

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗ
ΣΤΡΟΦΩΝ ΜΕΣΩ INVERTER ΣΕ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟ
ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

**“A Study of a Three-Phase Induction Motor Starting Methods
and Speed Control/Inverters”**

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΣΕΡΟΣ ΘΩΜΑΣ, ΓΚΟΡΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	
1.1. Γενικές Έννοιες.....	10
1.2. Βασικά Μέρη Ηλεκτρικών Μηχανών.....	13
1.3. Κατηγορίες Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων.....	16
1.4. Τυλίγματα Ηλεκτρικών Μηχανών.....	17
1.5. Κατασκευαστική Δομή των Μηχανών Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	19
1.6. Το Στρεφόμενο Μαγνητικό Πεδίο.....	20
1.7. Η Ολίσθηση.....	28
1.8. Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής.....	30
1.9. Ισοδύναμο Κύκλωμα.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΤΡΑ	
2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα.....	36
2.2. Αρχή Λειτουργίας Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα.....	37
2.2.1. Ανοιχτοκυκλωμένος-Βραχυκυκλωμένος Δρομέας.....	38
2.3. Ρυθμιστές Στροφών Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων Βραχυκυκλωμένου Δρομέα.....	40
2.4. Πλεονεκτήματα από την Εφαρμογή Συστημάτων Ρυθμιζόμενης Ταχύτητας.....	46
2.4.1. Ενίσχυση Ροπής Εκκίνησης.....	48
2.4.2. Επιτάχυνση-Επιβράδυνση Κινητήρα.....	49
2.4.3. Έλεγχος Συχνότητας (Έλεγχος Πεδίου Συχνότητας).....	50
2.4.4. Τοποθέτηση Πλάτους Αναπήδησης Περιοχών (Ζώνες Συχνότητας).....	51
2.4.5. Τοποθέτηση Μέγιστης Συχνότητας Κινητήρα.....	51
2.4.6. Ένα Παράδειγμα: Συνδεσμολογία Αντλητικού Συγκροτήματος με Χειροκίνητη και Αυτόματη Λειτουργία (Stop-Start).....	52
2.4.7. Συνδεσμολογία Αντλητικού Συγκροτήματος με Χειροκίνητη και Αυτόματη Λειτουργία (Stop-Start) και Εντολή Έναρξης και Παύσης, Πριν και Μετά του Επιθυμητού Σημείου.....	55
2.4.8. Συνδεσμολογία Οδηγού A/C για Διαδοχική και Ταυτόχρονη Λειτουργία Δύο Κινητήρων.....	57
2.4.9. Λειτουργία Οδηγού A/C (Inverter) Μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (PC).....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ – ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (SOFT STARTER)	
3.1. Γενικά.....	61
3.2. Αρχή Λειτουργίας.....	63
3.3. Συμβατικές Μέθοδοι Εκκίνησης.....	68

3.4. Εκκίνηση με Ομαλό Ηλεκτρονικό Εκκινητή (Soft Starter).....	70
3.4.1. Λειτουργίες του Ομαλού Εκκινητή (Soft Starter).....	72
3.4.2. Ομαλή Εκκίνηση (Soft Starting).....	74
3.4.3. Σταμάτημα Κινητήρα με Ελεύθερο Ρολάρισμα (Free Coasting).....	81
3.4.4. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή για Ομαλό Σταμάτημα (Soft Stop).....	81
3.4.5. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή, Σταμάτημα Αντλίας (Pump Stop).....	84
3.4.6. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή, Φρενάρισμα με Συνεχές Ρεύμα (DC Braking)...	85
3.4.7. Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Σταδιακή Φόρτιση του Κινητήρα (Energy Saving)...	87
3.4.8. Λειτουργία Κινητήρα με τον Soft Starter Συνδεδεμένο Συνεχώς.....	88
3.4.9. Λειτουργία Κινητήρα με Αυτόματο Διακόπτη (Ρελέ Ισχύος) Παράκαμψη (By Pass).....	88
3.4.10. 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.....	90
3.4.11. Συνδεσμολογία Ανεμιστήρα Ψύξης σε Ομαλό Εκκινητή (Soft Starter) για την Αποβολή Θερμότητας Κατά τη Διάρκεια Λειτουργίας του Εκκινητή.....	91
3.5. Λειτουργία Ομαλού Εκκινητή (Soft Starter) Μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (PC).....	92
3.6. Προστασία Κυκλώματος (Αγωγών, Εξαρτημάτων, Ομαλού Εκκινητή - Soft Starter, Κινητήρα).....	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ	
4.1. Γενικά.....	95
4.2. Επιμέρους Συσκευές Κεντρικής Αντιστάθμισης.....	99
4.2.1. Ψηφιακός Ρυθμιστής Αέργου Ισχύος	99
4.2.2. Πυκνωτές.....	102
4.3. Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος.....	105
4.4. Καταναλωτές Υψηλής Τάσης.....	107
4.5. Καταναλωτές Μέσης Τάσης.....	108
4.6. Καταναλωτές του Βιομηχανικού και Εμπορικού –Τριτογενούς Τομέα.....	109
4.7. Κατηγορίες Φορτίων που Συμβάλουν στην Αυξημένη Κατανάλωση Αέργου Ισχύος.....	109
4.7.1. Λειτουργία Συμβατικών Κλιματιστικών Μηχανημάτων.....	109
4.7.2. Μη Γραμμικά Φορτία: Εισαγωγή Αρμονικών.....	111
4.7.3. Αρδευτικά Συστήματα Άντλησης και Επίδραση στις Αιχμές.....	112

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ INVERTER ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΒΑΛΙΑΔΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλληλοσύνδεση του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού είναι ένα γεγονός που προώθησε την επιστημονική έρευνα και επέφερε σημαντικές αλλαγές στην καθημερινή μας ζωή. Σ' αυτόν οφείλονται ο ηλεκτροκινητήρας, ο ηλεκτρομαγνήτης, οι ασύρματες επικοινωνίες κλπ.

Όλα τα υλικά σώματα αποτελούνται από άτομα. Κάθε άτομο με τη σειρά του αποτελείται από έναν πυρήνα, γύρω από τον οποίο περιστρέφονται μικροσκοπικά σωματίδια που λέγονται ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια διαθέτουν αρνητικό φορτίο, που εξισορροπείται από το θετικό φορτίο του πυρήνα.

Σε ορισμένα υλικά που λέγονται μέταλλα, ο πυρήνας δεν μπορεί να συγκρατήσει τα ηλεκτρόνια σταθερά στην τροχιά τους κι έτσι αυτά περιφέρονται ελεύθερα στο εσωτερικό του υλικού. Σε συνηθισμένες συνθήκες, η κίνηση τους γίνεται τυχαία, αν όμως εφαρμοστεί μια διαφορά δυναμικού στα άκρα του υλικού, τότε τα ηλεκτρόνια, μιας και είναι αρνητικά φορτισμένα, έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής και επομένως κινούνται όλα μαζί προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτήν την συντονισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων την ονομάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα.

Πολύ σημαντική για την ιστορία του ηλεκτρισμού ήταν η συμβολή του Faraday, ο οποίος το 1831 παρατήρησε ότι αν ένας κλειστός αγωγός κινηθεί κοντά σε έναν μαγνήτη, τότε στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε "ηλεκτρομαγνητική

επαγωγή". Ο Faraday είχε κατασκευάσει και το πρώτο μοντέλο ηλεκτροκινητήρα.



Michael Faraday
(1791-1867)

Εικόνα 1: Michael Faraday

Ο Georg Simon Ohm ήταν αυτός που παρατήρησε ότι όλα τα υλικά σώματα όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα παρουσιάζουν αντίσταση σε αυτό. Έτσι διατύπωσε και την σχετική θεωρία που συνδέει την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος, με την ένταση και την αντίσταση ενός κυκλώματος.



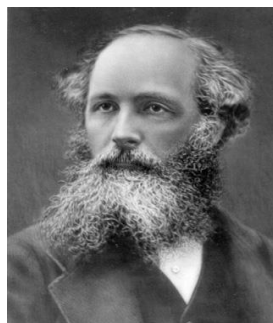
Εικόνα 2 : Georg Simon Ohm

Αδιαμφισβήτητη είναι και η συμβολή του Άγγλου φυσικού James Prescott Joule. Ο Joule παρατήρησε ότι όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνεται, και διατύπωσε τον παρακάτω νόμο: "Η θερμότητα που απελευθερώνεται από τον αγωγό είναι ανάλογη της αντίστασης του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος που τον διαρρέει και βέβαια του χρονικού διαστήματος που αυτός διαρρέεται από ρεύμα". Ο νόμος του Joule ήταν ο πρόδρομος της *Αρχής Διατήρησης της Ενέργειας (Conservation of Energy)*.



Εικόνα 3: James Prescott Joule

Στην κατανόηση του ηλεκτρομαγνητισμού και την ανάπτυξη της θεωρίας, ότι η ταλάντωση ενός ηλεκτρικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ότι τα κύματα αυτά διαδίδονται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός, συνέβαλε ο James Clerk Maxwell.



Εικόνα 4: James Clerk Maxwell

Ο Maxwell δημιούργησε τέσσερις μαθηματικές εξισώσεις για να περιγράψει τα φαινόμενα του ηλεκτρομαγνητισμού. Οι εξισώσεις είναι οι παρακάτω:

$$\begin{aligned}\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} &= q \\ \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} &= 0 \\ \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} &= \mu_0 \left(\epsilon_0 \frac{d\Phi}{dt} + \mathbf{i} \right) \\ \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= -\frac{d\Phi_B}{dt}\end{aligned}$$

Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να έχει σταθερή διεύθυνση, οπότε λέγεται *συνεχές (DC)*, ή η διεύθυνσή του να αντιστρέφεται συνεχώς, οπότε λέγεται *εναλλασσόμενο (AC)*. Πρώτες εφαρμογές του ηλεκτρισμού έγιναν από τον Thomas Alva Edison ο οποίος έθεσε ηλεκτρισμό και μαγνητισμό σε πρακτικές εφαρμογές στην τηλεγραφία, την τηλεφωνία αλλά κυρίως στο φωτισμό και τη μεταφορά ισχύος.



Εικόνα 4: Thomas Alva Edison

Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσομένου ρεύματος. Ο *τριφασικός ασύγχρονος ή επαγωγικός κινητήρας (Induction Motor)* είναι αυτός που χρησιμοποιείται ευρύτατα στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ο βασικότερος λόγος της καθολικής χρήσης του συγκεκριμένου τύπου μηχανής είναι ότι έχει την ικανότητα να απορροφά το 60% περίπου, της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα του ασύγχρονου κινητήρα, με σημαντικότερο την απλουστευμένη κατασκευαστική δομή του δρομέα.

Στο σημείο αυτό είναι άξιο σχολιασμού το γεγονός ότι, οι επαγωγικές μηχανές, λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν ως γεννήτριες, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως κινητήρες. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι επαγωγικές μηχανές φέρουν την ονομασία *επαγωγικοί κινητήρες*. Ο Nikola Tesla ήταν αυτός που διατύπωσε την αρχή λειτουργίας των σύγχρονων κινητήρων περί τα τέλη της δεκαετίας του 1880.



Εικόνα 5 : Nikola Tesla

Αξίζει να αναφερθεί πως από το 1896 οι επαγωγικοί κινητήρες ήταν εμπορικά διαθέσιμοι και η τότε μορφή τους φέρει απίστευτες ομοιότητες με την σημερινή. Μέχρι το έτος 1970, οι βελτιώσεις στην ποιότητα υλικών κατασκευής, στις τεχνικές χύτευσης και στη μόνωση των τυλιγμάτων, επέτρεψε τη δραστική μείωση του μεγέθους και του κόστους κατασκευής των επαγωγικών κινητήρων. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένας σημερινός ασύγχρονος κινητήρας των 100hp, έχει τις ίδιες διαστάσεις με ένα κινητήρα 7.5hp του 1897.

Το γεγονός ότι μειώθηκαν σε σημαντικό βαθμό οι διαστάσεις των επαγωγικών κινητήρων, δε σημαίνει ότι έχουμε και κάποια ουσιαστική βελτίωση του βαθμού απόδοσης, αυτό μέχρι το 1973 και την πετρελαϊκή κρίση, εξαιτίας του μικρού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια όλοι οι κατασκευαστές ανέπτυξαν επαγωγικούς κινητήρες με το χαρακτηρισμό υψηλής απόδοσης (High Efficiency Induction Motors). Οι κινητήρες αυτοί αποκτούν όλο και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Ακολουθεί εικόνα τυπικής μορφής ενός επαγωγικού κινητήρα υψηλής απόδοσης.



Εικόνα 6: Επαγωγικός κινητήρας υψηλής απόδοσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

1.1. Γενικές Έννοιες

Όλες οι ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές και διατάξεις περιλαμβάνουν κυκλώματα ηλεκτρικών στοιχείων. Η θεωρία κυκλωμάτων αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη της ηλεκτρικής τεχνολογίας και περιλαμβάνει μεθόδους ανάλυσης και σχεδιασμού ηλεκτρικών κυκλωμάτων κάθε τύπου. Η θεωρία κυκλωμάτων στηρίζεται στον ηλεκτρισμό, που είναι μέρος της Φυσικής.

Τα κυκλώματα αποτελούνται από στοιχεία. Τα στοιχεία κυκλωμάτων χωρίζονται σε δυο κατηγορίες στα ενεργά και στα παθητικά. Τα ενεργά στοιχεία είναι ικανά να παρέχουν ενέργεια, ενώ τα παθητικά δε μπορούν να παράγουν ενέργεια. Αντιθέτως, καταναλώνουν ή αποθηκεύουν. Τα παθητικά στοιχεία είναι για παράδειγμα ο αντιστάτης, ο πυκνωτής και το πηνίο καθώς επίσης και ο μετασχηματιστής, που είναι στοιχείο τεσσάρων ακροδεκτών. Τα ενεργά στοιχεία περιλαμβάνουν τις μπαταρίες, τις γεννήτριες και τα μοντέλα τρανζίστορ.

Η επίλυση των κυκλωμάτων σκοπό έχει να υπολογίσει τάσεις ή/και ρεύματα σε δοσμένα στοιχεία του κυκλώματος. Πρώτη και πολύ σημαντική εργασία για την επίλυση ενός κυκλώματος είναι ο ορισμός της πολικότητας (φοράς) του ρεύματος και της τάσης αναφοράς σε κάθε

στοιχείο του κυκλώματος ή αλλιώς του συστήματος αναφοράς του κυκλώματος.

Τα πρότυπα των φυσικών κυκλωμάτων είναι δύο ειδών, τα *συγκεντρωμένα* και τα *κατανεμημένα*. Τα συγκεντρωμένα κυκλώματα αποτελούνται από τη διασύνδεση συγκεντρωμένων ηλεκτρικών στοιχείων όπως ο αντιστάτης, ο πυκνωτής, το πηνίο και ο μετασχηματιστής. Οι νόμοι του Kirchhoff ισχύουν μόνο για τα συγκεντρωμένα κυκλώματα. Αυτός ο περιορισμός απορρέει από το γεγονός ότι οι νόμοι του είναι προσέγγιση των εξισώσεων του Maxwell, που είναι οι γενικές εξισώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Οι νόμοι του Kirchhoff είναι δύο: *Ο νόμος των ρευμάτων* και *ο νόμος των τάσεων*, οι οποίοι εκφράζουν την αρχή της διατήρησης του φορτίου και της ενέργειας αντίστοιχα. Ο νόμος των ρευμάτων έχει την παρακάτω μορφή: Σε κάθε κύκλωμα συγκεντρωμένων στοιχείων, κάθε χρονική στιγμή το αλγεβρικό άθροισμα των τιμών των ρευμάτων σε ένα κόμβο είναι μηδέν. Ο νόμος των τάσεων διατυπώνεται ως εξής: Σε κάθε κύκλωμα συγκεντρωμένων στοιχείων, κάθε χρονική στιγμή, το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων σ' ένα βρόχο κυκλώματος είναι μηδέν.

Το ηλεκτρικό φορτίο έχει δύο χαρακτηριστικά: την ποσότητα που μετριέται σε *Coulombs (Cb)* και το πρόσημο ή την πολικότητα. Το φορτίο που μεταφέρει ένα ηλεκτρόνιο είναι $q_e = -1.60 \cdot 10^{-19}Cb$ και έχει αρνητική πολικότητα.

Ρεύμα είναι η διέλευση φορτίου από μία δοσμένη διατομή σε δοσμένο

χρόνο. Αν η μεταφορά του φορτίου Δq γίνεται σε χρόνο Δt , τότε το μέσο ρεύμα είναι $I = \Delta q / \Delta t$. Το ρεύμα μετράτε σε *Amperes (A)* που ισοδυναμεί με τη μεταφορά ενός *Cb* ανά δευτερόλεπτο (s).

$$1 \text{ A} = 1 \text{ Cb} / \text{s}$$

Το ηλεκτρικό μέγεθος που σχετίζεται με τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας, ονομάζεται διαφορά δυναμικού ή τάση, και μετριέται σε *Volts (V)*. Η σχέση που ορίζει την τάση u , αν ένα φορτίο dq προσφέρει ενέργεια dw όταν κινηθεί από ένα σημείο a σε ένα σημείο b είναι οι εξής:

$$u = dw/dq$$

Αν εκφράσουμε την ενέργεια σε *Joules (J)*, τότε η μονάδα της τάσης δίνεται από την σχέση:

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J} / \text{Cb}$$

Η στιγμιαία ισχύς ορίζεται σαν ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας και ορίζεται από την σχέση:

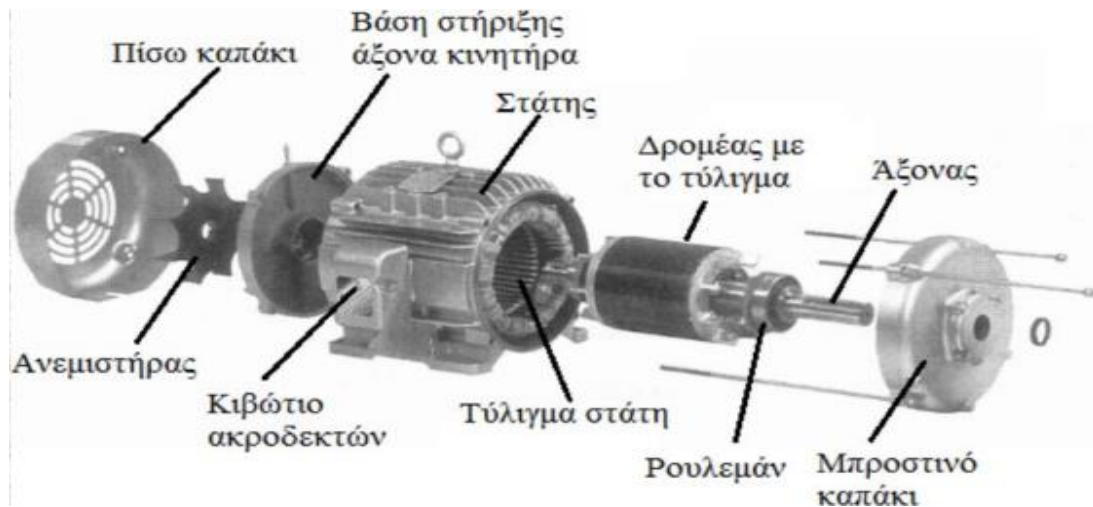
$$p = dw/dt$$

Η ηλεκτρική ισχύς μετρούμενη σε *Watts (W)* που καταναλώνεται ή παράγεται από ένα στοιχείο κυκλώματος είναι απλά το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα.

$$p = u * i$$

$$\text{Άρα } 1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$$

1.2. Βασικά Μέρη Ηλεκτρικών Μηχανών



Εικόνα 7: Βασικά μέρη ηλεκτρικής μηχανής

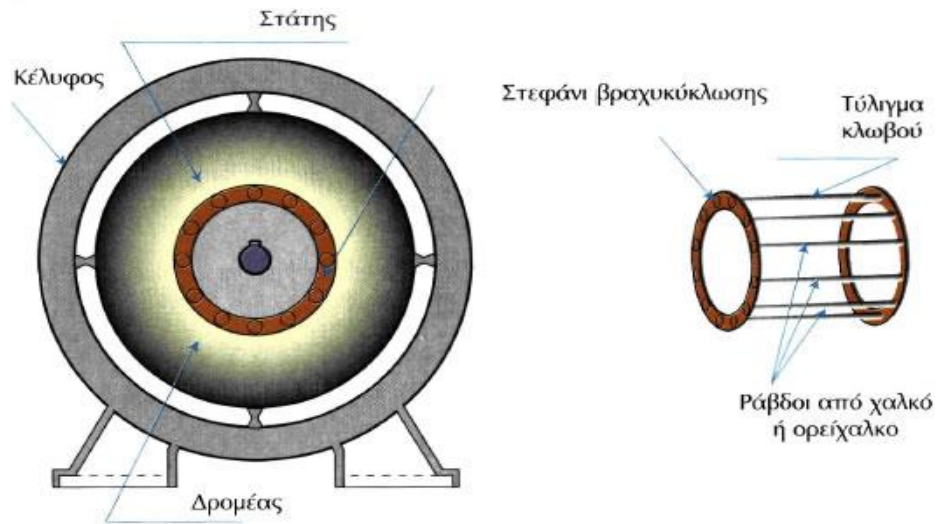
Μια ηλεκτρική μηχανή έχει δύο βασικά μέρη :

Το σταθερό μέρος που αποτελείται από τον πυρήνα του στάτη και τον πυρήνα του δρομέα, οι οποίοι κατασκευάζονται από σιδηρομαγνητικά υλικά, είτε συμπαγή είτε υπό μορφή ελασμάτων, για την ελάττωση της μαγνητικής αντίστασης των δρόμων της μαγνητικής ροής, για την ελάττωση των απωλειών από τα δινορεύματα. Καθώς επίσης και τα τυλίγματα. Τα μαγνητικά πεδία του στάτη και του δρομέα, που παράγονται από κατάλληλα τοποθετημένα τυλίγματα συγκεντρωμένα ή διανεμημένα. Ο αριθμός των πόλων των τυλιγμάτων είναι πάντα άρτιος.

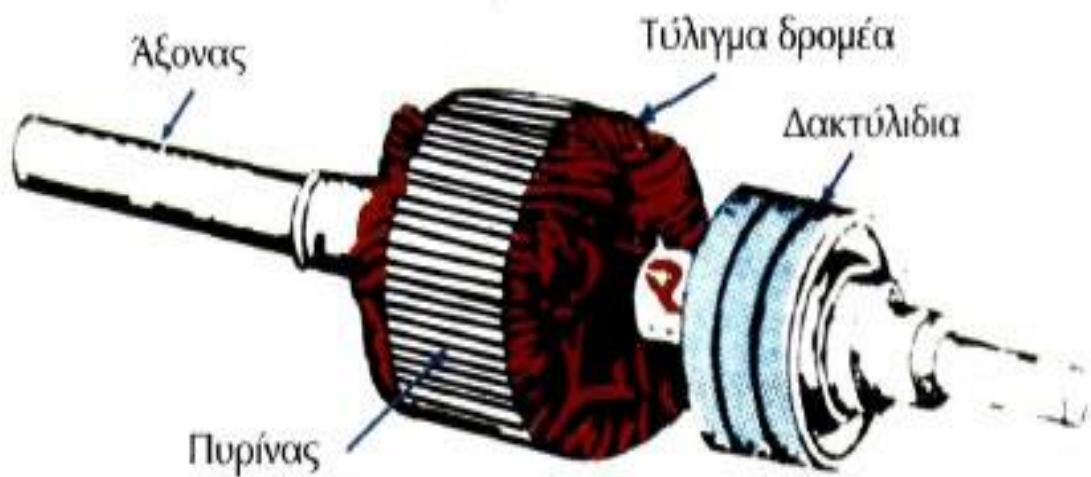
Η ονομασία *επαγωγικοί κινητήρες* προήλθε από το γεγονός ότι η τάση στο δρομέα, η οποία παράγει το ρεύμα διέγερσης και στη συνέχεια το πεδία του δρομέα, επάγεται στα τυλίγματά του, χωρίς να προσφέρεται από κάποια εξωτερική ηλεκτρική πηγή.

Αν σταθούμε σε αυτή την ιδιότητά του, μπορούμε πολύ εύκολα να πούμε πώς ένας επαγωγικός κινητήρας θεωρείται και σαν ένας μετασχηματιστής με στρεφόμενο το δευτερεύον τύλιγμα. Οι στάτες από έναν επαγωγικό κινητήρα και μιας σύγχρονης γεννήτριας έχουν ακριβώς την ίδια δομή. Στον αντίποδα, ανάλογα με τον τύπο δρομέα (ο οποίος κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω δινορευμάτων), οι επαγωγικοί κινητήρες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες : σε αυτούς με *βραχυκυκλωμένο κλωβού* (ο πιο κοινός τύπος) και σε αυτούς με *δακτυλιοφόρο δρομέα*.

Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού φέρει αυλάκια στην επιφάνεια του, μέσα στα οποία είναι τοποθετημένες αγώγιμες ράβδοι. Τα άκρα των τελευταίων βραχυκυκλώνονται μέσω των λεγόμενων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Οι δακτυλιοφόροι δρομείς φέρουν τριφασικό τύλιγμα αντίστοιχο με αυτό του στάτη. Οι φάσεις τους συνδέονται κατά κανόνα σε αστέρα και τα τρία ελεύθερα άκρα των αγωγών συνδέονται σε ισάριθμους δακτυλίους, με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Η διάταξη αυτή έχει το προφανές χαρακτηριστικό ότι επιτρέπει τη σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα.



Εικόνα 8: Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα



Εικόνα 9: Δακτυλιοφόρος δρομέας

1.3. Κατηγορίες Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων

Κινητήρες τυλιγμένου δρομέα :

Στους κινητήρες τυλιγμένου δρομέα, υπάρχει η δυνατότητα μέσω ψηκτρών, να παρεμβάλουμε εξωτερικά και να προσθέσουμε ωμική αντίσταση σε σειρά σε κάθε φάση του δρομέα.

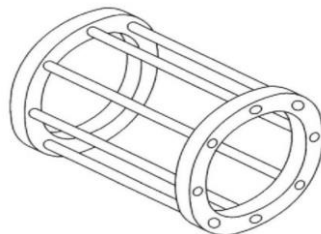
- I. Ο δρομέας έχει τριφασικά τυλίγματα περίπου σαν και αυτά του στάτη.
- II. Η συνδεσμολογία του είναι πάντα σε αστέρα.
- III. Τα τρία άκρα του καταλήγουν σε “δακτυλίδια”.
- IV. Το κύκλωμα είναι ανοικτό και οι συνδέσεις μπορούν να γίνουν μέσω συλλεκτών πάνω στα δακτυλίδια.

Η χρήση ενός κινητήρα τυλιγμένου δρομέα γίνεται κυρίως σε μεγάλες ισχείς.

Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή τύπου κλωβού :

- I. Ο πυρήνας του αποτελείται από δυναμοελάσματα και αγωγίμες ράβδους (αλουμινίου) τοποθετημένες σε ειδικά αυλάκια. Κάθε αυλάκι περιέχει έναν συμπαγή αγωγό.
- II. Η τοποθέτηση των ράβδων γίνεται ομοιόμορφα στην περιφέρεια του δρομέα.

III. Η επιφάνεια του δρομέα καλύπτεται από ένα στρώμα οξειδίου, που λειτουργεί ως μονωτικό υλικό για την αποφυγή δινορευμάτων.



Εικόνα10: Βραχυκυκλωμένος κλωβός

Αν και οι κινητήρες τυλιγμένου δρομέα, παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία για τον έλεγχο της ροπής και των στροφών, οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, λόγω χαμηλότερου κόστους, μικρότερου όγκου και στιβαρότερης κατασκευής, προτιμούνται περισσότερο στις συνηθισμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Σε περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλές ροπές κατά την εκκίνηση, μπορεί να γίνει χρήση δρομέα διπλού κλωβού.

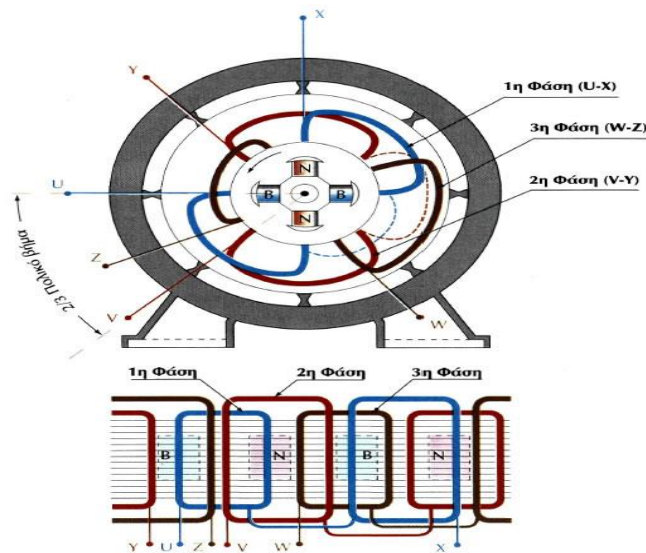
1.4. Τυλίγματα Ηλεκτρικών Μηχανών

Αναλόγως με το είδος της ηλεκτρικής μηχανής, τα τυλίγματα τροφοδοτούνται με **συνεχές ρεύμα** ή **εναλλασσόμενο** ρεύμα. Σκοπός των τυλιγμάτων είναι η δημιουργία και η κατάλληλη διαμόρφωση (μορφή και μέγεθος) των μαγνητικών πεδίων.

Οι πόλοι σε κάθε τύλιγμα, απέχουν μεταξύ τους ίσες αποστάσεις (πολικό βήμα) περί την περιφέρεια του διακένου.

Ένα ζεύγος πόλων σε μια Ρ-πολική μηχανή, καλύπτει **έναν** κύκλο

διανομής της πυκνότητας μαγνητικής ροής γύρω από την περιφέρεια του διακένου και ισοδυναμεί με ηλεκτρικές μοίρες. Η συστατική μονάδα ενός τυλίγματος είναι το πηνίο το οποίο αποτελείται από N ελίγματα συνδεδεμένα σε σειρά.



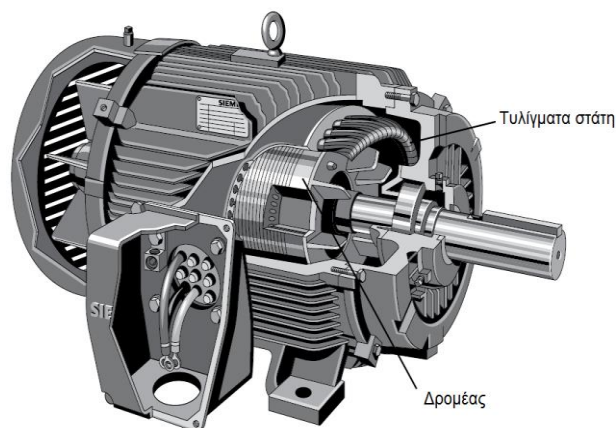
Εικόνα 11: Τυλίγματα φάσεων ηλεκτρικών μηχανών

Το ενεργό μήκος του πηνίου που αντιστοιχεί στα μήκη των αγωγών των κλάδων που βρίσκονται υπό την επενέργεια του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου. Η απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών του πηνίου είναι ένα πολικό βήμα ή 180 ηλεκτρικές μοίρες, με αποτέλεσμα οι επαγόμενες τάσεις και ροπές στους δύο κλάδους του τυλίγματος να είναι ίσες σε μέγεθος και να δρουν αθροιστικά.

Τα διανεμημένα τυλίγματα των ηλεκτρικών μηχανών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα βροχοειδή και τα κυματοειδή και τα οποία συνήθως είναι απλής ή διπλής στρώσης.

1.5. Κατασκευαστική Δομή των Μηχανών Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα, πάνω στον οποίο στηρίζονται οι μαγνητικοί πόλοι. Οι μαγνητικοί πόλοι προεξέχουν από το κυλινδρικό ζύγωμα και ονομάζονται *έκτυποι πόλοι (salient poles)*. Το τύλιγμα της διέγερσης, που φέρουν οι πόλοι του στάτη, τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και παράγει ένα σταθερό και ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο. Το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται σε αυλακώσεις, στον κυλινδρικό δρομέα.



