

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ
ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ**

ΚΑΓΙΑΦΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΣΟΛΩΜΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η τεχνική περιγραφή των εγκαταστάσεων και η ηλεκτρολογική μελέτη δύο αντλιοστασίων λυμάτων στην πόλη της Πάτρας, τα οποία βρίσκονται το ένα εντός της λιμενικής ζώνης, απέναντι από την οδό Ιεροθέου Αρχιεπισκόπου και το άλλο στη συμβολή των οδών Ακτή Δυμαίων και Ανθείας. Τα αντλιοστάσια αυτά συλλέγουν τα λύματα των ανωτέρω περιοχών και τα μεταφέρουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η τεχνική περιγραφή των εγκαταστάσεων και η ηλεκτρολογική μελέτη δύο αντλιοστασίων λυμάτων στην πόλη της Πάτρας, τα οποία βρίσκονται το ένα εντός της λιμενικής ζώνης, απέναντι από την οδό Ιεροθέου Αρχιεπισκόπου και το άλλο στη συμβολή των οδών Ακτή Δυμαίων και Ανθείας. Τα αντλιοστάσια αυτά συλλέγουν τα λύματα των ανωτέρω περιοχών και τα μεταφέρουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους επαγωγικούς κινητήρες και πιο συγκεκριμένα στα βασικά τους χαρακτηριστικά και στους τρόπους εκκίνησης. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο στο οποίο γίνεται αναφορά στους ρυθμιστές στροφών που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις αντλιοστασίων. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται στη μέση και στη χαμηλή τάση και στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση των αντλιοστασίων η μελέτη της πτώσης τάσης και η προσδιορισμός των μέσων προστασίας στα διάφορα μέρη της εγκατάστασης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1 7	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	8
1.1 Κατηγορίες ασύγχρονων κινητήρων.....	8
1.2 Επαγωγικοί κινητήρες	8
1.3 Κατασκευή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων	9
1.3.1 Στάτης.....	9
1.4 Ολίσθηση.....	10
1.5 Εφαρμογές επαγωγικών ηλεκτρικών μηχανών	11
1.5.1 Λειτουργία κινητήρα	11
1.5.2 Λειτουργία πέδης.....	13
1.6 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων	16
1.6.1 Απευθείας εκκίνηση.....	16
1.6.2 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.....	17
1.6.3 Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη	18
1.6.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου.....	19
1.6.5 Εκκίνηση με ομαλό εκκινητή (soft-starter).....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ	22
2.1. Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών	22
2.2. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (Soft Starter).....	23

2.2.1.	Γενικά	23
2.2.2.	Αρχή λειτουργίας.	24
2.3.	Παραδείγματα συνδεσμολογίας αντλητικών συγκροτημάτων με inverter.....	29
2.3.1.	Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (stop-start).....	29
2.3.2.	Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (stop-start) και εντολή έναρξης και παύσης, πριν και μετά του επιθυμητού σημείου.	31
2.4.	Συνδεσμολογία οδηγού AC για διαδοχική και ταυτόχρονη λειτουργία δύο κινητήρων.	34
2.5.	Εξοικονόμηση ενέργειας σε σταδιακή φόρτιση του κινητήρα (energy saving).	36
2.6.	Λειτουργία κινητήρα με τον soft-starter συνδεδεμένο συνεχώς	37
2.7.	Λειτουργία κινητήρα με αυτόματο διακόπτη (ρελέ ισχύος) παράκαμψη (By pass).	37
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	39
3	ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ	39
3.1	Διακόπτες Ισχύος	39
	Οι αυτόματοι διακόπτες είναι διακόπτες ισχύος (ΔΙ) που ανοίγουν αυτόματα το κύκλωμα σε προκαθορισμένο χρόνο αν το ρεύμα του κυκλώματος που προστατεύουν υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή Προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα και αποτελούνται από	39
§	ένα ΔΙ	39
§	ένα θερμικό στοιχείο ή έναν ΗΝ που δίνει εντολή στο ΔΙ να ανοίξει (υπερφόρτιση) χρόνος απόκρισης: δευτερόλεπτα – λεπτά (ανάλογα με το ρεύμα)	39

§ ένα ΗΜ στοιχείο που δίνει εντολή στο ΔΙ να ανοίξει ακαριαία (βραχυκύκλωμα) χρόνος απόκρισης: 10-100 ms, όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή $\cong 2 - 15 \text{ IN}$	39
Οι αυτόματοι διακόπτες μπορούν να συνδεθούν με ΗΝ υπότασης ή υπέρτασης για την προστασία κινητήρων Ανάλογα με τη συσκευή που προστατεύουν, διακρίνονται σε	39
§ αυτόματοι διακόπτες γραμμών και συσκευών (μικροαυτόματοι) ..	39
§ αυτόματοι διακόπτες κινητήρων.....	39
§ αυτόματοι διακόπτες ισχύος για εγκαταστάσεις διανομής.....	39
1.1.1 Τα μέρη του διακόπτη ισχύος	47
1.1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος	49
3.2 Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης	51
3.3 Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής	51
3.3.1 Ονομαστική τάση (U_n)	51
3.3.2 Ονομαστικό ρεύμα (I_n)	52
3.3.3 Ελάχιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής (I_3)	52
3.3.4 Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής.....	52
3.4 Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC	53
3.5 Χαρακτηριστικές απόξευξης των ασφαλειών HRC	55
3.6 Μετασχηματιστές	56
3.6.1 ΓΕΝΙΚΑ..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
3.6.2 . Τύποι Μετασχηματιστών	56
3.7 Στοιχεία μετασχηματιστών	58
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	60
4.1 Διαστασιολόγηση των αντλητικών συγκροτημάτων	60
4.2 Υπολογισμός ισχύος αντλητικών συγκροτημάτων.....	62
4.3 Υπολογισμός ρευμάτων και πτώσης τάσης.....	65

4.4	ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ	72
4.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	75
4.5.1	ΜΣ 500kVA	75
4.5.2	Καλώδια Μέσης Τάσης.....	75
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντλιοστάσια είναι ο χώρος όπου συσσωρεύονται τα όμβρια και τα λύματα. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η διάρκεια ζωής ενός αντλιοστασίου γίνεται με ορίζοντα 40ετίας. Η μελέτη του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (αντλίες, κινητήρες) που θα χρησιμοποιηθεί στο αντλιοστάσιο θα πρέπει να γίνεται με πλάνο 25ετίας.

Ο σχεδιασμός καθώς και η επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού γίνεται με τα παρακάτω στοιχεία:

- Οι απαιτούμενες παροχές.
- Η ύπαρξη ομοιομορφίας στους τύπους των αντλητικών συγκροτημάτων.
- Η ύπαρξη εφεδρείας.
- Η επίτευξη του χαμηλότερου δυνατού κόστους κατασκευής και λειτουργίας του αντλιοστασίου.
- Ο βαθμός ασφάλειας λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Έστω μικρής διάρκειας παύσης λειτουργίας μπορεί να φέρει σοβαρές και ανεπιθύμητες δυσλειτουργίες.



Εικόνα 1: Αντλιοστάσιο με τρεις αντλίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

1.1 Κατηγορίες ασύγχρονων κινητήρων

Ονομάζονται ασύγχρονοι κινητήρες, επειδή δεν κινούνται με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, όπως οι σύγχρονοι κινητήρες, αλλά με διαφορετική ταχύτητα.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται:

- 1) Στους **επαγωγικούς**, που είναι οι
 - α) δακτυλιοφόροι (μονοφασικοί ή πολυφασικοί) κινητήρες,
 - β) κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κινητήρες κλωβού (μονοφασικοί ή πολυφασικοί).

Οι μονοφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε:

- α) αντίστασης
- β) βραχυκυκλωμένων σπειρών στο στάτη, και
- γ) πυκνωτή (εκκίνησης - λειτουργίας).

- 2) Στους **κινητήρες με συλλέκτη**, που είναι οι:

- α) κινητήρες σειράς
- β) κινητήρες “Γιουνιβέρσαλ” (Universal)
- γ) κινητήρες αντίδρασης (ή απωστικοί κινητήρες).

1.2 Επαγωγικοί κινητήρες

Ονομάζονται επαγωγικοί κινητήρες, επειδή το ρεύμα που κινεί το δρομέα αναπτύσσεται από επαγωγή. Είναι γνωστό ότι τα επαγωγικά ρεύματα αναπτύσσονται από την επίδραση και από τη μεταβολή των μαγνητικών πεδίων. Στην προκειμένη περίπτωση το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο είναι ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ονομάζεται το μαγνητικό πεδίο το οποίο διατηρεί σταθερό μέτρο (στιγμιαία τιμή), αλλά η διεύθυνση του στρέφεται με μια ορισμένη γωνιακή ταχύτητα ω .

Αντίθετα, ένα εναλλασσόμενο πεδίο διατηρεί σταθερή τη διεύθυνσή του, ενώ η στιγμιαία τιμή του (το μέτρο του) μεταβάλλεται αρμονικά.

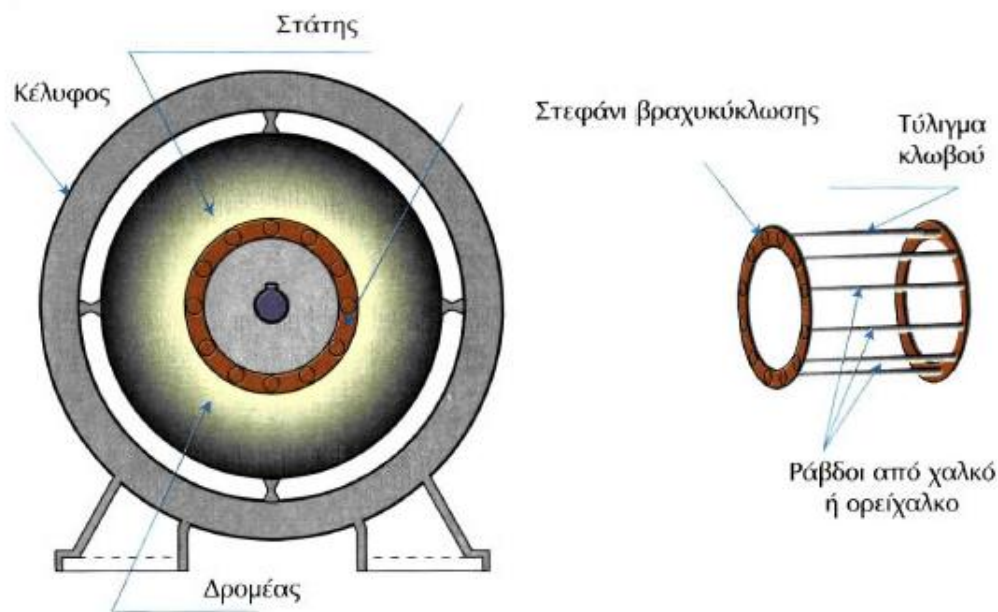
1.3 Κατασκευή των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων

1.3.1 Στάτης

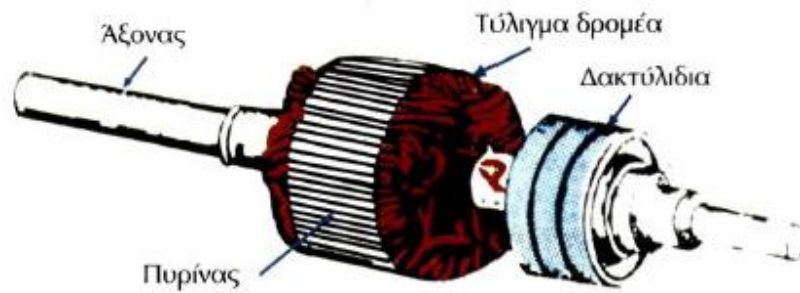
Η κατασκευή του στάτη των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, καθώς, και των κινητήρων με δακτυλίους είναι η ίδια με εκείνη της σύγχρονης μηχανής.

Δρομέας

Οι τύποι των δρομέων που τοποθετούνται στο εσωτερικό του στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα είναι δύο: Ο ένας από αυτούς ονομάζεται δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού και ο άλλος δακτυλιοφόρος δρομέας



Εικόνα 2: Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα



Εικόνα 3: Δακτυλιοφόρος δρομέας

1.4 Ολίσθηση

Όπως αναφέραμε, η κίνηση στους επαγωγικούς κινητήρες επιτυγχάνεται από τα επαγωγικά ρεύματα που αναπτύσσονται στο δρομέα τους.

Αυτά τα επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται από τη σχετική διαφορά της ταχύτητας μεταξύ του στρεφόμενου πεδίου και του δρομέα.

Εάν η ταχύτητα του δρομέα φτάσει την ταχύτητα του πεδίου, τότε δεν έχουμε εμφάνιση επαγωγικών ρευμάτων ούτε δυνάμεων Laplace, και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνηση. Συνεπώς, ο δρομέας δε στρέφεται ποτέ με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, δηλαδή με την ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου αλλά πάντοτε με ταχύτητα μικρότερη απ' αυτήν. Το ποσό κατά το οποίο η ταχύτητα στροφής του δρομέα υστερεί από την ταχύτητα στροφής του πεδίου, καλείται **ολίσθηση**. Η ολίσθηση συμβολίζεται με το γράμμα S , και συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της σύγχρονης ταχύτητας:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

όπου:

n_s = στρ/min του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

n_r = στρ/min του δρομέα.

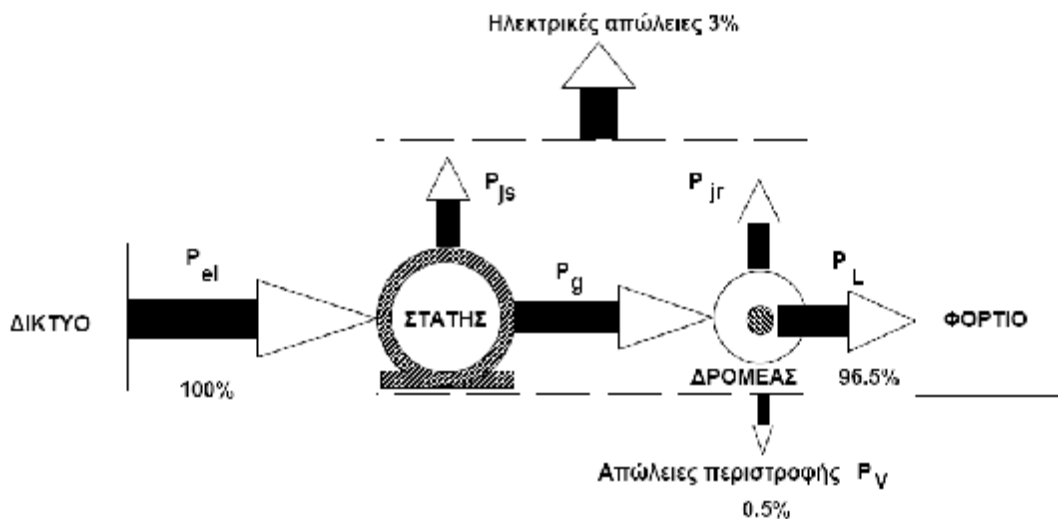
Διευκρινίζεται ότι η ολίσθηση του κινητήρα είναι η ταχύτητα με την οποία οι μαγνητικές γραμμές του στρεπτού πεδίου τέμνουν τους αγωγούς του δρομέα.

1.5 Εφαρμογές επαγωγικών ηλεκτρικών μηχανών

Η προηγούμενη ανάλυση στηρίχθηκε στη λειτουργία της επαγωγικής ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα, συσκευής δηλαδή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η εφαρμογή αυτή είναι και η πιο διαδεδομένη. Η επαγωγική ηλεκτρική μηχανή όμως, όπως και κάθε άλλη ηλεκτρική μηχανή, μπορεί να λειτουργήσει αντίστροφα, σαν γεννήτρια, μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική. Επιπλέον μια ιδιαίτερη εφαρμογή του επαγωγικού κινητήρα, είναι η λειτουργία του σαν πέδη. Οι παραπάνω εφαρμογές παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

1.5.1 Λειτουργία κινητήρα

Όταν η επαγωγική μηχανή λειτουργεί σαν κινητήρας, τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ στο στάτη και τη μετατρέπει σε κινητήρια ροπή στον άξονα του δρομέα. Το πεδίο που δημιουργείται από τα τυλίγματα του στάτη στρέφεται στο διάκενο με τη σύγχρονη ταχύτητα, επάγοντας ρεύματα στον ακίνητο βραχυκυκλωμένο δρομέα.



Εικόνα 4: Λειτουργία της μηχανής ως κινητήρας

Η αλληλεπίδραση των πεδίων στάτη και δρομέα, αναπτύσσει ροπή στο δρομέα, κατά τη φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη και τον αναγκάζει να κινηθεί προς την ίδια κατεύθυνση. Σχεδόν άμεσα ο δρομέας αποκτά την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του, που υπολείπεται της σύγχρονης ω κατά s , όπου s η ολίσθηση του κινητήρα.

Συνεπώς

$$s = \frac{\omega - \omega_m}{\omega}$$

και $\omega_m < \omega$, άρα $1 > s > 0$ και συνήθως λιγότερο από 0.1. Η ροπή T_m , που αναπτύσσεται στο δρομέα, όπως προκύπτει από τη (1.16), μπορεί να θεωρηθεί ίση με τη ροπή του φορτίου T_L , αγνοώντας τις απώλειες περιστροφής. Τότε η ισχύς που μεταφέρεται μέσα από το διάκενο από το στάτη στο δρομέα και δίνεται από τη (1.11) είναι:

$$P_g = \omega \cdot T_m$$

Αντίστοιχα η μηχανική ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο από τον άξονα του κινητήρα, που στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω_m , θα είναι

$$P_L = \omega_m \cdot T_m = \omega(1 - s)T_m$$

Οι απώλειες ισχύος του κινητήρα προκύπτουν προφανώς από τη διαφορά των (1.19) και (1.20) δηλαδή

$$P_{jr} = P_g - P_L = \omega \cdot T_m - \omega(1 - s)T_m = s \cdot \omega \cdot T_m = s \cdot P_g$$

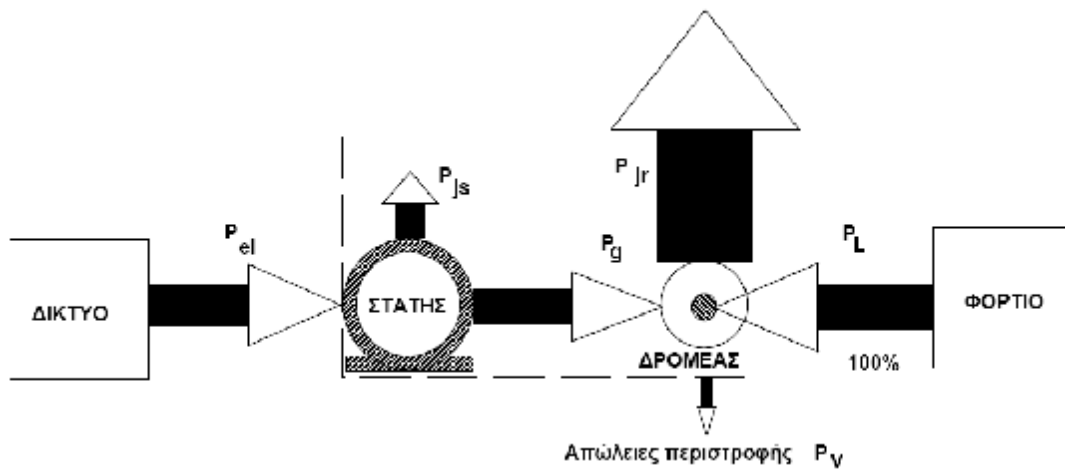
Συνεπώς κατά τη λειτουργία κινητήρα, η ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο $P_{el} > 0$, σύμφωνα με τη σύμβαση καταναλωτή, ενώ αντίστοιχα θετικές είναι οι P_g , T_m . Για την ολίσθηση s ισχύει ότι $1 > s > 0$ και η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής είναι πάντα μικρότερη της σύγχρονης, $\omega_m < \omega$.

