

ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΤΖΕΝΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : 1476



ΓΟΥΣΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΔΟΥΣΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΠΕΛΛΟΥ

ΠΑΤΡΑ 2016

Περίληψη

Τεχνική Ατζέντα Ηλεκτροκινητήρων

Οι ηλεκτρικές μηχανές αποτελούν τις βασικότερες διατάξεις για την παραγωγή, μετατροπή και αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σαν κινητήρες βρίσκουν εφαρμογή στα κυριότερα τμήματα της βιομηχανικής παραγωγής, αλλά και της καθημερινής μας ζωής.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των βασικών τομέων της οικονομίας (πχ μεταποιητικού, αγροτικού) Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις ανάγκες ο ηλεκτρικός κινητήρας πρέπει να επιλέγεται, να τοποθετείται και να λειτουργεί «σωστά». Για αυτό και η γνώση της «διαχείρισης» των ηλεκτρικών μηχανών, που αποτελεί αντικείμενο της εργασίας αυτής, κρίνεται σημαντική για την αποδοτικότητα της κάθε εφαρμογής.

Abstract

Technical Agenda-electrical motors

The electric motors are the basic provisions for the production, conversion and utilization of electricity. As engines find application in the main segments of industrial production, but also in our daily life.

The Electric motors play an important role in the development of key economic sectors (eg manufacturing, rural). In each case, depending on the electric motor needs to be selected, placed and operated "correctly". That is why the knowledge of the "management" of the electrical machine, which is the subject of this work, it is important for the efficiency of each application.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε τα έτη 2015-2016 υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας Κα Γεωργίας Μπέλλου. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι να γίνει μία προσπάθεια ώστε να προσφέρουμε σε όλους τους τεχνικούς ένα εύχρηστο και έγκυρο βοήθημα με όλες τις χρήσιμες πληροφορίες πάνω σε θέματα ηλεκτρικών μηχανών. Η ανάπτυξη αφορά κυρίως τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών σαν κινητήρες, δηλαδή περιστρεφόμενα μηχανήματα που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική με τη βοήθεια του μαγνητικού πεδίου.

Foreword

In this work an attempt is made to offer all our technicians a practical and valid tool with all useful information on electrical machinery issues. The growth mainly relates to the operation of electrical machines like engines, ie rotating machines that convert electrical energy into mechanical by means of the magnetic field.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Κα Γεωργία Μπέλλου, καθηγήτρια του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πάτρας για την ανάθεση αυτής της εργασίας , τις χρήσιμες συμβουλές που μας παρείχε για την δημιουργία και τη βελτίωση της.

©2016 - All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	1
ΠΡΟΤΥΠΑ – ΣΥΜΒΟΛΑ– ΜΕΓΕΘΗ	1
1.1 Διεθνείς Κανονισμοί.....	1
1.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ	3
1.3 Πρότυπα IEC που ακολουθούν οι μηχανές	3
1.4 Σήμανση Προστασίας.....	4
1.5 Βασικά Ηλεκτρικά και Μηχανικά Μεγέθη	7
1.6 Βασικά Σύμβολα Ηλεκτρολογικής Σχεδίασης	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	11
ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	11
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	11
2.2 Ορισμός	12
2.2.1 Βασικοί νόμοι	12
2.3 Αρχή Λειτουργίας	14
2.3.1 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC).....	14
2.3.2 Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC)	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	16
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	16
3.1 Γενικά.....	16
3.2 Περιβαλλοντικές Συνθήκες	16
3.2.1 Θερμοκρασία.....	16
3.2.2 Υψόμετρο Εγκατάστασης	16
3.2.3 Περιβάλλουσα Ατμόσφαιρα.....	17
3.2.4 Θέση Εγκατάστασης.....	17
3.3 Ηλεκτρική Τροφοδοσία	17
3.3.1 Τύπος και Συμμετρία Τάσεων	18
3.3.2 Μεταβολές της Τάσεως κατά την Λειτουργία	19
3.3.3 Εξοπλισμός Σύνδεσης και Προστασίας	20
3.4 Κατασκευαστικές φόρμες –έδραση άξονα	20
3.4.1 Κατασκευαστική Φόρμα Οριζόντιας Τοποθέτησης	21
3.4.2 Κατασκευαστική Φόρμα Κάθετης Τοποθέτησης	22
3.4.3 Συμβολισμοί και Αντιστοίχιση	23
3.4.4 Περίβλημα	24
3.4.5 Συμβολισμός Προστασίας	24
3.4.6 Οπές Διαφυγής Συμπυκνωμάτων	25
3.4.7 Εξωτερικοί Ανεμιστήρες	25

3.4.8 Κλάση Μόνωσης	25
3.4.9 Βάρος	27
3.5 Ψύξη	27
3.5.1 Τρόποι ψύξης ηλεκτρικών μηχανών	30
3.6 Είδη Λειτουργίας	31
3.7 Δοκιμές	33
3.7.1 Δοκιμές Σειράς (routine tests).....	33
3.7.2 Δοκιμές Τύπου (type tests).....	33
3.8 Στοιχειά Προσδιορισμού.....	34
3.8.1 Πινακίδα	34
3.9 Διαχείριση	35
3.9.1 Έλεγχος Παραλαβής	35
3.9.2 Μεταφορά και Αποθήκευση.....	36
3.9.3 Ανύψωση	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	37
ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	37
4.1 Κριτήρια Ταξινόμησης	37
4.2 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC).....	37
4.2.1 Κινητήρες με Μόνιμους Μαγνήτες	38
4.2.2 Κινητήρες με Τύλιγμα Πεδίου	39
4.2.2.1 Ξένης Διέγερσης	39
4.2.2.2 Παράλληλης Διέγερσης	40
4.2.2.3 Διέγερσης Σειράς	41
4.2.3.4 Σύνθετης Διέγερσης	43
4.3 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC).....	45
4.3.1 Σύγχρονοι Κινητήρες	45
4.3.2 Ασύγχρονοι ή Επαγωγικοί Κινητήρες	48
4.4 Βηματικοί Κινητήρες	52
4.4.1 Βηματικός Κινητήρας Μονίμου Μαγνήτη	53
4.4.2 Βηματικός Κινητήρας Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίδρασης	53
4.4.3 Υβριδικός Βηματικός Κινητήρας	54
4.5 Σερβοκινητήρες	56
4.5.1 Σερβοκινητήρας Συνεχούς Ρεύματος	57
4.5.2 Σερβοκινητήρας Εναλλασσομένου Ρεύματος	58
4.6 Εφαρμογές.....	59
4.6.1 Ηλεκτροκινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	59
4.6.2 Ηλεκτροκινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	60
4.6.3 Βηματικοί Κινητήρες	60
4.6.4 Σερβοκινητήρες	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	63
ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	63
5.1 Δομή Συστήματος Ελέγχου	63
5.2 Τεχνικές Εκκίνησης	65
5.2.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	65
5.2.2 Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος	67
5.2.2.1 Τριφασικοί Σύγχρονοι Κινητήρες	67
5.2.2.2 Τριφασικοί AC Κινητήρες	68
5.2.2.3 Μονοφασικοί Κινητήρες	71
5.3 Τεχνικές Ελέγχου Ταχύτητας	73
5.3.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	73
5.3.2 Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος	75
5.3.2.1 Επαγωγικοί Κινητήρες	75
5.4 Τεχνικές Πέδησης	80
5.4.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	80
5.4.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος	81
5.5 Τεχνικές Αλλαγής Φοράς Περιστροφής	82
5.5.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	83
5.5.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	84
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	84
6.1 Απώλειες Ηλεκτρικών Κινητήρων	84
6.2 Ωφέλιμη Ισχύς και Βαθμός Απόδοσης Ηλεκτροκινητήρων	87
6.2.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος	87
6.2.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος	88
6.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας στους Ηλεκτρικούς Κινητήρες	90
6.3.1 Κατηγοριοποίηση	90
6.3.2 Πρότυπα	92
6.3.3 Ενέργειες Διεθνών Οργανισμών	97
6.4 Τρόποι Εξοικονόμησης Ενέργειας στους Ηλεκτροκινητήρες	100
6.4.1 Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε Επαγωγικούς Κινητήρες	100
6.4.2 Τεχνικές Μείωσης Απωλειών στα Διάφορα Μέρη του Κινητήρα	101
6.4.3 Έλεγχος λειτουργίας	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	103
ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	103
7.1 Έλεγχος Κατάστασης Ηλεκτροκινητήρων	103
7.1.1 Έλεγχος με την παράδοση	103
7.1.2 Έλεγχος προστασίας από σφάλματα δικτύου	103

7.1.3 Έλεγχος θεμελίωσης - σύνδεσης	104
7.1.4 Έλεγχος υγρασίας	104
7.1.5 Έλεγχος μηχανικής ζεύξης	104
7.1.6 Έλεγχος πριν την έναρξη λειτουργίας	105
7.1.7 Έλεγχος συνδεσμολογίας - φοράς περιστροφής - εκκίνησης -σταματήματος για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες	106
7.1.8 Έλεγχος του συλλέκτη	109
7.1.9 Έλεγχος των βοηθητικών συσκευών	109
7.2 Έλεγχος Λειτουργίας του Κινητήρα	109
7.2.1 Έλεγχος του κινητήρα σε λειτουργία χωρίς φορτίο	109
7.2.2 Έλεγχος του κινητήρα σε λειτουργία με φορτίο	110
7.2.3 Έλεγχοι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας	110
7.3 Λίπανση	111
7.3.1 Τρόποι λίπανσης	111
7.3.2 Λιπαντικά	112
7.4 Ανίχνευση Βλαβών	113
7.5 Ενδεικτικά Προγράμματα Συντήρησης Ηλεκτροκινητήρων	117
7.5.1 Συντήρηση κατά την λειτουργία	118
7.5.2 Καθαριότητα - Λίπανση	118
7.5.3 Συντήρηση ψηκτρών	119
7.5.4 Συντήρηση συλλέκτη και δακτυλιδιών	119
7.5.5 Συντήρηση των βοηθητικών συσκευών	119
7.5.6 Συντήρηση σε κατάσταση αναμονής	119
7.6 Χρονοδιάγραμμα Συντήρησης Μηχανών	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	123
ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΠΡΟΤΥΠΑ – ΣΥΜΒΟΛΑ– ΜΕΓΕΘΗ

1.1 Διεθνείς Κανονισμοί

Τα υλικά, οι συσκευές, οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται πρέπει να πληρούν κάποιες **τεχνικές προδιαγραφές** (technical specifications). Οι τεχνικές προδιαγραφές ως γνωστόν, είναι έντυπο που αναφέρει τα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας (π.χ. χαρακτηριστικά ποιότητας, επιδόσεις, χαρακτηριστικά ασφάλειας, διαστάσεις). Αντίστοιχα τα **πρότυπα**, λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία επιστημονικά δεδομένα του σχετικού τομέα, τις ανάγκες του καταναλωτή ή χρήστη και περιβάλλοντος (φυσικού ή τεχνητού), αλλά και τις απαιτήσεις του εμπορίου παρεμβαίνουν δραστικά στις τεχνικές προδιαγραφές των παραγωγών/παροχών εισάγοντας σ' αυτές εναρμονισμένα κριτήρια και κατευθύνσεις. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζονται προϊόντα και υπηρεσίες που χαρακτηρίζονται από σταθερότητα, ποιότητα και συμβατότητα. Για το σκοπό αυτό έχουν συνταχθεί από πολλές χώρες σχετικοί κανονισμοί - πρότυπα. Η διαδικασία μέσω της οποίας δημιουργούνται τα πρότυπα καλείται **τυποποίηση** και έχει σα στόχο την καθιέρωση κοινά αποδεκτών προδιαγεγραμμένων απαιτήσεων.

