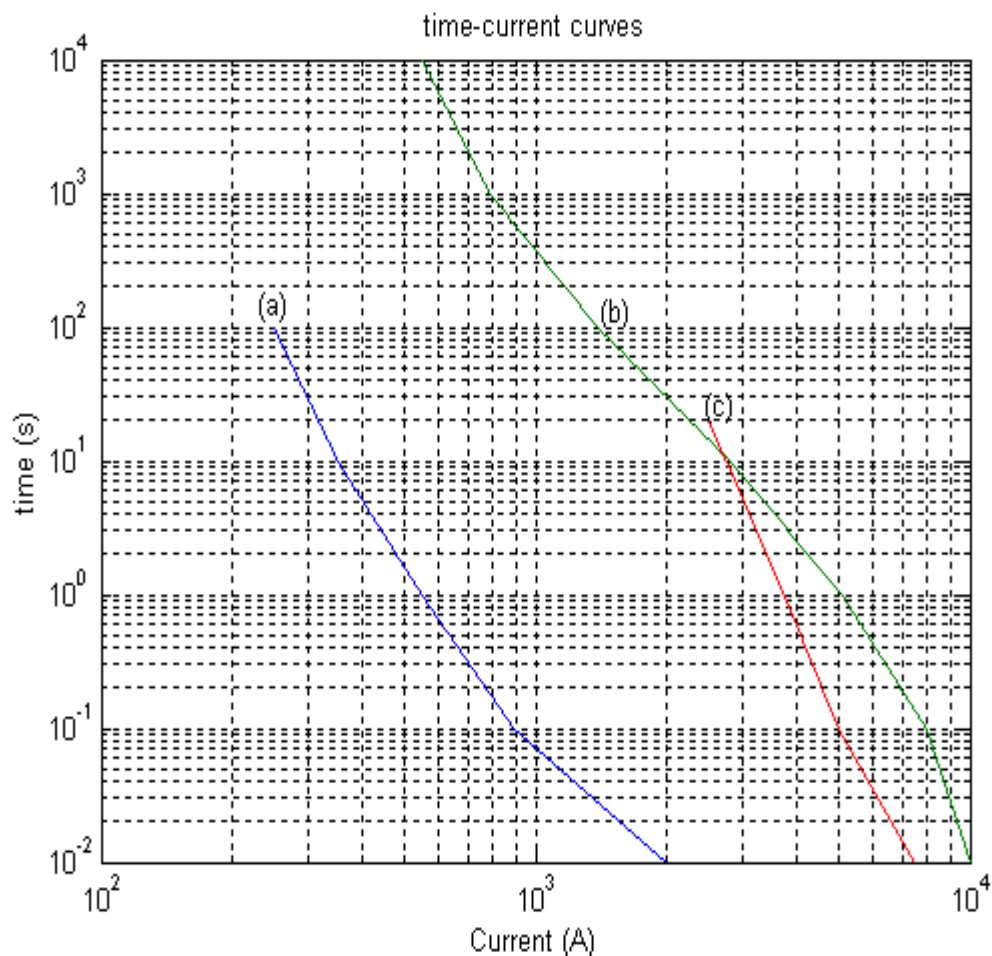
$$I_{\text{ολ}} = \frac{197430}{\sqrt{3} \times 400} = 285,3 \text{ A με συνφ}_{\text{ολ}} = \frac{178964}{197430} = 0,9$$

Διατομή καλωδίου παροχής πίνακα με συντελεστή 0,82 αφού είναι μέσα σε σωλήνα :

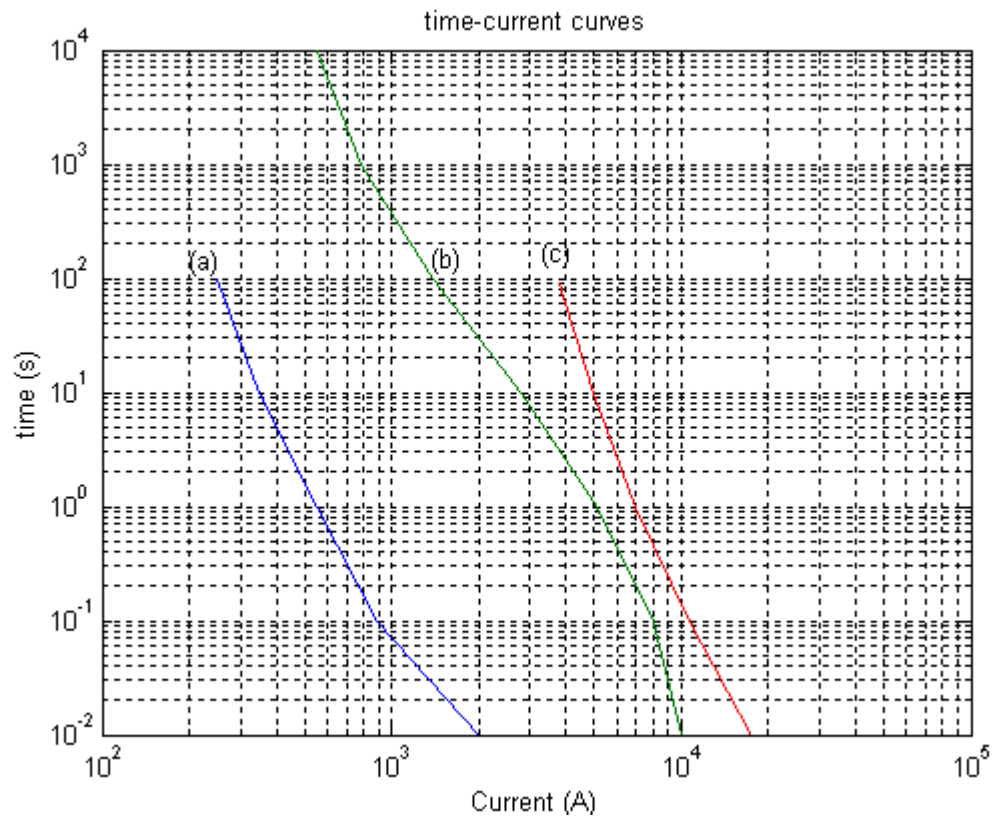
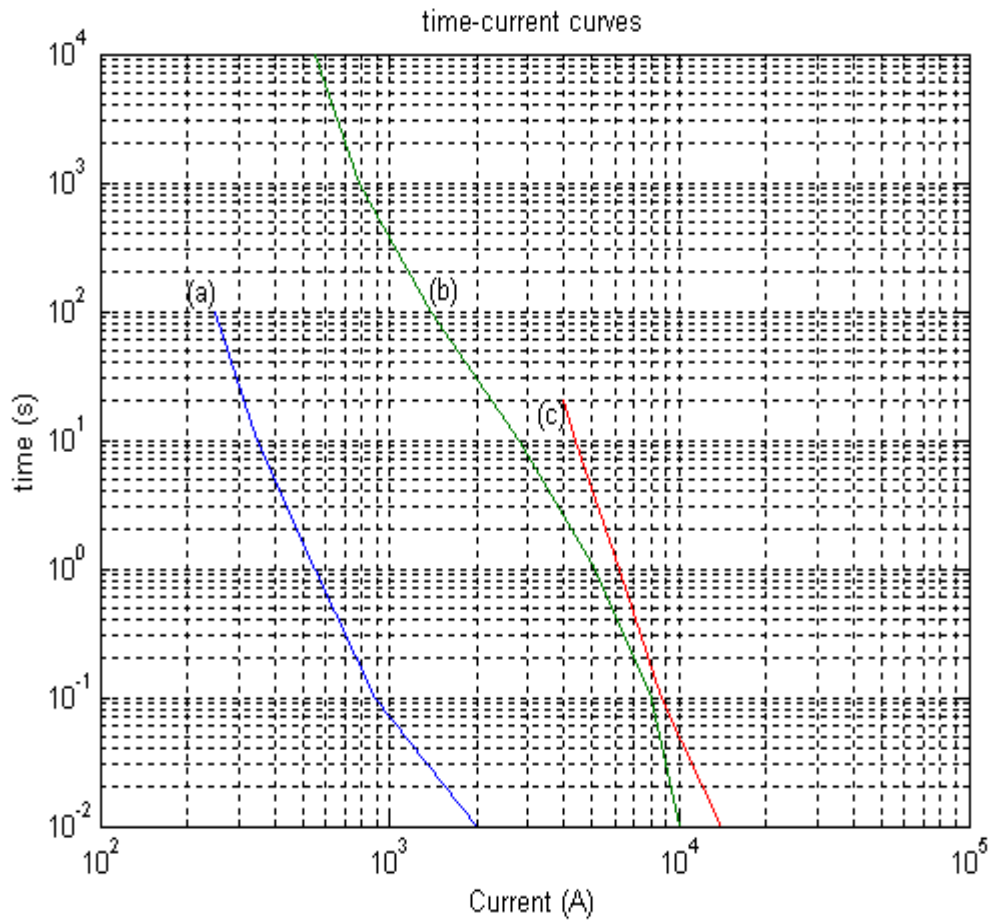
$$I_{\text{ολ}}' = 285,3 / 0,82 = 348 \text{ A} \rightarrow 185 \text{ mm}^2 \text{ με } I_0 = 371 \text{ A} .$$

Αν το γενικό μέσο είναι ασφάλεια , θα πρέπει $\text{ΑΣ} \leq I_0$ για προστασία υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος , άρα θα πρέπει $\text{ΑΣ} = 355 \text{ A}$ τύπου gI(HRC : μαχαιρωτή) η οποία καλύπτει και το φορτίο που είναι 285,3A . Αν επιλεγεί αυτόματος , η ρύθμιση θα γίνει του θερμικού του στοιχείου στα 285A . Θα πρέπει να γίνει η αποτύπωση των χαρακτηριστικών όλων των ασφαλειών (ουσιαστικά της μεγαλύτερης) ώστε να διαπιστωθεί αν χρειάζεται ρύθμιση ειδική του μαγνητικού του στοιχείου .