1.5.2 Λειτουργία πέδης

Σε ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές, ο επαγωγικός κινητήρας και το φορτίο του πρέπει να φρενάρουν απότομα. Αυτό μπορεί να γίνει εάν ο κινητήρας αναγκαστεί να αλλάξει τη φορά περιστροφής του μέχρι την ακινητοποίηση του φορτίου και να σταματήσει να περιστρέφεται πριν αρχίσει να γυρίζει το φορτίο αντίστροφα. Η λειτουργία αυτή του επαγωγικού κινητήρα χαρακτηρίζεται σαν **πέδηση**.

Για την αντιστροφή της φοράς περιστροφής του κινητήρα, αρκεί να αντιστραφεί η φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη, κάτι το οποίο συμβαίνει με την εναλλαγή δύο φάσεων της τροφοδοσίας. Αποδεικνύεται εύκολα ότι στην περίπτωση αυτή προκύπτει ένα συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων που περιστρέφεται αντίστροφα από το αρχικό.

Κατά την πέδηση, ο επαγωγικός κινητήρας απορροφά κινητική ενέργεια από το περιστρεφόμενο φορτίο και τη μετατρέπει σε θερμότητα που εκλύεται από το δρομέα. Έτσι η ταχύτητα περιστροφής του φορτίου μειώνεται. Ο δρομέας όμως απορροφά ισχύ P_g από το δίκτυο μέσα από το διάκενο. Η ισχύς αυτή μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα στο δρομέα. Συνεπώς κατά τη λειτουργία πέδης, ο δρομέας εμφανίζει απώλειες I^2R που είναι πολύ μεγάλες, μεγαλύτερες και από εκείνες που εμφανίζονται όταν έχουμε μπλοκάρισμα του δρομέα κατά την εκκίνηση. Γενικά, η ενέργεια που εκλύεται σαν θερμότητα από τον δρομέα κατά την πέδηση από τις ονομαστικές στροφές μέχρι την ακινητοποίηση, είναι περίπου τριπλάσια της αρχικής κινητικής ενέργειας όλων των περιστρεφόμενων μερών. Συνεπώς η συχνή πέδηση του επαγωγικού κινητήρα μπορεί να οδηγήσει εύκολα στην καταστροφή από υπερθέρμανση των τυλιγμάτων του δρομέα ή και του στάτη.



Εικόνα 5: Λειτουργία πέδης

Με την αντιστροφή της φοράς περιστροφής του πεδίου του στάτη, η ολίσθηση s γίνεται μεγαλύτερη του 1, συνεπώς,

$$s = \frac{\omega - \omega_m}{\omega} > 1 \Leftrightarrow \omega_m < 0$$

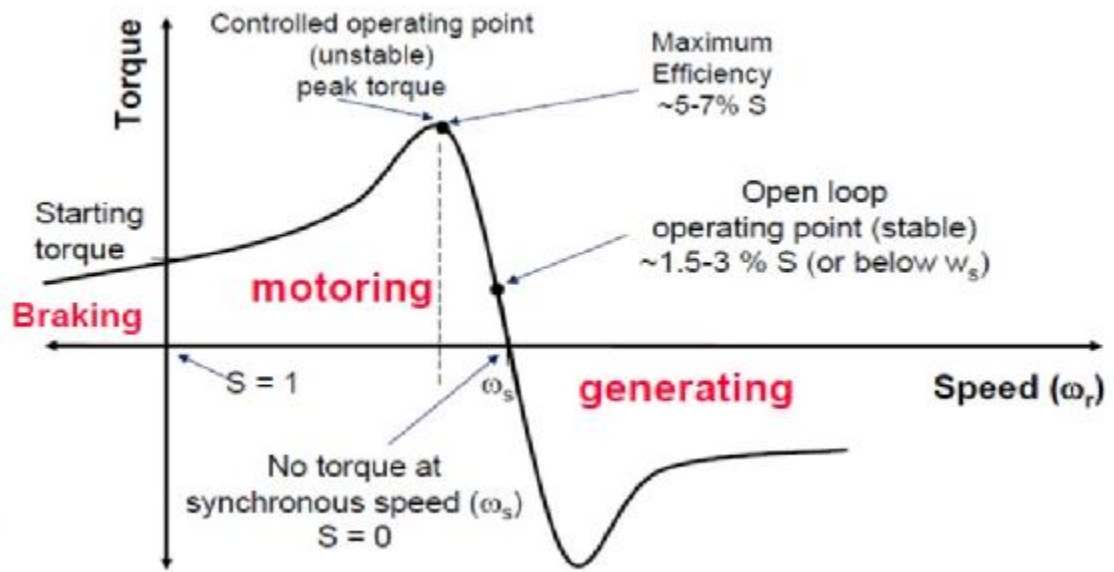
Η ροπή T_m και η ισχύς P_{el} είναι θετικές, συνεπώς ο κινητήρας απορροφά ισχύ από το δίκτυο. Ταυτόχρονα

$$P_L \approx P_m = \omega_m \cdot T_m < 0$$

άρα ο κινητήρας απορροφά ισχύ και από το φορτίο. Προφανώς, στην περίπτωση αυτή οι απώλειες του δρομέα θα είναι

$$P_{jr} = |P_{el}| + |P_L|$$

Οι τρεις λειτουργικές καταστάσεις που περιγράφηκαν προσδιορίζουν τη συνολική χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας της ασύγχρονης μηχανής, όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 21. Στην καμπύλη αυτή φαίνεται ότι οι διάφορες καταστάσεις μπορούν να διαδέχονται ομαλά η μια την άλλη. Συνοψίζοντας, σαν γενική παρατήρηση, ισχύει ότι ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται με την ίδια φορά με το στρεφόμενο πεδίο όταν η μηχανή λειτουργεί σαν κινητήρας ή σαν γεννήτρια. Στην περίπτωση του κινητήρα όμως, η ταχύτητα του είναι λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη (θετική ολίσθηση), ενώ στην περίπτωση της γεννήτριας λίγο μεγαλύτερη από την σύγχρονη (αρνητική ολίσθηση). Τέλος κατά τη λειτουργία πέδης, ο άξονας στρέφεται με αντίθετη φορά από εκείνη του στρεφόμενου πεδίου.



Εικόνα 6: Συνολική χαρακτηριστική ροπής ταχύτητας της ασύγχρονης μηχανής

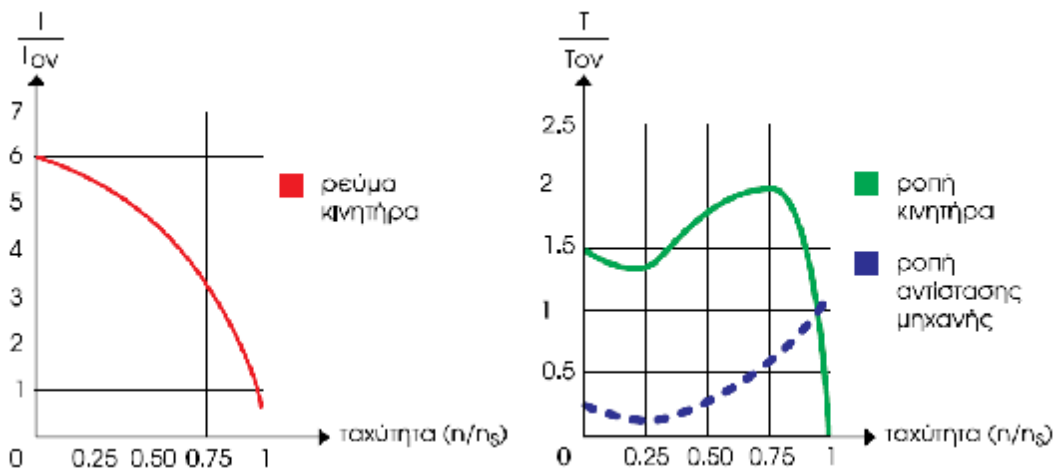
1.6 Διατάξεις εκκίνησης τριφασικών κινητήρων

Έχουμε τους παρακάτω τρόπους εκκίνησης:

- § Απευθείας εκκίνησης
- § Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή
- § Εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη
- § Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου
- § Με ρύθμιση του λόγου V/f (ομαλός εκκινητής soft starter)

1.6.1 Απευθείας εκκίνηση

Ο απλούστερος τρόπος εκκίνησης τριφασικού κινητήρα, είναι η απευθείας εκκίνηση με τη χρήση ενός μόνο απλού τριπολικού διακόπτη.

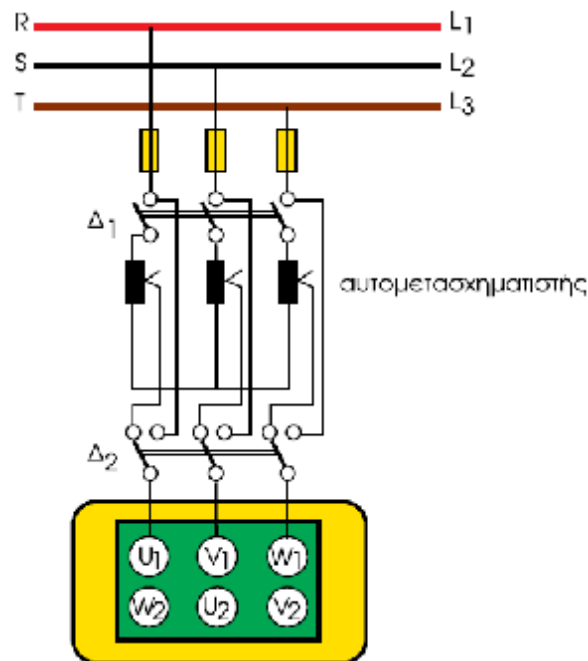


Εικόνα 7: Ρεύμα και ροπή εκκίνησης κατά την απευθείας εκκίνηση

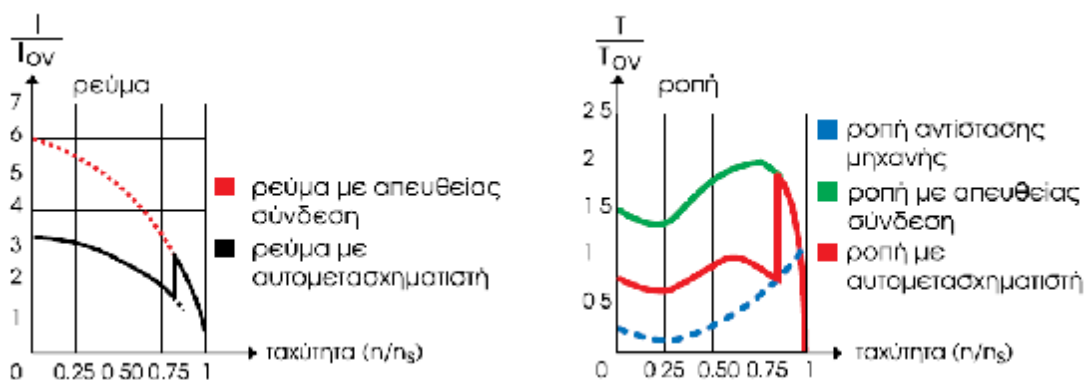
Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις στη βιομηχανία και κυρίως για κινητήρες μικρής ισχύος της τάξης του 1,5-2KW. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως όπου η ΔΕΗ επιτρέπει την απευθείας εκκίνηση κινητήρων μεγαλύτερης ισχύος (βλέπε κανονισμό ΔΕΗ) τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πρώτον η απλή μέθοδος του και η υψηλή ροπή εκκίνησης. Ενώ το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης.

1.6.2 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

Για την εκκίνηση μεγάλων ασύγχρονων κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα χρησιμοποιείται συνήθως τριφασικός αυτομετασχηματιστής που συνδέεται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 8: Σύνδεση του κινητήρα με το δίκτυο κατά την εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

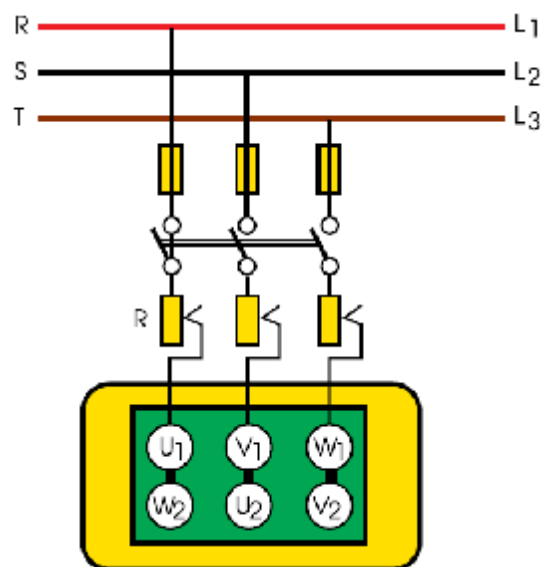


Εικόνα 31: Ρεύμα και ροπή εκκίνησης κατά την εκκίνηση με χρήση αυτομετασχηματιστή

Με τη μέθοδο αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε ελαφρώς μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης απ' ό τι στην εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη. Με τον αυτομετασχηματιστή η πλήρης τάση παρέχεται κλιμακωτά αφού ο κινητήρας έχει φτάσει την ονομαστική του ταχύτητα. Κατόπιν αποσυνδέουμε τον αυτομετασχηματιστή μέσω του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ1 και συνδέουμε με τον κινητήρα απευθείας με το δίκτυο για την κανονική του λειτουργία.

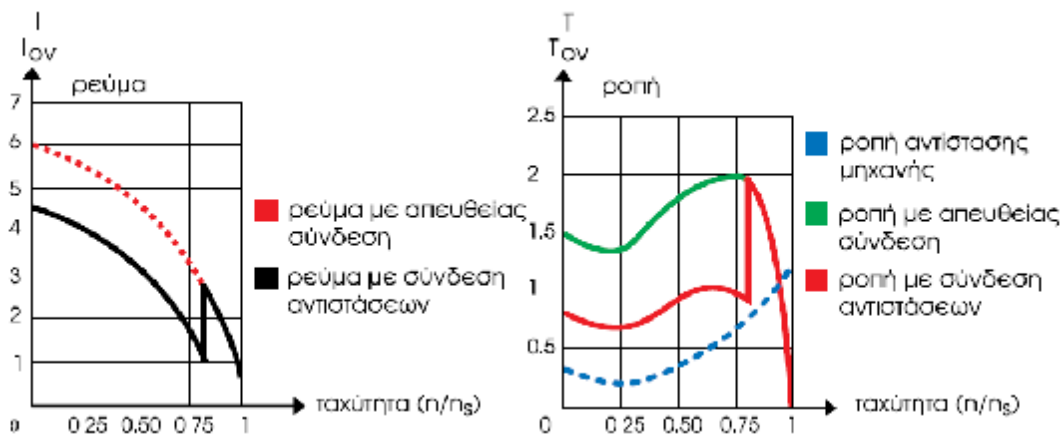
1.6.3 Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Για την εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη χρησιμοποιείται εκκινητής που αποτελείται από τρεις αντιστάσεις οι οποίες παρεμβάλλονται στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του τριφασικού κινητήρα.



Εικόνα 9: Σύνδεση του κινητήρα με το δίκτυο κατά την εκκίνηση με χρήση αντιστάσεων στο στάτη

Ο κινητήρας μ' αυτόν τον τρόπο ξεκινάει με ελαττωμένη τάση και συνεπώς και με ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα αφαιρούνται σταδιακά οι αντιστάσεις έως ότου ο κινητήρας αποκτήσει τις κανονικές στροφές οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι στη κανονική λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι εκτός κυκλώματος.