Διεθνώς υπάρχει η τάση όλα τα πρότυπα και οι προδιαγραφές να συμμορφώνονται με τις συστάσεις της Διεθνούς Ηλεκτρονικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission, **IEC**).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι κανονισμοί των διαφόρων χωρών συντονίζονται από σχετική επιτροπή, την **CENELEC** (Comite Europeenne de Normalisation Electrotechnique).

Για παράδειγμα το **εθνικό πρότυπο** (πρότυπο ΕΛΟΤ) έχει εκπονηθεί με συναίνεση όλων των ενδιαφερομένων-σε εθνική κλίμακα-και έχει εγκριθεί από αναγνωρισμένο **εθνικό οργανισμό τυποποίησης** (π.χ. ΕΛΟΤ). Το **ευρωπαϊκό πρότυπο** (EN, ETS κτλ.) έχει εκπονηθεί με συναίνεση όλων των ενδιαφερομένων-σε ευρωπαϊκή κλίμακα-και έχει εγκριθεί από μία από τις τρεις ευρωπαϊκές οργανώσεις τυποποίησης **CEN**, **CENELEC** ή **ETSI** με διακρατική ευρωπαϊκή ψήφιση (ψήφιση από τις χώρες μέλη μέσω των οργανισμών τυποποίησής τους). Το **παγκόσμιο πρότυπο** (π.χ. ISO, IEC) έχει εκπονηθεί με συναίνεση όλων των ενδιαφερομένων-σε παγκόσμια κλίμακα-και έχει εγκριθεί από μία από τις δύο παγκόσμιες οργανώσεις τυποποίησης **ISO**, **IEC**.

Πρότυπα εκπονούνται για δραστηριότητες, διεργασίες και προϊόντα. Τα προϊόντα μπορεί να είναι υλικά (π.χ. βιομηχανικά προϊόντα), άυλα (π.χ. υπηρεσίες, λογισμικό) ή συνδυασμός αυτών. Ανάλογα με τη χώρα προέλευσης, τις προδιαγραφές κατασκευής του, το ηλεκτροτεχνικό υλικό που χρησιμοποιείται στη χώρα μας υπόκειται συνήθως στους παρακάτω πρότυπους κανονισμούς και φέρει τις αντίστοιχες σημάνσεις (**σχ. 1.1**).

- Ø V.D.E (Verband Deutscher Elektrotechniker) Ένωση Γερμανικών Ηλεκτρολόγων.
- Ø D.I.N (Deutsche Industrie Normen) Γερμανικά βιομηχανικά πρότυπα.
- Ø B.S (British Standards) Αγγλικά Πρότυπα.
- Ø U.T.E (Union Technique de l'Electricite) Γαλλική Ηλεκτροτεχνική Ένωση.
- Ø C.E.I (Comitato Electrotecnico Italiano) Ιταλική Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή.
- Ø S.E.N (Svensk Standards) Σουηδικά Πρότυπα.
- Ø A.N.S.I (American National Standards Institute) Ινστιτούτο Αμερικανικών Εθνικών Προτύπων.
- Ø N.E.C (National Electrical Code) Εθνικός Ηλεκτρολογικός Κώδικας των Η.Π.Α.
- Ø N.E.M.A (National Electrical Manufactures Association of USA) Εθνική Ένωση Ηλεκτρολόγων Κατασκευαστών Η.Π.Α.
- Ø J.I.S (Japanese Industrials Standards) Ιαπωνικά βιομηχανικά πρότυπα.
- Ø ΕΛ.Ο.Τ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεως).

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης ιδρύθηκε ως ΝΠΙΔ με το Νόμο 372/76 που ψηφίστηκε ομόφωνα από τη Βουλή στις 10 Ιουνίου 1976 και που δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης στις 30 Ιουνίου του ίδιου έτους.

Η τυποποίηση, σαν καθιέρωση κοινά αποδεκτών προδιαγεγραμμένων απαιτήσεων, είναι η πρωταρχική και κύρια, από τις τρεις «κολόνες» που στηρίζουν το οικοδόμημα της ποιότητας. Οι άλλες δύο είναι η πιστοποίηση, δηλαδή η διαβεβαίωση ότι ικανοποιούνται οι προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις και η συνεχής παρακολούθηση της ικανοποίησής τους και οι δοκιμές ο προσδιορισμός δηλαδή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή μιας υπηρεσίας με προδιαγεγραμμένες διαδικασίες.

Το σήμα **CE** σε ένα προϊόν επιτρέπει την ελεύθερη κυκλοφορία του προϊόντος στο εσωτερικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Είναι υποχρεωτικό σύμφωνα με οδηγίες του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και υποδηλώνει την αποδοχή από τον κατασκευαστή ορισμένων οδηγιών. Για τα ηλεκτρολογικά προϊόντα είναι υποχρεωτικό από την 1-1-1997. Το σήμα **CE** σε ένα προϊόν δεν μπορεί να αντικαταστήσει κάποιο σήμα ποιότητας.



Σχήμα 1.1: Σήματα Εθνικών Προτύπων για ηλεκτρολογικά υλικά.

1.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ

Η εφαρμογή των προτύπων είναι προαιρετική, εκτός εάν νομοθετικές ή κανονιστικές, εθνικές ή ευρωπαϊκές διατάξεις την καθιστούν υποχρεωτική. Στην Ελλάδα, ο μοναδικός φορέας που είναι υπεύθυνος για την εκπόνηση, έγκριση, έκδοση και διάθεση των Ελληνικών Προτύπων είναι ο ΕΛΟΤ Σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς του ΕΛΟΤ το ηλεκτρολογικό υλικό πρέπει να επιλέγεται και να εγκαθίσταται κατά τρόπο ώστε:

- να εξασφαλίζεται η τήρηση των μέτρων προστασίας.
- να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης για την προβλεπόμενη χρήση, υπό την επίδραση των αναμενόμενων εξωτερικών συνθηκών.

Κάθε υλικό πρέπει να είναι σύμφωνο με το αντίστοιχο Πρότυπο ΕΛΟΤ, ή το αντίστοιχο Εναρμονισμένο Ευρωπαϊκό Πρότυπο (EN/HD) , που ισχύει κατά τον χρόνο κατά τον οποίο συνάπτεται η σύμβαση για την κατασκευή της εγκατάστασης. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν Ελληνικά ή Ευρωπαϊκά Πρότυπα κάθε υλικό πρέπει να συμμορφώνεται με τα αντίστοιχα Διεθνή Πρότυπα IEC και ISO που ισχύουν γ'αυτό.

Σε όσες περιπτώσεις δεν υπάρχει για κάποιο υλικό Πρότυπο ΕΛΟΤ ή Ευρωπαϊκό Πρότυπο ή Διεθνές Πρότυπο ISO/IEC, το υπόψη υλικό πρέπει να επιλέγεται κατόπιν ειδικής συμφωνίας μεταξύ του υπευθύνου για το σχεδιασμό / μελέτη της εγκατάστασης και του εγκαταστάτη. Πάντως, ο υπεύθυνος για το σχεδιασμό ή τη μελέτη της εγκατάστασης θα πρέπει να βεβαιώσει ότι η χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου υλικού παρέχει τον ίδιο βαθμό ασφαλείας που παρέχουν και τα υπόλοιπα υλικά, που είναι σύμφωνα με τα Πρότυπα.

1.3 Πρότυπα IEC που ακολουθούν οι μηχανές

Το αντικείμενο της IEC είναι να προωθηθεί η διεθνή συνεργασία για όλα τα θέματα που αφορούν την τυποποίηση στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό τομέα. Έτσι παράλληλα με άλλες δραστηριότητες, το IEC δημοσιεύει Διεθνή Πρότυπα, Τεχνικές Προδιαγραφές, Τεχνικές Εκθέσεις, Προδιαγραφές διαθέσιμες στο κοινό (Public Available Specifications - PAS) και Οδηγούς ("IEC δημοσίευση).

Οι τυπικές αποφάσεις ή οι συμφωνίες της IEC σχετικά με τεχνικά θέματα εκφράζουν, ή προσπαθούν να εκφράσουν μια διεθνή συναίνεση γνωμοδότησης για τα αντίστοιχα θέματα δεδομένου ότι κάθε τεχνική επιτροπή έχει εκπροσώπηση από όλες τις ενδιαφερόμενες IEC εθνικές επιτροπές.

Εξάλλου η τυποποίηση και τα πρότυπα αφορούν και ενδιαφέρουν:

- τους παραγωγούς προϊόντων/παροχείς υπηρεσιών
- τους καταναλωτές/χρήστες
- το εμπόριο
- την επιστήμη και
- τη Δημόσια Διοίκηση

και αποτελούν κοινή προσπάθεια όλων αυτών.

Οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τα λειτουργικά πρότυπα που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

IEC/ISO	DIN VDE	ΌΝΟΜΑ
IEC 60034-1	DIN VDE 0530 Teil 1	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Ονομαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά.
IEC 60034-8	DIN VDE 0530 Teil 8	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Μέρος 8: σημάνσεις ακροκιβωτίου και φορά περιστροφής των στρεφόμενων μηχανών.
IEC 60085	VDE 0530 Teil 1	Μονωτικά υλικά
IEC 6002		Συναρμολόγηση και συνολικές διαστάσεις
IEC 60072	DIN 42 673 Teil 1	Ένωση διαστάσεων και συμφωνία βαθμονόμησης εξόδων τύπου IM B3.
IEC 60072	DIN 42 677 Teil 1	Ένωση διαστάσεων και συμφωνία βαθμονόμησης εξόδων τύπου IM B5, IM B14.
IEC 60034-5	EN 60 034 Teil 5 DIN VDE 0530 Teil 5 IEC 34-5	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Μέρος 5: Ταξινόμηση των βαθμών προστασίας από περιβλήματα των στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών (κωδικός IP)
IEC 60034-6	DIN VDE 34-6	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Μέρος 6: Μέθοδοι ψύξης (κωδικός IC).
IEC 60034-7	DIN IEC 34 Teil 7 IEC 34-7	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Μέρος 7: Ταξινόμηση τύπων κατασκευών και κανονισμοί συναρμολόγησης (κωδικός IM).
IEC 60034-9	DIN VDE 0530 Teil 9 IEC 34-9	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Θόρυβος. Περιορισμένες τιμές.
IEC 60034-12	DIN VDE Teil 12 IEC 34-12	Στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές. Χαρακτηριστικά εκκίνησης τριφασικού ασύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα κλωβού δρομέα για τάσεις τροφοδοσίας μικρότερες ή ίσες των 660V.
IEC 60038	DIN IEC 38	Καθορισμένες τάσεις προτεινόμενες από IEC.
IEC 60252	DIN VDE 0560 Teil 8	Πυκνωτές. πυκνωτές κινητήρα..

Πίνακας 1.1: Πρότυπα των ηλεκτρικών μηχανών.

