

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1682

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ



ΜΑΤΘΑΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΑΜ:6430

ΦΛΕΒΟΤΟΜΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΜ: 6574

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται μελέτη πτώσης τάσης ενός αντλιοστασίου που αποτελείται από τέσσερις αντλίες ονομαστικής ισχύος 250kW και από δύο αντλίες ονομαστικής ισχύος 100kW. Το αντλιοστάσιο αυτό τροφοδοτείται από υποσταθμό Μέσης Τάσης καθώς η ολική εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 135kVA που είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς για τη Χαμηλή Τάση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις χρήσεις ενός αντλιοστασίου είναι η μεταφορά των λυμάτων όταν η μορφολογία του εδάφους δεν επιτρέπει τη ροή με βαρύτητα από ένα χαμηλό επίπεδο σε ένα υψηλότερο επίπεδο μέσω των σωληνώσεων του συστήματος αποχέτευσης. Ένα αντλιοστάσιο περιλαμβάνει αντλίες, βαλβίδες και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό αναγκαίο για την άντληση του νερού ή των λυμάτων και μπορούμε να τα βρούμε σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Για παράδειγμα μπορούμε να τα συναντήσουμε σε μια πληθώρα βιομηχανικών και θεσμικών εγκαταστάσεων όπως στα ορυχεία, στη διαχείριση των υδάτων καθώς επίσης στα εμπορικά κέντρα και στα ξενοδοχεία.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται μελέτη πτώσης τάσης ενός αντλιοστασίου που αποτελείται από τέσσερις αντλίες ονομαστικής ισχύος 250kW και από δύο αντλίες ονομαστικής ισχύος 100kW. Το αντλιοστάσιο αυτό τροφοδοτείται από υποσταθμό Μέσης Τάσης καθώς η ολική εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 135kVA που είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς για τη Χαμηλή Τάση.

Αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται περιγραφή των μέσων προστασίας που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις (ασφάλειες, διακόπτες ισχύος, κτλ). Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι υποσταθμοί μέσης τάσης (νομοθεσία, δομικά στοιχεία, κτλ). Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ασύγχρονοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στις αντλίες και πραγματοποιείται και μια ανάλυση για τους ρυθμιστές στροφών (inverter) που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις για ομαλή εκκίνηση και εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η προαναφερθείσα μελέτη.

2.2.2 Πίνακες Αντιστάθμισης	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	27
ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	27
3.1 Γενικά περί ηλεκτρικών επαγωγικών μηχανών	27
3.2 Κατασκευαστική Στοιχεία των Επαγωγικών Μηχανών	28
3.3 Αρχή λειτουργίας	31
3.4 Απώλειες και διάγραμμα ροής ισχύος	32
3.5 Το Ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα	34
3.6 Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	37
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	37
4.1 Κλάσεις των επαγωγικών κινητήρων.....	37
4.2 Έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων	37
4.3 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων	40
4.4 Ρύθμιση στροφών τριφασικών κινητήρων	45
4.5 Πέδηση τριφασικών κινητήρων	46
4.6 Συντήρηση τριφασικών κινητήρων	49
4.7 Πιθανές βλάβες τριφασικών κινητήρων	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	53
ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	53
5.1 Υδραυλικές Αντλίες	53
5.2 Αντλίες θετικής μετατόπισης	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	57
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ PID.....	57
6.1 Ο ελεγκτής PID.....	57

6.2	PID Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου	58
6.3	Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος	59
6.4	Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος κλειστού βρόχου.....	59
6.5	Σύστημα 2 ^{ης} τάξης – Επίδραση των όρων P, I και D	60
6.6	Διάγραμμα ανοικτού βρόχου χωρίς ελεγκτή	61
6.7	P Controller - Αναλογικός Ελεγκτής	61
6.8	PI Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής	62
6.9	PD Controller Αναλογικός-Διαφορικός Ελεγκτής	63
6.10	PID Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής	64
6.11	Ο ελεγκτής PID μέσα από ένα παράδειγμα	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7		68
ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ.....		68
7.1	Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών	68
7.2	Δομή των ρυθμιστών στροφών	69
7.3	Πλεονεκτήματα των ρυθμιστών στροφών	70
7.4	Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινήτη.....	71
7.4.1	ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ	71
7.4.2	ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8		73
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....		73
8.1	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΙΣΧΥΟΣ P=250kW, ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΟΜΑΛΟ ΕΚΚΙΝΗΤΗ (Inverter), ΥΠΟΓΕΙΑ ΟΔΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 50m	76
8.1.1	Υπολογισμός ονομαστικού ρεύματος	76
8.1.2	Επιλογή διατομής.....	77

8.1.3 Έλεγχος για πτώση τάσης	77
8.1.4 Επιλογή ασφαλιστικών μέσων.....	77
8.2 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΙΣΧΥΟΣ $P=100kW$, ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΟΜΑΛΟ ΕΚΚΙΝΗΤΗ (Inverter), ΥΠΟΓΕΙΑ ΟΔΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 85m	78
8.2.1 Υπολογισμός ονομαστικού ρεύματος	78
8.2.2 Επιλογή διατομής.....	78
8.2.3 Έλεγχος για πτώση τάσης	78
8.2.4 Επιλογή ασφαλιστικών μέσων.....	79
8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΙΚΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	79
8.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	85
Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Άρδευση είναι η τεχνητή παροχή νερού σε καλλιεργούμενο έδαφος για να υποβοηθηθεί η ανάπτυξη των σπαρτών. Στην αγροτική παραγωγή συνήθως χρησιμοποιείται σε ξηρές περιοχές ή και σε περιόδους περιορισμένης βροχόπτωσης, αλλά επίσης και για την προστασία των φυτών από τον παγετό. Επιπλέον, το πλημμύρισμα των χωραφιών εμποδίζει την ανάπτυξη ζιζανίων σε ορυζώνες. Συχνά η άρδευση μελετάται σε συνάρτηση με την αποστράγγιση, που έχει τον αντίθετο σκοπό, δηλαδή την απομάκρυνση του πλεονάζοντος ύδατος από το καλλιεργούμενο έδαφος.

Σχετικά με την κατασκευή υποδομών άρδευσης χρησιμοποιείται και ο όρος έγγειες βελτιώσεις, που σημαίνει βελτιώσεις του εδάφους. Σημαντικά έργα άρδευσης είναι η κατασκευή φραγμάτων, η κατασκευή λιμνοδεξαμενών, η κατασκευή αρδευτικών δικτύων διανομής και οι γεωτρήσεις. Οι έγγειοβελτιωτικές δραστηριότητες περιλαμβάνουν, εκτός από τα έργα άρδευσης, τα αντιπλημμυρικά έργα, τα αποξηραντικά έργα, τις αναδασώσεις και τις ισοπεδώσεις/συστηματοποίηση εδαφών.

Συστήματα άρδευσης ονομάζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στα κτήματα. Ονομάζονται ακόμη και μέθοδοι άρδευσης. Οι διάφοροι αυτοί τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στα κτήματα, είναι αποτέλεσμα της μακροχρόνιας εμπειρίας και εξαρτώνται από τις εδαφικές συνθήκες, την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους, το είδος των καλλιεργειών και τη γεωργοτεχνική παράδοση των γεωργών. Με την ανάπτυξη της επιστήμης των αρδεύσεων οι διάφοροι αυτοί εμπειρικοί τρόποι μελετήθηκαν, βελτιώθηκαν και προσαρμόστηκαν στις συνθήκες του εδάφους, των καλλιεργειών και του ανθρώπινου παράγοντα. Αναπτύχθηκαν συγχρόνως μαθηματικοί τρόποι ελέγχου της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού και της ομοιόμορφης άρδευσης. Η ομοιόμορφη εφαρμογή του αρδευτικού νερού είναι πάντοτε ο πρωταρχικός παράγοντας της αρδευόμενης γεωργίας για την αποδοτική χρησιμοποίηση του νερού άρδευσης. Ο έλεγχος του αρδευτικού νερού για την επίτευξη ομοιόμορφης διανομής πάνω στην έκταση που πρόκειται να αρδευτεί είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα του καλού χειρισμού του νερού και εξακολουθεί να υπάρχει ως πρόβλημα στις περισσότερες αρδευόμενες εκτάσεις. Ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού στο χωράφι, διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες συστημάτων ή μεθόδων άρδευσης:

α. Επιφανειακή άρδευση.

β. Υπόγεια άρδευση.

γ. Άρδευση με καταιονισμό.

δ. Άρδευση με σταγόνες

Από τις κατηγορίες αυτές η πρώτη, η άρδευση με κατάκλυση, φαίνεται ότι είναι η αρχαιότερη και πιο διαδεδομένη μέθοδος εφαρμογής του αρδευτικού νερού. Η δεύτερη τείνει να εξαφανιστεί, ενώ η τρίτη και η τέταρτη παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια αλματώδη εξέλιξη. Η εφαρμογή των επιφανειακών μεθόδων άρδευσης προϋποθέτει τη συστηματική ισοπέδωση των κτημάτων για την καλύτερη και ομοιομορφότερη διανομή του αρδευτικού νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ

1.1 Ασφάλεια Τήξης

Ασφάλεια τήξης ονομάζουμε την διάταξη που προορίζεται να διακόπτει αυτόματα ένα κύκλωμα , όταν η έντασή του ξεπεράσει μία ορισμένη τιμή (Ονομαστική Ένταση). Αυτό γίνεται είτε με το λιώσιμο ενός λεπτού σύρματος (Ασφάλειες Τήξεως) είτε με την πτώση ενός αυτόματου διακόπτη (ή Αυτόματες Ασφάλειες). Έτσι, έχουμε προστασία των αγωγών, των μονώσεων και των συσκευών του κυκλώματος από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα.



Εικόνα 1: Ασφάλεια Τήξεως

Η λειτουργία των ασφαλειών τήξης στηρίζεται στο φαινόμενο Joule, δηλαδή στη θέρμανση που μπορεί να φθάσει μέχρι και στην τήξη ενός λεπτού συρματιδίου ή ταινίας (Τηκτό) που βρίσκεται μέσα στο φυσίγγι της ασφάλειας. Η διακοπή του κυκλώματος επιχειρείται αρχικά μέσω της τήξης ενός χάλκινου ή αργυρού σύρματος ή ταινίας (τηκτό), μέσα σε σκόνη χαλαζία (quartz sand)

- Ρεύματα < 20 A: τηκτό μόνο από χαλκό
- Ρεύματα > 20 A: τηκτό και από άργυρο, για τη μείωση απωλειών ισχύος στην αντίσταση του τηκτού

Η οριστική απόξευση του κυκλώματος επιτυγχάνεται μετά τη σβέση του τόξου. Η σβέση του τόξου πραγματοποιείται από τη σκόνη χαλαζία:

1. Το τηκτό λιώνει, εξατμίζεται και στη συνέχεια συμπυκνώνεται πάνω στο χαλαζία (pre-arcing time, melting time) – αμέσως δημιουργείται τόξο
2. Ο χαλαζίας λιώνει και στη συνέχεια στερεοποιείται στο μέρος που υπήρχε το τηκτό, εισάγοντας αφ' ενός μεγάλη αντίσταση στο κύκλωμα και σβήνοντας αφ' ετέρου το τόξο (arcing time).

Μια ασφάλεια τήξης δρα ως περιοριστής, όχι μόνο του ρεύματος σφάλματος αλλά και του χρόνου διέλευσης αυτού του ρεύματος. Το κατά πόσο μια ασφάλεια τήξης περιορίζει την ένταση του σφάλματος και το χρόνο διάρκειάς του, εξαρτάται από τη χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ασφάλειας και την αξιοπιστία της.

Ο χρόνος που χρειάζεται μία ασφάλεια για να διακόψει την τροφοδοσία, εξαρτάται από το μέγεθος της υπερεντάσεως και από τον τύπο της ασφάλειας. Γενικά σε περίπτωση βραχυκυκλώματος η διακοπή γίνεται σε μερικά εκατοστά του δευτερολέπτου, ενώ σε περίπτωση υπερεντάσεως σε μερικά δευτερόλεπτα ή και λεπτά.

Οι ασφάλειες τήξης επιλέγονται σύμφωνα με τα εξής κριτήρια :

- Ονομαστική τάση, π.χ. 230/400V,
- Ονομαστική ισχύς διακοπής ή ρεύμα διακοπής (αυτό προσδιορίζει κυρίως τον τύπο της ασφάλειας). Υπάρχουν τύποι **D**, **DO**, **NH** με μέγιστα ρεύματα διακοπής 50 kA, 25 kA και 100 kA αντίστοιχα.
- Χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος. Αντί της χαρακτηριστικής ή μαζί με την χαρακτηριστική, μπορεί να δίνονται και το «μικρό» και το «μεγάλο» ρεύμα δοκιμής.
 - Το μικρό ρεύμα δοκιμής /1 είναι το ρεύμα που δεν λιώνει την ασφάλεια σε ορισμένο χρόνο (συνήθως 1 ώρα)

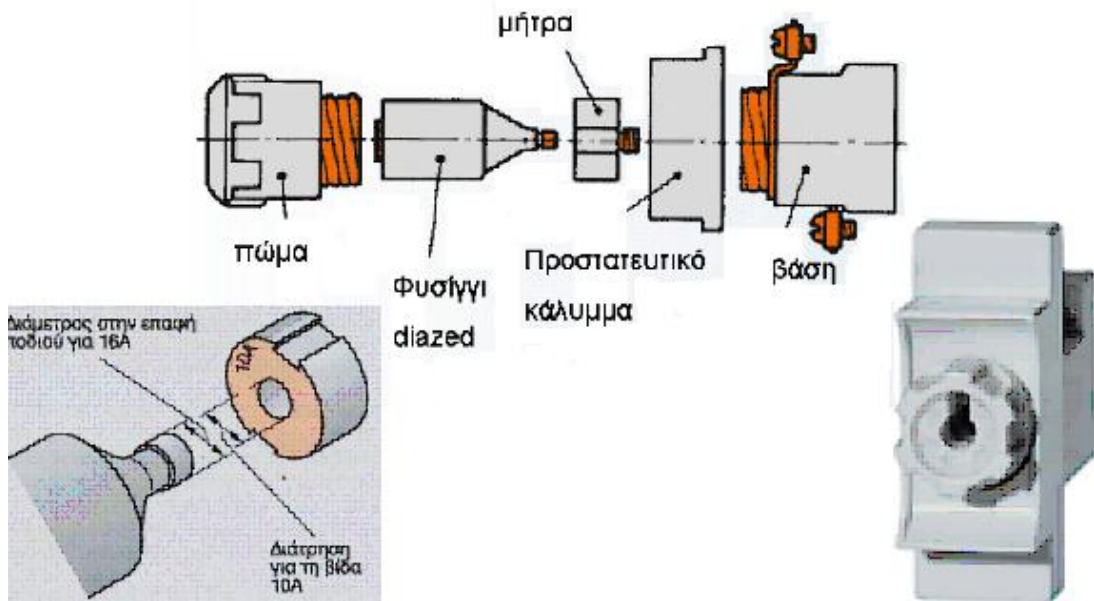
- Το μεγάλο ρεύμα δοκιμής $I/2$ είναι το ρεύμα που λιώνει την ασφάλεια σε ορισμένο χρόνο (συνήθως 1 ώρα)
- Οι ασφάλειες τήξης για κυκλώματα ισχύος καθορίζονται από τα εξής πρότυπα : **EN 60269, IEC 60269, DIN/VDE 0636, ΕΛΟΤ 446-86**. Για τα κυκλώματα μικροσυσκευών χρησιμοποιούνται μικροασφάλειες που ακολουθούν τα πρότυπα **VDE 0804, DIN/IEC 257 και VDE 0820**.

Διακρίνουμε δύο τύπους ασφαλειών τήξεως, ανάλογα με την ταχύτητα που διακόπτουν την τροφοδοσία: Τις **Ασφάλειες Ταχείας Τήξης (τύπος L)** και τις **Ασφάλειες Βραδείας Τήξης (τύπος G)**. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι ασφάλειες ταχείας τήξης, ενώ οι βραδείας τήξης χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα ηλεκτροκινητήρων ή σε συνεργασία με ασφάλειες ταχείας τήξης.

1.1.1 Δομή μιας ασφάλειας τήξης

Η όλη διάταξη μιας ασφάλειας, αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το **φυσίγγι** (ασφάλεια) ,που είναι κατασκευασμένο από πορσελάνη και περιέχει το νήμα (τηκτό) και ένα ενδεικτικό χρωματιστό δίσκο, ο οποίος πέφτει, όταν η ασφάλεια καεί.
- Την βάση της ασφάλειας ή **ασφαλειοθήκη**. Είναι το εξάρτημα που στερεώνεται πάνω στον πίνακα και μέσα σ' αυτό τοποθετείται το φυσίγγι.
- Την **μήτρα**. Είναι μικρό πορσελάνινο εξάρτημα που τοποθετείται στο βάθος της ασφαλειοθήκης και εξασφαλίζει ότι δεν θα τοποθετηθεί , από λάθος, μεγαλύτερη ασφάλεια από την κατάλληλη για την γραμμή.
- Το **πώμα**. Είναι πορσελάνινο , βιδώνει πάνω στην ασφαλειοθήκη και συγκρατεί το φυσίγγι. Στο πάνω μέρος του έχει γυαλί, για να φαίνεται αν έχει καεί το φυσίγγι.
- Κάθε φυσίγγι χαρακτηρίζεται από το ονομαστικό ρεύμα του, που καθορίζει έως πόσα Amperes μπορούν να περάσουν από το τηκτό του.
- Τα ονομαστικά ρεύματα έχουν τυποποιημένες τιμές : 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 35A, 40A, 50A, 63A, 80A, 100A.
- Για κάθε μέγεθος υπάρχει και ένα χαρακτηριστικό χρώμα πάνω στον ενδεικτικό δίσκο.



Εικόνα 2: Ασφάλεια Τήξης – Τα κύρια μέρη

1.2 Διακόπτες Ισχύος



Εικόνα 3: Διακόπτης Ισχύος

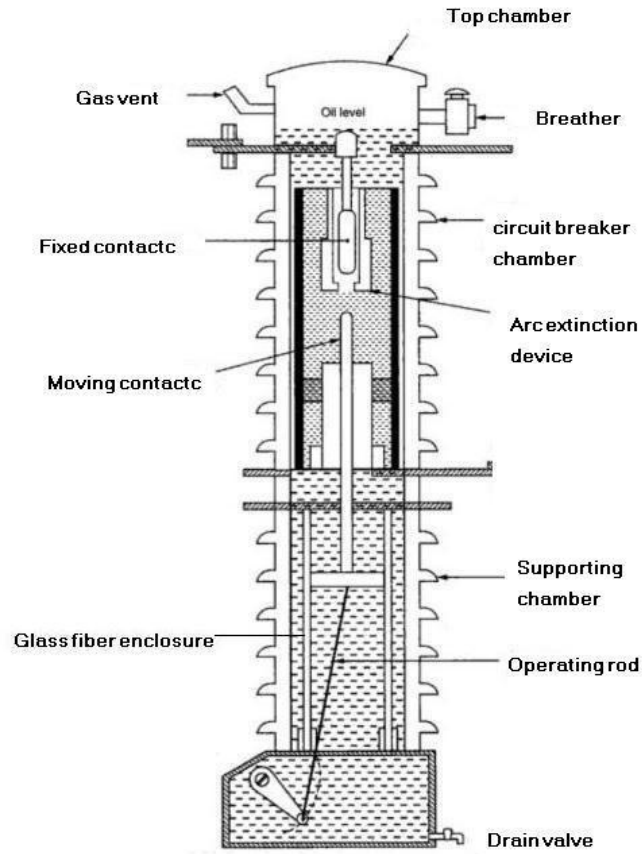
Οι διακόπτες ισχύος (circuit-breaker) ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν είναι πάνω από 7 kA, δηλαδή, όσο το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα. Ο

διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει, αμέσως μετά τη σβέση του τόξου, στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου. Οι διακόπτες ισχύος, ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

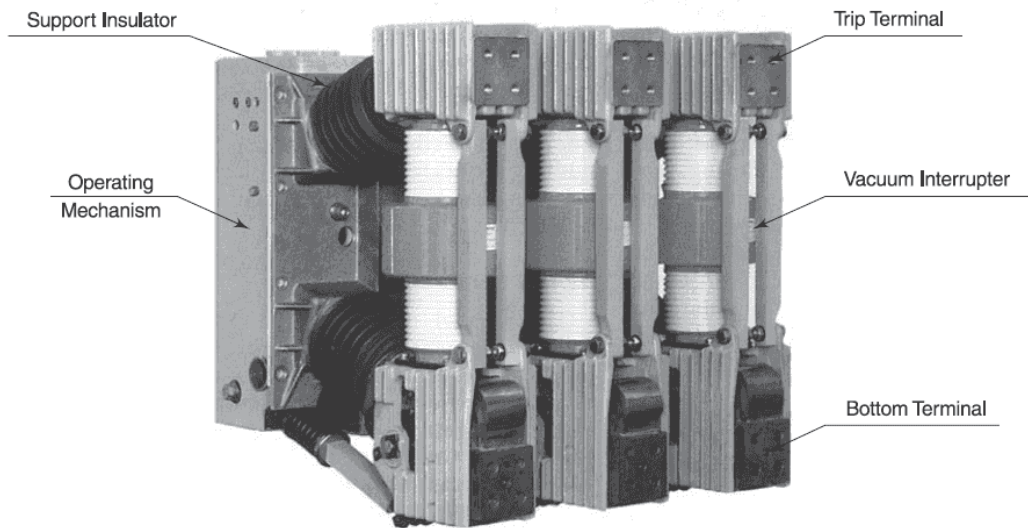
- Πτωχού ελαίου (oil-minimum)
Στις δεκαετίες 1970-1990 κυριάρχησε ο διακόπτης πτωχού ελαίου (ονομάστηκε έτσι σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού).
- Εξαφθοριούχου θείου (SF6) (προφέρεται ες εφ σιξ)
Στην τελευταία δεκαετία αντικαταστάθηκε από το διακόπτη ισχύος με εξαφθοριούχο θείο SF6. Το αέριο SF6 είναι ένα αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ιδιότητες που βρίσκεται μέσα στους πόλους του διακόπτη ισχύος.
- Κενού (vacuum)
Οι διακόπτες ισχύος με κενό χρησιμοποιούν σαν μονωτικό το κενό, δηλαδή την έλλειψη οποιουδήποτε αερίου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το απόλυτο κενό είναι το τέλειο μονωτικό.



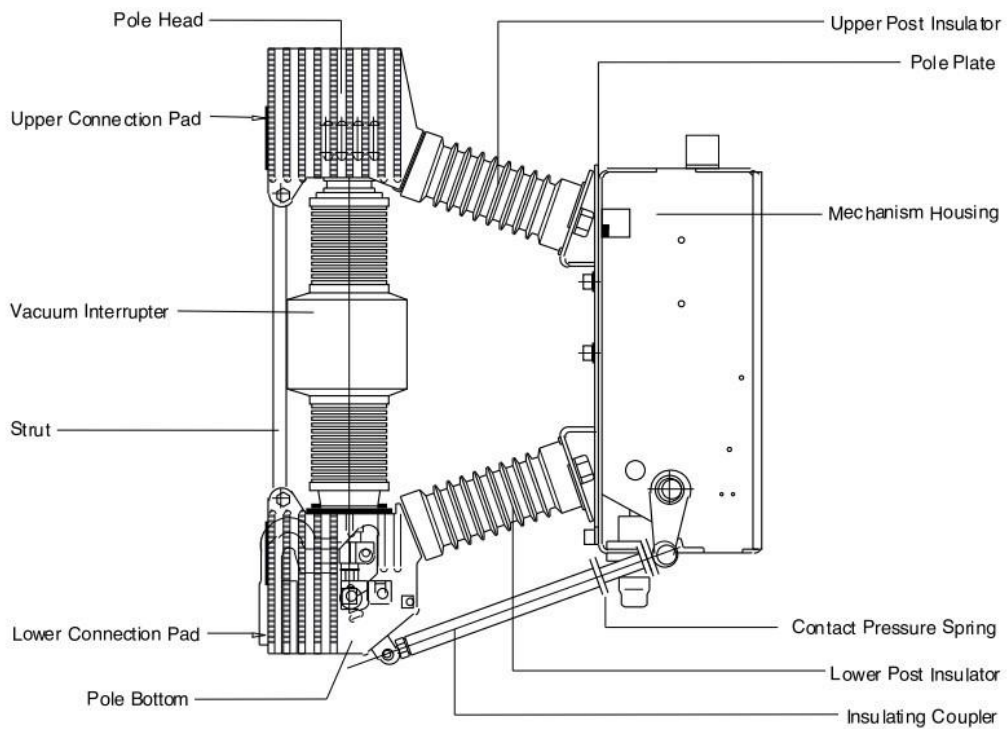
Εικόνα 4: Διακόπτες Ισχύος ελαίου



Εικόνα 5: Διακόπτης Ισχύος ελαίου (τομή)



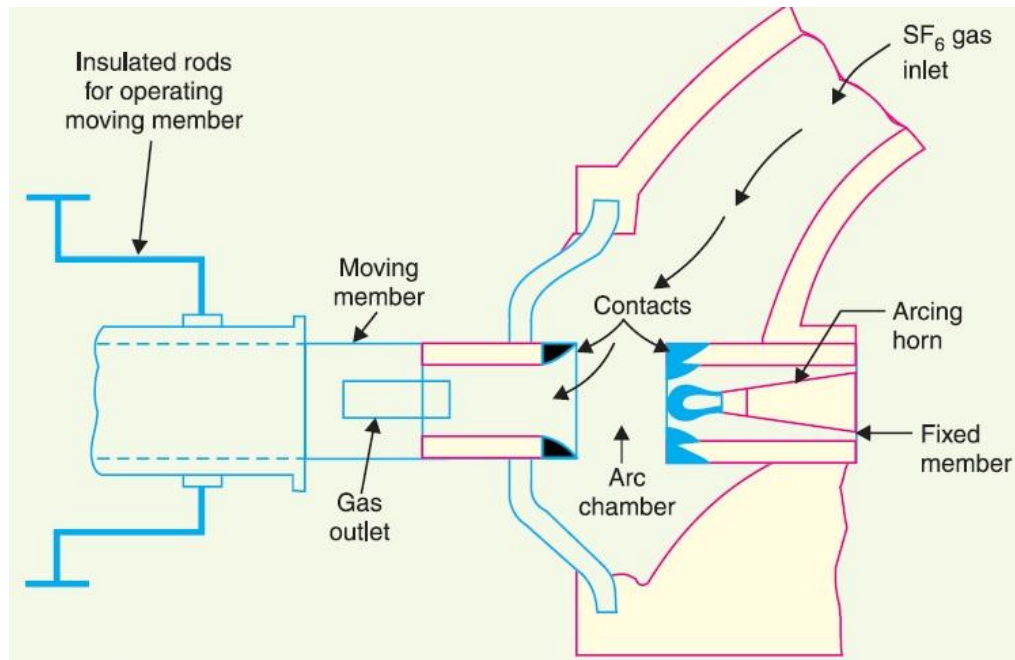
Εικόνα 6: Διακόπτης ισχύος κενού



Εικόνα 7: Διακόπτης ισχύος κενού (τομή)