Η εγκατάσταση θα συνδεθεί στο δίκτυο μέσης τάσης μέσω ΜΣ ονομαστικής ισχύος 200KVA(παροχή τύπου A1) . Η προστασία του ΜΣ από την πλευρά της μέσης τάσης στον καταναλωτή μπορεί να γίνει με ασφάλεια ΜΤ εσωτερικού χώρου τύπου κόνεως στο πεδίο που θα τροφοδοτεί τον ΜΣ και θα περιλαμβάνει έναν ασφαλειοαποζεύκτη . Σύμφωνα με προηγούμενο πίνακα , η ασφάλεια ΜΤ θα είναι στην περιοχή 16Α-40Α . Η ακριβής τιμή της θα επιλεγεί με κριτήριο την επιλογική προστασία και την συνεργασία της με τα μέσα προστασίας στη ΧΤ . Έστω ότι γενικό μέσο προστασίας στη ΧΤ είναι η ασφάλεια 355Α που αναφέρθηκε . Στο πρώτο σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική της ασφάλεια 63Α αΜ (καμπύλη a) , η χαρακτηριστική της ασφάλειας 355Α gI(καμπύλη b) και η χαρακτηριστική της ασφάλειας 16Α της μέσης τάσης (καμπύλη c) . Προφανώς δεν μπορεί να επιλεγεί η ασφάλεια των 16 Α .

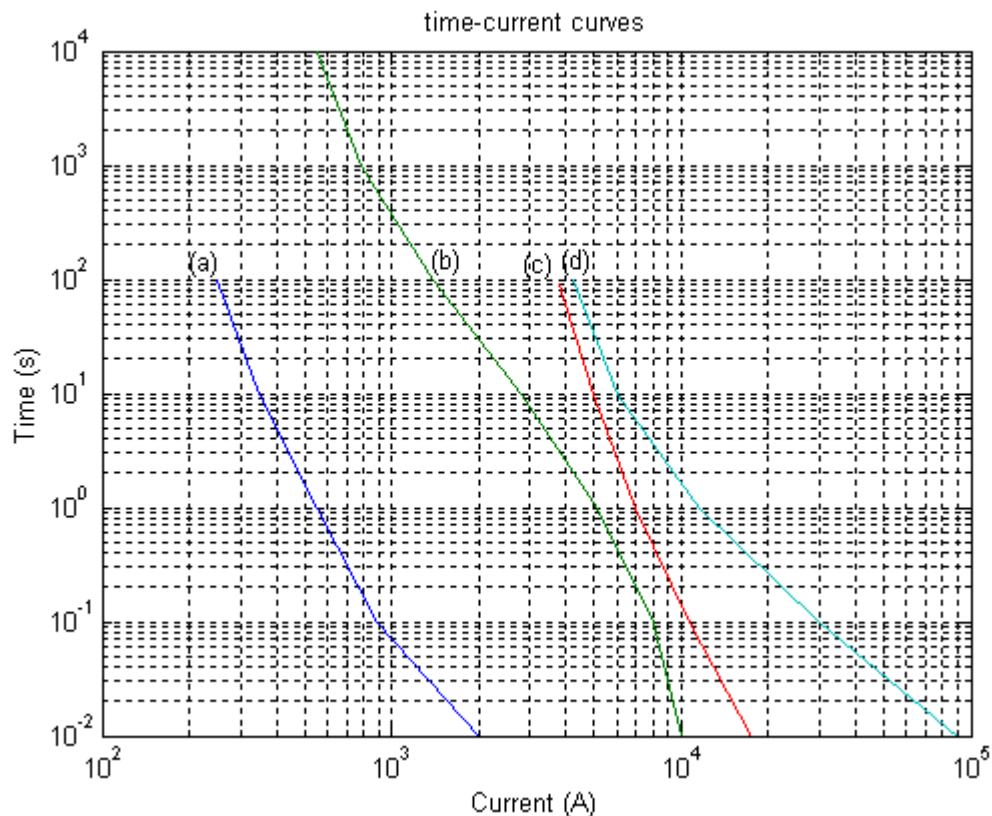


Στο επόμενο σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές με ασφάλεια μέσης τάσης 20Α .



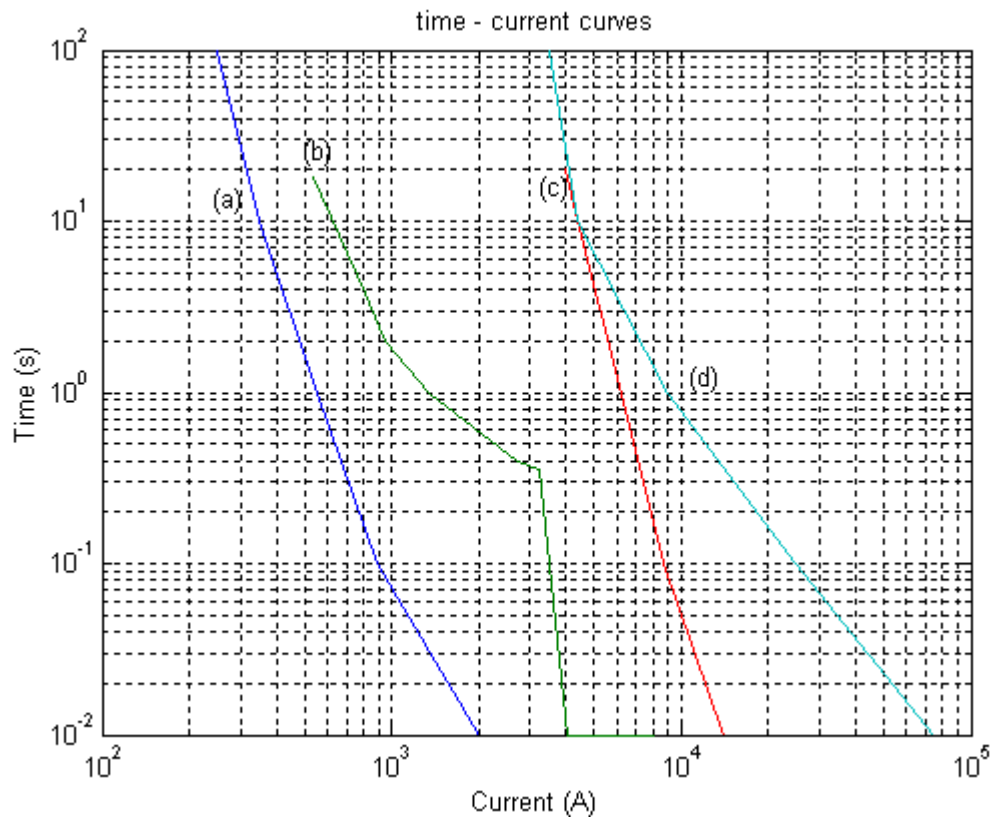
Επιλέγεται η ασφάλεια των 20A αφού η χαρακτηριστική της είναι πιο υψηλή από την χαρακτηριστική της ασφάλειας XT 355A με καλή χρονική διαφορά (θεωρούμε ότι οι καμπύλες b και c επίσης τέμνουν το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης).

Από την πλευρά του δικτύου, θα τοποθετηθεί ασφάλεια εξωτερικού χώρου –εκτόνωσης, τύπου K, των οποίων οι χαρακτηριστικές επίσης έχουν δοθεί. Επιλέγεται ασφάλεια τύπου εκτόνωσης 25A K(ταχείας τήξης). Στο επόμενο σχήμα έχει προστεθεί και η χαρακτηριστική της ασφάλειας αυτής (καμπύλη d).



Ο Μ/Σ προστατεύεται από υπερφόρτιση στην ουσία από τα μέσα προστασίας στη XT, αφού για παράδειγμα η ασφάλεια των 355A έχει επιλεγεί για προστασία και υπερφόρτισης της γραμμής των 185mm^2 . Επιπλέον οι γραμμές των κινητήρων έχουν θερμικό στοιχείο για τη δική τους προστασία έναντι υπερφόρτισης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική του γενικού μέσου προστασίας στη XT όταν αυτό επιλέγεται να είναι Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος. Φαίνεται ότι συνεργάζεται και με τη μέγιστη ασφάλεια XT στις επιμέρους (63A) αλλά και με την ασφάλεια MT των 20A χωρίς να χρειάζεται ρύθμιση χρονικής μετατόπισης του μαγνητικού στοιχείου. Το θερμικό ρυθμίστηκε στα 285A (ονομαστικό ρεύμα εγκατάστασης) και το μαγνητικό στοιχείο στα $10 \times I_{\text{ολ}}$. Μπορεί να ρυθμισθεί και στην τιμή $8 \times I_{\text{ολ}}$.