Εικόνα 12: Μηχανή εναλλασσομένου ρεύματος

Στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, με έμφαση τις σύγχρονες γεννήτριες, οι ρόλοι του στάτη και του δρομέα είναι αντεστραμμένοι, σε σχέση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Η μορφή του δρομέα αλλάζει δραστικά, ανάλογα με το είδος της μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο δρομέας των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να έχει κυλινδρική δομή με αυλακώσεις, εντός των οποίων τοποθετείται το

τύλιγμα. Εναλλακτικά, ο δρομέας μπορεί να έχει πόλους οι οποίοι να προεξέχουν (*Salient Pole Rotor*), όπως οι πόλοι του στάτη στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Στη κατασκευαστική δομή του δρομέα των επαγωγικών κινητήρων, θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στη συνέχεια. Αντίθετα από το δρομέα, ο στάτης άλλων μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος έχει την ίδια κατασκευαστική δομή. Ο στάτης είναι μια κυλινδρική δομή από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους. Στο εσωτερικό του φέρει αυλακώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα του. Στη συνέχεια θεωρούμε ότι το τύλιγμα του είναι τριφασικό, οπότε η μηχανή χαρακτηρίζεται ως τριφασική. Όταν το τριφασικό τύλιγμα του στάτη διαρρέεται από ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, αναπτύσσεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Εκτός από τις τριφασικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, υπάρχουν οι μονοφασικές και οι διφασικές. Οι μηχανές αυτές φέρουν στο στάτη μονοφασικό ή διφασικό τύλιγμα αντίστοιχα. Η χρήση τους είναι περιορισμένη, σε σχέση με τις τριφασικές μηχανές, εξαιτίας των λειτουργικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

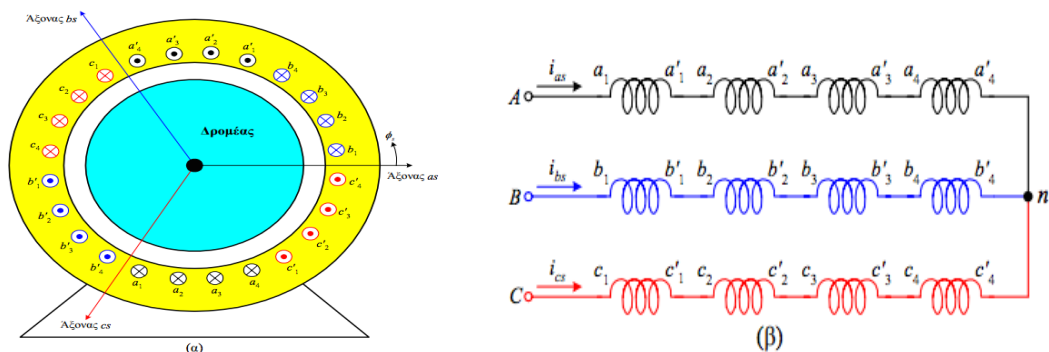
1.6. Το Στρεφόμενο Μαγνητικό Πεδίο

Όπως και στην ανάλυση των μηχανών συνεχούς ρεύματος, θεωρούμε αρχικά μια μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος, ο στάτης της οποίας φέρει ένα στοιχειώδες τριφασικό τύλιγμα. Το τύλιγμα του όπως εικονίζεται στην **εικόνα 13α**, δημιουργεί ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με δύο πόλους (*διπολική μηχανή*). Το τριφασικό τύλιγμα είναι σε σύνδεση αστέρα **εικόνα 13β**. Στην τριφασική μηχανή, η κάθε φάση του

τυλίγματος είναι μετατοπισμένη κατά 120° , σε σχέση με τις άλλες δύο. Οι άξονες as , bs , cs , δηλώνουν τη θετική φορά των μαγνητικών πεδίων, που παράγουν τα τρία τυλίγματα μόνα τους.

Τα τρία τυλίγματα έχουν την ίδια αντίσταση και τον ίδιο αριθμό σπειρών, όποτε το τριφασικό τύλιγμα του στάτη ονομάζεται συμμετρικό. Οι πλευρές των ομάδων, κάθε τυλίγματος είναι τοποθετημένες σε αυλάκια, τα οποία σχηματίζουν γωνία 180° στη διπολική μηχανή. Η φορά του ρεύματος σε κάθε πλευρά των ομάδων, οι οποίες αποτελούνται από ορισμένο αριθμό σπειρών, εικονίζεται στην **εικόνα 13α**.

Τα άκρα των τεσσάρων ομάδων κάθε τυλίγματος συνδέονται σε σειρά, με τον τρόπο που εικονίζεται στην **εικόνα 13β**. Τα άκρα $a'4$, $b'4$ και $c'4$ από τα τρία τυλίγματα συνδέονται μεταξύ τους, στη σύνδεση αστέρα.

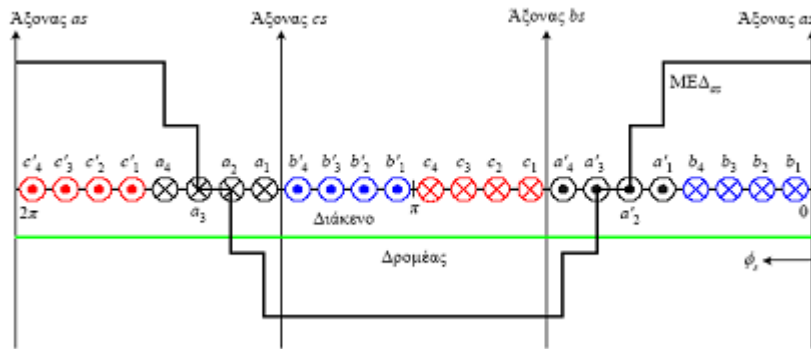


Εικόνα 13 α/β: Στοιχειώδης διπολική μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος με τριφασικό τύλιγμα στο στάτη (α) σε σύνδεση αστέρα (β).

Στη στοιχειώδη μηχανή της **εικόνα 13α**, οι πλευρές των ομάδων κάθε τυλίγματος, είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στην επιφάνεια του στάτη, σε γωνία 60° . Στις πραγματικές μηχανές, οι πλευρές των ομάδων κατανέμονται σε μεγαλύτερη γωνία. Έτσι, στην ίδια αυλάκωση τοποθετούνται οι πλευρές από δύο ομάδες.

Επιπλέον, οι ομάδες δεν έχουν τον ίδιο αριθμό σπειρών. Το τύλιγμα της **εικόνα 13α** ονομάζεται *Full-Pitch*, επειδή οι αντίθετες πλευρές των ομάδων σχηματίζουν γωνία 180° (*διπολική μηχανή*). Συχνά, οι αντίθετες πλευρές των ομάδων σχηματίζουν γωνία μικρότερη από 180° , οπότε το τύλιγμα ονομάζεται *Fractional-Pitch*.

Στην **εικόνα 14** εικονίζεται το ανάπτυγμα της στοιχειώδους μηχανής. Ως αρχή των αξόνων θεωρείται ο άξονας a_s στα δεξιά του σχήματος. Ακόμη, στην **εικόνα 14** εικονίζεται η *μαγνητεγερτική δύναμη ΜΕΔ*, που αναπτύσσεται από το τύλιγμα της φάσης a_s . Η $ΜΕΔ_{a_s}$ μεταβάλλεται βηματικά στο κέντρο των αγωγών του τυλίγματος. Σημειώνουμε ότι, το μαγνητικό πεδίο διατρέχει ακτινικά το διάκενο. Η ακτινική διεύθυνση του πεδίου οφείλεται στο μικρό πλάτος του διακένου σχετικά με τη διάμετρο του δρομέα και τη μεγάλη μαγνητική του αντίσταση, σε σχέση μ' εκείνη του σιδήρου στο στάτη και το δρομέα. Η ΜΕΔ που αναπτύσσεται από το τύλιγμα b_s ($ΜΕΔ_{b_s}$) έχει την ίδια μορφή με την $ΜΕΔ_{a_s}$, αλλά είναι μετατοπισμένη κατά 120° προς τα αριστερά. Αντίστοιχα, η $ΜΕΔ_{c_s}$ είναι μετατοπισμένη κατά 240° προς τα αριστερά ως προς την $ΜΕΔ_{a_s}$. Οι άξονες a_s , b_s , c_s , βρίσκονται στο μέσο της μέγιστης θετικής ΜΕΔ κάθε τυλίγματος.



Εικόνα 14: Το ανάπτυγμα της στοιχειώδους μηχανής

Οι κυματομορφές των ΜΕΔ που αναπτύσσουν τα τυλίγματα της στοιχειώδους μηχανής στο διάκενο, είναι μη ημιτονοειδείς συναρτήσεις της χωρικής γωνίας ϕ_s . Αυτό είναι ανεπιθύμητο, ιδιαίτερα στις μηχανές μεγάλης ισχύος, γιατί προκαλεί την ανάπτυξη αρμονικών τάσεων και ρευμάτων. Για την παραγωγή ημιτονοειδούς ΜΕΔ στο διάκενο της μηχανής, τα τυλίγματα του στάτη πρέπει να έχουν ημιτονοειδή κατανομή, όπως εικονίζεται στην **εικόνα 15α**. Τότε, η ΜΕΔ έχει την ημιτονοειδή μορφή της **εικόνας 15β** και ορίζεται από την παρακάτω σχέση, για τη φάση AS:

$$ME\Delta_{as} = \frac{N_s}{2} i_{as} \cos \phi_s$$

όπου i_{as} είναι το ρεύμα στη φάση as του τυλίγματος και N_s είναι ο ισοδύναμος αριθμός σπειρών ενός ημιτονοειδούς κατανεμημένου τυλίγματος, ο οποίος δίνει την ίδια θεμελιώδη συνιστώσα με το πραγματικό τύλιγμα. Οι ΜΕΔ που αναπτύσσονται από τα τυλίγματα των φάσεων bs και cs, ορίζονται από τις σχέσεις :

$$\text{ΜΕΔ}_{bs} = \frac{N_s}{2} i_{bs} \cos(\phi_s - 2\pi/3)$$

$$\text{ΜΕΔ}_{cs} = \frac{N_s}{2} i_{cs} \cos(\phi_s + 2\pi/3)$$

Η ολική ΜΕΔ στο διάκενο, από τα τρία τυλίγματα, είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους ΜΕΔ:

$$\text{ΜΕΔ}_s = \frac{N_s}{2} [i_{as} \cos \phi_s + i_{bs} \cos(\phi_s - 2\pi/3) + i_{cs} \cos(\phi_s + 2\pi/3)]$$

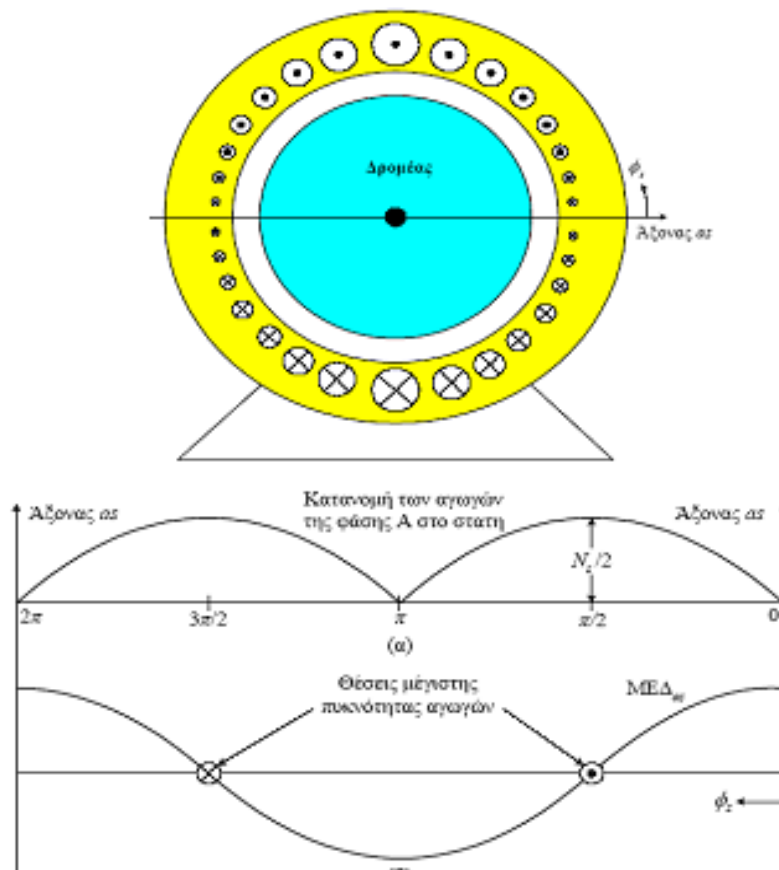
Τα συμμετρικά ρεύματα στο τριφασικό τύλιγμα της μηχανής, ορίζονται από τις σχέσεις:

$$i_{as} = I_{ms} \cos(\omega_e t)$$

$$i_{bs} = I_{ms} \cos(\omega_e t - 2\pi/3)$$

$$i_{cs} = I_{ms} \cos(\omega_e t + 2\pi/3)$$

όπου ω_e είναι η κυκλική συχνότητα των ρευμάτων.



Εικόνα 15: Η ΜΕΔ που αναπτύσσεται από το τύλιγμα της φάσης

Αντικαθιστώντας τις Εξ. (2)–(4) στην Εξ.(1), ορίζεται η ολική ΜΕΔ στο διάκενο της μηχανής :

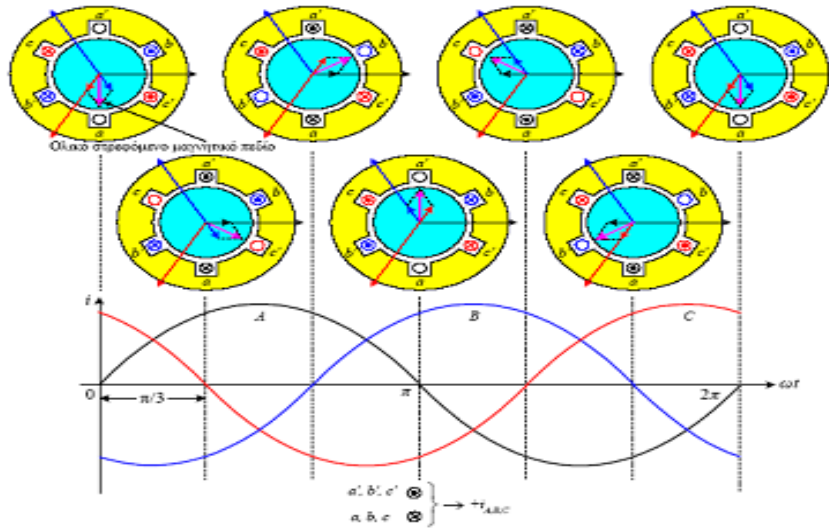
$$ME\Delta_s = \frac{N_s}{2} \frac{3}{2} I_{ms} \cos(\omega_e t - \phi_s)$$

Η παραπάνω εξίσωση παριστά μια ΜΕΔ με ημιτονοειδή κατανομή, η οποία στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω_e σε σχέση με το στάτη της μηχανής, με φορά αντίθετη των δεικτών του ρολογιού. Η ΜΕΔ έχει ένα

ζεύγος πόλων. Επομένως, η ροή των τριφασικών ρευμάτων από το τριφασικό τύλιγμα του στάτη δημιούργησε ένα μαγνητικό πεδίο, ο βόρειος και ο νότιος πόλος του οποίου κάνουν μια πλήρη περιστροφή σε κάθε περίοδο των ρευμάτων.

Η δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου γίνεται φανερή από την **εικόνα 16**. Η θετική φορά των ρευμάτων σε καθένα από τα τρία τυλίγματα του στάτη, αντιστοιχεί σ' εκείνη της **εικόνας 13α**. Κάθε τύλιγμα από τη ροή του αντίστοιχου ρεύματος παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, η θετική φορά του οποίου (βόρειος πόλος) εικονίζεται στην εικόνα 9 και είναι ίδια μ' εκείνη της **εικόνας 13α**.

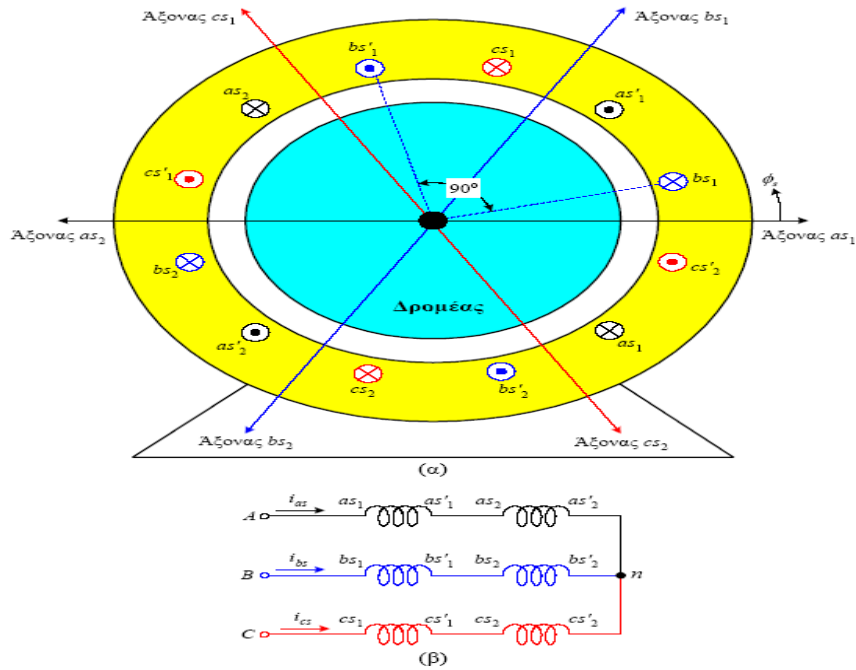
Στην **εικόνα 12** εικονίζονται τα μαγνητικά πεδία που παράγει κάθε τύλιγμα του στάτη μόνο του, καθώς και το ολικό πεδίο της μηχανής σε επτά διακριτές χρονικές στιγμές, οι οποίες αντιστοιχούν σε γωνίες των ρευμάτων 60°. Η διαδοχή φάσης των ρευμάτων είναι ABC. Παρατηρούμε ότι στη διπολική μηχανή που εξετάζουμε το ολικό μαγνητικό πεδίο στρέφεται κατά 60 μηχανικές μοίρες σε κάθε 60° μεταβολή της φασικής γωνίας των ρευμάτων με αντι-ωρολογιακή φορά. Αν η σειρά διαδοχής φάσης των ρευμάτων αντιστραφεί, τότε θα αντιστραφεί και η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (ωρολογιακή).



Εικόνα 16: Η δημιουργία του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου

Στην **Εικόνα 16** εικονίζονται τα τυλίγματα του στάτη σε μια τετραπολική μηχανή. Το τύλιγμα της κάθε φάσης αποτελείται από δύο επιμέρους τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε σειρά. Τα τρία τυλίγματα συνδέονται σε αστέρα. Οι αντίθετες πλευρές των ομάδων κάθε τυλίγματος σχηματίζουν γωνία 90° . Η ΜΕΔ που αναπτύσσεται στο διάκενο των μηχανών με P πόλους, ορίζεται με αντίστοιχο τρόπο από τη σχέση

Η ταχύτητα περιστροφής της ΜΕΔ είναι μειωμένη και ίση με $n_s/2$. Η ταχύτητα της ΜΕΔ ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα. Το μαγνητικό πεδίο αποτελείται από P πόλους.



Εικόνα 17: Τα τυλίγματα του στάτη σε μια τετραπολική μηχανή

1.7. Η Ολίσθηση

Η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη, εξαρτάται από τη συχνότητα των ρευμάτων τροφοδοσίας f και τον αριθμό των πόλων P , ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα n_s και ορίζεται από την παρακάτω σχέση σε rpm .

$$ME\Delta_s = \frac{N_s}{P} \frac{3}{2} I_{ms} \cos \left\{ \omega_e t - \frac{P}{2} \phi_s \right\}$$

Στον επαγωγικό κινητήρα, η ανάπτυξη της ροπής οφείλεται στην αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα. Όμως, το πεδίο του δρομέα οφείλεται στις τάσεις εξ επαγωγής, οι οποίες αναπτύσσονται στο δρομέα μόνο όταν υπάρχει σχετική κίνηση

μεταξύ του δρομέα και του στρεφόμενου πεδίου. Επομένως, η ταχύτητα του δρομέα δεν μπορεί να είναι ίση με τη σύγχρονη, καθώς τότε δεν θα επάγονταν τάσεις στο δρομέα, με συνέπεια το ρεύμα και η ροή του δρομέα να ήταν μηδενικά. Έτσι, η ροπή θα μηδενίζονταν και η ταχύτητα του κινητήρα θα μειώνονταν σε μια τιμή μικρότερη από τη σύγχρονη. Η διαφορά της ταχύτητας του δρομέα n_r από τη σύγχρονη n_s ονομάζεται ταχύτητα ολίσθησης (*Slip Speed*) και ορίζεται από τη σχέση:

$$n_{slip} = n_s - n_r$$

Η ποσοστιαία διαφορά της ταχύτητας του κινητήρα από τη σύγχρονη ταχύτητα ονομάζεται ολίσθηση (*Slip*).

Όταν ο κινητήρας είναι ακίνητος, η ολίσθηση είναι ίση με τη μονάδα ($s = 1$). Αν ο δρομέας στρέφονταν με τη σύγχρονη ταχύτητα, η ολίσθηση θα ήταν μηδέν ($s = 0$). Από την Εξ. (5.18) προκύπτει η παρακάτω σχέση της ταχύτητας του κινητήρα, ως συνάρτηση της σύγχρονης ταχύτητας και της ολίσθησης.

Η ονομασία ασύγχρονος κινητήρας, προέρχεται από τη διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη, η οποία είναι ανάλογη με τη ροπή του φορτίου.

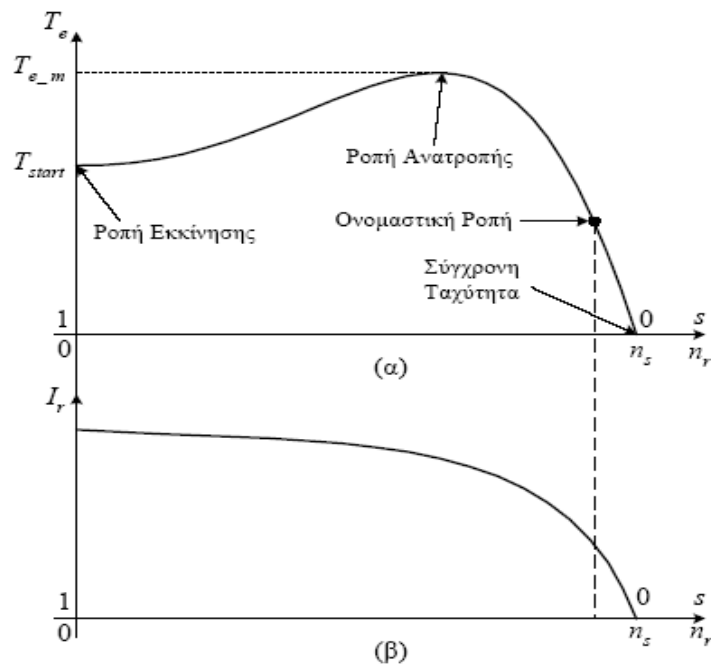
1.8. Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής

Η ροπή που αναπτύσσει ένας επαγωγικός κινητήρας μεταβάλλεται με την ταχύτητα, με τον τρόπο που εικονίζεται στην **εικόνα 18α**.

Προκειμένου να ερμηνεύσουμε τη χαρακτηριστική αυτή, θεωρούμε ότι ο κινητήρας λειτουργεί αρχικά χωρίς φορτίο (**εικόνα 18α**). Τότε, η ταχύτητα του κινητήρα είναι περίπου ίση με τη σύγχρονη. Το μαγνητικό πεδίο του στάτη B_{sr} παράγεται από το ρεύμα I_s . Το ολικό μαγνητικό πεδίο B_m είναι ανάλογο με το ρεύμα μαγνήτισης I_m . Το ρεύμα μαγνήτισης εξαρτάται από την τάση E , όταν ο κινητήρας είναι ακόρεστος. Επειδή η πτώση τάσης στη σύνθετη αντίσταση του στάτη είναι πολύ μικρή, η τάση E είναι σταθερή και περίπου ίση με την τάση τροφοδοσίας V . Επομένως, το ολικό μαγνητικό πεδίο στο διάκενο του κινητήρα είναι σταθερό και ανεξάρτητο από τη ροπή του φορτίου. Η τάση που επάγεται στο τύλιγμα του δρομέα E_r είναι πολύ μικρή, εξαιτίας της μικρής ολίσθησης. Έτσι, το ρεύμα του δρομέα I_r και το πεδίο που αυτό αναπτύσσει B_{rs} , είναι μικρά. Επειδή, η συχνότητα των επαγόμενων τάσεων είναι μικρή, η αντίδραση του δρομέα είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ωμική του αντίσταση και η διαφορά φάσης μεταξύ I_r και E_r είναι ελάχιστη. Μολονότι το ρεύμα του δρομέα είναι πολύ μικρό στη λειτουργία χωρίς φορτίο, το ρεύμα τροφοδοσίας του στάτη είναι αρκετά μεγάλο, καθώς παρέχει το ρεύμα μαγνήτισης.

Όταν η ροπή του φορτίου αυξηθεί στην ονομαστική τιμή, η ταχύτητα του κινητήρα μειώνεται και η ολίσθηση αυξάνει. Έτσι, η τάση που επάγεται στο δρομέα αυξάνεται. Η αυξημένη τάση E_r προκαλεί την

αύξηση του ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου στο δρομέα. Ταυτόχρονα, η αύξηση της συχνότητας στο δρομέα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διαφορά φάσης μεταξύ των E_r και I_r (εικόνα 19β). Η αύξηση του πεδίου B_{rs} τείνει να αυξήσει την αναπτυσσόμενη ροπή. Αντίθετα, η αύξηση της γωνίας δ , η οποία είναι μεγαλύτερη από 90° , τείνει να μειώσει τη ροπή. Καθώς η επίδραση του πεδίου είναι μεγαλύτερη από την επίδραση της γωνίας, η ροπή αυξάνεται.

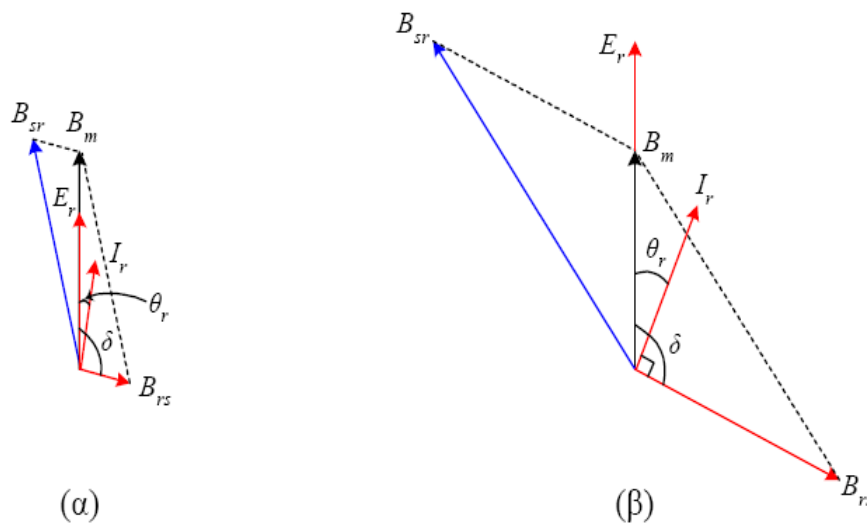


Εικόνα 18: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας(α), Μεταβολή του ρεύματος δρομέα με την ταχύτητα(β)

Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου του δρομέα B_{rs} υπερισχύει της γωνίας δ , μέχρι μια τιμή του φορτίου, η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη ροπή **εικόνα 19α**. Η μέγιστη ροπή ονομάζεται *ροπή ανατροπής*. Η ροπή ανατροπής είναι δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής. Όταν η ροπή του φορτίου γίνει μεγαλύτερη από τη ροπή ανατροπής, η

επίδραση του $\sin\delta$ είναι εντονότερη από εκείνη του μαγνητικού πεδίου και η ροπή που αναπτύσσει ο κινητήρας μειώνεται. Το αποτέλεσμα στην περίπτωση αυτή είναι ο κινητήρας να σταματήσει (παθητικό φορτίο).

Η μεταβολή του ρεύματος του δρομέα με την ταχύτητα εικονίζεται στην εικόνα 19β. Σε μικρές τιμές της ολίσθησης, η μεταβολή του ρεύματος στο δρομέα και της ροπής είναι γραμμική με την ολίσθηση.



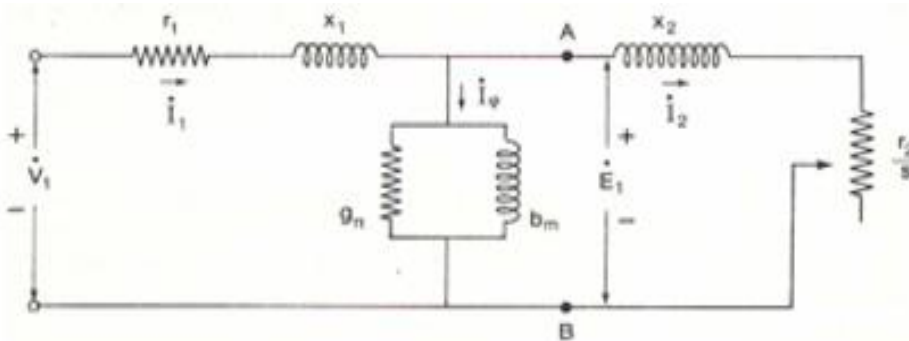
Εικόνα 19: Διανυσματικό διάγραμμα κινητήρα χωρίς φορτίο(α), με Φορτίο(β)

Σε ροπές μεγαλύτερες από την ονομαστική, η συχνότητα των ρευμάτων στο δρομέα είναι αρκετά μεγάλη. Έτσι, ο συντελεστής ισχύος του δρομέα $\cos\theta_r$ μειώνεται. Η μεταβολή του ρεύματος του δρομέα και της ροπής περιορίζεται, σε ροπές μεγαλύτερες από την ονομαστική. Σε ροπές υψηλότερες από τη ροπή ανατροπής, ο συντελεστής ισχύος του δρομέα γίνεται πολύ μικρός και η ροπή μειώνεται αντί να αυξάνει. Ακόμη, το ρεύμα του δρομέα είναι περίπου σταθερό.

Η ροπή που αναπτύσσει ο κινητήρας στη μηδενική ταχύτητα ονομάζεται ροπή εκκίνησης (T_{start}). Η ροπή εκκίνησης είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή, συνήθως της τάξης του 150% της ονομαστικής.

1.9. Ισοδύναμο Κύκλωμα

Οι μηχανές επαγωγής έχουν μόνο συμμετρικά τριφασικά τυλίγματα τα οποία διεγείρονται από συμμετρικές πολυφασικές τάσεις. Μελετούμε τη μία φάση μόνο εφόσον όλες οι φάσεις συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο και η μόνη διάκριση μεταξύ τους είναι η χαρακτηριστική διαφορά φάσης χρόνου. Το τύλιγμα στάτη θεωρείται συνδεδεμένο κατ' αστέρα. Επίσης θεωρείται ότι όλα τα ρεύματα και οι τάσεις έχουν ημιτονοειδή μορφή κύματος. Οι επιδράσεις των αρμονικών χώρου στη διανομή της ροής αγνοούνται, ενώ λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των αντιδράσεων σκέδασης στάτη και δρομέα. Το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα δίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 20: Ισοδύναμο κύκλωμα επαγωγικού κινητήρα

Τα μεγέθη που παριστάνονται στο ισοδύναμο κύκλωμα είναι τα εξής:

V_1 τάση ακροδεκτών στάτη

E_1 αντί -ΗΕΔ που αναπτύσσεται από τη συνισταμένη ροή διακένου

I_1 ρεύμα στάτη

r_1 πραγματική αντίσταση στάτη

X_1 αντίδραση σκέδασης στάτη

I_ϕ συνιστώσα ρεύματος διέγερσης

I_π συνιστώσα απωλειών πυρήνα

I_m συνιστώσα μαγνήτισης

g_m αγωγιμότητα απωλειών πυρήνα

b_m μαγνητίζουσα αγωγιμότητα

I_2 συνιστώσα φορτίου

X_2 αντίδραση σκεδάσεως δρομέα ανοιγμένοι στη συχνότητα στάτη

$r_{2/s}$ ανακλώμενη αντίσταση, συνδυασμένη επίδραση του φορτίου στον

άξονα και της αντιστάσεως του δρομέα

Επισημαίνεται ότι όταν τα ρεύματα και οι τάσεις του δρομέα ανακλώνται στο στάτη, η συχνότητα τους μετατρέπεται σε συχνότητα στάτη. Όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα του δρομέα, όταν παρατηρούνται στο στάτη,

γίνονται φαινόμενα συχνότητας, διότι το τύλιγμα του απλώς βλέπει κύματα ΜΕΔ και ροής να οδεύουν στη σύγχρονη ταχύτητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα

Ο τύπος κινητήρα που συναντάμε συχνότερα είναι αυτός του ασύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα. Η απλουστευμένη κατασκευή του, σε συνδυασμό με την εύκολη χρήση του, είναι οι βασικότεροι λόγοι που τον κατατάσσουν στην πρώτη επιλογή. Μιλώντας για ευκολία στην λειτουργία του, πρέπει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι ο εν λόγω κινητήρας δεν παρουσιάζει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης, καθώς οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στην διέγερσή του. Αυτό είναι και η αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Όταν τροφοδοτούμε με ισχύ μόνο το κύκλωμα του στάτη, ο επαγωγικός κινητήρας ονομάζεται και μηχανή απλής διέγερσης (*Singly Excited*), σε αντιδιαστολή με τις σύγχρονες μηχανές που ονομάζονται μηχανές διπλής διέγερσης (*Doubly Excited*).