Εικόνα 8: Διακόπτης ισχύος SF6



Εικόνα 9: Διακόπτης ισχύος SF6 (τομή)

1.1.2 Τα μέρη του διακόπτη ισχύος

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο (λάδι, SF6, κενό) που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου και το εργοστάσιο κατασκευής τους, όλοι οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από τα ίδια μέρη. Στην Εικόνα βλέπουμε ένα διακόπτη ισχύος SF6 ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικού ρεύματος 400 A. Στην εικόνα έχουν σημειωθεί με αριθμούς από το 1 ως το 10 τα μέρη του διακόπτη ισχύος που ενδιαφέρουν άμεσα το συντηρητή του υποσταθμού. Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται οι αριθμοί που υπάρχουν στην Εικόνα. Διατηρήσαμε και τις αγγλικές εκφράσεις, διότι τα τεχνικά φυλλάδια που συνοδεύουν τους διακόπτες, σπάνια είναι μεταφρασμένα στα Ελληνικά. Εκτός από τα μέρη του διακόπτη ισχύος που φαίνονται στην Εικόνα, υπάρχουν μια σειρά από εξαρτήματα που αποτελούν το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος και τα οποία περιγράφονται παρακάτω: Ο μηχανισμός λειτουργίας του διακόπτη ισχύος βασίζεται σε δύο ελατήρια που αποθηκεύουν μηχανική ενέργεια, όταν τανυστούν (τεντωθούν). Τα δύο ελατήρια είναι:

- το ελατήριο κλεισίματος
- το ελατήριο ανοίγματος

Τα δύο ελατήρια ξεχωρίζουν από το μέγεθός τους. Το ελατήριο κλεισίματος είναι μεγαλύτερο και, συνεπώς, ισχυρότερο από το ελατήριο ανοίγματος, επειδή το ελατήριο κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος. Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό, οι κινητές επαφές του διακόπτη

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

Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος περιστρέφει τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, ώστε οι κινητές επαφές να απομακρυνθούν από τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης ανοίγει. Η λειτουργία του αυτόματου διακόπτη ξεκινά με την τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος. Η τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

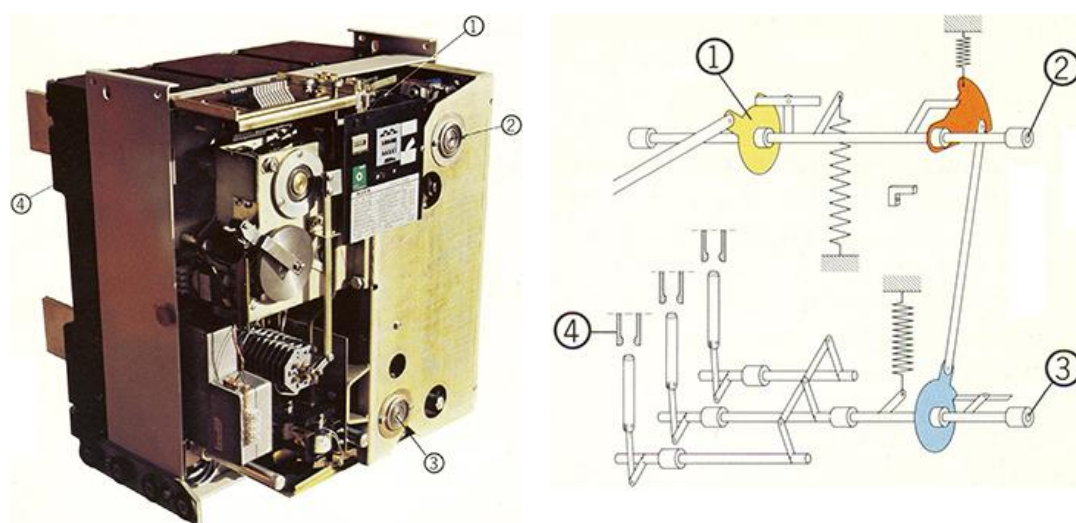
- Χειροκίνητα με ένα μοχλό (μανιβέλα) (2)
- Ηλεκτρικά με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ΣΡ ή ΕΡ

Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται.. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

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

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

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



Εικόνα 10: Τα βασικά μέρη ενός διακόπτη ισχύος

1.1.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος

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

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

1.1.3.1 Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση

- **Ονομαστική τάση (Rated voltage)** είναι η τάση για την οποία έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Για όλα τα υλικά μέσης τάσης (20 kV) η τάση αυτή είναι 24 kV, δηλαδή είναι 20% μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας.
- **Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 HZ (Withstand voltage at 50 HZ)** είναι η τάση στη οποία αντέχει ο διακόπτης ισχύος για χρόνο 1 min. Με την τάση αυτή δοκιμάζεται στο εργοστάσιο κατασκευής του κάθε πίνακας μέσης τάσης, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή σειράς. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τάση δοκιμής είναι 50 kV.
- **Αντοχή σε κρουστική τάση (Impulse withstand voltage)** είναι η κρουστική τάση (παρόμοια με την τάση που δημιουργεί ένας κεραυνός). Με την τάση αυτή δοκιμάζεται σε ειδικά εργαστήρια ένας πρότυπος διακόπτης ισχύος, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή τύπου. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τιμή της κρουστικής τάσης είναι 125 kV.

1.1.3.2 Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα

- **Ονομαστικό ρεύμα (Rated normal current)** είναι το ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Συνήθως είναι 400 A και πάνω.
- **Ονομαστικό ρεύμα απόζευξης σε βραχυκύκλωμα (Rated breaking capacity)** είναι το ρεύμα του βραχυκυκλώματος που μπορεί να ανοίξει ο διακόπτης

ισχύος με ασφάλεια, δηλαδή χωρίς να καταστραφεί. Συνήθως είναι 8 kA και πάνω. Το ρεύμα αυτό πρέπει να το αντέξει για τουλάχιστον 3 s, δηλαδή όσο χρόνο θα χρειαστούν οι διάφορες προστασίες για να δώσουν την εντολή απόζευξης. Αν η προστασία δε δουλέψει και το ρεύμα βραχυκυκλώματος ξεπεράσει τα 3 s τότε το σίγουρο είναι ότι ο διακόπτης ισχύος θα καταστραφεί δημιουργώντας μεγάλες υλικές ζημιές και ίσως ανθρώπινες απώλειες.

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

1.1.3.3 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος SF6 είναι η πίεση του αερίου SF6 που υπάρχει μέσα στους πόλους. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0,5 bar μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αν και οι πόλοι είναι σφραγισμένοι από το εργοστάσιο, σε περίπτωση που έχουμε διαρροή του αερίου σε κάποιον από τους τρεις πόλους, τότε ο διακόπτης ισχύος θα αστοχήσει στην επόμενη εντολή διακοπής και αυτό μπορεί να είναι μοιραίο. Συνήθως οι διακόπτες ισχύος SF6 είναι εφοδιασμένοι με ειδικό μηχανισμό που ελέγχει την πίεση του αερίου. Σε περίπτωση ελαττωμένης πίεσης σε κάποιον από τους πόλους δίδεται ένδειξη και ταυτόχρονα μπλοκάρεται το κλείσιμο του διακόπτη ισχύος.

1.1.3.4 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου είναι ο έλεγχος της στάθμης και η ποιότητα του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στους πόλους. Αυτό γίνεται εύκολα, διότι οι μπουκάλες των πόλων είναι από διαφανές υλικό (πλεξιγκλάς ενισχυμένο με υαλόνημα) και έτσι εύκολα μπορούμε να ελέγχουμε τη στάθμη. Η συμπλήρωση με ειδικό λάδι γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η ποιότητα του λαδιού ελέγχεται συνήθως οπτικά βλέποντας το χρώμα του. Αντικατάσταση στο λάδι πρέπει να γίνεται μετά από έναν αριθμό κανονικών χειρισμών (συνήθως 500 χειρισμοί). Οι διακόπτες ισχύος θα πρέπει να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή βραχυκυκλώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή από το δίκτυο της μέσης τάσης γίνεται όταν η απαίτηση ισχύος ξεπερνά τα 135kVA (παροχή αρ. 6 της Χ.Τ.). Τα δίκτυα ΜΤ στην Ελλάδα μπορεί να έχουν τάση 6,6kV, 15 kV, 20 kV, ή 22 kV. Σχεδιάζεται όμως όλα τα δίκτυα μέσης τάσης να μετατραπούν σε δίκτυα των 20 kV.

2.1 Κατασκευή Υποσταθμών Μέσης Τάσης

Οι υποσταθμοί ΜΤ των καταναλωτών αποτελούνται από τα παρακάτω βασικά τμήματα:

2.1.1 Εγκατάσταση της ΔΕΗ

Ειδικά διαμορφωμένος χώρος για τον πίνακα ΜΤ της ΔΕΗ, σε περίπτωση υπόγειας παροχής. Στις εναέριες παροχές ΜΤ το καλώδιο της ΔΕΗ τερματίζει σε στύλο. Η ΔΕΗ παρέχει ακριβής οδηγίες και σχέδια στον καταναλωτή για τις απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ο ειδικά διαμορφωμένος χώρος για τη στέγαση του ΥΣ

Οδηγίες Διαμόρφωσης Χώρου που θα παραχωρηθεί στη ΔΕΔΔΗΕ

- i. Ο καταναλωτής θα διαμορφώσει το χώρο που παραχωρεί στη ΔΕΔΔΗΕ, σύμφωνα με τα σχέδια που θα του δώσει η τεχνική υπηρεσία Δικτύου. Την ευθύνη για την κατασκευή του χώρου (αντοχή πλάκας, στεγανοποίηση κτλ) έχει ο καταναλωτής.
- ii. Ο χώρος ΔΕΔΔΗΕ δεν μπορεί να τοποθετηθεί κάτω από το 1ο υπόγειο ή σε βάθος μεγαλύτερο των 4 m από την επιφάνεια του εδάφους. Ο χώρος της ΔΕΔΔΗΕ θα βρίσκεται σε τέτοια θέση στο όλο συγκρότημα του καταναλωτή ώστε τώρα και στο μέλλον:
- iii. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων της ΔΕΔΔΗΕ να μην ενοχλεί τους παρακείμενους χώρους (π.χ. γραφεία κτλ).
- iv. Να υπάρχει διάδρομος προς δημόσιο δρόμο πλάτους τουλάχιστον 1,8 m και ύψους 2,50 m. Ο διάδρομος θα είναι πάντοτε ελεύθερος και ο καταναλωτής δε θα τοποθετεί ή αποθηκεύει σ' αυτόν αντικείμενα που να

- εμποδίζουν την ελεύθερη προσπέλαση προσωπικού και τη διακίνηση μηχανημάτων προς και από αυτόν.
- v. Το προσωπικό της ΔΕΔΔΗΕ θα μπορεί να τον επισκέπτεται οποιαδήποτε ημέρα ή ώρα του 24ώρου, εργάσιμη ή όχι.
 - vi. Να μην υπάρχουν άλλα ανοίγματα (π.χ. παράθυρα - φεγγίτες κτλ.), εκτός από εκείνα που θα αναφέρονται στα σχέδια.
 - vii. Να μην υπάρχουν ή να μην περνούν ξένες εγκαταστάσεις μέσα απ' αυτόν (π.χ. καλώδια ΟΤΕ, καλώδια εξωτερικής ηλεκτρικής του εγκατάστασης, σωλήνες θέρμανσης, ψύξης, ύδρευσης, αποχέτευσης, αεραγωγοί κτλ.).
 - viii. Μόνο το τροφοδοτικό καλώδιο Μ.Τ. καταναλωτή, που συνδέει την κυψέλη ΔΕΔΔΗΕ με τις εγκαταστάσεις του Μ.Τ. επιτρέπεται να περνά από το χώρο ΔΕΔΔΗΕ (υπόγειο).
 - ix. Η ελάχιστη θερμοκρασία του χώρου να μην είναι μικρότερη των 18 °C και η μέγιστη μεγαλύτερη από τους 40 °C.
 - x. Να μην επηρεάζεται από εγκαταστάσεις που δημιουργούν κραδασμούς (π.χ. αεροσυμπιεστές αερόσφυρες, πρέσσες κτλ.) και σκόνη (π.χ. σπαστήρες λατομείων, κλωστήρια κτλ.).
 - xi. Να μην παρουσιάζει υγρασία ή νερά (στεγανό υπόγειο, αποκλεισμός εισόδου νερών κτλ.).
 - xii. Να μην επικοινωνεί και γειτνιάζει με χώρους γκαράζ, λεβητοστάσια, αποθήκες καυσίμων και λοιπούς χώρους που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα στη λειτουργία και εκμετάλλευση των εγκαταστάσεων ΔΕΔΔΗΕ. Σε περίπτωση που ένας από τους πιο πάνω όρους παραβιαστεί στο μέλλον, τότε η ΔΕΔΔΗΕ κάνοντας χρήση των σχετικών όρων του Συμβολαίου, μπορεί να διακόψει την ηλεκτροδότηση του καταναλωτή μέχρις ότου αρθεί η ανωμαλία ή μετατοπίσει την παροχή του σε άλλη θέση, σε συνεννόηση πάντοτε με τη ΔΕΔΔΗΕ. Στην περίπτωση αυτή ο καταναλωτής θα επιβαρυνθεί με τις δαπάνες μετατόπισης.
 - xiii. Ο καταναλωτής αναλαμβάνει την υποχρέωση να κόβει τα κλαδιά των Cδέντρων μέσα στη ιδιοκτησία του, που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από 3 m από τα υπό τάση εναέρια δίκτυα της ΔΕΔΔΗΕ, μετά από σχετική συνεννόηση με την αρμόδια υπηρεσία Δικτύου.
 - xiv. Ο καταναλωτής στο χώρο ΔΕΔΔΗΕ:

- Θα τοποθετήσει τους σωλήνες διέλευσης των καλωδίων του και των τροφοδοτικών καλωδίων Μ.Τ. της ΔΕΔΔΗΕ (σύμφωνα με το σχέδιο). Οι τρύπες των σωλήνων θα ταπώνονται πριν και μετά την τοποθέτηση του καλωδίου με ευθύνη και δαπάνες του καταναλωτή, ώστε να αποκλείεται η εισαγωγή νερών και χωμάτων προς το χώρο της ΔΕΔΔΗΕ.
 - Θα κατασκευάσει μονοφασική χωνευτή ή εξωτερική στεγανή ηλεκτρική εγκατάσταση με αγωγούς 2,5 mm Cu, που μέσω ασφαλειοκιβωτίου θα τροφοδοτεί τουλάχιστον 3 φωτιστικά σημεία και έναν μονοφασικό ρευματοδότη με γείωση τύπου "σούκο". Τα φωτιστικά σώματα θα είναι τύπου "χελώνας" με λάμπα πυρακτώσεως, ισχύος καθεμιάς 100 W ή τύπου "στεγανά φθορισμού" με λυχνία ισοδύναμης φωτιστικής ικανότητας, όπως της πυράκτωσης. Τα φωτιστικά σημεία θα τοποθετηθούν στην οροφή του χώρου μπροστά από τους πίνακες Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ.
 - Θα εγκαταστήσει τουλάχιστον δύο πυροσβεστήρες 12 kg ξηρής σκόνης, κατηγορία Β.С.Е., για εγκαταστάσεις 20 kV, ΦΕΚ 264/8.4.71 (τεύχος δεύτερο) και ΦΕΚ 429/14.6.72 (τεύχος δεύτερο). Τους πυροσβεστήρες αυτούς θα τους τοποθετήσει μέσα στο χώρο ΔΕΔΔΗΕ και θα τους αναρτήσει στους τοίχους δεξιά και αριστερά της πόρτας. Ο καταναλωτής θα τους συντηρεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή τους και τα πιο πάνω ΦΕΚ.
 - Θα εγκαταστήσει το τροφοδοτικό του καλώδιο Μ.Τ. και θα το συνδέσει με τις εγκαταστάσεις Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ (κυψέλη προς "καταναλωτή").
 - Θα τοποθετήσει (παράλληλα με το ασφαλειοκιβώτιο φωτισμού πρίζας) 2ο ασφαλειοκιβώτιο με ασφάλεια 6A, από το οποίο θα ξεκινά ένα καλώδιο ΝΥΜ - 2Χ2,5 mm 2 μήκους 7 m περίπου. Το καλώδιο αυτό θα περνά σε χαλυβδοσωλήνα Φ 13,5 που θα φθάνει μέχρι το κάτω μέρος του δαπέδου που εδράζονται οι πίνακες Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ. Το καλώδιο θα συνδεθεί στο ασφαλειοκιβώτιο από την τεχνική υπηρεσία Δικτύου.
- χv. Ο καταναλωτής με παροχή τύπου Β2 μπορεί να ζητήσει έγγραφο από την αρμόδια υπηρεσία Δικτύου, να λειτουργεί η προστασία έλλειψης τάσης, εφόσον υπάρχει. Σ' αυτή την περίπτωση θα πρέπει, εκτός της εγκατάστασης φωτισμού, να φέρει μέχρι τους πίνακες

- M.T. ΔΕΔΔΗΕ τριφασική παροχή Χ.Τ. (η κατασκευή της θα γίνει σε συνεννόηση με την αρμόδια υπηρεσία).
- xvi. Ο καταναλωτής Θα φροντίζει ο χώρος της ΔΕΔΔΗΕ να είναι πάντοτε καθαρός.
 - xvii. Ο καταναλωτής, εκτός χώρου ΔΕΔΔΗΕ, θα εγκαταστήσει ένα γενικό μέσο ζεύξης ή ζεύξης προστασίας. Το μέσο αυτό πρέπει να έχει κατάλληλη διάταξη, ώστε στις θέσεις του "ΕΝΤΟΣ" και "ΕΚΤΟΣ" να μπορεί να ασφαρίζεται (π.χ. με λουκέτο) και να παρέχει τη δυνατότητα στη θέση "ΕΚΤΟΣ" της ορατής διαπίστωσης της απομόνωσης (δηλαδή να φαίνεται ότι οι επαφές του είναι ανοιχτές).
 - xviii. Ο καταναλωτής θα παρέχει πάντοτε κάθε δυνατή βοήθεια για την εισαγωγή και εξαγωγή των μηχανημάτων ΔΕΔΔΗΕ από το δημόσιο δρόμο προς το χώρο και αντίστροφα. Αν η εισαγωγή και εξαγωγή των μηχανημάτων ΔΕΔΔΗΕ γίνεται από καταπακτή, ο καταναλωτής υποχρεούται να αφαιρεί και να επανατοποθετεί το κάλυμμα της καταπακτής (ή οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατασκευή πάνω απ' αυτή) με φροντίδα και δαπάνες του

Κατασκευή Χώρου

- i. Όλες οι διαστάσεις που αναφέρονται στα σχέδια της ΔΕΔΔΗΕ είναι καθαρές και τελικές, δηλαδή κάτω από δοκάρια, μεταξύ υποστηλωμάτων μετά το επίχρισμα κτλ
- ii. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χώρου πρέπει να αντέχουν σε πυρκαγιά πάνω από 3 ώρες.
- iii. Οι τοίχοι, η οροφή και το υπόγειο, εφόσον γειτνιάζουν με το ύπαιθρο, θα θερμομονωθούν σύμφωνα με τον ΓΟΚ και θα στεγανοποιηθούν.
- iv. Οι τελικές επιφάνειες που θα κατασκευάζονται (τοίχοι, δάπεδα κτλ.) θα είναι λείες, κάθετες και οριζόντιες.
- v. Η οροφή θα κατασκευάζεται πάντοτε από οπλισμένο σκυρόδεμα και εσωτερικά δεν θα έχει επίχρισμα
- vi. Οι τοίχοι, εσωτερικοί ή εξωτερικοί θα κατασκευάζονται μπατικοί από τα τούβλα, πάχους τουλάχιστον 19 cm ή οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 15 cm. Αν οι τοίχοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και δεν είναι λείοι εσωτερικά τότε απαραίτητα θα αφαιρούνται τα προεξέχοντα μέρη.

- Οι τοίχοι του χώρου ΔΕΔΔΗΕ που βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του εδάφους και είναι σε επαφή με δρόμους, πεζοδρόμια, πρασιές θα υπολογιστούν σαν τοίχοι αντιστήριξης με πρόσθετα κινητά φορτία από δρόμους κλάσης 60 (DIN1072), δηλαδή 60 τόνους.
 - Σε ύψος 50 cm από το δάπεδο που θα εδράσουν οι πίνακες Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ, θα τοποθετήσει ο καταναλωτής περιμετρικά στον τοίχο χάλκινη λάμα γείωσης, διατομής τουλάχιστον 50 mm² με ελάχιστο πάχος 2 mm ή γαλβανισμένη ταινία διατομής τουλάχιστον 100 mm² με ελάχιστο πάχος 3 mm. Στην πόρτα η λάμα γείωσης θα τοποθετηθεί χωνευτά στο κατωκάσι της, ώστε να μην εξέχει. Η στήριξη της λάμας στους τοίχους και στο κατωκάσι της πόρτας θα γίνει με ατσαλόκαρφα ή με κατάλληλα αγωγιμα στηρίγματα. Στη λάμα γείωσης θα συνδέσει ο καταναλωτής:
 - Τις σιδερένιες βέργες που θα βγαίνουν από το "ισοδυναμικό πλέγμα", αφού επικασσιτερώσει τις θέσεις που θα συνδεθούν μ' αυτή και
 - τον αγωγό γείωσης των μεταλλικών του (ο αγωγός αυτός θα οδεύει από το υπόγειο στο χώρο ΔΕΔΔΗΕ). Δε συνιστάται η εκ προθέσεως γείωση της πόρτας εισόδου.
- vii. Το δάπεδο που θα εδράσουν οι πίνακες Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ:
- Θα κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και θα αντέχει σε βάρος 1500 kg/m² .
 - Θα είναι απόλυτα λείο και οριζόντιο (συνιστάται πατητή τσιμεντοκονία ή γαρμπιλομωσαϊκό).
 - Θα διαμορφωθεί σύμφωνα με τα σχέδια της ΔΕΔΔΗΕ.
 - Θα έχει σε βάθος 5 cm από την τελική στάθμη που θα εδράσουν οι πίνακες Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ και σ' όλο το εμβαδά του δομικό πλέγμα από σιδερένιες βέργες Φ4 που θα σχηματίζουν ορθογώνια ή τετράγωνα ανοίγματα, ή πλέγμα Δάριγκ αντίστοιχης διατομής. Οι πλευρές των ανοιγμάτων δε θα είναι μεγαλύτερες από 30 cm. Τα σημεία που θα ενώνονται οι βέργες ή τα φύλλα του πλέγματος Δάριγκ θα ηλεκτροσυγκολληθούν μεταξύ τους.
 - Στο πλέγμα θα ηλεκτροσυγκολληθούν τουλάχιστον 4 σιδερένιες βέργες διαμέτρου Φ 0,6 μία σε κάθε πλευρά, που θα βγαίνουν έξω από το δάπεδο και θα τις συνδέσει με τη χάλκινη λάμα γείωσης (βλέπε § 2.6

- Στο πλέγμα αυτό μπορεί ο καταναλωτής να συνδέσει ηλεκτρικά και τον οπλισμό της πλάκας, σε καμιά όμως περίπτωση ο οπλισμός της πλάκας δε θα αντικαθιστά το ισοδυναμικό πλέγμα.
- viii. Είσοδος τροφοδοτικού καλωδίου ΔΕΔΔΗΕ Η είσοδος του τροφοδοτικού καλωδίου ΔΕΔΔΗΕ, που οδεύει στο πεζοδρόμιο και σε βάθος 1 m, θα γίνεται διαμέσου σωλήνων και καναλιών (σύμφωνα με το κατασκευαστικό σχέδιο). ΠΡΟΣΟΧΗ: ακτίνα καμπυλότητας καλωδίου Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ 1,80 m. Αν υπάρχει πρόβλημα στην είσοδο του τροφοδοτικού καλωδίου θα αντιμετωπιστεί μεγαλώνοντας το χώρο παροχής Μ.Τ. ή ακόμα και με την κατασκευή υπογείου ύψους 0,8 m σε ολόκληρο το χώρο παροχής Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ.
- ix. Χρωματισμός εξωτερικών χώρων Οι κατασκευές από σκυρόδεμα θα βάφονται με τσιμεντόχρωμα λευκό. Τα επιχρίσματα των τοίχων θα βάφονται με πλαστικό λευκό χρώμα.
- x. Μεταλλικές κατασκευές
- Οι πόρτες θα έχουν κλειδαριά κατασκευής YALE με αφαλό 5 ελατηρίων που θα μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί, θα ανοίγουν από μέσα προς τα έξω, θα έχουν θέσεις (αυτιά) που να μπορεί να τοποθετηθεί λουκέτο και εξωτερικά θα έχουν χειρολαβή στιβαρής κατασκευής. Θα κατασκευάζονται από λαμαρίνα πάχους 1,5mm τουλάχιστον και αν είναι εξωτερικές (επικοινωνούν με το υπαίθρο) θα έχουν θερμομόνωση.
 - Οι πόρτες δε θα συνδέονται με τη λάμα γείωσης (π.χ. με σταθερό ή εύκαμπτο αγωγό).
 - Στην πόρτα θα στερεωθούν μόνιμα ενδεικτικές πινακίδες με την ένδειξη "ΚΙΝΔΥΝΟΣ -ΘΑΝΑΤΟΣ".
 - Ο καταναλωτής θα τις βάψει με δύο στρώματα μίνιου και στη συνέχεια ένα στρώμα ντούκο χρώματος γκρι ή άλλου χρώματος αν η αισθητική του κτιρίου το επιβάλλει.
 - Ο καταναλωτής θα σκεπάζει τα χαντάκια και τα ανοίγματα που θα μείνουν μετά την τοποθέτηση των πινάκων Μ.Τ. με μπακλαβωτή λαμαρίνα πάχους 3 mm.
 - Όλες οι μεταλλικές κατασκευές μέσα στο χώρο ΔΕΔΔΗΕ (πόρτα, "Π", λαμαρίνες κτλ), θα βάφονται με μίνιο και με χρώμα ντούκο γκρι.

- xi. Παροχή τηλεφωνικής γραμμής Με την απελευθέρωση της αγοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας προέκυψε η ανάγκη εκσυγχρονισμού των μετρητικών συστημάτων των Επιλεγόντων πελατών Μέσης Τάσης ώστε οι καταναλώσεις να τηλεμετρώνται. Μέσα στα πλαίσια αυτά η ΔΕΔΔΗΕ προχωρεί στην καταμέτρηση των καταναλώσεων των πελατών Μ.Τ. μέσω ενεργών τηλεφωνικών γραμμών. Για το σκοπό αυτό ο κάθε Καταναλωτής θα πρέπει να παρέχει μια ενεργό τηλεφωνική γραμμή στο χώρο παροχής Μ.Τ. ΔΕΔΔΗΕ ή στο στύλο παροχής ΔΕΔΔΗΕ και κοντά στο μετρητή (παροχή τύπου Β ή Α αντίστοιχα). Οι ώρες της χρήσης της τηλεφωνικής γραμμής για την επικοινωνία με το μετρητή μας θα συμφωνούνται από κοινού μεταξύ της Επιχείρησης και του καταναλωτή.