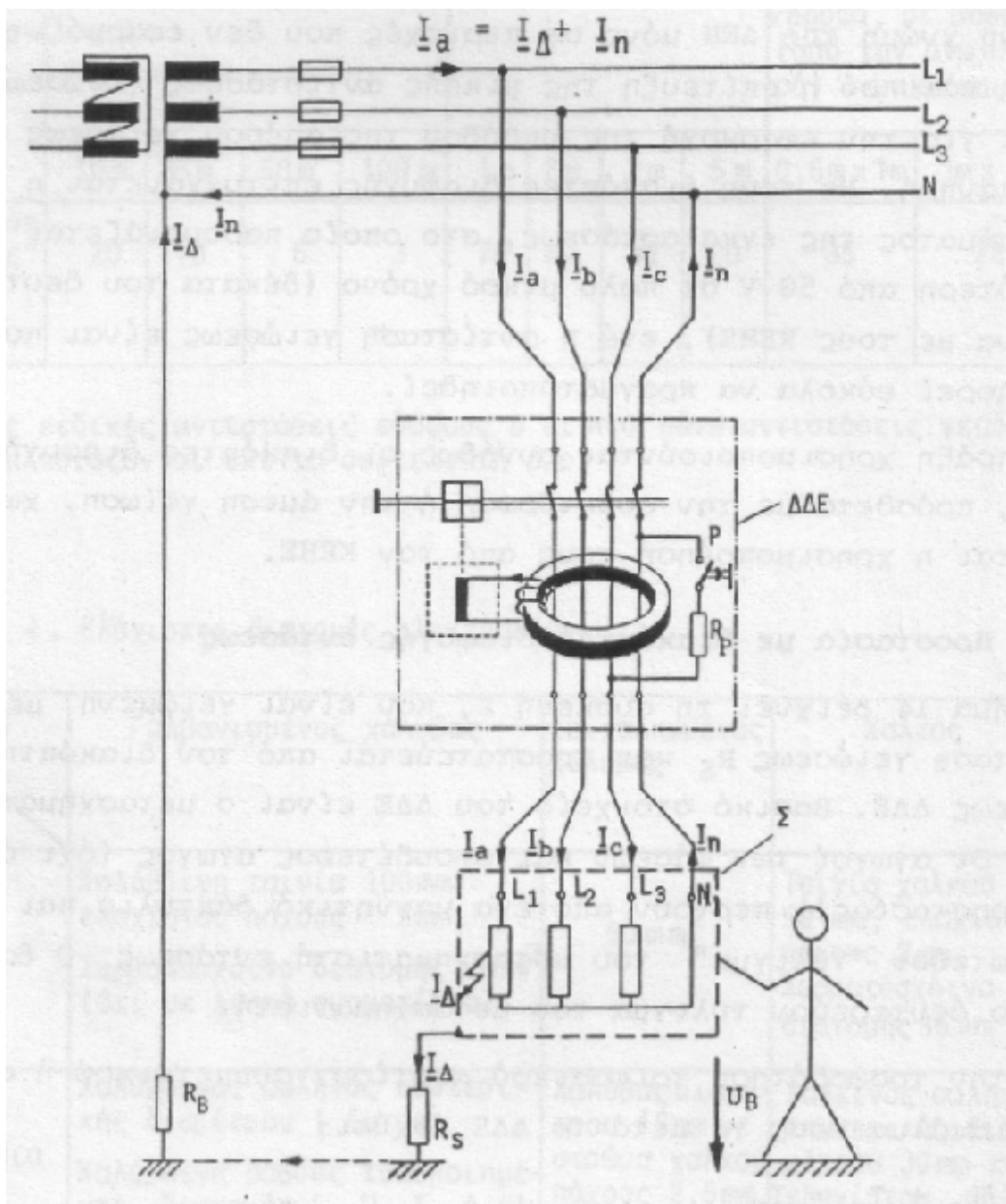


Το ρεύμα που τραβάει η εγκατάσταση από το δίκτυο της μέσης τάσης θα είναι $I_{MT}=285/50=5,7A$. Συνεπώς οι ΜΣ έντασης θα πρέπει να μετρούν ένταση ρεύματος σίγουρα $5,7A$.

Κεφάλαιο 6°

Διακόπτης διαφυγής τάσης (ΔΔΕ) ή ρελέ διαρροής .

Ο διακόπτης διαφυγής έντασης (ΔΔΕ) έχει ως βασικό του συστατικό έναν μετασχηματιστή έντασης . Οι αγωγοί των φάσεων και ο ουδέτερος αγωγός περνούν από έναν μαγνητικό δακτύλιο και αποτελούν το " πρωτεύον τύλιγμα " του μετασχηματιστή έντασης . Στο δακτύλιο υπάρχει το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή . Η λειτουργία του φαίνεται παραστατικά στο επόμενο σχήμα .



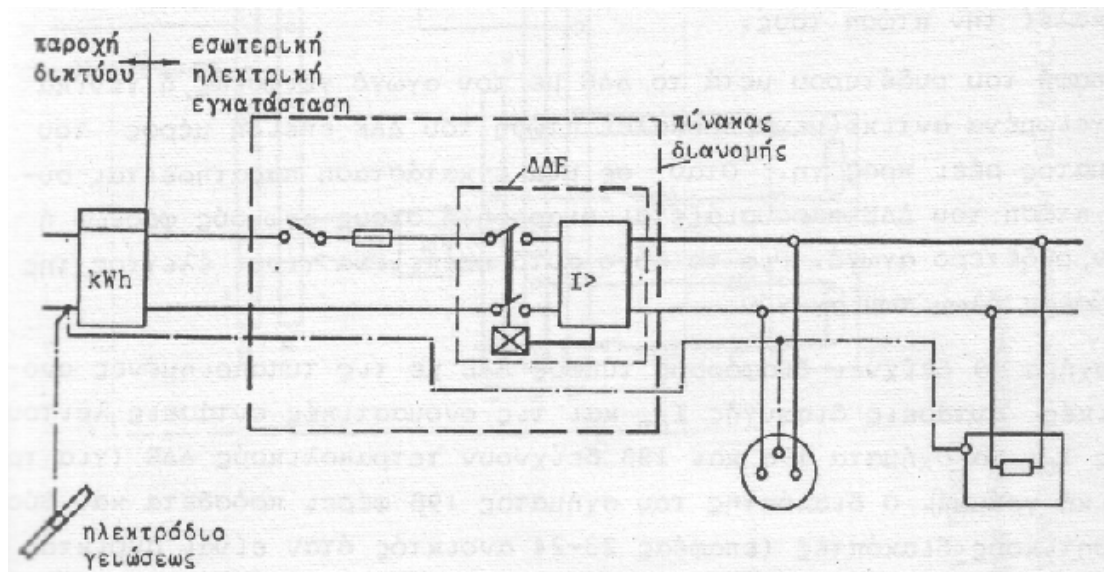
Όταν δεν υπάρχει διαρροή επίσης μεταλλικό αντικείμενο και τελικά επίσης τη γη μέσω του αγωγού γείωσης , το άθροισμα των ρευμάτων φάσεων και ουδέτερου κάθε χρονική στιγμή είναι ίση με μηδέν , $I_a+I_b+I_c+I_n=0$. Ουσιαστικά δεν υπάρχει ρεύμα στο πρωτεύον του μετασχηματιστή έντασης . Στην περίπτωση που επίσης αγωγός έρθει σε επαφή με μεταλλικό αντικείμενο λόγω καταστροφής επίσης μόνωσης , τότε , ρεύμα κινείται μέσω του αγωγού αυτού και του αγωγού γείωσης χωρίς επιστροφή από τον ουδέτερο αγωγό , δηλαδή :

$I_a+I_b+I_c+I_n=I_{\Delta n}\neq 0$. Τώρα υπάρχει ρεύμα στο πρωτεύον του μετασχηματιστή έντασης , επάγεται τάση στο δευτερεύον , δημιουργείται ρεύμα και ηλεκτρομαγνητική ροπή η οποία μέσω επίσης ηλεκτρομαγνήτη προκαλεί το άνοιγμα όλων των πόλων (κύριων επαφών) του ΔΔΕ . Η διέγερση του ηλεκτρομαγνήτη απαιτεί ένα ρεύμα διαφοράς $I_{\Delta n}$ για να πραγματοποιηθεί . Επίσης οικιακές εγκαταστάσεις , το ρεύμα $I_{\Delta n}$ θα πρέπει να αποκτήσει τιμή 30mA για να προκληθεί άνοιγμα των πόλων του ΔΔΕ . Έχει ήδη αναφερθεί ο ορισμός του βραχυκυκλώματος (υπερένταση) και επίσης υπερφόρτισης , καταστάσεις επίσης οποίες αντιδρούν αυτόματοι διακόπτες και ασφάλειες . Η μερική επαφή επίσης αγωγού φάσης με μεταλλικό αντικείμενο , που έχει ως αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος πολύ μικρού (30mA , 100mA , 500mA) μέσω του αγωγού γείωσης , ονομάζεται διαρροή και δεν μπορεί να ανιχνευθεί από τα προηγούμενα μέσα προστασίας , τα οποία απαιτούν την ύπαρξη ρεύματος μεγαλύτερου του ονομαστικού στο κύκλωμα για να ενεργοποιηθούν . Το κύκλωμα γείωσης δεν έχει μηδενική αντίσταση στην πράξη . Έστω ότι η αντίστασή του είναι R_s . Τότε , κατά την επαφή του αγωγού με το μεταλλικό περίβλημα και τη δημιουργία του ρεύματος διαρροής μέσω του αγωγού γείωσης και επίσης αντίστασης R_s , το μεταλλικό περίβλημα αναπτύσσει μια τάση U_B η οποία ισούται με $U_B=R_s\times I_{\Delta n}$. Η τάση U_B θα πρέπει να είναι μικρότερη των 50V και ο ΔΔΕ ενεργοποιείται για $I_{\Delta n}\geq 30\text{mA}$ επίσης αναφέρθηκε .