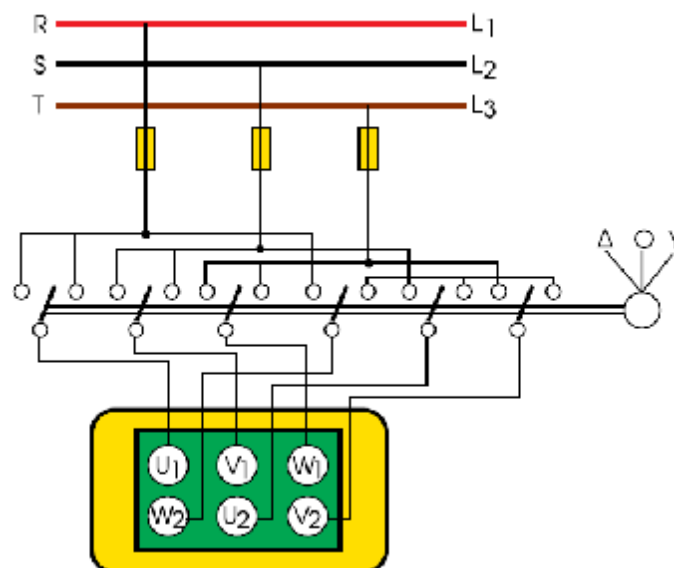


Εικόνα 10: Ρεύμα και ροπή εκκίνησης κατά την εκκίνηση με χρήση αντιστάσεων στο στάτη

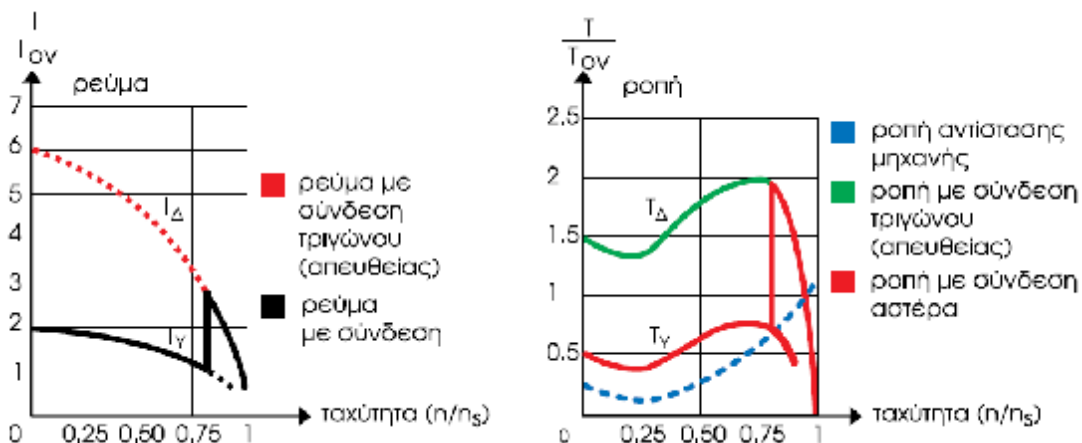
1.6.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου

Η παραγόμενη ροπή όπως προαναφέραμε είναι ανάλογη του τετραγώνου του μεγέθους της τάσης τροφοδοσίας. $T \sim V^2$

Επιπλέον η ολίσθηση για την οποία έχουμε τη μέγιστη ροπή (για σταθερή συχνότητα), είναι σταθερή και ανεξάρτητη της τάσης τροφοδοσίας.



Εικόνα 11: Σύνδεση του κινητήρα με το δίκτυο κατά την εκκίνηση με χρήση διακόπτη αστέρα-τριγώνου



Εικόνα 12: Ρεύμα και ροπή εκκίνησης κατά την εκκίνηση με χρήση διακόπτη αστέρα-τριγώνου

1.6.5 Εκκίνηση με ομαλό εκκινητή (soft-starter)

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής τάσης ή ομαλός εκκινητής (soft starter) αποτελεί μια από τις πιο σύγχρονες και αξιόπιστες ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου κινητήρων. Είναι κατάλληλος για την ελεγχόμενη ομαλή εκκίνηση αλλά και το σταμάτημα για το φρενάρισμα και την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την λειτουργία των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων.

Οι κυριότερες λειτουργίες που διακρίνουν τους ηλεκτρονικούς ομαλούς εκκινητές είναι:

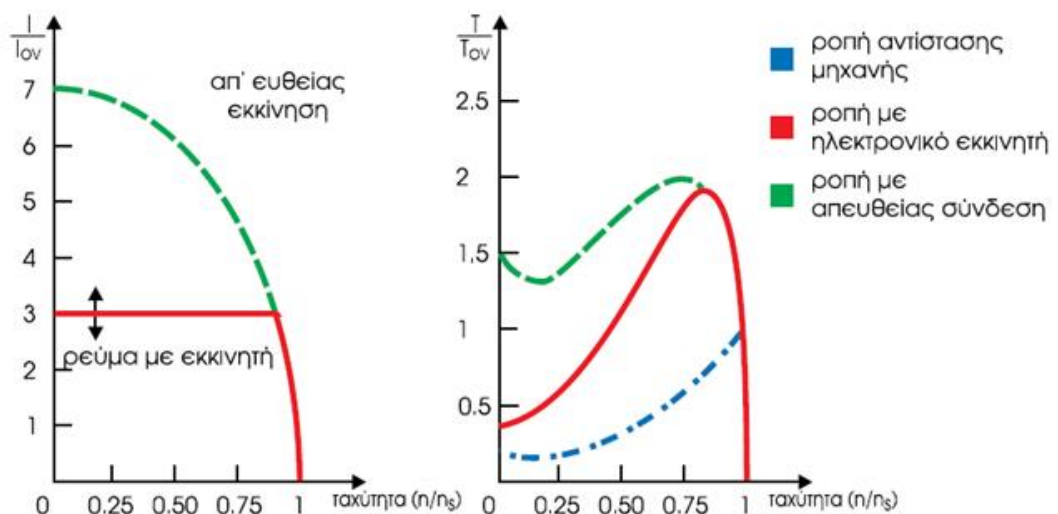
- § Επιλογή της εκκίνησης ανάλογα με το είδος του φορτίου (ομαλή εκκίνηση με παλμό τάσης, ράμπα τάσης, περιορισμό τάσης και ρεύματος, καθώς επίσης και δυνατούς συνδυασμούς).
- § Ποικιλία δυνατοτήτων σταματήματος(ελεύθερο σταμάτημα, σταμάτημα αντλίας, ομαλό σταμ άτημα, πέδηση συνεχούς ρεύματος).
- § Ένδειξη καταστάσεων λειτουργίας και βλαβών
- § Προστασία υπερθέρμανσης
- § Διαθεσιμότητα συσκευών που διαθέτουν θύρα για επικοινωνία με PC ώστε σε συνδυασμό με το πρόγραμμα (software), να γίνει ακριβέστερη ρύθμιση των παραμέτρων καθώς και ο έλεγχος της συσκευής. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες (Dahlander), σε κινητήρες με μεταγωγή πόλων, συστήματα αιολικής ενέργειας

καθώς και για συριακή εκκίνηση κινητήρων με διαφορετική ισχύ ή φορτίο.

Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής τάσης χρησιμοποιεί θυρίστορ για το κύριο κύκλωμα του, ενώ η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα ρυθμίζεται με τη βοήθεια τυπωμένου κυκλώματος.

Κατά την εκκίνηση μειώνοντας την τάση του κινητήρα, το ρεύμα και η ροπή εκκίνησης μειώνονται επίσης. Η ροπή της εκκίνησης είναι τόσο χαμηλή που δεν δημιουργεί μηχανική καταπόνηση μεταξύ των συνδέσεων του κινητήρα (ηλεκτρομειωτήρες, αλυσίδες, ιμάντες) με το φορτίο.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του ομαλού εκκινήτη είναι ότι προσαρμόζεται εύκολα στις ανάγκες του φορτίου είτε είναι πλήρες είτε όχι. Σε εφαρμογές με ειδικά φορτία μπορούμε να έχουμε ομαλό σταμάτημα, αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για το σταμάτημα αντλίας.

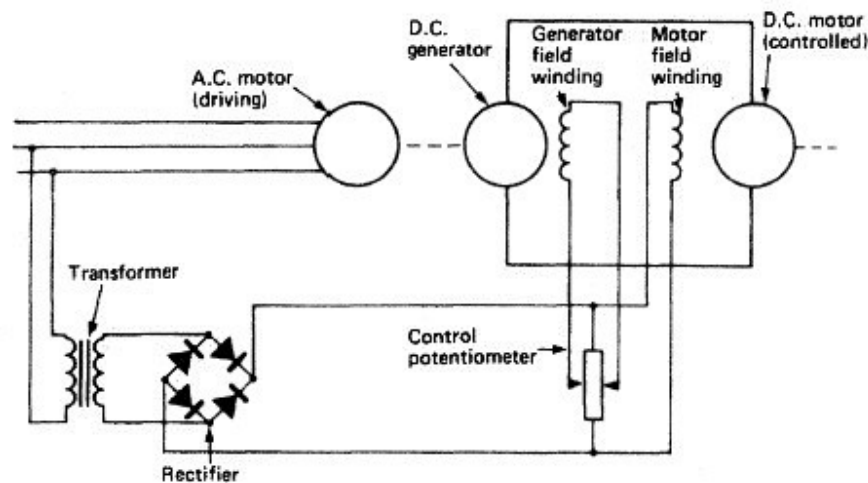


Εικόνα 13: Ρεύμα και ροπή εκκίνησης κατά την εκκίνηση με χρήση ομαλού εκκινήτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ

2.1. Τρόπος λειτουργίας των ρυθμιστών στροφών

Οι ρυθμιστές στροφών ανήκουν στον τομέα των Μετατροπέων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι πρώτοι μετατροπείς ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι λεγόμενοι περιστροφικοί μετατροπείς. Αυτοί αποτελούνταν από ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες λειτουργούσαν είτε μεμονωμένα, είτε διασυνδεδεμένες μεταξύ τους με σκοπό τον έλεγχο των στροφών ενός κινητήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα Ward - Leonard.



Σχήμα 1:Το σύστημα Ward - Leonard

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν οι ακίνητοι ή στατικοί μετατροπείς. Αυτοί αρχικά αποτελούνταν από ανορθωτικά στοιχεία με ατμό υδραργύρου και μετά το 1960 αναπτύχθηκαν στατικοί μετατροπείς με ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, όπως

- Μικρές απώλειες,
- μικρός όγκος και
- ταχύτερη απόκριση στις μεταβολές του φορτίου.

2.2. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (Soft Starter)

2.2.1. Γενικά

Τα ηλεκτρονικά ισχύος (ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινήτης και ρυθμιστές στροφών) αρχίζουν να υιοθετούνται όλο και περισσότερο σε διάφορους τομείς της βιομηχανικής, της βιοτεχνικής και της αγροτικής παραγωγής.

Οι ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινήτες είναι η πρωτοπορία της τεχνικής στον τομέα της εκκίνησης του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η χρησιμοποίησή τους ενδείκνυται όταν :

- i. Η εκκίνηση με πλήρη τάση (κλασικοί τρόποι εκκίνησης) δεν είναι δυνατή.
- ii. Πρέπει να περιοριστεί η πτώση τάσης της γραμμής τροφοδοσίας, μέσα στα καθορισμένα και επιτρεπτά όρια.
- iii. Πρέπει να αποφευχθούν γρήγορες και απότομες αλλαγές ταχύτητας κατά την εκκίνηση.
- iv. Πρέπει να μην υπάρξουν τα μεταβατικά φαινόμενα που δημιουργούνται στο δίκτυο και στον κινητήρα με τον κλασικό εκκινήτη.
- v. Πρέπει να αποφευχθεί η υπερβολική φθορά στα μηχανικά μέρη που μεταδίδουν την κίνηση όπως οι ηλεκτρομειωτήρες, οι αλυσίδες, οι ιμάντες κλπ.

Οι σπουδαιότερες λειτουργίες των Ηλεκτρονικών Ομαλών Εκκινήτων είναι :

- i. Ομαλή εκκίνηση.
- ii. Περιορισμός ρεύματος εκκίνησης.
- iii. Εξοικονόμηση ενέργειας σε λειτουργία με μερικό φορτίο.
- iv. Ομαλή στάση.
- v. Πέδηση με συνεχές ρεύμα.
- vi. Ειδικό πρόγραμμα εκκίνησης και σταματήματος αντλιών για την αποφυγή των υδραυλικών πληγμάτων.

Χάρη στις πολλαπλές τους δυνατότητες ρύθμισης και τις

ενσωματωμένες τους λειτουργίες, μπορούν να τοποθετηθούν πρακτικά, σχεδόν παντού, όπως για παράδειγμα :

- i. Ανεμιστήρες.
- ii. Αντλίες.
- iii. Συμπιεστές.
- iv. Μεταφορικές ταινίες.
- v. Μύλους, σπαστήρες.
- vi. Μηχανές ακονίσματος.
- vii. Πριόνια.
- viii. Αναδευτήρες.
- ix. Πρέσες, κλπ.

2.2.2. Αρχή λειτουργίας.

Ο ηλεκτρονικός ομαλός εκκινητής επιτρέπει τη σταδιακή επιτάχυνση του κινητήρα από την στάση έως την ονομαστική ταχύτητα έχοντας σαν παράμετρο την αρχική τάση - που μπορεί να είναι μικρή - και το χρόνο εκκίνησης που μπορεί να φτάσει έως και μερικά λεπτά.

Ο εκκινητής έχει τη δυνατότητα και σταδιακής επιβράδυνσης του κινητήρα, που επιτρέπει ομαλή μείωση της ταχύτητας έως τη στάση. Η δυνατότητα αυτή που προσδίδει ιδιαίτερη χρησιμότητα στις υδραυλικές εγκαταστάσεις - για την αποφυγή πλήγματος - στις μεταφορικές ταινίες και σε όλες τις εγκαταστάσεις όπου η στάση του κινητήρα πρέπει να γίνεται ομαλά.

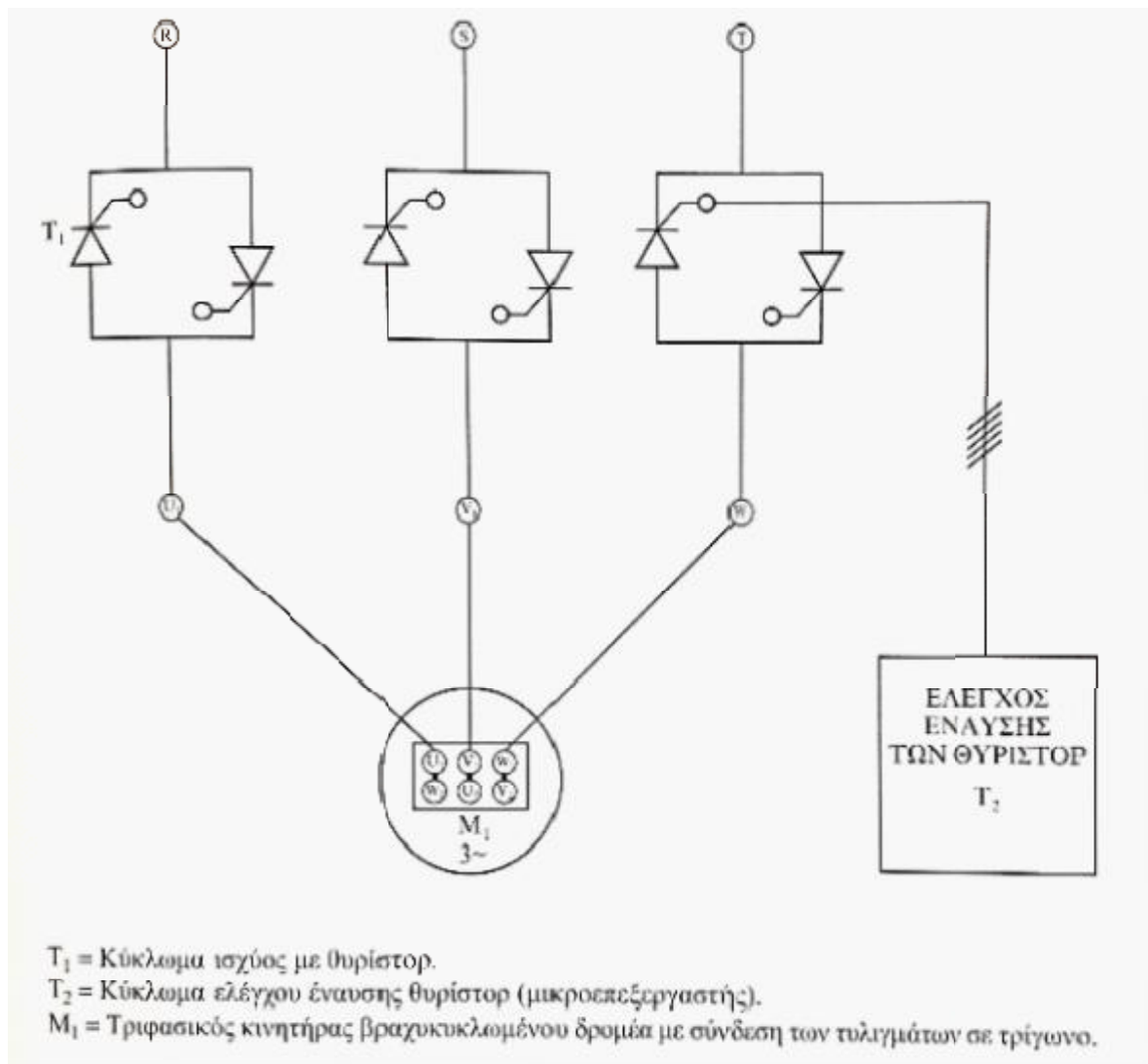
Στην επιβράδυνση το ρεύμα του κινητήρα είναι συνάρτηση της ροπής του φορτίου και του επιλεγόμενου χρόνου επιβράδυνσης.

Οι ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινητές, αποτελούνται

- i. Από το κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ.
- ii. Από το κύκλωμα ελέγχου με θυρίστορ.

Ο εκκινητής ψαλιδίζει την τάση του δικτύου ελέγχοντας τη γωνία έναυσης των θυριστόρ. Με αυτό τον τρόπο ελέγχει το ύψος της τάσης που εφαρμόζεται στις άκρες του κινητήρα τη στιγμή της εκκίνησης.

Η γωνία έναυσης των θυρίστωρ ελέγχεται από έναν μικροεπεξεργαστή, ο οποίος παρακολουθεί και ελέγχει όλες τις παραμέτρους του κινητήρα. Ο επεξεργαστής συνεχίζει να παρακολουθεί τον κινητήρα και μετά το στάδιο της εκκίνησης.



Σχήμα2 : T₁ = Κύκλωμα ισχύος με θυρίστωρ, T₂= Κύκλωμα ελέγχου έναυσης θυρίστωρ (μικροεπεξεργαστής), M₁= Τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα με σύνδεση των τυλιγμάτων σε τρίγωνο.

Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει τη γωνία ανάμεσα στην τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα, δηλαδή ελέγχει τον συντελεστή ισχύος (συνφ) του κινητήρα. Όταν έχουμε μείωση του φορτίου, επομένως και μείωση του συνφ του κινητήρα, ο μικροεπεξεργαστής επεμβαίνει στην τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, διατηρώντας το συνφ περίπου στη μέγιστη τιμή, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να παραμένει υψηλός.

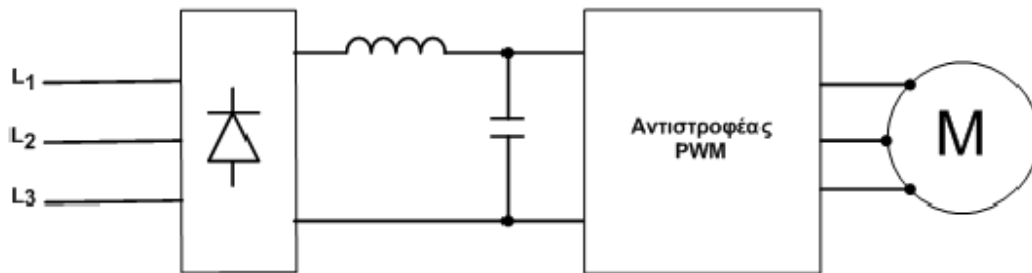
Όλα τα συστήματα που κάνουν ψαλιδισμό τάσης του δικτύου, προκαλούν σε αυτό αρμονικές. Τα soft starter πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε, να μη δημιουργούνται ή να ελαχιστοποιούνται τα αρμονικά ρεύματα από την αρχή.