2.1.2 Εγκατάσταση πελάτη μέσης τάσης

Η εγκατάσταση του καταναλωτή είναι συνήθως στεγασμένη και αποτελείται από:

- τον πίνακα ΜΤ,
- τον Μετασχηματιστή ισχύος
- το γενικό πίνακα διανομής ΧΤ,
- τους ζυγούς χαμηλής και μέσης τάσης
- τα καλώδια χαμηλής και μέσης τάσης
- την εγκατάσταση γείωσης και
- τα όργανα μέτρησης και αυτοματισμού

Σε κάθε κτίριο ή χώρο ειδικής χρήσης που πρόκειται να συνδεθεί με το δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) της ΔΕΔΔΗΕ πρέπει να προβλέπονται οι αναγκαίοι χώροι για το σκοπό αυτό. Ο χώρος μέσα στον οποίο προορίζεται να εγκατασταθούν τα μηχανήματα της ΔΕΔΔΗΕ (κυψέλη εισόδου, εξόδου καλωδίου, κυψέλη προστασίας και κυψέλη μέτρησης) πρέπει να είναι κατασκευασμένο σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες της ΔΕΔΔΗΕ. Οι ιδιωτικοί χώροι που προορίζονται για την εγκατάσταση μηχανημάτων. (πινάκων διανομής μετασχηματιστών κλπ.) πρέπει να παρέχουν ευχερή προσπέλαση για ανθρώπους σε περίπτωση ανάγκης και δυνατότητα προσκόμισης μηχανημάτων. Για την εγκατάσταση του υποσταθμού υποβιβασμού τάσης, πρέπει να προβλεφθούν οι κατάλληλοι χώροι για την εγκατάσταση: - διακοπών μέσης τάσης (ΜΤ) - μετασχηματιστών (Μ/Σ) - διανομής χαμηλής τάσης (ΧΤ) Από αυτούς, ο χώρος διακοπών ΜΤ και μετασχηματιστών Μ/Σ πρέπει να είναι κλειστοί και κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες

από χαλυβδοέλασμα πάχους 1 mm κατ' ελάχιστο με ανοίγματα αερισμού (περσίδες). Το ελάχιστο ύψος του χώρου (κάτω από δοκούς κλπ.) πρέπει να είναι 3,00 m.

Η διάταξη των συσκευών μέσα στους παραπάνω χώρους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζεται η ευχερής συντήρηση και λειτουργία τους. Ειδικά για τον πίνακα Μ.Τ., η απόσταση από τον αντικείμενο τοίχο πρέπει να είναι 1,20 m κατ' ελάχιστο.

Η διάταξη των Μ/Σ πρέπει να είναι τέτοια, ώστε για οποιονδήποτε Μ/Σ η οριζόντια απόσταση μεταξύ του κελύφους της ΧΤ του αντικείμενου τοίχου ή διαχωριστικού πλέγματος να είναι τουλάχιστον 1,20 m. Η αντίστοιχη απόσταση μεταξύ του κελύφους του Μ/Σ και του αντικείμενου τοίχου από την πλευρά της ΜΤ πρέπει να είναι 0,40 m. Οι άλλες δύο πλευρές εκατέρωθεν του Μ/Σ πρέπει να απέχουν από το αντικείμενο τοίχο 0,80 m κατ' ελάχιστο η κάθε μία. Η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση του ψηλότερου σημείου του Μ/Σ και του χαμηλότερου σημείου της οροφής να είναι 0,40 m.

Ο υποσταθμός μετασχηματισμού τάσης θεωρείται διαμέρισμα ηλεκτρικής υπηρεσίας, υπό την έννοια του ΚΕΗΕ (ορισμός υπ'αρ.38) και η πρόσβαση στους χώρους του επιτρέπεται μόνο στο αρμόδιο προσωπικό. Οι χώροι του υποσταθμού σημαίνονται υποχρεωτικά με επιγραφές απαγόρευσης εισόδου, αναγγελίας κινδύνου και αναγγελίας ψηλής τάσης.

Ο χώρος του ή των Μ/Σ πρέπει να εξασφαλίζει επαρκή αερισμό (φυσικό ή τεχνητό) για την απαγωγή της θερμότητας των αυτόψυκτων μετασχηματιστών ισχύος. Συνιστάται η κατασκευαστική διαμόρφωση του χώρου, ώστε η ψύξη να επιτυγχάνεται με φυσικό εξαερισμό. Απαγορεύεται η μεταβολή των οιασδήποτε ανοιγμάτων αερισμού από τον κατασκευαστή ή τους χρήστες του κτιρίου καθώς και η παρεμπόδιση του αερισμού με έμφραξη ή κάλυψη των ανοιγμάτων αυτών με οποιαδήποτε αντικείμενα. Ο χώρος του Μ/Σ πρέπει να διαθέτει είτε λεκάνη επαρκούς χωρητικότητας για τη περισυλλογή του λαδιού σε περίπτωση διαρροής, χωρίς όμως να αφήνει στο λάδι ελεύθερη επιφάνεια προς την αποφυγή πυρκαγιάς (πχ. με τοποθέτηση στη λεκάνη στρώματος σκύρων κατάλληλου πάχους) είτε κατάλληλη διάταξη απαγωγής του λαδιού από το χώρο. Ακόμα να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την πυρόσβεση βάσει των ισχυόντων κανονισμών.

Οι χώροι μέσης τάσης (διακοπών και μετασχηματιστών) απαγορεύεται να έχουν οποιοδήποτε άνοιγμα προς κλιμακοστάσιο (άνοιγμα κουφώματος, αεραγωγό, γρίλλιες κλπ). Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται πόρτα, που είναι αναγκαία για την πρόσβαση προς αυτό, εφ' όσον έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α. Είναι στο σύνολό της σιδερένια και όπου έχει λαμαρίνα το πάχος της είναι 1,5 mm. β. Δεν έχει γρίλλιες ή οποιοδήποτε άλλο άνοιγμα. γ. Εφάπτεται σε πατούρες της κάσας σε πλάτος τουλάχιστο 25mm δ. Έχει μηχανισμό επαναφοράς στην κλειστή θέση. Εναλλακτικά, η πόρτα αυτή αρκεί να έχει δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστο μισής ώρας, όπως προκύπτει από πιστοποιητικό αναγνωρισμένου εργαστηρίου.

Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η κατασκευή υπαίθριου υποσταθμού ή η τοποθέτηση προκατασκευασμένου υποσταθμού επί του γηπέδου ύστερα από άδεια του αρμόδιου πολεοδομικού γραφείου και εφόσον ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα, ώστε να μην προκαλείται ενόχληση στους γείτονες.

Οι αναφερόμενες ελάχιστες αποστάσεις των συσκευών του υποσταθμού από τα οικοδομικά στοιχεία δεν ισχύουν προκειμένου περί εγκεκριμένων τυποποιημένων υποσταθμών πάσης φύσεως.

Σε περίπτωση που ένα κτίριο διαθέτει ίδια πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την τροφοδότηση ζωτικών φορτίων σε περίπτωση διακοπής της τροφοδότησης από το δίκτυο (ΔΕΔΔΗΕ), πρέπει να προβλέπονται αντίστοιχοι χώροι. Οι χώροι αυτοί, που κατατάσσονται επίσης σε χώρους ηλεκτρικής υπηρεσίας, πρέπει να είναι κλειστοί, κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά και με επαρκή αερισμό φυσικό ή τεχνητό και σημαίνονται κατάλληλα.

Ειδικότερα, χώροι που προορίζονται για τοποθέτηση συσσωρευτών πρέπει να έχουν επαρκή εξαερισμό και εφόσον το απαιτούν οι κανονισμοί αντιεκρηκτική ηλεκτρική εγκατάσταση.

Τα δάπεδα των χώρων ηλεκτρικής υπηρεσίας πλην χώρων μετασχηματιστών και ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, πρέπει να υπολογίζονται για φορτίο 500 kp/m². Τα δάπεδα των χώρων Μ/Σ πρέπει να ελέγχονται επιπλέον και βάσει των πραγματικών συνθηκών φόρτισης με το συγκεκριμένο μηχάνημα (βάρος, τρόπος στήριξης, ταλαντώσεις κλπ.). Το ίδιο ισχύει και για τους

χώρους από τους οποίους προβλέπεται διέλευση των πιο πάνω μηχανημάτων.

Οι περιμετρικοί τοίχοι των χώρων των υποσταθμών πρέπει να είναι μπατικοί ή σε περίπτωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος να έχουν πάχος τουλάχιστο 15 cm.

Μέσα στο χώρο του υποσταθμού, στο πάχος των περιμετρικών τοίχων, κάτω από το δάπεδο και στην πλάκα επικάλυψης του Υ/Σ δεν πρέπει να περνά εγκατάσταση ξένη προς τον προορισμό του Υ/Σ (πχ σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεων, σωλήνες θέρμανσης κλπ.).

2.1.3 Πίνακας Μέσης Τάσης

Ανάλογα με το είδος της παροχής που θα υποδείξει η ΔΕΗ, ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να εγκαταστήσει συγκεκριμένα μέσα προστασίας προστασίας στον πίνακα ΜΤ.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι παροχών μέσης τάσης. Η τελική επιλογή του τύπου της παροχής γίνεται από τη ΔΕΗ και εξαρτάται από τη συμφωνημένη ισχύ του καταναλωτή και τη δομή και την τάση του δικτύου από όπου θα τροφοδοτηθεί ο καταναλωτής. Ανάλογα με την παροχή που θα επιλεγεί, ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να εγκαταστήσει τις σωστές προστασίες που επιβάλλει η ΔΕΗ.

Τύπος	Είδος παροχής	Μέσα Προστασίας ΔΕΗ	Μέσα Προστασίας Καταναλωτή	Μέγιστη ισχύς Υποσταθμού
A1	Υπαίθρια	Ασφαλειοαποζεύκτης εναέριου δικτύου με τηκτά 30T	Διακόπτης φορτίου και Ασφάλειες Μ.Τ. (εκτόνωσης βραδείας τήξης, τύπος T)	800 kVA για την Περιφέρεια Αττικής 630 kVA για υπόλοιπες Περιφέρειες
A2	Υπαίθρια	Διακόπτης Απομόνωσης	Διακόπτης φορτίου και Ασφάλειες Μ.Τ. ή Αποζεύκτης και αυτόματος διακόπτης ισχύος	>630 kVA Δεν χρησιμοποιείται στην Αττική
B1	στεγασμένη	Διακόπτης Φορτίου με Ασφάλειες Μ.Τ. (ασφάλειες σκόνης)	Αποζεύκτης	800 kVA για την Περιφέρεια Αττικής 630 kVA για υπόλοιπες Περιφέρειες
B2	στεγασμένη	Αποζεύκτης και Διακόπτης Ισχύος με προστασία σφαλμάτων γης και φάσεων	Αποζεύκτης ή Διακόπτης φορτίου (όταν έχουμε ΜΣ που παραλληλίζονται)	800 kVA για την Περιφέρεια Αττικής 630 kVA για υπόλοιπες Περιφέρειες

Τόσο στις παροχές τύπου Α όσο και στις παροχές τύπου Β, αν ο καταναλωτής έχει περισσότερους του ενός μετασχηματιστές,

αυτοί είναι δυνατόν, υπό προϋποθέσεις, να παραλληλίζονται στη Χ.Τ.

Οι πίνακες ΜΤ αποτελούνται από τρία τμήματα

- Την άφιξη – είσοδο
- Την προστασία του ΜΣ (ή τα πεδία διανομής ΜΤ) και
- Τη μέτρηση

ΠΕΔΙΟ ΑΦΙΞΗΣ

Στο πεδίο άφιξης συνδέεται το παροχικό καλώδιο ΜΤ της ΔΕΗ. Αν πρόκειται για εναέρια παροχή της ΔΕΗ συχνά εγκαθίστανται και αλεξικέραυνα γραμμής.

ΠΕΔΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Το πεδίο προστασίας ή διανομής ΜΤ περιλαμβάνει όλα τα διακοπτικά / αποζευκτικά μέσα για χειρισμούς και την προστασία του ΜΣ. Ανάλογα και με το είδος της παροχής, μπορεί να περιλαμβάνει διακόπτη φορτίου με ασφάλειες ή αποζεύκτη και αυτόματο διακόπτη ισχύος τύπου SF6 / κενού κτλ. Όταν πρόκειται για αυτόματους διακόπτες ισχύος, εγκαθίσταται και ηλεκτρονόμοι δευτερογενούς προστασίας για την προστασία από υπερεντάσεις, βραχυκυκλώματα και διαρροές ως προς γη.

ΠΕΔΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Το πεδίο μέτρησης περιλαμβάνει τους ΜΣ τάσης για τη μέτρηση της τάσης της εγκατάστασης. Για την προστασία τους προηγείται ένας αποζεύκτης και ασφάλειες ΜΤ.

Για την προστασία του χειριστή και του συντηρητή της εγκατάστασης, οι πόρτες των πεδίων είναι μηχανικά μανδαλωμένες με τον γειωτή και τους αποζεύκτες κάθε πεδίου.

Οι πίνακες ΜΤ είναι σύμφωνοι με τα διεθνή πρότυπα:

- IEC 60298 AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 54 kV
- IEC 60265 MV switches
- IEC 60129 AC disconnectors and earthing switches
- IEC 60694 Common clauses for MV switchgear and controlgear

- IEC 60420 MV AC switch-fuse combinations
- IEC 60056 MV AC circuit breakers
- IEC 60282-1 MV fuses
- IEC 60185 Current transformers
- IEC 60186 Voltage transformers
- IEC 60801 Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment.

2.2 Πίνακες Χαμηλής Τάσης

Η διαμόρφωση και η κατασκευή ενός πίνακα ΧΤ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται. Για κάθε εφαρμογή εφαρμόζονται και τα αντίστοιχα πρότυπα.

Οι γενικοί πίνακες διανομής, ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης, μπορούν να είναι διαιρούμενοι τύπου πεδίου (για ονομαστική ένταση πάνω από 160Α), επίτοιχοι ή εντοιχισμένοι αν πρόκειται για μικρή εγκατάσταση.

Οι πίνακες τύπου πεδίου, έχουν ευελιξία ως προς τον σχεδιασμό και τις διαστάσεις, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και του πελάτη. Κάθε πεδίο είναι επισκέψιμο από την μπροστινή και την πίσω πλευρά με αφαίρεση της πλάτης τους. Ο βαθμός προστασίας του πίνακα μπορεί να είναι ως IP66 ανάλογα με την εφαρμογή. Η δομή κάθε πίνακα είναι τέτοια ώστε να διευκολύνεται η συντήρησή του και η αντικατάσταση του εξοπλισμού. Το διακοπτικό υλικό και τα όργανα μέτρησης μπορούν να τοποθετηθούν στην πρόσοψη του πίνακα για τον εύκολο χειρισμό και οπτικό έλεγχο της κατάστασής του.

2.2.1 Γενικοί Πίνακες Διανομής

Η αντιστάθμιση της άεργης ισχύος μιας εγκατάστασης επιφέρει σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ρεύματος, αποφορτίζοντας και διευκολύνοντας τη μεταφορά ισχύος στο δίκτυο της ΔΕΗ. Ταυτόχρονα, το μικρότερο συνιστάμενο ρεύμα συμβάλει στη μείωση των απωλειών του δικτύου και στη βελτίωση της ποιότητάς του.

Η αντιστάθμιση μπορεί να γίνει είτε κεντρικά είτε τοπικά στα επιμέρους φορτία. Η τοπική αντιστάθμιση είναι πιο ακριβής γιατί τοποθετούνται πυκνωτές με ισχύ πολύ κοντά στην άεργη ισχύ που απαιτεί το φορτίο αλλά έτσι επιβαρύνεται το κοστολόγιο. Γι'

αυτό προτιμάται στις περισσότερες περιπτώσεις η κεντρική αντιστάθμιση.

Στους πίνακες κεντρικής αντιστάθμισης ενσωματώνεται συσκευή αυτόματης ρύθμισης ισχύος, η οποία υπολογίζει κάθε στιγμή τη ζήτηση άεργης ισχύος και με βηματικούς συνδυασμούς πυκνωτών ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τα αντίστοιχα ρελέ. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης μόνιμων πυκνωτών για την αντιστάθμιση του φορτίου βάσης της εγκατάστασης.

2.2.2 Πίνακες Αντιστάθμισης

Με την ευρεία διάδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, δημιουργήθηκε η ανάγκη να προσθέσουμε στα προϊόντα μας πίνακες προσαρμοσμένους στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

Οι πίνακες DC περιλαμβάνουν απαγωγούς υπερτάσεων (αντικεραυνικά), διακόπτες φορτίου και σε περιπτώσεις μεγάλων εγκαταστάσεων με πολλές στοιχειοσειρές και μικροαυτόματους διακόπτες.

Οι πίνακες AC είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις της ΔΕΗ και περιλαμβάνουν γενικό διακόπτη απόζευξης, μικροαυτόματες ασφάλειες και διακόπτη διαρροής έντασης (αντιηλεκτροπληξιακός RCD). Ακόμα, τοποθετούνται αντικεραυνικές προστασίες για την προστασία από άμεσα ή έμμεσα κεραυνικά πλήγματα.

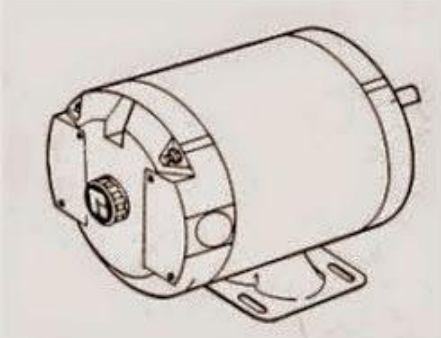
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

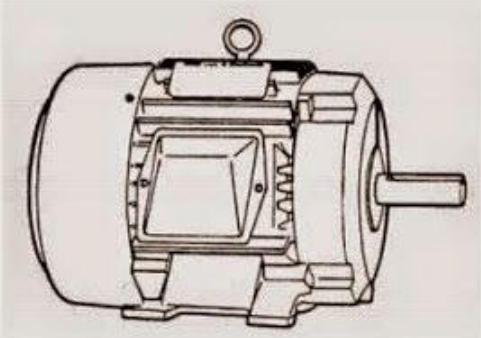
3.1 Γενικά περί ηλεκτρικών επαγωγικών μηχανών

Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες: τις σύγχρονες μηχανές και τις ασύγχρονες μηχανές ή μηχανές επαγωγής. Το ρεύμα διέγερσης των σύγχρονων μηχανών παράγεται από ανεξάρτητες πηγές Σ.Ρ ενώ το ρεύμα διέγερσης των επαγωγικών μηχανών παράγεται επαγωγικά (αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή) στα τυλίγματα διέγερσης τους. Αυτού του είδους οι μηχανές έλαβαν την ονομασία επαγωγικές λόγω του ότι η τάση στο δρομέα (που παράγει το ρεύμα διέγερσης και το πεδίο του δρομέα) ουσιαστικά επάγεται στο κύκλωμα διέγερσης αντί να προσφέρεται σε αυτό με κάποια ηλεκτρική σύνδεση.

Synchronous vs Induction Motors



- Synchronous Motors
 - Turn at exactly the same speed as the rotating magnetic field.
 - 3600 rpm, 1800 rpm, etc.



- Induction Motors
 - Turn at less than synchronous speed under load.
 - 3450 rpm, 1740 rpm, etc.

Εικόνα 11: Σύγκριση μεταξύ σύγχρονων και ασύγχρονων ηλεκτρικών μηχανών

Η ουσιαστική διαφορά ενός επαγωγικού κινητήρα είναι το γεγονός ότι για να κινηθεί δεν είναι απαραίτητο να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα διέγερσης. Η επαγωγική μηχανή μπορεί να λειτουργεί και σαν κινητήρας και σαν

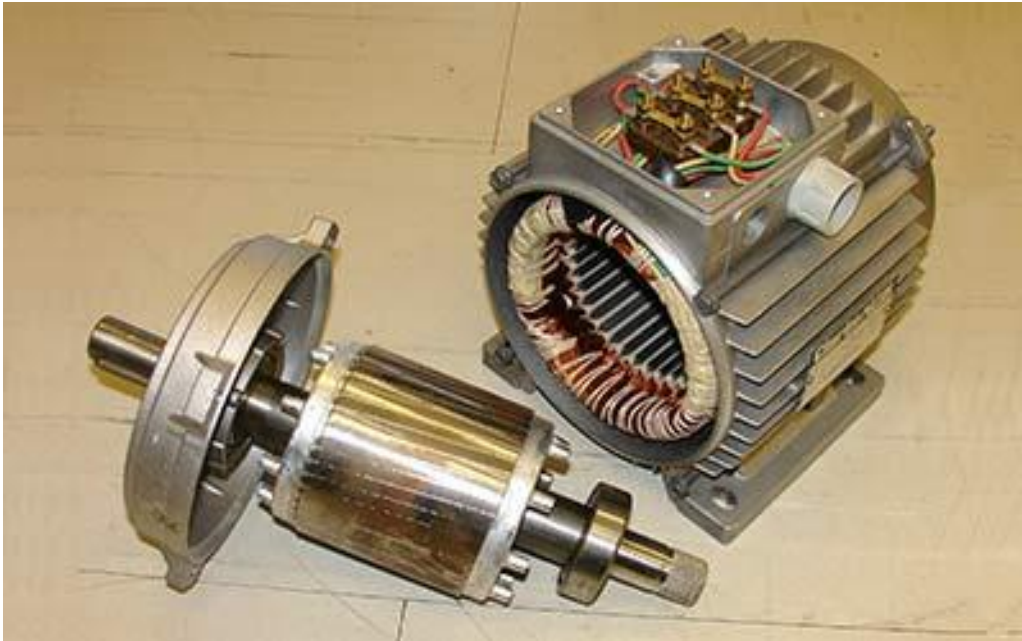
γεννήτρια. Όμως κατά τη λειτουργία της ως γεννήτρια παρατηρούνται πολλά μειονεκτήματα, πράγμα που την κάνει να χρησιμοποιείται σπάνια ως γεννήτρια. Συνέπεια τούτου είναι όλες οι επαγωγικές μηχανές να αναφέρονται ως επαγωγικοί κινητήρες.

3.2 Κατασκευαστική Στοιχεία των Επαγωγικών Μηχανών

Οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές είτε αυτές είναι γεννήτριες, είτε είναι κινητήρες έχουν μια ανάλογη δομή καθώς κατά βάση συνιστούν στρεφόμενα πηνία ειδικής κατασκευής και ποικίλου μεγέθους. Στις γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος, τα δύο άκρα της σπείρας συνδέονται με δύο μεταλλικά δακτυλίδια που είναι ηλεκτρικά μονωμένα ως τον άξονα του τυμπάνου, είναι στερεωμένα πάνω σ' αυτόν και περιστρέφονται μαζί του. Η διάταξη του επαγωγικού τυμπάνου στις γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος συμπληρώνεται από ψήκτρες από άνθρακα που είναι στερεωμένες στο ακίνητο μέρος της μηχανής και εφάπτονται στα μεταλλικά δακτυλίδια. Οι ψήκτρες αυτές συνδέονται μεταξύ τους με μια εξωτερική αντίσταση. Αυτή η αντίσταση αποτελεί είτε το φορέα του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από τη γεννήτρια είτε το φορέα τροφοδοσίας ενός κινητήρα. Οι κινητήρες με τη σειρά τους παρά την αρκετά εκτεταμένη διάκρισή τους σε διάφορες κατηγορίες και υποκατηγορίες έχουν κάποια κοινά στοιχεία δομής. Μια παραδοσιακή δομή των ηλεκτροκινητήρων παρουσιάζεται στην παρακάτω παράγραφο.

Οι ηλεκτροκινητήρες έχουν δύο μέλη, ένα σταθερό μέλος που λέγεται στάτης (stator) και ένα στρεφόμενο μέλος που λέγεται δρομέας (rotor). Επειδή θέλουμε να έχουμε μειωμένη τη μαγνητική αντίσταση των δρόμων της μαγνητικής ροής, οι πυρήνες του στάτη και του δρομέα κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικό υλικό σε μορφή μονωμένων μεταξύ τους ελασμάτων. Αυτό αποσκοπεί στην ελάττωση των απωλειών δινορρευμάτων. Κάνοντας μια γενική περιγραφή μπορούμε να πούμε πως ο δρομέας είναι βασικά ένας κύλινδρος και ο στάτης ένας κούφιος κύλινδρος. Ο δρομέας και ο στάτης χωρίζονται από ένα μικρό διάκενο αέρα. Το μήκος του διακένου αυτού είναι πολύ μικρό αν συγκριθεί με τη διάμετρο του δρομέα. Το τύλιγμα τυμπάνου βρίσκεται είτε στο στάτη, είτε στο δρομέα. Το μαγνητικό κύκλωμα συμπληρώνεται μέσα από το σιδηρομαγνητικό υλικό του άλλου κύριου μέλους της μηχανής. Στο μέλος αυτό τοποθετούνται τα πηνία διέγερσης ή τυλίγματα πεδίου που ενεργούν σαν κύριες πηγές μαγνητικής ροής. Στους κινητήρες επαγωγής η τοποθέτηση των τυλιγμάτων συνίσταται στην τοποθέτηση πηνίων σε ομοιόμορφα διανεμημένες αύλακες, τόσο στο στάτη όσο και στο δρομέα. Η απόσταση μεταξύ των πλευρών του πηνίου είναι συνήθως ίση με ένα απλό πολικό

βήμα. Για να σχηματισθεί ένα πλήρες τύλιγμα τοποθετούνται όμοια πηνία σε άλλα ζευγάρια αυλάκων και στη συνέχεια όλα τα πηνία συνδέονται μεταξύ τους σε ομάδες. Οι ομάδες των πηνίων μπορεί τότε να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα και σε τριφασικές μηχανές κατ' αστέρα ή κατά τρίγωνο. Μερικά τυλίγματα είναι διπλού στρώματος. Σε τέτοια τυλίγματα κάθε αύλακα περιέχει δύο πλευρές πηνίου, μια στην κορυφή και μια στον πυθμένα της. Κάθε πηνίο έχει μια πλευρά σε πάνω μέρος και την άλλη σε κάτω μέρος αύλακας. Ένας τυπικός στάτης και δρομέας φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 12:Στάτης και δρομέας επαγωγικού κινητήρα

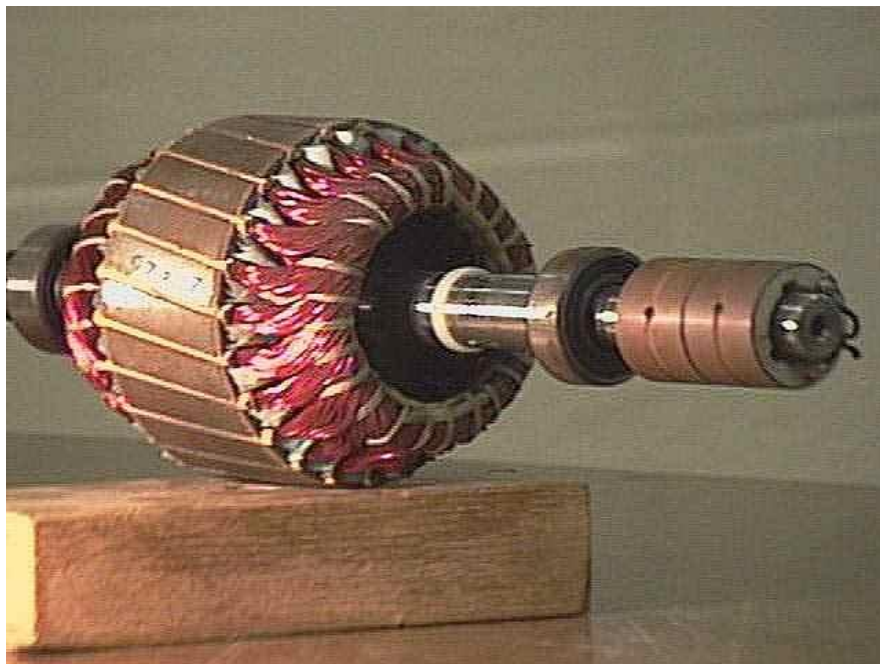
Η περιέλιξη που βρίσκεται στα αυλάκια του δρομέα χαρακτηρίζει και το είδος της επαγωγικής μηχανής:

- Επαγωγική μηχανή με δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού: Αποτελείται από μία σειρά αγωγικών ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δύο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων.