Προς απομυθοποίηση του αξίζει να κάνουμε το απλό σχόλιο, πως ο επαγωγικός κινητήρας δεν είναι κάτι άλλο παρά ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Όπως και σε έναν μετασχηματιστή, έτσι και στον επαγωγικό κινητήρα το πρωτεύον τύλιγμα (του στάτη) επάγει κάποια τάση στο δευτερεύον τύλιγμα (του δρομέα). Αντίθετα όμως απ' ότι συμβαίνει σ' ένα μετασχηματιστή, η συχνότητα του δευτερεύοντος δεν

είναι απαραίτητα ίση μ' αυτή του πρωτεύοντος. Ο επαγωγικός κινητήρας, στην κανονική λειτουργία, περιστρέφεται με ταχύτητα που πλησιάζει την σύγχρονη, χωρίς όμως ποτέ να την αποκτά. Θα πρέπει πάντα να υφίσταται κάποια σχετική κίνηση που να εξασφαλίζει την επαγωγή τάσης στο κύκλωμα διέγερσης. Συγκεκριμένα η σχετική κίνηση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα ευθύνεται για την ανάπτυξη της επαγόμενης τάσης στο δρομέα. Αυτή η τάση με τη σειρά της παράγει κάποιο ρεύμα στο δρομέα του κινητήρα, το οποίο αλληλεπιδρώντας με το πεδίο του στάτη παράγει την επαγόμενη ροπή του κινητήρα.

2.2 Αρχή Λειτουργίας Ασύγχρονου Τριφασικού Κινητήρα

Όταν τροφοδοτούμε το τύλιγμα του στάτη με ένα τριφασικό συμμετρικό σύστημα τάσεων, δημιουργείται στο διάκενο της μηχανής ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

$$n_s = 120 \frac{f_1}{P} \quad \omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = \frac{2}{P} 2\pi f_1 = \frac{2}{P} \omega_1$$

Όπως προαναφερθήκαμε, η συμπεριφορά του ασύγχρονου κινητήρα είναι όμοια με αυτή ενός μετασχηματιστή, στο μαγνητικό κύκλωμα του οποίου παρεμβάλλεται και κάποιο διάκενο αέρος. Οι επαγόμενες τάσεις στα τυλίγματα του ακινητοποιημένου δρομέα, οι οποίες σε αντίθεση με τον μετασχηματιστή δεν οφείλονται στην χρονική μεταβολή της μαγνητικής ροής, αλλά στο στρεφόμενο κύμα σταθερού μεγέθους της

μαγνητικής ροής στο διάκενο, έχουν την ίδια συχνότητα με εκείνη των τάσεων τροφοδοσία των τυλιγμάτων του στάτη.

2.2.1 Ανοιχτοκυκλωμένος - Βραχυκυκλωμένος Δρομέας

Ανοιχτοκυκλωμένος δρομέας: Τα ρεύματα των τυλιγμάτων του στάτη αποτελούν ταυτόχρονα και τα ρεύματα διέγερσης του κινητήρα και είναι υπεύθυνα για την εγκατάσταση της απαιτούμενης μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής.

Βραχυκυκλωμένος δρομέας: Λόγω των επαγόμενων Η.Ε.Δ. θα κυκλοφορήσουν ρεύματα στον δρομέα, της ίδιας συχνότητας με την συχνότητα των τάσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη. Τα ρεύματα αυτά στον δρομέα, θα δημιουργήσουν και αυτά με την σειρά τους ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στον δρομέα, στρεφόμενο επίσης με την σύγχρονη ταχύτητα και με την ίδια φορά περιστροφής με το αντίστοιχο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος του στάτη. Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα ή του συνισταμένου μαγνητικού πεδίου με το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, δημιουργούν κινούσα ροπή στην κατεύθυνση της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη.

Στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, ο δρομέας στρέφεται με ταχύτητα n_r , μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας n_s .

Ολίσθηση: Ο λόγος της σχετικής ταχύτητας του πεδίου ως προς τον δρομέα προς τη σύγχρονη ταχύτητα.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad s(\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$

Συχνότητα Ολίσθησης: Η συχνότητα f_2 των επαγόμενων τάσεων στα τυλίγματα του δρομέα, συνδέεται με την συχνότητα f_1 του δικτύου.

$$f_2 = \frac{P}{2} \frac{(n_s - n_r)}{60} = \frac{P}{2} s \frac{n_s}{60} = s f_1$$

Η επαγόμενη Η.Ε.Δ. στα τυλίγματα του δρομέα κατά την λειτουργία ($n_r < n_s$).

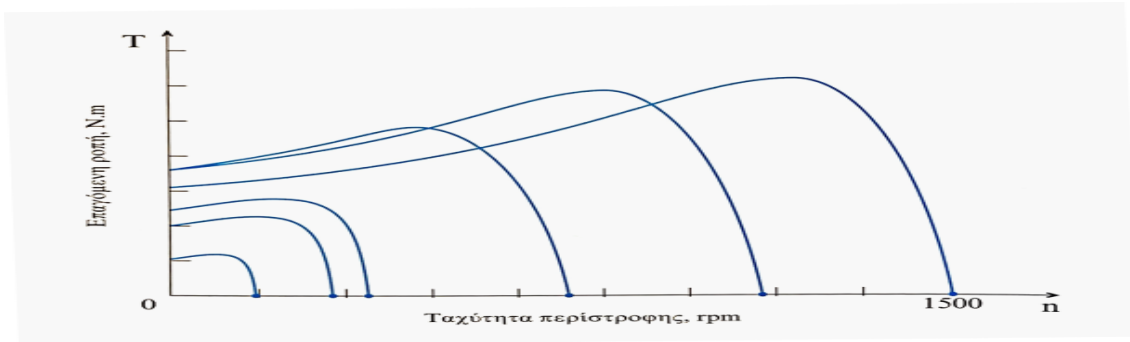
Μηχανική ροπή: Απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή μη μηδενικής μέσης ροπής σε έναν κινητήρα, είναι να μην υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ των δύο αλληλεπιδρώντων μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα. Δηλαδή, τα δύο μαγνητικά πεδία είτε θα είναι ακίνητα στο χώρο (μηχανές συνεχούς ρεύματος), είτε θα κινούνται με την ίδια ταχύτητα (μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος). Το μέγεθος της παραγόμενης ροπής, είναι ανάλογο του γινομένου των μεγεθών των δύο πεδίων καθώς και της μεταξύ τους γωνίας.

$$\tau = -\left(\frac{P}{2}\right) \frac{\mu_o \pi D l}{2g} F_{s,m} F_{r,m} \sin \theta$$

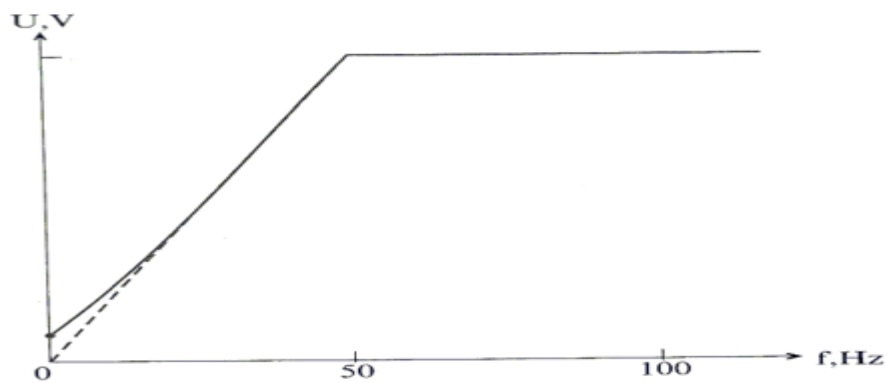
Το πρόσημο (-) δηλώνει ότι, η ροπή ενεργεί προς την κατεύθυνση μείωσης της γωνίας των δύο πεδίων και την ευθυγράμμιση τους.

2.3. Ρυθμιστές Στροφών Ασύγχρονων Τριφασικών Κινητήρων Βραχυκυκλωμένου Δρομέα

Η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα στις ονομαστικές συνθήκες είναι γνωστή ως βασική ταχύτητα. Μια προσεκτικά σχεδιασμένη συσκευή οδήγησης επαγωγικού κινητήρα με μεταβλητή συχνότητα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευέλικτη. Η ρύθμιση της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα μπορεί να ξεκινά από ένα μικρό εύρος τιμών, και να φτάνει σε τιμές διπλάσιες της βασικής ταχύτητας. Όμως, είναι σημαντικό να καθορίσουμε κάποια όρια για την τάση και την ροπή του κινητήρα κατά τη μεταβολή της ταχύτητάς του, ώστε η λειτουργία του να είναι ασφαλής.



Εικόνα 21: Ρύθμιση της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα με μεταβολή της συχνότητας. Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για ταχύτητες κάτω από την βασική. (Βασική ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm/m)



Εικόνα 22: Χαρακτηριστική ευθεία μεταβολής της τάσης στους ακροδέκτες του κινητήρα όταν μεταβάλλεται η συχνότητα του ρεύματος

Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητες μικρότερες της βασικής, θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στον στάτη του κινητήρα να περιορίζεται, με σκοπό να είναι ασφαλής η λειτουργία του. Η τάση εισόδου θα πρέπει να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της ταχύτητας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται υποβιβασμός της τάσης. Αν δεν ακολουθηθεί αυτή η διαδικασία, ο χάλυβας του στάτη οδηγείται σε κορεσμό και το ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα μπορεί να πάρει

εξαιρετικά μεγάλες τιμές.

Για να γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα του υποβιβασμού της τάσης, ας σημειωθεί ότι ο επαγωγικός κινητήρας είναι βασικά ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Όπως σε κάθε μετασχηματιστή, η μαγνητική ροή στον πυρήνα ενός επαγωγικού κινητήρα, υπολογίζεται από το νόμο του *Faraday*.

Ο νόμος της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday μας λέει ότι, η επαγόμενη ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα ισούται με το αντίθετο του ρυθμού μεταβολής, της διερχόμενης από το κύκλωμα, μαγνητικής ροής.

Αν έχουμε ένα πηνίο με N σπείρες και η ροή που περνά από κάθε σπείρα μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό, τότε η επαγόμενη ΗΕΔ δίνεται από την σχέση:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} N$$

Η παραπάνω σχέση μας δίνει τη μέση τιμή της ΗΕΔ στο χρονικό διάστημα Δt . Μόνο στην περίπτωση που ο ρυθμός $\Delta \Phi / \Delta t$ δεν εξαρτάται από το πόσο μεγάλη είναι η χρονική διάρκεια Δt (δηλαδή αν η σχέση της ροής με τον χρόνο είναι γραμμική), η παραπάνω σχέση μας δίνει και την στιγμιαία τιμή της ΗΕΔ, η οποία προφανώς είναι σταθερή με το χρόνο. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε στην γενική περίπτωση την στιγμιαία τιμή της επαγόμενης ΗΕΔ, τότε το χρονικό διάστημα Δt πρέπει να είναι πολύ μικρό. Το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω

σχέση δηλώνει ότι, αν η ροή αυξάνεται, η επαγόμενη ΗΕΔ έχει θετική τιμή.

Με βάση τα παραπάνω έχουμε :

$$\varphi = \frac{1}{N} \int U(t) \cdot dt \Rightarrow \varphi = \frac{1}{N} \int V_M \cdot \eta \mu \omega t \cdot dt \Rightarrow$$
$$\varphi = \frac{V_M}{\omega \cdot N} \cdot \sigma \upsilon \nu \omega t \quad \Rightarrow \quad \varphi = \frac{V_M}{2\pi f \cdot N} \cdot \sigma \upsilon \nu \omega t$$

Επειδή η συχνότητα f στην παραπάνω σχέση, εμφανίζεται στον παρονομαστή, αν μειωθεί κατά 10% και το πλάτος της τάσης του στάτη παραμείνει σταθερό, η μαγνητική ροή στον πυρήνα του κινητήρα αυξάνεται περίπου κατά 10% και το ρεύμα μαγνήτισης στο εσωτερικό του αυξάνεται επίσης. Στην ακόρεστη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης του κινητήρα η αύξηση του ρεύματος θα είναι και αυτή περίπου ίση με 10%.

Όμως, στην κορεσμένη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης η αύξηση της μαγνητικής ροής κατά 10% απαιτεί πολύ μεγαλύτερη αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης. Οι επαγωγικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται με σκοπό να λειτουργήσουν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης και έτσι η αύξηση της μαγνητικής ροής, που οφείλεται στην μείωση της συχνότητας, προκαλεί σοβαρή αύξηση στο ρεύμα μαγνήτισης.

Στην πράξη, στους οδηγούς AC, η τάση που εφαρμόζεται στο στάτη του

κινητήρα ελαττώνεται σε ποσοστό ανάλογο με τη μείωση της συχνότητας, με σκοπό την αποφυγή εξαιρετικά μεγάλων ρευμάτων μαγνήτισης, κάθε φορά που η συχνότητα μειώνεται κάτω από την ονομαστική τιμή της. Αφού η εφαρμοζόμενη τάση V_m εμφανίζεται στον αριθμητή και η ηλεκτρική συχνότητα f στον παρονομαστή της, τα αποτελέσματα της μεταβολής τους εξουδετερώνονται μεταξύ τους, ώστε το ρεύμα μαγνήτισης να παραμένει ανεπηρέαστο.

Όταν το πλάτος της τάσης που εφαρμόζεται σε έναν επαγωγικό κινητήρα μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα σε ταχύτητες μικρότερες από την βασική, η μαγνητική ροή του κινητήρα παραμένει σχεδόν σταθερή. Έτσι η μέγιστη ροπή που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας παραμένει σχετικά υψηλή.

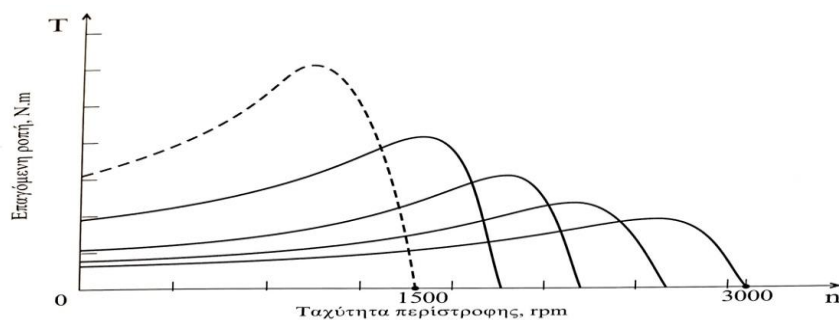
Όμως, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς του κινητήρα θα πρέπει και αυτή να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της συχνότητας, ώστε το κύκλωμα του στάτη να προστατεύεται από υπερθέρμανση.

Η ισχύς με την οποία τροφοδοτείται ένας τριφασικός κινητήρα δίνεται από την σχέση:

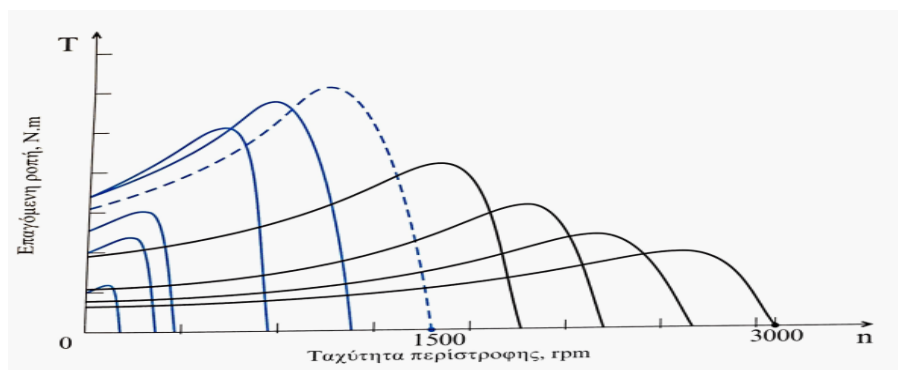
$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Αν η τάση U μειωθεί, θα πρέπει να μειωθεί και η μέγιστη ισχύς P , διαφορετικά το ρεύμα στο εσωτερικό του κινητήρα θα πάρει τόσο μεγάλες τιμές, που ο κινητήρας θα υπερθερμανθεί.

Όταν η συχνότητα το ρεύματος που εφαρμόζεται στον κινητήρα ξεπεράσει την ονομαστική συχνότητα, η τάση στο στάτη θα πρέπει να παραμείνει σταθερή. Αν και κάτω από αυτές τις συνθήκες οι περιορισμοί που αναφέραμε για τον κορεσμό του στάτη επιτρέπουν την αύξηση τάσης πάνω από την ονομαστική τιμή, η τάση συγκρατείται σε αυτή την τιμή με σκοπό την προστασία του κινητήρα.



Εικόνα 23: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας σε έναν επαγωγικό κινητήρα για ταχύτητες πάνω από την βασική, στις οποίες η τάση στο στάτη παραμένει σταθερή



Εικόνα 24: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα, όπου η τάση στο στάτη μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα για ταχύτητες κάτω από την βασική ταχύτητα και παραμένει σταθερή για ταχύτητες πάνω από την βασική

Όσο η ηλεκτρική συχνότητα αυξάνεται πάνω από την συχνότητα που αντιστοιχεί στη βασική ταχύτητα, ο αριθμητής της σχέσης αυτής γίνεται παρονομαστής της σχέσης (α). Όμως, επειδή, ο αριθμητής της σχέσης αυτής για τιμές συχνότητας πάνω από την ονομαστική παραμένει σταθερός, η προκαλούμενη μαγνητική ροή στην μηχανή θα μειώνεται και μαζί της θα μειώνεται η μέγιστη ροπή του κινητήρα.

2.4. Πλεονεκτήματα από την Εφαρμογή Συστημάτων Ρυθμιζόμενης Ταχύτητας

Στην πράξη, τα συστήματα που χρησιμοποιούμε για την ρύθμιση της ταχύτητας των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα, μπορεί να είναι απλά (ρύθμιση ταχύτητας ανεμιστήρων, συμπιεστών, αντλιών κλπ) ή μπορεί να είναι σύνθετα υψηλών αποδόσεων, για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιφερειακά υπολογιστών, σε εργαλειομηχανές, στη ρομποτική κλπ.

Ο μετατροπέας μεταβλητής συχνότητας, που περιβάλλεται ανάμεσα στο δίκτυο και στον επαγωγικό κινητήρα, θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω βασικές απαιτήσεις :

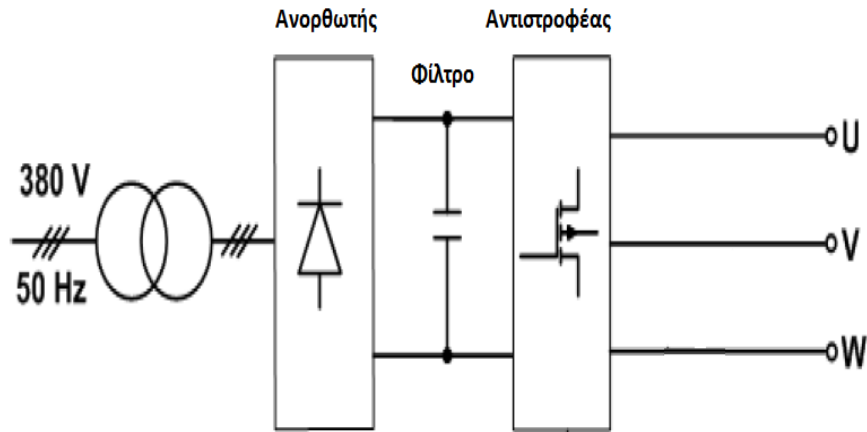
I. Να μπορεί να ρυθμίζει τη συχνότητα του ρεύματος, σύμφωνα με την επιθυμητή ταχύτητα εξόδου.

II. Να μπορεί να ρυθμίζει το πλάτος της τάσης εξόδου, ώστε στην περιοχή σταθερής ροπής, να διατηρείται σταθερή η ροή διακένου.

III. Να μπορεί να παρέχει διαρκώς το ονομαστικό ρεύμα σε κάθε

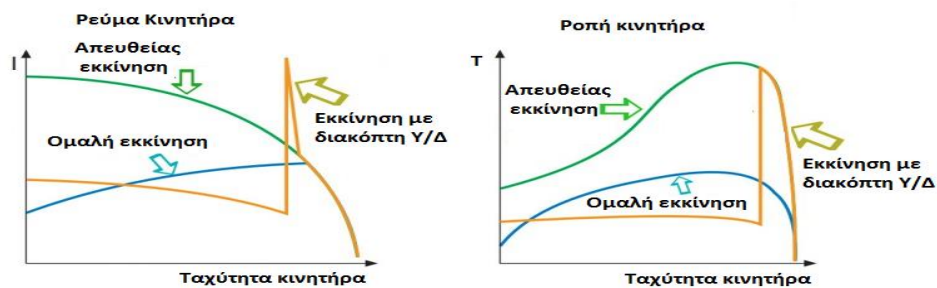
συχνότητα.

Η βασική αρχή του συστήματος διατυπώνεται στην **εικόνα 25**:



Εικόνα 25: Αναπαράσταση σχήματος βασικού συστήματος μετατροπέα μεταβλητή τάσης και συχνότητας

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνεται η διαφορά στο ρεύμα και στη ροπή ενός κινητήρα χρησιμοποιώντας ομαλό εκκίνητη σε σχέση με την απευθείας εκκίνηση και την εκκίνηση χρησιμοποιώντας διακόπτη αστέρα-τριγώνου



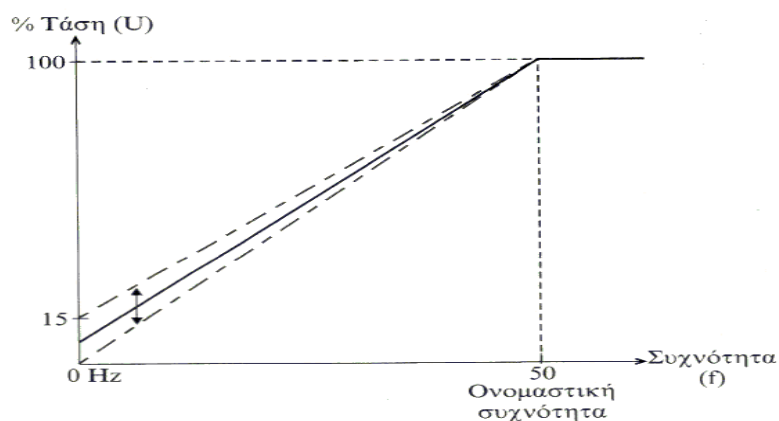
Εικόνα 26: Ροπή και ρεύμα εκκίνησης με χρήση ομαλού εκκίνητη και σύγκριση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους εκκίνησης

2.4.1. Ενίσχυση Ροπής Εκκίνησης

Επειδή οι τύποι των μηχανικών φορτίων που εφαρμόζονται σε έναν επαγωγικό κινητήρα, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, η συσκευή οδήγησης AC, έχει την δυνατότητα να παράγει ποικιλία καμπυλών τάσης-συχνότητας από τις οποίες μπορεί να επιλεγεί η πιο κατάλληλη, με σκοπό η ροπή του κινητήρα να ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη ροπή φορτίου.

Αν δώσουμε παράμετρο στον οδηγό, για υπερβολική ενίσχυση, ο κινητήρας μπορεί να τραβήξει υπερβολικό ρεύμα και να έχουμε πιθανή υπερφόρτωση του οδηγού.

Οι συσκευές οδήγησης (οδηγοί AC) επαγωγικού κινητήρα, διαθέτουν συστήματα προστασίας από υπερφορτίσεις, ισχυρά στιγμιαία ρεύματα (βραχυκυκλώματα), καταστάσεις είτε υπέρτασης είτε υπότασης είτε διακοπής μιας εκ των φάσεων τροφοδοσίας.



Εικόνα 27: Χαρακτηριστική ευθεία ενίσχυσης ροπής

2.4.2. Επιτάχυνση - Επιβράδυνση Κινητήρα

Όταν η ταχύτητα του κινητήρα, θα πρέπει να μεταβληθεί, η συσκευή οδήγησης που τον ελέγχει, θα πρέπει να μεταβάλει τη συχνότητα, ώστε η ταχύτητα να πάρει τη νέα τιμή της.

Ο ρυθμός αύξησης της συχνότητας (επιτάχυνση) ή ο ρυθμός μείωσης (επιβράδυνση), μπορούν να καθοριστούν από τον οδηγό, τοποθετώντας την κατάλληλη παράμετρο.

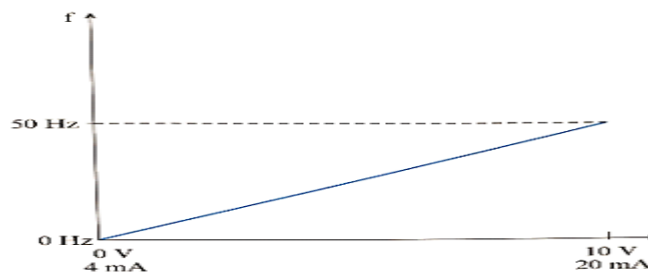
- I. Στην πράξη, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε την πιο αργή επιτάχυνση ή επιβράδυνση που είναι αποδεκτή για την εργασία μας.
- II. Τοποθετώντας στον οδηγό AC μια πολύ γρήγορα επιτάχυνση, μπορεί να προκαλέσουμε υπερφόρτωση. Ο οδηγός, έχει την δυνατότητα να αντικαταστήσει αυτόματα τη γρήγορη επιτάχυνση ή επιβράδυνση, με μια πιο αργή.
- III. Τοποθετώντας στον οδηγό AC την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε να έχουμε αντί της επιβράδυνσης, το ελεύθερο σταμάτημα του κινητήρα.
- IV. Τοποθετώντας στον οδηγό AC την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε να έχουμε επιτάχυνση ή επιβράδυνση με βάση μια προκαθορισμένη καμπύλη μεταβολής (ομαλή επιτάχυνση ή επιβράδυνση).

2.4.3. Έλεγχος Συχνότητας (Έλεγχος Πεδίου Συχνότητας)

Τοποθετώντας μια ελάχιστη και μια μέγιστη συχνότητα με την κατάλληλη παράμετρο, μπορούμε ανάμεσα στα δύο αυτά σημεία, να έχουμε μια γραμμική μεταβολή της συχνότητας.

- *Λειτουργία με μειωμένο φορτίο:* Δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό AC, μπορούμε σε λειτουργία με μειωμένο φορτίο, να έχουμε μείωση του θορύβου και των απωλειών.
- *Ελεγχόμενη εκκίνηση:* Για εφαρμογές με ειδικά φορτία, μπορούμε δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό AC, να έχουμε μια ομαλότερη εκκίνηση (ράμπα εκκίνησης).

Ελεγχόμενο σταμάτημα: Για εφαρμογές με ειδικά φορτία, μπορούμε δίνοντας την κατάλληλη παράμετρο στον οδηγό.

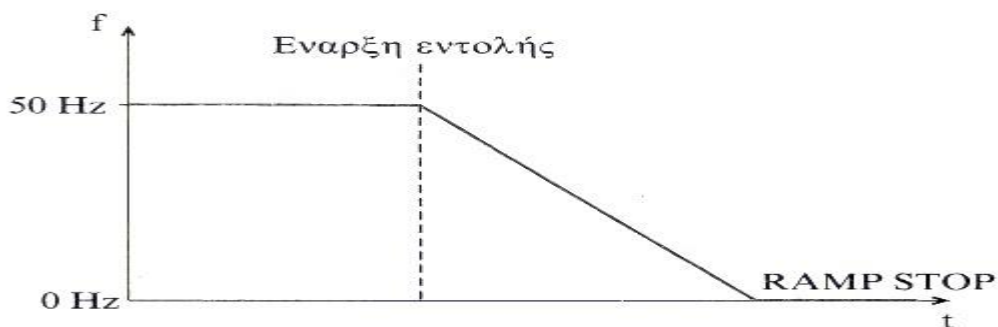


Εικόνα 28: Σημείο ελάχιστης συχνότητας 0 Hz, σημείο μέγιστης συχνότητας 50 Hz

Με κατάλληλη παράμετρο μπορούμε να έχουμε ελεύθερο σταμάτημα ή σταμάτημα (φρενάρισμα) με συνεχές ρεύμα (DC).

2.4.4. Τοποθέτηση Πλάτους Αναπήδησης Περιοχών (Ζώνες Συχνότητας)

Μπορούμε να κρατάμε εκτός περιοχές συχνοτήτων (γύρω από τα σημεία λειτουργίας), για να αποφεύγουμε συντονισμούς των φυσικών μηχανικών συστημάτων.



Εικόνα 29: Ομαλό σταμάτημα (ράμπα)

2.4.5. Τοποθέτηση Μέγιστης Συχνότητας Κινητήρα

Η συχνότητα αυτή μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική συχνότητα του κινητήρα. Παράδειγμα για ονομαστική συχνότητα κινητήρα 50 Hz μπορούμε να έχουμε μέγιστη συχνότητα 75 ή 100 Hz. Στην περίπτωση αυτή η καμπύλη τάσης/συχνότητας μετά τα 50 Hz είναι ευθεία γραμμή.

Μια από τις συνηθισμένες εφαρμογές του οδηγού AC (*Converter Frequency*), είναι ο έλεγχος της πίεσης αντλητικού συγκροτήματος, που να παρέχει σε μας ακριβή και γρήγορα αποτελέσματα.

Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε κατάλληλο αισθητήρα πίεσης.

2.4.6. Ένα παράδειγμα: Συνδεσμολογία Αντλητικού Συγκροτήματος με Χειροκίνητη και Αυτόματη Λειτουργία (Stop-Start)

Με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή, δίνουμε τις αναγκαίες παραμέτρους λειτουργίας στον οδηγό D1.

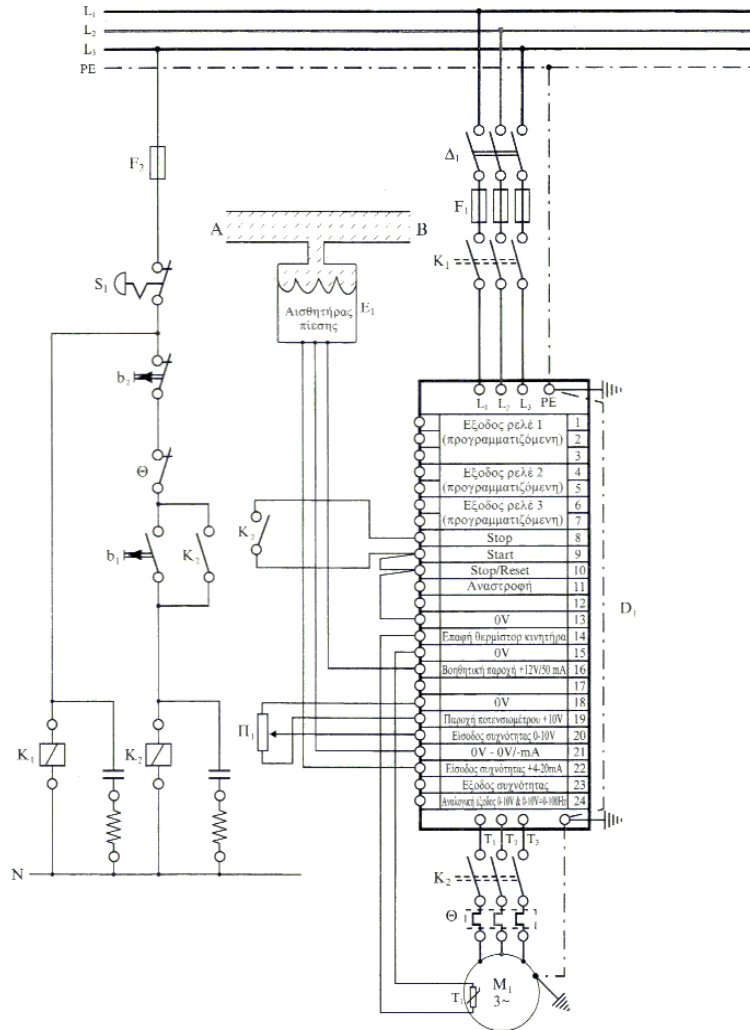
Ρυθμίζουμε το ποτενσιόμετρο Π1 στην επιθυμητή πίεση λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος.

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.