1.4 Σήμανση Προστασίας

Οι ηλεκτρικές συσκευές και το ηλεκτρολογικό υλικό από άποψη «βαθμού» προστασίας, κατατάσσονται σύμφωνα με τον Δείκτη Προστασίας IP12 (κατά I.E.C. 60947. EN 60529 -94 και D.I.N.40050/1970), δηλαδή τα γράμματα IP συνοδεύονται από δύο αριθμούς 1, 2. Ο πρώτος αριθμός α χαρακτηρίζει την προστασία συσκευής ή υλικού από επαφή και εισχώρηση ξένων στερεών σωμάτων και μια τιμή από 0 έως 6 (0,1,2,3,4,5,6). Ο δεύτερος αριθμός 2 χαρακτηρίζει την προστασία από εισχώρηση υγρών , π.χ. νερού και παίρνει για κάθε συσκευή ή υλικό μια τιμή από 0 έως 8 (0,1,2,3,4,5,6,7,8).

- ✓ Όσο αυξάνονται οι αριθμοί τόσο καλύτερη/αποτελεσματικότερη είναι η προστασία.

1ος χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Καμία προστασία.
1	Προστασία από στερεά σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης από 50mm (π.χ. προστασία από ακούσια επαφή με το χέρι).
2	Προστασία από στερεά σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης από 12mm (π.χ. προστασία από επαφή με το δάχτυλο).
3	Προστασία από στερεά σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης από 2,5mm (π.χ. εργαλεία, καλώδια).
4	Προστασία από στερεά σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης από 1 mm (π.χ. λεπτά εργαλεία, λεπτά σύρματα).
5	Προστασία από σκόνη.
6	Απόλυτη προστασία από σκόνη.


Πίνακας 1.2: Βαθμός προστασίας από στερεά σώματα.

2ος χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Καμία προστασία.
1	Προστασία από κάθετη πτώση σταγόνων νερού.
2	Προστασία από πτώση σταγόνων νερού υπό γωνία έως 15° από τον κατακόρυφο άξονα.
3	Προστασία από πτώση νερού βροχής υπό γωνία έως 60° από τον κατακόρυφο άξονα.
4	Προστασία από πτώση νερού από όλες τις κατευθύνσεις.
5	Προστασία από ρίψη νερού υπό πίεση από όλες τις κατευθύνσεις.
6	Προστασία από ρίψη νερού υπό πίεση, ισοδύναμη με θαλάσσια κύματα, από όλες τις κατευθύνσεις.
7	Προστασία από επιρροές βύθισης.
8	Προστασία από επιρροές βύθισης διάρκειας, σε καθορισμένες συνθήκες.

Πίνακας 1.3: Βαθμός προστασίας από υγρά.

3ος χαρακτηριστικός αριθμός	
0	Χωρίς προστασία
1	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,225 J (150 gr / 15 cm)
2	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,375 J (250 gr / 15 cm)
3	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 0,500 J (250 gr / 20 cm)
5	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 2 J (500 gr / 40 cm)
7	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 6 J (1,5 Kgr / 40 cm)
9	Προστασία έναντι κρούσεως ενέργειας έως 20 J (5 Kgr / 40 cm)

Πίνακας 1.4: Βαθμός προστασίας από ενέργεια κρούσεως.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
IP 00	Καμία προστασία έναντι επαφής, έναντι σωματιδίων, έναντι νερού.
IP 10	Προστασία έναντι επαφής με το χέρι, έναντι μεγάλου μεγέθους σωματιδίου και αποστασία έναντι σταγόνων νερού που πέφτουν κατακόρυφα.
IP 11	Προστασία έναντι επαφής με το χέρι, έναντι μεγάλου μεγέθους σωματιδίου, καμία προστασία έναντι νερού.
IP 20	Προστασία έναντι επαφής με τα δάχτυλα, έναντι μεσαίου μεγέθους σωματιδίων, καμία προστασία έναντι νερού.
IP 23	Προστασία έναντι επαφής με τα δάχτυλα, έναντι μεσαίου μεγέθους σωματιδίων, προστασία από πτώση νερού βροχής υπό γωνία έως 60 ⁰ από τον κατακόρυφο άξονα.
IP 40	Προστασία έναντι επαφής με εργαλεία, έναντι μικρού μεγέθους σωματιδίων, καμία προστασία έναντι νερού.
IP 55	Προστασία από σκόνη και προστασία από ρίψη νερού υπό πίεση από όλες τις κατευθύνσεις.
IP 65	Απόλυτη προστασία από τη σκόνη.
	Ανιεκρηκτική Προστασία.

Πίνακας 1.5: Ταξινόμηση προστασίας από εξωτερικές επιδράσεις.

Επιπλέον υποδείξεις προστασίας και ασφάλειας σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες.

1. Ο κινητήρας πρέπει να τίθεται σε λειτουργία με τήρηση των προϋποθέσεων που αναγράφονται στις τεχνικές οδηγίες
2. Προσοχή στις οδηγίες λειτουργίας του μειωτήρα με ανιεκρηκτική επίσης προστασία που τυχόν εγκατασταθεί.

Ο κινητήρας επιτρέπεται να τεθεί σε λειτουργία με τη χρήση ηλεκτρονικού μετατροπέα μόνο εφόσον τηρούνται οι απαιτήσεις των πιστοποιητικών ελέγχου πρωτοτύπου και δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο εγχειρίδιο «οδηγίες λειτουργίας».

1.5 Βασικά Ηλεκτρικά και Μηχανικά Μεγέθη

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ				
Μέγεθος			Μονάδα	
Όνομα	Σύμβολο	Ορισμός	Όνομα	Σύμβολο
Τάση	U ή V	«Δυναμικό» ηλεκτρικής φύσης που υπάρχει μεταξύ δύο οποιονδήποτε σημείων του κυκλώματος	Βολτ	V ή Volt
Ένταση Ρεύματος	I	Ποσότητα ηλεκτρονίων που περνούν μέσα από έναν αγωγό σε ένα δευτερόλεπτο.	Αμπέρ	A ή Ampere
Αντίσταση	R	Χαρακτηριστικό των υλικών, το οποίο «εμποδίζει» τη διέλευση του ρεύματος.	ωμ	Ω ή ohm
Ισχύς	P	Ηλεκτρικό έργο που αναπτύσσεται στη μονάδα του χρόνου.	Βατ	W ή watt
Ενέργεια	E	Ικανότητα ενός συστήματος να πραγματοποιεί ένα καθορισμένο έργο.	Κιλοβατώρα ή Χιλιοβατώρα	kWh
Συχνότητα	f	Είναι ο αριθμός των επαναλήψεων ενός περιοδικού φαινομένου στη μονάδα του χρόνου.	Χέρτζ	Hz
Χωρητικότητα (πυκνωτή)	C	Μέτρο της ποσότητας φορτίου που βρίσκεται αποθηκευμένη σε έναν αγωγό (ή πυκνωτή) όταν στα άκρα του υπάρχει συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού.	Φαράντ	F
Αυτεπαγωγή	L	Ο συντελεστής αναλογίας στον τύπο της ηλεκτρεγερτικής δύναμης αυτεπαγωγής $V_{αυτ}$.	Χένρι	H

Πίνακας 1.6: Σύμβολα, ορισμοί και μονάδες βασικών ηλεκτρικών μεγεθών.

ΕΡΓΟ / ΕΝΕΡΓΕΙΑ				
1	kwh	hph	kcal	Τζάουλ (Joule) ή BTU
Κιλοβατώρα (kwh)	1	$0,367 * 10^6$	860	3409,51
Ωριαίος Βρετανικός Ίππος (hph)	0,746	1	$0,64 * 10^3$	2542,47
Χιλιοθερμίδα (kcal)	$1,16 * 10^{-3}$	427	1	3,965
Τζάουλ (Joule) ή BTU	0.000293	0.000393	0.25219	1

Πίνακας 1.7: Σύμβολα μονάδες και σχέσεις μετατροπής μονάδων ενέργειας και ισχύος.

ΙΣΧΥΣ				
1	KW	HP	Kcal/sec	Btu
Κιλοβάτ (kW)	1	1,34	0,239	0.947
Βρετανικός Ίππος (HP)	0,746	1	0,179	0.706
Χιλιοθερμίδα / Δευτερόλεπτο	4,19	5,619	1	3,964
Τζάουλ (Joule) ή BTU	1,055	1,414	0,252	1

Πίνακας 1.8: Σύμβολα μονάδες και σχέσεις μετατροπής μονάδων ενέργειας και ισχύος.

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ			
Μέγεθος			Μονάδα
Όνομα	Σύμβολο	Ορισμός	Μονάδα μέτρησης στο S.I
Απόσταση	r	Η οριζόντια απόσταση από το ένα άκρο ενός αντικειμένου στο άλλο.	s (m, mi)
Ταχύτητα	u	Ρυθμός μεταβολής της θέσης ενός σώματος ως προς το χρόνο.	$u=ds/dt$ (m/s)
Επιτάχυνση	a	Ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος ως προς το χρόνο	$a=du/dt$ (m/s ²)
Γωνιακή ταχύτητα	Ω	Ρυθμός μεταβολής της θέσης ενός περιστρεφόμενου σώματος ως προς το χρόνο.	$\Omega=d\phi/dt$ (rad/s)
Στροφές	n	Ρυθμός μεταβολής της θέσης ενός περιστρεφόμενου σώματος	$n=\Omega/2\pi$ (rps)
Ροπή	T	Το εξωτερικό γινόμενο της δύναμης (F) επί το μοχλοβραχίονα της (d).	$T= F*d$ (N*m)
Ισχύς	P	Ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας ή ο ρυθμός παραγωγής έργου.	$P = dE/dt$ (W)
Ενέργεια	E	Η ικανότητα ενός σώματος ή ενός συστήματος να παράγει έργο (λόγω κινητής ή δυναμικής κατάστασης)	$E = \frac{1}{2}m*u^2 = m*g*r$ (J)

Πίνακας 1.9: Σύμβολα, ορισμοί και μονάδες μηχανικών μεγεθών.




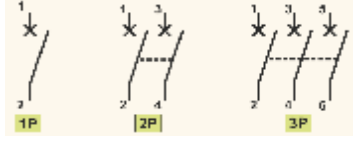


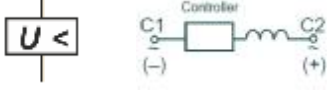

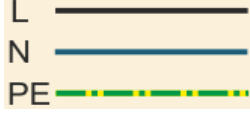
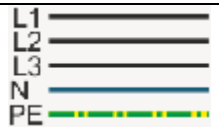

Πολλαπλάσια			Υποπολλαπλάσια		
Σύμβολο	Συντελεστής	Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής	Πρόθεμα
K	10^3	Χίλιο (kilo)	m	10^{-3}	Χιλιοστό (milli)
M	10^6	Μέγα (mega)	μ	10^{-6}	Μίκρο (micro)
G	10^9	Γίγα (giga)	n	10^{-9}	Νάνο (nano)
T	10^{12}	Τέρα (tera)	p	10^{-12}	Πικο (pico)

Πίνακας 1.10: Σύμβολα, προθέματα πολλαπλασίων και υποπολλαπλασίων μονάδων.