Εικόνα 13: Δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού

- Επαγωγική μηχανή με δακτυλιοφόρο δρομέα: Διαθέτει ολοκληρωμένο τριφασικό τύλιγμα όπου είναι τοποθετημένο ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη. Οι τρεις φάσεις συνδέονται συνήθως σε αστέρα, ενώ τα άκρα των αγωγών συνδέονται σε δακτυλίους. Οι αγωγοί του δρομέα βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Άρα τα ρεύματα του δακτυλιοφόρου δρομέα μπορούν να μετρηθούν στις ψήκτρες κι ακόμη είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα διέγερσης.



Εικόνα 14: Δρομέας δακτυλιοφόρος

Λόγω της τελευταίας δυνατότητας είναι εφικτή η επεξεργασία της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα.

Τα μη ενεργά μέρη της μηχανής είναι το περίβλημα, ο άξονας, τα έδρανα, τα πλέγματα, ο ανεμιστήρας και άλλα εξαρτήματα στήριξης, στερέωσης και μόνωσης.

3.3 Αρχή λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής ως κινητήρα παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στο κύριο τύλιγμα της μηχανής, που λέγεται τύλιγμα τυμπάνου και αποδίδεται μηχανική ενέργεια εξόδου πάνω σε μια περιστρεφόμενη άτρακτο (δρομέας). Μια εξωτερικά επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση V οδηγεί ένα ρεύμα i μέσα στο τύλιγμα τυμπάνου ενάντια σε μια εσωτερικά επαγόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη e . Το τύλιγμα τυμπάνου γίνεται έτσι ικανό να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό $e \times i$. Το πεδίο ζεύξεως ασκεί μια στιγμιαία ηλεκτρομαγνητική ροπή $T_{πεδ}$ πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω , τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι $T_{πεδ} \times \omega$. Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου $T_{εξ}$ δρα με φορά αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς ότι:

$$T_{πεδ} - T_{εξ} = J \times d\omega/dt$$

Όπου J είναι η ροπή αδρανείας του δρομέα και του μηχανικού του φορτίου (η κίνηση του οποίου είναι ο τελικός σκοπός της ύπαρξης του κινητήρα).

Όταν $T_{πεδ} = T_{εξ}$ τότε $d\omega/dt = 0$ και η μηχανή περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας έχουμε ότι:

$$(T_{πεδ} \times \omega) = (e \times i)$$

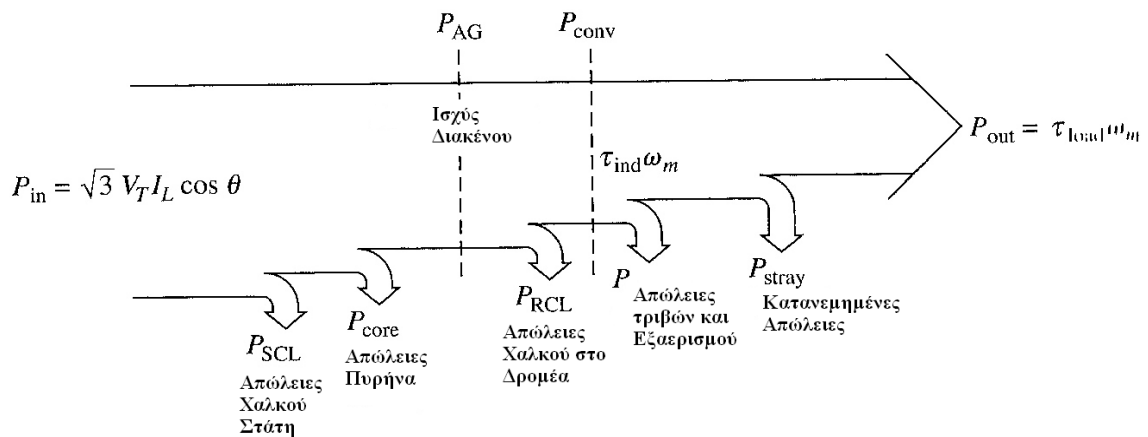
Δεδομένου ότι στο τύλιγμα τυμπάνου αναπτύσσεται μια ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη), χρειαζόμαστε ένα μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως που συνηθέστατα (εκτός από την περίπτωση μόνιμου μαγνήτη στις μικρές μηχανές), στην πράξη παρέχεται από τυλίγματα διεγέρσεως ή τυλίγματα πεδίου. Στη μόνιμη λειτουργία των συνηθών μηχανών της πράξης, οι οποίες έχουν χωριστά τροφοδοτούμενο τύλιγμα διεγερσης, η μέση τιμή της ισχύος που τροφοδοτεί το τύλιγμα αυτό δαπανάται υπό μορφή θερμότητας.

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν γεννήτριας παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην άτρακτο της ηλεκτρικής

μηχανής από μια πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή (prime mover) και ηλεκτρική ενέργεια εξόδου είναι διαθέσιμη στους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου. Η πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι για παράδειγμα, είτε ένας ατμοστρόβιλος σ' ένα θερμικό σταθμό παραγωγής, είτε ένας υδροστρόβιλος σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής, είτε μια εμβολοφόρα μηχανή εσωτερικής καύσεως σ' ένα απομονωμένο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Τέλος, κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν πέδη, η μηχανή τροφοδοτείται και με μηχανική και με ηλεκτρική ενέργεια. Η ολική ενέργεια εισόδου χάνεται μέσα στη μηχανή με μορφή απωλειών και έτσι η μηχανή λειτουργεί σαν πέδη και φρενάρει.

3.4 Απώλειες και διάγραμμα ροής ισχύος

Η σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική ισχύ εισόδου και στην μηχανική ισχύ εξόδου ενός επαγωγικού κινητήρα παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής ισχύος.



Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής ισχύος

Απώλειες χαλκού στάτη $P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$

Απώλειες υστέρησης και δινορρευμάτων P_{core} (δίνονται)

Ισχύς διακένου $P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core}$

Απώλειες χαλκού δρομέα $P_{RCL} = 3I_2^2 R_2$ ή $P_{RCL} = sP_{AG}$

Μηχανική ισχύς $P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$ ή
 $P_{conv} = (1-s) \cdot P_{AG}$

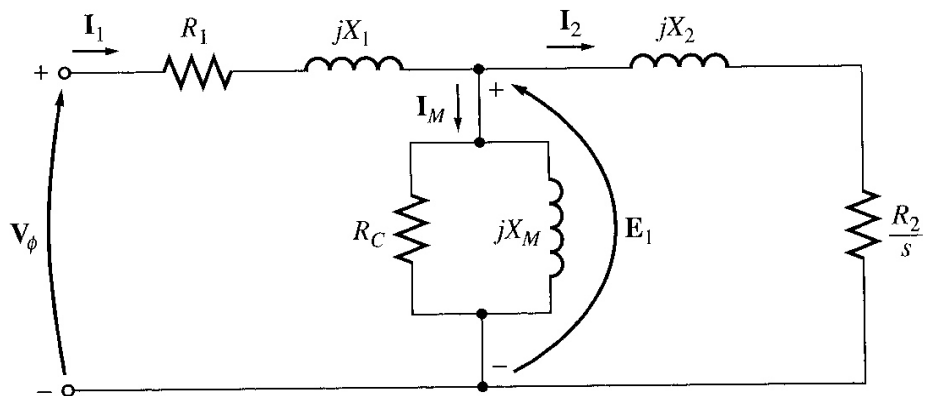
Επαγόμενη ροπή $\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$ ή
 $\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}}$

Ροπή εξόδου ή ροπή φορτίου $\tau_{out} = \frac{P_{out}}{\omega_m}$

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες τριβών, εξαερισμού και οι κατανεμημένες απώλειες. Από την άλλη, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του κινητήρα (πιο κοντά στην n_s), τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες πυρήνα. Δηλαδή όσο μικρότερη είναι η ολίσθηση, τόσο μικρότερη είναι η τιμή των απωλειών στο δρομέα της μηχανής. Στη περίπτωση που ο κινητήρας δεν περιστρέφεται, η ολίσθηση είναι $s=1$ και η ισχύς διακένου καταναλώνεται εξ ολοκλήρου στο κύκλωμα του δρομέα μιας και η ισχύς εξόδου είναι μηδενική.

3.5 Το Ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα

Η λειτουργία του κινητήρα βασίζεται στις τάσεις και στα ρεύματα που παράγονται εξ επαγωγής στο δρομέα και οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επειδή κατά την παραγωγή των τάσεων και των ρευμάτων ο επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί εντελώς όμοια με έναν μετασχηματιστή, το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα μοιάζει αρκετά με αυτό του μετασχηματιστή. Ο επαγωγικός κινητήρας ονομάζεται και μηχανή απλής διέγερσης επειδή τροφοδοτείται με ισχύ μόνο από το κύκλωμα του στάτη. Επειδή ο επαγωγικός κινητήρας δεν διαθέτει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης, στο ισοδύναμο κύκλωμά του δεν υπάρχει εσωτερική πηγή τάσης, όμοια με την εσωτερική τάση E_a των σύγχρονων μηχανών.



Εικόνα 16: Ισοδύναμο κύκλωμα επαγωγικού κινητήρα

R_1 : ωμική αντίσταση στάτη

R_2 : ωμική αντίσταση δρομέα

X_1 : αντίδραση διαρροής

X_2 : επαγωγική αντίδραση δρομέα

R_c : απώλειες πυρήνα

X_M : αντίσταση μαγνήτισης

3.6 Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής

Όταν ο κινητήρας δουλεύει χωρίς φορτίο η ολίσθηση είναι μικρή και η σχετική κίνηση ανάμεσα στα μαγνητικά πεδία του στάτη και του δρομέα είναι πολύ μικρή. Η τάση που επάγεται στις ράβδους του δρομέα είναι μικρή και κατά συνέπεια είναι μικρό και το ρεύμα στο δρομέα. Το ρεύμα στο στάτη είναι αρκετά μεγάλο, ακόμα και όταν ο κινητήρας δουλεύει χωρίς φορτίο. Εάν προστεθεί φορτίο στον κινητήρα η ολίσθηση αυξάνεται, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μειώνεται και αυξάνονται η τάση που επάγεται στις ράβδους του δρομέα, το ρεύμα του δρομέα και το ρεύμα του στάτη. Το μέτρο του μαγνητικού πεδίου του στάτη και η γωνία μεταξύ του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και του πεδίου του στάτη αυξάνονται με συνέπεια την αύξηση της ροπής. Αύξηση της γωνίας μεταξύ του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και του πεδίου του στάτη σε τιμές μεγαλύτερες των 90 μοιρών τείνει να μειώσει τη ροπή



Εικόνα 17: χαρακτηριστική ροπής στρόφων

Περιοχή χαμηλής ολίσθησης

Η ολίσθηση του κινητήρα αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του φορτίου και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μειώνεται σχεδόν γραμμικά με το φορτίο. Σε αυτή την περιοχή λειτουργίας η αντίδραση του δρομέα είναι αμελητέα και έτσι ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι προσεγγιστικά μοναδιαίος, ενώ το ρεύμα δρομέα αυξάνεται γραμμικά με την ολίσθηση.

Περιοχή μέτριας ολίσθησης

Στην περιοχή αυτή η συχνότητα του δρομέα είναι υψηλότερη από ότι στην προηγούμενη περιοχή, ενώ το μέτρο της αντίδρασης του δρομέα είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την αντίστασή του. Το ρεύμα του δρομέα δεν αυξάνεται τόσο απότομα, όπως στην προηγούμενη περιοχή και ο συντελεστής ισχύος αρχίζει να μειώνεται. Ο κινητήρας αποκτά τη μέγιστη ροπή του (ροπή ανατροπής) στο σημείο όπου για μια σημαντική αύξηση του φορτίου η αύξηση του ρεύματος εξουδετερώνεται από τη μείωση του συντελεστή ισχύος στο δρομέα.

Περιοχή υψηλής ολίσθησης

Σε αυτή την περιοχή η επαγόμενη ροπή μειώνεται με την αύξηση του φορτίου, καθώς η αύξηση του ρεύματος στο δρομέα επικαλύπτεται από τη μείωση του συντελεστή ισχύος στο δρομέα.

Σχόλια για την καμπύλη ροπής ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων

- Η επαγόμενη ροπή του ασύγχρονου κινητήρα είναι μηδέν στη σύγχρονη ταχύτητα.
- Μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο η καμπύλη ροπής ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική.
- Υπάρχει μια μέγιστη επιτρεπτή ροπή που είναι αδύνατον να ξεπεραστεί και ονομάζεται ροπή ανατροπής.
- Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι λίγο μεγαλύτερη από τη ροπή σε πλήρη φόρτιση.
- Η ροπή του κινητήρα για συγκεκριμένη ολίσθηση μεταβάλλεται με το τετράγωνο της τάσης εισόδου.
- Αν ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη, η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική.
- Αν αντιμεταθέσουμε δυο φάσεις, η φορά περιστροφής του στρεφόμενου Μ.Π. αντιστρέφεται και η επαγόμενη ροπή γίνεται αντίθετη προς τη φορά περιστροφής του δρομέα με αποτέλεσμα το απότομο σταμάτημα του κινητήρα (ακαριαία πέδηση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

4.1 Κλάσεις των επαγωγικών κινητήρων

Οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα χωρίζονται σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά την εκκίνηση αλλά και κατά την κανονική τους λειτουργία.

Στην πρώτη κλάση, οι κινητήρες παρουσιάζουν κανονικό ρεύμα εκκίνησης και κανονική ροπή εκκίνησης. Το ρεύμα εκκίνησης είναι 5-8 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού, ενώ η μέγιστη ροπή είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής και σε ταχύτητα μεγαλύτερη κατά 0,8 φορές της σύγχρονης ταχύτητας n_s (στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου). Η ολίσθηση κυμαίνεται περίπου στο 0,2.

Στη δεύτερη κλάση, οι κινητήρες παρουσιάζουν ρεύμα εκκίνησης μειωμένο κατά 25% του ρεύματος εκκίνησης της πρώτης κλάσης. Η ροπή εκκίνησης είναι ίδια με αυτήν της πρώτης κλάσης. Η ολίσθηση είναι μικρή.

Στην τρίτη κλάση, οι κινητήρες παρουσιάζουν ακόμη πιο μικρό ρεύμα εκκίνησης και ακόμη πιο μεγάλη ροπή εκκίνησης. Η ολίσθηση είναι μεγάλη. Λόγω της μεγάλης τους ροπής, χρησιμοποιούνται για την οδήγηση φορτίων με ισχύ που κυμαίνεται από 10HP έως 300HP.

Στην τέταρτη κλάση, οι κινητήρες παρουσιάζουν αρκετά χαμηλό ρεύμα εκκίνησης και πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης. Η ροπή είναι πάνω από τρεις φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής και αποδίδεται σε χαμηλές ταχύτητες. Η ολίσθηση κυμαίνεται από 0,5 έως 0,11.

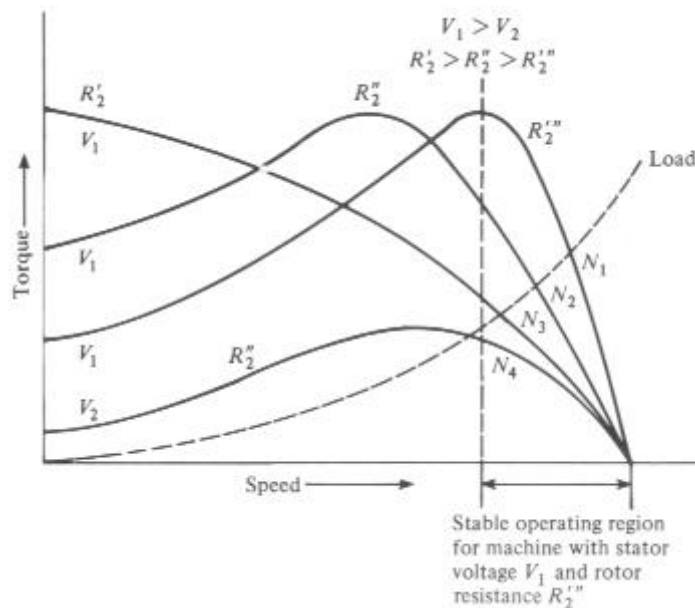
4.2 Έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων

Οι κινητήρες επαγωγής εξαιτίας της απλότητάς τους βρίσκουν πολλές εφαρμογές. Παρόλα αυτά έχουν το μειονέκτημα, σε αντίθεση με του dc κινητήρες, ότι η ταχύτητα με την οποία στρέφονται δεν μπορεί να μεταβάλλεται επαρκώς σε ένα μεγάλο εύρος τιμών, για διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Στην παρούσα παράγραφο θα γίνει μια αναφορά στους δυνατούς τρόπους ελέγχου των στροφών επαγωγικών κινητήρων.

- Μέθοδος αλλαγής του αριθμού των πόλων: Σε αυτή την μέθοδο τα τυλίγματα του στάτορα είναι σχεδιασμένα με

τέτοιο τρόπο ώστε αλλάζοντας τις συνδέσεις στα διάφορα πηνία, οι άκρες των οποίων βρίσκονται έξω από τον κινητήρα, μπορούμε να αλλάζουμε τον αριθμό των πόλων με ένα ρυθμό 2:1. Αυτό έχει ως συνέπεια δύο διαφορετικές σύγχρονες ταχύτητες.

- Μέθοδος μεταβολής της συχνότητας: Γνωρίζουμε πως η σύγχρονη ταχύτητα είναι ανάλογη της συχνότητας. Επομένως αν είναι δυνατόν να μεταβάλλουμε την συχνότητα τροφοδοσίας της τάσης, τότε αλλάζουμε και την σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα. Παράλληλα όμως, η μέγιστη αναπτυσσόμενη ροπή είναι αντιστρόφως ανάλογη της σύγχρονης ταχύτητας. Επομένως αν επιθυμούμε (σχεδόν) σταθερή μέγιστη ροπή, θα πρέπει να αυξάνουμε ταυτόχρονα και την τάση και την συχνότητα τροφοδοσίας για να πετύχουμε τελικά αύξηση των στροφών
- Μέθοδος μεταβολής της ολίσθησης: Η μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής σε κινητήρα επαγωγής μπορεί να γίνει κατανοητή με το παρακάτω σχήμα



Εικόνα 18: Έλεγχος στροφών με αλλαγή της ολίσθησης

Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την χαρακτηριστική στροφών-ροπής του φορτίου. Η συνεχόμενες καμπύλες είναι οι χαρακτηριστικές στροφών-ροπής του κινητήρα για διάφορες συνθήκες λειτουργίας, όπως είναι διαφορετικές αντιστάσεις ρότορα R_2', R_2'', R_2''' και διαφορετικές τάσεις στάτορα V_1, V_2 . Άρα, αφού έχουμε 4 διαφορετικές καμπύλες στροφών-ροπής, ο κινητήρας μπορεί να δουλέψει σε οποιαδήποτε από τις τέσσερις ταχύτητες N_1, N_2, N_3, N_4 . Πρέπει να σημειώσουμε πως ευσταθές σημείο λειτουργίας είναι δεξιά του σημείου μέγιστης ροπής.

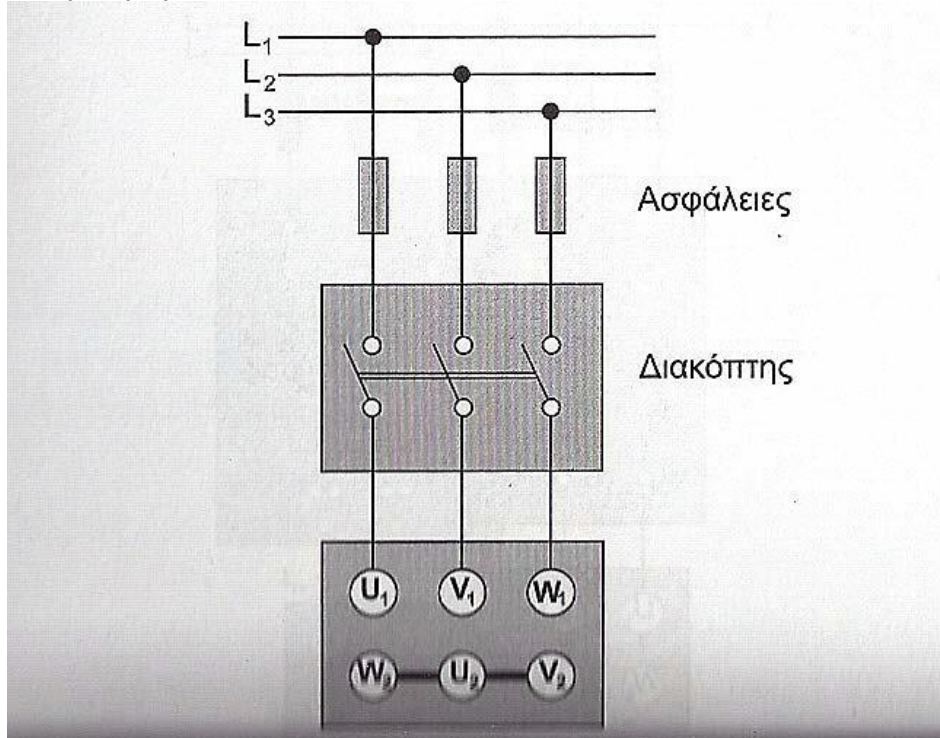
Στην πράξη η ολίσθηση μπορεί να μεταβληθεί με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

- Μεταβολή της τάσης του στάτορα: Αφού η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές καμπύλες στρωφών-ροπής για διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας. Επομένως για δεδομένη αντίσταση ρότορα (π.χ. R_2) έχουμε δύο διαφορετικές καμπύλες λειτουργίας, για δύο διαφορετικές τάσεις τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Επομένως ο κινητήρας μπορεί να σε N2 ή N4 στροφές. Ο αριθμός των στρωφών μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς, εάν υπάρχει δυνατότητα συνεχούς μεταβολής της τάσης τροφοδοσίας. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κινητήρες τύπου κλωβού και τυλίγματος δρομέα με δακτυλίους.
- Μεταβολή της αντίστασης ρότορα: Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κινητήρες τυλιγμένου δρομέα με δακτυλίους. Η επίδραση της εισαγωγής εξωτερικών αντιστάσεων φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα. Για το δεδομένο φορτίο υπάρχουν 3 ευσταθείς καταστάσεις λειτουργίας. Με συνεχή μεταβολή των εξωτερικών αντιστάσεων πετυχαίνουμε συνεχή μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.

4.3 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων

Όσον αφορά τις μεθόδους εκκίνησης ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, διακρίνουμε τις εξής:

- **Με απευθείας εκκίνηση** σε κινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 1,5HP. Το ρεύμα εκκίνησης είναι έξι φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού με αποτέλεσμα να έχω πτώση τάσης στο δίκτυο. Η ροπή εκκίνησης είναι μιάμιση φορά μεγαλύτερη της ονομαστικής. Η εκκίνηση του κινητήρα μπορεί να γίνει και με φορτίο.

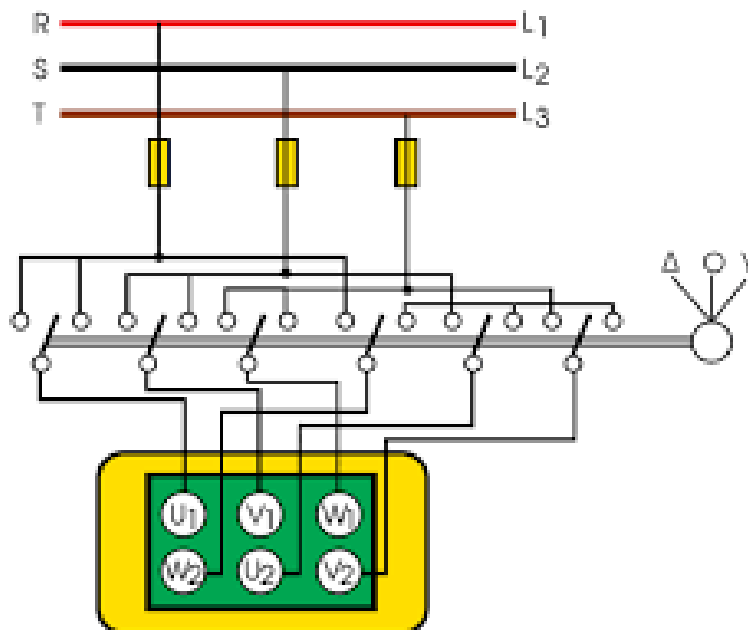


Εικόνα 19: απευθείας εκκίνηση κινητήρα

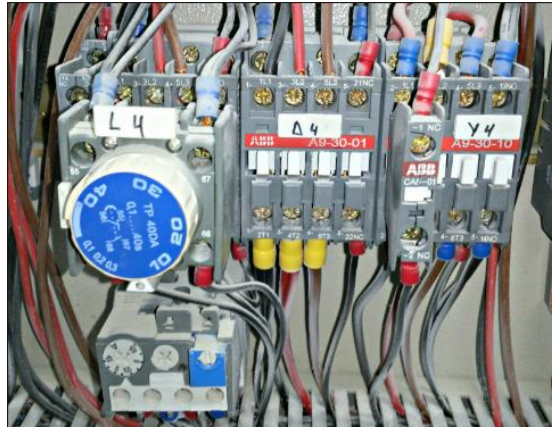
- **Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα – τριγώνου**, χειροκίνητο ή αυτόματο. Κατά την εκκίνηση, τα τυλίγματα των τριών φάσεων στο στάτη συνδέονται σε διάταξη αστέρα. Το κάθε τύλιγμα τροφοδοτείται με τη φασική τάση 220V του δικτύου, πετυχαίνοντας έτσι μικρότερο ρεύμα εκκίνησης. Όταν ο κινητήρας φτάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, αρχίζει και τροφοδοτείται με τη πολική τάση 380V του δικτύου, λόγω της αλλαγής της σύνδεσης των τυλιγμάτων των φάσεων από διάταξη αστέρα σε διάταξη τριγώνου. Αποδεικνύεται ότι το ρεύμα εκκίνησης στη διάταξη αστέρα είναι τρεις φορές μικρότερο από αυτό στη διάταξη τριγώνου.