Συμπεπώς :

$$U_B\leq 50\text{V}\rightarrow R_s\times I_{\Delta n}\leq 50\text{V}\rightarrow R_s\leq 50\text{V}/0,03\text{A}\rightarrow R_s\leq 1667\Omega$$

Τέτοιες τιμές αντίστασης γείωσης πολύ εύκολα μπορούν να πραγματοποιηθούν . Αν υπάρχει διαρροή , τότε επίσης φαίνεται και από το προηγούμενο σχήμα , λόγω επίσης ουδετέρωσης και ο ουδέτερος αγωγός επίσης εγκατάστασης ή του δικτύου αποκτά δυναμικό ίσο με $I_{\Delta n}\times R_B$, πράγμα το οποίο απαγορεύεται . Το δυναμικό του ουδέτερου θα περάσει σε διπλανές εγκαταστάσεις . Γι'αυτό και η αντίσταση γείωσης R_B του ουδέτερου θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρή (1Ω ή 2Ω) , ώστε πρακτικά το δυναμικό του ουδέτερου να είναι μηδέν . Ρεύματα διαρροής , έστω και τόσο μικρών αντιστάσεων , συνοδεύονται από ηλεκτρικό τόξο και η παραμονή επίσης για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλεί τοπική υπερθέρμανση και τελικά πυρκαγιά . Ο ΔΔΕ προστατεύει και από πυρκαγιά αλλά και από την εμφάνιση μεγάλων τάσεων σε μεταλλικά περιβλήματα συσκευών (ηλεκτροπληξία) . Τοποθετείται μετά το γενικό διακόπτη και το γενικό μέσο προστασίας , επίσης φαίνεται παρακάτω :

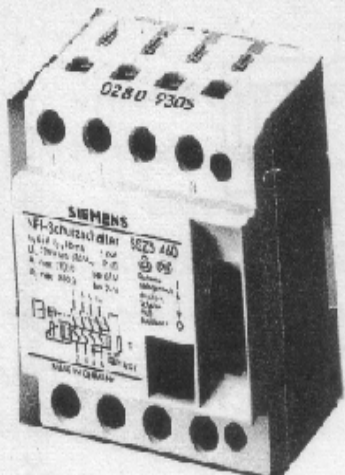
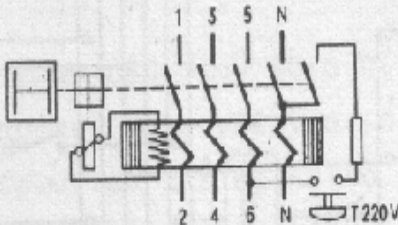


Όλα τα ηλεκτρικά φορτία και οι διακλαδώσεις θα πρέπει να γίνουν μετά τον ΔΔΕ , ώστε το συνολικό ρεύμα αγωγών φάσεων-ουδετέρου να ισούται με μηδέν μετά από τον ΔΔΕ , διαφορετικά θα προκαλείται η πτώση του , χωρίς να υπάρχει διαρροή .

Ο ΔΔΕ φέρει εσωτερικό κύκλωμα δοκιμής ετοιμότητας του ηλεκτρομαγνήτη που καταλήγει σε ένα εξωτερικό κουμπί . Με το πάτημα του κουμπιού , δημιουργείται η ροή ρεύματος σε ένα βοηθητικό κύκλωμα , το οποίο προκαλεί το άνοιγμα των πόλων . Θα πρέπει τακτικά να ελέγχεται με τον τρόπο αυτόν ο ΔΔΕ και κυρίως μετά από έντονες καταιγίδες .


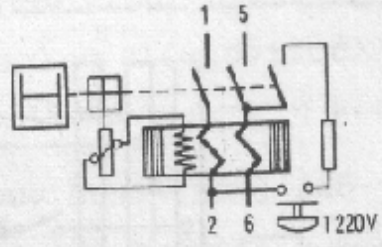
Οι ΔΔΕ του εμπορίου είναι τετραπολικοί για τριφασικές εγκαταστάσεις και διπολικοί για μονοφασικές εγκαταστάσεις . Κύρια χαρακτηριστικά επίσης είναι το ρεύμα ενεργοποίησης $I_{\Delta n}$ και το μόνιμο ρεύμα (ή μέγιστο επιτρεπόμενο) μέσα από επίσης κύριες επαφές του ΔΔΕ I_n . Σε βιομηχανικές ή εμπορικές εγκαταστάσεις , όπου υπάρχουν κινητήρες με μεγάλα ρεύματα εκκίνησης , ψυγεία ή άλλοι ευαίσθητοι χώροι , επίσης ΔΔΕ με $I_{\Delta n}=0,03A$ συχνά ενεργοποιείται χωρίς επίσης να υπάρχει διαρροή . Τοποθετούνται ΔΔΕ με $I_{\Delta n}=0,3A$. Για να υπάρχει προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας θα πρέπει στην περίπτωση αυτή η αντίσταση γείωσης να ισούται με $R_3 \leq \frac{50V}{0,3A}$ ή $R_3 \leq 166\Omega$ που επίσης μπορεί να πραγματοποιηθεί .

α)

Τετραπολικός ΔΔΕ

$I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$	} $I_n = 25 \text{ A, } 40 \text{ A, } 63 \text{ A}$
$I_{\Delta n} = 0,3 \text{ A}$	
$I_{\Delta n} = 0,5 \text{ A}$	

Διπολικός ΔΔΕ

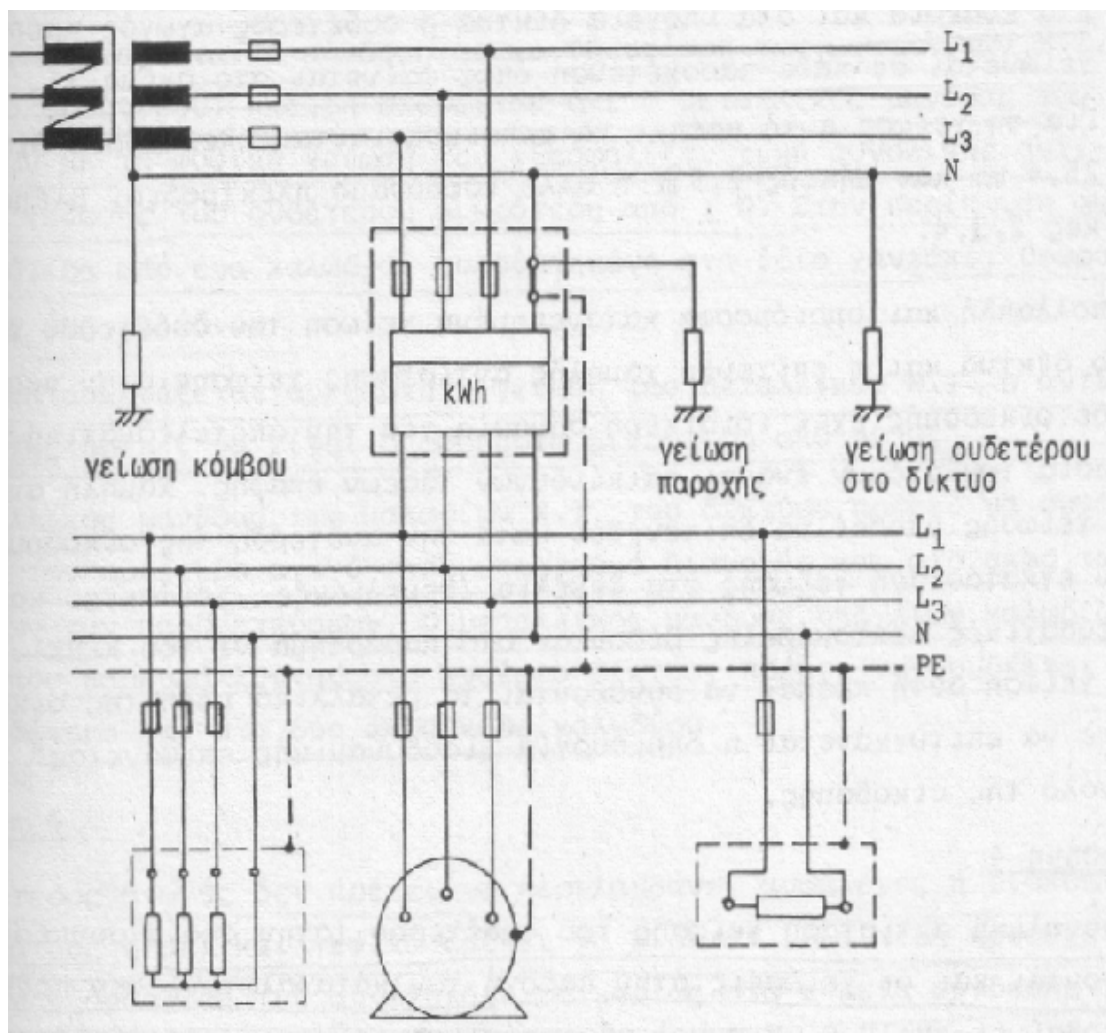
$I_{\Delta n} = 10 \text{ mA}$: $I_n = 10 \text{ A, } 16 \text{ A}$
$I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$: $I_n = 25 \text{ A, } 40 \text{ A}$
$I_{\Delta n} = 0,3 \text{ A}$	} : $I_n = 40 \text{ A}$
$I_{\Delta n} = 0,5 \text{ A}$	