Από άποψη κυκλωμάτων ισχύος, τρεις δυνατές κυκλωματικές τοπολογίες μπορεί κανείς να συναντήσει. Στην εικόνα 35α φαίνεται ο ρυθμιστής στροφών με την αποκλειστική σχεδόν χρήση στα κινητήρια συστήματα μικρής και μεσαίας ισχύος. Η είσοδος μπορεί να είναι 1Φ ή 3Φ δίκτυο (σταθερή συχνότητα και τάση) και η έξοδος 3Φ (μεταβλητή συχνότητα και τάση). Η συνεχής τάση στην είσοδο του αντιστροφέα τάσης παραμένει σταθερή. Ελέγχοντας τον αντιστροφέα με τις τεχνικές Διαμόρφωσης Εύρους Παλμού (**Pulse Width Modulation**) επιτυγχάνουμε μέσα στον ίδιο τον αντιστροφέα τη διατήρηση του λόγου V/f , μεταβάλλοντας ταυτόχρονα και την τάση και την συχνότητα εξόδου. Λόγω του μη ελεγχόμενου ανορθωτή, η ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση είναι αδύνατη. Πλεονεκτεί όμως, γιατί το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας είναι σχεδόν απαλλαγμένο από αρμονικό περιεχόμενο (λιγότερος θόρυβος και θέρμανση) και έχει μικρότερο κόστος (μία ελεγχόμενη διάταξη ισχύος).

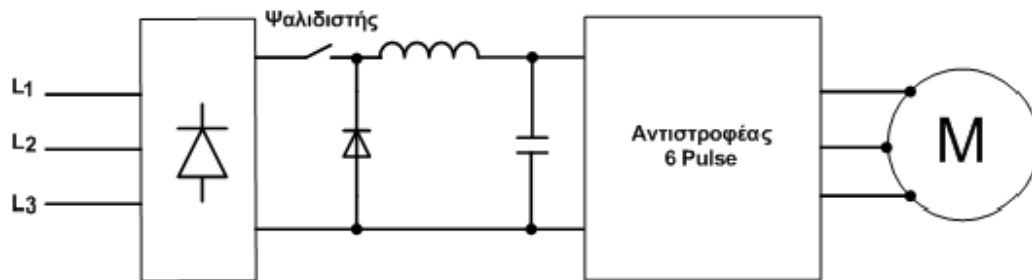
Στην εικόνα 35β ο ψαλιδιστής της τάσης (chopper) μεταβάλλει την συνεχή τάση στην είσοδο (και έμμεσα στην έξοδο) του αντιστροφέα και ο αντιστροφέας ελέγχει μόνο τη συχνότητα. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος ελέγχου του αντιστροφέα είναι γνωστή σαν «μέθοδος 6 παλμών, 6 pulse» ή «τετραγωνικών παλμών, square wave» και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης της τάσης κατά την αντιστροφή της (από DC σε AC). Ο ρυθμιστής στροφών αυτού του τύπου έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή.

Τέλος, στην εικόνα 35γ η τάση μεταβάλλεται από τον διπλό πλήρως ελεγχόμενο μετατροπέα και η συχνότητα από τον αντιστροφέα 6 παλμών. Πλεονέκτημα αυτού του ρυθμιστή είναι ότι επιτρέπει πέδηση με ανάκτηση της ενέργειας, ενώ μειονεκτεί, γιατί λειτουργεί με μικρό συντελεστή ισχύος στις μικρές ταχύτητες (μικρή συχνότητα → μικρή τάση → μεγάλη γωνία έναυσης). Το ρυθμιστή στροφών αυτού του τύπου συναντάμε σε κινητήρια

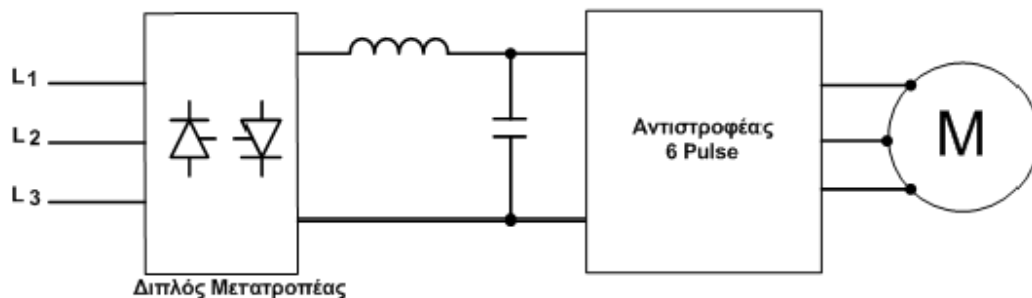
συστήματα μεγάλης ισχύος για να εκμεταλλευόμαστε την αναγεννητική πέδηση.



(α) Σταθερή DC και αντιστροφέας PWM



(β) Μεταβλητή DC και αντιστροφέας 6 Pulse

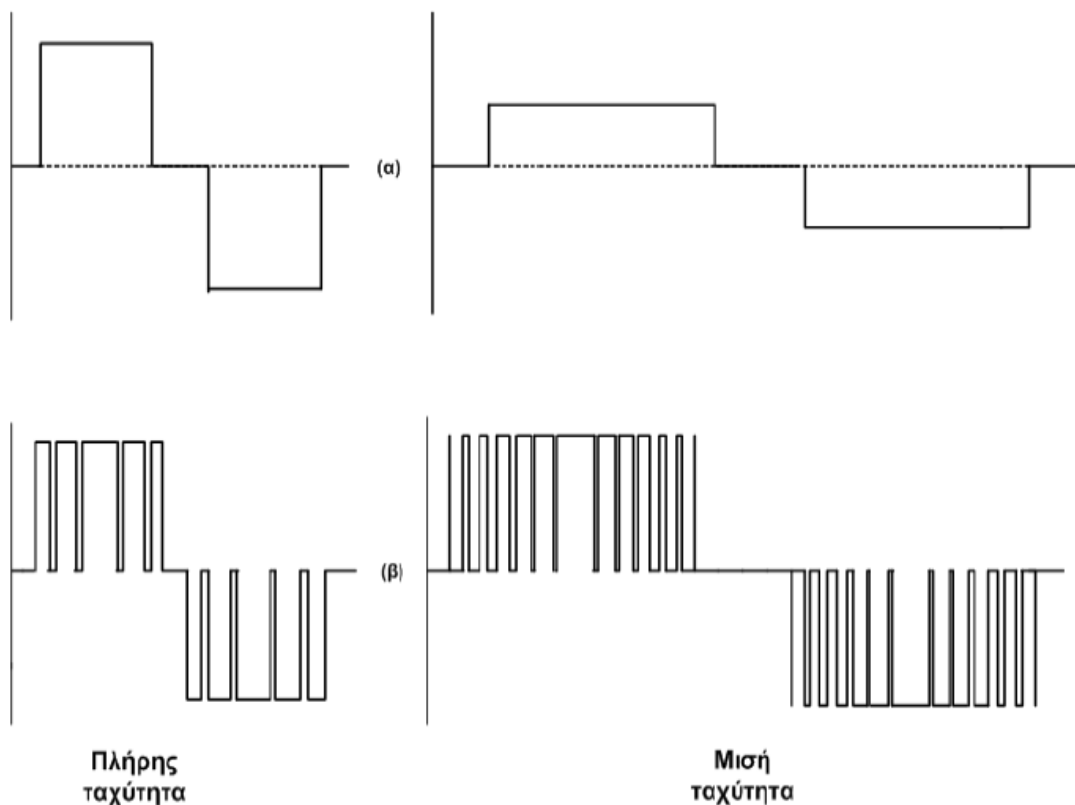


(γ) Μεταβλητή DC και αντιστροφέας 6 Pulse

Σχήμα 3 : Διάφοροι τύποι ρυθμιστών στροφών επαγωγικών κινητήρων

Αναφορικά με τους ρυθμιστές στροφών, που προαναφέραμε, είναι πολύ χρήσιμο να υπενθυμίσουμε τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η σταθερή σχέση τάσης προς συχνότητα (V/f). Στην εικόνα 36 φαίνονται οι δύο διαφορετικές

μέθοδοι ελέγχου και ειδικότερα το πώς η βασική τάση ελαττώνεται στο μισό, όταν και η συχνότητα έχει τη μισή τιμή της βασικής συχνότητας. Οι αντιστροφείς 6 παλμών απαιτούν να υπάρχει μεταβλητή τάση (DC) στην είσοδο, σε αντίθεση με τους αντιστροφείς PWM, που η συνεχής τάση στην είσοδο παραμένει σταθερή. Στους αντιστροφείς PWM η μεταβολή της τάσης (AC) στην έξοδο προκαλείται μέσα στον ίδιο τον αντιστροφέα με την τεχνική του ψαλιδισμού. Μία ακόμα σημαντική διαφορά στους δύο προαναφερθέντες τύπους αντιστροφέων είναι η συχνότητα λειτουργίας των ημιαγωγικών διακοπών (διακοπτική συχνότητα), σε σχέση με τη συχνότητα εξόδου. Στους μεν αντιστροφείς 6 Pulse η διακοπτική συχνότητα είναι ίδια με αυτή της εξόδου, ενώ στους αντιστροφείς PWM η διακοπτική συχνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα εξόδου. Η παραπάνω βασική διαφοροποίηση φαίνεται εύκολα με την παρατήρηση των παρακάτω κυματομορφών.



Σχήμα 4 : Τύποι αντιστροφέων τάσης. α) 6 παλμών. β) PWM

2.3. Παραδείγματα συνδεσμολογίας αντλητικών συγκροτημάτων με inverter

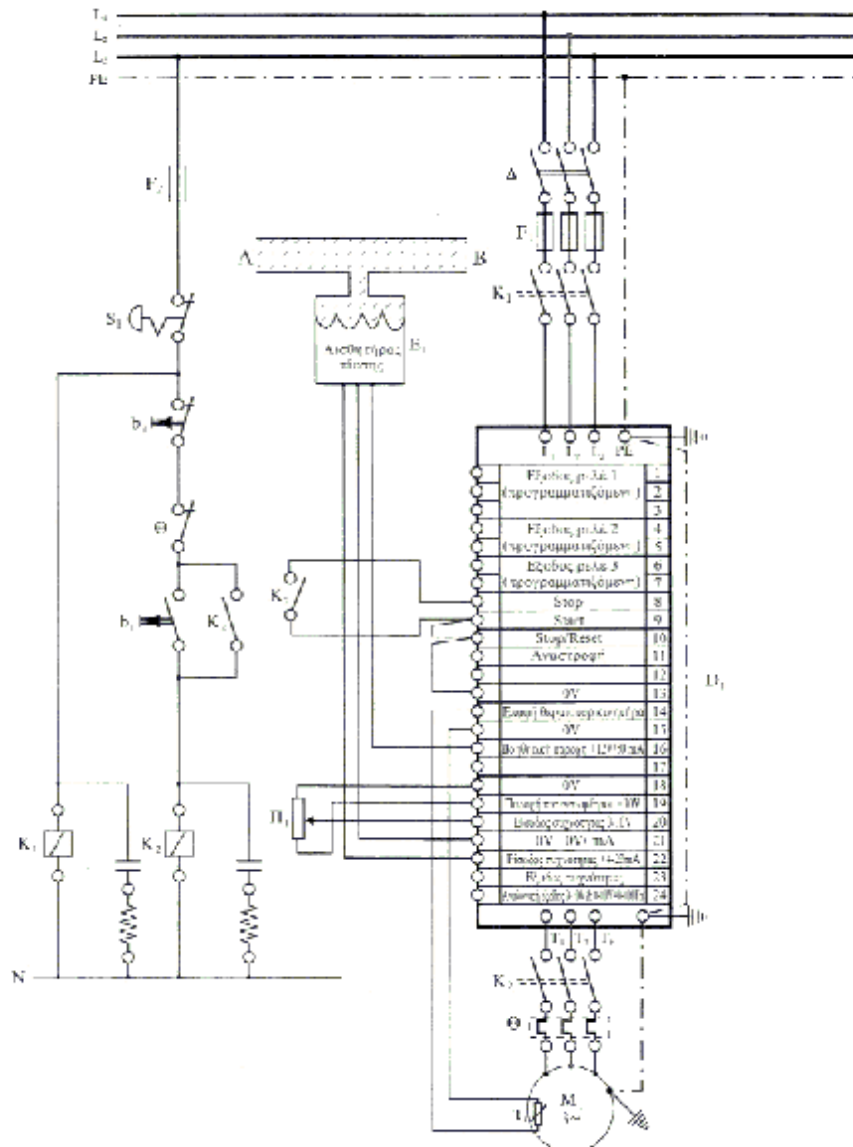
2.3.1. Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (stop-start).

- Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή, δίνουμε τις αναγκαίες παραμέτρους λειτουργίας στον οδηγό D1.
- Ρυθμίζουμε το ποτενσιόμετρο Π1 στην επιθυμητή πίεση λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος. Πατώντας το μπουτόν b1 (start), οπλίζει το ρελέ K2 και παραμένει ενεργοποιημένο από την ανοιχτή επαφή αυτοσυγκράτησης K2 που είναι παράλληλα συνδεδεμένη με το ρελέ K2.
- Οπλίζοντας το ρελέ K2, κλείνει η δεύτερη ανοιχτή επαφή του ρελέ K2 και ενεργοποιείται ο οδηγός D1.
- Ο αισθητήρας πίεσης E1, παρακολουθεί την πίεση στον σωλήνα AB και δίνει στοιχεία στον οδηγό D1.
- Όταν αυξάνει η ζήτηση νερού, η πίεση στο σωλήνα AB μειώνεται και ο οδηγός D1 αυξάνει τις στροφές στον κινητήρα M1, διατηρώντας την πίεση σταθερή.
- Όταν μειώνεται η ζήτηση νερού, η πίεση στον σωλήνα AB αυξάνεται και ο οδηγός D1 μειώνει τις στροφές στον κινητήρα M1, διατηρώντας την πίεση σταθερή.
- Όταν σταματάει η ζήτηση νερού, η πίεση στον σωλήνα AB αυξάνει απότομα και ο οδηγός D1, μειώνει απότομα και μηδενίζει τις στροφές του κινητήρα.

Θα πρέπει να προσέξουμε τα εξής:

- i. Σε περίπτωση αλλαγής της επιθυμητής πίεσης στο σωλήνα AB, θα πρέπει να γίνει νέα ρύθμιση στο ποτενσιόμετρο πίεσης Π1.
- ii. Επειδή ο οδηγός AC φέρει εσωτερική προστασία από υπερφόρτωση και διακοπή φάσης, μπορούμε να μη χρησιμοποιούμε θερμικό ρελέ Θ. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να παρεμβάλλουμε στο βοηθητικό κύκλωμα, μια από τις εσωτερικές βοηθητικές επαφές του οδηγού D1.
- iii. Συνήθως, για την απαγωγή της θερμότητας, ο οδηγός AC φέρει στο εσωτερικό του τριφασικό ανεμιστήρα. Επειδή η

φορά περιστροφής του κινητήρα εξαρτάται από τη διαδοχή των τριών φάσεων, θα πρέπει να γίνει έλεγχος της ορθής φοράς περιστροφής του ανεμιστήρα.



- Δ_1 = Διακόπτης φωτισμού.
- K_1 = Ρελέ ισχύος εισόδου.
- Θ_1 = Ρελέ θερμικής προστασίας.
- Γ_1 = Θερμίστορ κινητήρα.
- M_1 = Λογίγραμμα τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.
- E_1 = Αισθητήρας πίεσης.
- F_2 = Ασφάλεια βοηθητικού κυκλώματος.
- b_2 = Μπουτόν stop.

- F_1 = Ασφάλεια τήξης.
- K_2 = Ρελέ ισχύος εξόδου.
- D_1 = Οδηγός AC.
- H_1 = Ποτενσιόμετρο ρύθμισης περιοχών πίεσης.
- S_1 = Μπουτόν έκτακτης ανάγκης.
- b_1 = Μπουτόν start.

Επίσης:

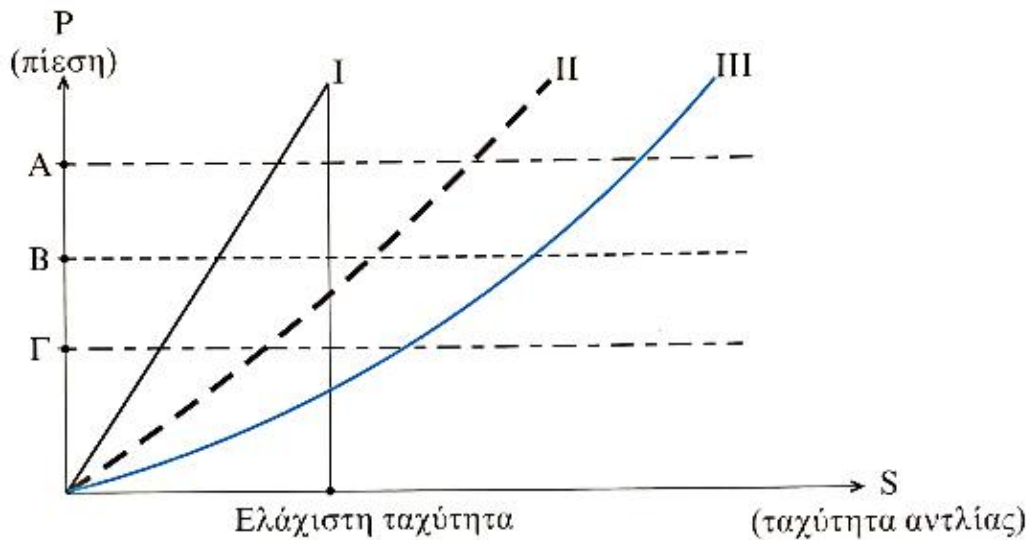
- i. Δεν πρέπει να συνδεθούν πυκνωτές για τη διόρθωση του συνφ, τόσο στην είσοδο, όσο και στην έξοδο του οδηγού AC.
- ii. Τα καλώδια του κυκλώματος ισχύος στην είσοδο, θα πρέπει, να βρίσκονται σε διαφορετικό σωλήνα από τα καλώδια στην έξοδο (ιδιαίτερα αν δεν είναι θωρακισμένα).
- iii. Τα καλώδια του κυκλώματος ελέγχου, θα πρέπει να είναι θωρακισμένα και να βρίσκονται σε απόσταση (συνήθως 30 cm από τα καλώδια ισχύος).