Εικόνα 20: Διακόπτης αστέρα- τριγώνου χειροκίνητης λειτουργίας

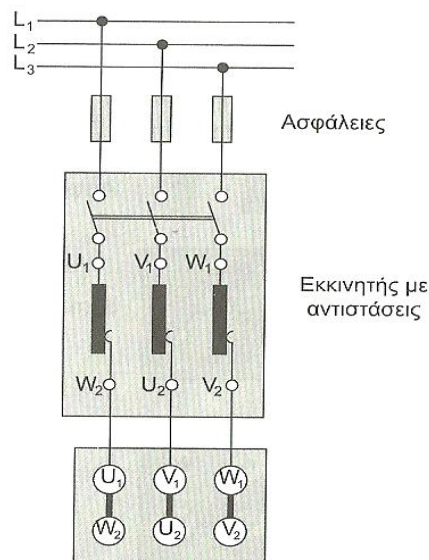


Εικόνα 21: Συνδεσμολογία εκκίνησης με αστέρα-τρίγωνο



Εικόνα 22:Αυτόματη διάταξη εκκίνησης αστέρα τρίγωνο

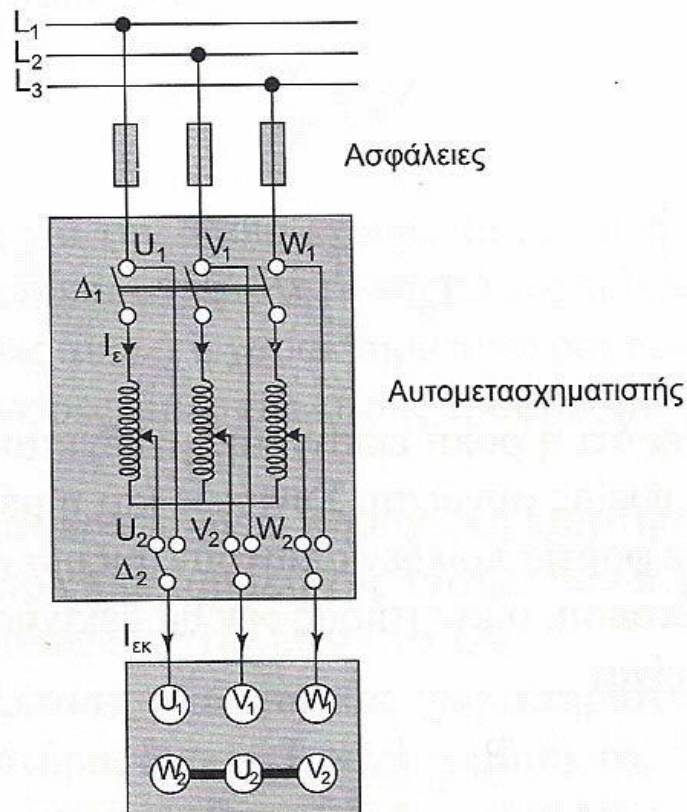
- **Εκκίνηση με τη χρήση αντιστάσεων** στη γραμμή τροφοδοσίας των τυλιγμάτων των τριών φάσεων στο στάτη. Η εκκίνηση του κινητήρα γίνεται με μειωμένη τάση άρα και μειωμένη ένταση του ρεύματος. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα, αρχίζουμε και μειώνουμε την ωμική τιμή των αντιστάσεων και μόλις ο κινητήρας φτάσει στην ονομαστική του ταχύτητα, οι αντιστάσεις τίθενται εκτός δικτύου. Το ρεύμα εκκίνησης είναι 4,5 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού, ενώ η ροπή εκκίνησης είναι 0,75 φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής.



Εικόνα 23:Εκκίνηση με αντιστάσεις

- **Εκκίνηση με τη χρήση ενός αυτομετασχηματιστή.** Ο κινητήρας τροφοδοτείται αρχικά με μειωμένη τάση. Όταν ο κινητήρας φτάσει στο 80% της ονομαστικής του ταχύτητας, ο αυτομετασχηματιστής τίθεται εκτός τάσης δικτύου και η τροφοδοσία του κινητήρα γίνεται απευθείας από το

δίκτυο. Το ρεύμα εκκίνησης είναι 3,5 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού, ενώ η ροπή εκκίνησης είναι 0,8 φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής.



Εικόνα 24:εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

- Εκκίνηση με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού εκκινητή.** Ανάλογα με τη ροπή του φορτίου, ρυθμίζουμε τη τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, πετυχαίνοντας ικανοποιητικό ρεύμα εκκίνησης και ικανοποιητική ροπή εκκίνησης. Το ρεύμα εκκίνησης μπορεί να κυμανθεί από δύο έως πέντε φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού, ενώ η ροπή εκκίνησης μπορεί να κυμανθεί έως και μία φορά μεγαλύτερη της ονομαστικής. Ο εκκινητής διαθέτει έναν μικροεπεξεργαστή, ο οποίος ελέγχει και βελτιώνει διαρκώς κάποιες βασικές παραμέτρους του εκκινητή και του κινητήρα όπως είναι η ρύθμιση του χρόνου εκκίνησης και σταματήματος του κινητήρα, η επιτήρηση της τάσης του δικτύου, η υπερθέρμανση του κινητήρα, το ρεύμα του κινητήρα, ο έλεγχος των σφαλμάτων.



Εικόνα 25: Ηλεκτρονικός εκκίνητης

4.4 Ρύθμιση στροφών τριφασικών κινητήρων

Όσον αφορά τη ρύθμιση των στροφών του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, αυτή μπορεί να επιτευχθεί με δύο βασικούς τρόπους:

- **Με την αλλαγή των αριθμού των ζευγών των μαγνητικών πόλων.** Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους:
 - Με την μέθοδο των διαδοχικών πόλων κατά την οποία ο αριθμός των μαγνητικών πόλων διπλασιάζεται, εάν αλλάξουμε τη συνδεσμολογία στα τυλίγματα διέγερσης. Εδώ πετυχαίνουμε το πολύ δύο ταχύτητες λειτουργίας του κινητήρα.
 - Με τη χρήση πολλαπλών τυλιγμάτων στο στάτη. Με τη αυτή τη μέθοδο πετυχαίνουμε ενδιάμεσες ταχύτητες. Ο συνδυασμός αυτής της μεθόδου και της προηγούμενης μπορεί να μας δώσει μέχρι και τέσσερις ταχύτητες λειτουργίας σε έναν κινητήρα.
 -)Με την μέθοδο της διαμόρφωσης πλάτους του μαγνητικού πόλου κατά την οποία η αλλαγή του αριθμού των μαγνητικών πόλων, επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη και με λόγο διαφορετικό από 2 προς 1.
- **Με τη μεταβολή της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα.** Μεταβάλλοντας τη συχνότητα, μεταβάλλουμε τη ταχύτητα περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη(σύγχρονη ταχύτητα n_s). Εν συνεχεία, προκαλείται μετατόπιση της καμπύλης ροπής – στροφών του κινητήρα. Αλλάζοντας έτσι το σημείο λειτουργίας του, μεταβάλλονται οι στρόφές του. Βέβαια, όταν μεταβάλλουμε τη συχνότητα, θα πρέπει να μεταβάλλουμε και τη τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, έτσι ώστε να μην αυξάνεται το ρεύμα, όταν μειώνουμε τη συχνότητα.

Για τη συνεχή μεταβολή της συχνότητας χρησιμοποιείται ο **ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών**. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι η μονάδα ελέγχου, η ανορθωτική διάταξη, το φίλτρο εξομάλυνσης και ο αντιστροφέας (inverter). Η ανορθωτική διάταξη μετατρέπει το AC σε DC, ενώ ο αντιστροφέας το DC σε AC μεταβλητής συχνότητας και πλάτους.



Εικόνα 26: Ρυθμιστής στροφών

4.5 Πέδηση τριφασικών κινητήρων

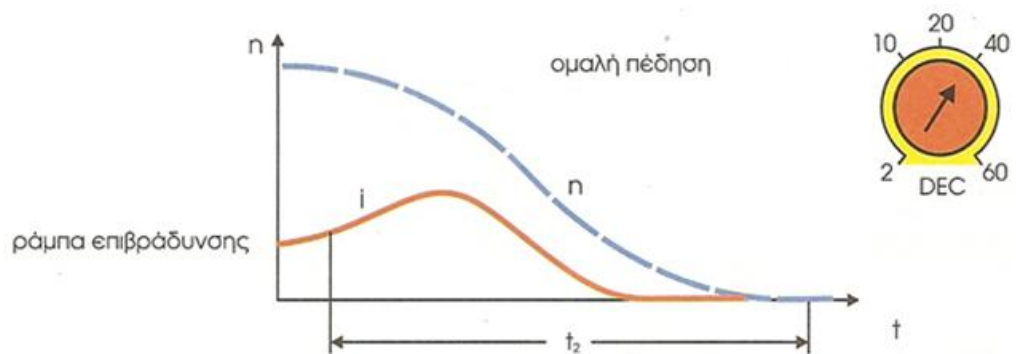
Όσον αφορά τη πέδηση του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- **Με μηχανική πέδηση**, που πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών σιαγόνων. Εδώ απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης και ο φθορές του συστήματος είναι συχνές.



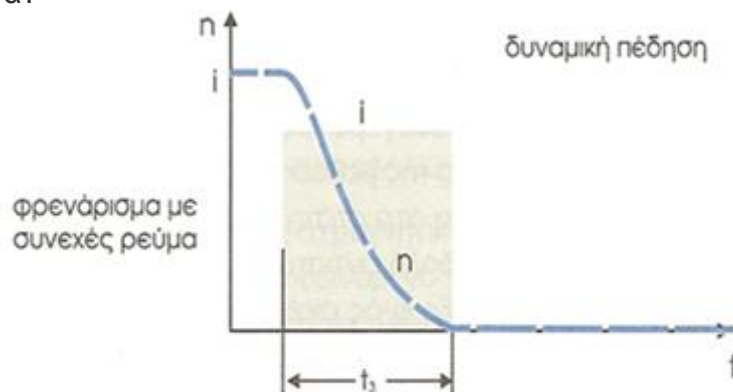
Εικόνα 27: Διάταξη μηχανικής πέδης

- **Με ελεύθερη πέδηση**, κατά την οποία διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, επιτρέποντάς του να σταματήσει από μόνος του μετά από αρκετό χρονικό διάστημα, δίχως όμως να υφίσταται καταπονήσεις.
- **Με ομαλή πέδηση**, κατά την οποία διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα βαθμιαία και όχι απότομα. Εδώ η χρήση ράμπας επιβράδυνσης είναι απαραίτητη για τη προοδευτική μείωση της τάσης, την ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών κτυπημάτων αλλά και την ομαλή επιβράδυνση με βάση το προκαθορισμένο χρόνο.

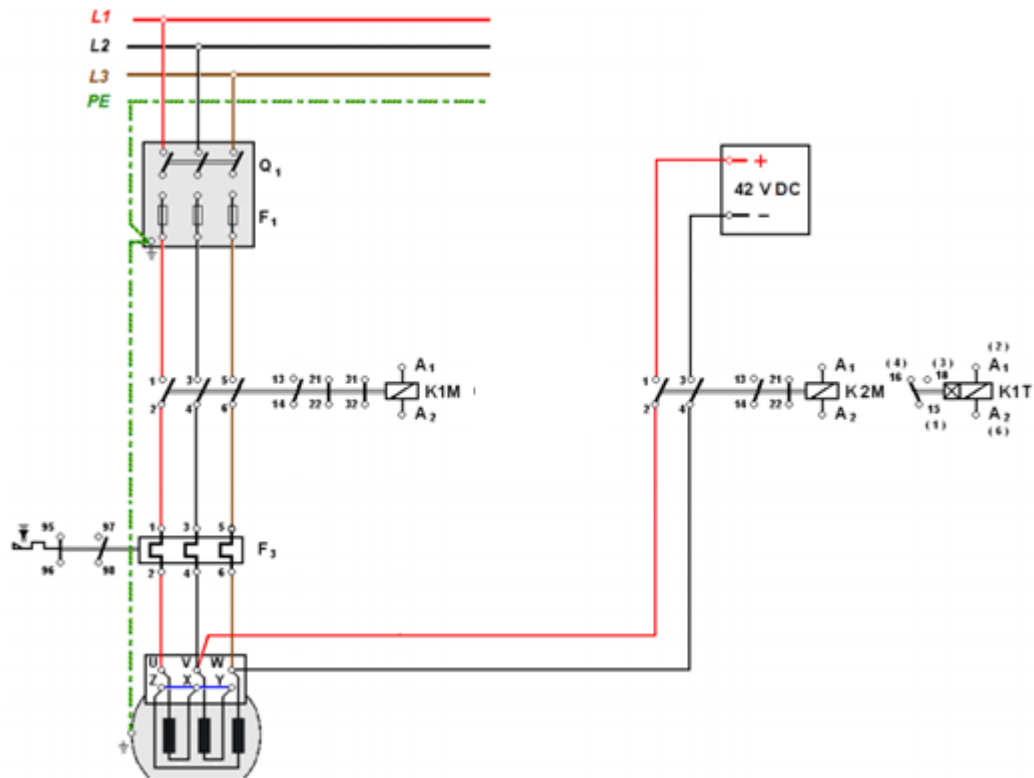


Εικόνα 28: Μείωση των στροφών του κινητήρα κατά την ομαλή πέδηση

- **Με δυναμική πέδηση**, κατά την οποία όταν διακόπτεται η τροφοδοσία του κινητήρα από το τριφασικό δίκτυο, τροφοδοτείται στη συνέχεια από άλλη πηγή με DC ρεύμα. Στη πράξη, ο ασύγχρονος κινητήρας μετατρέπεται σε σύγχρονη γεννήτρια (εναλλακτήρας), με αποτέλεσμα όλη η ενέργεια της πέδησης να απορροφάται από το δρομέα του κινητήρα.

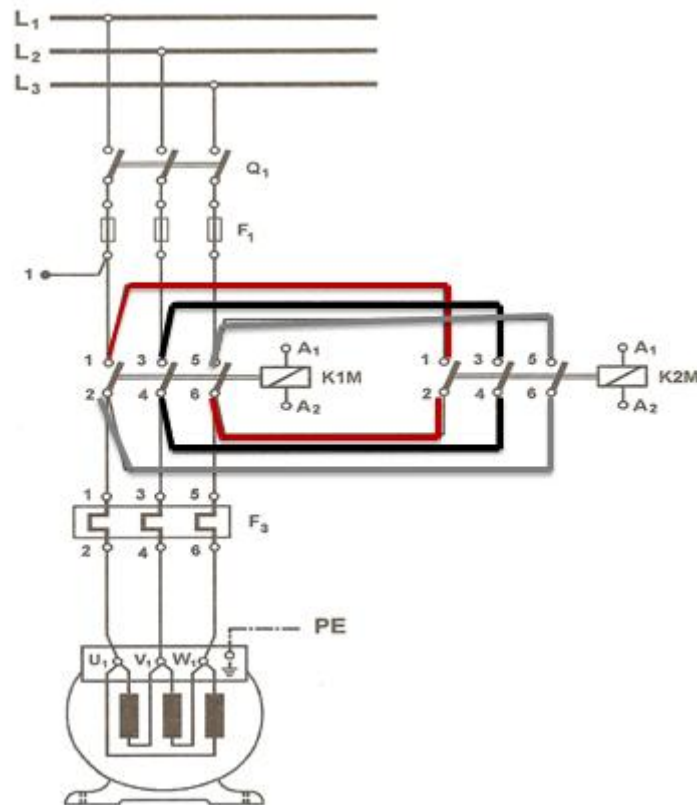


Εικόνα 29: Καμπύλη n - t , i - t δυναμικής πέδησης



Εικόνα 30: Κύκλωμα ισχύος δυναμικής πέδησης

- **Με αντιστροφή της φοράς του μαγνητικού πεδίου.** Εδώ, εάν αντιμεταθέσουμε τις δύο από τις τρεις φάσεις που τροφοδοτούνε τα τυλίγματα του στάτη, τότε το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο αρχίζει και περιστρέφεται με αντίθετη φορά, αναγκάζοντας το δρομέα να περιστραφεί και αυτός με αντίθετη φορά, λειτουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο ως ηλεκτρομαγνητικό φρένο.



Εικόνα 31: Κύκλωμα ισχύος αλλαγής φοράς περιστροφής

4.6 Συντήρηση τριφασικών κινητήρων

Όσον αφορά τη συντήρηση του κινητήρα, αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Έλεγχος στα έδρανα για τυχόν εμφάνιση σκουριάς , έλλειψης γράσου ή ακόμη και φθοράς αυτών.
- Έλεγχος για τυχόν εμφάνιση σκουριάς πάνω στον ίδιο τον κινητήρα, από τον οποίο θα πρέπει να αφαιρείται άμεσα.
- Έλεγχος στη γείωση του κινητήρα.
- Έλεγχος για τυχόν υγρασία πάνω στα τυλίγματα του στάτη. Στη περίπτωση της μη αποδεκτής υγρασίας, πρέπει να ακολουθείται η διαδικασία στεγνώματος του κινητήρα.
- Έλεγχος στη σωστή ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα της οδηγούμενης μηχανής. Μειώνουμε κατά αυτόν τον τρόπο τους κραδασμούς ή τις πιέσεις στον άξονα, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης ή της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.
- Έλεγχος στη ζυγοστάθμιση της τροχαλίας που είναι εφαρμοσμένη πάνω στον άξονα του κινητήρα. Στη περίπτωση που έχουμε κίνηση με ιμάντα ελέγχουμε το τέντωμα του ιμάντα.

- Έλεγχος για πιθανή ύπαρξη σκόνης ή ξένων σωμάτων εντός του κινητήρα.
- Έλεγχος στην αντίσταση της μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη με τη χρήση του οργάνου Μέγγερ, αλλά και στην αντίσταση που θα πρέπει να υπάρχει μεταξύ τυλιγμάτων και γης.
- Έλεγχος στη σύσφιξη των ακροδεκτών των αγωγών πάνω στο ακροκιβώτιο, όπου καταλήγουν τα έξι άκρα των τυλιγμάτων του στάτη.
- Έλεγχος στα καλύμματα (καπάκια) του κινητήρα αλλά και στον εξαερισμό του χώρου στον οποίο είναι εγκατεστημένος ο κινητήρας.
- Έλεγχος στη ταχύτητα κραδασμών του κινητήρα. Η ταχύτητα κραδασμών στη σύγχρονη ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 4,5mm/sec.
- Έλεγχος στη θερμοκρασία των διαφόρων τμημάτων του κινητήρα, όπως είναι τα τυλίγματα και τα έδρανα, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης αλλά και της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα.
- Καθαρισμός των καναλιών αερισμού του κινητήρα, αλλά και του πλέγματος του καλύμματος του ανεμιστήρα ψύξης.

4.7 Πιθανές βλάβες τριφασικών κινητήρων

Όσον αφορά τις πιθανές βλάβες που μπορούν να εμφανιστούν σε έναν ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα, αυτές είναι οι ακόλουθες:

- **Ο κινητήρας δεν ξεκινάει ούτε εν κενώ, ούτε με φορτίο.**
Σε αυτήν τη περίπτωση ελέγχουμε:
 - α) Εάν οι ακροδέκτες τροφοδοτούνται με τη τάση του δικτύου.
 - β) Εάν η τάση τροφοδοσίας του δικτύου είναι μικρότερη από την ονομαστική.
 - γ) Εάν μία από τις φάσεις του τριφασικού τυλίγματος του στάτη είναι κομμένη.
 - δ) Εάν η ροπή του φορτίου είναι μεγαλύτερη από τη ροπή εκκίνησης του κινητήρα.
 Στην πρώτη περίπτωση, προβαίνουμε σε έλεγχο του αυτόματου διακόπτη αλλά και των αγωγών τροφοδοσίας και αποκαθιστούμε το πρόβλημα.

Στη δεύτερη περίπτωση, θα πρέπει να επαναφέρουμε τη τάση στην ονομαστική της τιμή.

Στην τρίτη περίπτωση, θα πρέπει πρώτα να βεβαιωθούμε, κάνοντας χρήση του οργάνου Μέγγερ και έπειτα να αντικαταστήσουμε τη κομμένη φάση.

Στην τέταρτη περίπτωση, θα πρέπει να ελέγξουμε και να διορθώσουμε το φορτίο.

- **Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από μεγάλο βύθισμα ταχύτητας.** Σε αυτήν τη περίπτωση οι μπάρες του επαγωγικού τυλίγματος του δρομέα έχουν κοπεί ή αποκολληθεί από τα δακτυλίδια βραχυκύκλωσης. Θα πρέπει ασφαλώς να γίνει έλεγχος και διόρθωση του σφάλματος.
- **Ο κινητήρας παρουσιάζει δύσκολη εκκίνηση, συνοδευόμενη από θόρυβο και υπερθέρμανση.** Σε αυτήν τη περίπτωση μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι τα έδρανα(ρουλεμάν) πάνω στα οποία στηρίζεται και περιστρέφεται ο άξονας του κινητήρα, είναι φθαρμένα. Θα πρέπει να αντικατασταθούν άμεσα.
- **Ο κινητήρας εκκινεί κανονικά, αλλά στη συνέχεια παρουσιάζει μεγάλη πτώση στον αριθμό των στροφών του.** Σε αυτήν τη περίπτωση, μετράω πολύ χαμηλή τη τάση τροφοδοσίας του δικτύου, επάνω στους ακροδέκτες του κινητήρα, λόγω της εμφάνισης μεγάλης πτώσης τάσης επάνω στα καλώδια τροφοδοσίας του κινητήρα. Θα πρέπει να τα αντικαταστήσω άμεσα.
- **Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται.** Σε αυτήν τη περίπτωση η υπερθέρμανση του κινητήρα μπορεί να οφείλεται είτε στη πολύ υψηλή τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, προκαλώντας απώλειες σιδήρου ή χαλκού, είτε στην αύξηση του φορτίου που οδηγεί ο κινητήρας(υπερφόρτωση του κινητήρα). Γι'αυτούς τους λόγους θα πρέπει, είτε να επαναφέρουμε τη τάση τροφοδοσίας στην ονομαστική της τιμή, είτε να ελέγξουμε και να ρυθμίσουμε το φορτίο του κινητήρα. Όμως, ο βασικότερος λόγος για τον οποίο ο κινητήρας πάντοτε υπερθερμαίνεται, είναι η απουσία της μιας εκ των τριών φάσεων τροφοδοσίας του κινητήρα. Αυτό συνήθως σημαίνει, καμένη ασφάλεια στη γραμμή παροχής αυτής της φάσης. Θα πρέπει να την αντικαταστήσουμε άμεσα. Τέλος, η υπερθέρμανση του κινητήρα θα μπορούσε να οφείλεται ακόμη και στον ελλειπή αερισμό (ψύξη)του κινητήρα ή στο υπερβολικό τέντωμα του ιμάντα της τροχαλίας (εάν υπάρχει). Σε καμία περίπτωση, βέβαια, δεν δικαιολογείται το να προκαλέσει ο ίδιος ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης, υπερθέρμανση στον κινητήρα λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας πάνω στο ακροκιβώτιο
- **Ο στάτης υπερθερμαίνεται σε ορισμένα του σημεία και η υπερθέρμανση αυτή συνοδεύεται από υπερφόρτιση σε μία εκ των δύο φάσεων, προκαλώντας δυνατό θόρυβο.** Στη

περίπτωση αυτή, έχουμε εσωτερικό βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στάτη. Θα πρέπει να αντικατασταθεί άμεσα.

- **Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, ακούγεται θόρυβος και ο κινητήρας υπερθερμαίνεται αρκετά**, λόγω της τριβής του δρομέα επάνω στο στάτη. Στη περίπτωση αυτή, το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα δεν είναι ομοιόμορφο. Παρουσιάζονται ρωγμές είτε στα ρουλεμάν του άξονα του δρομέα, είτε στα καλύμματα του κινητήρα ή ακόμη και κάποια κλίση στον ίδιο τον άξονα. Αυτά, θα πρέπει να αντικατασταθούν και να ρυθμιστούν άμεσα.
- **Ο κινητήρας παρουσιάζει κραδασμούς κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.** Σε αυτήν τη περίπτωση, συνήθως, υπάρχει εσφαλμένη ευθυγράμμιση του άξονα του δρομέα, λόγω κακής στήριξης ή ανώμαλης επιφάνειας του εδάφους. Θα πρέπει γίνει σωστή στερέωση της βάσης. Επίσης, οι κραδασμοί είναι δυνατόν να προέρχονται από τη μηχανή(φορτίο) που οδηγεί ο κινητήρας. Αυτό αποδεικνύεται έμπρακτα, εάν αποδεσμεύσουμε το φορτίο από τον άξονα του κινητήρα. Εάν παραμένει το πρόβλημα, θα πρέπει να ελέγξουμε το φορτίο.
- **Τα ρουλεμάν υπερθερμαίνονται.** Σε περίπτωση που υπάρχει αρκετό γράσο, αυτό θα πρέπει να αφαιρείται. Εάν η βαλβίδα λιπαντικού δεν λειτουργεί σωστά και τα έδρανα έχουν υποστεί φθορά, θα πρέπει άμεσα να αντικατασταθούν. Σε περίπτωση που το λιπαντικό είναι βρώμικο ή στα ρουλεμάν έχει εισχωρήσει σκόνη ή ξένο σώμα, θα πρέπει να προβούμε σε καθαρισμό αυτών. Τέλος, εάν ο ιμάντας της τροχαλίας είναι πολύ σφιγμένος ή το φορτίο που ο οδηγεί ο κινητήρας δεν είναι καλά κεντραρισμένο, θα πρέπει να προβούμε σε άμεση ρύθμιση αυτών.
- **Πρόβλημα στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών**, λόγω υψηλής αδράνειας ή μεγάλου φορτίου στον άξονα του κινητήρα. Σε αυτήν τη περίπτωση μπορούμε είτε να μειώσουμε το φορτίο είτε να αντικαταστήσουμε τον ρυθμιστή στροφών με έναν μεγαλύτερο. Βέβαια, σε περίπτωση που ενεργοποιείται κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του κινητήρα, το σύστημα προστασίας ,θα πρέπει να γίνει έλεγχος για τυχόν βραχυκύκλωμα στην έξοδο. Αντιθέτως εάν το σύστημα προστασίας ενεργοποιείται κατά την ομαλή λειτουργία του ρυθμιστή, θα πρέπει να μειώσουμε το φορτίο στον άξονα του κινητήρα ή το μήκος των καλωδίων εξόδου. Δεν αποκλείεται, βέβαια, να έχει υποστεί βλάβη και η βαθμίδα ανόρθωσης του ίδιου του ρυθμιστή στροφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΙΔΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

5.1 Υδραυλικές Αντλίες

Η μηχανική συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε υδραυλική ενέργεια είναι γνωστή ως υδραυλική αντλία. Στην συσκευή αυτή, το φορτίο που είναι υπεύθυνο για την πίεση υπερνικάτε με τη δημιουργία επαρκούς ισχύος και την παραγωγή μίας ροής. Το Κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην αρχή σύμφωνα με την οποία λειτουργούν οι υδραυλικές αντλίες καθώς επίσης και στον τρόπο λειτουργίας τους. Γίνεται αναφορά στις προδιαγραφές βάση των οποίων μία υδραυλική αντλία μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για ένα σύστημα και αναλύονται οι κύριοι τύποι στους οποίους ταξινομούνται.