Κεφάλαιο 7°

Ουδετέρωση

7.1 Ουδετέρωση

Ουδετέρωση είναι η αγώγιμη σύνδεση των μεταλλικών περιβλημάτων των συσκευών με τον ουδέτερο αγωγό του δικτύου , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Δίκτυα τα οποία φέρουν το σύστημα της ουδετέρωσης όπως παραπάνω χαρακτηρίζονται ως δίκτυα TN (T : γείωση ουδετέρου κόμβου χωρίς παρεμβολή αντιστάσεων , N : σύνδεση μεταλλικών περιβλημάτων με τη γείωση) . Ο αγωγός προστασίας(γείωσης) συνδέεται με τον ουδέτερο αγωγό πριν το μετρητή . Επειδή ο ουδέτερος αγωγός στην ουσία συνδέεται με τα

μεταλλικά μέρη των συσκευών , δεν πρέπει ποτέ να αποκτά δυναμικό επικίνδυνο για τον άνθρωπο .

7.2 Συνθήκες ουδετέρωσης

1. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος μεταξύ φάσης – ουδετέρου , θα πρέπει η διακοπή της τροφοδοσίας να γίνεται μέσα σε 5 sec . Για το λόγο αυτό , οι ασφάλειες του δικτύου στην πλευρά της XT του ΜΣ διανομής θα πρέπει η ονομαστική τους τιμή (A) να είναι μικρότερη ή ίση με το 1/3 του ελάχιστου ρεύματος μονοφασικού βραχυκυκλώματος στη γραμμή .
2. Η αγωγιμότητα και η μηχανική αντοχή του ουδέτερου αγωγού είναι τουλάχιστον ίσες με εκείνες των αγωγών φάσεων για αγωγούς εντός σωλήνων και καλώδια διατομής μέχρι 16mm^2 και για εναέριες γραμμές με αγωγούς μέχρι 50mm^2 .
3. Το δυναμικό του ουδέτερου αγωγού πρέπει να είναι πάντα μικρότερο των 50V , αλλά καλύτερα όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μηδέν . Για να επιτευχθεί αυτό , θα πρέπει να γειώνεται ο ουδέτερος αγωγός στον υποσταθμό , στις διακλαδώσεις και στα τέρματα των γραμμών , σε κάθε παροχέτευση και σίγουρα κάθε 300m με ηλεκτρόδιο διαμέτρου 25,4mm και μήκους 2,5m .
4. Η συνολική αντίσταση γείωσης του ουδέτερου αγωγού δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10Ω . Αν η αντίσταση γείωσης είναι μικρότερη του 1Ω , τότε χρησιμοποιείται μια γείωση για τον ουδέτερο αγωγό και για τα μεταλλικά περιβλήματα των συσκευών ΜΤ(κέλυφος ΜΣ , πίνακες ΜΤ , χάλκινος συγκεντρικός αγωγός υπογείων καλωδίων ΜΤ κλπ) . Για εναέριους υποσταθμούς με ξύλινους στύλους το όριο είναι 2Ω . Αν η αντίσταση γείωσης είναι μεγαλύτερη των ορίων αυτών , θα πρέπει να υπάρχει ξεχωριστή γείωση για την εγκατάσταση ΜΤ . Οι δύο γειώσεις θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες . Επειδή αυτό είναι πρακτικά αδύνατο , πρέπει η αντίσταση γείωσης να είναι κάτω των παραπάνω ορίων . Όταν στον υποσταθμό καταλήγουν υπόγεια καλώδια N(A)2XSY τα οποία έχουν μήκος μεγαλύτερο από 1200m , επειδή φέρουν συγκεντρικό χάλκινο αγωγό ο οποίος γειώνεται στα 2 άκρα , τότε σίγουρα επιτυγχάνονται τα παραπάνω όρια .
5. Ο ουδέτερος αγωγός δεν περιλαμβάνει διακόπτες και ασφάλειες .

Κεφάλαιο 8°

Μελέτη καλωδίων σε συνθήκες βραχυκυκλώματος .

Όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα υπάρχουν οι εξής συνέπειες :

- Αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών μέσα από τα οποία διέρχεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης (αγωγών , οπλισμών των καλωδίων κλπ) . Έμμεσα αυξάνεται και η θερμοκρασία των μονωτικών υλικών , των προστατευτικών καλυμμάτων κλπ .
- Εμφάνιση μεγάλων ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων οι οποίες καταπονούν καλώδια , συνδέσμους , υλικά κλπ .

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ανάλογα του τετραγώνου του ρεύματος .

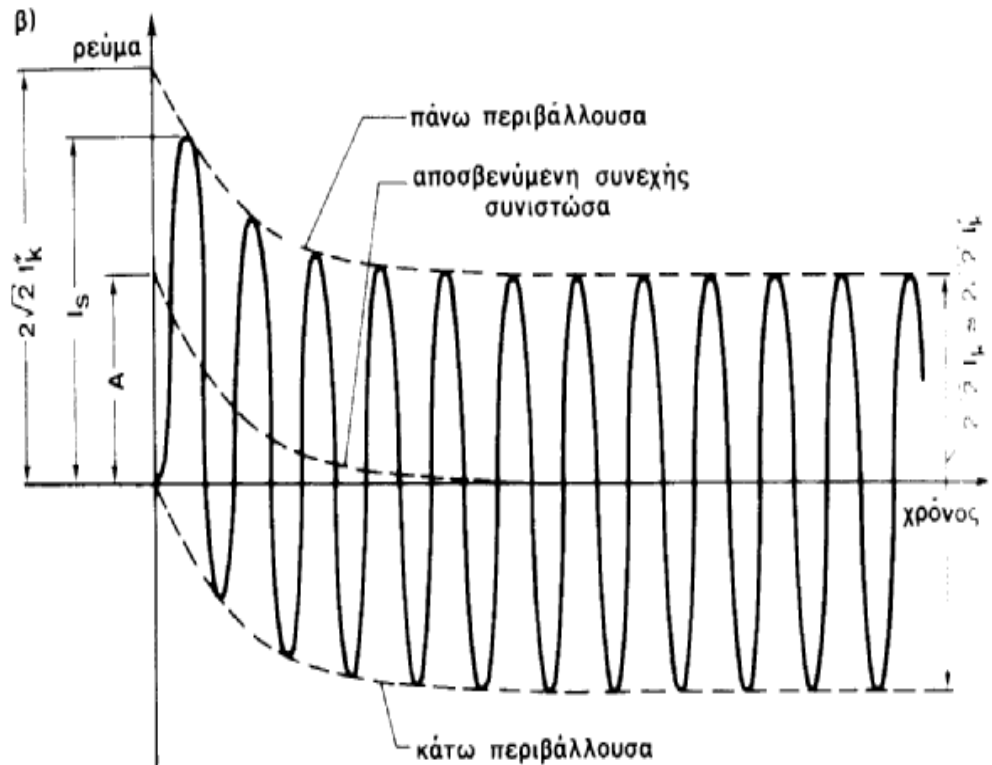
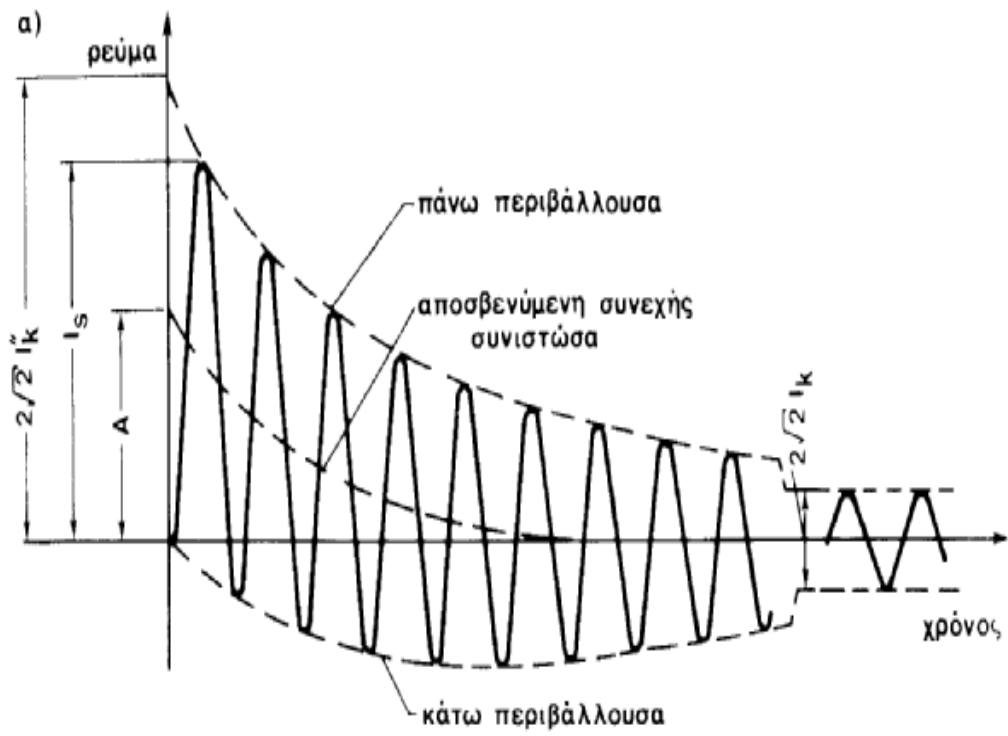
Τα πολυπολικά καλώδια γενικά έχουν μεγάλες μηχανικές αντοχές , συνεπώς οι σοβαρότερες συνέπειες επέρχονται από την αύξηση της θερμοκρασίας που εξαρτάται από το πλάτος του ρεύματος και το χρόνο διακοπής του βραχυκυκλώματος . Αντίθετα , στα μονοπολικά καλώδια πρέπει να διερευνηθούν τα αποτελέσματα και από τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις οι οποίες εξαρτώνται βασικά από τη μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης .

Βασικό μέγεθος για τον προσδιορισμό της θερμικής καταπόνησης σε συνθήκες βραχυκυκλώματος είναι το θερμικό ρεύμα βραχείας διάρκειας I_{th} , το οποίο είναι η ενεργός τιμή ενός ρεύματος με συχνότητα 50Hz το οποίο παράγει τις ίδιες απώλειες με το πραγματικό ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_k(t)$ κατά τη διάρκεια βραχυκύκλωσης t_k . Συνεπώς ισχύει :

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} I_k^2(t) dt} .$$

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται η χρονική συνάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε τριπολικό βραχυκύκλωμα για τη φάση εκείνη της οποίας η τιμή της φασικής τάσης όταν εμφανίζεται το βραχυκύκλωμα ($t=0$) είναι 0V . Φαίνονται τα μεγέθη :

- Αρχικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k'' (υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης) .
- Κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_s .
- Μόνιμο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k .

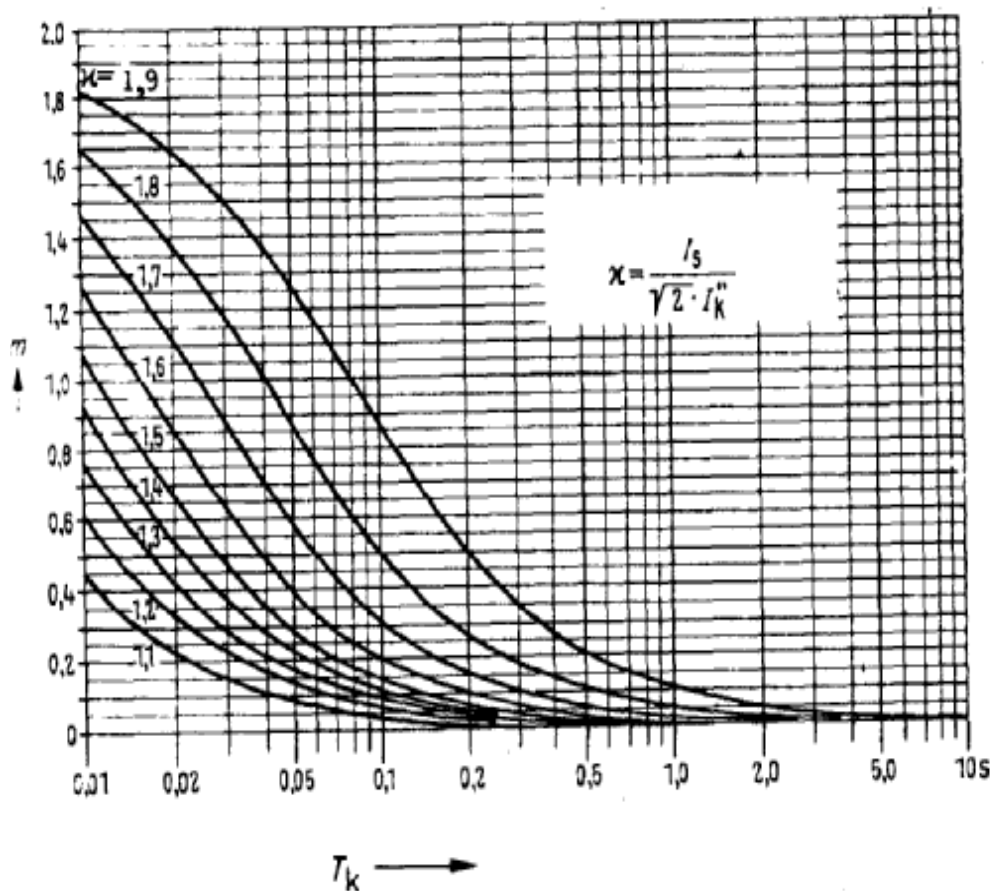


Μεταξύ του υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκύκλωσης I_k'' και του μόνιμου ρεύματος βραχυκύκλωσης I_k υπάρχει στην πραγματικότητα το μεταβατικό ρεύμα βραχυκύκλωσης I_k' . Στο πρώτο σχήμα δίνεται η κυματομορφή όταν το βραχυκύκλωμα συμβαίνει κοντά σε σταθμό παραγωγής όπου $I_k'' > I_k' > I_k$.

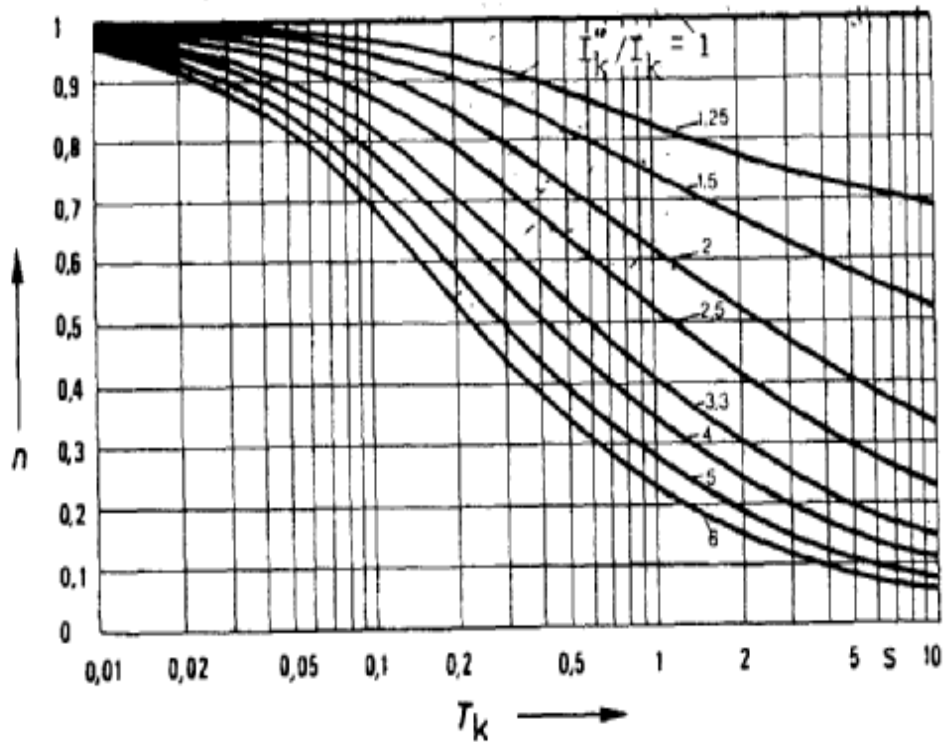
Στο δεύτερο σχήμα φαίνεται η κυματομορφή όταν το βραχυκύκλωμα συμβαίνει σε γραμμές ΥΤ και ΜΤ μακριά από σταθμούς παραγωγής όπου $I_k'' \cong I_k' \cong I_k$.

Για τον εύκολο υπολογισμό του θερμικού ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{th} , χρησιμοποιείται η σχέση :

$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n}$, όπου τα μεγέθη m και n λαμβάνονται από τα παρακάτω σχήματα. Το μέγεθος m εκφράζει την επίδραση της συνεχούς συνιστώσας και εξαρτάται από το συντελεστή κ ο οποίος ισούται με $\kappa = 1,02 + 0,98 \times e^{-3R/X}$, όπου R , X είναι η ωμική και επαγωγική αντίσταση του συνολικού κυκλώματος στο οποίο εμφανίζεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Το μέγεθος n εξαρτάται από το λόγο I_k''/I_k . Και τα δύο μεγέθη εξαρτώνται από τη χρονική διάρκεια του βραχυκυκλώματος t_k . Για βραχυκυκλώματα μακριά από γεννήτριες είναι $I_k''/I_k \cong 1$ άρα $n=1$ άρα $I_{th} = I_k \sqrt{m + 1}$.