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε με κατάλληλο προγραμματισμό και τις υπόλοιπες επαφές (έξοδος ρελέ 2 και 3) ως οδηγούς εκκίνησης, λειτουργίας, σφάλματος κλπ...

2.3.2. Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (stop-start) και εντολή έναρξης και παύσης, πριν και μετά του επιθυμητού σημείου.

Για να αποφύγουμε τα προβλήματα που δημιουργούνται (ιδιαίτερα στις φυγόκεντρες αντλίες), κάτω από συνθήκες δύσκολης ανάγνωσης του επιθυμητού σημείου πίεσης (συνεχής λειτουργία και υπερθέρμανση αντλίας), τοποθετούμε (μέσω παραμέτρων) περιοχές πριν και μετά του επιθυμητού σημείου έναρξης και παύσης της αντλίας. Η περιοχή είναι ρυθμιζόμενη μέσω ειδικής παραμέτρου και το πλάτος εξαρτάται από το μηχανικό σύστημα που εξυπηρετεί.

Για την περίπτωση του αντλητικού συγκροτήματος και για λειτουργία με σταθερή πίεση στον σωλήνα AB, έχουμε τις παρακάτω χαρακτηριστικές.



Σημείο A: Τοποθετούμενη πίεση

Σημείο B: Κατώτερο σημείο υστέρησης

Σημείο Γ: Ανώτερο σημείο υστέρησης

Καμπύλη I: Μηδενική ροή

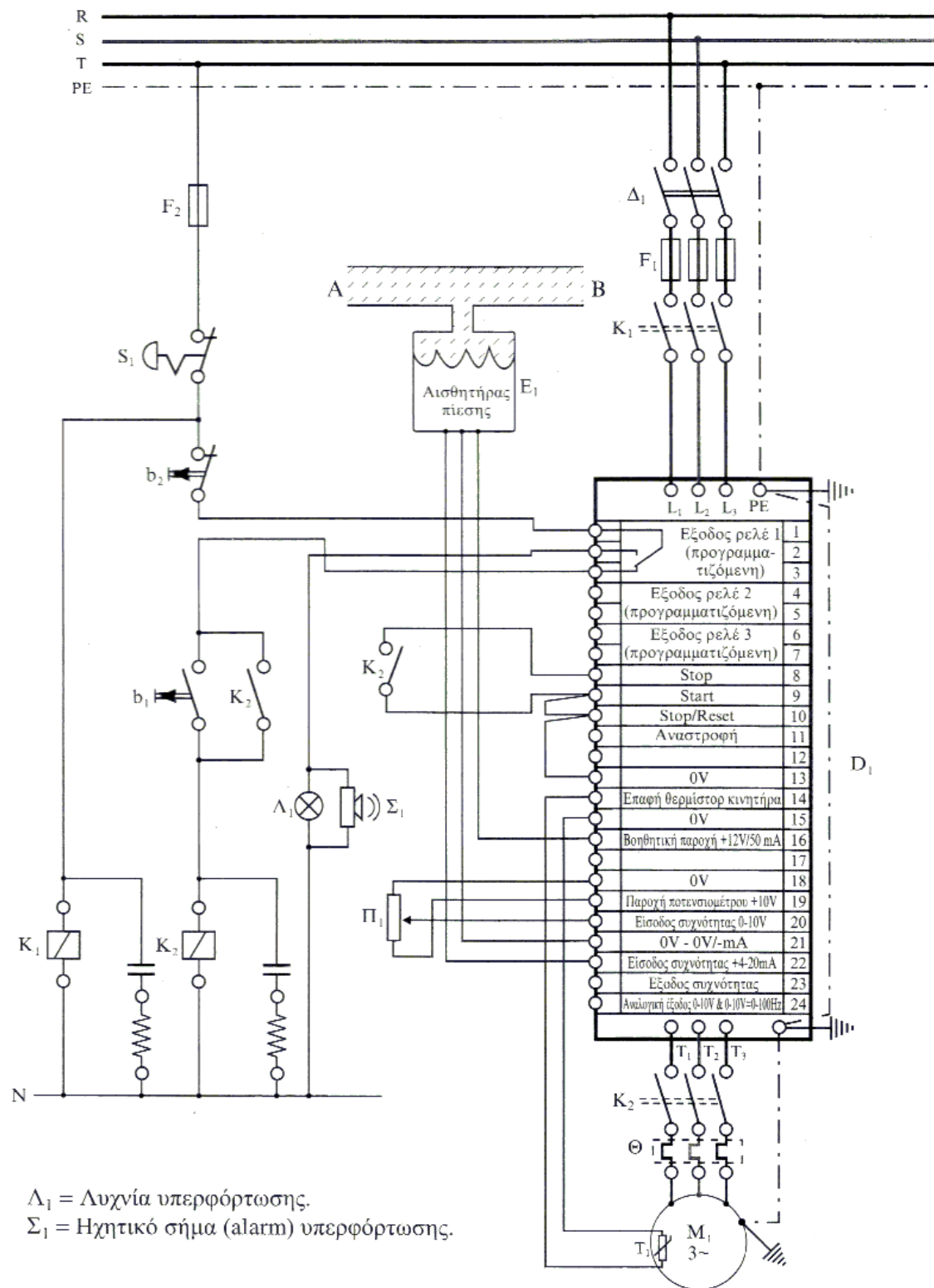
Καμπύλη II: Χαμηλή ροή

Καμπύλη III: Υψηλή ροή

Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή, δίνουμε τις αναγκαίες παραμέτρους λειτουργίας (με εσωτερική εντολή ελέγχου σήματος ανάδρασης) και ρυθμίζουμε το ποτενσιόμετρο Π1 στην επιθυμητή πίεση λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος.

Ενεργοποιώντας τον οδηγό D1, θα έχουμε :

- i. Άνοιγμα της εσωτερικής εντολής 4, 5 και σταμάτημα της αντλίας, όταν η πίεση στο σωλήνα AB ανέβει στο ανώτερο σημείο αναφοράς (ανώτερο επίπεδο υστέρησης).
- ii. Κλείσιμο της εσωτερικής εντολής 4,5 και ξεκίνημα της αντλίας, όταν η πίεση στο σωλήνα AB κατέβει στο κατώτερο σημείο αναφοράς (κατώτερο επίπεδο υστέρησης).

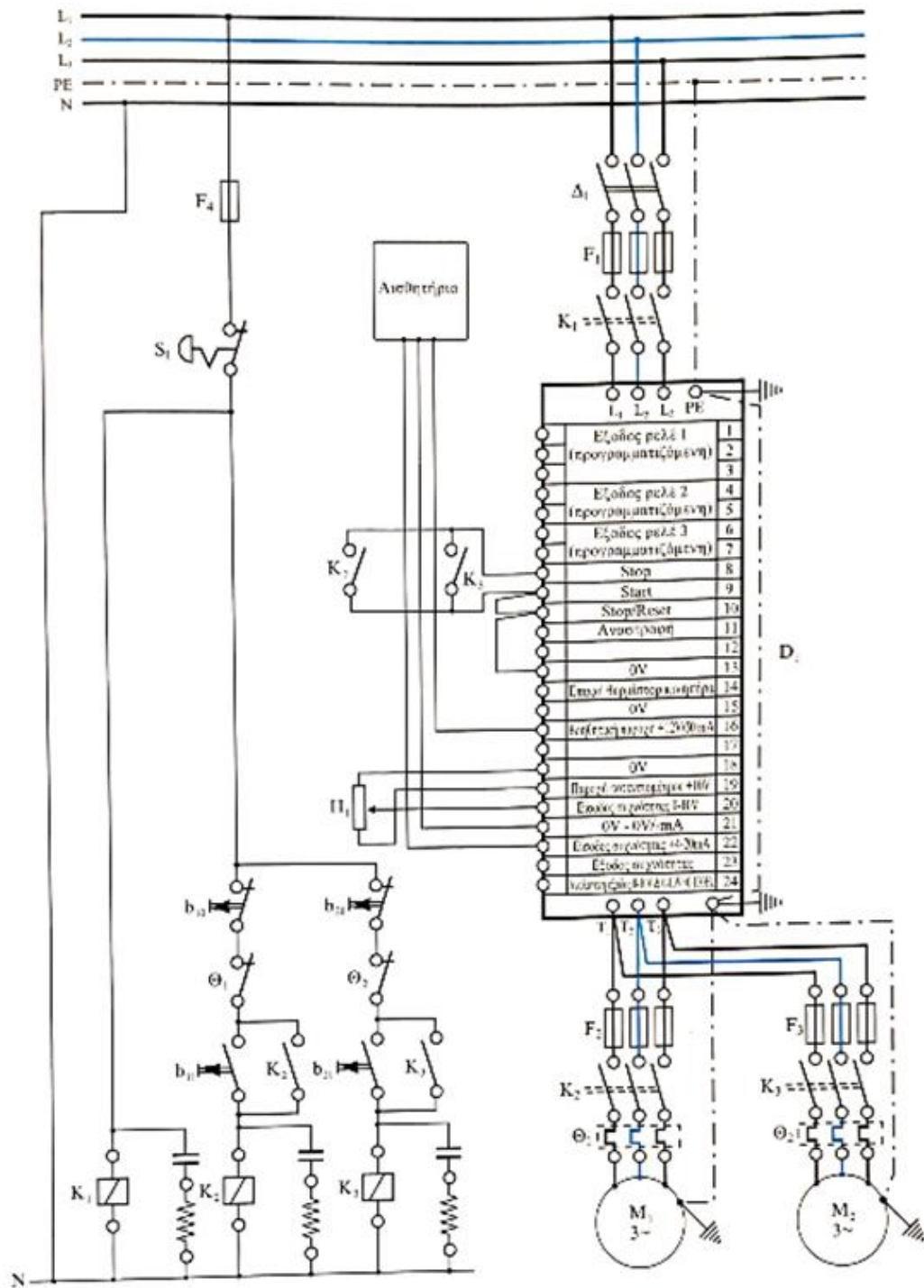


2.4. Συνδεσμολογία οδηγού AC για διαδοχική και ταυτόχρονη λειτουργία δύο κινητήρων.

Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή, δίνουμε τις αναγκαίες παραμέτρους λειτουργίας. Ρυθμίζουμε το ποτενσιόμετρο Π1, στην επιθυμητή περιοχή λειτουργίας.

- i. **Σύνδεση κινητήρα M1** : Πατώντας το μπουτόν b11 (start) οπλίζει το ρελέ K2 και μένει ενεργοποιημένο από την ανοιχτή επαφή αυτοσυγκράτησης K2 που είναι παράλληλα συνδεδεμένη με αυτό. Οπλίζοντας το ρελέ K2, κλείνει η δεύτερη ανοιχτή επαφή του ρελέ K2 και ενεργοποιείται ο οδηγός D1.
- ii. **Σύνδεση κινητήρα M2** : Πατώντας το μπουτόν b21 (start) οπλίζει το ρελέ K3 και μένει ενεργοποιημένο από την ανοιχτή επαφή αυτοσυγκράτησης K3 που είναι παράλληλα συνδεδεμένη με αυτό. Οπλίζοντας το ρελέ K3, κλείνει η δεύτερη ανοιχτή επαφή του ρελέ K3 και ενεργοποιείται ο οδηγός D1 αν στο κύκλωμα βρίσκεται μόνο ο κινητήρας M2.
- iii. **Σταμάτημα κινητήρων** : Πατώντας το μπουτόν b10 (stop), ανοίγει ρελέ K2 και σταματά η λειτουργία του κινητήρα M1. Πατώντας το μπουτόν b20 (stop), ανοίγει το ρελέ K3 και σταματάει η λειτουργία του κινητήρα M2 και η λειτουργία D1.

Χρησιμοποιώντας τη διαδοχική λειτουργία των δύο κινητήρων, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, μέσω του οδηγού AC, για τον καθένα από αυτούς.



2.5. Εξοικονόμηση ενέργειας σε σταδιακή φόρτιση του κινητήρα (energy saving).

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, υπάρχουν καταστάσεις σταδιακής φόρτισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο soft-starter, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξοικονόμηση ενέργειας, μειώνοντας την τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα. Όταν μειωθεί το φορτίο και μειώσουμε τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα, μειώνονται και οι απώλειες χαλκού καθώς και οι απώλειες σιδήρου.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, ο soft-starter ελέγχει το συντελεστή ισχύος (συνφ) και αν χρειαστεί, επεμβαίνει στην τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, διατηρώντας το στη μέγιστη δυνατή τιμή.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλό φορτίο, η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα, έχει τέτοια τιμή, ώστε η ροπή που αναπτύσσεται σε αυτόν, να μπορεί να υπερνικά την ανθιστάμενη ροπή φορτίου.

Αν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα με μειωμένη τάση, έχουμε αύξηση φορτίου η τάση του κινητήρα αυξάνεται απότομα, έτσι ώστε να μην έχουμε σημαντική μείωση της ταχύτητας.

Η πραγματική ποσότητα ενέργειας που εξοικονομείται στην περίπτωση αυτή, εξαρτάται από το μοντέλο του κινητήρα, το μέγεθος του κινητήρα, τον αριθμό πόλων του τυλίγματος, καθώς επίσης και από τις συνθήκες φόρτισης.

Η λειτουργία “εξοικονόμηση ενέργειας” δεν προτείνεται για κυκλώματα στα οποία έχουμε συχνό επαναλαμβανόμενο ανοιγοκλείσιμο.

Η λειτουργία αυτή μπορεί να προκαλέσει στον άξονα του κινητήρα αύξηση ταχύτητας σε τιμές υψηλότερες από τη σύγχρονη ταχύτητα. Στην περίπτωση αυτή η λειτουργία “εξοικονόμηση ενέργειας” θα πρέπει να τίθεται εκτός.

2.6. Λειτουργία κινητήρα με τον soft-starter συνδεδεμένο συνεχώς

Μετά το στάδιο εκκίνησης, ο soft-starter μπορεί να παραμείνει συνεχώς στο κύκλωμα, με συνεχή υπερφόρτιση 15% πάνω από την τιμή του ονομαστικού ρεύματος. Στην περίπτωση αυτή ο εκκινητής ελέγχει το ρεύμα φορτίου, την τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα και παρακολουθεί τη λειτουργία της εγκατάστασης (διακοπή μιάς φάσης, έλλειψη τάσης ανάμεσα σε δύο φάσεις, σφάλμα στην έναυση των θυρίστωρ).

2.7. Λειτουργία κινητήρα με αυτόματο διακόπτη (ρελέ ισχύος) παράκαμψη (By pass).

Μετά το στάδιο της εκκίνησης, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει τροφοδοτούμενος με τάση, μέσω ρελέ ισχύος γνωστό ως ρελέ παράκαμψης (by pass). Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα του κινητήρα, δε διέρχεται μέσα από το κύκλωμα των θυρίστωρ, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση των απωλειών και μείωση της θερμότητας του soft starter.

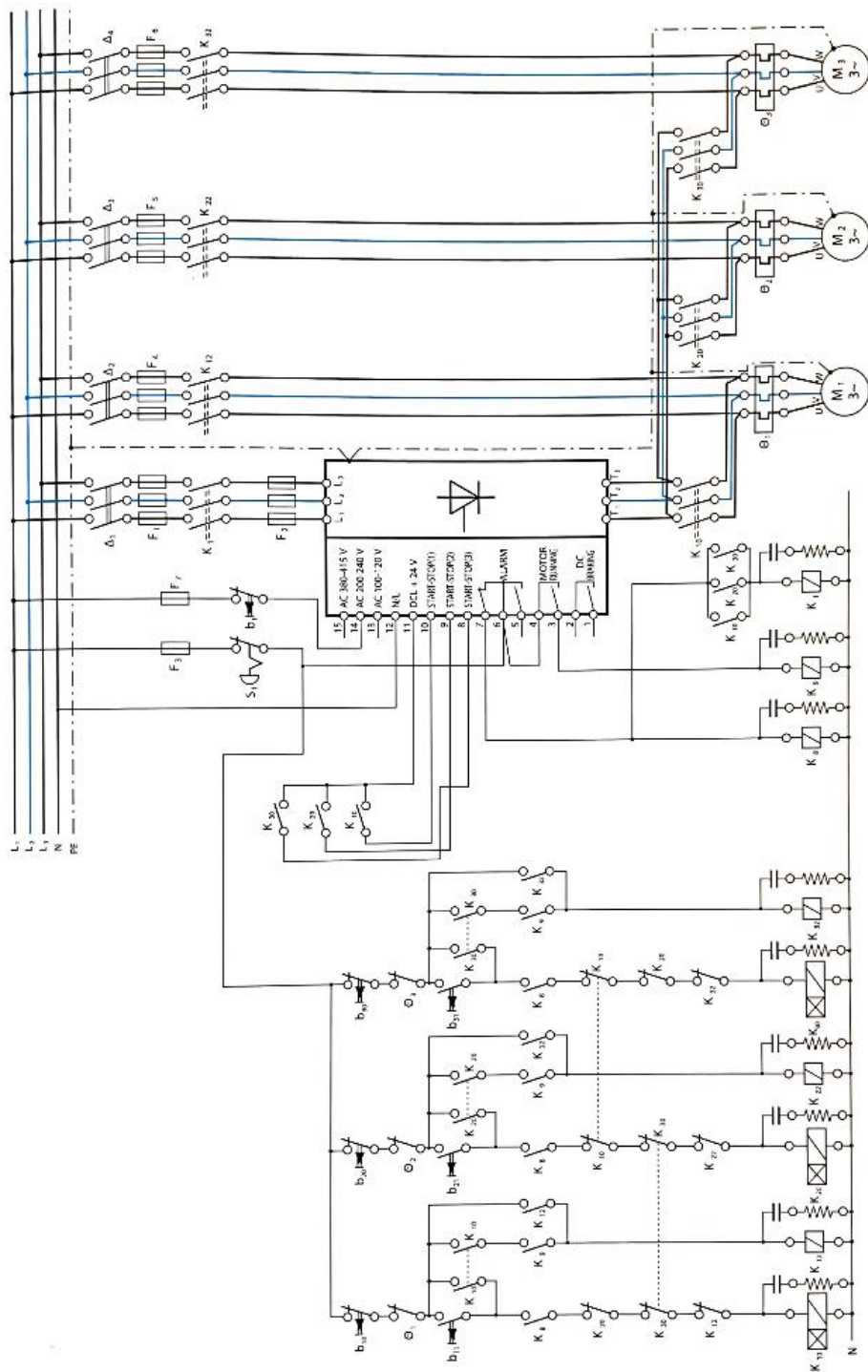
Το ρελέ ισχύος by pass ενεργοποιείται μέσω της εσωτερικής εντολής Motor Running του soft starter. Η εντολή αυτή δίνεται δύο δευτερόλεπτα μετά το τέλος της εκκίνησης του κινητήρα. Σε περίπτωση που το ρελέ ισχύος δεν κλείσει, ο εκκινητής παραμένει κανονικά στο κύκλωμα και η τροφοδοσία του κινητήρα φίνεται μέσα από το κύκλωμα των θυρίστωρ.