Οι υδραυλικές αντλίες λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της μετατόπισης. Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη μηχανικών σφραγισμένων θαλάμων στην αντλία, όπου μέσω αυτών των θαλάμων, το ρευστό μεταφέρεται από την είσοδο της αντλίας (θύρα αναρρόφησης) προς την έξοδο (θύρα πίεσης ή εκκένωσης). Οι σφραγισμένοι θάλαμοι εξασφαλίζουν ότι δεν θα υπάρξει άμεση σχέση μεταξύ των δύο θυρών της αντλίας. Το αποτέλεσμα είναι ότι, οι αντλίες αυτές είναι κατάλληλες για να λειτουργούν σε συστήματα με υψηλές πιέσεις καθώς και σε υδραυλικά συστήματα για το οποία θεωρούνται ιδανικές.

Η υδραυλική αντλία έχει δύο λειτουργίες να εκτελέσει. Η πρώτη είναι να ωθήσει το ρευστό μέσα στην γραμμή εισόδου από τη δεξαμενή προς την αντλία. Ενώ η δεύτερη λειτουργία είναι η τροφοδότηση του υγρού στην έξοδο και κατόπιν τον εξαναγκασμό του μέσα στο υδραυλικό σύστημα.

Οι έξοδοι των αντλιών λαμβάνουν ροή ρευστού υψηλής πίεσης από υδραυλικές αντλίες που συμπιέζουν το ρευστό και τροφοδοτούνται από μηχανικές πηγές ενέργειας. Μπορούν να λειτουργήσουν ως κινητήρας αφού περιστραφούν προς τα εμπρός και σε αντίθετη κατεύθυνση όταν τροφοδοτηθούν με πεπιεσμένο ρευστό. Υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή της κατάλληλης υδραυλικής αντλίας, όπως τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένη η αντλία, οι λειτουργικές προδιαγραφές της κλπ. Κατά την εξέταση των λειτουργικών προδιαγραφών οι πιο σημαντικές είναι, ο τύπος αντλίας, και το στάδιο της.

Οι πρόσθετες προδιαγραφές που περιλαμβάνονται στη λειτουργία μιας υδραυλικής αντλίας είναι:

1. Το βάρος της αντλίας.
2. Η ταχύτητα λειτουργίας: Η ταχύτητα περιστροφής των κινητών μερών της αντλίας (στροφές ανά λεπτό)
3. Η θερμοκρασία λειτουργίας: Οι δυνατότητες διαμονής της αντλίας σε σχέση με το εύρος θερμοκρασίας του ρευστού.
4. Η ιπποδύναμη: Εξαρτάται από το υγρό το οποίο ρέει διαμέσου της αντλίας, την πίεση του και τη δύναμη με την οποία είναι δυνατή η μεταφορά του.
5. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας: Οι έξοδοι της αντλίας διαθέτουν μέγιστη πίεση σε μη τακτική βάση.
6. Η συνεχής πίεση λειτουργίας: Είναι διαθέσιμη μέγιστη πίεση στην έξοδο της αντλίας.
7. Η θερμοκρασία υγρού: Αυτό είναι μια προδιαγραφή που διαφέρει από κάθε κατασκευαστή και εξαρτάται από τα εσωτερικά υλικά που την απαρτίζουν.
8. Το μέγιστο ιξώδες του ρευστού: Η αντίσταση ρευστού σε ροή διάτμησης.
9. Η μέγιστη ροή του ρευστού
10. Η μετατόπιση ανά περιστροφή.

Η υδραυλική αντλία είναι ένα από τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, την παραγωγή, και τη μηχανουργική κατεργασία. Η υδραυλική αντλία επηρεάζει την ακρίβεια των μηχανημάτων, την παραγωγικότητα, την αποτελεσματικότητα και κυρίως την συνολική απόδοση του συστήματος. Προκειμένου οι υδραυλικές αντλίες να διαρκούν περισσότερο και να φθείρονται λιγότερο υπάρχει ένας αριθμός υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και τη σύνθεση της, ανάλογα με το σκοπό που καλείτε να εξυπηρετήσει.

Για συστήματα υψηλής πίεσης, χρησιμοποιούνται κράματα υψηλής αντοχής και πολυμερή, ενώ για τα συστήματα χαμηλής πίεσης είναι διαθέσιμες λιγότερο ακριβές και ελάχιστης πίεσης αντλίες. Είναι πάντα πρακτικό να εξετάζονται οι συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων και οι απαιτήσεις του συστήματος πριν την αγορά μια υδραυλικής αντλίας.

Οι υδραυλικές αντλίες χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά συστήματα κίνησης και μπορεί να είναι υδροστατικές ή υδροδυναμικές.

Οι υδροστατικές αντλίες είναι αντλίες θετικής μετατόπισης ενώ οι υδροδυναμικές αντλίες μπορεί να είναι σταθερής

μετατόπισης, στην οποία η μετατόπιση (ροή μέσα από την αντλία ανά περιστροφή της) δεν μπορεί να ρυθμιστεί, ή μεταβλητής μετατόπισης, οι οποίες έχουν μια πιο περίπλοκη κατασκευή που επιτρέπει την ρύθμιση της μετατόπισης.

Οι υδραυλικές αντλίες κατασκευάζονται ανάλογα με τις διαφορετικές λειτουργίες και απαιτήσεις των υδραυλικών συστημάτων. Μία υδραυλική αντλία δεν μπορεί να καλύψει πλήρως όλες τις απαιτήσεις σε βέλτιστο βαθμό. Για τον λόγο αυτό είναι διαθέσιμοι διάφοροι τύποι υδραυλικών αντλιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι κύριοι τύποι υδραυλικών αντλιών στις οποίες μπορούν να ταξινομηθούν είναι : θετικής μετατόπισης και μη-θετικής

5.2 Αντλίες θετικής μετατόπισης

Οι αντλίες θετικής μετατόπισης χρησιμοποιούνται συχνότερα σε υδραυλικά συστήματα με πιέσεις που κυμαίνονται μέχρι και 5.000 psi. Αν χρησιμοποιηθούν σωστά προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για βελτίωση της λειτουργίας και την αποτελεσματικότητά του συστήματος. Διατίθενται σε διαφορετικά εύρη λειτουργίας και σχεδιασμούς, όμως λειτουργούν όλες με την ίδια αρχή. Ένας αυξανόμενος όγκος ρευστού αναρροφάτε και εξαναγκάζεται να εισέλθει από τη θύρα αναρρόφησης στην ζώνη κατάθλιψης της αντλίας, η αντλία γεμίζει με το ρευστό αυτό, το οποίο στην συνέχεια κινείται προς την θύρα εκκένωσης και τέλος εκτοπίζεται υπό πίεση από αυτή.

Οι αντλίες αυτού του τύπου παρέχουν μία σταθερή μετατόπιση ανά περιστροφή και εντός μηχανικών περιορισμών άπειρη πίεση για την κίνηση των ρευστών. Βασικό τους πλεονέκτημα είναι η υψηλή πυκνότητα ισχύος (ισχύς ανά μονάδα βάρους) που μπορεί να επιτευχθεί. Επίσης ο όγκος εκροής είναι σχεδόν σταθερός σε κάθε κύκλο λειτουργίας της, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της πίεσης στις οποίες λειτουργεί η αντλία.

Οι αντλίες αυτές δεν θα πρέπει να λειτουργούν με κλειστή τη βαλβίδα στην θύρα εκκένωσης, διότι η αντλία θα συνεχίσει να παράγει ροή μέχρι η πίεση στην γραμμή εκκένωσης αυξηθεί τόσο ώστε να προκληθεί σοβαρή ζημιά ή και κατάρρευση της γραμμής αυτής. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη μία βαλβίδα ελέγχου (εσωτερική ή εξωτερική) ή ακόμα και ένας ρυθμιστής πίεσης.

Οι αντλίες θετικής μετατόπισης μπορούν να διαχωριστούν σε σταθερής ή μεταβλητής μετατόπισης. Στις σταθερής μετατόπισης η έξοδος της αντλίας παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου άντλησης σε μία δεδομένη ταχύτητα άντλησης. Αντίθετα στις μεταβλητής μετατόπισης, η έξοδος της αντλίας μπορεί να μεταβληθεί αλλάζοντας τη γεωμετρία του θαλάμου μετατόπισης της αντλίας.

Τα είδη των αντλιών θετικής μετατόπισης είναι δύο: οι περιστροφικές αντλίες και οι παλινδρομικές.

Οι κύριες κατηγορίες περιστροφικών αντλιών είναι:

- Οι γριναζωτές,
- οι πτερυγιοφόρες και
- οι αντλίες τύπου κοχλία

Σε όλες τις περιστροφικές αντλίες, ο θάλαμος δημιουργείται προοδευτικά μέσω της περιστροφής του άξονα κίνησης. Οι κύριες κατηγορίες παλινδρομικών αντλιών είναι:

- Οι εμβολοφόρες,
- οι αξονικές εμβολοφόρες και
- οι αντλίες διαφράγματος

Στις αντλίες αυτές υπάρχουν βαλβίδες ελέγχου στις θύρες αναρρόφησης και εκκένωσης. Το ρευστό ρέει μέσω της βαλβίδας αναρρόφησης στο θάλαμο της αντλίας καθώς το έμβολο ή το διάφραγμα υποχωρεί. Στο τέλος της διαδρομής του εμβόλου ο θάλαμος είναι στο μέγιστο μέγεθός του. Η βαλβίδα αναρρόφησης κλείνει και το ρευστό εξαναγκάζεται να εξέλθει από τη θύρα εκκένωσης. Η ροή από κάθε θάλαμο είναι παλμική και στην περίπτωση που η αντλία διαθέτει αρκετούς θαλάμους, τότε μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να έχουν διαδοχικούς παλμούς προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συνολική παλμική κίνηση.

Οι θετικής μετατόπισης αντλίες μπορούν να εφαρμόσουν την αρχή τους στα παρακάτω είδη αντλιών (τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω):

- Στις αντλίες περιστρεφόμενου λοβού, στις
- γριναζωτές αντλίες, στις
- εμβολοφόρες, στις
- διαφράγματος, τις
- αντλίες τύπου κοχλία, τις
- πτερυγιοφόρες και τις
- περισταλτικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ PID

6.1 Ο ελεγκτής PID

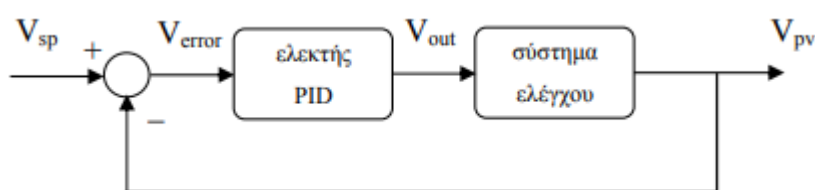
Η εφαρμογή του ελεγκτή PID είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνική ελέγχου σε συστήματα αυτόματου ελέγχου στις μέρες μας. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί μαθηματικές σχέσεις για τη διεξαγωγή του συμπεράσματος και απαιτεί το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος προς έλεγχο, έτσι ώστε να επιλεγούν κατάλληλα οι παράμετροι του ελεγκτή. Ένας ελεγκτής PID είναι ένας ελεγκτής συστήματος ελέγχου που συμπεριλαμβάνει ένα αναλογικό ελεγκτή (P), έναν ολοκληρωτή ελεγκτή (I) και ένα διαφορικό ελεγκτή (D). Ένα τυπικό παράδειγμα PID ρυθμιστή αποτελείται από πέντε τελεστικούς ενισχυτές και λειτουργεί ως εξής: αρχικά το σήμα ανάδρασης V_{rn} (feedback signal) συγκρίνεται με το σήμα αναφοράς V_{sp} (reference signal) μέσω ενός τελεστικού ενισχυτή σφάλματος (error amplifier), με αποτέλεσμα στη εξοδό του να δημιουργείται το σήμα σφάλματος $V_{error} = V_{sp} - V_{rn}$. Στη συνέχεια το σήμα σφάλματος V_{error} εισέρχεται στην είσοδο τριών τελεστικών ενισχυτών, στον αναλογικό ενισχυτή που ενισχύει το σήμα σφάλματος με μια αναλογική ενίσχυση K_P , στον ενισχυτή ολοκλήρωσης που στην έξοδο του προκύπτει το ολοκλήρωμα του σήματος σφάλματος (ολοκληρωτική ενίσχυση K_I) και στον διαφορικό ενισχυτή που στην έξοδο του προκύπτει η παράγωγος του σήματος σφάλματος (διαφορική ενίσχυση K_D). Στη συνέχεια οι έξοδοι των ενισχυτών αθροίζονται μέσω αθροιστή, οπότε στην έξοδο να προκύπτει η ολική επίδραση του PID ρυθμιστή:

$$V_{out} = K_P V_{error} + K_I \int V_{error} + K_D \frac{dV_{error}}{dt}$$

Το PID σήμα V_{out} εφαρμόζεται στο επόμενο τμήμα του συστήματος ελέγχου έτσι ώστε να επιτευχθεί η επαναφορά του συστήματος στην επιθυμητή κατάσταση. Επομένως, στον ελεγκτή PID, ο ρυθμιστής P ενισχύει το σήμα σφάλματος έτσι ώστε να επαναφέρει το ελεγχόμενο σύστημα πλησίον της επιθυμητής κατάστασης. Επειδή ο ρυθμιστής P από μόνος του δε μπορεί να μηδενίσει το σφάλμα, υπάρχει ο ρυθμιστής I ο οποίος ολοκληρώνει το σφάλμα και το ενισχύει γραμμικά έτσι ώστε να επιτευχθεί ο μηδενισμός του. Ο ρυθμιστής D χρειάζεται

για τη γρήγορη επαναφορά του συστήματος στην επιθυμητή κατάσταση.

Στον αυτοματισμό του αντλιοστασίου (σχήμα 3.2), το σήμα ανάδρασης V_{pn} αντιστοιχεί στην πίεση που υπάρχει στο δίκτυο νερού, και παίρνει τιμές από 0 έως 12bar, ενώ το σήμα αναφοράς V_{sp} αντιστοιχεί στις στροφές της αντλίας, που λειτουργεί μέσω του inverter, και παίρνει τιμές από 0 έως 1500RPM. Η μέθοδος ελέγχου του ελεγκτή PID που χρησιμοποιείτε στον αυτοματισμό είναι η αντίστροφη εκτέλεση (SP-PV), η οποία προκαλεί η αύξηση της ελεγχόμενης μεταβλητής (πίεση δικτύου) όταν η μεταβλητή εισαγωγής (στροφές κινητήρα) είναι μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο.



Εικόνα 32: Διάγραμμα ροής του ελεγκτή PID

Εφόσον έχουμε καθορίσει τα βασικά χαρακτηριστικά του ελεγκτή PID, πρέπει να καθοριστεί πότε θα καλείται για ρύθμιση του συστήματος αυτοματισμού. Σύμφωνα, με τον παρακάτω αλγόριθμο ο ελεγκτής PID καλείται, όταν κάποια από τις τρεις αντλίες είναι στη θέση αυτόματο, έχουμε παροχή στο δίκτυο (όριο τα 0,2cm³ /h) και η πίεση του δικτύου, για λόγους ασφαλείας, είναι κάτω από 12bar.

6.2 PID Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου

Ο τρόπος ελέγχου PID είναι ένας συνδυασμός των αναλογικών, ολοκληρωτικών, και διαφορικών τρόπων ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID αναφέρεται επίσης ως ελεγκτής τριών μεθόδων. Ο ολοκληρωτικός τρόπος χρησιμοποιείται για να αποβάλει το ανάλογο offset που προκαλείται από τις μεγάλες αλλαγές φορτίων. Ο διαφορικός τρόπος μειώνει την τάση σε σχέση με τις ταλαντώσεις και παρέχει μια δράση ελέγχου που προλαμβάνει τις αλλαγές στο σήμα λάθους. Ο διαφορικός τρόπος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν η διαδικασία έχει ξαφνικές αλλαγές φορτίων.

Ο αναλογικός - συν- ολοκληρωτικός-συν-διαφορικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται στις διαδικασίες με τις ξαφνικές,

μεγάλες αλλαγές φορτίων όταν ένας ή δύο τρόποι ελέγχου δεν είναι σε θέση να κρατήσει το λάθος μέσα στα αποδεκτά όρια. Ο διαφορικός τρόπος παράγει μια προκαταβολική δράση που μειώνει το μέγιστο λάθος που παράγεται από τις ξαφνικές αλλαγές φορτίων. Ο ολοκληρωτικός τρόπος παρέχει μια δράση (reset) που αποβάλλει το ανάλογο offset.

6.3 Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος

Ο αναλογικός όρος P βοηθά στη βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος τόσο στην μεταβατική όσο και στην μόνιμη κατάσταση, αλλά αδυνατεί να εξαλείψει πλήρως το μόνιμο σφάλμα. Δεν μπορεί να αντεπεξέλθει ικανοποιητικά σε όλους τους τύπους των συστημάτων και των εξωτερικών διαταραχών, γι' αυτό (όπου απαιτείται) συνδυάζεται μαζί με άλλους όρους.

Ο ολοκληρωτικός όρος I χρησιμοποιείται σε συστήματα που παρουσιάζουν σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση, αφού για όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα, η έξοδος του ελεγκτή, λόγω του ολοκληρώματος αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη του σφάλματος, αλλά αυτό γίνεται σε βάρος της ταχύτητας απόκρισης και της ευστάθειας του συστήματος.

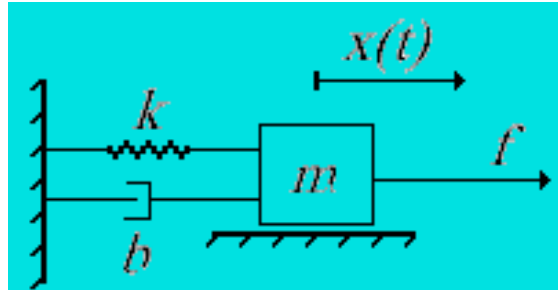
Ο διαφορικός όρος D αυξάνει την ευστάθεια του συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση, αλλά λόγω της επιβολής στην πράξη περιορισμού της εξόδου του ελεγκτή δεν χρησιμοποιείται ποτέ από μόνος του.

6.4 Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος κλειστού βρόχου

	Χρόνος ανόδου ή ανύψωσης (tr)	Μέγιστη ή υπερύψωση (ym)	Χρόνος αποκατάστασης (ts)	Μόνιμο σφάλμα
P	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
I	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Εξάλειψη
D	Μικρή αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή αλλαγή

6.5 Σύστημα 2^{ης} τάξης – Επίδραση των όρων P, I και D

Έστω ότι έχουμε το εικονιζόμενο μηχανικό σύστημα.



Εικόνα 33: Σύστημα 2^{ης} τάξης

Η μαθηματική περιγραφή είναι:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = f$$

Μετασχηματίζοντας σε Laplace, παίρνουμε:

$$ms^2 X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k}$$

Έστω $m=1\text{kg}$, $b=10\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$, $k=20\text{N}/\text{m}$, $f=1\text{N}$

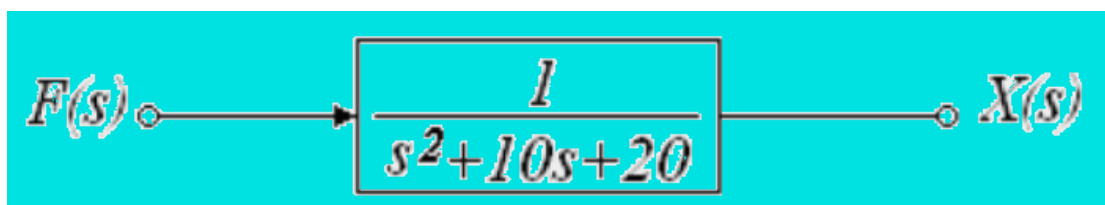
Με αυτές τις τιμές η συνάρτηση που προκύπτει είναι:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$$

Σκοπός μας είναι να δούμε, πως κάθε ένας από τους όρους K_p , K_i και K_d συμβάλει στο να έχουμε:

- Μικρό χρόνο ανόδου
- Ελάχιστη υπερύψωση
- Μηδενικό μόνιμο σφάλμα

6.6 Διάγραμμα ανοικτού βρόχου χωρίς ελεγκτή



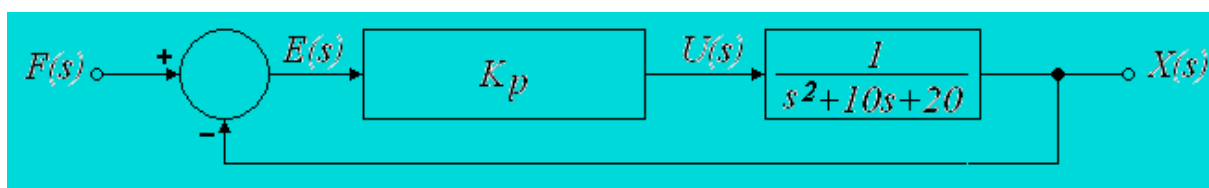
Η συνάρτηση μεταφοράς ανοιχτού βρόχου είναι:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$$

Η τιμή της εξόδου στη μόνιμη κατάσταση είναι:

$$x_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s) \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{20}$$

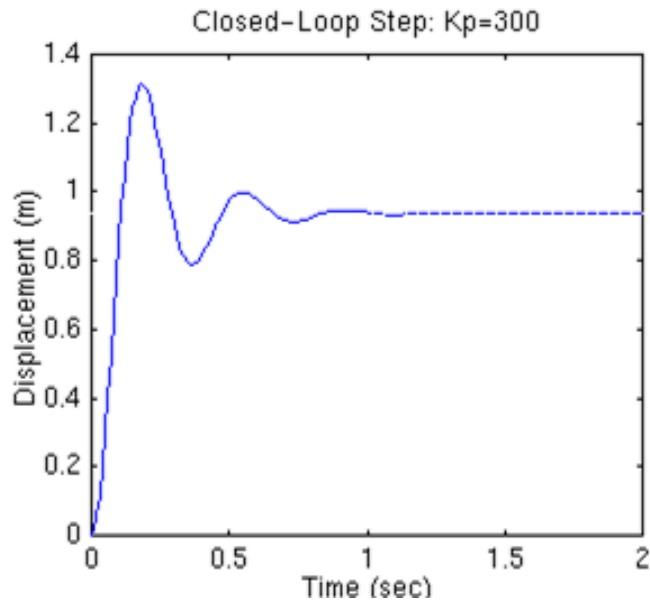
6.7 P Controller - Αναλογικός Ελεγκτής



Η **ΣΜ** του συστήματος κλειστού βρόχου είναι:

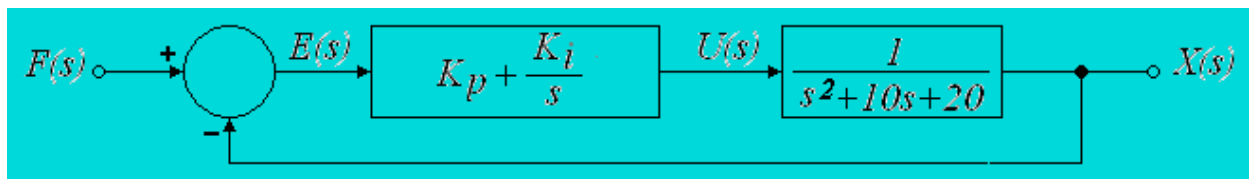
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)}$$

Επιλέγοντας $K_p=300$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο αναλογικός ελεγκτής, μειώνει το χρόνο ανόδου και το μόνιμο σφάλμα αυξάνει την υπερύψωση και επιφέρει μικρή αλλαγή στο χρόνο αποκατάστασης



Εικόνα 34:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού ελεγκτή

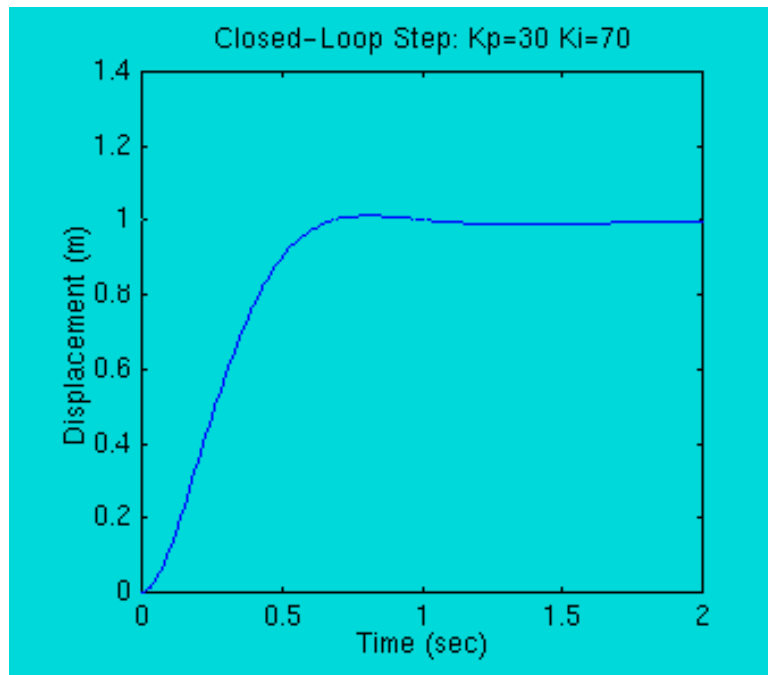
6.8 PI Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής



Η $\Sigma\mathbf{M}$ του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

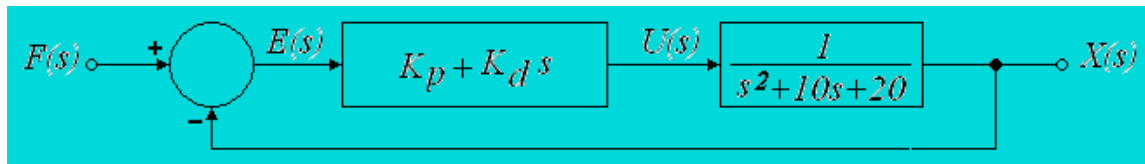
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p s + K_i}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_p)s + K_i}$$

Επιλέγοντας $K_p=30$, $K_i=70$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο αναλογικός ολοκληρωτικός ελεγκτής, μειώνει το χρόνο ανόδου και μηδενίζει το μόνιμο σφάλμα.