Για βραχυκύκλωμα κοντά στους ακροδέκτες ΧΤ ενός ΜΣ 20/0,4KV 630KVA είναι $\kappa \cong 1,5$ και για χρονική διάρκεια $t_k \geq 0,5 \text{sec}$ είναι $m \cong 0$ και άρα $I_{th} = I_k$. Για βραχυκυκλώματα στο δίκτυο ΜΤ συνήθως είναι $\kappa \leq 1,8$. Για διάρκεια βραχυκύκλωσης $t_k = 0,5 \text{sec}$ είναι $m = 0,12$ και άρα $I_{th} \cong 1,06 \times I_k$.



Όταν ο αγωγός εναέριας γραμμής προστατεύεται από διακόπτη που εκτελεί αυτόματες επαναφορές, ο χρόνος t_k είναι ο αθροιστικός χρόνος διελεύσεως του ρεύματος, $t_k = \sum_{i=1}^n t_{ki}$. Οι παρακάτω πίνακες δίνουν για τους διάφορους τύπους καλωδίων :

- Την θερμοκρασία μόνιμης λειτουργίας θ_{Lr} (°C)
- Την επιτρεπτή θερμοκρασία βραχυκυκλώματος θ_e (°C)
- Την επιτρεπόμενη πυκνότητα ρεύματος S_{thr} (A/mm²) του αγωγού για διάρκεια βραχυκύκλωσης $t_{kr}=1$ sec ανάλογα με τη θερμοκρασία του αγωγού θ_a κατά την έναρξη του βραχυκυκλώματος.

Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται σε αγωγούς χαλκού και ο δεύτερος σε αγωγούς αλουμινίου. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή θερμικού ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{thmax} για μια διατομή q και για διάρκεια βραχυκύκλωσης t_k ισούται με :

$$I_{thmax} = q \times S_{thr} \times \sqrt{\frac{t_{kr}}{t_k}}. \text{ Συνεπώς η απαιτούμενη διατομή } q \text{ είναι :}$$

$$q = \frac{I_{thmax}}{S_{thr}} \times \sqrt{\frac{t_k}{t_{kr}}} \rightarrow q = \frac{I_{thmax}}{S_{thr}} \times \sqrt{t_k} \rightarrow q = k \times I_{thmax} \times \sqrt{t_k}, \quad k = \frac{1}{S_{thr}}.$$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	Επιτρεπτή βραχυκύκλιση απόρριψη Λειτουργία θ_{1r} °C	Επιτρεπτή βραχυκύκλιση βραχυκύκλιση θ_{2r} °C	Βραχυκύκλιση αγωγού θ_{sc} στη γειώση του αγωγού/ακρότατος								
			90 °C	80 °C	70 °C	65 °C	60 °C	50 °C	40 °C	30 °C	20 °C
			Πυκνότητα ρεύματος για βραχυκύκλιση S_{br} (A/mm ²) ($t_{br} = 1 s$)								
ΣΥΓΚΟΜΗΤΡΙΣ		160	100	107	115	119	122	129	136	143	150
ΚΑΛΩΔΙΑ ΧΡΕ	90	250	143	148	154	157	159	165	170	176	181
ΚΑΛΩΔΙΑ ΡΕ	70	150	-	-	109	113	117	124	131	138	145
ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΥΣ											
≤ 300 mm ²	70	160	-	-	115	119	122	129	136	143	150
> 300 mm ²	70	140	-	-	103	107	111	118	126	133	140
ΚΑΛΩΔΙΑ ΧΑΡΤΙ ΟΥ											
0.6/1 to 3.6/6 kV 6/10 kV	80 65	180 165	- -	119 -	126 -	129 121	132 125	139 132	145 138	151 145	158 152
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΤΥΠΟΥ Η ΓΕΝΙΚΑ											
0.6/1 to 3.6/6 kV 6/10 kV	80 70	180 170	- -	119 -	126 120	129 124	132 127	139 134	145 141	151 147	158 154
12/20 kV	65	155	-	-	-	116	119	127	134	141	147
18/30 kV	60	140	-	-	-	-	111	118	126	133	140

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	Επιτρεπτή βραχυκύκλιση απόρριψη Λειτουργία θ_{1r} °C	Επιτρεπτή βραχυκύκλιση βραχυκύκλιση θ_{2r} °C	Βραχυκύκλιση αγωγού θ_{sc} στη γειώση του αγωγού/ακρότατος								
			90 °C	80 °C	70 °C	65 °C	60 °C	50 °C	40 °C	30 °C	20 °C
			Πυκνότητα ρεύματος για βραχυκύκλιση S_{br} (A/mm ²) ($t_{br} = 1 s$)								
ΚΑΛΩΔΙΑ ΧΡΕ	90	250	94	98	102	104	105	109	113	116	120
ΚΑΛΩΔΙΑ ΡΕ	70	150	-	-	72	75	77	82	87	91	96
ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΥΣ											
≤ 300 mm ²	70	160	-	-	76	78	81	85	90	95	99
> 300 mm ²	70	140	-	-	68	71	73	78	83	88	93
ΚΑΛΩΔΙΑ ΧΑΡΤΙ ΟΥ											
0.6/1 to 3.6/6 kV 6/10 kV	80 65	180 165	- -	78 -	83 -	85 80	87 83	92 87	96 92	100 96	104 100
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΤΥΠΟΥ Η ΓΕΝΙΚΑ											
0.6/1 to 3.6/6 kV 6/10 kV	80 70	180 170	- -	78 -	83 80	85 82	87 84	92 89	96 93	100 97	104 102
12/20 kV	65	155	-	-	-	77	79	84	88	93	98
18/30 kV	60	140	-	-	-	-	73	78	83	88	93

Παράδειγμα : Να υπολογισθεί η απαιτούμενη διατομή για καλώδιο N2XSΥ όταν δίνεται ότι το θερμικό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι $I_{th}=15,1\text{KA}$ και η διάρκεια βραχυκύκλωσης $t_k=0,5\text{sec}$. Το καλώδιο N2XSΥ είναι καλώδιο χαλκού με μόνωση XLPE .

Από τον πρώτο πίνακα βλέπουμε ότι $S_{thr}=143\text{ A/mm}^2$ (θεωρούμε ότι η θερμοκρασία θ_a του αγωγού είναι ίση με την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία $\theta_{Lr}=90^\circ\text{C}$ εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα ή θεωρούμε ότι το καλώδιο εργάζεται υπό πλήρες φορτίο) τότε :

$$q = \frac{15100A}{143A/mm^2} \times \sqrt{\frac{0,5sec}{1sec}} = 74,66\text{mm}^2$$

Αρκεί η αμέσως μεγαλύτερη διατομή (90mm^2) .

Όταν ο αγωγός φορτιστεί με το μέγιστο ρεύμα I_{max} που επιτρέπεται , τότε η θερμοκρασία θα αναπτυχθεί στην τιμή θ_{Lr} . Όταν ο αγωγός φορτίζεται με ρεύμα $I < I_{max}$, η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία είναι θ_a . Ισχύει :

$$\theta_a = \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2 \times (\theta_{Lr} - \theta_\pi) + \theta_\pi , \quad \theta_\pi : \text{θερμοκρασία περιβάλλοντος} .$$

Παράδειγμα : Να προσδιορισθεί η απαιτούμενη διατομή για καλώδιο NA2XSΥ με θερμικό ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{th}=17,5\text{KA}$, διάρκεια βραχυκύκλωσης $t_k=0,5\text{sec}$ και η φόρτιση του καλωδίου πριν το βραχυκύκλωμα είναι στο 68% της μέγιστης τιμής του . ($\theta_\pi:15^\circ\text{C}$, εντός εδάφους)

Υπολογισμός θερμοκρασίας θ_a του καλωδίου : το καλώδιο NA2XSΥ είναι καλώδιο με μόνωση XLPE . Από προηγούμενο πίνακα βλέπουμε ότι η μέγιστη θερμοκρασία για καλώδια τέτοιου τύπου είναι $\theta_{Lr}=90^\circ\text{C}$. Συνεπώς :

$$\theta_a = \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2 \times (90 - 15) + 15 \rightarrow \theta_a = 75 \times 0,68^2 + 15 \rightarrow \theta_a \cong 50^\circ\text{C}$$

Από προηγούμενο πίνακα $S_{thr}=109\text{ A/mm}^2$. Συνεπώς η διατομή :

$$q = \frac{I_{thmax}}{S_{thr}} \times \sqrt{t_k} = \frac{17500A}{109A/mm^2} \times \sqrt{0,5} = 113,52\text{mm}^2 .$$

Επιλέγεται η αμέσως μεγαλύτερη διατομή (120mm^2) .