Η λειτουργία του By pass, δεν πρέπει να ενεργοποιηθεί από μία λανθασμένη εντολή.

Το μέγεθος του ρελέ ισχύος του By pass, θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση το ρεύμα κανονικής λειτουργίας του κινητήρα (ονομαστικό ή υπολογισμένο ρεύμα) και όχι με βάση το ρεύμα εκκίνησης.

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα με By pass μπορούν να ενεργοποιηθούν όλοι οι τρόποι σταματήματος (Free coasting, soft stop, rump stop και DC Braking), το ρελέ ισχύος απενεργοποιείται πριν αρχίσει η ελεγχόμενη διαδικασία σταματήματος.

Όταν ο κινητήρας πάρει εντολή να σταματήσει με Free coasting το σταμάτημα γίνεται με το άνοιγμα του ρελέ ισχύος By pass.



Συνδεσμολογία soft starter, μέσω ρελέ ισχύος, με ξεχωριστό έλεγχο του κυκλώματος εντολών του εκκινητή, για διαδοχική εκκίνηση τριών κινητήρων και λειτουργία By pass, με διαφορετικό σετ παραμέτρων εκκίνησης για κάθε κινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ

3.1 Διακόπτες Ισχύος

Οι αυτόματοι διακόπτες είναι διακόπτες ισχύος (ΔΙ) που ανοίγουν αυτόματα το κύκλωμα σε προκαθορισμένο χρόνο αν το ρεύμα του κυκλώματος που προστατεύουν υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή. Προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα και αποτελούνται από

§ ένα ΔΙ

§ ένα θερμικό στοιχείο ή έναν ΗΝ που δίνει εντολή στο ΔΙ να ανοίξει (υπερφόρτιση) χρόνος απόκρισης: δευτερόλεπτα – λεπτά (ανάλογα με το ρεύμα)

§ ένα ΗΜ στοιχείο που δίνει εντολή στο ΔΙ να ανοίξει ακαριαία (βραχυκύκλωμα) χρόνος απόκρισης: 10-100 ms, όταν το ρεύμα υπερβεί μία τιμή $\cong 2 - 15 \text{ IN}$

Οι αυτόματοι διακόπτες μπορούν να συνδεθούν με ΗΝ υπότασης ή υπέρτασης για την προστασία κινητήρων. Ανάλογα με τη συσκευή που προστατεύουν, διακρίνονται σε

§ αυτόματοι διακόπτες γραμμών και συσκευών (μικροαυτόματοι)

§ αυτόματοι διακόπτες κινητήρων

§ αυτόματοι διακόπτες ισχύος για εγκαταστάσεις διανομής

Οι διακόπτες αυτοί είναι τριπολικοί, ονομαστικών εντάσεων όπως αναγράφονται στα σχέδια και έχουν πηνίο εργασίας, θερμικά ρυθμιζόμενα για προστασία από υπερεντάσεις, ηλεκτρομαγνητικά προστασίας από βραχυκύκλωμα και βοηθητικές επαφές. Επίσης υπάρχει δυνατότητα, ανάλογα με τη χρήση των αυτομάτων διακοπών, να χρησιμοποιηθούν πηνία ελλείψεως τάσεως και πηνία ή κινητήρες χειρισμού, με τα οποία θα μπορούν κατά περίπτωση να τίθενται εκτός ή εντός λειτουργίας. Οι διακόπτες αυτοί είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου κατά περίπτωση

Μεγέθη Αυτομάτων Διακοπών Ισχύος Σταθερού Τύπου		
Ονομαστική Ένταση (A)	Κλειστού Τύπου	Ανοικτού Τύπου
100 - 250	v	-
400 - 500	v	-
630 - 800	(v) *	v
1.000 - 1.250	-	v
1.600 - 2.500	-	v

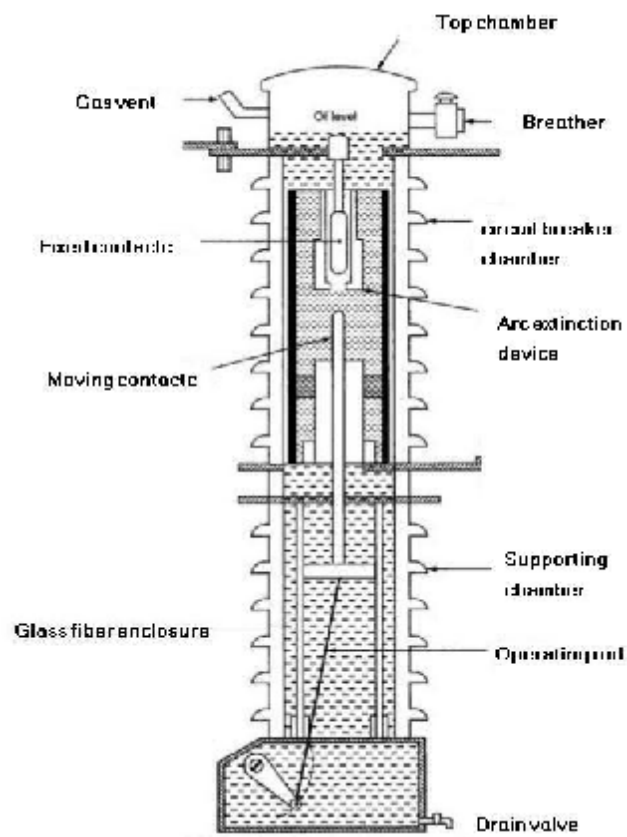
Η ρύθμιση των θερμικών I_r θα γίνεται σύμφωνα με την επιτρεπόμενη ένταση των προστατευομένων αγωγών ή καλωδίων. Τα ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία, χωρίς καθυστέρηση θα είναι σταθερής τιμής $15xI_r$ για διακόπτες μέχρι 200 A και ρυθμιζόμενα για μεγαλύτερους διακόπτες, ώστε να μπορούν να προσαρμοσθούν καλύτερα στις συνθήκες του δικτύου.

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).

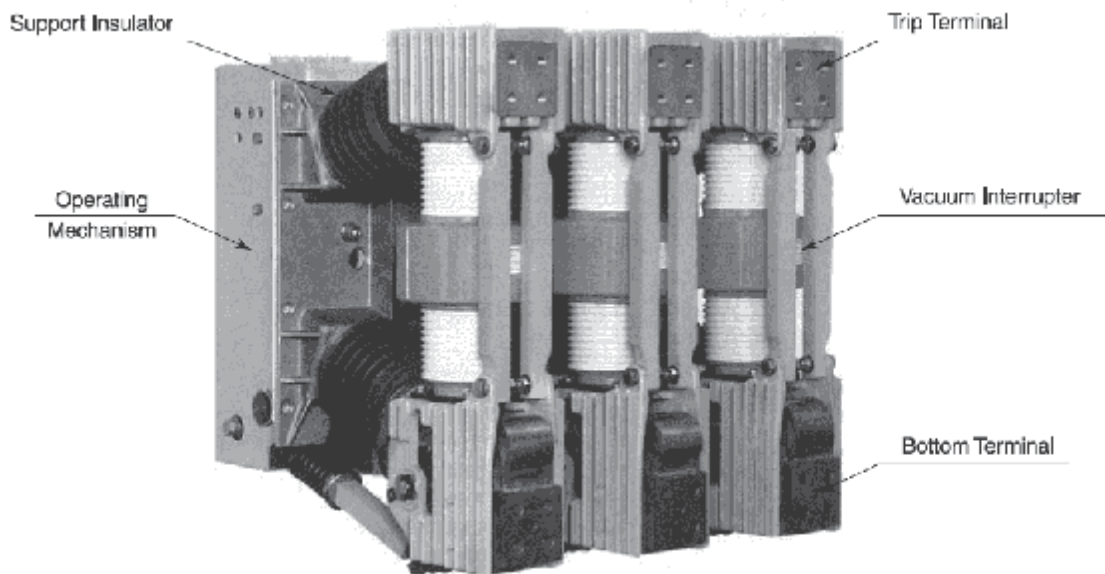


Εικόνα 14: Διακόπτες Ισχύος ελαίου

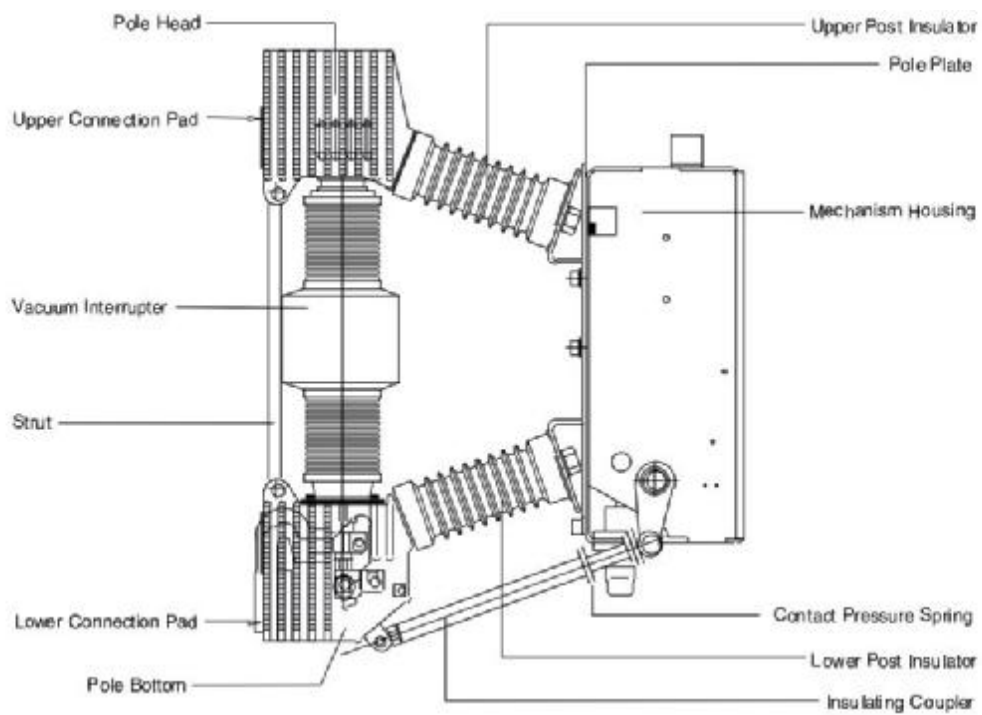


Εικόνα 15: Διακόπτης Ισχύος ελαίου (τομή)

- 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 16: Διακόπτης ισχύος κενού

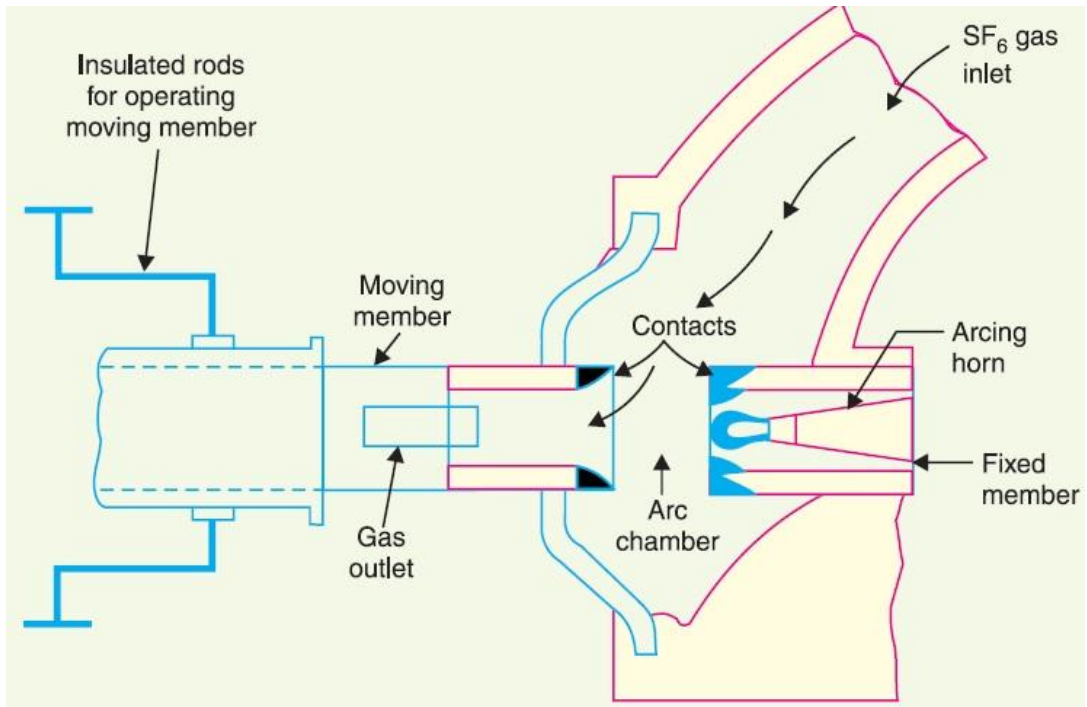


Εικόνα 17: Διακόπτης ισχύος κενού (τομή)

- 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.



Εικόνα 18: Διακόπτης ισχύος SF6



Εικόνα 19: Διακόπτης ισχύος SF6 (τομή)

1.1.1 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 20: Τα μέρη του διακόπτη ισχύος

1. Ηλεκτρονόμος υπερέντασης, 2. Μοχλός για τη μηχανική τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος, 3. Κουμπί ανοίγματος, 4. Κουμπί κλεισίματος, 5. Ένδειξη ότι το ελατήριο κλεισίματος είναι: - τανυσμένο (κίτρινο) - ατάνυστο (λευκό), 6. Συσκευή μπλοκαρίσματος και ένδειξης της πίεσης του αερίου SF6, 7. Ένδειξη ανοικτός / κλειστός διακόπτη ισχύος, 8. Ακροδέκτες μέσης τάσης, 9. Μετασχηματιστές έντασης για τον ΗΝ υπερέντασης, 10. Πόλος διακόπτη ισχύος

1.1.2 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.

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.

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 απόξευξης 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.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6

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

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου

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

3.2 Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης

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



Εικόνα 21: Ασφάλειες Μέσης Τάσης

Αποτελούνται από ένα κοίλο μονωτικό σωλήνα διαμέτρου 2-3 cm και μήκους 30-35 cm (Εικόνα) το εσωτερικό του οποίου είναι καλυμμένο με βορικό οξύ. Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει ένας αγωγός, το τηκτό, τανυσμένος με ελατήριο. Σε περίπτωση υπερέντασης, το τηκτό τήκεται (λιώνει), δημιουργείται τόξο στο εσωτερικό του σωλήνα, το οποίο παράγει υδρατμούς που βοηθούν στη σβέση του τόξου.

3.3 Ασφάλειες σκόνης υψηλής ικανότητας διακοπής

3.3.1 Ονομαστική τάση (U_n)

Είναι η μέγιστη πολική τάση του δικτύου, στην οποία μπορεί να εργασθεί συνεχώς η ασφάλεια. Για το δίκτυο μέσης των 20 kV, είναι $U_n=24$ kV. Άλλες τυποποιημένες ονομαστικές τάσεις είναι 3.6 , 7.2 , 12 και 17.5 kV. Προφανώς μια ασφάλεια ονομαστικής τάσης 24 kV μπορεί να εργασθεί σε δίκτυο 15 kV, το αντίστροφο όμως δεν ισχύει.

3.3.2 Ονομαστικό ρεύμα (I_n)

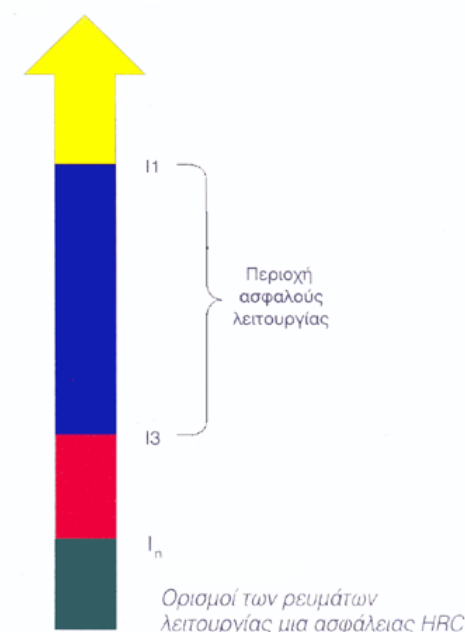
Είναι το ρεύμα που μπορεί να περνά συνεχώς μέσα από την ασφάλεια, χωρίς η θερμοκρασία της να ξεπεράσει τους 65°C . Οι τυποποιημένες ονομαστικές τιμές των ασφαλειών είναι: 6.3, 10, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80 και 100A. Το ονομαστικό ρεύμα της ασφάλειας επιλέγεται από το μέγεθος του μετασχηματιστή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

3.3.3 Ελάχιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής (I_3)

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

3.3.4 Μέγιστο ονομαστικό ρεύμα διακοπής

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



Εικόνα 22: Ορισμοί των ρευμάτων μιας ασφάλειας HRC

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

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

3.4 Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC

Οι ασφάλειες σκόνης έχουν ένα πυρήνα από κεραμικό υλικό (3), πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένο σε μορφή σπείρας το τηκτό (4). Το τηκτό είναι από κράμα αργύρου για να έχει όσο γίνεται μικρότερη αντίσταση. Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία (5). Το εξωτερικό περίβλημα είναι από πορσελάνη (2). Όταν το ρεύμα ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή I , τότε τήκεται ο αγωγός σε ένα ή περισσότερα σημεία, με αποτέλεσμα η ενέργεια που εκλύει το τόξο να απορροφάται από τη χαλαζιακή άμμο που λιώνει και μετατρέπεται σε πορσελάνη. Η αντίσταση που παρεμβάλλεται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος είναι τεράστια και το ρεύμα

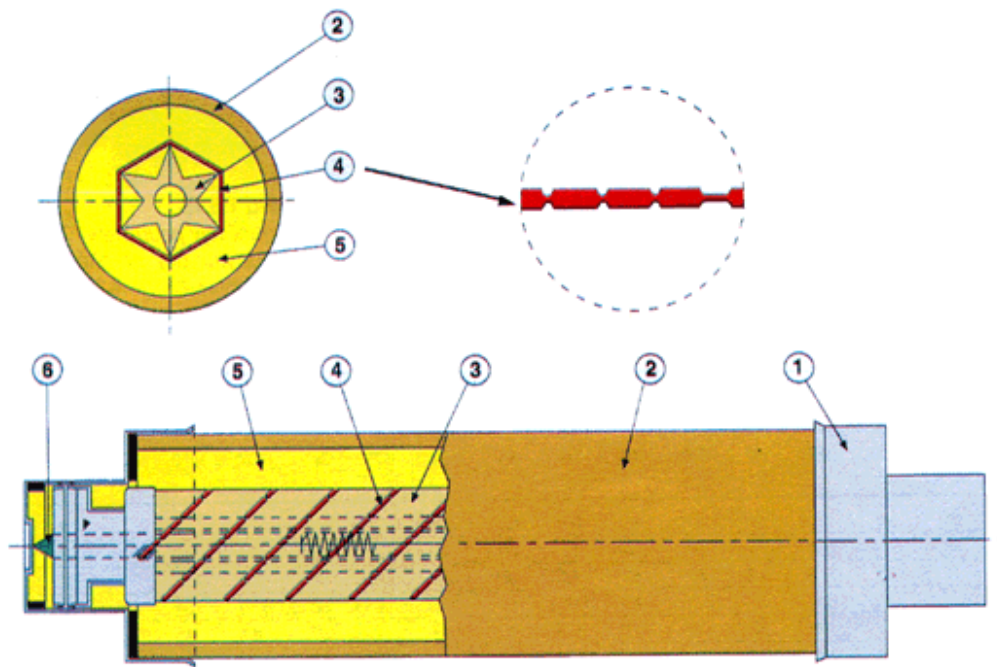
βραχυκυκλώματος περιορίζεται προτού φτάσει στη μέγιστη τιμή του (κορυφή).