1.6 Βασικά Σύμβολα Ηλεκτρολογικής Σχεδίασης

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα βασικά σύμβολα σχεδίασης των ηλεκτρικών κυκλωμάτων εγκατάστασης και λειτουργίας των ηλεκτρικών κινητήρων.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΜΒΟΛΟ
<p>Όργανα μέτρησης.</p> <p>α. με δείκτη β. με ένδειξη μέτρησης</p> <p>(τοποθετείται το σύμβολο του μεγέθους μέτρησης μέσα στο γραφικό σύμβολο)</p>	
<p>Μετασχηματιστής.</p> <p>1. Μονοφασικός</p> <p>2. Τριφασικός</p> <p>α. Μονογραμμική παράσταση</p> <p>β. Πολυγραμμική παράσταση</p>	
Αυτομετασχηματιστής	
AC Μονοφασικός – Τριφασικός Κινητήρας	
AC Μονοφασική-Τριφασική Γεννήτρια	
<p>Τριφασικός Ασύγχρονος ή επαγωγικός Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα.</p> <p>α. Μονογραμμική παράσταση</p> <p>β. Πολυγραμμική παράσταση</p>	

Ημιαγωγός -δίοδος	
Ασφάλεια (Τηκτή)	
Διακόπτης Φορτίου	
Μικροαυτόματος Διακόπτης με προστασία από υπερρένταση και βραχυκύκλωμα	
α) Ασφαλειοαποξεύκτης χωρίς φορτίο β) Ασφαλειοαποξεύκτης φορτίου	
Ηλεκτρονόμος	
Πηνίο Έλλειψης Τάσης	
Θερμικό Στοιχείο	
Μονοφασικό Δίκτυο L : αγωγός φάσης N : ουδέτερος PE : αγωγός γείωσης	
Τριφασικό Δίκτυο L1,L2,L3 : αγωγοί φάσεων N : ουδέτερος PE : αγωγός γείωσης	
Γείωση (γενικό σύμβολο).	

Πίνακας 1.11: Τυποποιημένα σύμβολα ηλεκτρολογικής σχεδίασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η γέννηση των συστημάτων ηλεκτρικής κίνησης ήρθε με την σχεδόν ταυτόχρονη θεμελίωση των αρχών του ηλεκτρομαγνητισμού το 1831 από τους Michael Faraday και Joseph Henry (εργάζονταν ανεξάρτητα).

Το 1888 κατασκευάζονται οι πρώτοι οι πρώτοι ηλεκτρικοί κινητήρες βάσει των αρχών αυτών, με τους Thomas Edison και Nikola Tesla να έχουν μια επιστημονική διαμάχη υποστηρίζοντας τον Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος και τον Κινητήρα Εναλλασσόμενου Ρεύματος αντίστοιχα. Ο κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος επικράτησε τελικά, όμως και τα δύο είδη κινητήρων εξελίχθηκαν και βελτιώθηκαν, βρίσκοντας πάμπολλες εφαρμογές, κυρίως μετά τον δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Η χρήση των ηλεκτροκινητήρων σήμερα είναι ευρύτατα διαδεδομένη από τα μαγνητόφωνα και τα ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς, τρόλεϊ, ηλεκτρικοί σιδηρόδρομοι κ.λπ. μέχρι τα υποβρύχια. Οι δε χρησιμοποιούμενοι στις βιομηχανίες είναι εκατοντάδων ίππων.

Από τις απαρχές της αυτοκίνησης, οι κατασκευαστές πάσχιζαν να παραγάγουν λειτουργικά ηλεκτρικά οχήματα. Η «πράσινη» αυτοκίνηση δεν είναι σημείο των καιρών μας. Η ηλεκτρική ενέργεια, οικολογική και φιλική στο περιβάλλον, συνυπήρχε με τον βενζινοκινητήρα από τις πρώτες στιγμές της αυτοκίνησης, τότε που έκανε τα πρώτα δειλά βήματά της.

Μεταξύ 1832 και 1839, ο Robert Anderson της Σκωτίας εφηύρε την πρώτη ακατέργαστη ηλεκτρική μεταφορά. Ένα μικρής κλίμακας ηλεκτρικό αυτοκίνητο σχεδιάστηκε από τον καθηγητή Stratingh και τελειοποιήθηκε από το Christopher το 1835. Τα πρακτικά και επιτυχέστερα ηλεκτρικά οδικά οχήματα εφευρέθηκαν και από τον αμερικανικό Thomas Davenport και Scotsmen Robert Davidson περίπου το 1842. Και οι δύο εφευρέτες ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τα μη επαναφορτιζόμενα ηλεκτρικά κύτταρα. Οι Γάλλοι Gaston Plante εφηύραν μια καλύτερη μπαταρία αποθήκευσης του το 1881 βελτιώθηκε. Το 1899, ένας Βέλγος έφτιαξε το ηλεκτρικό αγωνιστικό αυτοκίνητο αποκαλούμενο «La Jamais Contente».

Πολλές καινοτομίες ακολουθούμενες και το ενδιαφέρον για τα μηχανοκίνητα οχήματα αυξήθηκαν πολύ προς το τέλος των 1890 και των πρόωρων δεκαετιών του 20ου αιώνα μέχρι και σήμερα.

2.2 Ορισμός

Ηλεκτρική μηχανή είναι η γενική ονομασία των συσκευών που είτε μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, είτε μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Μια τέτοια συσκευή, όταν χρησιμοποιείται για τη μετατροπή μηχανικής ενέργεια σε ηλεκτρική ονομάζεται γεννήτρια (G). Όταν η ίδια συσκευή μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ονομάζεται κινητήρας (M).



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση ορισμού Ηλεκτρικής Μηχανής.

2.2.1 Βασικοί Νόμοι

Η λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών επομένως και των ηλεκτροκινητήρων στηρίζεται στους νόμους που διέπουν τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.

Νόμος Ampere

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα I , δημιουργείται γύρω του μαγνητικό πεδίο έντασης H . Όταν ο αγωγός είναι πηνίο δηλ. η διάμετρός του είναι μεγαλύτερη από το μήκος του και στο εσωτερικό υπάρχει πυρήνας σιδηρομαγνητικού υλικού, το μέτρο της έντασης του μαγνητικού πεδίου H στο εσωτερικό του πυρήνα, δίνεται από το νόμο του Ampere όπως αποτυπώνεται στην παρακάτω σχέση:

$$H = \frac{N \times I}{l} \text{ σε At/m}$$

Όπου N : αριθμός περιελίξεων (σπειρών).
 i : ρεύμα αγωγού/πηνίου.
 L : μήκος πηνίου.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου H , συνδέεται με την μαγνητική επαγωγή B η οποία εκφράζει την πυκνότητα της μαγνητικής ροής Φ με τη σχέση: $B = \mu \cdot H$ όπου μ η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού από το οποίο διέρχεται το μαγνητικό πεδίο.

Νόμος Faraday

Η επαγόμενη τάση ή ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα ενός κυκλώματος (αγωγού ή ενός πλαισίου), ισούται με το αντίθετο της χρονικής μεταβολής της συνολικής διερχόμενης από το κύκλωμα μαγνητικής ροής (πεπλεγμένη ροή).

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi_{ολ}}{\Delta t}$$

Όπου: ϵ : είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) εκφρασμένη σε volt και

Φ : είναι η μαγνητική ροή, εκφρασμένη σε Weber.

Η μεταβολή στη μαγνητική ροή μπορεί να οφείλεται στην κίνηση του αγωγού/πηγίου ή στο μεταβαλλόμενο ρεύμα που τον διαρρέει. Στην περίπτωση κίνησης (ευθύγραμμης ή περιστροφικής) η επαγόμενη τάση (ΗΕΔ) δίνεται από τη σχέση:

$e = l (u \times B)$ σε V, όπου l : μήκος (ενεργό) αγωγού (m).

u : ταχύτητα (m/sec).

B : μαγνητική επαγωγή (T).

Κανόνας Lenz

Ο κανόνας του Lenz καθορίζει την πολικότητα της τάσης εξ επαγωγής. Αναφέρει ότι η πολικότητα της τάσης εξ επαγωγής που αναπτύσσεται σε ένα πηνίο είναι τέτοια ώστε όταν, με την σύνδεση φορτίου, θα διαρρέεται από ρεύμα (αποτέλεσμα), να δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που θα αντισταθεί πάντα στο μαγνητικό πεδίο και στη μαγνητική ροή η μεταβολή της οποίας το προκάλεσε (αίτιο).

Νόμος /Δύναμη Laplace

Όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα (I) βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο (B) τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη (F), δύναμη Laplace, που τείνει να τον κινήσει.

$$F = I (L \times B) \rightarrow F = B \times l \times \eta \mu \phi$$

Όπου: I = Ένταση Ρεύματος

L = Μήκος Αγωγού

B = Ένταση Μαγνητικού πεδίου

ϕ = η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών.



Σχήμα 2.2: Κανόνας Δεξιού Χεριού.

Η δύναμη Laplace είναι πάντοτε κάθετη στον αγωγό και η φορά της έχει επίσης την κατεύθυνση του εξωτερικού γινομένου $I \times B = I \times B$, οπότε ορίζεται από τον κανόνα της δεξιάς χειρός όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2, δηλαδή το (α) δείχνει την φορά του μαγνητικού πεδίου το (β) δείχνει την φορά του ρεύματος μέσα από τον αγωγό και το (γ) τη φορά της δύναμης που ασκεί το μαγνητικό πεδίο στον αγωγό.

Όταν ο αγωγός είναι βρόγχος ρεύματος π.χ. πλαίσιο (διαστάσεων a, b), οι δυνάμεις που ασκούνται στις πλευρές του πλαισίου που είναι κάθετες στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (πλευρές a) είναι μη συγγραμμικές, οπότε συνιστούν ζεύγος δυνάμεων και ασκούν ροπή ως προς οιονδήποτε σημείο, το μέτρο της οποίας δίνεται από τη σχέση:

$$T = F_a \times b \times \eta \mu \phi = (I \times B a) (b \times \eta \mu \phi) \text{ σε Nm}$$

Όπου: **a, b**: διαστάσεις του βρόγχου (m)

B: μαγνητική επαγωγή (T)

I: ρεύμα του βρόγχου (A)

F_a: δύναμη Laplace (N)

B × ημφ: κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των δυνάμεων

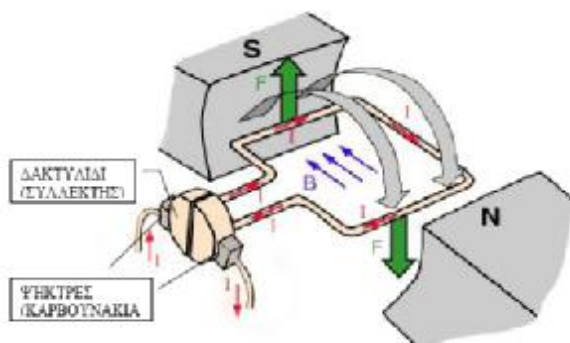
φ: γωνία μεταξύ της καθέτου *c* στην επιφάνεια του βρόγχου και του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου *B*.

2.3 Αρχή Λειτουργίας

2.3.1 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC)

Στο **σχήμα 2.3** παρουσιάζεται η βασική αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος. Το σχήμα του αγωγού είναι τέτοιο ώστε να αναγκάζει το ρεύμα να περνάει από τα δύο τμήματα του αγωγού με δυο αντίθετες διευθύνσεις. Έτσι δημιουργούνται δυο ίσες αλλά αντίθετες δυνάμεις (ζεύγος δυνάμεων) που έχουν σαν αποτέλεσμα να προκληθεί η περιστροφή του αγωγού όπως φαίνεται στο σχήμα.