Για σύντομες ανυψώσεις θερμοκρασίας , όπως συμβαίνει στα βραχυκυκλώματα μπορεί να θεωρηθεί ότι όλη η παραγόμενη θερμότητα αποθηκεύεται στο ίδιο το καλώδιο και δεν απάγεται προς το περιβάλλον .

$$I^2 \times R_\theta \times dt = k \times d\theta , \quad R_\theta = R_{20} \times \frac{\theta + \theta}{\theta + 20^\circ\text{C}} . \text{ Το αποτέλεσμα είναι :}$$

$$I_{\text{thmax}} = q \times k_1 \times k_2 \times \frac{1}{\sqrt{t_k}}, \quad q : \text{η πραγματική διατομή του αγωγού που δέχεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος}, \quad k_1 : \text{σταθερά υλικού που ισούται με } k_1 = \sqrt{\frac{c \times (\theta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}}},$$

$$k_2 : \text{συντελεστής θερμοκρασίας } k_2 = \sqrt{\ln \frac{\theta + \theta_e}{\theta + \theta_a}}.$$

Η πυκνότητα ρεύματος για το βραχυκύκλωμα είναι :

$$S_{\text{thi}} = \frac{k_1 \times k_2}{\sqrt{t_{kr}}} \quad \text{και επειδή } t_{kr} = 1 \text{ sec} : S_{\text{thi}} = k_1 \times k_2$$

θ_e : μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία βραχυκυκλώματος (από προηγούμενο πίνακα) . Ο επόμενος πίνακας δίνει τις τιμές των σταθερών για τους αγωγούς των καλωδίων .

ΥΛΙΚΟ	Ηλεκτρική αγωγιμότητα ρ_{20} Ωm	Θερμοκρασιακός συντελεστής ηλεκτρικής αντίστασης α_{20} $1/^\circ\text{C}$	$\theta =$ $\frac{1}{\alpha_{20}} - 20^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$	Θερμική αγωγιμότητα ρ Km/W	Συντελεστής θερμότητας c $\text{J/}^\circ\text{C m}^3$	Συντελεστής υλικού k_1 $\text{A}\sqrt{\text{s/m}^2}$
ΧΑΛΚΟΣ	1.7241×10^{-8}	3.93×10^{-3}	234.5	2.7×10^{-3}	3.45×10^6	226×10^6
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	2.8264×10^{-8}	4.03×10^{-3}	228	4.8×10^{-3}	2.5×10^6	148×10^6
ΜΟΛΥΒΔΟΣ	21.4×10^{-8}	4.0×10^{-3}	230	28.7×10^{-3}	1.45×10^6	41.2×10^6
ΑΓΣΑΝ	13.8×10^{-8}	4.5×10^{-3}	202	19.1×10^{-3}	3.8×10^6	78.2×10^6

Όταν επιλεγεί ένα καλώδιο με κριτήριο την ικανότητα του αγωγού να μπορεί να δεχθεί το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης , θα πρέπει να ελεγχθεί ότι και ο υπόλοιπος σπλισμός επίσης μπορεί να δεχθεί το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκύκλωσης . Αναφερόμαστε κυρίως στα καλώδια ΜΤ , όπου , όπως έχει ήδη περιγραφεί , περιμετρικά των αγωγών των φάσεων και κάτω του εξωτερικού μανδύα υπάρχει συγκεντρικός αγωγός είτε με τη μορφή στρογγυλών συρματιδίων , είτε με τη μορφή ταινίας κλπ .

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις χαρακτηριστικές που χρειάζονται για τους συγκεντρικούς χάλκινους αγωγούς , τους μεταλλικούς σπλισμούς και τους μανδύες .

	Σαλκίνας συγκεντρικός αγωγός		Μεταλλικός σπύρμος		Μανδύας	
	Συρματόδεσ	Ταινία	Στρογγυλής μορφής	Επίπετης μορφής	Μαλούβδου	Αλουμινίου
Μόνωση	PVC	XLPE	PVC		Εμβωτισμένο χαρτί	
Αρχική θερμοκρασία θ_a	60 °C	80 °C	60 °C		70 °C	
Μέγιστη θερμοκρασία θ_e	350 °C	350 °C	200 °C		200 °C	
Συντελεστής k_1	$226 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2$		$78.2 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2$		$41.2 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2$	$148 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2$
Συντελεστής k_2	0.828	0.787	0.654		0.600	0.602

Στο προηγούμενο παράδειγμα προσδιορίσθηκε καλώδιο NA2XSJ με διατομή αγωγού φάσης 120mm^2 . Το καλώδιο αυτό έχει συγκεντρικό αγωγό χάλκινο διατομής 16mm^2 . Από προηγούμενο πίνακα : $k_1=226 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2$, $k_2=0,787$.

Ο συγκεντρικός αγωγός αντέχει ρεύμα βραχυκύκλωσης :

$$I_{thmax}=16 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 226 \times 10^6 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{m}^2 \times 0,787 \times \frac{1}{\sqrt{0,5 \times \sqrt{s}}} = 4025 \text{ A}.$$

Η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία θα φθάσει ο αγωγός κατά το βραχυκύκλωμα μπορεί να υπολογισθεί από :

$$\theta_e = \left[\exp \left(\frac{I_{th} \times \sqrt{t_k}}{q \times k_1} \right)^2 \right] \times (\theta + \theta_a) - \theta$$

Εναλλακτικά, η πυκνότητα ρεύματος για διάρκεια βραχυκυκλώματος t_k μπορεί να υπολογισθεί :

$$S_{thr} = \sqrt{\frac{\rho \times c \times k_{20}}{a_{20} \times t_k}} \times \ln \frac{1 + a_{20} \times (\theta_e - 20^\circ\text{C})}{1 + a_{20} \times (\theta_a - 20^\circ\text{C})}$$

ρ : πυκνότητα αγωγού

c : ειδική θερμότητα αγωγού

k_{20} : ειδική αγωγιμότητα στους 20°C

Για εναέριες γραμμές ισχύει :

Για αγωγούς χαλκού $\theta_e=170^\circ\text{C}$

Για αγωγούς αλουμινίου $\theta_e=130^\circ\text{C}$

Για αγωγούς ACSR $\theta_e=160^\circ\text{C}$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας για μέγιστη φόρτιση, η θερμοκρασία για όλους τους τύπους εναέριων γραμμών θεωρείται ίση με $\theta_{Lr}=80^\circ\text{C}$.

Μέγεθος	Μονάδα	Αγωγός		
		Cu	Al, ACSR	St
c	$\frac{Ws}{g \text{ } ^\circ C}$	0,39	0,91	0,48
ρ	$\frac{g}{cm^3}$	8,9	2,7	7,85
κ_{20}	$\frac{m}{\Omega mm^2}$	56	34,8	7,25
α_{20}	$\frac{1}{^\circ C}$	0,0039	0,004	0,0045

Παράδειγμα : Να υπολογισθεί η μέγιστη ένταση θερμικού ρεύματος βραχυκυκλώματος αγωγού 16mm² ACSR όταν φορτίζεται στο μισό της μέγιστης έντασης του ($t_k=0,5sec$, $\theta_\pi=40^\circ C$) .

Η πραγματική διατομή του αγωγού δεν είναι 16mm² (ισοδύναμη διατομή Cu) .

Η πραγματική διατομή του αλουμινίου είναι :

$$q=16mm^2 \times \frac{k_{Cu}}{k_{Al}} = 16mm^2 \times \frac{56}{34,8} = 25,7mm^2$$

Θερμοκρασία αγωγού

$$\theta_\alpha = (\theta_{Lr} - \theta_\pi) \times \left(\frac{I}{I_n}\right)^2 + \theta_\pi = (80 - 40) \times \left(\frac{0,5I_n}{I_n}\right)^2 + 40 \rightarrow \theta_\alpha = 50^\circ C .$$

Υπολογισμός πυκνότητας ρεύματος

$$S_{thr} = \sqrt{\frac{2,7 \times 0,91 \times 34,8}{0,004} \times \ln \frac{1 + 0,004 \times (160 - 20)}{1 + 0,004 \times (50 - 20)}} = \sqrt{21375,9 \times 0,33} = 84 \text{ A/mm}^2$$

$$I_{thmax} = q \times S_{thr} \times \sqrt{t_k} = 25,7 \times 84 \times \sqrt{0,5} = 1526 \text{ A}$$

Σε εγκατάσταση όπου όλοι οι ΜΣ είναι απευθείας γειωμένοι , το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε αγωγό φάσης είναι το ρεύμα σε διφασικό βραχυκύκλωμα (I_{k2p}) και γενικά : $I_{k2p} < 1,5 I_{k3p}$ (I_{k3p} : ρεύμα σε τριπολικό βραχυκύκλωμα) . Στους οπλισμούς και στους

μανδύες , το μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το μεγαλύτερο (I_{k1p}) και γενικά $I_{k1p} < 1,5 I_{k3p}$.

Όταν όλοι οι ΜΣ δεν είναι απευθείας γειωμένοι ή υπάρχουν επιπλέον αντιστάσεις στον ουδέτερο κόμβο του ΜΣ , το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που θα δεχθεί ένας αγωγός φάσης είναι σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος (I_{k3p}) και το μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης που περνάει από τους μανδύες και τους οπλισμούς περιορίζεται .

Βιβλιογραφία

1. Κ. Λαμπρόπουλου, Μελέτη ηλεκτρικών δικτύων διανομής, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, 2002.
2. Δ. Τσανάκα, Ειδικά κεφάλαια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και δικτύων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 1991.
3. Π. Ντοκόπουλου, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών, Εκδόσεις Ζήτη, 2005.
4. Μ. Μ. Κάπου, Βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, Έκδοση Μ. Μ. Κάπου, 1985.