- Δ_1 = Διακόπτης φορτίου.
- K_1 = Ρελέ ισχύος εισόδου.
- Θ_1 = Ρελέ θερμικής προστασίας.
- T_1 = Θερμίστορ κινητήρα.
- M_1 = Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.
- E_1 = Αισθητήρας πίεσης.
- F_2 = Ασφάλεια βοηθητικού κυκλώματος.
- b_2 = Μπουτόν stop.
- F_1 = Ασφάλειες τήξης.
- K_2 = Ρελέ ισχύος εξόδου.
- D_1 = Οδηγός AC.
- Π_1 = Ποτενσιόμετρο ρύθμισης περιοχών πίεσης.
- S_1 = Μπουτόν έκτακτης ανάγκης.
- b_1 = Μπουτόν start.

Εικόνα 30: Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (Stop-Start)

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.

- 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.

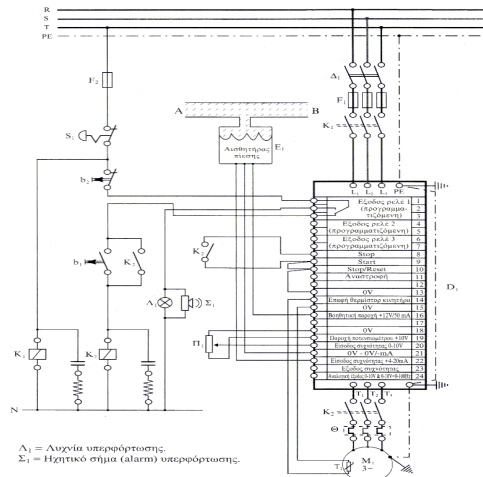
Τι θα πρέπει να προσέξουμε εδώ :

- 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...

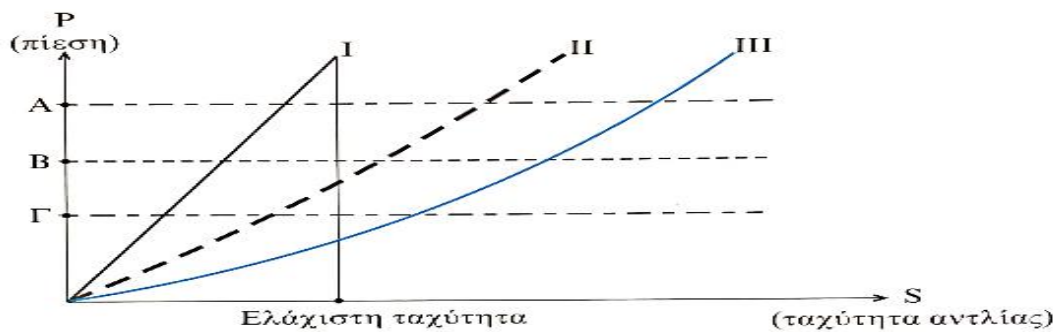
2.4.7. Συνδεσμολογία Αντλητικού Συγκροτήματος με Χειροκίνητη και Αυτόματη Λειτουργία (Stop-Start) και Εντολή Έναρξης και Παύσης, Πριν και Μετά του Επιθυμητού Σημείου

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.



Εικόνα 31: Συνδεσμολογία αντλητικού συγκροτήματος με χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία (Stop-Start) και εντολή έναρξης και παύσης, πριν και μετά του επιθυμητού σημείου

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



Εικόνα 32: 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).

2.4.8. Συνδεσμολογία Οδηγού A/C 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.

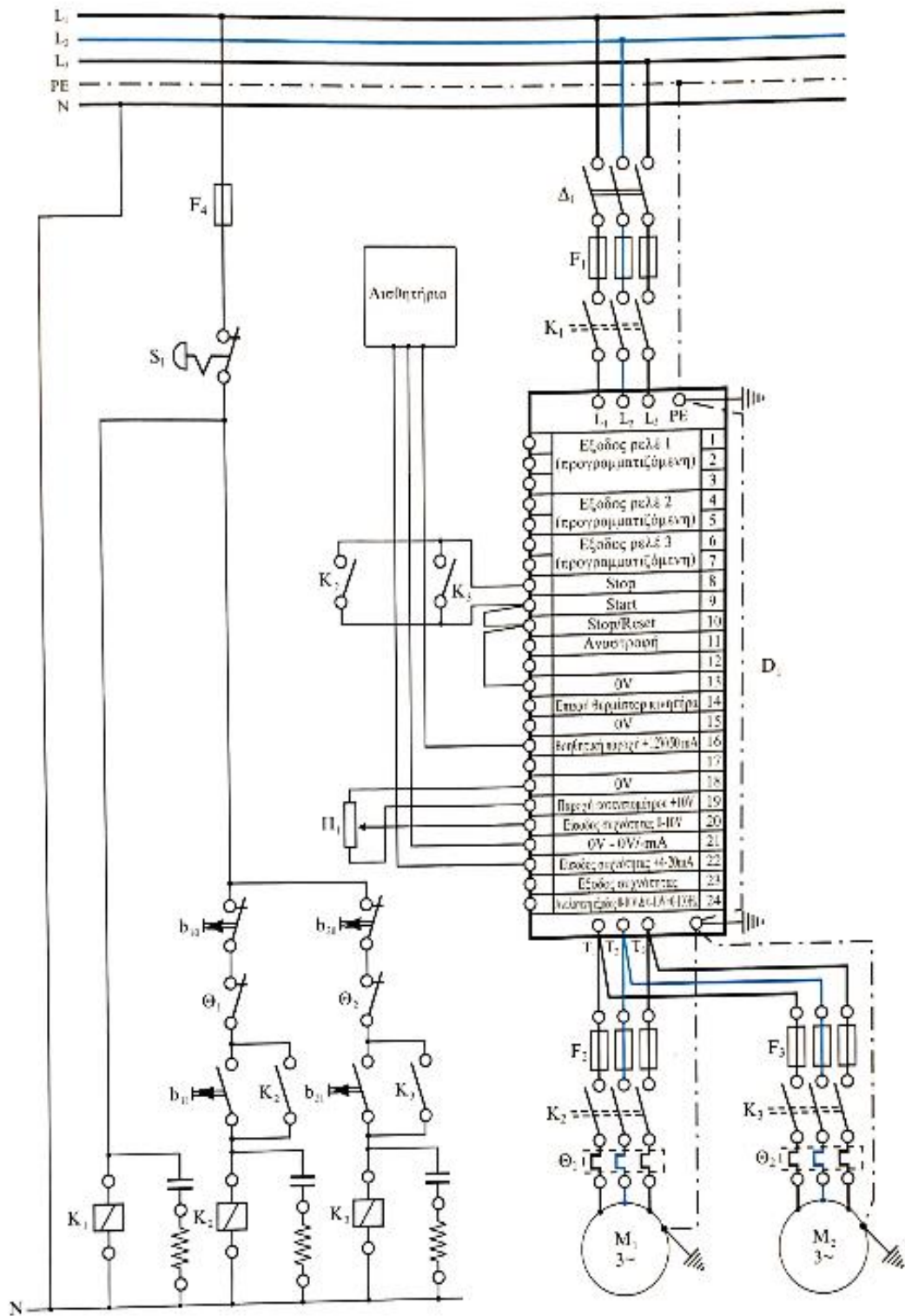
I. *Σύνδεση Κινητήρα M1*: Πατώντας το μπουτόν b11 (start) οπλίζει το ρελέ K2 και μένει ενεργοποιημένο από την ανοιχτή επαφή αυτοσυγκράτησης K2 που είναι παράλληλα συνδεδεμένη με αυτό. Οπλίζοντας το ρελέ K2, κλείνει η δεύτερη ανοιχτή επαφή του ρελέ K2

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.



Εικόνα 33: Συνδεσμολογία οδηγού AC για διαδοχική και ταυτόχρονη λειτουργία δύο κινητήρων

2.4.9. Λειτουργία Οδηγού AC (Inverter) μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (PC)

Υπάρχουν μοντέλα οδηγών AC, που είναι εξοπλισμένα με ειδικό συνδέτη (*Interface*) για να μπορούν να επικοινωνούν μέσω ειδικού προγράμματος με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στην περίπτωση αυτή έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθούμε στην οθόνη του PC τη λειτουργία του κινητήρα, τη θερμοκρασία του, το ρεύμα που απορροφά κλπ. Μπορούμε μέσω πληκτρολογίου να δίνουμε αριθμητικές τιμές (παράμετροι) για τις περιοχές λειτουργίας του συστήματος αντί των προσαρμογών με το *ποτενσιόμετρο*.

Στους οδηγούς AC με δυνατότητα σύνδεσης με PC μπορούμε να αποθηκεύουμε στη μνήμη τα σετ των παραμέτρων και να τα επαναφέρουμε για χρήση σε άλλες περιοχές λειτουργίας και σε άλλες εφαρμογές.

Όταν έχουμε σύνδεση δύο κινητήρων στον ίδιο οδηγό AC (διαδοχική εκκίνηση), έχουμε τη δυνατότητα μέσω του PC να δίνουμε διαφορετικά στοιχεία (παραμέτρους) για κάθε κινητήρα.

Τέλος εκτός από την παρακολούθηση των βασικών λειτουργιών του κινητήρα έχουμε την δυνατότητα εκκίνησης και σταματήματος μέσω του πληκτρολογίου του PC.

Το κοστολόγιο για τις περιπτώσεις σύνδεσης και ελέγχου οδηγού AC και κινητήρων μέσω PC είναι αρκετά μεγαλύτερο από εκείνο της σύνδεσης μέσω ποτενσιόμετρου ή τοπικού πληκτρολογίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΟΜΑΛΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ (SOFT STARTER)

3.1. Γενικά

Τα ηλεκτρονικά ισχύος (Ηλεκτρονικοί Ομαλοί Εκκινητές και Ρυθμιστές Στροφών) αρχίζουν να υιοθετούνται όλο και περισσότερο σε διάφορους τομείς της βιομηχανικής, της βιοτεχνικής και της αγροτικής παραγωγής.

Οι ηλεκτρονικοί ομαλοί εκκινητές 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 εκκινητή.
- 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.

3.2. 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

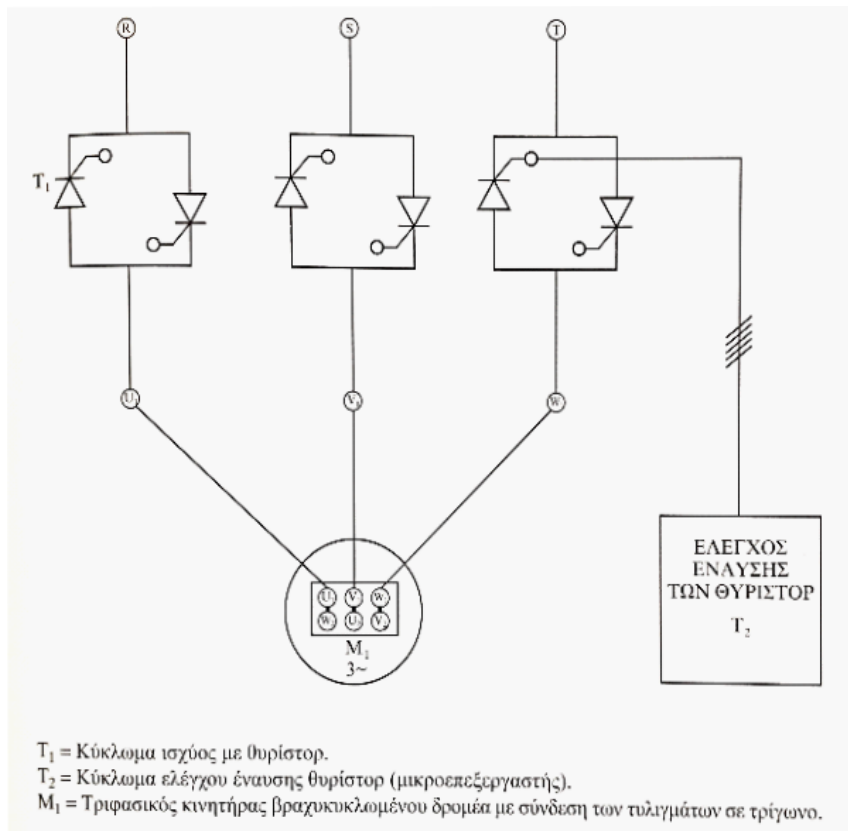
- I. Από το κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ
- II. Από το κύκλωμα ελέγχου με θυρίστορ

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 θυριστόρ 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.



Εικόνα 34: T_1 = Κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ, T_2 = Κύκλωμα ελέγχου έναυσης θυρίστορ (μικροεπεξεργαστής), M_1 = Τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα με σύνδεση των τυλιγμάτων σε τρίγωνο

Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει τη γωνία ανάμεσα στη τάση του δικτύου και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα, δηλαδή ελέγχει το *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.

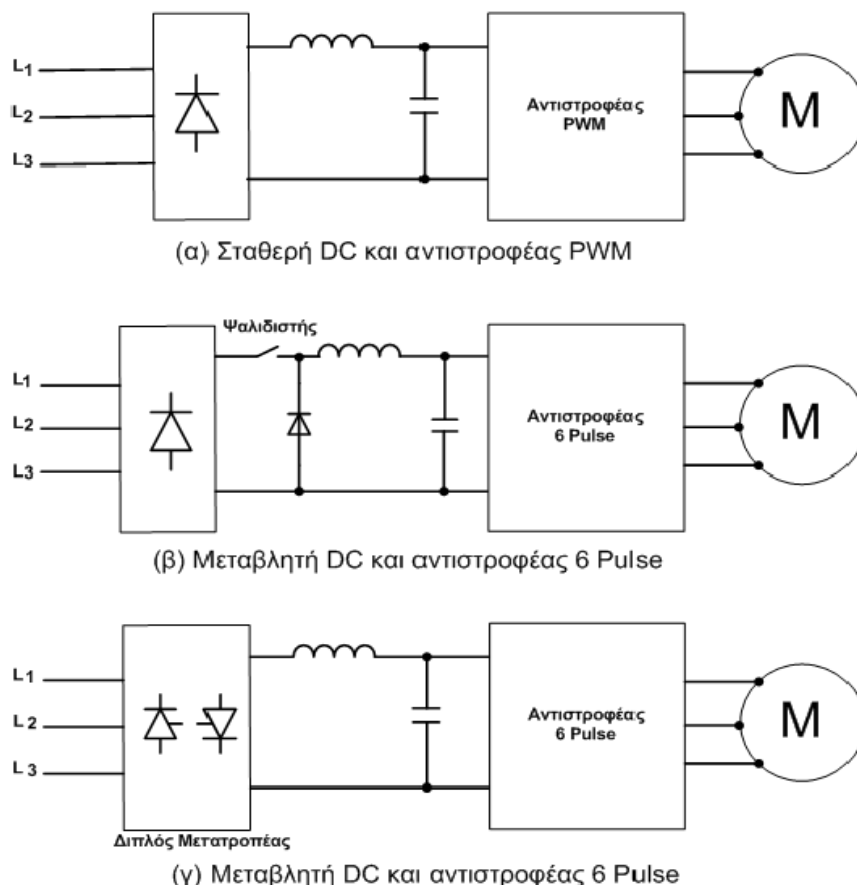
Από άποψη κυκλωμάτων ισχύος, τρεις δυνατές κυκλωματικές τοπολογίες μπορεί κανείς να συναντήσει. Στην **εικόνα 35α** φαίνεται ο ρυθμιστής στροφών με την αποκλειστική σχεδόν χρήση στα κινητήρια συστήματα μικρής και μεσαίας ισχύος. Η είσοδος μπορεί να είναι 1Φ ή 3Φ δίκτυο (σταθερή συχνότητα και τάση) και η έξοδος 3Φ (μεταβλητή συχνότητα και τάση). Η συνεχής τάση στην είσοδο του αντιστροφέα τάσης παραμένει σταθερή. Ελέγχοντας τον 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 οποίος ελέγχει μόνο τη συχνότητα. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος ελέγχου του είναι γνωστή σαν

Μέθοδος 6 Παλμών (Six Pulse) ή *Τετραγωνικών Παλμών (Square Wave)* και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης της

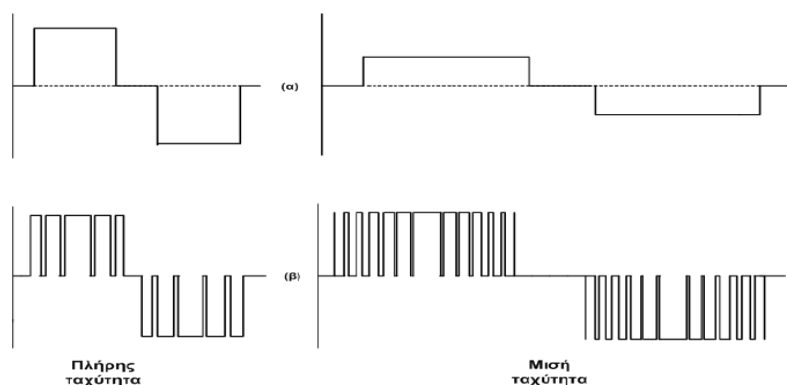
τάσης κατά την αντιστροφή της (από DC σε AC). Ο ρυθμιστής στροφών αυτού του τύπου έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή.

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.



Εικόνα 35: Διάφοροι τύποι ρυθμιστών στροφών επαγωγικών κινητήρων

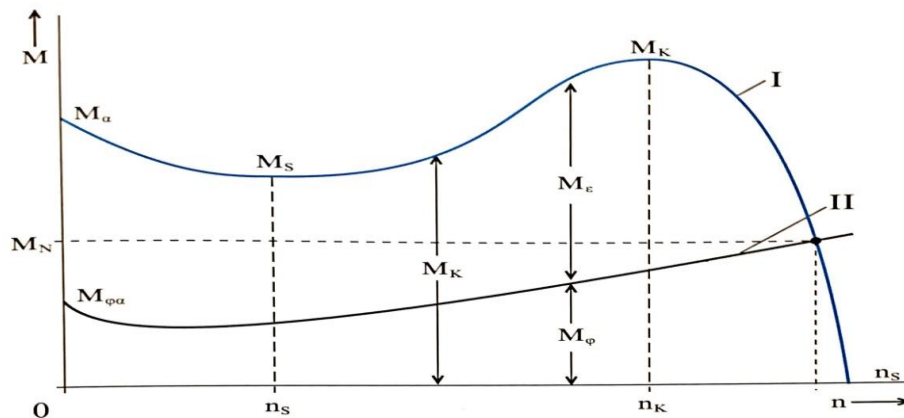
Αναφορικά με τους ρυθμιστές στροφών, που προαναφέραμε, είναι πολύ χρήσιμο να υπενθυμίσουμε τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η σταθερή σχέση τάσης προς συχνότητα (V/f). Στην **εικόνα 36**, παρακάτω, φαίνονται οι δύο διαφορετικές μέθοδοι ελέγχου και ειδικότερα το πώς η βασική τάση 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 είναι η συχνότητα λειτουργίας των ημιαγωγικών διακοπών (*Διακοπτική Συχνότητα*), σε σχέση με τη συχνότητα εξόδου. Στους μεν αντιστροφείς Six 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.



Εικόνα 36: Τύποι αντιστροφέων τάσης. α) 6 παλμών. β) PWM

3.3. Συμβατικές Μέθοδοι Εκκίνησης

Η συμπεριφορά του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα (χαρακτηριστική καμπύλη ροπής), στην απευθείας εκκίνηση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στο ίδιο σχήμα έχουμε και τη χαρακτηριστική ροπής του φορτίου.

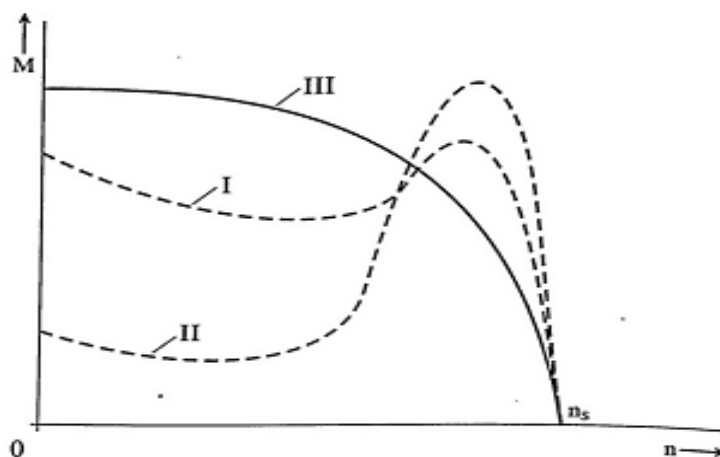


Εικόνα 37:

I	Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής κινητήρα στην απευθείας κίνηση	M_ϵ	ροπή επιτάχυνσης κινητήρα
II	Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής φορτίου	M_ϕ	Ροπή Φορτίου
M	Ροπή	M_κ	Κρίσιμο Σημείο Ροπής
M_α	Αρχική Ροπή Κίνησης	n	Στροφές
M_N	Ονομαστική Ροπή	n_s	Στροφές που έχουμε

	Κινητήρα		Βύθιση Ροπής
$M_{φα}$	Αρχική Ροπή Φορτίου	n_k	Στροφές που έχουμε το κρίσιμο σημείο ροπής
M_k	Ροπή Κινητήρα	n_N	Ονομαστικές στροφές κινητήρα
M_s	Σημείο Βύθισης Ροπής	n_s	Σύγχρονος αριθμός στροφών

Χρησιμοποιώντας ειδικούς τύπους ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων (κινητήρας με δρομέα υψηλής αντίστασης, κινητήρας με διπλά αυλάκια), μπορούμε να έχουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 38: I= Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής κανονικού κινητήρα, II= Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής κινητήρα με διπλά αυλάκια στο δρομέα, III= Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής κινητήρα με δρομέα υψηλής αντίστασης

Η απευθείας εκκίνηση στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, δημιουργεί προβλήματα στα δίκτυα τροφοδοσίας (βύθιση τάσης).

Η χρήση διακόπτη αστέρα-τρίγωνου, μειώνει αρκετά τη ροπή εκκίνησης (περίπου τρεις φορές), με αποτέλεσμα στις περιπτώσεις που το φορτίο απαιτεί μεγάλη ροπή κατά την εκκίνηση, να έχουμε πρόβλημα ομαλής εκκίνησης και επιτάχυνσης του φορτίου.

3.4. Εκκίνηση με Ομαλό Ηλεκτρονικό Εκκινητή (Soft Starter)

Στην εκκίνηση με ομαλό ηλεκτρονικό εκκινητή, έχουμε την δυνατότητα, να δώσουμε στο μηχανισμό περιστροφής, εκείνη τη ροπή στρέψης, που είναι απαραίτητη για την περιστροφή του φορτίου και στην συνέχεια να προσαρμόσουμε την ισχύ του κινητήρα στις απαιτήσεις του φορτίου περιστροφής.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ροπή εκκίνησης καθώς και το ρεύμα εκκίνησης σε έναν ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα, ανάλογα με τη μέθοδο εκκίνησης που θα ακολουθήσουμε.

Πίνακας 1: Ροπή εκκίνησης καθώς και ρεύμα εκκίνησης σε έναν ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα, ανάλογα με τη μέθοδο εκκίνησης που θα ακολουθήσουμε.

α/α	Μέθοδος Εκκίνησης	Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου	Εκκίνηση με αντιστάσεις δύο στάτη	Εκκίνηση αυτομετασχηματιστή	Εκκίνηση με Soft Starter	Απευθείας Εκκίνηση
1	Ροπή Εκκίνησης Κινητήρα	0.5-0.9 MN	0.5-0.75 MN	0.4-0.85 MN	0.06-2.8 MN	1.5-2.8 MN
2	Ρεύμα Εκκίνησης Κινητήρα	1.8-2.5 IN	1.5-6 IN	1.6-4 IN	1.5-6 IN	4-8 IN
3	Αριθμός αγωγών από πίνακα προς κιβώτιο ακροδεκτών κινητήρα	6	3	3	3	3

3.4.1. Λειτουργίες του Ομαλού Εκκινήτη (Soft Starter)

Ο Soft Starter περιλαμβάνει τον μικρο-επεξεργαστή για τον έλεγχο των θυρίστορ των τριών φάσεων τροφοδοσίας του ασύγχρονου κινητήρα και της βασικής τάσης τροφοδοσίας, ώστε να μας παρέχει :

- I. Ομαλή εκκίνηση και σταμάτημα του κινητήρα (*Soft Starting - Soft Stopping*)
- II. Άριστο ομαλό σταμάτημα (*Pump Stop*)
- III. Φρενάρισμα με συνεχές ρεύμα (*DC Breaking*)
- IV. Εξοικονόμηση ενέργειας στις διακυμάνσεις του φορτίου (*Energy Saving*)

Κάθε μία από τις τρεις φάσεις τροφοδοσίας (L1,L2,L3), ελέγχεται από ένα συνδυασμό θυρίστορ για να έχουμε μια ολοκληρωμένη μεταβολή της τάσης.

Όπως γνωρίζουμε η ροπή του κινητήρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης που εφαρμόζουμε στους ακροδέκτες του.

Το αρχικό ρεύμα εκκίνησης (και κατ' επέκταση και η ροπή εκκίνησης) περιορίζεται ελέγχοντας αποτελεσματικά την τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του κινητήρα.

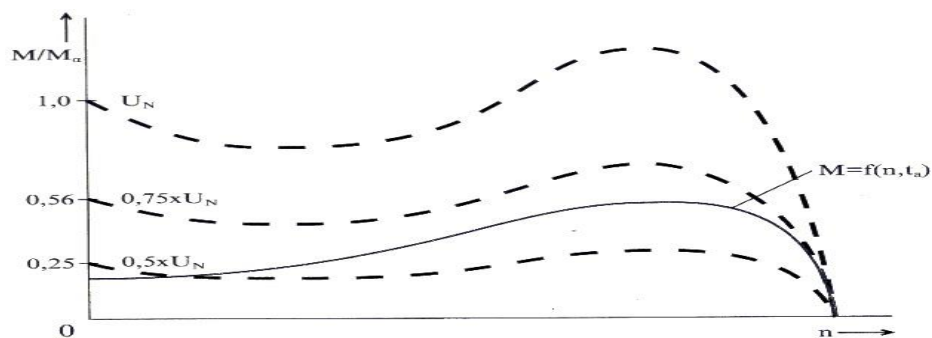
Με τον ομαλό ηλεκτρονικό εκκινήτη επεμβαίνουμε στην τάση τροφοδοσίας του κινητήρα διατηρώντας τη συχνότητα του ρεύματος σε σταθερή τιμή (ονομαστική τιμή συχνότητας δικτύου).

Όταν ο κινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται τα θυρίστορ εργάζονται με

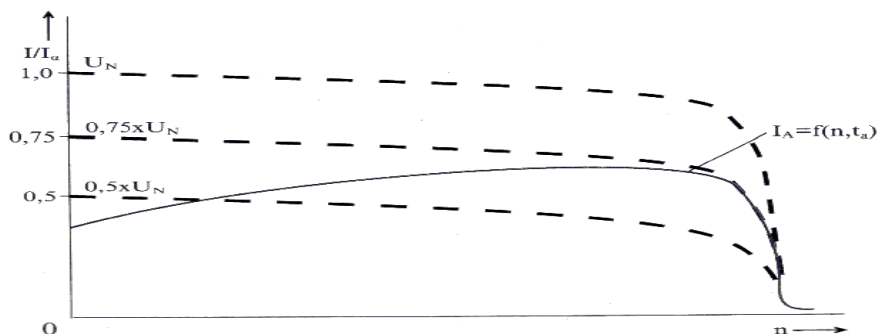
έλεγχο της γωνίας έναυσης από τον μικρο-επεξεργαστή.

Αν σταματήσουμε τη λειτουργία του κινητήρα, οι εντολές έναυσης των θυρίστορ, διακόπτονται με τέτοιο τρόπο που να μην δημιουργούνται σπινθήρες ρεύματος.

Αν ξεκινήσουμε τον κινητήρα με μία σταθερή τιμή της τάσης σε ποσοστό πάνω στην ονομαστική τάση λειτουργίας τους κινητήρα, θα έχουμε τις παρακάτω χαρακτηριστικές ροπής, στροφών του κινητήρα και ρεύματος, στροφών του κινητήρα.



Εικόνα 39:Χαρακτηριστικές ροπής-στροφών



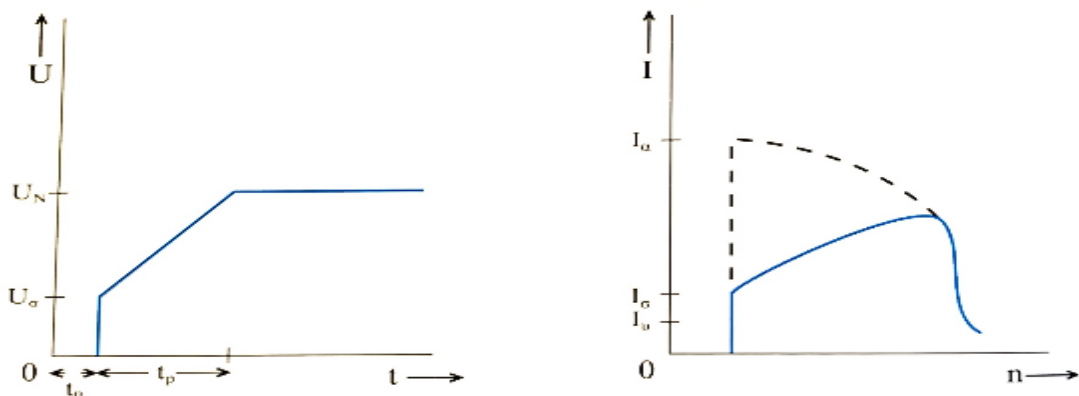
Εικόνα 40:Χαρακτηριστικές ρεύματος-στροφών

3.4.2. Ομαλή Εκκίνηση (Soft Starting)

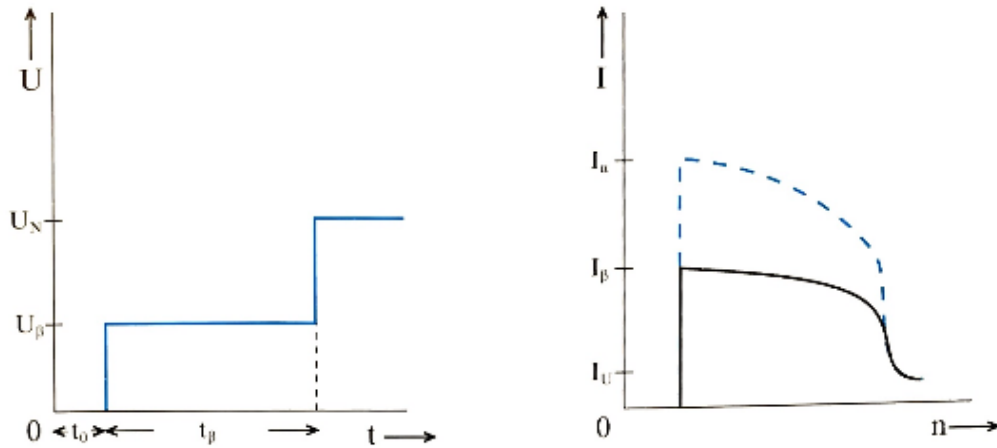
Στους ομαλούς ηλεκτρονικούς εκκινητές η αρχική τιμή της τάσης μπορεί να είναι ίση περίπου με το 20% της ονομαστικής τάσης λειτουργίας του κινητήρα και να καταλήγει στο 100% της ονομαστικής τάσης τιμής μέσα σε ορισμένο χρόνο (ρυθμιζόμενο) που συνήθως κυμαίνεται από 1 έως 180 sec (*Ramp Time*).

Ο *Soft Starter* ελέγχει συνεχώς την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Αν ο κινητήρας αυξήσει την ταχύτητά του πριν περάσει ο χρόνος που ρυθμίσαμε (*Ramp Time*), η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα αυξάνει αμέσως στο 100% της ονομαστικής τιμής.

Κατά την χρονική διάρκεια t_p (χρόνος ράμπας), η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα μεταβάλλεται (τάση ράμπας) από την αρχική τιμή U_σ στην ονομαστική τιμή U_N .