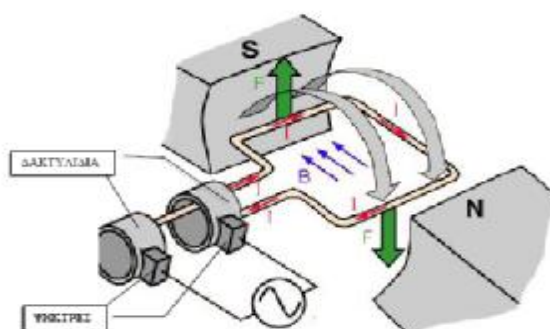
Ουσιαστικά η λειτουργία του κλασικού ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων. Το πρώτο πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες (τύλιγμα διέγερσης) που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στον στάτη της μηχανής με χωρική κατανομή $B_f \times \eta\mu\phi$. Το δεύτερο πεδίο δημιουργείται στο διάκενο από τον δρομέα της μηχανής δηλαδή από το «περιστρεφόμενο» τύλιγμα τυμπάνου, που συνιστά έναν ηλεκτρομαγνήτη με πολικότητα που καθορίζεται από την πολικότητα του κυρίου μαγνητικού πεδίου (διέγερσης) με την παρεμβολή όμως του συλλέκτη. Ο ρόλος του συλλέκτη είναι να αντιστρέφει τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος τυμπάνου σε κάθε κύκλο, τόσες φορές όσες και ο αριθμός των κυρίων πόλων, έτσι ώστε να αντιστρέφεται η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη τυμπάνου την κατάλληλη χρονική στιγμή (όταν οι δύο αντίθετοι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται απέναντι) και τελικά να αλληλεπιδρούν εις το διηνεκές μαγνητικά τα δύο πεδία. Αυτό είναι αναγκαίο αφού το τύλιγμα τυμπάνου περιστρέφεται και χωρίς το συλλέκτη η μηχανή θα σταματούσε άμεσα την πρώτη φορά που δύο αντίθετοι πόλοι θα βρίσκονταν απέναντι.



Σχήμα 2.3: Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρα Συνεχούς Ρεύματος (DC).

2.3.2 Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC)

Ο AC κινητήρας έχει την ίδια αρχή λειτουργίας όπως οι κινητήρες DC (ανάπτυξη δύναμης Laplace). Ο αγωγός που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα περιστρέφεται με την δύναμη που ασκείται σε αυτόν λόγω του «ομοιογενούς» μαγνητικού πεδίου του στάτη. Επειδή το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο υπάρχει φυσική εναλλαγή της πολικότητας του ρεύματος, δεν χρειάζεται δηλαδή ο συλλέκτης που ήταν και ο μηχανισμός εναλλαγής της πολικότητας του ρεύματος για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Εδώ χρησιμοποιούνται 2 δακτυλίδια τα οποία είναι συνδεδεμένα στα άκρα του αγωγού τα οποία αναλαμβάνουν μόνο την τροφοδότηση του ρότορα όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.4.** που ακολουθεί.



Σχήμα 2.4: Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτροκινητήρα Συνεχούς Ρεύματος (AC).

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος λειτουργούν με τη δημιουργία των μαγνητικών πεδίων του σταθερού μέρους (στάτης) του κινητήρα και του δρομέα. Με την εφαρμογή ενός τριφασικού συστήματος ρευμάτων στο στάτη δημιουργείται στρεφόμενο ομογενές μαγνητικό πεδίο B_s και αντίστοιχα με την εφαρμογή ρεύματος διέγερσης στο δρομέα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο B_r . Το πεδίο του στάτη περιστρέφεται συνεχώς και πεδίο του δρομέα προσπαθεί να το ακολουθήσει. Με βάση τη γωνία των δυο πεδίων δημιουργείται ροπή T στο δρομέα η οποία είναι ανάλογη της γωνίας.

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που διαθέτουν οι ac κινητήρες δημιουργείται από δυο ή περισσότερα διαφορετικά τυλίγματα τοποθετημένα στο σταθερό μέρος (στάτης) του κινητήρα. Τα τυλίγματα αυτά είναι τοποθετημένα σε διαφορά φάσης ανάλογα με τον αριθμό τους. Για παράδειγμα όταν χρησιμοποιούνται δύο τυλίγματα, αυτά τοποθετούνται σε διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους. Όταν χρησιμοποιούνται τρία τυλίγματα, τα τυλίγματα τοποθετούνται με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

3.1 Γενικά

Οι προδιαγραφές των ηλεκτροκινητήρων έχουν στόχο να εξασφαλίσουν τον ασφαλή και αποδοτικό τρόπο λειτουργίας. Κύριοι άξονες των προδιαγραφών είναι:

- Οι συνθήκες περιοχής εγκατάστασης (περιβαλλοντικές συνθήκες)
- Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά (τροφοδοσία, κλπ)
- Τα κατασκευαστικά δεδομένα

Ο κατασκευαστικός οίκος θα πρέπει να διαθέτει πιστοποιητικά ποιότητας ISO 9001 και ISO 14000 και τα προϊόντα του θα πρέπει να συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα IEC/EN 60034-1, IEC 60034-8, IEC 60034-12, IEC 60072, IEC/EN 60034-5, IEC/EN 60034-6, IEC/EN 60034-7, IEC/EN 60034-9, IEC 60034-14.

Τέλος, θα πρέπει να συμμορφώνονται πλήρως με τα νέα πρότυπα IEC/EN 60034-2-1 (2007) για τον τρόπο μέτρησης των απωλειών και υπολογισμού του βαθμού απόδοσης ηλεκτροκινητήρων και IEC 60034-30 (2008) για την κατηγοριοποίηση των ηλεκτροκινητήρων σε διεθνείς κλάσεις απόδοσης IE (International Efficiency).

3.2 Περιβαλλοντικές Συνθήκες

3.2.1 Θερμοκρασία

- Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα μέχρι 40°C (συνήθης λειτουργία)
- Ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα όχι κάτω από -15°C (συνήθης λειτουργία)
- Θερμοκρασία νερού σαν ψυκτικό μέσο: Από 5°C έως 25 °C.
- Καθαρότητα ψυκτικού υγρού: Το ψυκτικό μέσο δεν πρέπει να περιέχει λιγότερο από 90% υδρογόνο κατ' όγκο.

Οι ηλεκτροκινητήρες που είναι κατάλληλοι για υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος φέρουν ειδικά, σχετικά στοιχεία στην πινακίδα τύπου τους.

3.2.2 Υψόμετρο

Δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί το μέγιστο υψόμετρο τοποθέτησης των 1000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, εκτός και εάν στην πινακίδα τύπου αναγράφεται ένα διαφορετικό υψόμετρο τοποθέτησης. Η επίδραση του υψομέτρου στα όρια των μεγίστων θερμοκρασιών περιβάλλοντος για την ασφαλή λειτουργία φαίνεται στον **πίνακα 3.1** που ακολουθεί.

Υψόμετρο (m)	Θερμοκρασίες Περιβάλλοντος (°C)				
	Κλάση Μόνωσης				
	A	E	B	F	H
1000	40	40	40	40	40
2000	34	33	32	30	28
3000	28	26	24	20	15
4000	22	19	16	10	5

Πίνακας 3.1: Ανώτερα όρια της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για λειτουργία σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 1.000 m.

3.2.3 Περιβάλλουσα Ατμόσφαιρα

Δίνονται πληροφορίες αν η περιβάλλουσα ατμόσφαιρα έχει:

- Εκρηκτικά αέρια και ποια είναι η κλάση της επικινδυνότητας τους.
- Φυσικά ή χημικά υλικά με ιδιότητες που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση
- Επιβλαβής ακτινοβολία
- Αυξημένες ή χαμηλές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας.

Οι ηλεκτροκινητήρες που είναι κατάλληλοι για λειτουργία σε θερμοκρασίες εκτός της περιοχής συνήθους λειτουργίας (-15°C – 40°C), φέρουν ειδικά αντίστοιχα στοιχεία στην πινακίδα τύπου τους. Σε καμία βέβαια περίπτωση δεν επιτρέπεται να εγκαθίστανται σε χώρους με αέρια, αμούς ή σκόνη που μπορεί να περιορίσουν την ασφαλή λειτουργία τους, λόγω διάβρωσης, καταστροφής της προστατευτικής βαφής, ακόμα και καταστροφής του μονωτικού υλικού.

Οι κινητήρες δεν επιτρέπεται να εκτεθούν σε ακτινοβολία που μπορεί να προκαλέσει ζημίες (π.χ. ιονίζουσα ακτινοβολία).

3.2.4 Θέση Εγκατάστασης

Δίνονται πληροφορίες αν η εγκατάσταση του κινητήρα θα γίνει σε εσωτερικό, ή εξωτερικό χώρο και αν θα υπάρχει προστασία από βροχή ή χιόνι (στέγαστρο).

3.3 Ηλεκτρική Τροφοδοσία

Οι ηλεκτροκινητήρες είναι σχεδιασμένοι για τις ακόλουθες συνθήκες, εφόσον δεν επισημαίνεται κάτι διαφορετικό στην πινακίδα τεχνικών χαρακτηριστικών:

- Οι ηλεκτροκινητήρες προορίζονται μόνο για σταθερή εγκατάσταση

Η διακύμανση της τάσης και της συχνότητας παροχής δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα όρια που αναφέρονται στα σχετικά πρότυπα. Η οριακή ανοχή της τάσης τροφοδοσίας είναι $\pm 5\%$ και της συχνότητας $\pm 2\%$ με τις δύο ακραίες τιμές να μην συμβαίνουν ταυτόχρονα.

Για να γίνει η εγκατάσταση του κινητήρα θα πρέπει να πληρούνται κάποια κριτήρια, αυτά είναι :

- Τα στοιχεία στην πινακίδα τύπου του ηλεκτροκινητήρα συμφωνούν με την τάση του ηλεκτρικού δικτύου ή την τάση εξόδου του μετατροπέα συχνότητας.

- Ο ηλεκτροκινητήρας δεν έχει πάθει ζημία κατά την μεταφορά ή την αποθήκευση του.
- Ικανοποιούνται οι παρακάτω απαιτήσεις :
 1. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεταξύ -20°C και $+40^{\circ}\text{C}$.
 2. Δεν υπάρχουν λάδια, οξέα, αναθυμιάσεις, ακτινοβολία.
 3. Υψόμετρο τοποθέτησης έως 1000 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

3.3.1 Τύπος και Συμμετρία Τάσεων

Γίνεται αναφορά για σύνδεση των τριφασικών μηχανών σε 50Hz ή 60Hz, εκτός από τους a.c. κινητήρες που τροφοδοτούνται από στατικούς μετατροπείς της τριφασικής τάσης σε μονοφασική.

D.C. Κινητήρες

Στην περίπτωση των DC κινητήρων που τροφοδοτούνται από ηλεκτρονικό μετατροπέα, η κυμάτωση της τάσης και του ρεύματος επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής. Στην περίπτωση αυτή οι απώλειες οπότε και η θερμοκρασία θα αυξηθούν σε σχέση με τις DC μηχανές που τροφοδοτούνται από καθαρή DC πηγή ρεύματος. Εάν αυτό είναι αναγκαίο για μηχανές με ονομαστική ισχύ εξόδου μεγαλύτερη των 5KW, απαιτείται ο μετατροπέας να σχεδιαστεί ειδικά για τη συγκεκριμένη μηχανή. Ο μετατροπέας στην περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο κώδικα με βάση την τάση και τη συχνότητα εισόδου και την αυτεπαγωγή που προστίθεται για εξομάλυνση.