Αυτό έχει ως συνέπεια, πέρα από την διακοπή του σφάλματος, και το σημαντικό περιορισμό της κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να δημιουργήσει δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του υποσταθμού. Οι ασφάλειες HRC διαθέτουν και ένα δείκτη λειτουργίας (6) που συγκρατείται με ελατήριο. Όταν η ασφάλεια λειτουργήσει το ελατήριο απελευθερώνεται και ο δείκτης εξέρχεται από το σώμα της ασφάλειας.

Η λειτουργία του δείκτη είναι διπλή:

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

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



Τα μέρη μια ασφάλειας HRC

Εικόνα 23: Τα μέρη μιας ασφάλειας HRC

1.Επαφές, 2.Εξωτερικός σωλήνας από πορσελάνη 3. Πυρήνας από κεραμικό υλικό 4. Τηκτό στοιχείο 5. Χαλαζιακή άμμος, 6. Δείκτης λειτουργίας

3.5 Χαρακτηριστικές απόζευξης των ασφαλειών HRC

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

3.6 Μετασχηματιστές

3.6.1 Γενικά

Οι μετασχηματιστές (Μ/Σ) είναι ηλεκτρικές μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια εισόδου σε ηλεκτρική ενέργεια εξόδου με διαφορετικό επίπεδο τάσης, μικρότερο ή μεγαλύτερο της τάσης εισόδου, διατηρώντας ίδια τη συχνότητα. Ο μετασχηματιστής επιτρέπει τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με τρόπο απλό και πολύ οικονομικό, αφού η απόδοση του είναι μεγαλύτερη από 95%.

Η παροχή ενέργειας στους καταναλωτές χωρίς τους μετασχηματιστές θα ήταν αδύνατη κι αυτό διότι η τάση στους ακροδέκτες μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη. Σκοπός του μετασχηματιστή είναι η προσαρμογή της ηλεκτρικής ενέργειας στην εκάστοτε τάση.

Επίσης στις γραμμές μεταφοράς υπάρχουν απώλειες που είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος. Επομένως θα πρέπει το ρεύμα να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, έτσι ώστε οι απώλειες να είναι ελάχιστες. Η επίτευξη του στόχου αυτού γίνεται με ανύψωση της τάσης έτσι ώστε να μεταφερθεί η επιθυμητή ισχύς.

3.6.2 . Τύποι Μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με:

- (α) τη χρήση,
- (β) την ψύξη,
- (γ) το μονωτικό υλικό,
- (δ) την κατασκευή του πυρήνα.

Υπάρχουν ποικίλοι τύποι μετασχηματιστών. Οι τρεις κυριότεροι τύποι είναι οι μετασχηματιστές ισχύος, οι μετασχηματιστές διανομής και οι αυτομετασχηματιστές.

3.6.2.1 Μετασχηματιστές ισχύος

Χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής για την ανύψωση της τάσης και στους υποσταθμούς (Υ/Σ) μεταφοράς, είτε για την ανύψωση ή για τον υποβιβασμό της τάσης μέχρι τη μέση τάση (ΜΤ). Συχνότητα λειτουργίας τους είναι συνήθως η συχνότητα των 50 Hz. Οι μετασχηματιστές ισχύος που τοποθετούνται σε υποσταθμούς

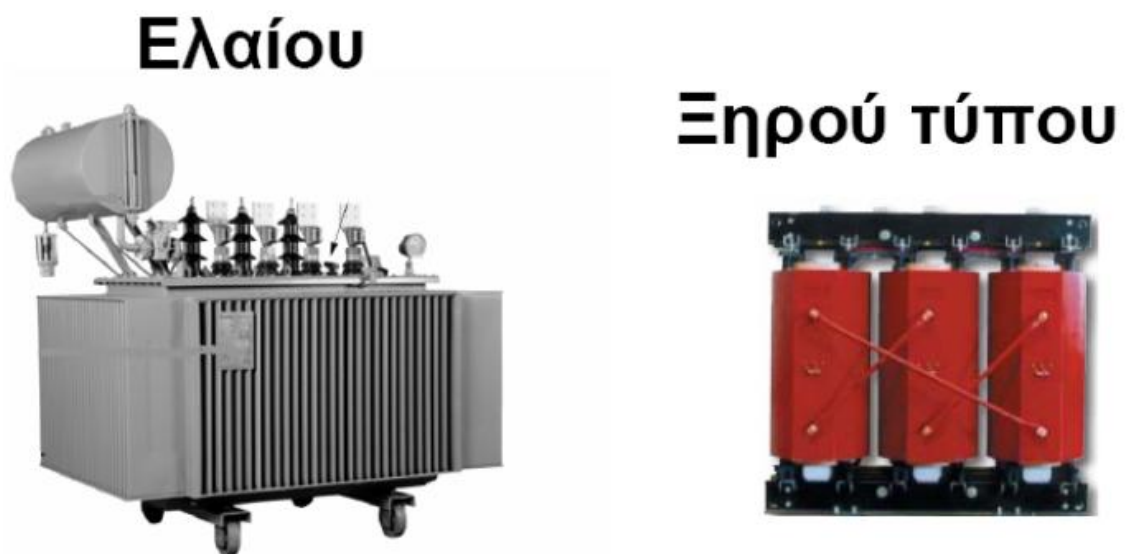
αναφέρονται και ως μετασχηματιστές υποσταθμών. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 2 MVA και πάνω, [2.1].

3.6.2.2 Μετασχηματιστές διανομής

Οι μετασχηματιστές διανομής είναι κυρίως δυο τύπων: υγρού τύπου (συνήθως λαδιού) και ξηρού τύπου. Χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής για να μεταφέρουν ενέργεια από το δίκτυο μέσης τάσης (MT) στο δίκτυο χαμηλής τάσης (ΧΤ) των καταναλωτών. Η ισχύς τους είναι συνήθως από 50 kVA έως 1600 kVA.

Οι μετασχηματιστές λαδιού διακρίνονται σε μετασχηματιστές με ορυκτό λάδι και με συνθετικό λάδι. Στους μετασχηματιστές με ορυκτό λάδι το μονωτικό μέσο είναι προϊόν κλασματικής απόσταξης πετρελαίου, ναφθενικής ή παραφινικής ή ενδιάμεσης βάσης. Ενώ στους μετασχηματιστές με συνθετικό λάδι, το μονωτικό μέσο είναι συνθετικό (σιλικονούχο) λάδι.

Στους μετασχηματιστές ξηρού τύπου η ψύξη γίνεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα και τα τυλίγματα είναι μονωμένα συνήθως με υλικά κλάσης H ή F. Τα υλικά κλάσης H είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν, σε κανονικές συνθήκες, σε θερμοκρασίες έως 180°C και τα υλικά κλάσης F σε θερμοκρασίες έως 155°C . Στους μετασχηματιστές ξηρού τύπου ανήκουν και οι μετασχηματιστές ρητίνης, όπου τα τυλίγματα είναι μονωμένα συνήθως με υλικά κλάσης F και είναι χυτευμένα σε εποξική ρητίνη, [2.1]. Στο Σχήμα 2.1 εμφανίζονται δυο τύποι μετασχηματιστών διανομής, ελαίου και ξηρού τύπου.



Εικόνα 24: Τύποι μετασχηματιστών διανομής ελαίου και ξηρού τύπου.

3.7 Στοιχεία μετασχηματιστών

- **Ονομαστική Τάση Πρωτεύοντος [kV]**

Είναι η Ονομαστική Τάση λειτουργίας του πρωτεύοντος τυλίγματος του Μ/Σ. Η τάση αυτή συμπίπτει με την ονομαστική τάση του Δικτύου Μέσης Τάσης της ΔΕΗ δηλ. 20kV. Σε πολύ λίγες περιοχές συναντάμε σήμερα διαφορετικές τάσεις (15kV ή 6.6kV) οι οποίες σταδιακά ευθυγραμμίζονται στα 20KV.

- **Ονομαστική Τάση Δευτερεύοντος [kV]**

Είναι η Ονομαστική Τάση λειτουργίας του Δευτερεύοντος τυλίγματος του Μ/Σ. Η τάση αυτή συμπίπτει με την ονομαστική τάση του Δικτύου Χαμηλής Τάσης της ΔΕΗ δηλ. 0.4.

- **Ονομαστική Ισχύς [kVA]**

Όπως κάθε ηλεκτρική συσκευή (αλλά και γενικότερα οποιαδήποτε μηχανή) έτσι και οι Μ/Σ ισχύος χαρακτηρίζονται από την ονομαστική ισχύ. Η ισχύς αυτή μετράται ΠΑΝΤΑ σε kVA αντίθετα με τις υπόλοιπες μηχανές που μετράται σε kW. Είναι δηλαδή η φαινομενική ισχύς που μπορεί να "διέλθει" μέσα από τον Μ/Σ.

- **Τάση Βραχυκύκλωσης [%]**

Η τάση αυτή μετράται από τον Κατασκευαστή του Μ/Σ ως εξής: Βραχυκυκλώνονται οι ακροδέκτες Χαμηλής Τάσης και μετράμε την τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε στο πρωτεύον για να έχουμε στο δευτερεύον το ονομαστικό ρεύμα του Μ/Σ. Η τάση αυτή στην συνέχεια ανάγεται σε % στην ονομαστική τάση του πρωτεύοντος δηλ. στα 20KV. Πρακτικά μας δείχνει την εσωτερική αντίσταση (impedance) των τυλιγμάτων του Μ/Σ.

- **Απώλειες Κενού P₀ [W]**

Είναι οι εσωτερικές απώλειες του Μ/Σ όταν λειτουργεί εν κενώ δηλ. υπάρχει τάση στο πρωτεύον (άρα και στο δευτερεύον) αλλά δεν κυκλοφορεί ρεύμα στο δευτερεύον. Οι απώλειες αυτές οφείλονται πρακτικά στα δινореύματα του μαγνητικού κυκλώματος του Μ/Σ.

- **Απώλειες Χαλκού P_k [W]**

Είναι οι εσωτερικές απώλειες του Μ/Σ όταν λειτουργεί σε πλήρες φορτίο δηλ. από τον Μ/Σ διέρχεται η ονομαστική Ισχύς του. Οι απώλειες αυτές οφείλονται πρακτικά σε

απώλειες Joule των ρευμάτων στις Ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων του Μ/Σ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

4.1 Διαστασιολόγηση των αντλητικών συγκροτημάτων

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία των αντλιοστασίων

ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ	A1 (ΙΕΡΟΘΕΟΥ)	A2 (ΑΝΘΕΙΑΣ)
Παροχή Αντλιοστασίου (l/s)	144	163
Γεωδαιτικό ύψος(m)	9.5	16,5
Μανομετρικό ύψος (m)	17	20.5

Το μανομετρικό ύψος διαφέρει από το γεωδαιτικό διότι λαμβάνονται για τον υπολογισμό του υπόψη τα παρακάτω

- Τραχύτητα αγωγού
- Ταχύτητα υγρού, και
- Απώλειες τριβών

Στον υπολογισμό της ισχύος των αντλιών θα ληφθεί υπόψη το μανομετρικό ύψος.

Τα αντλιοστάσια θα λειτουργούν αυτόματα με κριτήριο τη στάθμη των λυμάτων στα φρεάτια συγκέντρωσης. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με δεδομένη τη μη ταυτόχρονη παύση των αντλητικών για λόγους ομαλοποίησης της ροής. Τα κριτήρια σχεδιασμού των αντλιοστασίων είναι:

- Η αντιμετώπιση των μικρότερων δυνατών παροχών
- Η διατήρηση της ταχύτητας στους αγωγούς κατάθλιψης σε αποδεκτά επίπεδα
- Ο μικρότερος χρόνος παραμονής των λυμάτων στο φρεάτιο ($t < 30 \text{min}$)
- Η ελαχιστοποίηση του θορύβου(ουσιαστικά μηδενικός)
- Η ομαδοποίηση των αντλητικών και ο πολλαπλασιασμός των δυνατοτήτων εφεδρείας(σε όλα τα αντλητικά θα υπάρχει ακριβώς η ίδια αντλία)

Στα αντλιοστάσια λοιπόν, θα τοποθετηθούν οι παρακάτω αντλίες

ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ	A1 (ΙΕΡΟΘΕΟΥ)	A2 (ΑΝΘΕΙΑΣ)
Κύρια αντλία	2	2
Εφεδρική αντλία	1	1
Παροχή αντλίας (l/s)	144	163

Η επιλογή του μεγέθους και του αριθμού των αντλιών έγινε με σκοπό την ικανοποίηση της εναλλαγής, της απλοποίησης της συντήρησης και η μείωση των ανταλλακτικών.

Η ισχύς στον άξονα των αντλιών δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{Q \cdot H}{365 \cdot n}$$

Όπου:

P: η ισχύς σε kW

Q: η παροχή της αντλίας σε m³/h

H: το μανομετρικό ύψος σε m

n: ο βαθμός απόδοσης της αντλίας που για ονομαστικό σημείο λειτουργίας είναι 50%

4.2 Υπολογισμός ισχύος αντλητικών συγκροτημάτων

Για το αντλητικό της οδού Ιεροθέου έχουμε

Μετατρέπουμε την παροχή σε m^3/h . Δεδομένου ότι $1l=0.001m^3$ προκύπτει

$$Q = 144 \frac{l}{s} \cdot 0.001m^3 \cdot 3600s = 518.4m^3/h$$

$$P_{ANTΛΙΑΣ} = \frac{Q \cdot H}{365 \cdot \eta} = \frac{518.4 \cdot 17}{365 \cdot 0.5} = 48.3kW$$

Για το αντλητικό της οδού Ανθείας έχουμε

$$Q = 163 \frac{l}{s} \cdot 0.001m^3 \cdot 3600s = 586.8m^3/h$$

$$P_{ANTΛΙΑΣ} = \frac{Q \cdot H}{365 \cdot \eta} = \frac{586.8 \cdot 20.5}{365 \cdot 0.5} = 65.91kW$$

**Πίνακας 1: Τυποποιημένες τιμές ηλεκτρικών κινητήρων,
n_s=1000rpm**

Ονομαστική ισχύς	Ματρίκοι	Μέγεθος	Κλάση γυαλιού	Ροπή αδράνειας J	Τιμές στην ονομαστική λειτουργία					Ροπή εκκίνησης (απ' εφέλιμο εκκίνηση)	Ρεύμα εκκίνησης (απ' εφέλιμο εκκίνηση)	Ροπή ανακίνησης	Βάρος περίπου
					Ονομασ. ταχύτητα	Απόδοση η	Συντελεστής ισχύος cos φ	Ονομ. ρεύμα στο 380 V	Ονομ. ροπή				
kW	HP		KL	kg m ²	σrpm	%	-	A	N _m	Τιμές σε πολλαπλάσιο των ονομαστικών			kg
0,037	1/20	56	16	0,00027	820	42	0,65	0,21	0,43	2,0	2,3	2,0	3,0
0,045	3/50	56		0,00027	820	42	0,65	0,27	0,52	2,0	2,3	2,0	3,0
0,06	2/25	63	16	0,0003	795	39	0,66	0,35	0,72	1,89	2,0	1,8	3,5
0,09	1/8			0,0004	800	41	0,66	0,51	1,1	1,9	2,2	1,9	4,1
0,18	1/4	71	16	0,0006	835	48	0,69	0,82	2,0	2,0	2,3	2,0	6,3
0,25	1/3			0,0009	835	50	0,72	0,88	2,8	2,0	3,0	2,0	6,3
0,37	1/2	80	16	0,0015	905	52	0,72	1,26	3,9	1,9	3,3	2,0	7,5
0,55	3/4			0,0018	900	53	0,72	1,84	5,8	2,0	3,2	2,1	9,4
0,75	1	90 S	16	0,0028	905	71	0,75	2,2	8,0	2,2	3,9	2,3	12,5
1,1	1,5	90 L	16	0,0035	900	72	0,75	3,1	12	2,4	4,1	2,4	15,7
1,5	2	100 L	16	0,0063	925	76	0,76	4,0	15	2,0	4,5	2,1	22
2,2	3	112 M	16	0,011	940	77	0,73	5,9	22	2,2	5,1	2,5	25
3	4	132 S	16	0,020	945	78	0,74	7,9	30	1,8	4,7	2,2	38
4	5,5	132 M	16	0,028	950	80	0,75	10,2	40	2,0	5,0	2,4	43
5,5	7,5	132 M	16	0,035	955	83	0,74	13,7	55	2,6	6,0	3,0	51
7,5	10	160 M	16	0,055	960	84	0,76	17,9	75	2,2	6,0	2,7	73
11	15	160 L	16	0,080	965	88	0,76	25	108	2,5	7,0	3,0	99
15	20	180 L	16	0,2	970	89	0,83	31	148	2,6	5,7	2,4	170
18,5	25	200 L	16	0,29	975	90	0,83	37,5	181	2,6	5,7	2,3	220
22	30	200 L	16	0,33	975	90,5	0,83	44,5	215	2,5	5,7	2,3	235
30	40	225 M	16	0,57	978	91,5	0,85	59	293	2,6	5,7	2,2	305
37	50	250 M	16	0,89	980	92	0,85	72	361	2,6	6,0	2,2	410
45	60	280 S	16	1,3	982	92,5	0,86	86	438	2,5	6,0	2,3	540
55	75	280 M	16	1,5	982	93	0,86	104	535	2,6	6,2	2,4	580
75	100	315 S	16	2,4	985	93,7	0,86	142	727	2,5	6,0	2,5	770
90	125	315 M	16	2,9	985	94,2	0,86	168	873	2,5	6,0	2,5	830
110	150	315 L	16	3,5	985	94,5	0,86	205	1070	2,6	6,6	2,5	970
132	180	315 L	16	4,3	986	94,8	0,86	245	1280	2,7	6,7	2,6	1060
160	220	355 L	13	6,0	988	95,3	0,86	295	1550	2,1	6,7	2,3	1460
200	272	355 L	13	7,5	988	95,6	0,86	370	1930	2,1	6,7	2,3	1580
250	340	355 L	13	9,1	988	95,8	0,86	460	2420	2,2	6,8	2,3	1750
315	428	400 L	13	17	990	96,2	0,86	580	3040	2,1	6,9	2,4	2250