Εικόνα 35:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – ολοκληρωτικού ελεγκτή

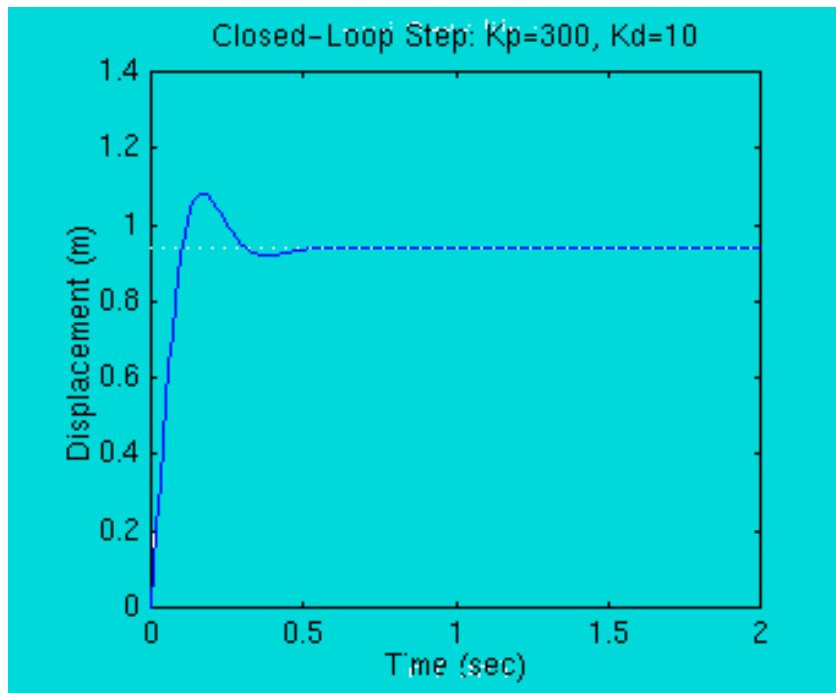
6.9 PD Controller Αναλογικός-Διαφορικός Ελεγκτής



Η $\Sigma\mathbf{M}$ του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

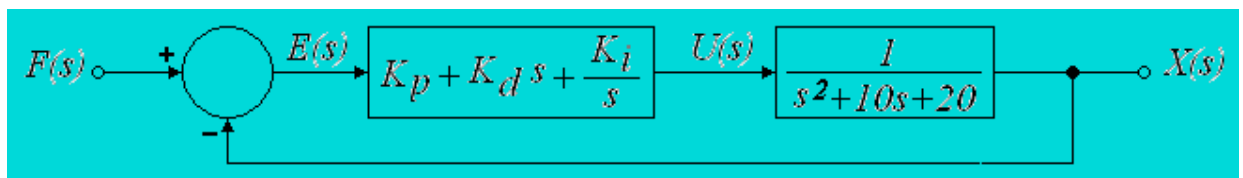
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_d s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_d s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p + K_d s}{s^2 + (10 + K_d)s + (20 + K_p)}$$

Επιλέγοντας $K_p=300$, $K_d=10$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο Αναλογικός-Διαφορικός ελεγκτής, μειώνει την υπερύψωση και το χρόνο αποκατάστασης ενώ έχει μικρή επιρροή στο χρόνο ανύψωσης και στο μόνιμο σφάλμα



Εικόνα 36:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – διαφορικού ελεγκτή

6.10 PID Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής

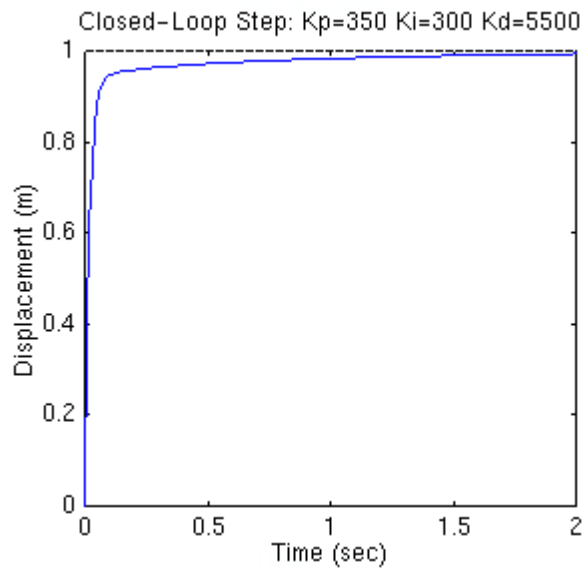


Η **ΣΜ** του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_d s + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_d s + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s^3 + (10 + K_d)s^2 + (20 + K_p)s + K_i}$$

Για $K_p = 350$, $K_i = 300$, $K_d = 5500$

Έχουμε βέλτιστη απόκριση



Εικόνα 37:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – ολοκληρωτικού – διαφορικού ελεγκτή

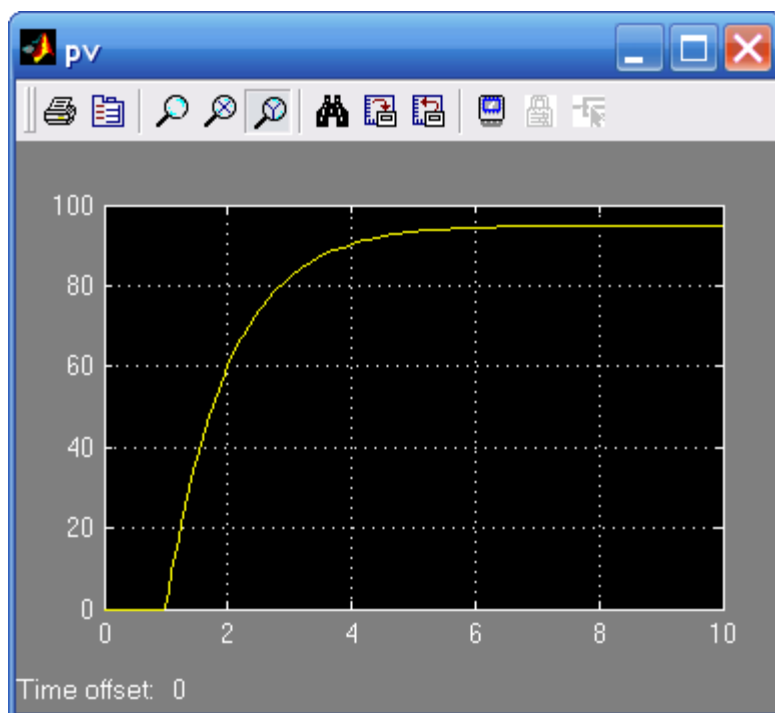
6.110 ελεγκτής PID μέσα από ένα παράδειγμα

Έχετε ένα αμάξι που με τέρμα γκάζι πηγαίνει 200χλμ..Σας λέει κάποιος λοιπόν ότι θέλει να πάτε με 100 ακριβώς. Λέει κάποιος άλλος ..θα πατήσω το γκάζι μέχρι την μέση και άρα θα πάει ακριβώς 100!!



Εικόνα 38:Ιδεατή μετάβαση

Σωστό.. αλλά!! Λόγω αντίστασης κτλ. θα πάτε 95. Επίσης η ταχύτητα σας θα είναι κάπως έτσι:



Εικόνα 39: Η πραγματική αλλαγή της ταχύτητας

Έρχεται λοιπόν και η πραγματικότητα. Πατάτε τέρμα γκάζι και όταν φτάσατε τα 100 περίπου «κόβετε».. και πατάτε τόσο το γκάζι ώστε να έχετε ακριβώς 100χλμ.

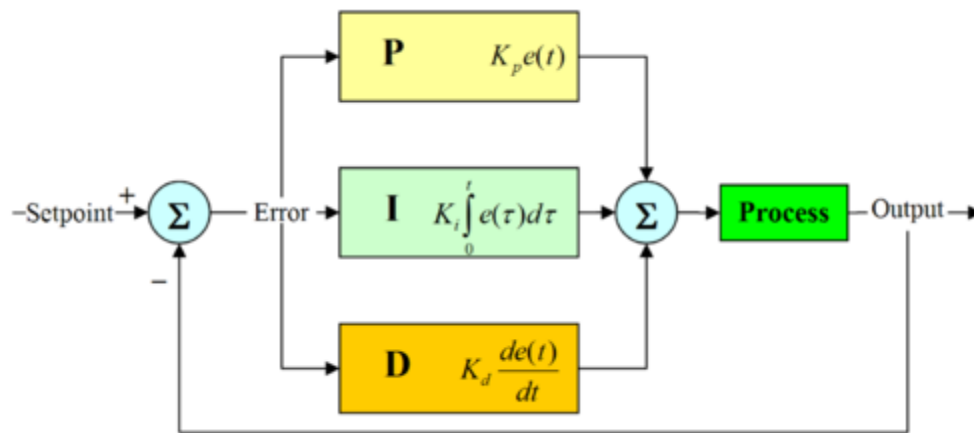
Ένας αναλογικός-ολοκληρωτικός-παραγωγικός ελεγκτής (ελεγκτής PID) είναι ένας γενικός μηχανισμός με ανατροφοδότηση βρόχων ελέγχου που χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID προσπαθεί να διορθώσει το λάθος μεταξύ μιας μετρημένης μεταβλητής-διαδικασίας (ProcessValue) και ενός επιθυμητού σημείου λειτουργίας (setpoint) με τον υπολογισμό και έπειτα την έξοδο μιας διορθωτικής δράσης που μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία αναλόγως.

Ο υπολογισμός της εξόδου του ελεγκτή PID (αλγόριθμος) περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστούς όρους. Τον αναλογικό, ολοκληρωτικό και παραγωγικό όρο. Το αναλογικό κέρδος καθορίζει την αντίδραση στο τρέχον λάθος, το ολοκλήρωμα καθορίζει την αντίδραση βασισμένη στο άθροισμα των λαθών και η παράγωγος καθορίζει την αντίδραση βάση του ποσοστού στο οποίο το λάθος έχει αλλάξει. Το σταθμισμένο ποσό αυτών των τριών ενεργειών χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τη διαδικασία μέσω ενός στοιχείου ελέγχου όπως η θέση μιας βαλβίδας ελέγχου ή η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ενός στοιχείου θέρμανσης, κινητήρα κτλ.

Με "το συντονισμό" των τριών σταθερών στον αλγόριθμο ελεγκτών PID το PID μπορεί να παρέχει τη δράση ελέγχου που χρειάζεται για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της διαδικασίας. Η έξοδος του ελεγκτή μπορεί να περιγραφεί από τον τρόπο της

απόκρισης του ελεγκτή σε ένα λάθος, ο βαθμός στον οποίο ο ελεγκτής κάνει υπερανύψωση από το setpoint και το βαθμό των ταλαντώσεων του συστήματος. Σημειώστε ότι η χρήση του αλγορίθμου PID για τον έλεγχο δεν εγγυάται το βέλτιστο έλεγχο του συστήματος.

Μερικές εφαρμογές μπορούν να απαιτήσουν μόνο έναν ή δύο όρους για να παρέχουν τον κατάλληλο έλεγχο συστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό του κέρδους των ανεπιθύμητων όρων ελέγχου σε μηδέν. Ένας ελεγκτής PID θα λέγεται ελεγκτής p_i , p_d , p ή i ανάλογα με την έλλειψη των αντίστοιχων όρων ελέγχου. Οι ελεγκτές p_i είναι ιδιαίτερα κοινοί, δεδομένου ότι η δράση του παραγωγικού όρου είναι πολύ ευαίσθητη στο θόρυβο μέτρησης.



Εικόνα 40: Οι τρεις όροι του ελεγκτή PID

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ

7.1 Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών

Η ρύθμιση των στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται η ρύθμιση της ενεργού τιμής της τάσης τροφοδοσίας του στάτη, η σύνδεση εξωτερικής μεταβλητής αντίστασης στο δρομέα (για δακτυλιοφόρους κινητήρες) και η μεταβολή της συχνότητας και της τάσης τροφοδοσίας του στάτη. Όπως όμως αναλύθηκε και προηγουμένως, ο τελευταίος τρόπος προσφέρει και τα περισσότερα πλεονεκτήματα.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του σύγχρονου αριθμού στροφών του, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και είναι ανάλογος της συχνότητας λειτουργίας.

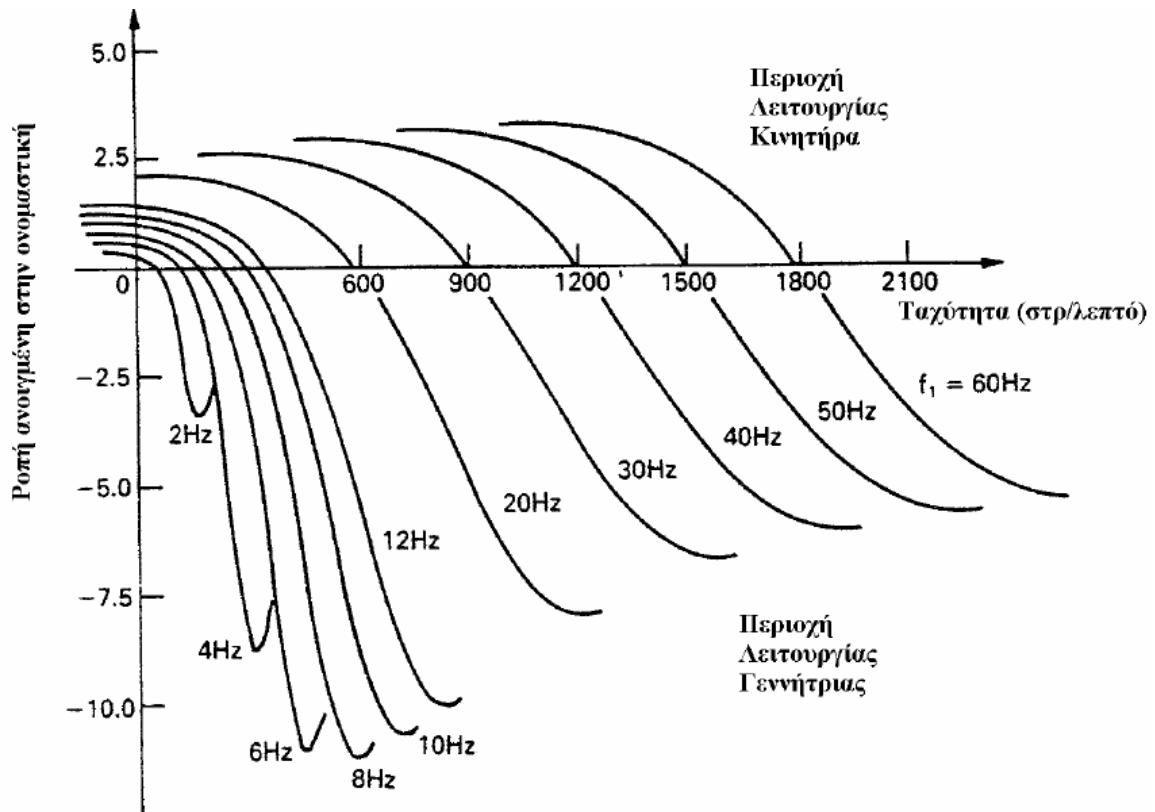
$$n_s = \frac{f}{p} \cdot 120$$

Όπου n_s : ο σύγχρονος αριθμός στροφών του κινητήρα σε στροφές/λεπτό

f : η συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα σε Hz

p : ο αριθμός των πόλων του κινητήρα (εξαρτάται από την περιέλιξη)

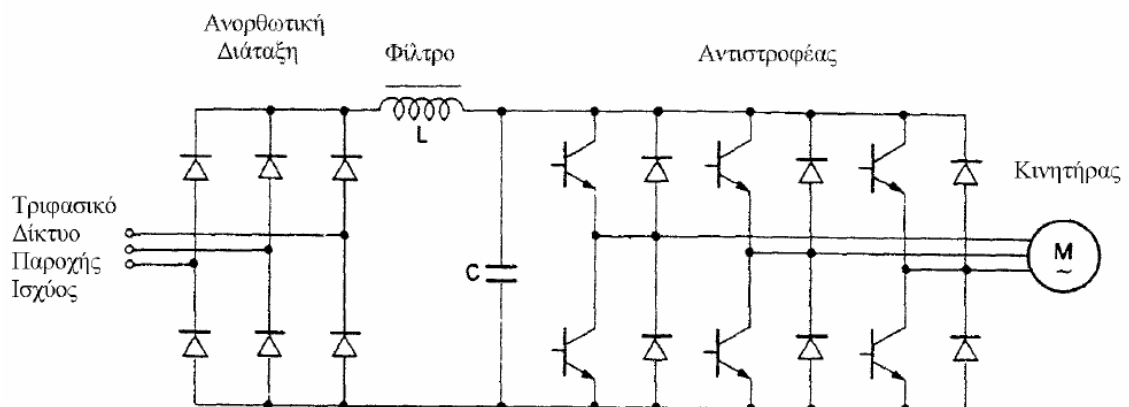
Αυτό με την σειρά του προκαλεί την μετατόπιση της καμπύλης "Ροπής - Στροφών" του κινητήρα προς τα αριστερά, όσο η συχνότητα μειώνεται, και προς τα δεξιά, όσο η συχνότητα αυξάνεται. Έτσι το σύστημα κινητήρας - φορτίο ισορροπεί κάθε φορά σε διαφορετικό σημείο, με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Παράλληλα όμως με τη μεταβολή της συχνότητας, απαιτείται και η μεταβολή της ενεργού τιμής της τάσης, ούτως ώστε να μην οδηγείται το μαγνητικό πεδίο της μηχανής στον κόρο και να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του κινητήρα.



Εικόνα 41:Μεταβολή της καμπύλης Ροπής - Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται

7.2 Δομή των ρυθμιστών στροφών

Οι ρυθμιστές στροφών ασύγχρονων κινητήρων αποτελούνται από τέσσερα βασικά μέρη.



Εικόνα 42:Κύκλωμα ισχύος ενός ρυθμιστή στροφών με διπολικά τρανζίστορ.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα από τα αριστερά προς τα δεξιά παρατηρούμε:

- Την ανορθωτική διάταξη η οποία μπορεί να αποτελείται είτε από διόδους είτε από θυρίστορ. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή με σταθερή ή με ρυθμιζόμενη τιμή.
- Η προκύπτουσα συνεχής τάση εισέρχεται σε ένα κατωδιαβατό φίλτρο προκειμένου να εξαλειφθεί η κυμάτωση της. Το φίλτρο αυτό μπορεί να αποτελείται είτε μόνο από μία συστοιχία πυκνωτών, είτε από μία συστοιχία πυκνωτών και ένα πηνίο.
- Η εξομαλυμμένη τάση στη συνέχεια τροφοδοτεί τον αντιστροφέα. Σκοπός της διάταξης αυτής είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και μεταβλητού πλάτους.
- Τέλος υπάρχει και η μονάδα ελέγχου, σκοπός της οποίας είναι να εποπτεύει και να ελέγχει την λειτουργία των προαναφερθέντων τριών τμημάτων.

7.3 Πλεονεκτήματα των ρυθμιστών στροφών

Τα γενικά χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα τους είναι τα ακόλουθα:

- **Αθόρυβη λειτουργία**

Η χρήση των τελευταίας τεχνολογίας ηλεκτρονικών διακοπών IGBT λύνει οριστικά το πρόβλημα του ηλεκτρονικού και του μαγνητικού θορύβου και παρέχει αθόρυβη λειτουργία του κινητήρα σε ολόκληρο το εύρος των στροφών.

- **Ομαλή λειτουργία και πλήρης ικανότητα ροπής σε χαμηλές στροφές**

Η υιοθέτηση της τεχνικής του διανυσματικού ελέγχου (Sensorless Vector Control) και η ανάθεση εκτέλεσής της σε πανίσχυρους βιομηχανικούς μικροεπεξεργαστές έχουν σαν αποτέλεσμα:

- τα τέλεια ημιτονοειδούς μορφής ρεύματα στην έξοδο
 - την επίτευξη υψηλής ροπής ακόμα και στις πολύ χαμηλές ταχύτητες
 - και την απουσία κυματώσεως στη ροπή της μηχανής.
- **Αφθονία ρυθμίσεων.**

Κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας αλλά και πάρα πολλοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας, ειδικά σχεδιασμένοι για συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές, έχουν συμπεριληφθεί στο λογισμικό ελέγχου αυτών των μετατροπέων.

- **Έλεγχος ρεύματος και τάσης εξόδου.**

Ο συνεχής έλεγχος του ρεύματος κάνει δυνατή την γρήγορη επιτάχυνση της μηχανής ή την στιγμιαία υπερφόρτωσή της, χωρίς την διακοπή της λειτουργίας αυτής λόγω υπερεντάσεων, ενώ η τάση εξόδου ελέγχεται διαρκώς από τον μικροεπεξεργαστή προκειμένου να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

- **Εύκολη και ολοκληρωμένη επικοινωνία.**

Το ψηφιακό χειριστήριο περιλαμβάνει οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα του εύκολου χειρισμού και της παρακολούθησης πολλών χρήσιμων μεγεθών όπως της συχνότητας, της τάσης, του ρεύματος και της αιτίας πιθανής αυτόματης διακοπής λειτουργίας.

- **Μεγάλο εύρος ισχύων.**

Οι ρυθμιστές στροφών καλύπτουν ισχύεις από 0.37 kW έως 250 kW. Έτσι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την καταλληλότερη για αυτόν ισχύ σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μηχανής ή του εξοπλισμού που διαθέτει.

7.4 Επιλογή του κατάλληλου ομαλού εκκινητή

7.4.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ

Κατ' αρχήν θα πρέπει να προσδιορίσουμε πότε έχουμε κανονική εκκίνηση μιας μεταφορικής ταινίας. Η απάντηση είναι, όταν αυτή είναι φορτωμένη με μικρό βάρος πάνω σε μικρή έκταση αυτής. Για ταινίες με χρόνο κατευθείαν εκκίνησης (direct on line starting time) μικρότερο των 5 sec, η επιλογή είναι ενός εκκινητή σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα.

7.4.2 ΔΥΣΚΟΛΗ ΕΚΚΙΝΗΣΗ

Οι μεταφορικές ταινίες ενδέχεται σε μερικές περιπτώσεις να είναι πολύ μεγάλου μήκους οπότε σε μία τέτοια περίπτωση αν είναι πλήρως φορτωμένες τότε ο χρόνος εκκίνησης (starting time) πρόκειται να είναι επίσης πολύ μεγάλος. Για τέτοιες

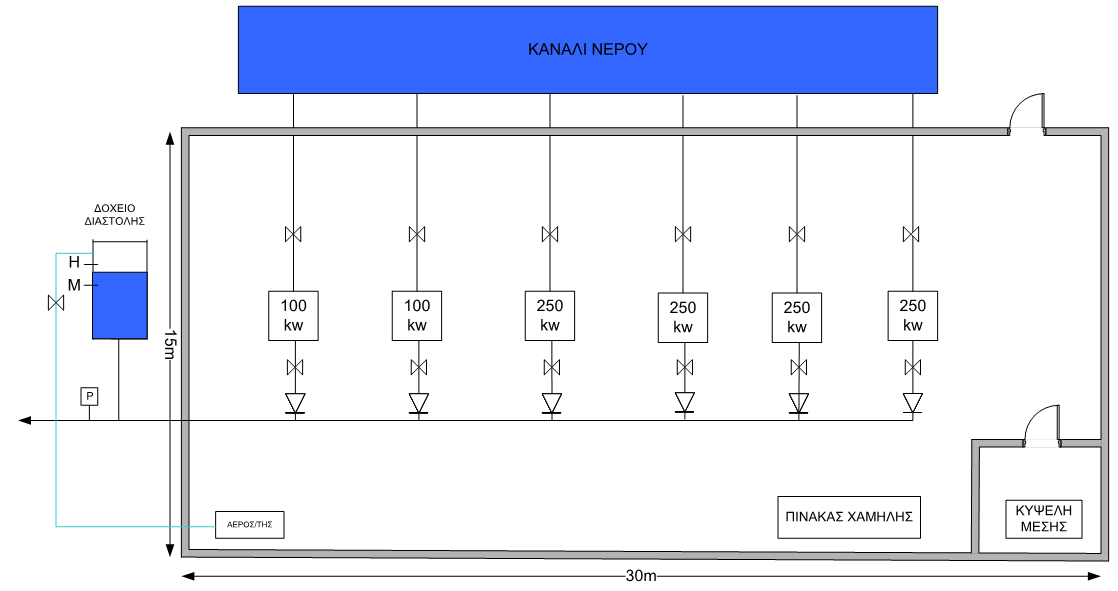
εφαρμογές πρέπει να επιλέγεται ένας ομαλός εκκινητής ειδικά σχεδιασμένος για υψηλές απαιτήσεις και συνθήκες λειτουργίας. Πρέπει ωστόσο να παρατηρήσουμε πως είναι δυνατή η χρήση ενός soft-starter κανονικής εκκίνησης, αρκεί να επιλέξουμε ένα μέγεθος ισχύος μεγαλύτερο από την ονομαστική του κινητήρα, και το συνδυάσουμε με ένα θερμικό ρελέ κλάσης 30.

Είναι εφικτό να γίνεται η επιλογή σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις επιλέγεται soft-starter μεγαλύτερης ισχύος ανάλογα με τις συνθήκες της εφαρμογής (βαθμός δυσκολίας εκκίνησης, πολλές εκκινήσεις ανά ώρα, κλπ).