A.C. Κινητήρες

Ο Κανονισμός IEC 34-1 §12 καλύπτει σχεδόν όλους τους 2πολικούς, 4πολικούς και 6πολικούς ηλεκτροκινητήρες μίας ταχύτητας, ισχύος 0,75 έως 375 kW, τάσης $\leq 1000\text{ V}$ και συχνότητας 50 ή 60 Hz, συνεχούς ή περιοδικής λειτουργίας. Οι τάσεις τροφοδοσίας πρέπει πρακτικώς να είναι ημιτονοειδείς και να αποτελούν ένα συμμετρικό σύστημα. Οι προδιαγραφές αυτές επεξηγώντας τους δύο αυτούς όρους προσδιορίζουν ότι [11]:

1. Μία τάση, που εφαρμόζεται σε έναν κινητήρα στο ονομαστικό του φορτίο, θα θεωρείται πρακτικώς ημιτονοειδής, όταν η διαφορά μεταξύ της στιγμιαίας τιμής της και της στιγμιαίας τιμής της κυρίας συνιστώσας της (της βασικής αρμονικής), δεν υπερβαίνει το 5% του εύρους της τελευταίας.
2. Ένα πολυφασικό σύστημα τάσεων θεωρείται πρακτικά συμμετρικό, εάν η τάση της αρνητικής συνιστώσας διαφέρει μέχρι 1% από την τάση της κυρίας συνιστώσας, επί μεγάλο χρονικό διάστημα, (η το πολύ 1,5% επί μικρό χρόνο) και εάν η τάση της συνιστώσας της μηδενικής ακολουθίας δεν υπερβαίνει το 1% της τάσεως της θετικής ακολουθίας.

Σε περίπτωση ταυτόχρονης υπερβάσεως των ανωτέρω ορίων στο πλήρες φορτίο, τα επιτρεπόμενα άρια αυξήσεως της θερμοκρασίας αυξάνονται κατά 10°C .

Η κυματομορφή της τάσης που παρέχεται στους AC κινητήρες έχει ημιτονοειδή μορφή με συχνότητα 50Hz ή 60Hz. Τις περισσότερες φορές όμως γύρω από αυτήν τη συχνότητα, εμφανίζονται και άλλες συχνότητες (ανώτερης συνήθως τιμής), μικρότερου πλάτους, που λέγονται αρμονικές συνιστώσες τάσης.

Αρμονική παραμόρφωση τάσης στους ακροδέκτες μιας μηχανής μεταφράζεται σε αρμονικές διακυμάνσεις στο εσωτερικό της μηχανής. Οι αρμονικές διακυμάνσεις δεν συμβάλλουν σημαντικά στη ροπή της μηχανής, αλλά επάγουν ρεύματα υψηλής συχνότητας στον δρομέα, προκαλούν υπερθέρμανση και αυξάνουν τις δονήσεις και τον θόρυβο (μηχανική καταπόνηση). Μακροχρόνια οι αρμονικές προκαλούν πρόωρη γήρανση τη μηχανής. Οι αρμονικές επίσης υπερθερμαίνουν τον αγωγό ουδέτερου καθώς προστίθενται και δίνουν ρεύματα κατά πολύ μεγαλύτερα από όταν τα φορτία είναι γραμμικά.

Το Πρότυπο IEC 60892 ορίζει τον συντελεστή αρμονικών τάσης (Harmonic Voltage Factor) και την μέγιστη τιμή που πρέπει αυτός να λαμβάνει για την σωστή λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών. Ο μαθηματικός τύπος είναι:

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leq 0.02$$

όπου : **h**: η τάξη της αρμονικής (υπολογίζονται συνήθως οι πρώτες 13).

u_n: η ανά μονάδα τιμή της τάσης στη n-οστή αρμονική.

Οι αρμονικές τάσης δεν πρέπει να ξεπερνούν το 2% για μονοφασικούς ή τριφασικούς κινητήρες και το 3% για πολυφασικούς κινητήρες. Σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει η αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται να είναι μεγαλύτερη των 10°K.

Οι AC κινητήρες που τροφοδοτούνται από στατικούς μετατροπείς τάσης πρέπει να έχουν ανοχή για ισχυρότερες αρμονικές. Πρακτικά , η τάση τροφοδοσίας ενός τέτοιου κινητήρα πρέπει να έχει maximum τιμή THD_v=10%.

3.3.2 Διακύμανση της Τάσης

Σύμφωνα με τα IEC 34-1 §12.3 η επιτρεπόμενη διακύμανση της τάσεως είναι 65% της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσεως από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα. Σε περίπτωση συνεχούς λειτουργίας στα ακρότατα αυτά όρια στο πλήρες φορτίο, τα επιτρεπόμενα όρια αυξήσεως της θερμοκρασίας αυξάνονται κατά 10°C.

3.3.3 Εξοπλισμός Σύνδεσης και Προστασίας

Ισχύς (HP)	Ασφάλεια – Εκκίνηση απευθείας (A)	Ασφάλεια – Εκκίνηση Υ/Δ (A)	Διακόπτης Υ/Δ (A)	Γενικός Διακόπτης Υ/Δ (A)	Διατομή Αγωγού (mm ²)
0.25	2	-	-	16	2.5
0.33	2	-	-	16	2.5
0.50	2	-	-	16	2.5
0.75	4	-	-	16	2.5
1	4	-	-	16	2.5
1.5	6	-	-	16	2.5
2	10	6	16	16	2.5
3	10	10	16	16	2.5
4	16	10	16	16	2.5
5.5	20	16	16	16	2.5
7.5	25	16	16	16	2.5
10	25	25	25	25	4
12.5	35	25	25	25	6
15	35	25	40	40	6
20	50	35	40	40	10
25	63	50	63	40	16
30	80	63	63	60	25
35	80	63	63	60	25
40	80	63	63	60	35
50	100	80	160	100	35
60	160	100	160	100	50
75	160	125	160	100	70
100	200	160	160	200	95
125	225	200	340	200	120
150	300	250	340	200	120
180	400	300	340	400	150
220	430	300	340	400	185
275	500	450	550	400	300

Πίνακας 3.2: Ενδεικτικές τιμές Ασφαλειών - Διακοπών - Αγωγών για σύνδεση κινητήρων, τάσεων 380 V για ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες.

3.4 Κατασκευαστικές φόρμες - Έδραση άξονα

Η διάταξη του δρομέα ως προς το στάτη είναι δυνατόν να διαφέρει, οπότε διαφέρει και ο τρόπος έδρασης και στήριξης, οπότε εμφανίζονται διάφορες κατασκευαστικές φόρμες μηχανών. Για τις κατασκευαστικές αυτές φόρμες θεσπίστηκαν συμβολισμοί σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN και IEC 34.

Ιδιαίτερα συχνά συναντώνται στις εφαρμογές οι μηχανές οριζόντιας τοποθέτησης, οι οποίες διαθέτουν ένα ή δύο έδρανα (κουζινέτα - τριβεία). Υπάρχουν επίσης και μηχανές κάθετης τοποθέτησης που χρησιμοποιούνται ευρέως στη πράξη.

Σε κάθε περίπτωση ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες για το μέγεθος, το είδος και τον τύπο του σφαιροτριβέα (ρουλεμάν) ή του εδράνου, που χρησιμοποιεί, οι οποίες θα πρέπει να αναγράφονται και στην πινακίδα ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του κινητήρα.

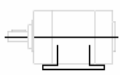
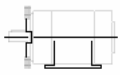
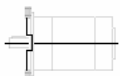
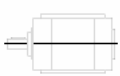

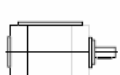
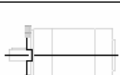

Για κινητήρες με μεγέθη πλαισίου 71 έως 132 (αλλά και για κινητήρες με μεγέθη πλαισίου 160 έως 250 προαιρετικά) ο κατασκευαστής μπορεί να χρησιμοποιεί σφαιροτριβείς κλειστού τύπου λιπασμένους εφ' όρου ζωής. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος ζωής των σφαιροτριβέων L_{10h} θα πρέπει να είναι (κατά ISO 281) περίπου 20.000 h για διπολικούς κινητήρες και περίπου 40.000 h για τετραπολικούς, εξαπολικούς και οκταπολικούς κινητήρες.

Για κινητήρες με μεγέθη πλαισίου 280 έως 450 υποχρεωτικά, αλλά και για κινητήρες με μεγέθη πλαισίου 160 έως 250 προαιρετικά, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σφαιροτριβείς με δυνατότητα επαναλίπανσης, μέσω γρασαδόρων οι οποίοι θα πρέπει να βρίσκονται σε κατάλληλο σημείο πάνω στον κινητήρα, ώστε να επιτρέπουν την εύκολη λίπανσή του ακόμα και κατά τη λειτουργία και να διαθέτουν ειδικές βαλβίδες, ώστε με το κλείσιμό τους να εξασφαλίζεται η αποφυγή εισόδου σκόνης και ακαθαρσιών. Επίσης θα πρέπει να διαθέτουν ειδική προστατευτική διάταξη για την απόρριψη πιθανής περίσσειας γράσου.

Στις περιπτώσεις που ο κατασκευαστής παρέχει κινητήρες με σφαιροτριβείς που απαιτούν επαναλίπανση, οφείλει να παρέχει σαφείς και ρητές πληροφορίες σχετικά με τη συχνότητα επαναλίπανσης (συνήθως σε ώρες λειτουργίας) για διάφορες ταχύτητες, για διάφορες θερμοκρασίες (τουλάχιστον στους 25 °C και στους 40 °C) και για διάφορους τρόπους έδρασης (τουλάχιστον για οριζόντια και κατακόρυφη έδραση). Οφείλει επίσης να παραθέτει πληροφορίες τόσο για την ποσότητα του απαιτούμενου γράσου, όσο για τον κατάλληλο τύπο αυτού. Οι παραπάνω πληροφορίες για την επαναλίπανση του κινητήρα θα πρέπει να αναγράφονται και σε ξεχωριστή πινακίδα ή αυτοκόλλητη ετικέτα επάνω στον κινητήρα.

Τέλος ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει σαφείς και ρητές πληροφορίες σχετικά με τις μέγιστες επιτρεπτές ακτινικές δυνάμεις στον άξονα του κινητήρα, καθώς και για τις μέγιστες επιτρεπτές αξονικές δυνάμεις.

3.4.1 Κατασκευαστική Φόρμα Οριζόντιας Τοποθέτησης











Picture	Designation	Description	Picture	Designation	Description
	Code I Code II DIN 42950	shaft horizontal		Code I Code II DIN 42950	shaft horizontal
	IM B3 IM 1001 B3	foot - mounting		IM B34 IM 2101 B3/B14	foot - mounting, with FT - flange
	IM B5 IM 3001 B5	without feet, with FF - flange		IM B6 IM 1051 B6	foot - mounting (left), wall mounting
	IM B35 IM 2001 B3/B5	foot - mounting, with FF - flange		IM B7 IM 1061 B7	foot - mounting (right), wall mounting
	IM B14 IM 3601 B14	without feet, with FT - flange		IM B8 IM 1071 B8	foot - mounting, ceiling mounting

Πίνακας 3.3: Κατασκευαστικές φόρμες οριζόντιας τοποθέτησης ηλεκτροκινητήρων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 42950 και IEC 34 (Κωδικός I και Κωδικός II).