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι θα χρησιμοποιηθούν για το αντλιοστάσιο A1 τρεις τριφασικοί κινητήρες ονομαστικής ισχύος 55 kW ο καθένας και για το αντλιοστάσιο A2 τρεις κινητήρες ονομαστικής ισχύος 75kW ο καθένας. Τα ηλεκτρικά στοιχεία των κινητήρων φαίνονται παρακάτω

Ονομαστική ισχύς εξόδου (kW)	Συντελεστής ισχύος	Βαθμός απόδοσης(%)
55	0,86	93
75	0,86	93.7

4.3 Υπολογισμός ρευμάτων και πτώσης τάσης

Πίνακας 2: Τυποποιημένες διατομές

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Μονοακίδιο	χαρτί-μάζα						PVC ³⁾						διετυρωμένο 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⁾ JVV						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) ΘΘ	Θ	ΘΘΘ	4) ΘΘ	Θ	ΘΘΘ	2) Θ	Θ	4) ΘΘ	Θ	ΘΘΘ	Θ	4) ΘΘ	2) Θ	4) ΘΘ	Θ	ΘΘΘ	
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: Συντελεστές θερμοκρασίας

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Κατασκευή καλωδίου	κόστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας	κόστη επιτρεπόμενη ανόρθωση θερμοκρασίας	Συντελεστές διόρθωσης, για θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °C								
			10	15	20	25	30	35	40	45	50
Δισκ. πολ. 2Χ, (XLPE)	°C 90	°K -	- 1,15	- 1,12	- 1,08	- 1,04	- 1,0	- 0,96	- 0,91	- 0,87	- 0,82
Πολυαιθ. 2Υ, PE Πολυβιν. Υ, V	70	-	1,22	1,17	1,12	1,07	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71
μάζα-χαρτί περιζωμένα καλ. 0,6/1-3,6/6 kV 6/10 kV	80 65	55 35	1,05 1,0	1,05 1,0	1,05 1,0	1,05 1,0	1,0 1,0	0,95 0,93	0,89 0,85	0,84 0,76	0,77 0,65
μονοπολικά τριών μανδύων Höchststädter 0,6/1-3,6/6kV 6/10 kV 12/20kV 18/30kV	80 70 65 60	55 45 35 30	1,05 1,06 1,0 1,0	1,05 1,06 1,0 1,0	1,05 1,06 1,0 1,0	1,05 1,06 1,0 1,0	1,0 1,0 1,0 1,0	0,95 0,94 0,93 0,91	0,89 0,87 0,85 0,82	0,84 0,79 0,76 0,71	0,77 0,71 0,65 0,58

Πίνακας 4: 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
	32	22-32	390	-	160
	40	28-40	480	-	160
	50	36-50	600	-	160
	63	45-63	720	-	160
52	40	32-40	600	-	315
	50	40-50	600	-	315
	63	50-63	760	-	315
	80	63-80	960	-	315
	100	80-100	1200	-	315
61, 62	100	80-100	1000	-	500
	125	100-125	1250	-	500
	160	125-150	1600	-	500
	200	160-200	2000	-	500
	250	200-250	2500	-	500
	71, 72	250	200-250	2500	-
315		250-315	3150	-	800
400		315-400	4000	-	800
500		400-500	5000	-	800
630		500-630	6000	-	800

Κινητήρας ισχύος 55kW

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{55}{0.93} \Rightarrow P_{in} = 59.14 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{59.14 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} = 99.257 \text{ A}$$

Για θερμοκρασία 40°C (Πίνακας 3), το ρεύμα διορθώνεται:

$$I = \frac{99.257}{0.87} = 114.088 \text{ A}$$

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι είναι κατάλληλη η διατομή
s=35mm².

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{k \cdot s} = \frac{1}{56 \cdot 35} = 510.204 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Το μήκος των καλωδίων τροφοδοσίας είναι 15m. Άρα

$$R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \ell = 510.204 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 7.65306 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} = R_{\kappa,20^{\circ}\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) =$$

$$7.65306 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 9.183672 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^{\circ}\text{C}} \cdot \cos \varphi = 114.088 \cdot 9.183672 \cdot 10^{-3} \cdot 0.86 = 0.9 \text{ V}$$

Είναι $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2 \text{ Volt}$

Οπότε

Διατομή 35mm²

Αυτόματος διακόπτης ισχύος 125A με ρύθμιση θερμικού στα 115A (Πίνακας 4)

Κινητήρας ισχύος 75kW

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{75}{0.937} \Rightarrow P_{in} = 80 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\Pi} \cdot \cos \varphi} = \frac{80 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.86} = 134.27 \text{ A}$$

Για θερμοκρασία 40°C (Πίνακας 3), το ρεύμα διορθώνεται:

$$I = \frac{134.27}{0.87} = 157.78 \text{ A}$$

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι είναι κατάλληλη η διατομή
s=50mm².

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{1}{k \cdot s} = \frac{1}{56 \cdot 50} = 357.14 \cdot 10^{-6} \Omega$$

Το μήκος των καλωδίων τροφοδοσίας είναι 15m. Άρα

$$R_{\kappa,20^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \ell = 357.14 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 5.3571 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{\kappa,70^\circ\text{C}} = R_{\kappa,20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) =$$

$$5.3571 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0.004 \cdot (70 - 20)) = 6.43 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Η πτώση τάσης είναι:

$$\Delta V = I \cdot R_{\kappa,70^\circ\text{C}} \cdot \cos \varphi = 157.78 \cdot 6.43 \cdot 10^{-3} \cdot 0.86 = 0.87 \text{ V}$$

Είναι $\Delta V \leq 4\% \cdot 230 = 9,2 \text{ Volt}$

Οπότε

Διατομή 50mm²

Αυτόματος διακόπτης ισχύος 160A με ρύθμιση θερμικού στα 158A (Πίνακας 4)

Υπολογισμός Συνολικής Ισχύος του αντλητικού συγκροτήματος

$$P_{O\Lambda} = 3 \cdot P_1 + 3 \cdot P_2 = 3 \cdot 55 + 3 \cdot 75 \Rightarrow P_{O\Lambda} = 390kW$$

$$\begin{aligned} Q_{O\Lambda} &= 3 \cdot Q_1 + 3 \cdot Q_2 = 3 \cdot P_1 \cdot \tan(\cos^{-1} 0.86) + 3 \cdot P_2 \cdot \tan(\cos^{-1} 0.86) \\ &= 3 \cdot 55 \cdot \tan(\cos^{-1} 0.86) + 3 \cdot 75 \cdot \tan(\cos^{-1} 0.86) \Rightarrow P_{O\Lambda} \\ &= 231.4kVAR \end{aligned}$$

$$S_{O\Lambda} = \sqrt{P_{O\Lambda}^2 + Q_{O\Lambda}^2} = \sqrt{390^2 + 231.4^2} \Rightarrow S_{O\Lambda} = 453.48kVA$$

$$I_{O\Lambda} = \frac{S_{O\Lambda}}{\sqrt{3} \cdot 400} \Rightarrow I_{O\Lambda} = 654.54A$$

$$\cos \varphi_{O\Lambda} = \frac{P_{O\Lambda}}{S_{O\Lambda}} = \frac{390}{453.48} \Rightarrow \cos \varphi_{O\Lambda} = 0.86$$

Θα χρησιμοποιηθεί Α.Δ.Ι.Χ.Τ. με $I_N=655A$, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Χαρακτηριστικά στοιχεία διακοπών ισχύος, τάση λειτουργίας 500 V, 50/60 Hz (P-2) κατά IEC/VDE										
α/α	Ονομασία	Τύπος 3WN αρσενικός, α.ε. ή αρσενικός (για προσιπία διανομών και κινητήρων)								
1	Ονομαστικό ρεύμα π. (A)	630	800	1000	1250	1600	2000	3150	4000	
2	Διανόμιση ρύθμισης πηγών υπερφόρτισης σε (A)	157,5-630	600-800	500-1000	250-1250	800-1600	625-2000	1250-2500	800-3150	2000-4000
3	Ονομαστική ικανότητα διακοπής βρεχυσιαλίου σε (kA)	65	65	65	80	80	80	80	100	100

Επίσης με βάση τον παρακάτω πίνακα, διαπιστώνουμε ότι το αντλιοστάσιο θα πρέπει να συνδεθεί απευθείας με ΥΣ στη ΜΤ, διότι η ισχύς του υπερβαίνει κατά πολύ τα 250 kVA που είναι η μεγαλύτερη παροχή της Χ.Τ. (παροχή Νο7)

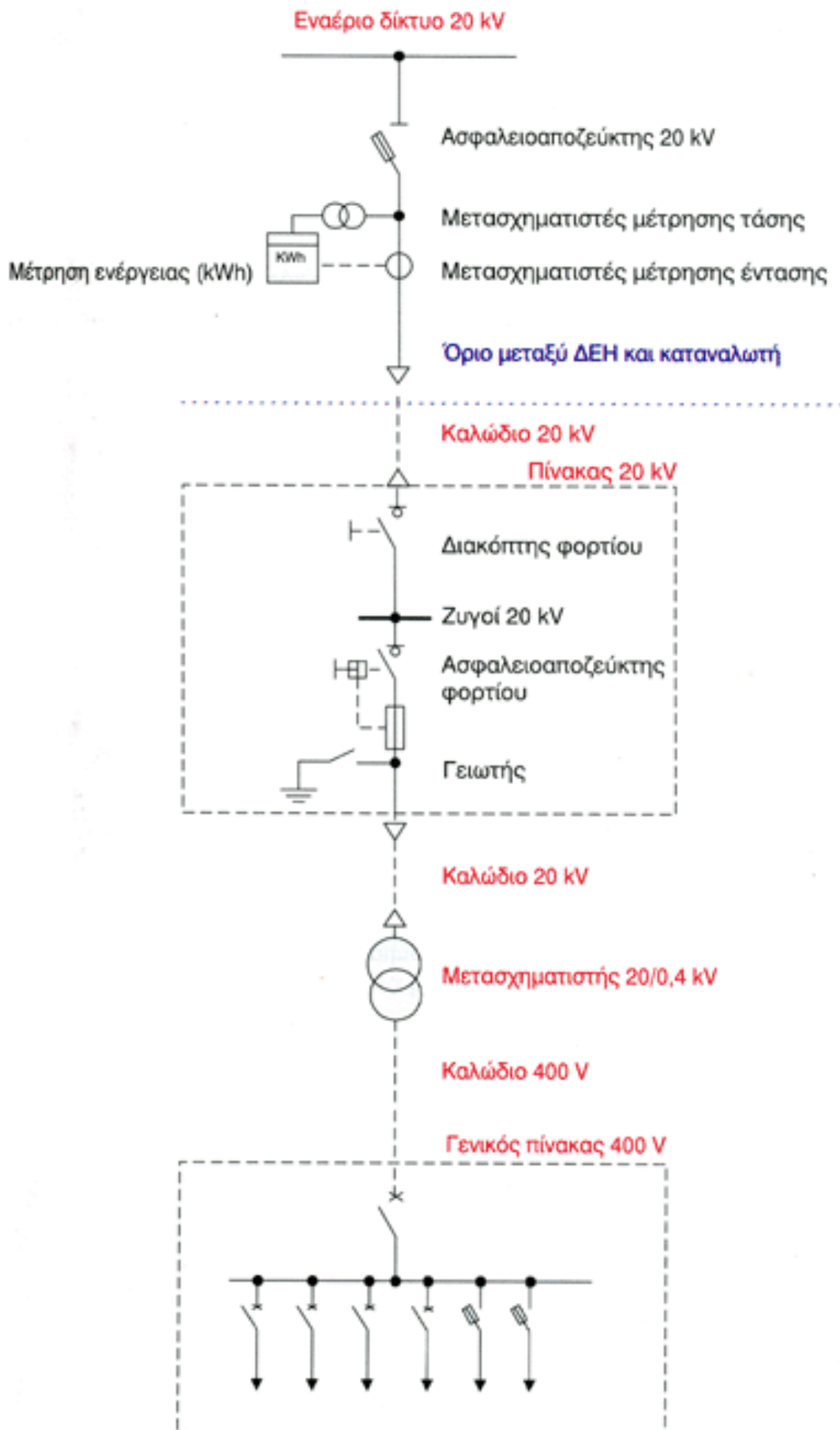
ΠΛΑΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ		ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ		ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ						
ΜΗΤΡΩΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ Νο		03	05	1	2	3	4	5	6	7
ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΟΧΗΣ [kVA]		8	12	15	25	35	55	85	135	250
ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ / ΑΣΦΑΛΕΙΑ [A]		40	63	25	40	63	σερ. 100	σερ. 160	σερ. 250	σερ. 400 (100A)
ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΑΡΟΧΗΣ [mm ²]	ΣΥΓΚΕΝΤΡΙΚΟ [Cu]	2x6	2x16	4x6	4x6	4x16	4x25	4x50		
	ΜΟΝΟΠΩΔΙΚΟ [Cu]							95	150	
	ΜΟΝΟΠΩΔΙΚΟ [Al]						150			
	X-TRE					3x(10Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)
ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΠΙΝΑΚΑ [A]		35	50	25	35	50	80	125	200	350
ΓΡΑΜΜΗ ΠΙΝΑΚΑ - ΜΕΤΡΗΣΗ [mm ²]		3x10	3x16	5x6	5x10	5x16	3x(10Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)	3x(16Al+10Cu)
ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ [L ₀ π/L ₀ π [A]		15/60		3x10/60		3x20/100		3x1,5/6 (L ₀ ππ L ₀ ππππππ)		

4.4 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ




Ο υποσταθμός αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- § Άφιξη Μ.Τ.
 - Ασφάλειες Μ.Τ.
 - Α.Δ.Ι. Μ.Τ.
- § Αναχώρηση ΜΤ
 - Μ/Σ Ισχύος
- § Άφιξη Χ.Τ.
 - Α.Δ.Ι. Χ.Τ.

Ακολουθεί ένα μονογραμμικό σχέδιο στο οποίο φαίνονται τα μέρη του υποσταθμού. Στην περίπτωση μας, εφόσον η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 453 kVA, θα χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής ονομαστικής ισχύος 500 kVA.



Θα χρησιμοποιηθεί ΜΣ ισχύος 500kVA(20kV/0,4kV) και Α.Δ.Ι.Μ.Τ. με $I_N=655A$ (1^η στήλη του επόμενου πίνακα)

α/α	Όνομασία χαρακτηριστικού	Τύπος διακόπτη ισχύος		
		HD4 24	HD4 36	HD4/R 24
1	Εικόνα διακόπτη			
2	Όνομαστική τάση (Rated voltage) U_r σε (KV)	24	36	24
3	Όνομαστική τάση μόνωσης (Rated insulation voltage) U_s σε (KV)	24	36	24
4	Τάση αντοχής στα 50 Hz (Withstand voltage at 50 Hz) U_d (1min) σε (KV)	50	70	50
5	Κρουστική τάση (Impulse withstand voltage) U_p σε (KV)	125	170	125
6	Όνομαστική συχνότητα (Rated frequency) f_r σε (Hz)	50-60	50-60	50-60
7	Όνομαστικό κανονικό ρεύμα (Rated normal current) I_r σε (A) στους 40°C	630-3600	630-1600	630-800-1250
8	Όνομαστική ικανότητα διακοπής (Rated breaking capacity) I_{sc} σε (KA)	16-40	16-20	12,5-20
9	Ικανότητα διακοπής σε βραχυκύκλωμα 3s) (Short-time withstand current and breaking capacity 3s) I_k σε (KA)	16-40	16-20	12,5-20
10	Όνομαστικό ρεύμα ζεύξης (Making capacity) I_p σε (KA)	40-100	40-50	31,5-50
11	Χρόνος αντοχής σε κατάσταση βραχυκυκλώματος (Short-time withstand current σε (s)	3	3	3
12	Ακολουθία λειτουργίας (Operation sequence)	(O-0,3s-CO-15s-CO) (O-0,3s-CO-3min-CO	(O-0,3s-CO-15s-CO) (O-0,3s-CO-3min-CO	O-0,3s-CO-15s-CO
13	Χρόνος ανοίγματος (Operation sequence) σε (ms)	45	45	45
14	Χρόνος τόξου (Arcing time) σε (ms)	10-15	10-15	10-15
15	Συνολικός χρόνος διάσπασης (Total breaking time) σε (ms)	55-60	55-60	55-60
16	Χρόνος κλεισίματος (Closing time) σε (ms)	80	80	80

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

4.5.1 ΜΣ 500kVA

Πλευρά υψηλής τάσης:

$$I = \frac{S}{U_{II} \cdot \sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{3}} = 14.43A$$

4.5.2 Καλώδια Μέσης Τάσης

Το ρεύμα που διαρρέει τα καλώδια μέσης τάσης υπολογίζεται 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 τοποθέτησης καλωδίου σε σωλήνα, $n_4=0.85$

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

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

$$I_o = \frac{14.43}{0.85 \cdot 0.84 \cdot 0.97} = 20.835A$$

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 20.835A από τον πίνακα του καλωδίου που φαίνεται παρακάτω 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 outer sheath

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

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: Σχοινάς Νικόλαος
- § Σημειώσεις Μαθήματος Ηλεκτρικά Κινητήρια Συστήματα, Διδάσκων: Αντωνόπουλος Γεώργιος.
- § <http://www.kmelkat.gr/erga/item/177-metasximatistes-isxuou-xrisima-stoixeia>
- § http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/parousiasi10.pdf
- §