Εικόνα 41: Συμπεριφορά της τάσης του ρεύματος κινητήρα κατά τη διάρκεια εκκίνησης, με ομαλό εκκινητή, με τάση ράμπας



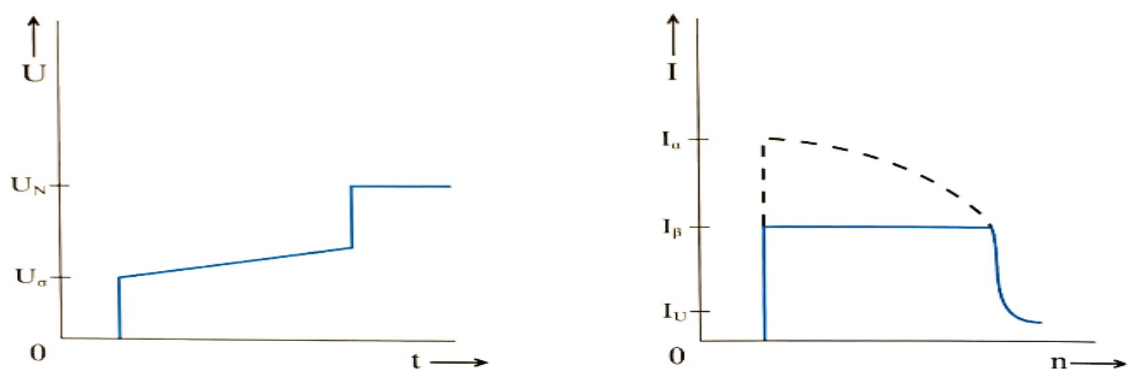
Εικόνα 42: Συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος του κινητήρα, κατά τη διάρκεια εκκίνησης με Soft Starter με περιορισμένη (μειωμένη) τάση

Το ρεύμα του κινητήρα τη στιγμή εκκίνησης (όταν στους ακροδέκτες του εφαρμόζεται η τάση U_σ) είναι I_σ . Το ρεύμα αυτό που μας δείχνει το δεύτερο σχήμα, αυξάνει κατά τη διάρκεια του χρόνου ράμπας t_r και τη στιγμή που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του κινητήρα η ονομαστική τιμή της τάσης UN (τέλος χρόνου ράμπας), το ρεύμα αρχίζει και μειώνεται και παίρνει ονομαστική τιμή I_U (Υπολογισμένο Ρεύμα Κινητήρα).

Στην πράξη ο Soft Starter μπορεί να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες απαιτήσεις του φορτίου και να μας δώσει κατά την διάρκεια εκκίνησης, μεταβολές της τάσης και του ρεύματος του κινητήρα, που να ανταποκρίνονται σε αυτές τις απαιτήσεις. Κατά την χρονική διάρκεια t_β (Ορισμένος Χρόνος), η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα έχει τιμή μειωμένης τιμής U_β . Η τάση αυτή κατά τη χρονική διάρκεια t_β παραμένει σταθερή. Μετά το πέρας του χρόνου t_β η τάση παίρνει την

ονομαστική τιμή UN .

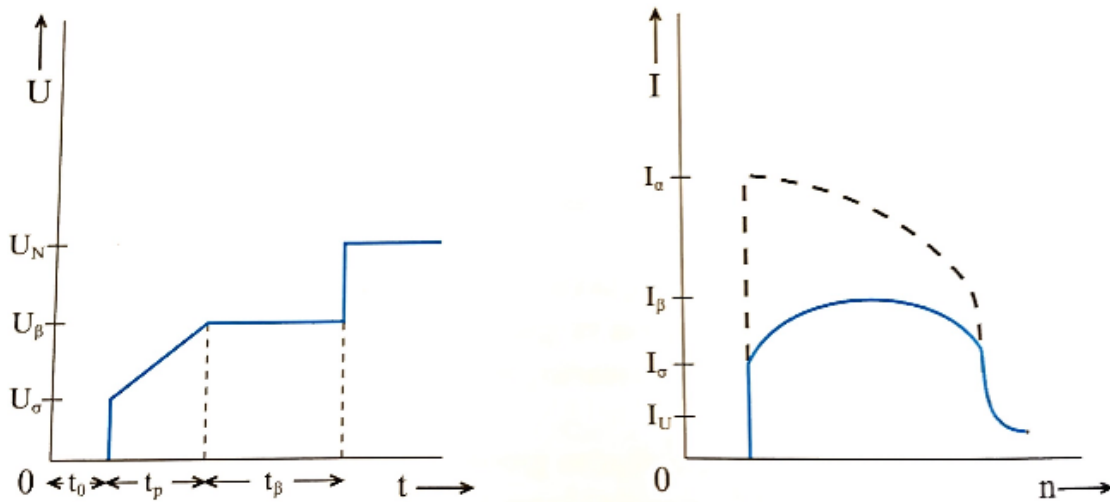
Το ρεύμα του κινητήρα τη στιγμή εκκίνησης έχει τιμή $I\beta$, και κατά τη χρονική διάρκεια $t\beta$, μειώνεται συνεχώς. Τη στιγμή που στους ακροδέκτες του κινητήρα εφαρμόζεται η ονομαστική τιμή της τάσης UN (τέλος χρόνου $t\beta$), το ρεύμα μειώνεται ακόμα περισσότερο και παίρνει την ονομαστική τιμή I_U . Όταν θέλουμε κατά τη διάρκεια της εκκίνησης να έχουμε ένα περιορισμένο (περιορισμένης τιμής) ρεύμα, σταθερό όμως για τη χρονική διάρκεια $t\rho$, θα πρέπει να δώσουμε τις κατάλληλες εντολές στο Soft Starter, για να έχουμε τις μεταβολές που φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί. Στην περίπτωση αυτή, για ένα ορισμένο χρόνο $t\rho$, η τάση από την αρχική τιμή $U\sigma$, μέχρι την ονομαστική τιμή UN , μεταβάλλεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η τιμή του ρεύματος $I\beta$ (περιορισμένο ρεύμα εκκίνησης) να παραμένει σταθερή. Τη στιγμή που η τάση παίρνει την τιμή UN , το ρεύμα μειώνεται απότομα και παίρνει την τιμή I_U (Ονομαστικό ή Υπολογισμένο Ρεύμα Κινητήρα).



Εικόνα 43: Συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος του κινητήρα, κατά τη διάρκεια εκκίνησης με Soft Starter με περιορισμένο (μειωμένο) ρεύμα

Για να έχουμε κατά τη διάρκεια της εκκίνησης τη μεταβολή του ρεύματος του κινητήρα, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, θα πρέπει να δώσουμε εντολές στον Soft Starter για τάση ράμπας και περιορισμό τάσης.

Στην περίπτωση αυτή, κατά την χρονική διάρκεια t_p (χρόνος ράμπας), η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα μεταβάλλεται (τάση ράμπας) από την αρχική τιμή U_σ στην περιορισμένη τιμή U_β .



Εικόνα 44: Συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος του κινητήρα κατά τη διάρκεια εκκίνησης με Soft Starter με τάση ράμπας και περιορισμό τάσης

Στη συνέχεια και για περιορισμένο χρόνο t_β , η τάση U_β παραμένει σταθερή. Μετά το τέλος του χρόνου t_β η τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα παίρνει την ονομαστική τιμή U_N .

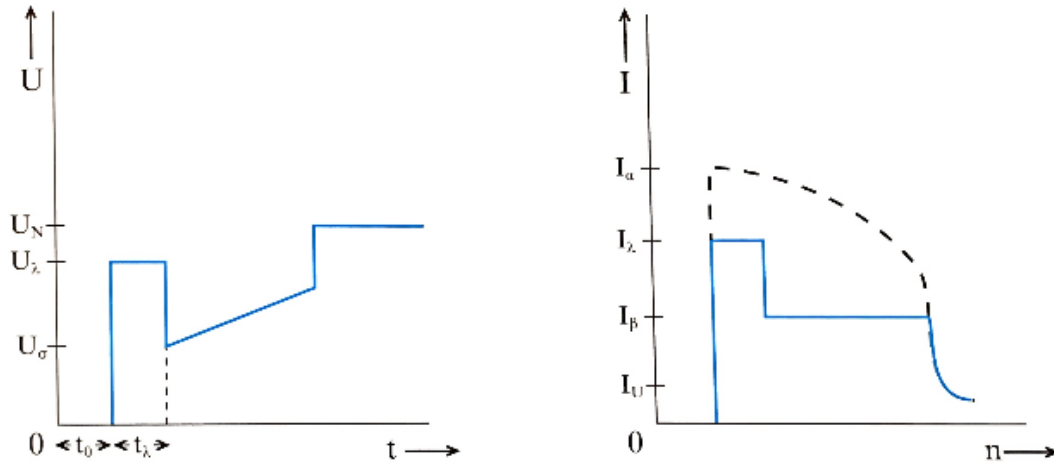
Το ρεύμα του κινητήρα τη στιγμή εκκίνησης έχει τιμή $I\sigma$ και κατά τη χρονική διάρκεια $t\rho$ (χρόνος ράμπας) αυξάνεται μέχρι τη τιμή $I\beta$ που αντιστοιχεί στο τέλος του χρόνου ράμπας. Στη συνέχεια και για τη χρονική διάρκεια $t\beta$ (περιορισμένος χρόνος), το ρεύμα μειώνεται συνεχώς μέχρι τη στιγμή που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του κινητήρα η τάση UN . Τη στιγμή αυτή το ρεύμα μειώνεται απότομα και παίρνει την τιμή IU (Ονομαστικό ή Υπολογισμένο Ρεύμα Κινητήρα).

Αν σε έναν κινητήρα χρειαζόμαστε απότομο ξεκίνημα (παλμό εκκίνησης), μπορούμε, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί, στην αρχή να έχουμε μία απότομα τάση (υψηλό παλμό τάσης) και επομένως και ένα απότομο ρεύμα (υψηλό παλμό ρεύματος), και κατ' επέκταση και μια υψηλή ροπή εκκίνησης. Στη συνέχεια η τάση θα ελέγχεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το ρεύμα να παραμένει σταθερό, μέχρι τη στιγμή που ο κινητήρας θα αυξήσει την ταχύτητά του, η τάση του κινητήρα θα γίνει ίση με την ονομαστική και το ρεύμα του κινητήρα θα πάρει την τιμή IU .

Η λειτουργία με περιορισμό τάσης και αντίστοιχο περιορισμό χρόνου μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν Soft Starter μόνο μέσω ενός υπολογιστή PC και με ειδικό πρόγραμμα της κατασκευάστριας εταιρίας.

Σε ορισμένους τύπους Soft Starter, όπως για παράδειγμα ο SIKOSTART 3RW22 της SIEMENS, υπάρχει μια λειτουργία γνωστή ως εκκίνηση κρίσιμης κατάστασης. Αυτή η λειτουργία είναι αναγκαία για την περίπτωση που ο κινητήρας πρέπει να ξεκινήσει ακόμα και αν ένα απλό θυρίστορ ή ένα ζευγάρι θυρίστορ έχει καταστραφεί. Σε μια τέτοια περίπτωση, εκτός της ομαλής εκκίνησης, οι υπόλοιπες λειτουργίες

(εξοικονόμηση ενέργειας, ομαλό σταμάτημα, φρενάρισμα με συνεχές ρεύμα κλπ.) αναστέλλονται.



Εικόνα 45: Συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος του κινητήρα σε εκκίνηση κρίσιμης κατάστασης

Επεξήγηση συμβόλων:

I	= Ρεύμα
I_α	= Ρεύμα εκκίνησης σε απευθείας εκκίνηση
I_λ	= Ρεύμα εκκίνησης (υψηλός παλμός ρεύματος)
I_U	= Ονομαστικό ή υπολογισμένο ρεύμα κινητήρα
I_β	= Περιορισμένο ρεύμα
I_σ	= Αρχικό ρεύμα με τάση ράμπας
U	= Τάση
U_β	= Περιορισμένη τάση

U_N	= Ονομαστική τάση
U_σ	= Αρχική τάση ράμπας
U_λ	= Τάση εκκίνησης (υψηλός παλμός τάσης)
t_0	= Χρόνος καθυστέρησης
t	= Περιορισμένος χρόνος
t_λ	= Διάρκεια αρχικής εκκίνησης (υψηλού παλμού)
t_p	= Χρόνος ράμπας
n	= Ταχύτητα περιστροφής κινητήρα

Οι λειτουργίες σε ομαλό σταμάτημα, σταμάτημα αντλίας, φρενάρισμα με συνεχές ρεύμα, εκκίνηση με ώθηση (παλμό), εξοικονόμηση ενέργειας και έκτακτης ανάγκης, μπορούν να προγραμματιστούν με κουμπιά ή με PC μέσω ειδικού προγράμματος.

Οι περιοχές ρύθμισης για τις τάσεις, τα ρεύματα και τους χρόνους ράμπας προσαρμόζονται με τη βοήθεια ποτενσιόμετρων ή με PC μέσω ειδικού προγράμματος.

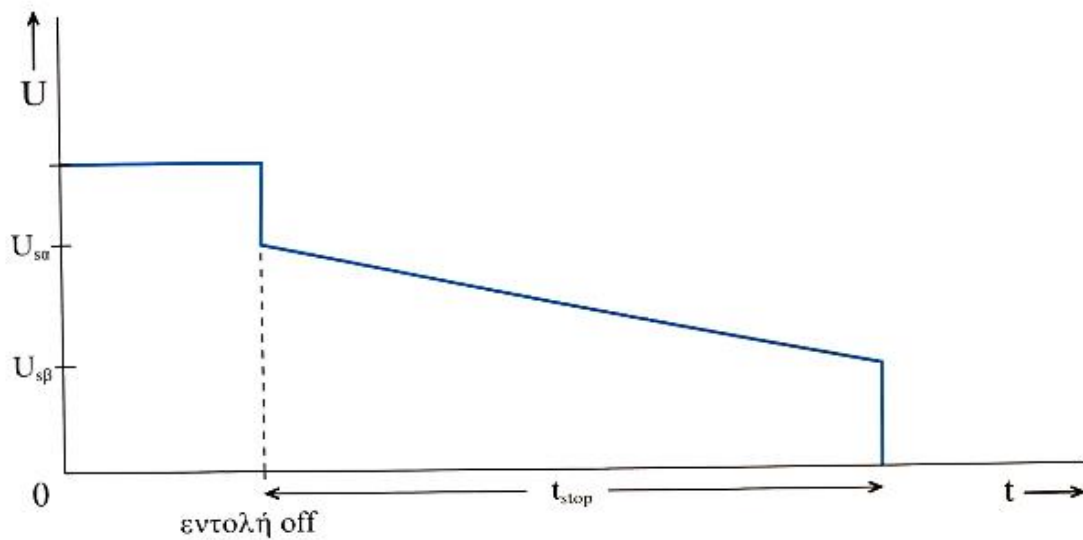
3.4.3. Σταμάτημα Κινητήρα με Ελεύθερο Ρολάρισμα (Free Coasting)

Για να μπορεί ένας κινητήρας, που συνδέεται μέσω ενός Soft Starter, να σταματάει με ελεύθερο ρολάρισμα, θα πρέπει να δώσουμε την αντίστοιχη εντολή στον μικροεπεξεργαστή του εκκινητή.

Στην πράξη, ο χρόνος που διαρκεί ένα σταμάτημα με ελεύθερο ρολάρισμα, εξαρτάται από την αδράνεια και τις τριβές του συστήματος.

3.4.4. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή για Ομαλό Σταμάτημα (Soft Stop)

Υπάρχουν περιπτώσεις που το ελεύθερο σταμάτημα δημιουργεί προβλήματα (αντλίες, μεταφορικές ταινίες, κυλιόμενες κλίμακες, αναβατήρες, γερανοί κλπ.). Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει με την εντολή Stop, να μην έχουμε διακοπή της τάσης του κινητήρα, αλλά μία σταδιακή μείωση, σε ένα χρονικό διάστημα, που με τη βοήθεια ποτενσιόμετρου, μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 20 sec.



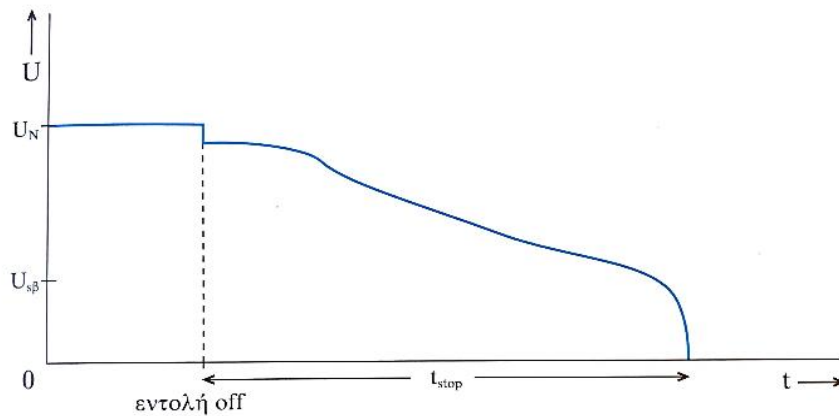
Εικόνα 46: Συμπεριφορά της τάσης στους ακροδέκτες του κινητήρα όταν στον Soft Starter δώσουμε εντολή, ομαλό σταμάτημα

Η αρχική τάση της ράμπας σταματήματος ($U_{s\alpha}$) είναι περίπου ίση με το 90% της ονομαστικής τιμής της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα (UN). Η τελική τάση της ράμπας σταματήματος ($U_{s\beta}$), είναι περίπου ίση με το 70% της τάσης UN του κινητήρα.

Αν ο Soft Starter είναι συνδεδεμένος μέσω PC, με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος ο χρόνος ράμπας μπορεί να ρυθμιστεί από 1 έως 1000 sec.

Αν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα γίνει διακοπή της τάσης τροφοδοσίας, ο κινητήρας σταματάει με ελεύθερο ρολάρισμα.

Αν κατά τη διάρκεια σταματήματος, με εντολή Soft Starter, δώσουμε εντολή ON, η λειτουργία σταματήματος αμέσως διακόπτεται και ο κινητήρας ξαναρχίζει από την αρχή.



Εικόνα 47: Συμπεριφορά της τάσης στους ακροδέκτες του κινητήρα όταν στον Soft-Starter δώσουμε εντολή, σταμάτημα (Pump Stop)

Με το συνεχές ρεύμα στο τύλιγμα του στάτη, δημιουργούμε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο. Όταν οι αγωγοί του δρομέα συνεχίζουν μετά την εντολή OFF να περιστρέφονται, δημιουργούνται σε αυτούς επαγωγικά ρεύματα. Εξαιτίας αυτών των ρευμάτων, εμφανίζονται δυνάμεις (δυνάμεις πέδησης), που προκαλούν ροπή στρέψης. Η ροπή αυτή είναι αντίθετη προς την ροπή περιστροφής του κινητήρα, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να ακινητοποιείται.

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να ελέγχουμε κάθε φορά τη ροπή φρεναρίσματος του κινητήρα, στέλνοντας κάθε φορά στα τυλίγματα του στάτη ανάλογο συνεχές ρεύμα.

Στους ομαλούς ηλεκτρονικούς εκκινητές (Soft Starter) ο έλεγχος της ροπής φρεναρίσματος, επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ποτενσιόμετρου (Stop-Time). Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος φρεναρίσματος είναι αντιστρόφως ανάλογος με τη ροπή φρεναρίσματος.

3.4.5. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή, Σταμάτημα αντλίας (Pump Stop)

Κατά το σταμάτημα μίας αντλίας με ελεύθερο ρολάρισμα, υπάρχει κίνδυνος, λόγω αδράνειας, να δημιουργηθούν κύματα πίεσης στις σωληνώσεις του δικτύου, γνωστά ως κρουστικά κύματα. Αποτέλεσμα των κρουστικών κυμάτων είναι η δημιουργία μηχανικών προβλημάτων στις εγκαταστάσεις και ειδικότερα στις βαλβίδες αντεπιστροφής.

Τα προβλήματα αυτά μπορούμε να τα αποφύγουμε, αν η τάση στον κινητήρα δε διακοπεί απότομα, μετά την εντολή Stop, αλλά χαμηλώσει μετά από μία χρονική περίοδο, με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε μία ομαλή σταδιακή μετάβαση στο μηδέν.

Για να γίνει αυτό, θα πρέπει ο μικροεπεξεργαστής του ομαλού ηλεκτρονικού εκκινητή (Soft Starter), να παρακολουθεί τα χαρακτηριστικά της ροπής του κινητήρα κατά τη διαδικασία του σταματήματος και να μεταβάλλει την τάση κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε άριστο ομαλό σταμάτημα.

Η διάρκεια αυτού του σταματήματος (Pump Stop), μπορεί να προσαρμοστεί στον επεξεργαστή του Soft Starter με τη βοήθεια του ποτενσιόμετρου (Stop Time) και να διαρκέσει από 5 έως 90 sec.

Αν ο Soft Starter είναι συνδεδεμένος μέσω PC, μπορούμε με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος να τοποθετήσουμε την τελική τάση σταματήματος και το χρόνο σταματήματος. Στην περίπτωση αυτή ο

χρόνος σταματήματος μπορεί να διαρκέσει από 5 έως 200 sec.

Κατά τη διάρκεια σταματήματος με εντολή Pump Stop, το ρεύμα που περνάει μέσα από το Soft Starter, είναι πάνω από τρεις φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα. Επειδή, στη λειτουργία αυτή έχουμε μεγάλη αύξηση των απωλειών θερμότητας και κίνδυνο βλάβης από υπερθέρμανση, θα πρέπει ο Soft Starter, να έχει ειδική προστασία, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που τίθεται σε λειτουργία συχνά.

Αν κατά τη διάρκεια σταματήματος με εντολή Pump Stop δώσουμε εντολή ON, η λειτουργία σταματήματος αμέσως διακόπτεται και ο κινητήρας ξαναρχίζει από την αρχή.

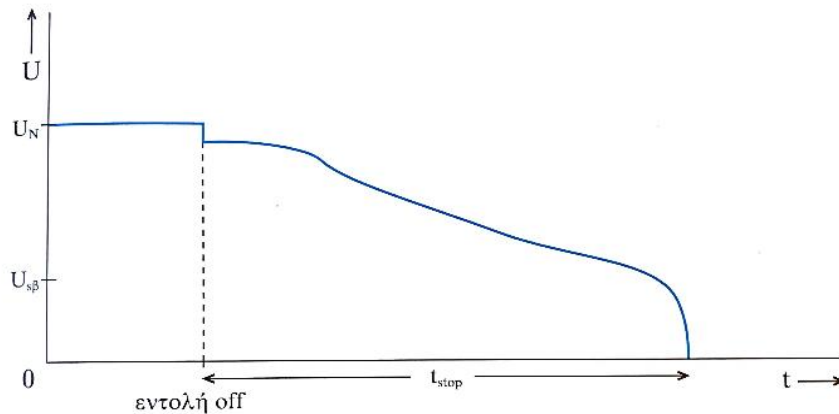
3.4.6. Σταμάτημα Κινητήρα με Εντολή, Φρενάρισμα με Συνεχές Ρεύμα (DC Braking)

Υπάρχουν μηχανές, όπως τα κυκλικά πριόνια, που χρειάζονται ένα μεγάλο χρονικό διάστημα για να ακινητοποιηθούν,

Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το φρενάρισμα με συνεχές ρεύμα για να ακινητοποιήσουμε τη μηχανή, σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα.

Το φρενάρισμα επιτυγχάνεται, στέλνοντας ένα συγκεκριμένο συνεχές ρεύμα στο τύλιγμα του στάτη, του τριφασικού κινητήρα

βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Εικόνα 47: Συμπεριφορά της τάσης στους ακροδέκτες του κινητήρα όταν στον Soft-Starter δώσουμε εντολή, σταμάτημα (Pump Stop)

Με το συνεχές ρεύμα στο τυλίγμα του στάτη, δημιουργούμε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο. Όταν οι αγωγοί του δρομέα συνεχίζουν μετά την εντολή OFF να περιστρέφονται, δημιουργούνται σε αυτούς επαγωγικά ρεύματα. Εξαιτίας αυτών των ρευμάτων, εμφανίζονται δυνάμεις (δυνάμεις πέδησης), που προκαλούν ροπή στρέψης. Η ροπή αυτή είναι αντίθετη προς την ροπή περιστροφής του κινητήρα, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να ακινητοποιείται.

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να ελέγχουμε κάθε φορά τη ροπή φρεναρίσματος του κινητήρα, στέλνοντας κάθε φορά στα τυλίγματα του στάτη ανάλογο συνεχές ρεύμα.

Στους ομαλούς ηλεκτρονικούς εκκινητές (Soft-Starter) ο έλεγχος της ροπής φρεναρίσματος, επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ποτενσιόμετρου (Stop-Time). Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος φρεναρίσματος είναι αντιστρόφως ανάλογος με τη ροπή φρεναρίσματος.

3.4.7. 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.

3.4.8. 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 μίας φάση, έλλειψη τάσης ανάμεσα σε δύο φάσεις, σφάλμα στην έναυση των θυρίστωρ).

3.4.9 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 φαίνεται μέσα από το κύκλωμα των θυρίστωρ.

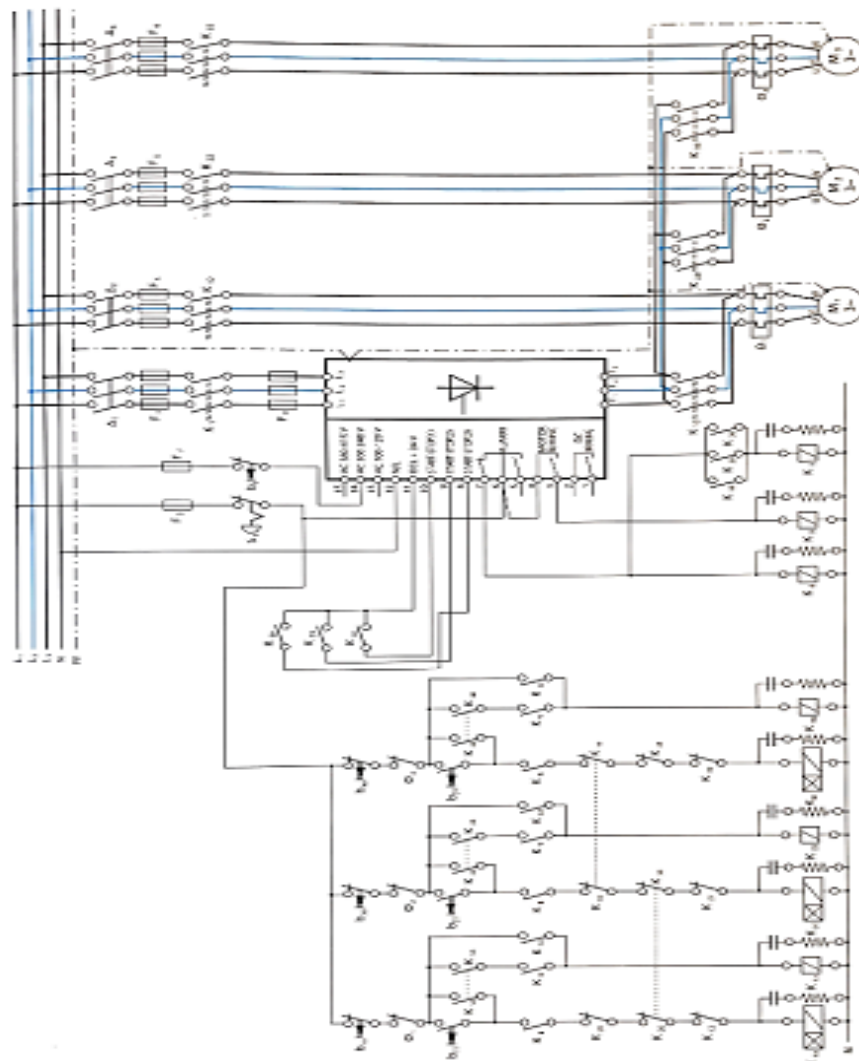
Η λειτουργία του By Pass, δεν πρέπει να ενεργοποιηθεί από μία λανθασμένη εντολή.

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, Pump 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.

3.4.10 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

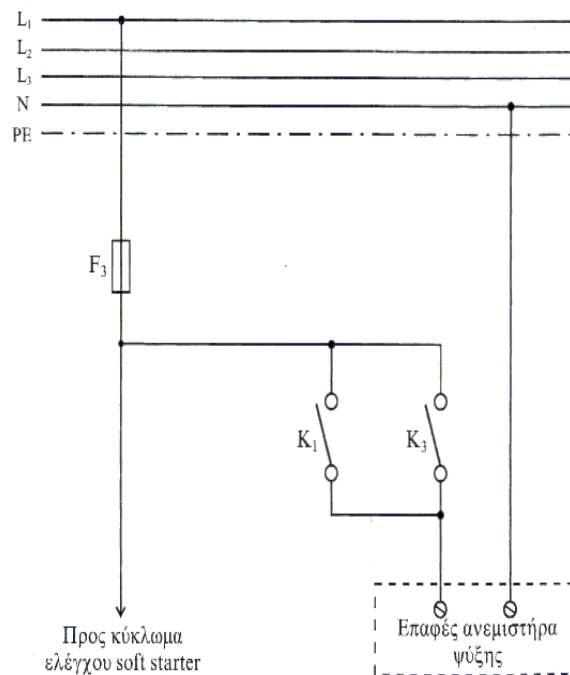


Εικόνα 48: Διαδοχική εκκίνηση τριών κινητήρων και λειτουργία By pass, με διαφορετικό σετ παραμέτρων εκκίνησης για κάθε κινητήρα

3.4.11. Συνδεσμολογία Ανεμιστήρα Ψύξης σε Soft Starter για την Αποβολή Θερμότητας Κατά τη Διάρκεια Λειτουργίας του Εκκινητή

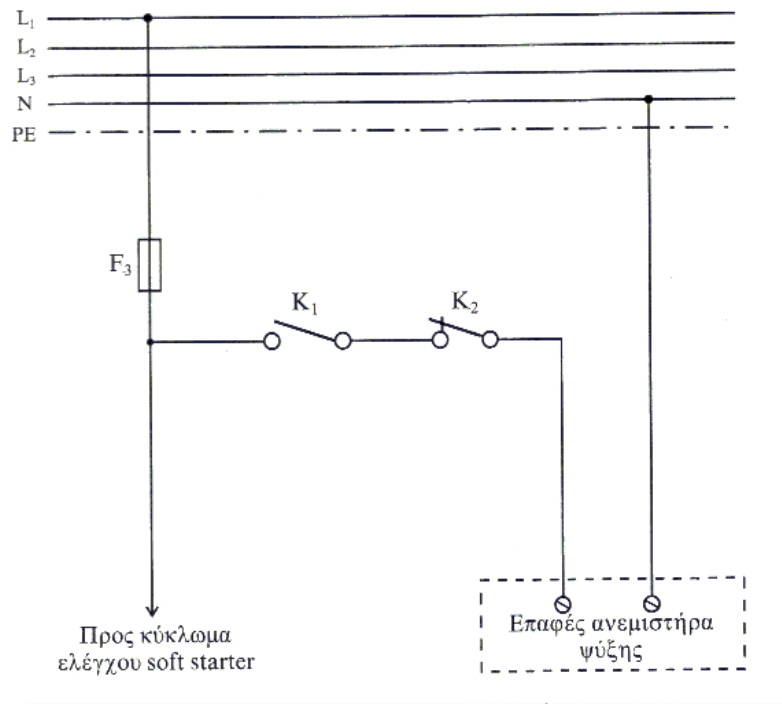
Για τους τύπους των ομαλών εκκινητών που συνδέονται από ανεμιστήρες ψύξης, μπορούμε ανάλογα με τη συνδεσμολογία που έχουμε, να συνδέσουμε τον ανεμιστήρα ψύξης όπως οι εικόνες που ακολουθούν :

- I. Για συνδεσμολογία Soft Starter με κινητήρα δεξιόστροφης ή αριστερόστροφης κίνησης.



Εικόνα 49: Συνδεσμολογία Soft Starter με κινητήρα δεξιόστροφης ή αριστερόστροφης κίνησης

II. Για συνδεσμολογία Soft Starter με αυτόματο διακόπτη By Pass.



Εικόνα 50: Συνδεσμολογία Soft Starter με αυτόματο διακόπτη By Pass

3.5. Λειτουργία Ομαλού Εκκινητή (Soft Starter) Μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (PC)

Υπάρχουν μοντέλα ομαλών ηλεκτρονικών εκκινητών, που είναι εξοπλισμένα με ειδικό συνδέτη (Interface) για να μπορούν να επικοινωνούν μέσω ειδικού προγράμματος με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Σε μια τέτοια περίπτωση έχουμε τη δυνατότητα να παρακολουθούμε στην οθόνη του υπολογιστή τη λειτουργία του κινητήρα το ρεύμα του κινητήρα, τη θερμοκρασία του κινητήρα κλπ.

Έχουμε τη δυνατότητα μέσω του ειδικού προγράμματος να δίνουμε παραμέτρους στον Soft Starter με αριθμητικές τιμές αντί των προσαρμογών με τα ποτενσιόμετρα που έχουμε στους συνηθισμένους τύπους εκκινήτων,

Σε έναν Soft Starter με δυνατότητα σύνδεσης με PC μπορούμε να αποθηκεύουμε στη μνήμη τα σεντ παραμέτρων και να τα επαναφέρουμε για χρήση σε άλλους μηχανισμούς κίνησης.

Όταν έχουμε σύνδεση κινητήρων δύο ταχυτήτων (με δύο τυλίγματα ή σύνδεση Dahlanter) έχουμε τη δυνατότητα μέσω του PC να δίνουμε διαφορετικά στοιχεία για κάθε ταχύτητα. Την ίδια δυνατότητα έχουμε και στις περιπτώσεις διαδοχικής εκκίνησης δύο ή και τριών κινητήρων με τον ίδιο Soft Starter.