DIN 42950	IEC – 34 Κωδικός I	IEC – 34 Κωδικός II	Περιγραφή
B3	IM B3	IM 1001	οριζόντια τοποθέτηση, με δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα αριστερά, τάση για σταθεροποιητή στο δάπεδο.
B5	IM B5	IM 3001	οριζόντια τοποθέτηση, με δύο κουζινέτα, φλάντζα και ταινία σταθεροποίησης
B6	IM B6	IM 1051	οριζόντια τοποθέτηση με δύο κουζινέτα, φλάντζα και ταινία σταθεροποίησης στον τοίχο ελεύθερου άξονα αριστερά
B7	IM B7	IM 1061	οριζόντια τοποθέτηση με δύο κουζινέτα, φλάντζα και ταινία σταθεροποίησης στον τοίχο ελεύθερου άξονα δεξιά
B8	IM B8	IM 1071	οριζόντια τοποθέτηση, με δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα αριστερά, τάση για σταθεροποιητή στην οροφή
B10	IM B10	IM 4001	οριζόντια τοποθέτηση, με 2 ρουλεμάν, φλάντζα
B14	IM B14	IM 3601	οριζόντια τοποθέτηση, με δύο κουζινέτα, φλάντζα και ταινία σταθεροποίησης
B15	IM B15	IM 1201	Οριζόντιος άξονας, η βάση στο δάπεδο
B3/B5	IM B35	IM 2001	οριζόντια τοποθέτηση, η βάση στο δάπεδο
B3/B14	IM B34	IM 2101	οριζόντια τοποθέτηση, η βάση στο δάπεδο

Πίνακας 3.4: Κατασκευαστικές φόρμες οριζόντιας τοποθέτησης ηλεκτροκινητήρων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 42950 και IEC 34 (Κωδικός I και Κωδικός II).

3.4.2 Κατασκευαστική Φόρμα Κάθετης Τοποθέτησης

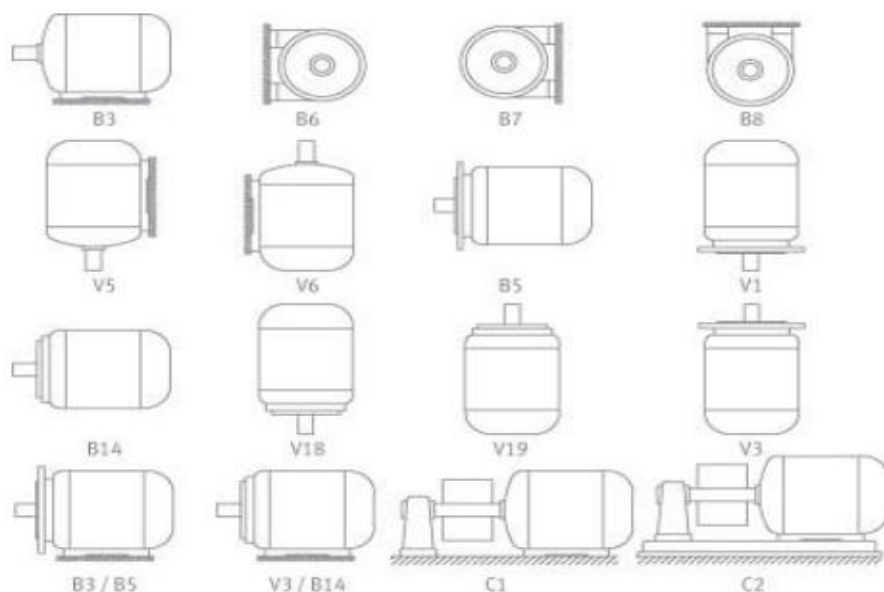
Picture	Designation Code I Code II DIN 42950	Description	Picture	Designation Code I Code II DIN 42950	Description
	IM V5 IM 1011 V5	shaft vertical foot - mounting		IM V55 IM 2001 V5/V6	shaft vertical foot - mounting, with FF - flange
	IM V1 IM 3011 V1	without feet, with FF - flange		IM V10 IM 3611 V10	without feet, with FT - flange
	IM V15 IM 2011 V15/V6	foot - mounting, with FF - flange		IM V17 IM 2111 V17/V6	foot - mounting, with FT - flange
	IM V6 IM 1001 V6	foot - mounting		IM V10 IM 3601 V10	without feet, with FT - flange
	IM V3 IM 3001 V3	with FT - flange		IM V37 IM 2101 V37/V6	foot - mounting, with FT - flange

Πίνακας 3.5: Κατασκευαστικές φόρμες κάθετης τοποθέτησης ηλεκτροκινητήρων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 42950 και IEC 34 (Κωδικός I και Κωδικός II).

DIN 42950	IEC – 34 Κωδικός I	IEC – 34 Κωδικός II	Περιγραφή
V1	IM V1	IM 3011	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο ασπίδες, φλάντζα και ελεύθερο άξονα κάτω
V3	IM V3	IM 3031	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο ασπίδες, φλάντζα και ελεύθερο άξονα πάνω και φλάντζα
V5	IM V5	IM 1011	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα κάτω, τάση για σταθεροποιητή στον τοίχο
V6	IM V6	IM 1031	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα κάτω, τάση για σταθεροποιητή στον τοίχο
V18	IM V18	IM 3611	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο ασπίδες, φλάντζα και ελεύθερο άξονα πάνω
V19	IM V19	IM 3631	κάθετη τοποθέτηση, με δύο ασπίδες, φλάντζα και ελεύθερο άξονα πάνω
V1/V5	IM V15	IM 2011	Κάθετος άξονας προς τα κάτω, η βάση στον τοίχο
V3/V6	IM V35	IM 2031	Ο άξονας προς τα πάνω, η βάση στον τοίχο
V5/V18	IM V17	IM 2111	Κάθετη τοποθέτηση, ο άξονας προς τα κάτω
V6/V19	IM V37	IM 2131	Κάθετη τοποθέτηση, με δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα κάτω, τάση για σταθεροποιητή στον τοίχο

Πίνακας 3.6: Κατασκευαστικές φόρμες κάθετης τοποθέτησης ηλεκτροκινητήρων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 42950 και IEC 34 (Κωδικός I και Κωδικός II).

3.4.3 Συμβολισμοί και Αντιστοίχιση



Σχήμα 3.1: Κύριες κατασκευαστικές φόρμες.

Η αντιστοιχία των συμβολισμών αυτών με τα IEC έχει ως εξής:

DIN	IEC	IEC	DIN	IEC	IEC
42950	Code II	Code I	42950	Code II	Code I
B3	IM 1001	IM B3	V3	IM3031	IM V3
V5	IM 1011	IM V5	B14	IM3601	IM B14
V6	IM 1031	IM V6	V18	IM3611	IM V18
B6	IM 1051	IM B6	V19	IM3631	IM V19
B7	IM 1061	IM B7	B10	IM4001	IM B10
B8	IM 1071	IM B8	V10	IM4011	IM V10
B15	IM1201	IM B15	V14	IM4031	IM V14
B3/B5	IM 2001	IM B35	V18	IM4131	IM V18
B3/B14	IM 2101	IM B34	B9	IM9101	IM B9
B17	IM 2202		V8	IM9111	IMV8
B5	IM3001	IMB5	V9	IM9131	IMV9
V1	IM3011	IMV1			

Πίνακας 3.7: Αντιστοιχία των συμβολισμών DIN και IEC.

3.4.4 Περίβλημα

Αρχικά όπως προαναφέρθηκε για την εγκατάσταση ενός κινητήρα, θα πρέπει για λόγους ασφαλείας αρχικά να είναι γνωστές οι συνθήκες στις οποίες θα εργαστεί. Στη συνέχεια θα πρέπει κάθε φορά, να καθορίζεται το είδος του περιβλήματος του, ο τρόπος στήριξής του, αλλά και ο τρόπος ψύξης των τυλιγμάτων του. Από το τελευταίο εξαρτάται η διαμόρφωση του περιβλήματος, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση στο εσωτερικό του ξένων σωμάτων, σκόνης, νερού κ.λπ.

Έτσι, ανάλογα με το περίβλημα, διακρίνονται οι παρακάτω τύποι κινητήρων:

- κινητήρες με κοινό (ανοικτό) περίβλημα
- κινητήρες με κλειστό περίβλημα
- κινητήρες με τμήμα του περιβλήματος κλειστό
- κινητήρες με ειδική μορφή περιβλήματος

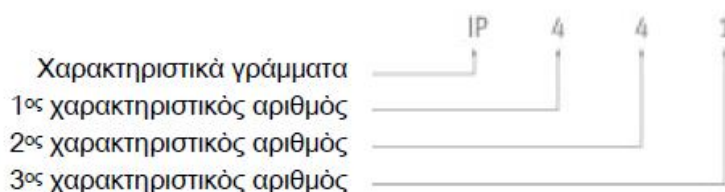
3.4.5 Συμβολισμός Προστασίας

Είναι γνωστό ότι ο κωδικός που χαρακτηρίζει τον βαθμό προστασίας αποτελείται από τα γράμματα IP συνοδευόμενα από δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς. Ο πρώτος χαρακτηριστικός αριθμός συμβολίζει την προστασία των ανθρώπων και την προστασία της μηχανής έναντι εισχωρήσεως ξένων στερεών σωμάτων, ο δεύτερος την προστασία της μηχανής έναντι εισχωρήσεως ύδατος και ο τρίτος την μηχανική προστασία της μηχανής.

Πρόσθετες πληροφορίες περί της προστασίας, εκτός από τα παραπάνω, υποδηλώνονται με 3^ο συμπληρωματικό γράμμα που ακολουθεί τον 2^ο χαρακτηριστικό αριθμό όπως φαίνεται και στο σχήμα 2 που επακολουθεί. Σε ειδικές

εφαρμογές, (όπως σε μηχανές με ψύξη ανοιχτού κυκλώματος εγκατεστημένες σε καταστρώματα πλοίων με θυρίδες εισόδου και εξόδου αέρα κλειστές σε περίοδο στάσης) οι χαρακτηριστικοί αριθμοί μπορεί να ακολουθούνται από να γράμμα το οποίο προσδιορίζει, εάν η προστασία έναντι βλαβερών αποτελεσμάτων από εισροή νερού είναι επαρκής ή έχει δοκιμαστεί. Με το γράμμα S υποδηλώνεται ότι η δοκιμή έγινε σε στάση (μηχανή εκτός λειτουργίας), ενώ με το γράμμα M υποδηλώνεται ότι η δοκιμή έγινε σε λειτουργία.

Στις περιπτώσεις αυτές ο βαθμός προστασίας αναγράφεται IP55S και IP20M αντίστοιχα. Η απουσία γραμμάτων S και M υποδηλώνει ότι ο αναφερόμενος βαθμός προστασίας καλύπτει όλες τις ομαλές συνθήκες λειτουργίας. Για αερόψυκτες μηχανές ανοιχτού τύπου κατάλληλες για ειδικές κλιματολογικές συνθήκες και εφοδιασμένες με πρόσθετα μέτρα προστασίας θα πρέπει να αναγράφεται το γράμμα W.