Η δυναμικότητα ενός ομαλού εκκινητή καθορίζεται από την ικανότητα των θυρίστορ (thyristor capacity) όπως επίσης και από τη διάταξη απομάκρυνσης της θερμότητας (heat sink).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



Εικόνα 43: Το δομικό διάγραμμα του αντλιοστασίου άρδευσης

Η επιλογή των διατομών και των διακοπών θα γίνει με βάση τους παρακάτω τρεις πίνακες

Πίνακας 1: Συντελεστές υπογείων καλωδίων

Ambient Temperature °C:	15	20	25	30	35	40	45	50
Correction factor	1,14	1,09	1,04	1,0	0,96	0,91	0,87	0,82

Ground Temperature °C:	15	20	25	30	35	40
Correction factor	1,09	1,0	0,97	0,93	0,89	0,85

Soil thermal resistivity Km/W	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Correction factor	1,05	1,0	0,93	0,84	0,75	0,67	0,62

Depth of burial m:	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
Correction factor	1,0	0,97	0,95	0,94	0,92	0,9	0,89

Πίνακας 2: Διατομές καλωδίων Χ.Τ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Μοναδικό	χαρτί-μάζα						PVC ³⁾						δίκτυομένο PE					
Μεταλλικός μανδύας	μόλυβδος			αλουμίνιο			—						μόλυβδος			—		
κωδικός π.χ.	N(A) KBA	N(A)KA		N(A)KLEY			N(A)YY;N(A)YCWY ¹⁾ JIVV						NYKY		N(A)2XSY			
Κανονισμός καλωδίων	VDE 0255						VDE 0271 IEC 502						DIN57265 VDE0265		VDE 0273 IEC 502			
επιτρεπόμενη θερμοκρασία	80°C						70°C						90°C					
Διάταξη	4) ⊕⊕	⊕ ⊕⊕	⊕⊕⊕	4) ⊕⊕	⊕ ⊕⊕	⊕⊕⊕	2) ⊕	⊕	4) ⊕⊕	⊕ ⊕⊕	⊕⊕⊕	⊕	4) ⊕⊕	2) ⊕	4) ⊕⊕	⊕ ⊕⊕	⊕⊕⊕	
Όνομαστική διατομή χαλκού mm ²)	Φόρτιση σε Ampère																	
1,5	—	—	—	—	—	—	26	20	18,5	20	25	20	18,5	32	24	25	32	
2,5	—	—	—	—	—	—	35	27	25	27	34	27	25	43	32	34	42	
4	—	—	—	—	—	—	46	37	34	37	45	37	34	57	42	44	56	
6	—	—	—	—	—	—	58	48	43	48	57	48	43	72	53	57	71	
10	—	—	—	—	—	—	79	66	60	66	78	66	60	99	73	77	96	
16	—	—	—	—	—	—	105	89	80	89	103	89	80	131	96	102	128	
25	114	138	167	114	136	163	140	118	106	118	137	118	106	177	130	139	173	
35	140	168	203	139	166	199	174	145	131	145	169	145	131	218	160	170	212	
50	169	203	246	168	200	239	212	176	159	176	206	176	159	266	195	208	258	
70	212	255	310	213	251	299	269	224	202	224	261	224	202	338	247	265	328	
95	259	312	278	262	306	361	331	271	244	271	321	271	244	416	305	326	404	
120	299	364	439	304	354	412	386	314	282	314	374	314	282	487	355	381	471	
150	343	415	500	350	403	463	442	361	324	361	428	361	324	559	407	438	541	
185	397	479	575	402	462	522	511	412	371	412	494	412	371	648	469	507	626	
240	467	570	678	474	545	594	612	484	436	484	590	484	436	779	551	606	749	
300	533	654	772	542	619	657	707	—	481	549	678	—	492	902	638	697	864	
400	611	783	912	628	726	734	359	—	560	657	817	—	563	1270	746	816	1918	
500	—	893	1023	—	809	786	1000	—	—	749	940	—	—	1246	—	933	1173	
Όνομ. διατ. αλουμ. mm ²	Φόρτιση σε Ampère																	
25	89	—	—	88	—	—	128	91	83	—	—	—	—	1371	100	—	—	
35	108	130	157	107	128	154	145	113	102	113	131	—	—	68	122	131	163	
50	131	157	191	130	155	186	176	138	124	138	160	—	—	206	147	161	200	
70	165	198	240	166	195	234	224	174	158	174	202	—	—	262	1892	205	254	
95	201	243	294	203	238	284	271	210	190	210	249	—	—	323	32	253	313	
120	233	283	343	237	277	328	314	274	220	244	291	—	—	377	270	296	366	
150	267	323	390	272	316	370	361	281	252	281	33	—	—	433	308	341	420	
185	310	374	450	314	363	421	412	320	289	320	384	—	—	502	357	395	486	
240	366	447	535	372	432	489	484	378	339	378	460	—	—	605	435	475	585	
300	420	515	613	428	494	548	548	—	377	433	530	—	—	699	501	548	675	
400	488	623	733	503	589	627	666	—	444	523	642	—	—	830	592	647	798	
500	—	718	833	—	669	687	776	—	—	603	744	—	—	966	—	749	926	

Πίνακας 3: Τυποποιημένες τιμές αυτόματων διακοπών ισχύος

Τύπος ⁴⁾	Ονομαστικό ρεύμα διακόπτη προστασίας (A)	Περιοχή ρύθμισης θερμικού (A)	Ρεύμα διέγερσης ¹⁾ ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου (A)	Μέγιστη ασφάλεια ²⁾ DIAZED (380V)	Μέγιστη ασφάλεια ³⁾ NH (380V)
1	0,16	0,1-0,16	1,28	x	x
	0,25	0,16-0,25	2,0	x	x
	0,4	0,25-0,4	3,6	x	x
	0,63	0,4-0,63	6,3	x	x
	1	0,63-1	10	x	x
	1,6	1-1,6	16	x	x
	2,5	1,6-2,5	25	x	x
	4	2,5-4	48	35	40
	6,3	4-6,3	75	35	40
	10	6,3-10	120	35	40
	16	10-16	192	35	40
	3,2	2-3,2	38	25	32
	5	3,2-5	60	35	40
8	5-8	96	35	40	
12,5	8-12,5	150	35	40	
3	1,6	1-1,6	19	x	x
	2,5	1,6-2,5	30	x	x
	4	2,5-4	48	x	x
	6,3	4-6,3	75	x	x
	10	6,3-10	120		
	16	10-16	192	80	100
42	25	16-25	300	80	125
	16	10-16	192	x	x
	25	16-25	300	x	x
	32	22-32	390	-	160
	40	28-40	480	-	160
52	50	36-50	600	-	160
	63	45-63	720	-	160
	40	32-40	600	-	315
	50	40-50	600	-	315
	63	50-63	760	-	315
61, 62	80	63-80	960	-	315
	100	80-100	1200	-	315
	100	80-100	1000	-	500
	125	100-125	1250	-	500
	160	125-150	1600	-	500
71, 72	200	160-200	2000	-	500
	250	200-250	2500	-	500
	250	200-250	2500	-	800
	315	250-315	3150	-	800
	400	315-400	4000	-	800
	500	400-500	5000	-	800
	630	500-630	6000	-	800

8.1 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΙΣΧΥΟΣ P=250kW, ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΟΜΑΛΟ ΕΚΚΙΝΗΤΗ (Inverter), ΥΠΟΓΕΙΑ ΟΔΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 50m

8.1.1 Υπολογισμός ονομαστικού ρεύματος

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{250}{0.93} \Rightarrow P_{in} = 268.82 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{II} \cdot \cos \varphi} = \frac{268.82 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 456.48 \text{ A}$$

Για να υπολογιστούν οι απαιτούμενες διατομές για τα καλώδια, πρέπει να υπολογιστεί το ρεύμα που τα διαρρέει, με βάση τους παρακάτω συντελεστές

- n_1 : Συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους. Θεωρούμε 40°C
- n_2 : Συντελεστής ειδικής αντίστασης εδάφους. Θεωρούμε 1.5 Km/W
- n_3 : Συντελεστής βάθους τοποθέτησης στο έδαφος. Θεωρούμε 1 m
- n_4 : Συντελεστής τοποθέτησης καλωδίου σε σωλήνα, $n_4=0.85$
- n_5 : Συντελεστής συνεχούς λειτουργίας, όπως προκύπτει από τη σημείωση του κατασκευαστή, $n_5=0.93$

Οι συντελεστές n_1, n_2, n_3 λαμβάνονται από τον πίνακα 1

Έτσι το τελικό ρεύμα είναι

$$I_o = \frac{I}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5} \Rightarrow$$

$$I_o = \frac{456.48}{0.95 \cdot 0.84 \cdot 0.97 \cdot 0.85 \cdot 0.93} \Rightarrow I_o = 746 \text{ A}$$

8.1.2 Επιλογή διατομής

Με βάση το ρεύμα αυτό επιλέγουμε διατομή καλωδίου από τον πίνακα 2

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι για πολυλοπολικά καλώδια δεν υπάρχει διατομή που να μπορούμε να επιλέξουμε. Το ρεύμα λοιπόν θα μοιραστεί σε δύο καλώδια, οπότε το ρεύμα κάθε καλωδίου θα είναι:

$$I_0 = \frac{746}{2} = 373A$$

Οπότε από τον πίνακα επιλέγουμε διατομή $q=185\text{mm}^2$

8.1.3 Έλεγχος για πτώση τάσης

$$R_{20^\circ C} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 185} = 96,525 \cdot 10^{-6} \Omega$$

$$R_{κ,20^\circ C} = R_{20^\circ C} \cdot \ell = 96.525 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 4,82625 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\begin{aligned} R_{κ,70^\circ C} &= R_{κ,20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 4,82625 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) \\ &= 5.7915 \cdot 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^\circ C} \cdot \cos \varphi = 373 \cdot 5.7915 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85 = 2.167V < 9.2 \text{ Volt}$$

Στην Χ.Τ. η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 4%, δηλαδή

$$\frac{4}{100} \cdot 230 = 9,2V$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή 185mm^2

8.1.4 Επιλογή ασφαλιστικών μέσων

Από πίνακα 4 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 400A**
- **Θερμικό: 373A**

8.2 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΙΣΧΥΟΣ P=100kW, ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΟΜΑΛΟ ΕΚΚΙΝΗΤΗ (Inverter), ΥΠΟΓΕΙΑ ΟΔΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ, ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ 85m

8.2.1 Υπολογισμός ονομαστικού ρεύματος

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{100}{0.93} \Rightarrow P_{in} = 107.52 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{107.52 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 182.6 \text{ A}$$

Το τελικό ρεύμα υπολογίζεται με βάση τους συντελεστές όπως προέκυψαν στον προηγούμενο κινητήρα

$$I_o = \frac{I}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5} \Rightarrow$$

$$I_o = \frac{182.6}{0.95 \cdot 0.84 \cdot 0.97 \cdot 0.85 \cdot 0.93} \Rightarrow I_o = 298.4 \text{ A}$$

8.2.2 Επιλογή διατομής

Με βάση το ρεύμα αυτό επιλέγουμε διατομή καλωδίου από τον πίνακα 3. Οπότε από τον πίνακα επιλέγουμε διατομή **q=120mm²**

8.2.3 Έλεγχος για πτώση τάσης

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{k \cdot q} = \frac{1}{56 \cdot 120} = 148.8 \cdot 10^{-6} \Omega$$

$$R_{\kappa, 20^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \ell = 148.8 \cdot 10^{-6} \cdot 85 = 12.648 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa, 70^\circ\text{C}} = R_{\kappa, 20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = 12.648 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,004 \cdot (70 - 20)) \\ = 0.0151776 \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{κ,70^{\circ}C} \cdot \cos \varphi = 298.4 \cdot 0.0151776 \cdot 0.85 = 3.85V < 9.2 Volt$$

Στην Χ.Τ. η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 4%, δηλαδή

$$\frac{4}{100} \cdot 230 = 9,2V$$

Άρα θα χρησιμοποιηθεί διατομή **120mm²**

8.2.4 Επιλογή ασφαλιστικών μέσων

Από πίνακα 4 προκύπτει

- **Θερμομαγνητικός Διακόπτης 315A**
- **Θερμικό: 298A**

8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΙΚΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ

$$I_{0A} = 4 \cdot 746 \angle -31.78^{\circ} + 2 \cdot 298.4 \angle -31.78^{\circ} \Rightarrow$$

$$I_{0A} = 2500.8 \angle -31.78^{\circ}$$

Από τον πίνακα 3 διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει διαθέσιμη διατομή για να επιλεγεί πολύκλωνο καλώδιο για την κεντρική παροχή. Οπότε επιλέγεται μονόκλωνο καλώδιο (ένα τριφασικό σύστημα), διατομή $4 \times 400\text{mm}^2 + 240\text{mm}^2 + 240\text{mm}^2$ (τρεις φάσεις, ουδέτερος, γείωση)

8.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

$$S = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2500.8 = 1.73MVA$$

Με βάση τον παρακάτω πίνακα προκύπτει ότι το αντλιοστάσιο θα πρέπει να συνδεθεί μέσω Υ/Σ Μέσης Τάσης με το δίκτυο της ΔΕΗ, διότι στη Χ.Τ. η μεγαλύτερη παροχή είναι 135kVA

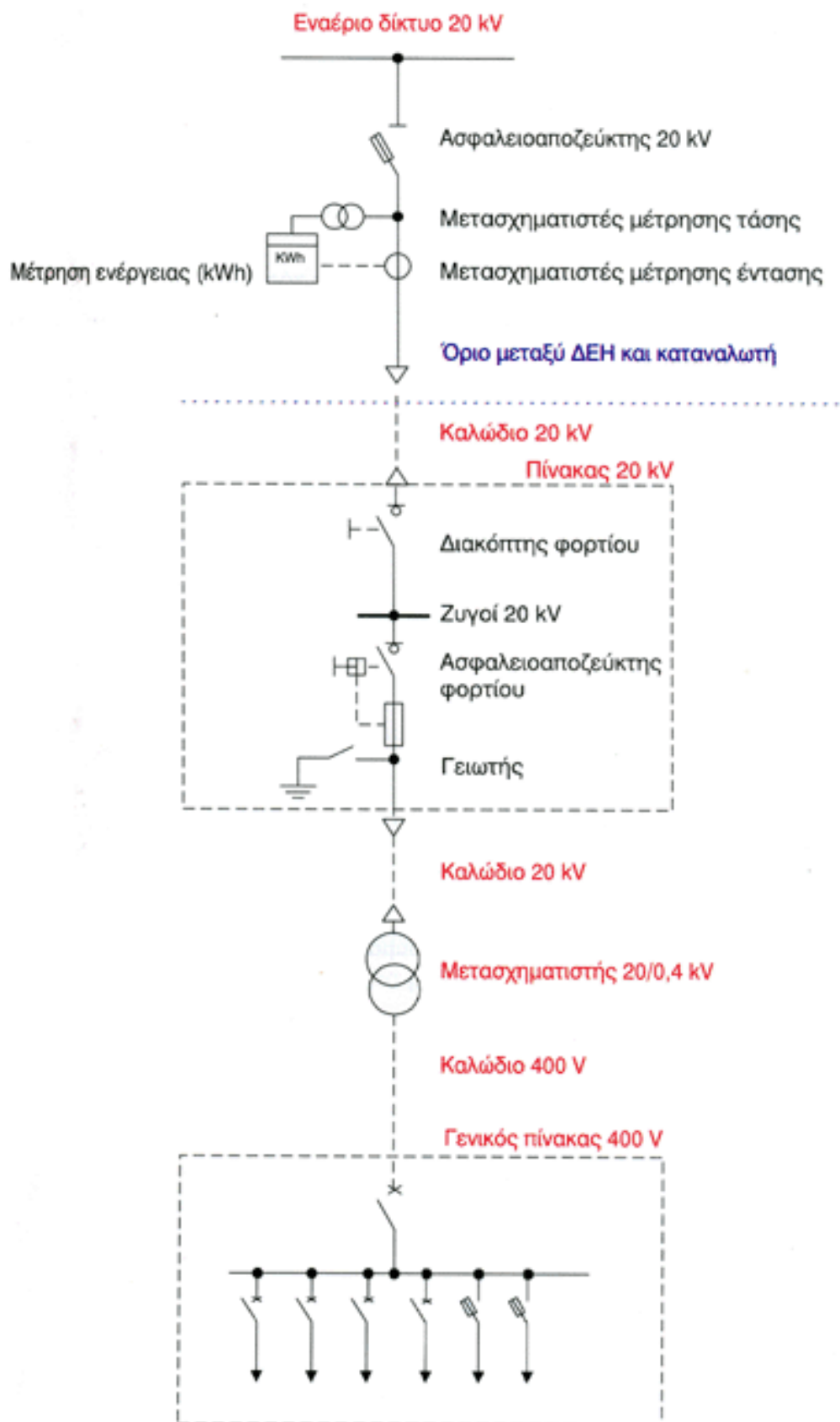
ΠΑΡΟΧΗ		ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ				ΜΕΤΡΗΤΗΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ		ΕΛΑΧ. ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΙΝΑΚΑ-ΜΕΤΡΗΤΗ ΠΟΥ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ Μ/Σ
		Γενική εσφ. εγκατάστασης	Μετρητής		Ελάχισ. Αναγ. δεικτού ΧΤ		Συγκεντρικά θ.Ν. (Cu)	X-LPI		
Νο	kVA	A	A	A	A	A	mm ²	mm ²	mm ²	kVA
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ										
03	8	35	35	40	63	10/40 15/60	2 x 6	-	3 x 10	50
05	12	50	63	63	80	15/60	2 x 16	-	3 x 16	50
ΤΡΙΦΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ										
1	15	25	25	25	63	3 x 10/40 3 x 10/60	4 x 6	-	5 x 6	50
2	25	35	35	40	63	3 x 10/40 3 x 10/60	4 x 6	-	5 x 10	50
3	35	50	63	63	100	3 x 20/60 3 x 10/60	4 x 16	-	5 x 16	100 (75)
4	55	80	100	-	160	3 x 50/100 3 x 20/100	4 x 25	-	3x25+16+16 ⁽⁵⁾	100
5	85	125	160	-	250	3 x 1.5/6 3x 1/6	4 x 50	3x95 Al + 35 Cu	3x50+25+25 ⁽⁵⁾	160
6	135	200	250	-	400	3 x 1.5/6 3x 1/6	Μονοπολ. 95 Cu	3x150 Al + 50 Cu	3x120+70+70 ⁽⁵⁾	250

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Ο υποσταθμός αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Άφιξη Μ.Τ.
 - Ασφαλειοαποξεύκτης Μ.Τ.
 - Μ/Σ Τάσης
 - Μ/Σ έντασης
- Αναχώρηση ΜΤ
 - Κυψέλες Μ.Τ. (Πίνακας ΜΤ)
 - Μ/Σ Ισχύος
- Άφιξη Χ.Τ.
 - Πίνακας Χ.Τ.

Ακολουθεί ένα μονογραμμικό σχέδιο στο οποίο φαίνονται τα μέρη του υποσταθμού. Στην περίπτωση μας, εφόσον η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 1.73MVA, θα χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής ονομαστικής ισχύος 2 MVA.



Εικόνα 44: Μονογραμμικό σχέδιο υποσταθμού μέσης τάσης

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

ΜΣ 2ΜVΑ

Πλευρά υψηλής τάσης:

$$I = \frac{S}{U_{\Pi} \cdot \sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{3}} = 57.735A$$

Καλώδια Μέσης Τάσης

Για να υπολογιστούν οι απαιτούμενες διατομές για τα καλώδια, πρέπει να υπολογιστεί το ρεύμα που τα διαρρέει, με βάση τους παρακάτω συντελεστές

n_1 : Συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους. Θεωρούμε 40°C

n_2 : Συντελεστής ειδικής αντίστασης εδάφους. Θεωρούμε 1.5Km/W

n_3 : Συντελεστής βάθους τοποθέτησης στο έδαφος. Θεωρούμε 1m

n_4 : Συντελεστής τοποθέτησης καλωδίου σε σωλήνα, $n_4=0.85$

n_5 : Συντελεστής συνεχούς λειτουργίας, όπως προκύπτει από τη σημείωση του κατασκευαστή, $n_5=0.93$

The above ratings for cables installed in ground are for cyclic load with a load factor 0.7.
For continuous operation (load factor 1.0) the values must be multiplied with a coefficient equal to 0.93.

Οι συντελεστές n_1 , n_2 , n_3 λαμβάνονται από τον παραπάνω πίνακα.

Ambient Temperature °C:	15	20	25	30	35	40	45	50
Correction factor	1,14	1,09	1,04	1,0	0,96	0,91	0,87	0,82

Ground Temperature °C:	15	20	25	30	35	40
Correction factor	1,09	1,0	0,97	0,93	0,89	0,85

Soil thermal resistivity Km/W	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Correction factor	1,05	1,0	0,93	0,84	0,75	0,67	0,62

Depth of burial m:	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
Correction factor	1,0	0,97	0,95	0,94	0,92	0,9	0,89

Έτσι το τελικό ρεύμα είναι

$$I_o = \frac{I}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5} \Rightarrow$$

$$I_o = \frac{57.735}{0.85 \cdot 0.84 \cdot 0.97 \cdot 0.85 \cdot 0.93} = 105.455A$$

Υπολογισμός Πτώσης Τάσης

Η πτώση τάσης υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο

$$\Delta V = I \cdot R_K \cdot \ell \cdot \cos \varphi + I \cdot X_K \cdot \ell \cdot \sin \varphi$$

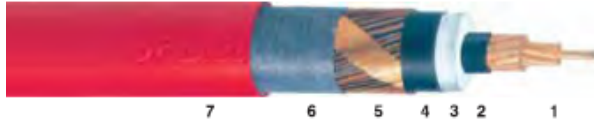
Για ρεύμα 105.455A από τον πίνακα του καλωδίου που φαίνεται παρακάτω (πηγή: www.cablel.com/el) για υπόγεια όδευση, μπορεί να επιλεγεί διατομή 25mm², οπότε για τους 20°C η αντίστασή του είναι: 0.727Ω/km. Το καλώδιο είναι τύπου XLPE, δηλαδή έχει μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 90°C. Άρα η αντίστασή του στους 90°C είναι:

$$R_{90} = R_{20} \cdot [1 + 0.004 \cdot (90 - 20)] = 0.727 \cdot [1 + 0.004 \cdot (90 - 20)] \\ = 0.93056\Omega/km$$

$$\Delta V = I \cdot R_K \cdot \ell \cdot \cos \varphi = 105.455 \cdot 0.93056 \cdot \frac{20}{1000} \cdot 0.85 = 1.67Volt$$

Δεν υπολογίστηκε ο όρος $I \cdot X_K \cdot \ell \cdot \sin \varphi$, διότι η απόσταση όδευσης των καλωδίων είναι μικρότερη των 100m και δεν απαιτείται υπολογισμός.

Στην Μέση Τάση η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι 8% της ονομαστικής, δηλαδή $\frac{8}{100} \cdot 20000 = 1600Volt$, οπότε επιλέγεται διατομή **25mm²**



1. Round stranded compacted conductor
2. Extruded semi-conductive conductor screen
3. XLPE insulation
4. Extruded semi-conductive conductor screen
5. Copper wires wrapped with a copper tape
laid with an open helix over core
6. Plastic tape
7. PVC outersheath

CABLE TYPE:
NOMINAL VOLTAGE:
SPECIFICATION:

XLPE/CWS/PVC
6/10 kV
IEC 60502-2

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

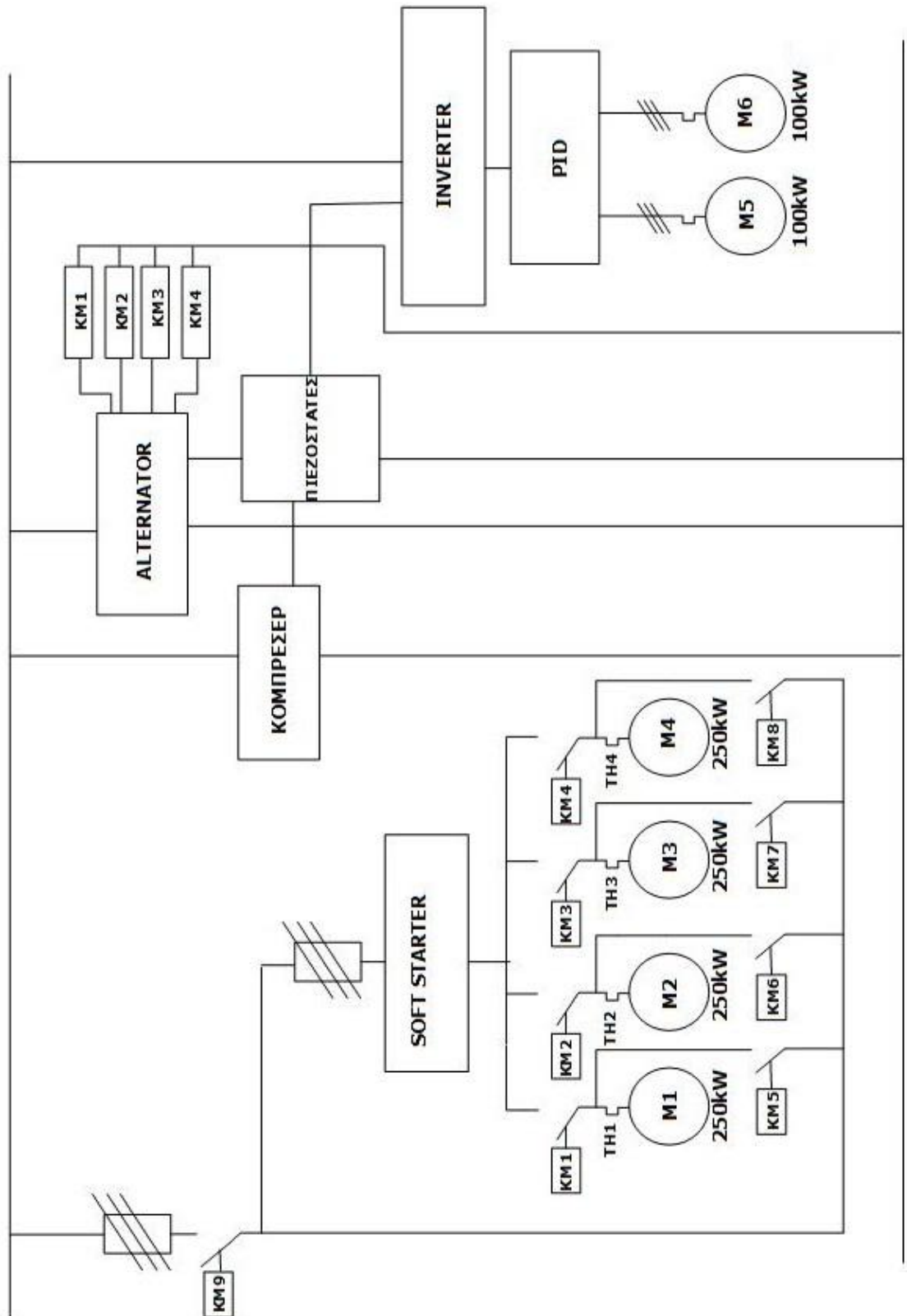
Οι τέσσερις μεγάλες αντλίες (250kW) ξεκινούν με soft-starter και δουλεύουν το πολύ μέχρι τρεις. Η επιλογή των τριών αντλιών από τις τέσσερις πραγματοποιείται με τον Alternator (εναλλάκτη) ο οποίος έχει εξόδους τους ηλεκτρονόμους KM1, KM2, KM3 και KM4 των αντλιών και τις θέτει κυκλικά σε λειτουργία, μετά από κάθε σταμάτημα ή βλάβη. Ο soft starter χρησιμοποιείται μόνο κατά την εκκίνηση των αντλιών και στη συνέχεια με by-pass που υλοποιείται με τους ηλεκτρονόμους KM5, KM6, KM7, KM8, οι αντλίες τροφοδοτούνται απευθείας από το δίκτυο. Η όλη τροφοδοσία των μεγάλων αντλιών πραγματοποιείται μέσω του ηλεκτρονόμου KM9 που παίρνει εντολή από τον Alternator.

Πάντα δουλεύει μια μικρή αντλία 100kW (πιλότος) με inverter μαζί με τις τρεις μεγάλες.

Πρέπει κατά τη λειτουργία να έχει το δίκτυο άρδευσης σταθερή πίεση 6,5 bar. Η αντλία 100kW κάνει PID για να διατηρήσει την πίεση στα 6.5bar.

Σε πίεση κάτω από 6.3 bar, μπαίνουν οι αντλίες 250kW και βγαίνουν εκτός σε πίεση μεγαλύτερη από 6.8bar. Η πληροφορία σχετικά με τις πιέσεις λαμβάνεται από πιεζοστάτη συνδεδεμένο στην παροχή και μεταφέρεται στον Alternator ο οποίος ενεργοποιεί τις αντλίες με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω.

Με έναν επιτηρητή στάθμης ελέγχουμε τη στάθμη στο δοχείο διαστολής και ενεργοποιούμε ή όχι τη βαλβίδα αέρος. Ο αεροσυμπιεστής είναι αυτόνομος και σταματά-ξεκινά από πιεζοστάτη διατηρώντας την πίεση του αέρα στα 7.5 bar.



Εικόνα 45: το μονογραμμικό σχέδιο του αυτοματισμού

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΜΠΙΤΖΙΩΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ: ΚΙΝΗΣΗ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2η ΕΚΔΟΣΗ, 2015
- ΠΕΤΡΟΣ ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΣ, «ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2005
- Σημειώσεις Μαθήματος Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Ισχύος, Διδάσκων: Σχοινιάς Νικόλαος
- Σημειώσεις Μαθήματος Ηλεκτρικά Κινητήρια Συστήματα, Διδάσκων: Αντωνόπουλος Γεώργιος.
- <http://industrialhistoryhk.org/peak-tram-ward-leonard-installed1926/>
- http://eclass.teiep.gr/modules/document/file.php/TEXG108/Διδακτικό%20Πακέτο/Ενότητα%206_Κριτήρια%20επιλογής%20κατάλληλου%20συστήματος%20άρδευσης.pdf
- <http://emadrlc.blogspot.com/2012/12/three-phase-wound-rotor-induction-motor.html>