Για τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούμε ένα σεντ παραμέτρων, μπορούμε εκτός από την παρακολούθηση των βασικών λειτουργιών του κινητήρα, να έχουμε και τη δυνατότητα εκκίνησης και σταματήματος μέσω του πληκτρολογίου του υπολογιστή μας.

Το κοστολόγιο για τις περιπτώσεις σύνδεσης και ελέγχου Soft Starter και κινητήρων μέσω PC είναι αρκετά μεγαλύτερο από εκείνο της σύνδεσης μέσω ποτενσιόμετρων του εκκινήτη.

3.6. Προστασία Κυκλώματος (Αγωγών, Εξαρτημάτων, Ομαλού Εκκινητή (Soft Starter), Κινητήρα)

- I. Έλεγχος τροφοδοσίας : Επιτυγχάνεται μέσω ενός διακόπτη (κατηγορίας AC-23) ή μέσω ενός αυτομάτου διακόπτη ισχύος (για προστασία κινητήρων) ή μέσω ενός ασφαλειοδιακόπτη.
- II. Προστασία κινητήρα από βραχυκύκλωμα :Γίνεται με ασφάλειες βραδείας τήξης (τύπος AM ή κατάλληλα υπολογισμένο μέγεθος μαχαιρωτών ασφαλειών) ή με αυτόματο διακόπτη ισχύος.
- III. Προστασία κινητήρα από υπερφόρτωση :Γίνεται από ένα ρελέ ισχύος σε συνεργασία με θερμικό ρελέ (θερμικό διαφορικής προστασίας) ή από έναν αυτόματο διακόπτη ισχύος.
- IV. Προστασία κινητήρα από υπερτάσεις ή υποτάσεις : Γίνεται από έναν επιτηρητή τάσης.
- V. Προστασία κινητήρα από υπερθέρμανση : Μπορεί να γίνει από ένα κατάλληλο θερίστορ που βρίσκεται πάνω στον κινητήρα.
- VI. Προστασία Soft Starter (θυρίστορ) από βραχυκυκλώματα : Γίνεται από ειδικό τύπο ασφαλειών ταχείας τήξης (Ασφάλειες Semiconductor).
- VII. Προστασία Soft Starter από υπερτάσεις :Γίνεται μέσω ειδικής μονάδας υπερτάσεων στο εσωτερικό κύκλωμα του εκκινητή.
- VIII. Προστασία από βραχυκύκλωμα βοηθητικού κυκλώματος ελέγχου και λειτουργίας :Γίνεται μέσω ασφαλειών τήξης.
- IX. Προστασία Soft Starter από υπερεντάσεις.Γίνεται μέσω θερμικού διαφορικής προστασίας στο εσωτερικό κύκλωμα ελέγχου του εκκινητή.
- X. Προστασία Soft Starter από υπερθέρμανση.Γίνεται μέσω ειδικού τύπου ανεμιστήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΛΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

4.1 Γενικά

Ο ευκολότερος και ίσως ο αμεσότερος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ορθολογική χρήση των συσκευών, η χρήση συσκευών υψηλής ενεργειακής κλάσης καθώς και η ενεργειακή απόδοση των εγκαταστάσεων. Όλα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε μερική αλλά άμεση εξοικονόμηση ενέργειας. Η συνηθέστερη μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας που αφορά όμως μόνο τους καταναλωτές μέσης τάσης είναι η αντιστάθμιση της εγκατάστασης.

Τα ηλεκτρικά φορτία χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- *Ωμικά*: Όλες η συσκευές που έχουν αντιστάσεις όπως ηλεκτρικές κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά σίδερα κλπ. Τα ωμικά δεν χρησιμοποιούν άεργο ισχύ επειδή το ρεύμα είναι συμφασικό με την τάση. Σαν ωμικά φορτία χαρακτηρίζονται από τη ΔΕΗ όλοι οι οικιακοί καταναλωτές.
- *Χωρητικά*: Σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες, πυκνωτές. Τα χωρητικά φορτία παράγουν άεργο επειδή το ρεύμα προηγείται της τάσης.
- *Επαγωγικά*: Τα επαγωγικά φορτία είναι καταναλωτές άεργου ισχύος επειδή η τάση προηγείται του ρεύματος. Τέτοιες συσκευές

είναι ψυγεία, κλιματιστικά, ασύγχρονοι κινητήρες, φωτιστικά εκκένωσης αέριων, μετασχηματιστές κλπ.

Τα φορτία αυτά βρίσκονται στο σύνολο των εμπορικών καταστημάτων και βιοτεχνιών – βιομηχανιών.

Όλα τα επαγωγικά φορτία για να λειτουργήσουν χρειάζονται 2 είδη ισχύος. Την ενεργό ισχύ (KW) και την άεργο ισχύ (KVar). Η άεργος ισχύς είναι μη παραγωγική, αλλά χρησιμοποιείται από τα επαγωγικά φορτία για να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, χωρίς το οποίο η κινητήρες δεν μπορούν να ξεκινήσουν και να λειτουργήσουν παράγοντας το έργο για το οποίο τους έχουμε προμηθευτεί.

Ο συντελεστής ισχύος ορίζεται ως το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζουν η τάση και το ρεύμα. (συνφ). Το συνφ παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο μικρότερο είναι το συνφ, τόσο μικρότερη είναι η φαινόμενη ισχύς για τις ίδιες τιμές ρεύματος και τάσης. Ακόμη, για δεδομένη τάση και ισχύ, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα αυξάνεται για μικρά συνφ και ελαττώνεται για μεγάλα συνφ. Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από τη συγκρότηση του κυκλώματος και μπορεί να βελτιωθεί.

Ένας τρόπος εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Σκοπός της αντιστάθμισης είναι η μείωση της άεργου ισχύος που απορροφά μια ηλεκτρική εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, μέσω αύξησης της χωρητικής άεργης ισχύος, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει όσο το δυνατόν την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει τη μονάδα.

Το *συνφ* στην πράξη είναι επαγωγικό. Οι καταναλωτές παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο επαγωγική συμπεριφορά. Οι καταναλωτές που εμφανίζουν επαγωγική συμπεριφορά και έχουν χαμηλό *συνφ* είναι :

- I. Οι κινητήρες Ε.Ρ.
- II. Οι μετασχηματιστές
- III. Όλα τα είδη λαμπτήρων φθορισμού
- IV. Τα ηλεκτρονικά ισχύος

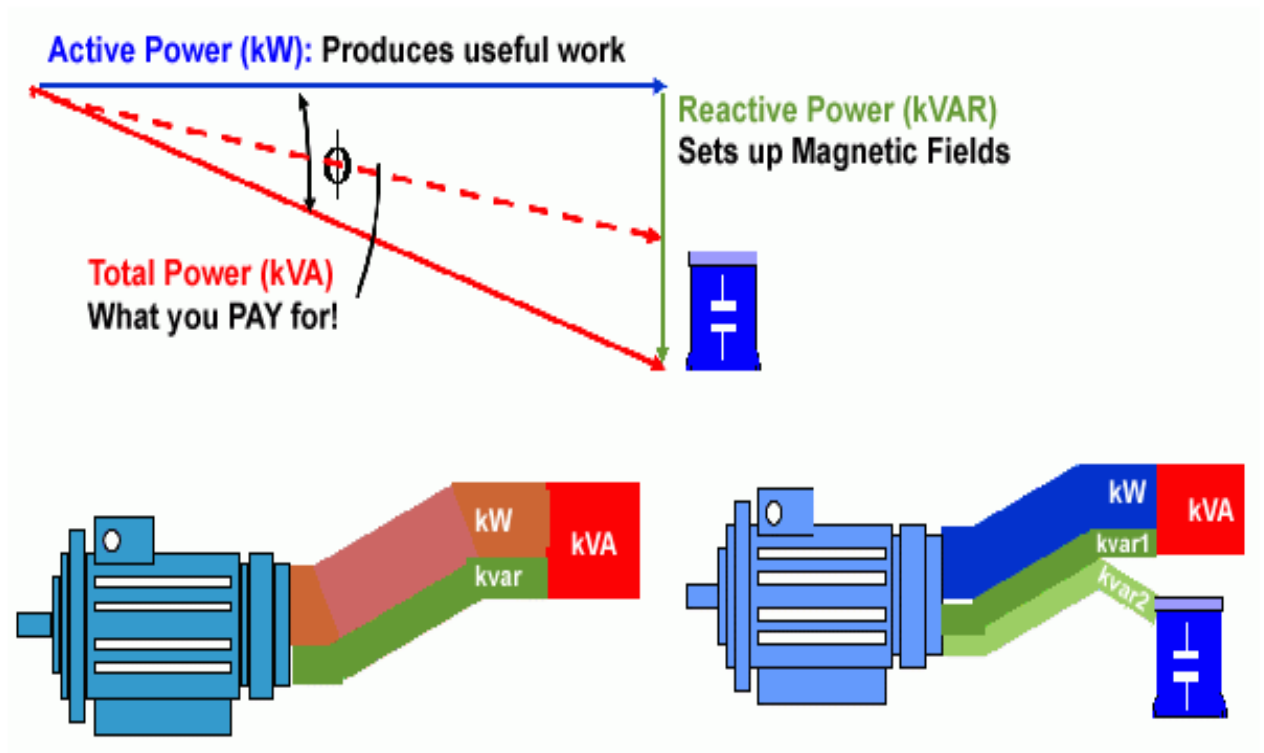
Το *συνφ* στους παραπάνω καταναλωτές κυμαίνεται από 0.5 έως 0.7 περίπου. Όσο πιο χαμηλό είναι το *συνφ*, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιβάρυνση των δικτύων με άεργη ισχύ. Αποτέλεσμα αυτής της επιβάρυνσης, είναι η αύξηση του συνολικού ρεύματος και η επιφόρτιση των γραμμών μεταφοράς, χωρίς καμία αύξηση της πραγματικής ισχύος.

Για να περιορίσουμε την άεργη ισχύ, τοποθετούμε παράλληλα προς την κατανάλωση πυκνωτές. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αντιστάθμιση. Όταν οι πυκνωτές συνδέονται στην κεντρική παροχή της εγκατάστασης έχουμε βελτίωση του *συνφ* ολόκληρης της εγκατάστασης και η διαδικασία αυτή ονομάζεται *Κεντρική Αντιστάθμιση*.

Με την αντιστάθμιση έχουμε μείωση της άεργης ισχύος, ενώ η πραγματική ισχύς παραμένει αμετάβλητη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού ρεύματος γραμμών του δικτύου. Όταν μειώνεται η άεργη ισχύς, τα δίκτυα μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερη πραγματική ισχύ, με την ίδια διατομή αγωγών.

Η αύξηση του *συνφ* σε μηνιαία βάση επιβάλλεται για να έχουμε χαμηλό

λογαριασμό κατανάλωσης. Η μείωση γίνεται αισθητή για τιμές $\cos\phi > 0,85$. Όταν η διόρθωση γίνεται για τιμές μεγαλύτερες του 0,95 θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για το υπερβολικό κόστος που προκύπτει από τους πυκνωτές.



Εικόνα 51: Σχηματική αναπαράσταση οικονομίας με χρήση αντιστάθμισης

Η κεντρική αντιστάθμιση αφορά τη βελτίωση του $\cos\phi$ ολόκληρης της εγκατάστασης και γίνεται σε ξεχωριστό πεδίο στον γενικό πίνακα. Με τη βοήθεια των οργάνων παρακολούθησης και του προγραμματιστή, παρεμβάλλονται κάθε φορά τόσοι πυκνωτές, όσοι είναι απαραίτητοι για τη βελτίωση του $\cos\phi$ στην επιθυμητή τιμή.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος (με στόχο την επίτευξη $\cos(\varphi) > 0.95$), παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής και στον καταναλωτή:

- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής -διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία και τη σημαντική μείωση απωλειών ισχύος στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής.
- Μείωση της χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης που εμφανίζεται στα βιομηχανικά τιμολόγια πελατών μέσης τάσεως της ΔΕΗ, με αποτέλεσμα μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο παροχής (από το μετρητή της ΔΕΗ μιας εγκατάστασης μέχρι τη συστοιχία των πυκνωτών) λόγω της μείωσης του απορροφούμενου ρεύματος.

4.2. Επιμέρους Συσκευές Κεντρικής Αντιστάθμισης

4.2.1. Ψηφιακός Ρυθμιστής Αέργου Ισχύος

Ο ψηφιακός ρυθμιστής είναι σχεδιασμένος να εξασφαλίζει το βέλτιστο συντελεστή ισχύος στην εγκατάσταση και μια ίση χρήση των συστοιχιών πυκνωτών και των επαφών διακοπής.

Ο ψηφιακός ρυθμιστής πρέπει να περιλαμβάνει :

- i. Κύκλωμα ελέγχου με μικροεπεξεργαστή με υψηλή απόδοση.
- ii. Ακριβές σύστημα μέτρησης ακόμη και παρουσία αρμονικών.
- iii. Εύκολη εγκατάσταση.
- iv. Διπλή βοηθητική τάση τροφοδοσίας.
- v. Είσοδο μέτρησης ρεύματος.
- vi. Είσοδο μέτρησης τάσης.
- vii. Μέτρηση ρεύματος RMS, ακόμη και παρουσία αρμονικών.
- viii. Αυτόματη “έξυπνη” ρύθμιση.
- ix. Ρυθμιζόμενη ευαισθησία (χρονική ολοκλήρωση).
- x. Το ίδιο βήμα καθυστέρησης αποσύνδεσης (ρυθμιζόμενο).
- xi. Ίση χρησιμοποίηση των βημάτων (αυτόματη αποθήκευση του αριθμού χειρισμού των ρελέ και του χρόνου λειτουργίας κάθε συστοιχίας πυκνωτών).
- xii. Γραμμή παρακολούθησης : συντελεστή ισχύος, ρεύμα και συχνότητα



Εικόνα 52 : Ψηφιακός ρυθμιστής αέργου ισχύος

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψηφιακού ρυθμιστή αέργου ισχύος
(Στοιχεία Κατασκευαστή)

α/α	Ονομασία χαρακτηριστικού	Τιμές - Στοιχεία
1	ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ	
	Τάση τροφοδοσίας:	110-127/220-240 V AC (Διπλή τάση)
	Όρια λειτουργίας:	-15 % +10 %
	Κατανάλωση:	10 VA
	Συχνότητα:	50 Hz
2	ΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	
	Εύρος τάσης:	80-500 V AC
	Είσοδος ισχύος:	1,2 W
	Συχνότητα:	50- Hz
3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ	
	Ονομαστική ένταση:	5 A (δευτερεύον Μ/Σ έντασης 5 A)
	Ικανότητα υπερφόρτισης:	+20 %
	Κορυφή υπερφόρτισης:	10 Ie για 20 msec
	Είσοδος ισχύος:	1 VA
4	ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	
	Εύρος συντελεστή ισχύος:	0,85 επαγωγικό έως 0,95 χωρητικό
	Εύρος μέτρησης έντασης:	5-100 % Ie
	Εύρος ευαισθησίας:	5-600 sec/βήμα
	Καθυστέρηση επανασύνδεσης:	20-400 sec
	Διαμόρφωση βημάτων:	ελεύθερη
5	ΡΕΛΕ ΕΞΟΔΟΥ	
	Βήματα:	5, 7, 14 (ανάλογα με τον τύπο της μονάδας)
	Ικανότητα επαφής:	5 A - 250 V AC (περιλαμβάνει φίλτρο RC)
6	ΔΙΑΦΟΡΑ	
	Θερμοκρασία λειτουργίας:	0 έως 55 °C
	Βαθμός προστασίας:	IP41 (χωρίς κάλυμμα) IP54 (με κάλυμμα)
	Βάρος 5 και 7 βημάτων:	920 gr
	Βάρος 14 βημάτων:	1040 gr

4.2.2. Πυκνωτές

Υπάρχουν σετ πυκνωτών με καθορισμένη χωρητικότητα και άεργη ισχύ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι :

- i. Ονομαστική τάση : 230/400/415/550 V.
- ii. Ονομαστική συχνότητα : 50 Hz.
- iii. Περιοχή θερμοκρασίας : -25/+50 βαθμούς κελσίου.
- iv. Ανοχή χωρητικότητας : -5% +10%.
- v. Μέγιστη τάση λειτουργίας : $1,10 \cdot U_n$.
- vi. Μέγιστη ένταση λειτουργίας : $1,31 \cdot I_n$.
- vii. Τύπος συνδεσμολογίας : τρίγωνο (Δ).
- viii. Standards : CEI-EN60831

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά στοιχεία πυκνωτών βελτίωσης *συνφ.*

α/α	Άεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικότητα (μ F)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
1	2,50	230	6,28	150	-
2	5,00	230	12,56	300	-
3	7,50	230	18,89	450	-
4	10,00	230	25,12	600	-
5	15,00	230	37,68	900	-
6	20,00	230	50,25	1200	-
7	25,00	230	62,82	1500	-
8	2,50	400	3,60	50	-

α/α	Άεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικότητα (μF)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
9	5,00	400	7,20	100	-
10	7,50	400	10,80	150	-
11	10,00	400	14,40	200	-
12	12,50	400	18,00	250	-
13	15,00	400	21,60	300	-
14	20,00	400	28,90	400	-
15	25,00	400	36,12	500	-
16	30,00	400	43,35	600	-
17	40,00	400	57,80	800	-
18	50,00	400	72,50	1000	-
19	60,00	400	86,70	1200	-
20	70,00	400	101,0	-	10,20,20,20
21	80,00	400	115,4	-	20,20,20,20
22	90,00	400	130,0	-	10,20,20,40
23	100,0	400	144,3	-	20,20,20,40
24	110,0	400	158,3	-	10,20,40,40
25	120,0	400	173,2	-	20,20,40,40

α/α	Αεργη ισχύς (KVAR)	Τάση (V)	Ένταση (A)	Χωρητικότητα (μF)	Αριθμός και ισχύ πυκνωτών συναρμολόγησης
26	125,0	400	180,4	-	25,20,40,40
27	137,5	400	198,7	-	12,5,25,50,50
28	150,0	400	216,5	-	25,25,50,50
29	175,0	400	252,0	-	25,25,50,50
30	200,0	400	288,0	-	25,25,50,50,50
31	225,0	400	324,0	-	25,50,50,50,50
32	250,0	400	360,0	-	50,50,50,50,50
33	275,0	400	369,0	-	25,50,50,50,50,50
34	300,0	400	433,0	-	50,50,50,50,50,50
35	325,0	400	469,0	-	25,50,50,50,50,50,50
36	350,0	400	505,0	-	50,50,50,50,50,50,50
37	400,0	400	578,0	-	50,50,50,50,50,50,50,50
38	450,0	400	648,0	-	50,50,50,50,50,50,50,50,50
39	500,	400	70		50,50,50,50,50,50,50,50,50,50

4.3. Συστήματα Αντιστάθμισης Αέργου Ισχύος

Η άεργος ισχύς είναι μη παραγωγική ισχύς, η οποία είναι αναγκαία αφενός για τη λειτουργία ορισμένων ευρέως διαδεδομένων φορτίων, και αφετέρου για τη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε φορτίο που περιλαμβάνει εξοπλισμό η λειτουργία του οποίου απαιτεί τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων εμφανίζει κατανάλωση άεργου ισχύος, δηλαδή έχει «επαγωγική συμπεριφορά». Οι ασύγχρονοι (επαγωγικοί) κινητήρες και οι εφαρμογές τους στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα (συστήματα μετάδοσης κίνησης, αντλητικά συστήματα, κλιματιστικά μηχανήματα, ψυγεία, πλυντήρια κλπ) είναι το πιο κλασσικό παράδειγμα.

Ο βαθμός κατανάλωσης άεργου ισχύος από τα φορτία εκφράζεται με το μέγεθος «Συντελεστής Ισχύος ($\cos\phi$)», το οποίο αντιστοιχεί στο λόγο της κατανάλωσης ενεργού ισχύος προς τη «φαινόμενη» ισχύ του φορτίου, η οποία είναι το γεωμετρικό άθροισμα της ενεργού και της άεργου ισχύος του φορτίου.

Ένα «καλό» φορτίο παρουσιάζει τιμές του Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) κοντά στη μονάδα ενώ ένα «κακό» φορτίο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές. Για παράδειγμα, ένα φορτίο ενεργού ισχύος 100 kW καταναλώνει

48,4 / 32,8 / 14 KVAr άεργου ισχύος εάν ο Συντελεστής Ισχύος του είναι 0,90 / 0,95 / 0,99 αντίστοιχα.

Η συσχέτιση άεργου ισχύος και ικανότητας μεταφοράς ενεργού ισχύος, είναι ένα θέμα το οποίο δεν έχει γίνει απόλυτα κατανοητό. Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να φορτίζονται στη σωστή τάση ώστε να καθίσταται δυνατή η μεταφορά της παραγωγικής ισχύος («ενεργού ισχύος») από τους σταθμούς παραγωγής προς την κατανάλωση, με τις ελάχιστες δυνατές ενεργές (ωμικές) και άεργες (επαγωγικές) απώλειες. Η τάση των δικτύων αυτών, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη ροή της άεργου ισχύος, πρέπει να διατηρείται εντός αυστηρά προκαθορισμένων ορίων διακύμανσης (+/- 5%), και μάλιστα υπό συνθήκες διαρκούς μεταβολής των φορτίων, για λόγους καλής λειτουργίας του εξοπλισμού.

Σε καταστάσεις, υψηλής κατανάλωσης ενεργού και άεργου ισχύος, η λειτουργία των δικτύων γίνεται οριακή, καθώς τα περιθώρια ελέγχου της ροής άεργου ισχύος στενεύουν, με αποτέλεσμα να υφίσταται κίνδυνος Black Out.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της άεργου ισχύος είναι ότι δεν μεταφέρεται εύκολα. Οι απώλειες μεταφοράς άεργου ισχύος δύνανται να συνιστούν υψηλό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης, ενώ προκύπτουν και πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος.

Εντούτοις, σημαντικό πλεονέκτημα της άεργου ισχύος έναντι της ενεργού είναι ότι δύναται να παράγεται εύκολα σε τοπικό επίπεδο,

κοντά στα σημεία κατανάλωσής της, από συσκευές οι οποίες δεν απαιτούν κατά κανόνα κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και δεν έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον.

4.4. Καταναλωτές Υψηλής Τάσης

Ο αριθμός των καταναλωτών ΥΤ του ελληνικού Συστήματος είναι περιορισμένος. Λόγω όμως του μεγάλου μεγέθους της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές αυτούς, παρέχονται σημαντικά κίνητρα για τον ετεροχρονισμό της ζήτησής τους με την αιχμή του Συστήματος, ήτοι για τη μείωση της κατανάλωσής τους κατά τις ώρες μεγάλης ζήτησης από τα λοιπά φορτία του Συστήματος.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος (Άρθρο 15), κάθε Πελάτης που συνδέεται με το Σύστημα (ΥΤ) οφείλει να διασφαλίζει ότι για φόρτιση μεγαλύτερη του 50% της μέγιστης ικανότητας τροφοδότησης, ο Συντελεστής Ισχύος του στο σημείο σύνδεσης παραμένει εντός του εύρους τιμών 0,90 επαγωγικό έως 1,00. Για το 2005, υπήρχε η πρόβλεψη [1] ότι οι Πελάτες ΥΤ θα καταναλώνουν κατά την ώρα θερινής αιχμής του 2005 περίπου 81,4 MVar περισσότερο από την κατανάλωση άεργου ισχύος που ορίζεται ως άνω όριο βάσει της κατανάλωσης ενεργού ισχύος τους.

Με αυστηρότερα – υψηλότερα όρια στην επιτρεπόμενη τιμή του Συντελεστή Ισχύος για τους καταναλωτές ΥΤ, υπάρχει μεγάλο περιθώριο μείωσης της άεργου ισχύος. Από τα σχετικά στοιχεία προκύπτει ότι με Τιμές Κατωφλίου Συντελεστή Ισχύος (συν φ) = 0,9 /

0,95 / 0,99 επέρχεται βελτίωση της άεργου Ισχύος = 81,4 / 217,7 / 413,9 MVar αντίστοιχα. Η αναμενόμενη αυτή μείωση ζήτησης άεργου ισχύος συνεπάγεται σημαντικά μεγαλύτερη μείωση της αναγκαίας παραγωγής άεργου ισχύος από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής του Συστήματος, π.χ. σε συνθήκες κανονικής λειτουργία του Συστήματος αναμένεται μείωση της παραγωγής άεργου ισχύος 100 / 280 / 490 MVar αντίστοιχα.

4.5. Καταναλωτές Μέσης Τάσης

Μεγάλοι καταναλωτές, όπως βιομηχανίες, νοσοκομεία, κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία κ.λ.π., συνδέονται κατά κανόνα στη Μέση Τάση.

Αν ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι μεγαλύτερος από 30%, μειώνεται η χρέωση ισχύος κατά $50 \cdot (1 - MA/MZ)$ % όπου MZ η καταγραφής μέγιστη ζήτηση ισχύος και MA η μέγιστη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής. Αυτό αποτελεί ένα οικονομικό κίνητρο για τον καταναλωτή Μέσης Τάσης ώστε:

- Να διορθώνει-βελτιώνει το Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$), αφού η χρεωστέα Ζήτηση ισχύος (XZ) εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα από αυτόν.
- Να μειώνει ή / και να μετατοπίζει τη Μέγιστη Ζήτησης εκτός ωρών αιχμής.

4.6. Καταναλωτές του Βιομηχανικού και Εμπορικού – Τριτογενή Τομέα

Ο εμπορικός τομέας χρήζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω της υψηλής απόλυτης τιμής της κατανάλωσης αλλά και του ρυθμού αύξησης κατά την τελευταία δεκαετία. Οι μεγάλες εμπορικές αλυσίδες, έχουν την τεχνική υποδομή και ενδιαφέρονται, σε γενικές γραμμές, για την ενεργειακή κατανάλωση των εγκαταστάσεων τους.

Η εμπειρία δείχνει ότι το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως σε μικρά καταστήματα, όπου συνυπάρχουν απαράδεκτα υψηλά επίπεδα φωτισμού με μέσης ή κακής ποιότητας φωτιστικά συστήματα, πλήρης κλιματισμός με τις εισόδους των καταστημάτων να παραμένουν μόνιμα ανοικτές. Οι σχεδιαστές τέτοιων εγκαταστάσεων, ενδιαφέρονται για την προσέλκυση πελατών, την παρουσίαση των προϊόντων και συνήθως αγνοούν την παράμετρο ενεργειακής κατανάλωσης.

4.7. Κατηγορίες Φορτίων που Συμβάλλουν στην Αυξημένη Κατανάλωση Αέργου Ισχύος

4.7.1. Λειτουργία Συμβατικών Κλιματιστικών Μηχανημάτων

Τα κύρια προβλήματα της λειτουργίας των συμβατικών κλιματιστικών μηχανημάτων είναι οι συχνές εκκινήσεις και η αδυναμία προσαρμογής του κινητήρα στην καμπύλη του φορτίου κατά τη λειτουργία του. Η παρούσα κατάσταση μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

α) Τα σύγχρονα, πιστοποιημένα και υψηλού κόστους κτήσης, «επώνυμα» κλιματιστικά μηχανήματα ρυθμίζουν το ρεύμα εκκίνησης με Inverter και συνήθως προσαρμόζουν τη λειτουργία του κινητήρα ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Το πρόβλημα των εν λόγω κλιματιστικών μηχανημάτων δεν είναι κυρίως η χαμηλή τιμή του Συντελεστή Ισχύος, αλλά η εισαγωγή αρμονικών στο δίκτυο με αντίστοιχη υποβάθμιση της ποιότητας τάσης.

β) Τα παλαιού τύπου κλιματιστικά μηχανήματα (χωρίς Inverter) και γενικότερα «ανώνυμες» συσκευές, συνήθως χαμηλού κόστους κτήσης και χωρίς οποιαδήποτε τυποποίηση, συνήθως λειτουργούν με χαμηλή τιμή του Συντελεστή Ισχύος (από 0,55 έως 0,8).

Για παράδειγμα, μια τυπική επώνυμη μονάδα 18000 *BTU* έχει ισχύ $P=1850W$ με Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) περίπου ίσο με 0,9 για τάση λειτουργίας $U=230V$ μονοφασικό και ασφαρίζεται με μικροαυτόματο 16A. Εάν μία τέτοια μονάδα λειτουργεί 14 ώρες ημερησίως στη θερινή περίοδο σε ένα χώρο με μέτριες θερμικές απώλειες (όχι συχνά ανοιγο-κλεισίματα παραθύρων και θυρών κλπ) αναμένονται 8-10 εκκινήσεις συνολικά, στην διάρκεια των οποίων το φορτίο δεν είναι σταθερό. Συνεπώς έχουμε:

α) Σημαντικό αριθμό εκκινήσεων στη διάρκεια των οποίων το ρεύμα εκκίνησης είναι πολλαπλάσιο του αντίστοιχου κανονικής λειτουργίας και προκαλεί τοπική πτώση τάσης στο δίκτυο.

β) Κατά την εκκίνηση (αρχικά στις χαμηλές στροφές περιστροφής κινητήρα) η τιμή του Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) είναι ιδιαίτερα χαμηλή.

γ) Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του μηχανήματος, χωρίς δυνατότητα προσαρμογής των στροφών του κινητήρα στην καμπύλη του φορτίου, έχουμε χαμηλό συντελεστή ισχύος για φόρτιση μικρότερη του 100% (ιδανική συνθήκη). Ενδεικτικά για φόρτιση 100% έχουμε Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) =0,9, για φόρτιση 75% έχουμε Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) =0,87, για φόρτιση 50% Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) =0,78 και για φόρτιση 25% Συντελεστή Ισχύος ($\cos\phi$) =0,6.

Τα ίδια προβλήματα παρουσιάζουν μηχανήματα που λειτουργούν με ασύγχρονους (επαγωγικούς) κινητήρες π.χ. για οικιακής καταναλώσεως ψυγεία και αντίστοιχα ψυκτικές μονάδες μεγαλύτερης ισχύος ή κεντρικές κλιματιστικές μονάδες.

4.7.2. Μη Γραμμικά Φορτία: Εισαγωγή Αρμονικών

Η ύπαρξη διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος (Inverters, Soft Starters κλπ), ανορθωτικών διατάξεων AC-DC και γενικότερα η ύπαρξη μη γραμμικών φορτίων επηρεάζει και αλλοιώνει την ημιτονοειδή μορφή της τάσης. Αποτελέσματα της αλλοίωσης αυτής είναι η δημιουργία αρμονικών στο δίκτυο και η μη αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αρμονικές που εγχέονται στο δίκτυο επηρεάζουν τον υπόλοιπο εξοπλισμό δημιουργώντας τα ακόλουθα προβλήματα:

α) αυξημένες απώλειες

β) θέρμανση κινητήρων, καλωδίων και μετασχηματιστών

γ) παρεμβολές σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό και ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις. Είναι σκόπιμο το ζήτημα αυτό να μελετηθεί εκτενώς, με στόχο τη λήψη μέτρων αναφορικά με την πιστοποίηση του εξοπλισμού και την εφαρμογή των σχετικών προτύπων.

4.7.3. Αρδευτικά Συστήματα Άντλησης και Επίδραση στις Αιχμές

Τα αρδευτικά συστήματα άντλησης έχουν σημαντικά μειωμένο τιμολόγιο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τις σχετικές συμβάσεις προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, υφίσταται υποχρέωση των Πελατών αυτών να μην απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής του φορτίου του Συστήματος, οι οποίες καθορίζονται από τη ΔΕΗ, δηλαδή το μειωμένο τιμολόγιο ισχύει μόνο για τις ώρες εκτός αιχμής του Συστήματος.

Ο περιορισμός αυτός υπεβλήθη αφενός για λόγους καλής λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος, και ιδίως μετά τη μετατόπιση της αιχμής του φορτίου του Συστήματος στο θέρος (μετά το 1992) και αφετέρου για σοβαρούς περιβαλλοντικούς λόγους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με την εύλογη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ειδικότερα, υπολογίζεται ότι, στην περίπτωση άρδευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, 40% του ύδατος εξατμίζεται πριν καταπέσει στο έδαφος, ενώ 20% της

ποσότητας που πέφτει στο έδαφος εξατμίζεται πριν απορροφηθεί από αυτό (ήτοι συνολικές απώλειες ύδατος άνω του 50%).

Δυστυχώς, η ανεξέλεγκτη παραβίαση κατά τα προηγούμενα έτη των περιορισμών αυτών, έχει οδηγήσει αφενός στην επιβάρυνση της συνολικής κατανάλωσης του ηλεκτρικού συστήματος με περίπου 700 MW σε όλη την Ελλάδα, από τα οποία 400 MW περίπου στη Θεσσαλία, κατά τις ώρες της θερινής αιχμής, και μάλιστα σε περιοχές ιδιαίτερα σημαντικές για την ευστάθεια του Συστήματος μεταφοράς, και αφετέρου στην δραματική υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα των γεωργικών περιοχών με ορατό τον κίνδυνο ερημοποίησης.

Από πλευράς ηλεκτρικού συστήματος, η τήρηση του περιορισμού μη λειτουργίας των αρδευτικών συστημάτων κατά τις ώρες της ημέρας θα συμβάλει αποφασιστικά στη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του συστήματος και στη σημαντική μείωση της πιθανότητας εμφάνισης προβλημάτων αστάθειας τάσης ή ανεπάρκειας ισχύος.

Η ελεγχόμενη περικοπή μη κρίσιμων φορτίων κατά τις ώρες αιχμής του Συστήματος, με προτεραιότητα στα αρδευτικά φορτία, θα ήταν δυνατή χωρίς πρόσθετες παρεμβάσεις, αφού για το μέγεθος του αναμενόμενου οφέλους κατά τις ώρες της θερινής αιχμής (περίπου 250 MW) η περικοπή είναι δυνατή μέσω των τοπικών συστημάτων τηλεχειρισμών.

Για να επιτευχθεί ικανοποιητική διόρθωση του Συντελεστή Ισχύος, θα πρέπει το Σύστημα Διόρθωσης Συνημίτονου να σχεδιαστεί ειδικά για το σύστημα στο οποίο προορίζεται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ INVERTER ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΒΑΛΙΑΔΗΣ

ΟΜΑΔΟΙ ΕΚΚΙΝΗΤΕΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Εγχειρίδιο :

- ✓ *Εγκατάστασης*
- ✓ *Λειτουργίας*
- ✓ *Προγραμματισμού*

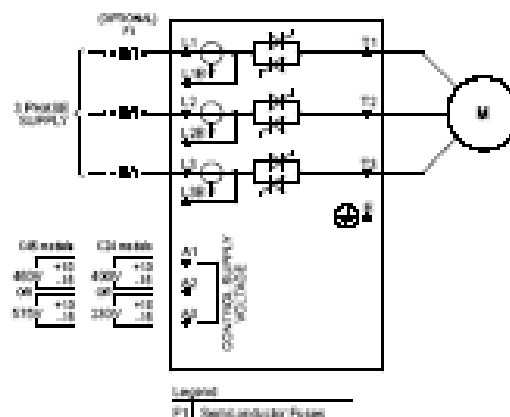
	
<p>AUCOM <i>IMS2 - SERIES</i></p>	<p>ΒΑΛΙΑΔΗΣ Ελληνικοί Ηλεκτροκινητήρες</p>

Άμεση Εγκατάσταση και Θέση σε Λειτουργία

Στις απλές εφαρμογές ο Ομαλός Εκκινητής της σειράς IMB2 μπορούν να εγκατασταθούν και να τεθούν σε λειτουργία πραγματοποιώντας τα τρία ακόλουθα απλά βήματα.

1. Εγκατάσταση και Συνδεσμολογία

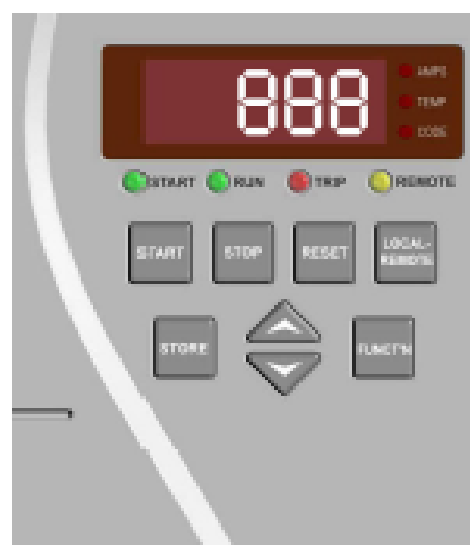
1. Τοποθετήστε τον Ομαλό Εκκινητή κατακόρυφα και βεβαιωθείτε ότι υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος πάνω και κάτω από αυτόν έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα για την ψύξη του.
2. Συνδέστε την παροχή (3Φ=400VAC/50Hz) στους ακροδέκτες ισχύος L1, L2 και L3.
Προσοχή : όχι στους ακροδέκτες L1B, L2B και L3B
3. Συνδέστε τον ηλεκτροκινητήρα στους ακροδέκτες ισχύος T1, T2 και T3.
4. Τροφοδοτήστε με τάση 230VAC τους ακροδέκτες A2-A3 ή με 400VAC τους ακροδέκτες A1-A2. Μέσω των ακροδεκτών αυτών τροφοδοτούνται με τάση το ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου του Ομαλού Εκκινητή και οι ανεμιστήρες ψύξης.



2. Προγραμματισμός

Στις απλές εφαρμογές απαιτείται μόνο ο προγραμματισμός του Ομαλού Εκκινητή με το ονομαστικό ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα.

1. Επιλέξτε την παράμετρο Νο1 κρατώντας πατημένο το πλήκτρο «FUNCTION» και πατώντας το πλήκτρο «+» διαδοχικά μέχρι η οθόνη να δείξει "1".
2. Αφήστε το πλήκτρο «FUNCTION» και στην οθόνη θα εμφανιστεί η τρέχουσα τιμή της παράμετρο Νο1.
3. Χρησιμοποιήστε τα πλήκτρα «+» και «-» προκειμένου να ρυθμίσετε την παράμετρο Νο1 σύμφωνα με το ονομαστικό ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα σας.
4. Πατήστε το πλήκτρο «STORE» προκειμένου η νέα τιμή να αποθηκευτεί στην μνήμη.
5. Βγείτε από την κατάσταση προγραμματισμού κρατώντας πατημένο το πλήκτρο «FUNCTION» και πατώντας το πλήκτρο «+» διαδοχικά μέχρι η οθόνη να δείξει "0".



3. Λειτουργία

Ο Ομαλός Εκκινητής είναι τώρα έτοιμος για να εκκινήσει τον ηλεκτροκινητήρα. Η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα ελέγχεται από τα πλήκτρα «START» και «STOP» του πληκτρολογίου. Τέλος δύο ακόμα παράμετροι που είναι αρκετά χρήσιμες σε πολλές εφαρμογές είναι η παράμετρος Νο2 – καθορισμός του ρεύματος εκκίνησης σε % του ονομαστικού – και η παράμετρος Νο3 – χρόνος ομαλού σταματήματος σε sec –.

Γενική Περιγραφή

Τεχνολογία

Οι Ομαλοί Εκκινήτες της σειράς IMS2 χρησιμοποιούν ένα πανίσχυρο βιομηχανικό μικροεπεξεργαστή προικισμένου να ελέγξουν την εκκίνηση, την λειτουργία αλλά και τη στάση των ηλεκτροκινητήρων. Αποτέλεσμα αυτού, αλλά και του προηγμένης τεχνολογίας σχεδιασμού τους, είναι ο απόλυτος και ολοκληρωμένος έλεγχος του ηλεκτροκινητήρα και η άψογη συμπεριφορά του ακόμα και στις πιο δύσκολες εφαρμογές (π.χ. φορτία με υψηλή αδράνεια ή ροπή εκκινήσεως).

Δυνατότητες

Εκκίνηση

- Με σταθερό ρεύμα.
- Με ράμπα ρεύματος.
- Με έλεγχο ροπής.
- Με ονομαστική ροπή εκκίνησης (Kickstart).

Στάση

- Με ράμπα χρόνου.
- Με ειδικό λογισμικό για αντλίες.
- Με ομαλή πέδηση.
- Με πέδηση συνεχούς τάσης.

Προστασίες

- Υπερφόρτιση κινητήρα (Θερμικό).
- Κατάλληλη είσοδος για θερμοίστοι.
- Ασυμμετρία και έλλειψη τάσης.
- Διαδοχή φάσεων.
- Ανατροπή – «κόλλημα» κινητήρα.
- Υπερβολικά χαμηλή φόρτιση κινητήρα.
- Εξωτερική είσοδος σφάλματος.
- Υπερθέρμανση Ομαλού Εκκινήτη.
- Υπερβολικά μεγάλος χρόνος εκκίνησης.
- Ακατάλληλη συχνότητα δικτύου.
- Βραχυκυκλωμένο θυρίστωρ.
- Λανθασμένη συνδεσμολογία κινητήρα.

Είσοδοι – Έξοδοι

- Ψηφιακές εισοδοι (ON/OFF) (3 + 1 προγραμματιζόμενη).
- Ψηφιακές εξοδοι (ηλεκτρονόμοι) (1 + 3 προγραμματιζόμενοι).
- Προγραμματιζόμενη αναλογική έξοδος 4-20mA.
- Σειριακή επικοινωνία τύπου RS485.

Ψηφιακό Χειριστήριο

- Τοπικός έλεγχος με τα πλήκτρα Start, Stop, Reset, Local/Remote.
- Εύκολος προγραμματισμός με τα πλήκτρα Function, +, -, Stop.
- Ενδεικτικές λαμπνίες (LEDs) για την κατάσταση των ψηφιακών εισόδων.
- Ενδεικτικές λαμπνίες (LEDs) για την κατάσταση και των τριών φάσεων.

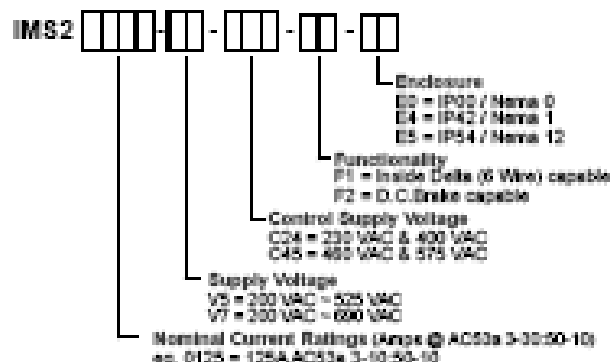
Κύκλωμα Ισχύος

- Δυνατότητα σύνδεσης του κινητήρα με 3 ή με 6 καλώδια.
- Η προστασία του ηλεκτροκινητήρα παραμένει ενεργή ακόμα και μετά το Bypass.
- Μεγάλο εύρος επιλογής ισχύος (από 18 έως 1574 Amps).
- Δυνατότητα λειτουργίας σε ένα ευρύ φάσμα τάσεων (200VAC - 525VAC).

Πρόσθετες Δυνατότητες

- Κέλυφος με προστασία IP42.
- Ένδειξη ρεύματος.
- Ένδειξη θερμικής κατάστασης κινητήρα.
- Απομνημόνευση μέχρι 8 σφαλμάτων
- Προειδοποίηση για χαμηλό ρεύμα.
- Προειδοποίηση για χαμηλό ρεύμα.
- Προειδοποίηση για υπερθέρμανση κινητήρα.
- Αυτόματη επανεκκίνηση μετά από σφάλμα.
- Αυτόματη διακοπή της λειτουργίας.
- Μέτρηση εκκινήσεων.
- Κλείδωμα παραμέτρων.
- Επαναφορά εργασιαστικών ρυθμίσεων

Ονοματολογία



Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Τροφοδοσία

Κύρια τάση (Ισχύος) IM82xxxx-V5-xxx-xx-xx	3 x 200VAC ~ 525VAC (Σύνθεση 3 καλωδίων)
.....	3 x 200VAC ~ 440VAC (Σύνθεση 6 καλωδίων)
Κύρια τάση (Ισχύος) IM82xxxx-V7-xxx-xx-xx	3 x 200VAC ~ 690VAC (Σύνθεση 3 καλωδίων)
.....	3 x 200VAC ~ 440VAC (Σύνθεση 6 καλωδίων)
Βοηθητική τάση (Ειζήγρου) IM82xxxx-xx-C24-xx-xx	230VAC (+10%/-15%) ή 400VAC (+10%/-15%)
Βοηθητική τάση (Ειζήγρου) IM82xxxx-xx-C45-xx-xx	460VAC (+10%/-15%) ή 575VAC (+10%/-15%)
Ευχρότητα (στην αρχή της εκκίνησης)	50Hz (± 2Hz) ή 60Hz (±2Hz)
Ευχρότητα (κατά την εκκίνηση)	> 45Hz (50Hz supply) ή > 55Hz (60Hz supply)
Ευχρότητα (κατά την λειτουργία)	> 48Hz (50Hz supply) ή > 58Hz (60Hz supply)

Ψηφιακές Είσοδοι

Stop (Ακροδέκτες C23, C24)	Ψυχρή επαφή, Normally Open
Stop (Ακροδέκτες C31, C32)	Ψυχρή επαφή, Normally Closed
Reset (Ακροδέκτες C41, C42)	Ψυχρή επαφή, Normally Closed
Προγραμματιζόμενη είσοδος A (Ακροδέκτες C53, C54)	Ψυχρή επαφή, Normally Open

Ψηφιακές και Αναλογικές Έξοδοι

Έξοδος Run (Ακροδέκτες 23, 24)	Normally Open, 5A @ 250VAC/360VA
.....	5A @ 30VDC resistive
Προγραμματιζόμενη έξοδος A (Ακροδέκτες 13, 14)	Normally Open, 5A @ 250VAC/360VA
.....	5A @ 30VDC resistive
Προγραμματιζόμενη έξοδος B (Ακροδέκτες 33, 34)	Normally Open, 5A @ 250VAC/360VA,
.....	5A @ 30VDC resistive
Προγραμματιζόμενη έξοδος C (Ακροδέκτες 41, 42, 44)	Changeover, 5A @ 250VAC/360VA
.....	5A @ 30VDC resistive
Αναλογική έξοδος (Ακροδέκτες B10, B11)	4-20mA

Πρόσθετα Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Βαθμός προστασίας κελύφους IM82xxxx-xx-xxx-xx-E0	IP00 (Ανοικτό)
Βαθμός προστασίας κελύφους IM82xxxx-xx-xxx-xx-E4	IP42 (NEMA 1)
Βαθμός προστασίας κελύφους IM82xxxx-xx-xxx-xx-E5	IP54 (NEMA 12)
Ονομαστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης	100kA
Ονομαστική τάση μόνωσης	690 V
Αντοχή σε υπερτάσεις	2kV (φάση με γείωση), 1kV (φάση με φάση)
Αντοχή σε στιγμιαίες αλλά επαναλαμβανόμενες υπερτάσεις	2.0kV / 5.0 kHz
Ηλεκτροστατική εκκένωση	4kV (σώμα με σώμα), 8 kV μέσω αέρα
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-5°C / +60°C
Υγρασία περιβάλλοντος	5 - 95% (χωρίς υγρασίωση)

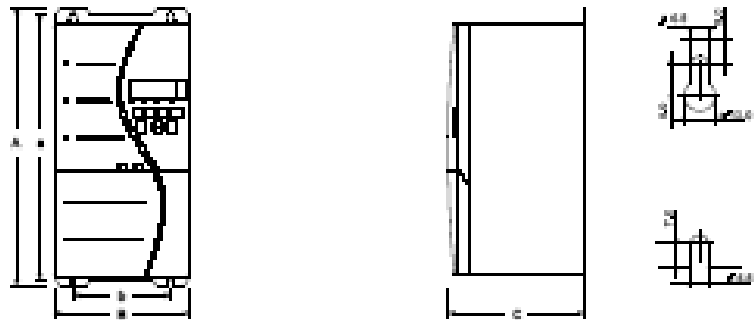
Πιστοποιήσεις

CE	IEC 60947-4-2
UL	UL508
C-UL	CSA 22.2 No.14
C✓	AS/NZS 3947-4-2, CISPR-11

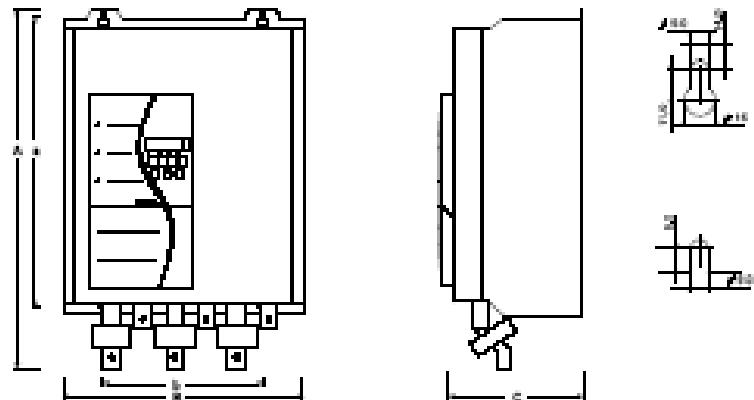
Διαστάσεις

	A	B	C	a	b	Βάρος
	mm	mm	mm	mm	mm	Kg
IP42/NEMA 1						
IMS20018	380	185	180	365	130	6
IMS20034						
IMS20041						
IMS20047						
IMS20067	380	185	250	365	130	7
IMS20088						
IMS20096						
IMS20125						
IMS20141	425	270	27	410	200	17.5
IMS20202						
IMS20238						
IMS20253	425	390	275	410	300	23
IP00						
IMS20302	545	430	294	522	320	42
IMS20405						
IMS20513						
IMS20585						49
IMS20628						
IMS20775						
IMS20897	855	574	353	727	500	120
IMS21153						
IMS21403						
IMS21574						

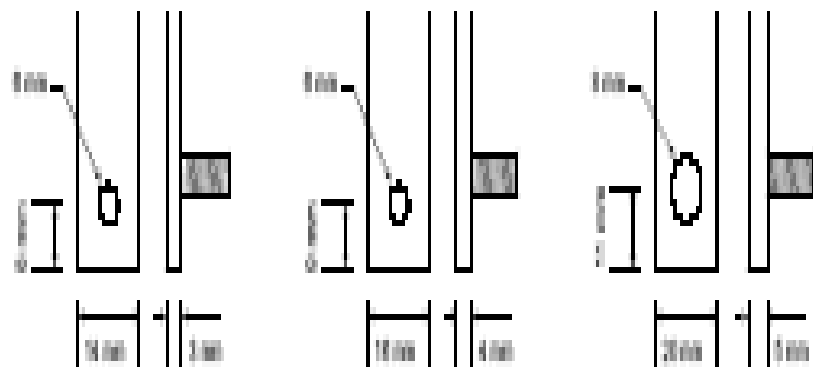
IMS20018~IMS20253



IMS20302~IMS21574



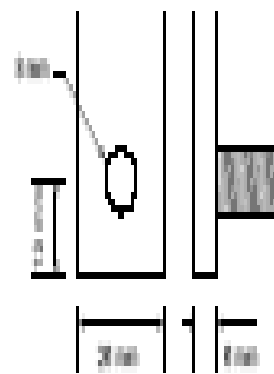
Ακροδέκτες Ισχύος



IMC20010- IMC20047
(3.5 NM, 2.6 FT-LBS)

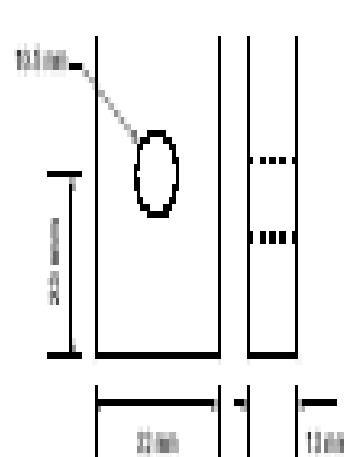
IMC20007- IMC20125
(3.5 NM, 2.6 FT-LBS)

IMC20141
(6.5 NM, 4.8 FT-LBS)

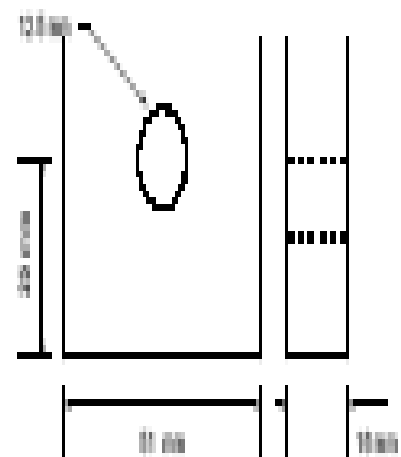


IMC20002- IMC20050
(6.5 NM, 4.8 FT-LBS)

IMC20083
(17 NM, 12.5 FT-LBS)



IMC20002- IMC20097



IMC21153- IMC21574

Εξαερισμός

Όταν ο Ομαλός Εκκινητής πρόκειται να εγκατασταθεί εντός ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να εξασφαλίζεται η επαρκής κυκλοφορία του αέρα προκειμένου να αποτρέπεται η υπερβολική υπερύψωση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτό. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του πεδίου πρέπει να περιορίζεται εντός των επιτρεπών ορίων, όπως αυτά αναφέρονται στον ανωτέρω πίνακα τεχνικών χαρακτηριστικών του Ομαλού Εκκινητή.

Εάν ο Ομαλός Εκκινητής πρόκειται να εγκατασταθεί εντός ηλεκτρικού πεδίου που είναι ερμητικά κλειστό (IP55) η χρήση ηλεκτρονόμου bypass είναι απαραίτητη.

Οι Ομαλοί Εκκινητές κατά την λειτουργία τους εκλύουν θερμότητα της τάξης των 4,5 watts ανά amp. Στον πίνακα που ακολουθεί δίδεται η απαιτούμενη κυκλοφορία αέρα (σε m³/min ή m³/hour) ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα, προκειμένου ή αύξηση της θερμοκρασίας εντός του πεδίου να είναι 5°C ή 10°C. Εάν εντός του πεδίου βρίσκονται εγκατεστημένες και άλλες πηγές έκλυσης θερμότητας (άλλοι Ομαλοί Εκκινητές ή Ρυθμιστές Στροφών), θα πρέπει να εξασφαλιστεί και για αυτές πρόσθετη κυκλοφορία αέρα.

Ρεύμα Λειτουργίας (Amps)	Θερμότητα (watts)	Απαιτούμενη Κυκλοφορία Αέρα			
		m ³ /min		m ³ /hour	
		Υπερύψωση		Υπερύψωση	
		5°C	10°C	5°C	10°C
10	45	0.5	0.2	30	15
20	90	0.9	0.5	54	27
30	135	1.4	0.7	84	42
40	180	1.8	0.9	108	54
50	225	2.3	1.1	138	69
75	338	3.4	1.7	204	102
100	450	4.5	2.3	270	135
125	563	5.6	2.8	336	168
150	675	6.8	3.4	408	204
175	788	7.9	3.9	474	237
200	900	9.0	4.5	540	270
250	1125	11.3	5.6	678	339
300	1350	13.5	6.8	810	405
350	1575	15.8	7.9	948	474
400	1800	18.0	9.0	1080	540
450	2025	20.3	10.1	1218	609
500	2250	22.5	11.3	1350	675
550	2475	24.8	12.4	1488	744
600	2700	27.0	13.5	1620	810

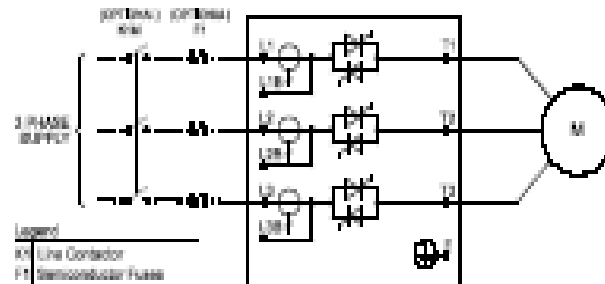
Συνδεσμολογίες Ισχύος

Εισαγωγή

Οι Ομολοί Εκκίνητες της σειράς IM82 μπορούν να συνδεθούν με την παροχή και τον κινητήρα με ένα πλήθος διαφορετικών τρόπων ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Συνδεσμολογία 3 καλωδίων

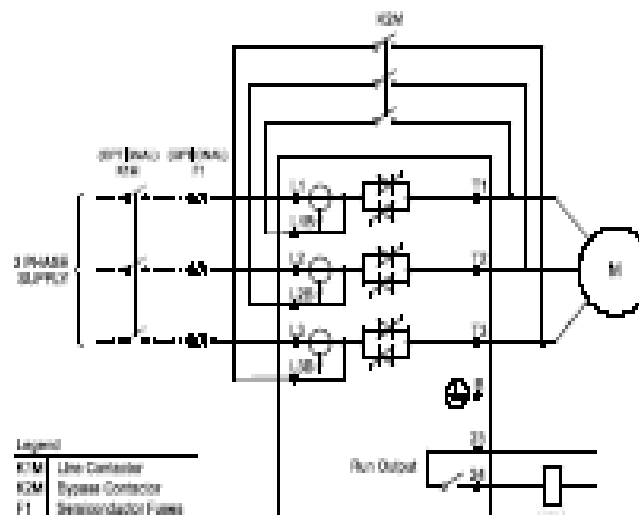
Αυτή είναι η πιο συνηθής αλλά και πιο απλή συνδεσμολογία . Η παροχή ισχύος συνδέεται στους ακροδέκτες L1, L2 και L3, ενώ ο κινητήρας, που είναι ήδη συνδεδεμένος κατά Δ ή Y (ανάλογα με τις προδιαγραφές του), στους ακροδέκτες T1, T2 και T3. Η χρήση ηλεκτρονόμου ή ασφαλειών υπερταχίας είναι προαιρετική.



Συνδεσμολογία 3 καλωδίων με Bypass

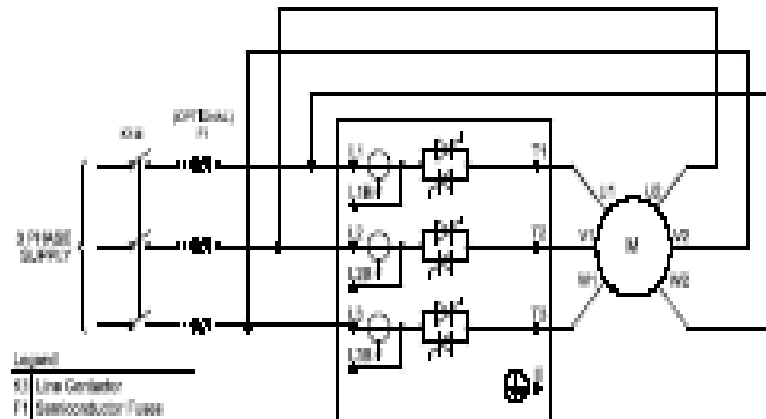
Οι Ομολοί Εκκίνητες της σειράς IM82 μπορούν να παρακαμφθούν (Bypassed) μέσω ηλεκτρονόμου μετά την ολοκλήρωση της εκκίνησης του κινητήρα. Οι ειδικοί ακροδέκτες L1B, L2B και L3B πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση του ηλεκτρονόμου παράκαμψης (Bypass) προκειμένου η προστασία του ηλεκτροκινητήρα να παραμείνει ενεργή ακόμη και μετά την παράκαμψη του Ομολού Εκκινήτη.

Η ψηφιακή έξοδος Run (ακροδέκτες 23 & 24) πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου παράκαμψης. Ο ηλεκτρονόμος παράκαμψης μπορεί να επιλεγεί ως AC1 βάση του ονομαστικού ρεύματος του ηλεκτροκινητήρα.

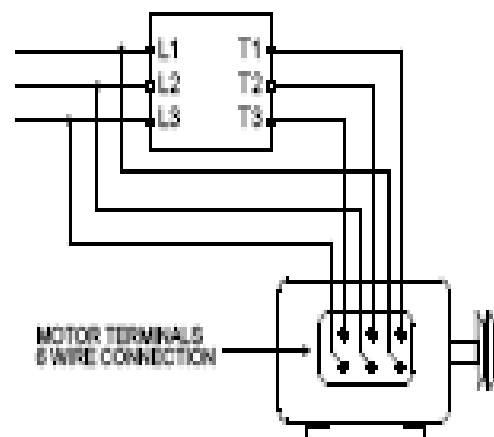


Συνδεσμολογία 6 καλωδίων

Οι Ομαλοί Εκκινητές της σειράς IM92 μπορούν να συνδεθούν με τον κινητήρα σε συνδεσμολογία 6 καλωδίων (μέσα στο Δ). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ο Ομαλός Εκκινητής δεν διαρρέεται από το ονομαστικό ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα (ρεύμα γραμμής) αλλά μόνο από το 58% αυτού. Έτσι ο Ομαλός Εκκινητής μπορεί να ελέγξει κινητήρα 70% μεγαλύτερο από αυτόν που μπορεί να ελέγξει με τη συνηθή συνδεσμολογία των 3 καλωδίων. Η χρήση αυτής της δυνατότητας μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους.



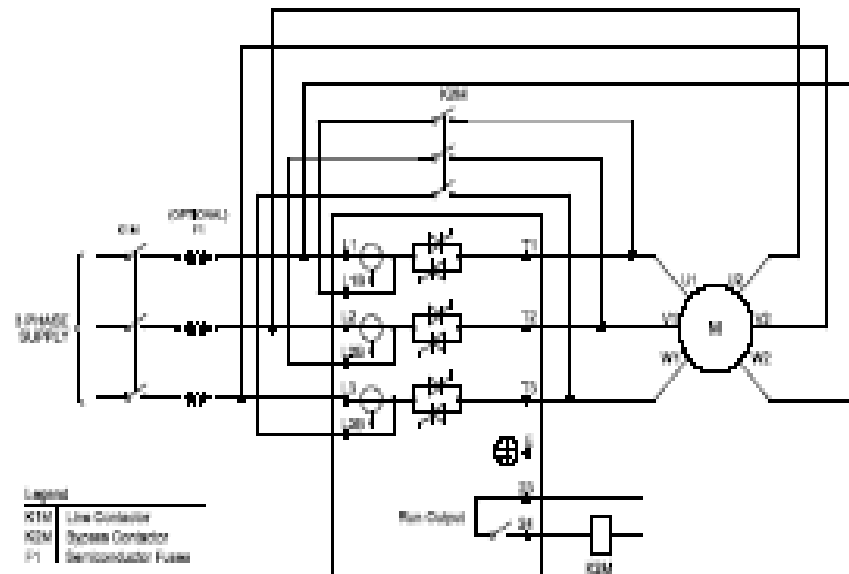
Με τον τρόπο που φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα, συνδέστε τη μία άκρη (πλευρά) των τυλιγμάτων στους ακροδέκτες T1, T2 και T3 και την άλλη άκρη (πλευρά) των τυλιγμάτων στους ακροδέκτες L1, L2 και L3. Είναι σημαντικό όλες οι άκρες των τυλιγμάτων που θα συνδεθούν στους ακροδέκτες T1, T2 και T3 να είναι από την ίδια πλευρά (όλες αρχές ή όλες τέλη).



Συνήθως η διάταξη των ακροδεκτών στους ηλεκτροκινητήρες είναι σε δύο σειρές των τριών άκρων η κάθε μία, με τα άκρα του κάθε τυλιγματος να βρίσκονται σε διαγώνια θέση. Στην περίπτωση αυτή συνδέστε τον ηλεκτροκινητήρα με τον Ομαλό Εκκινητή όπως φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα.

Συνδεσμολογία 6 καλωδίων με Bypass

Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, και στην συνδεσμολογία των 6 καλωδίων ο Ομαλός Εκκίνητής μπορεί να παρακαμφθεί (Bypassed) από ηλεκτρονόμο μετά το πέρας της εκκίνησης .



Πυκνωτές διόρθωσης συνημιτόνου

Εάν υπάρχουν πυκνωτές διόρθωσης συνημιτόνου (ανπατάθμιση αεργού ισχύος) αυτοί πρέπει να εγκατασταθούν από την πλευρά της τροφοδοσίας του Ομαλού Εκκίνητής και όχι στον ηλεκτροκινητήρα.



Προσοχή:

Σε καμία περίπτωση οι πυκνωτές διόρθωσης συνημιτόνου δεν πρέπει να συνδεθούν στην έξοδο του Ομαλού Εκκίνητή (ακροδέκτες T1, T2 και T3). Κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή του Ομαλού Εκκίνητή αλλά και των πυκνωτών.

Γενικός ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας

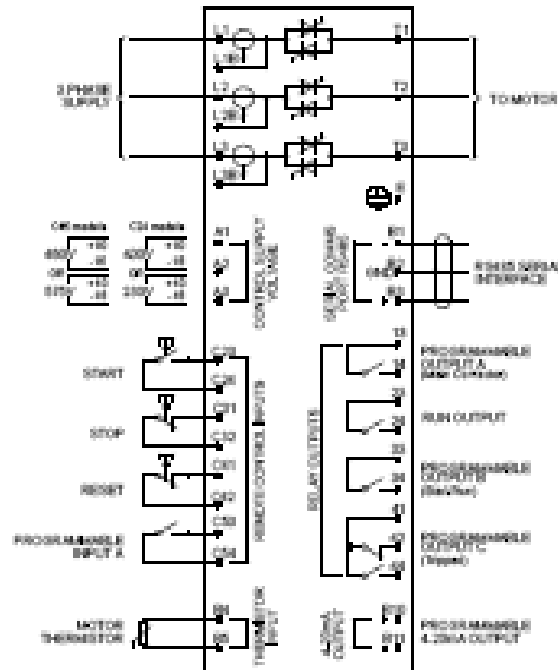
Οι Ομαλοί Εκκίνητές της σειράς IMB2 είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν με ή χωρίς ηλεκτρονόμο στην τροφοδοσία τους (ακροδέκτες L1, L2 και L3). Έτσι η χρήση γενικού ηλεκτρονόμου τροφοδοσίας (βλέπε K1M στα ανωτέρω σχήματα) καθίσταται προαιρετική. Βεβαίως η χρήση ενός τέτοιου ηλεκτρονόμου αυξάνει περαιτέρω την ασφάλεια τόσο του Ομαλού Εκκίνητή και του ηλεκτροκινητήρα όσο και του προσωπικού που χειρίζεται ή συντηρεί την εκάστοτε εφαρμογή.

Στην περίπτωση όμως που ο Ομαλός Εκκίνητής είναι συνδεδεμένος με τον ηλεκτροκινητήρα σε συνδεσμολογία 6 καλωδίων η χρήση γενικού ηλεκτρονόμου τροφοδοσίας είναι υποχρεωτική, αφού τα τρία από τα έξη άκρα του ηλεκτροκινητήρα είναι μόνιμω υπό τάση είτε ο κινητήρας λειτουργεί είτε είναι σταματημένος.

Η προγραμματιζόμενη ψηφιακή έξοδος A (ακροδέκτες 13 & 14) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση γενικού ηλεκτρονόμου τροφοδοσίας. Ο γενικός ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας πρέπει να επιλεγεί ως AC3 βάση της ονομαστικής ισχύος του ηλεκτροκινητήρα.

Συνδεσμολογίες Ελέγχου

Γενικό Σχέδιο



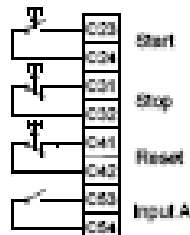
Βοηθητική Τάση Τροφοδοσίας

Προκειμένου το ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου αλλά και οι ανεμιστήρες ψύξης να λειτουργήσουν απαιτείται η τροφοδοσία του Ομαλού Εκκινήτη με μια επιπλέον τάση. Τροφοδοτήστε με τάση 230VAC τους ακροδέκτες A2-A3 ή με τάση 400VAC τους ακροδέκτες A1-A2. Η βοηθητική τάση τροφοδοσίας πρέπει να ασφαλιζεται με ασφάλειες των 2Amp.

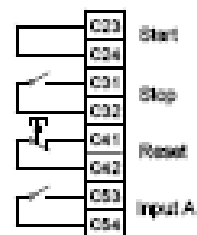
Ψηφιακές Είσοδοι

Με τους Ομαλούς Εκκινήτες της σειράς IMS2 μπορούμε να ελέγξουμε την λειτουργία του κινητήρα είτε μέσω του πληκτρολογίου τους (πλήκτρα «START» και «STOP») είτε μέσω των ψηφιακών εισόδων τους. Η επιλογή ανάμεσα σε αυτούς τους δύο τρόπους γίνεται με το πλήκτρο «LOCAL/REMOTE». Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα ο έλεγχος της λειτουργίας του κινητήρα από τις ψηφιακές εισόδους μπορεί να γίνεται είτε με δύο πλήκτρα (Start/Stop) είτε με μία επαφή (On/Off).

Πλήκτρα Start/Stop



Επαφή On/Off

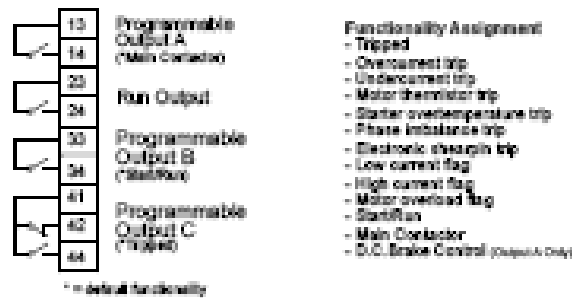


Προσοχή:

Σε όλους τους ανωτέρω ακροδέκτες χρησιμοποιήστε ψυχρές επαφές. Εάν δεν συνδέσετε πλήκτρα Reset γεφυρώστε το C41 με το C42. Πατήστε το πλήκτρο «LOCAL/REMOTE» ώστε η λειτουργία «REMOTE» να είναι αναμμένη.

Ψηφιακές Έξοδοι

Οι Ομαλοί Εκκινητές της σειράς IM32 διαθέτουν τέσσερις ψηφιακές εξόδους, τρεις από τις οποίες (η A, η B και η C) είναι προγραμματιζόμενες και μπορούν να εκτελέσουν και άλλες λειτουργίες πέραν από αυτές που περιγράφονται εδώ.



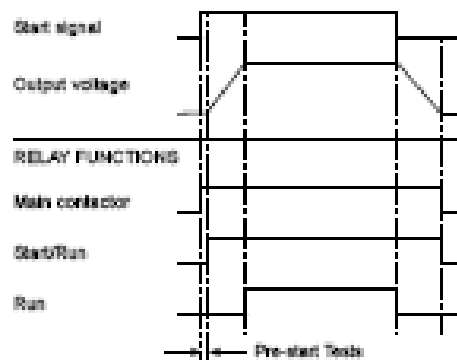
Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα όταν ο Ομαλός Εκκινητής πάρει εντολή για να εκκινήσει τον κινητήρα αμέσως ενεργοποιεί την επαφή 13-14 (ψηφιακή έξοδος A). Έτσι η επαφή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση του γενικού ηλεκτρονόμου τροφοδοσίας.

Στη συνέχεια και αφού η συνδεσμολογία και η τροφοδοσία του Ομαλού Εκκινητή έχουν ελεγχθεί, ξεκινάει η διαδικασία εκκίνησης του κινητήρα και η επαφή 33-34 (ψηφιακή έξοδος B) ενεργοποιείται. Έτσι η επαφή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση κάποιας λυχνίας ένδειξης λειτουργίας του κινητήρα.

Όταν πλέον η εκκίνηση του κινητήρα έχει ολοκληρωθεί ενεργοποιείται και η επαφή 23-24 (ψηφιακή έξοδος RUN). Έτσι η επαφή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου παράκαμψης (Bypass).

Μόλις ο Ομαλός Εκκινητής πάρει εντολή για να σταματήσει τον κινητήρα αμέσως απενεργοποιεί την επαφή 23-24 (ψηφιακή έξοδος RUN) και όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία του ομαλού σταματήματος απενεργοποιεί την επαφή 33-34 (ψηφιακή έξοδος B) και την επαφή 13-14 (ψηφιακή έξοδος A).

Τέλος σε περίπτωση σφάλματος κατά την λειτουργία οι επαφές 41-42 και 41-44 (ψηφιακή έξοδος C) αλλάζουν κατάσταση. Έτσι οι επαφές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργοποίηση κάποιας λυχνίας ένδειξης σφάλματος.



Είσοδος Θερμίσταρ

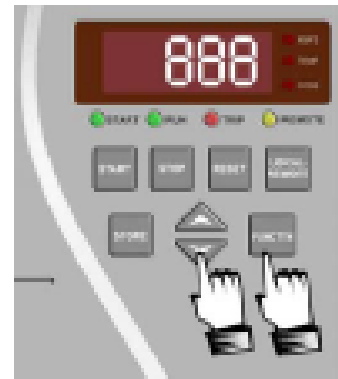
Οι ακροδέκτες B4 και B5 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απευθείας σύνδεση των θερμίσταρ (PTC) του κινητήρα χωρίς να απαιτείται πρόσθετος ειδικός ηλεκτρονόμος. Ο Ομαλός Εκκινητής διακόπτει την λειτουργία του κινητήρα εάν η αντίσταση των θερμίσταρ γίνει μεγαλύτερη από 2,8kΩ και δεν επιτρέπει την επανεκκίνηση του κινητήρα μέχρι η αντίσταση τους να ζαναγίνει μικρότερη των 2,8kΩ. Σε περίπτωση που ο ελεγχόμενος ηλεκτροκινητήρας δεν διαθέτει θερμίσταρ γεφυρώστε τους ακροδέκτες B4 και B5.

Προγραμματισμός & Λειτουργία

Διαδικασία Προγραμματισμού

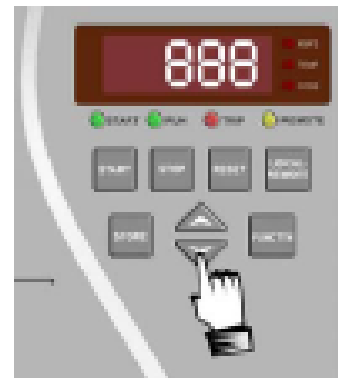
Βήμα 1. Είσοδος στον κατάλογο των παραμέτρων και επιλογή της επιθυμητής παραμέτρου.

1. Πατήστε και κρατήστε πατημένο το πλήκτρο «FUNCTION».
2. Έχοντας πατημένο το πλήκτρο «FUNCTION» χρησιμοποιείτε τα πλήκτρα «←» και «→» προκειμένου να οδηγηθείτε στην επιθυμητή παράμετρο.
3. Φθάνοντας στη επιθυμητή παράμετρο αφήστε το πλήκτρο «FUNCTION». Στην οθόνη εμφανίζεται η τρέχουσα τιμή της παραμέτρου.



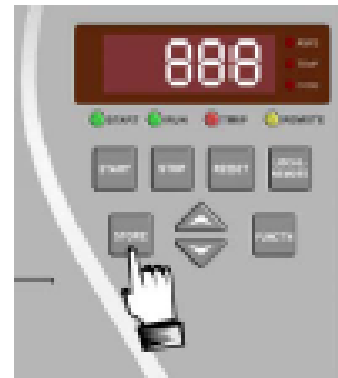
Βήμα 2. Αλλαγή της τιμής της παραμέτρου.

1. Χρησιμοποιείτε τα πλήκτρα «←» και «→» προκειμένου να αυξήσετε ή να μειώσετε αντίστοιχα την τιμή της παραμέτρου. Εάν θέλετε να ακυρώσετε την αλλαγή που μόλις κάνατε πατήστε το πλήκτρο «FUNCTION» μία φορά και η τιμή της παραμέτρου θα επιστρέψει στην προηγούμενη της τιμή.



Βήμα 3. Αποθήκευση της νέας τιμής.

1. Πατήστε το πλήκτρο «STORE» προκειμένου η νέα τιμή να αποθηκευτεί μόνιμα στη μνήμη.
2. Επιβεβαιώστε ότι η νέα τιμή αποθηκεύτηκε στη μνήμη πατώντας το πλήκτρο «FUNCTION» μία φορά. Στην οθόνη θα πρέπει να παραμείνει η νέα τιμή.



Βήμα 4. Έξοδος από τον κατάλογο των παραμέτρων.

1. Για να εξέλθετε από τον κατάλογο των παραμέτρων κρατήστε πατημένο το πλήκτρο «FUNCTION» και χρησιμοποιώντας το πλήκτρο «←» οδηγηθείτε στη Παράμετρο 0.

Σημείωση :

Όσο βρίσκεστε μέσα στον κατάλογο των παραμέτρων ο Όμαλος Εκκινήτης δεν μπορεί να εκκινήσει τον κινητήρα και το αντίστροφο.



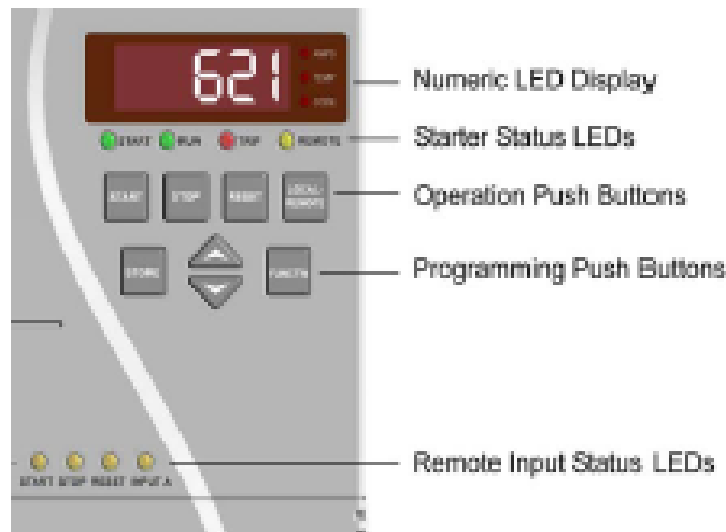
Κατάλογος Παραμέτρων

No.	Περιγραφή	Αρχικός Ρυθμιστής	Μονάδες	Τελικός Ρυθμιστής
Πρωτεύων Κινητήρας				
1	Ονομαστικό Ρεύμα	-	A	
2	Ρεύμα Εκκίνησης	350	%	
3	Αρχικό Ρεύμα Εκκίνησης	350	%	
4	Ρύθμα Ρεύματος Εκκίνησης	1	Sec	
5	Ρύθμα Ομαλού Σταματήματος	0	Sec	
6	Επιλογή Καμπύλης Θερμικού	10	Sec	
7	Ανοχή Επιτηρητή Τάσης	5	-	
8	Προστασία από Χαμηλό Ρεύμα	20	%	
9	Χροιά Διακοπή Υπερέντασης	400	%	
Ειδικές Λειτουργίες				
10	Εκκίνηση με Έλεγχο Ροής	0	0-1	
11	Ενεργοποίηση «Kickstart»	0	0-1	
12	Ομαλό Σταμάτημα για Αντλίες	0	0-1	
13	Χρόνος Αυτόματης Διακοπής	0	min	
14	Διάρκεια Πέδησης με DC Τάση	0	Sec	
15	Ροπή Πέδησης με DC Τάση	30	%	
Ψηφιακές Εισόδαι & Εξόδαι				
20	Επιλογή Local/Remote	0	-	
21	Λειτουργία ψηφιακής Εξόδου Α	11	-	
22	Λειτουργία ψηφιακής Εξόδου Β	10	-	
23	Λειτουργία ψηφιακής Εξόδου C	0	-	
24	Λειτουργία ψηφιακής Εισόδου Α	0	-	
Προστασίες				
30	Μέγιστη Διάρκεια Εκκίνησης	20	Sec	
31	Διαδοχή των Φάσεων	0	-	
32	Χρόνος Μεταξύ Εκκινήσεων	1	Sec	
33	Απενεργοποίηση Επιτηρητή Τάσης	0	0-1	
34	Απενεργοποίηση Θερμίσταρ	0	0-1	
35	Απενεργοποίηση Υπερθέρμανσης	0	0-1	
36	Εισόδος Εξωτερικού Σφάλματος	0	-	
Σήματα Προειδοποίησης				
40	Χαμηλού Ρεύματος	50	%	
41	Υψηλού Ρεύματος	105	%	
42	Υπερθέρμανσης Κινητήρα	80	%	
43	Ρύθμιση Αισθητήρων Ρεύματος	100	%	
Αναλογική Έξοδος (4-20mA)				
50	Επιλογή Ένδειξης	0	0-1	
51	Τιμή που αντιστοιχεί στα 20mA	100	%	
52	Τιμή που αντιστοιχεί στα 4mA	0	%	
Σειριακή Επικοινωνία (RS485)				
60	Μέγιστος Χρόνος Αναμονής	0	Sec	
61	Ταχύτητα	4	-	
62	Αριθμός Ομαλού Εκκινήτη	20	-	
Αυτόματα Επανεκκίνηση				
70	Ενεργοποίηση	0	-	
71	Αριθμός Επανεκκινήσεων	1	-	
72	Χρόνος Καθυστέρησης (A & B)	5	Sec	
73	Χρόνος Καθυστέρησης (C)	5	Min	
Δευτερεύων Κινητήρας				
80	Ονομαστικό Ρεύμα	-	A	
81	Ρεύμα Εκκίνησης	350	%	
82	Αρχικό Ρεύμα Εκκίνησης	350	%	
83	Ρύθμα Ρεύματος Εκκίνησης	1	Sec	
84	Ρύθμα Ομαλού Σταματήματος	0	Sec	
85	Επιλογή Καμπύλης Θερμικού	10	Sec	
86	Ευστάθεια Επιτηρητή Τάσης	5	-	
87	Προστασία από Χαμηλό Ρεύμα	20	%	
88	Χροιά Διακοπή Υπερέντασης	400	%	
Καθυστέρηση Προστασιών				
90	Επιτηρητή Τάσης	3	Sec	
91	Χαμηλού Ρεύματος	5	Sec	
92	Χροιά Διακοπή Υπερέντασης	0	Sec	
93	Συχνότητα Δικτύου	0	Sec	
94	Εξωτερικού Σφάλματος	0	Sec	
Στατιστικά				
100	Τύπος Ομαλού Εκκινήτη	-	-	
101	Πλήθος Εκκινήσεων (X 1000)	-	-	
102	Πλήθος Εκκινήσεων (X 1)	-	-	
103	Ιστορικό Σφαλμάτων	-	-	
Κλειδωμένες Παραμέτροι				
110	Κωδικός Πρόσβασης	0	-	
111	Αλλαγή Κωδικού Πρόσβασης	0	-	
112	Κλειδί Παραμέτρων	0	-	
113	Αρχικός Ρυθμιστής	0	-	
114	Λειτουργία σε Έκτακτη Ανάγκη	0	-	
115	Λειτουργία Εξόδου Σφάλματος	0	-	
116	Υπερένταση Θερμικού Μοντέλου	-	-	
117	Πλήθος Υπερέντασης	-	-	
Στοιχεία Εφαρμογής				
Μοντέλο Ομαλού Εκκινήτη				
Αριθμός Σειράς				
Συνδεσμολογία				
I 3 Καλωδίων				
I 8 Καλωδίων				
I Με Βύρα				
Ονομαστικό Ρεύμα Κινητήρα				
Από				
Ονομαστική Ισχύς Κινητήρα				
kW				
Είδος Φορτίου				
Ρεύμα Εκκίνησης				
% FLC				
Διάρκεια Εκκίνησης				
sec				
Εκκινήσεις ανά Ώρα				
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος				
°C				
Στοιχεία Πελάτη / Εφαρμογής				

Λειτουργία

Εκτός από τον προγραμματισμό το ψηφιακό χειριστήριο μπορεί να εκτελέσει και να παρέχει ένα πλήθος λειτουργιών και ενδείξεων κατά τη λειτουργία.

Ψηφιακό Χειριστήριο.



- Ψηφιακή Οθόνη:**
Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα μπορούμε στην οθόνη να βλέπουμε το ρεύμα ή την θερμοκρασιακή κατάσταση του ηλεκτροκινητήρα (% - βάση μαθηματικού μοντέλου που διαθέτει ο Ομαλός Εκκινητής). Με τα πλήκτρα «←» και «→» μπορούμε να επιλέξουμε μια από αυτές τις ενδείξεις.
- Ενδεικτικές Λυχνίες (LEDs) Κατάστασης:**
Κάτω ακριβώς από την ψηφιακή οθόνη υπάρχουν τέσσερις ενδεικτικές λυχνίες οι οποίες ενημερώνουν για την κατάσταση του Ομαλού Εκκινητή και του κινητήρα.
Start: Ο ηλεκτροκινητήρας βρίσκεται υπό τάση.
Run: Η εκκίνηση έχει ολοκληρωθεί και ο κινητήρας λειτουργεί υπό πλήρη τάση.
Trip: Η λειτουργία έχει διακοπεί λόγω σφάλματος.
Remote: Ο έλεγχος γίνεται από τις ψηφιακές εισόδους (C23-24, C31-32 κλπ.).
- Πλήκτρα Λόγιο:**
Εκτός από τα πλήκτρα προγραμματισμού «FUNCTION», «←», «→» και «STORE», υπάρχουν και τρία πλήκτρα λειτουργίας «START» «STOP» και «RESET». Από τα πλήκτρα αυτά μπορεί να ελέγχεται τοπικά η λειτουργία του κινητήρα όταν δεν χρησιμοποιούνται οι ψηφιακές εισόδου του Ομαλού Εκκινητή (απομακρυσμένος έλεγχος). Η επιλογή μεταξύ του τοπικού και του απομακρυσμένου ελέγχου γίνεται με το πλήκτρο «LOCAL/REMOTE».



Σημείωση:

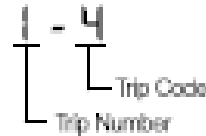
Πατώντας ταυτόχρονα τα πλήκτρα «STOP» και «RESET» η τροφοδοσία του κινητήρα με τάση διακόπτεται ακαριαία (λειτουργία Emergency Stop).

- Ενδεικτικές Λυχνίες Κατάστασης Ψηφιακών Εισόδων :**
Στο κάτω αριστερό τμήμα της πρόσοψης του Ομαλού Εκκινητή υπάρχουν τέσσερις ενδεικτικές λυχνίες οι οποίες ενημερώνουν για την κατάσταση των Ψηφιακών Εισόδων. Όταν κάποια από αυτές τις λυχνίες είναι αναμμένη σημαίνει πως η αντίστοιχη Ψηφιακή Εισόδος έχει ενεργοποιηθεί (on).

Σφάλματα

Κωδικοί Σφαλμάτων

Όταν η λειτουργία του Ομαλού Εκκινήτη διακόπτεται λόγω σφάλματος, στην οθόνη εμφανίζονται δύο αριθμοί. Ο πρώτος είναι πάντα «1» υποδηλώνοντας ότι αυτό είναι το τελευταίο (πιο πρόσφατο) σφάλμα που έχει συμβεί και ο δεύτερος είναι ο κωδικός του σφάλματος. Ανάλογα με το είδος του σφάλματος υπάρχουν και οι ακόλουθοι κωδικοί.



Κωδικός	Περιγραφή
0	Βραχυκυκλωμένο Στοιχείο Ισχύος (Θερμίστορ) 1. Επικοινωνήστε με τον προμηθευτή σας.
1	Υπερβολικά Μεγάλος Χρόνος Εκκίνησης Ο χρόνος εκκίνησης έχει υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπτή διάρκεια εκκίνησης που έχει οριστεί στην παράμετρο Νο30. 1. Βεβαιωθείτε ότι τα φορτία του κινητήρα δεν είναι υπερβολικά. 2. Αυξήστε το ρεύμα εκκίνησης (Παράμετρος Νο2). 3. Αυξήστε την μέγιστη επιτρεπτή διάρκεια εκκίνησης (Παράμετρος Νο30).
2	Υπερφόρτιση – Υπερθέρμανση Κινητήρα (Θερμικό) Ο κινητήρας έχει υπερφορτιστεί – υπερθερμανθεί λόγω υπερβολικού φορτίου ή υπερβολικά μεγάλου χρόνου ή πλήθους εκκινήσεων. 1. Διαρθρώστε την αιτία που προκάλεσε την υπερφόρτιση και αφήστε τον κινητήρα να κρυώσει πριν τον επανεκκινήσετε.
3	Θερμίστορ (F1α) Κινητήρα Ο κινητήρας έχει υπερθερμανθεί, σύμφωνα με το θερμίστορ του, που είναι συνδεδεμένο στους ακροδέκτες B4 και B5 του Ομαλού Εκκινήτη. 1. Διαρθρώστε την αιτία που προκάλεσε την υπερθέρμανση και αφήστε τον κινητήρα να κρυώσει πριν τον επανεκκινήσετε. 2. Εάν ο κινητήρας δεν διαθέτει θερμίστορ γεφυρώστε τους ακροδέκτες B4 και B5 του Ομαλού Εκκινήτη. 3. Ρυθμίζοντας την παράμετρο Νο34 σε «1» μπορούμε να απενεργοποιήσουμε την προστασία αυτή διακινδυνεύοντας όμως τον κινητήρα. Για το λόγο αυτό η λύση αυτή πρέπει να δίνεται μόνο σε περίπτωση ανάγκης.
4	Επιτηρητής Τάσης και Έντασης Ο επιτηρητής τάσης και έντασης του Ομαλού Εκκινήτη διέγνωσε σφάλμα. 1. Ελέγξτε την τάση τροφοδοσίας. 2. Ελέγξτε τα τυλίγματα του κινητήρα. 3. Αυξήστε τις ανοχές του επιτηρητή τάσης (Παράμετρος Νο7). 4. Ρυθμίζοντας την παράμετρο Νο33 σε «1» μπορούμε να απενεργοποιήσουμε την προστασία αυτή διακινδυνεύοντας όμως τον κινητήρα. Για το λόγο αυτό η λύση αυτή πρέπει να δίνεται μόνο σε περίπτωση ανάγκης.

Κωδικός	Περιγραφή
5	<p>Συχνότητα Δικτύου Η συχνότητα του δικτύου (Hz) είναι εκτός των επιτρεπών ορίων.</p> <ol style="list-style-type: none"> Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες ισχύος L1, L2 και L3 του Ομαλού Εκκινήτη τροφοδοτούνται με τάση όταν δίνεται η εντολή για την εκκίνηση του κινητήρα. Ελέγξτε την συχνότητα και διορθώστε τυχόν πρόβλημα. Εάν η συχνότητα του δικτύου βρίσκεται εκτός ορίων στιγμιαία προκαλώντας αυτό το σφάλμα, μπορείτε να επιλύσετε το πρόβλημα εισάγοντας μία χρονοκαθυστερήση στην ενεργοποίηση αυτής της προστασίας. Αυτό γίνεται μέσω της παραμέτρου Νο93, όπου η καθυστέρηση δίνεται σε sec.
6	<p>Διαδοχή Φάσεων Η διαδοχή των φάσεων δεν είναι η επιθυμητή. Η επιθυμητή διαδοχή των φάσεων καθορίζεται μέσω της παραμέτρου Νο31(0: ορθή ή ανάστροφη, 1: μόνο ορθή, 2: μόνο ανάστροφη).</p> <ol style="list-style-type: none"> Αλλάξτε δύο φάσεις μεταξύ τους από την τροφοδοσία.
7	<p>Άμεση Διακοπή Υπερέντασης (Μαγνητική Προστασία) Το όριο της υπέρεντασης έχει υπερβεί το μέγιστο επιτρεπτό (Παράμετρος Νο9) προκαλώντας την άμεση διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα.</p> <ol style="list-style-type: none"> Εντοπίστε την αιτία της υπέρεντασης (κινητήρας, φορτίο, ρυθμίσεις εκκίνησης) και διορθώστε την.
8	<p>Συνδεσμολογία Ισχύος Ο Ομαλός Εκκινήτης έχει εντοπίσει κάποιο σφάλμα στην συνδεσμολογία ισχύος.</p> <ol style="list-style-type: none"> Βεβαιωθείτε ότι οι ακροδέκτες ισχύος L1, L2 και L3 του Ομαλού Εκκινήτη τροφοδοτούνται με τάση όταν δίνεται η εντολή για την εκκίνηση του κινητήρα.. Ελέγξτε τη συνδεσμολογία μεταξύ κινητήρα και Ομαλού Εκκινήτη. Ελέγξτε τα τυλίγματα του κινητήρα.
9	<p>Υπερβολικά Χαμηλό Ρεύμα Το ρεύμα του κινητήρα είναι μικρότερο από αυτό που έχει οριστεί για την προστασία από Χαμηλό Ρεύμα (Παράμετρος Νο8). Η προστασία αυτή είναι αρκετά χρήσιμη για εφαρμογές αντλιών, διότι εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ρεύματος από τον κινητήρα μπορεί να σημαίνει λειτουργία της αντλίας «en zhrów».</p> <ol style="list-style-type: none"> Εντοπίστε την αιτία του προβλήματος και διορθώστε τη.
J	<p>Βοηθητική Είσοδος Εξωτερικού Σφάλματος Η προγραμματιζόμενη ψηφιακή είσοδος A, που η λειτουργία της έχει προγραμματιστεί για εξωτερικό σφάλμα (Παράμετρος Νο24=1 για NO ή =2 για NC), έχει ενεργοποιηθεί.</p> <ol style="list-style-type: none"> Εντοπίστε την αιτία του εξωτερικού σφάλματος και διορθώστε τη.
P	<p>Συνδεσμολογία Ηλεκτροκινητήρα Ο Ομαλός Εκκινήτης έχει διαγνώσει σφάλμα στη συνδεσμολογία του ηλεκτροκινητήρα.</p> <ol style="list-style-type: none"> Ελέγξτε τη συνδεσμολογία του κινητήρα ανατρέχοντας στο κεφάλαιο Συνδεσμολογίες Ισχύος.

Κωδικός	Περιγραφή
F	<p>Υπερθέρμανση Ομαλού Εκκινήτη Ο Ομαλός Εκκινήτης έχει υπερθερμανθεί.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Βεβαιωθείτε ότι η κυκλοφορία του αέρα είναι επαρκής και δεν εμποδίζεται από άλλα αντικείμενα. 2. Βεβαιωθείτε ότι οι αναμιστήρες ψύξης του Ομαλού Εκκινήτη (εάν διαθέτει) λειτουργούν κανονικά. 3. Βεβαιωθείτε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι εντός των επιτρεπτών ορίων. 4. Διαρρώστε την αιτία που προκάλεσε την υπερθέρμανση και αφήστε τον Ομαλό Εκκινήτη να κρυώσει πριν τον επανεκκινήσετε. 5. Ρυθμίζοντας την παράμετρο No35 σε «1» μπορούμε να απενεργοποιήσουμε την προστασία αυτή διακινδυνεύοντας όμως τον Ομαλό Εκκινήτη. Για το λόγο αυτό η λύση αυτή πρέπει να δίνεται μόνο σε περίπτωση ανάγκης.
C	<p>Σειριακή επικοινωνία (RS485) Η σειριακή επικοινωνία τύπου RS485 έχει μείνει ανεναργή για περισσότερο χρόνο από αυτόν που έχει οριστεί στην παράμετρο No60 (Μέγιστος Χρόνος Αναμονής).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ελέγξτε την καλωδίωση της σειριακής επικοινωνίας.
E	<p>Ανάγνωση / Εγγραφή μνήμης EEPROM Έχει εντοπιστεί πρόβλημα κατά την ανάγνωση ή κατά τη εγγραφή στην εσωτερική μνήμη τύπου EEPROM του Ομαλού Εκκινήτη.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Επικοινωνήστε με τον προμηθευτή σας.
L	<p>Υπερβολικά υψηλό ονομαστικό ρεύμα κινητήρα Το ονομαστικό ρεύμα του ηλεκτροκινητήρα που έχει οριστεί στη παράμετρο No1 (ή για τον δευτερεύοντα κινητήρα στη παράμετρο No80) είναι υπερβολικά υψηλό για το συγκεκριμένο Ομαλό Εκκινήτη.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ελέγξτε ότι οι παράμετροι No1 και No80 είναι σωστά προγραμματισμένες και σύμφωνα με το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα. 2. Συνδέστε τον Ομαλό Εκκινήτη με τον κινητήρα σε συνδεσμολογία εξη καλωδίων. 3. Επιλέξτε μεγαλύτερο Ομαλό Εκκινήτη.
H	<p>Ακατάλληλη κάρτα ελέγχου. Η κάρτα ελέγχου που βρίσκεται στο εσωτερικό του Ομαλού Εκκινήτη δεν είναι κατάλληλη για το συγκεκριμένο τύπο ή έχει πρόβλημα.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Επικοινωνήστε με τον προμηθευτή σας.
U	<p>Σφάλμα μικροεπεξεργαστή Ο μικροεπεξεργαστής που βρίσκεται στο εσωτερικό του Ομαλού Εκκινήτη έχει παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Επικοινωνήστε με τον προμηθευτή σας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ασπράγκαθος, Νίκος (2013), *Ηλεκτροτεχνία και Ηλεκτρικές Μηχανές*, Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.robotics.mech.upatras.gr/files/TomosB.pdf> , τελευταία πρόσβαση στις 13/12/2017.
- Βαλιάδης (2015), *Ελληνικοί Ηλεκτροκινητήρες, Ρυθμιστές Στροφών LG*, <https://www.electricalab.gr/> Αθήνα.
- Ιστορία του Ηλεκτρισμού Blog (18 Μαρτίου, 2004), http://www.edume.myds.me/60_2004_0003_teaching_targets_archive/10162/10162.pdf, τελευταία πρόσβαση 15/12/2017.
- Κονταράτος Ιάκωβος, *Πίνακες Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος*, <https://www.kontaratos.gr/kontaratos-techniki-etairia-zakynthos-patraypiresies/eksoikonomisi-energeias/pinakes-antistathmisis-energeias/> τελευταία πρόσβαση 15/12/2017.
- Μπιτζιώνης, Βασίλειος (2015), *Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις: Κίνηση, Αυτοματισμός, Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας, Υποσταθμοί*. Αθήνα: Τζιόλα
- Ντοκόπουλος, Πέτρος (2005), *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών*. Αθήνα: Ζήτη.
- Chapman Stephen (2001), *Ηλεκτρικές Μηχανές AC/DC*. Αθήνα: Τζιόλα
- Electrical Engineering Blog (November 24, 2013), Soft Starter of Squirrel Cage Rotor Induction Motor, <http://eblogbd.com/soft-starter-squirrel-cage-rotor-induction-motor/> , τελευταία πρόσβαση 15/12/2017.
- Electronics Projects Focus Blog (September 23, 2013), Soft Starter – Principle and Working, <https://www.elprocus.com/soft-starter-principle-working/> τελευταία πρόσβαση 15/12/2017.