Σχήμα 3.2: Παράδειγμα ειδικού κωδικού χαρακτηρισμού.

3.4.6 Οπές Διαφυγής Συμπυκνωμάτων

Σε εξωτερικά αεριζόμενους κινητήρες, πολλές φορές στο κάτω μέρος του κελύφους, υπάρχουν δυο οπές για τη διαφυγή των συμπυκνωμάτων των υδρατμών. Ανάλογα με το σχεδιασμό του κινητήρα οι οπές αυτές προβλέπεται να είναι μόνιμα ανοιχτές ή να είναι ανοιχτές μόνο κατά τη λειτουργία και να κλείνουν όταν ο κινητήρας είναι σε στάση.

3.4.7 Εξωτερικοί Ανεμιστήρες

Οι ανεμιστήρες, που βρίσκονται εκτός του κελύφους του ηλεκτροκινητήρα, πρέπει να προστατεύονται έναντι επαφών, μέσω προφυλακτήρα με πλέγμα (σίτα). Οι οπές του πλέγματος πρέπει να μην είναι διαπερατές από σώματα διαμέτρου μεγαλύτερης των 50 mm για βαθμό προστασίας του κινητήρα IP1X. Για μεγαλύτερο βαθμό προστασίας (IP2X ως IP5X) το πλέγμα δεν πρέπει να είναι διαπερατό από δάκτυλο.

3.4.8 Κλάση Μόνωσης

Οι μονώσεις των περιελίξεων του ηλεκτροκινητήρα ανάλογα με τη θερμική τους αντοχή (μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία, μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας) κατατάσσονται σε κατηγορίες γνωστές σαν κλάσεις μόνωσης (insulation class). Οι κλάσεις αυτές είναι συνολικά 5 όπως δείχνει και ο **πίνακας 3.8** που ακολουθεί. Επιπλέον σημαντικά χαρακτηριστικά της μόνωσης των περιελίξεων είναι η υψηλή μηχανική αντοχή, η διηλεκτρική αντοχή καθώς και η υψηλή ωμική αντίσταση, ο μη υγροσκοπικός χαρακτήρας, και η «αντοχή» σε λάδια.

Κλάση Μόνωσης	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Αύξηση Θερμοκρασίας (°C)	Τελική θερμοκρασία σε περιβάλλον 40°C
A	60	100
E	70	110
B	80	120
F	100	140
H	125	165

Πίνακας 3.8: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια αύξησης της θερμοκρασίας, ανάλογα με την κλάση μόνωσης, σύμφωνα με τα IEC 34-1 §16.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 34-1 §16

- Η μέτρηση της υπερψώσεως της θερμοκρασίας γίνεται με την μέθοδο μετρήσεως της ωμικής αντίστασης σύμφωνα με τα IEC 34-1.
- Εάν ένας κινητήρας εργάζεται μονίμως σε περιβάλλον θερμοκρασίας μικρότερης των 30°C, τότε η επιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας αυξάνεται κατά 10°C (IEC 34-1 §16.3.1).
- Εάν ένας κινητήρας εργάζεται μονίμως σε περιβάλλον θερμοκρασίας μεταξύ των 30°C και των 40°C, τότε η επιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας αυξάνεται κατά την διαφορά αυτή (IEC 34-1 §16.3.2).
- Εάν ένας κινητήρας εργάζεται σε περιβάλλον θερμοκρασίας μεταξύ των 40°C και των 60°C, τότε η επιτρεπόμενη υπερύψωση της θερμοκρασίας μειώνεται κατά την διαφορά αυτή (IEC 34-1 §16.3.3).
- Για θερμοκρασίες περιβάλλοντος άνω των 60°C τα IEC δεν προβλέπουν ανώτατα όρια υπερψώσεως της θερμοκρασίας και αυτά πρέπει να καθορίζονται με συμφωνία κατασκευαστή – αγοραστή (IEC 34-1 §16.3.4).

Στους ηλεκτροκινητήρες οι συνήθεις κλάσεις είναι :

Κλάση B: Μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία έως 130°C. Η κλάση αυτή αφορά κινητήρες ισχύος έως 100kW.

Κλάση F: Μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία έως 155°C. Η κλάση αυτή αφορά κινητήρες με ισχύ >100kW.

Συνεχής υπέρβαση της θερμοκρασίας αυτής κατά 10°C μπορεί να επιφέρει μείωση της ζωής του εξοπλισμού κατά 50%. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων μπορεί να υπάρξει αύξηση αυτής της θερμοκρασίας κατά 70°C για χρονικό διάστημα της τάξης των 5 sec. Αυτή δεν προκαλεί κάποιο πρόβλημα.

Δεν πρέπει να διαφεύγει ότι η μόνωση των περιελίξεων και η έδραση του άξονα αποτελούν τα «αδύνατα» σημεία κάθε ηλεκτροκινητήρα.

3.4.9 Βάρος

Το συνολικό βάρος του ηλεκτροκινητήρα μπορεί να διαφέρει, ακόμα και αν το μέγεθος πλαισίου είναι το ίδιο (ύψος κέντρου), λόγω διαφορών στην έξοδο, τον τρόπο τοποθέτησης και τα βοηθητικά συστήματα.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το εκτιμώμενο μέγιστο βάρος ηλεκτρικών μηχανών στη βασική τους έκδοση, σε συνάρτηση με το υλικό του πλαισίου.

Μέγεθος πλαισίου	Αλουμίνιο Βάρος kg	Χυτοσίδηρος Βάρος kg	Πρόσθ. για φρένο
56	4.5	-	-
63	6	-	-
71	8	13	5
80	14	20	8
90	20	30	10
100	32	40	16
112	36	50	20
132	93	90	30
160	149	130	30
180	162	190	45
200	245	275	55
225	300	360	75
250	386	405	75
280	425	800	-
315	-	1.700	-
355	-	2.700	-
400	-	3.500	-
450	-	4.500	-

Πίνακας 3.9: Βάρος ηλεκτροκινητήρων.

3.5 Ψύξη

Οι κινητήρες κατασκευάζονται με διάφορους τρόπους ψύξης :

- Με ελεύθερη είσοδο και έξοδο, αέρα.
- Με ελεύθερη είσοδο και έξοδο αέρα μέσω αεραγωγών.
- Με επιφανειακή ψύξη.
- Με εσωτερική ψύξη και εναλλάκτη θερμότητας.
- Με διάφορα ψυκτικά μέσα, εκτός από αέρα.

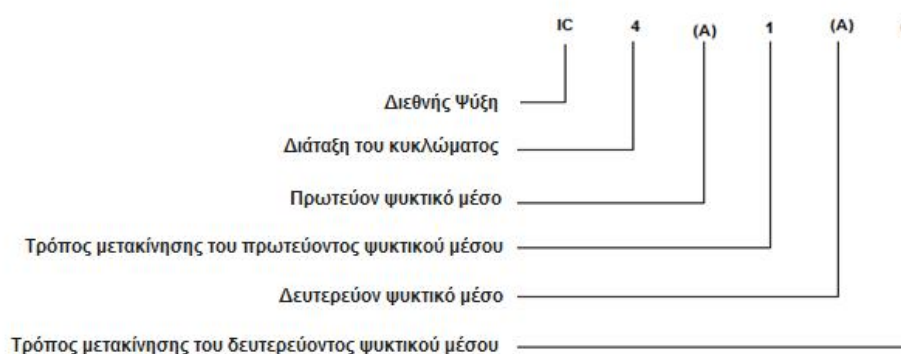
Οι κινητήρες θα πρέπει να διαθέτουν ανεμιστήρα απαγωγής της θερμότητας προσαρμοσμένο πάνω στο ρότορα και κατασκευασμένο από υψηλής μηχανικής αντοχής υλικά (π.χ. αλουμίνιο ή πολυπροπυλένιο ενισχυμένο με ίνες υάλου).

Οι μέθοδοι ψύξης των ηλεκτρικών μηχανών προδιαγράφονται από την οδηγία IEC34-6 που καθορίζει:

1. Τη διάταξη του κυκλώματος ψύξης (πρώτος χαρακτηριστικός αριθμός).

2. Το είδος του πρωτεύοντος ψυκτικού μέσου (πρώτο χαρακτηριστικό γράμμα).
3. Τη μέθοδο κυκλοφορίας του πρωτεύοντος ψυκτικού μέσου (δεύτερος χαρακτηριστικός αριθμός).
4. Το είδος της κυκλοφορίας του δευτερεύοντος ψυκτικού μέσου (δεύτερο χαρακτηριστικό γράμμα).
5. Τη μέθοδο κυκλοφορίας του δευτερεύοντος ψυκτικού μέσου (τρίτος χαρακτηριστικός αριθμός).

Ο κωδικός που χαρακτηρίζει την μέθοδο ψύξης αποτελείται από τα γράμματα IC συνοδευόμενα από τρεις χαρακτηριστικούς αριθμούς και δύο επιπλέον γράμματα όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στο σχέδιο που ακολουθεί. Οι επι μέρους κωδικοί χαρακτηρισμού αναλύονται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.3: Παράδειγμα χαρακτηρισμού σχετικά με τις μεθόδους ψύξης.

Χαρακτηριστικό Γράμμα	Είδος Ψυκτικού Μέσου
A	Αέρας
F	Φρέον
H	Υδρογόνο
N	Άζωτο
C	Διοξείδιο του Άνθρακα
W	Νερό
U	Έλαιο
S	Οποιοδήποτε άλλο ρευστό πρέπει να προσδιορίζεται ιδιαίτερω
Y	Το μέσο ψύξεως δεν έχει επιλεγεί (χρησιμοποιήθηκε προσωρινά)

Πίνακας 3.10: Χαρακτηριστικό γράμμα ψυκτικού μέσου.

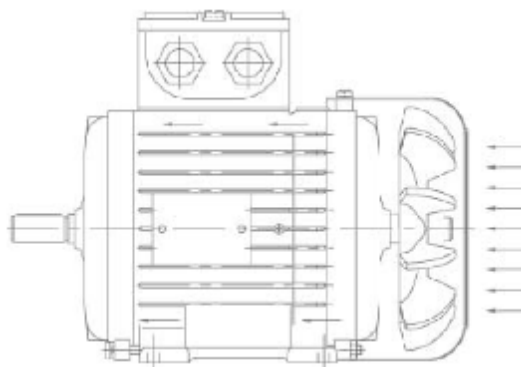
Χαρακτηριστικός Αριθμός	Περιγραφή
0	Ελεύθερη κυκλοφορία - Το ψυκτικό μέσο εισέρχεται και εξέρχεται από την μηχανή ελεύθερα, προέρχεται από το περιβάλλον της μηχανής και επιστρέφει σε αυτό.
1	Μηχανή με σύστημα αναρροφήσεως του ψυκτικού μέσου - Το ψυκτικό μέσο δεν λαμβάνεται από το περιβάλλον της μηχανής, οδηγείται εντός αυτής μέσω του συστήματος αναρροφήσεως και εξέρχεται ελεύθερα στο περιβάλλον της.
2	Μηχανή με σύστημα καταθλίψεως του ψυκτικού μέσου - Το ψυκτικό μέσον λαμβάνεται από το περιβάλλον της μηχανής ελεύθερα αναρροφούμενο από αυτήν και εξέρχεται μέσω του συστήματος καταθλίψεως σε περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής.
3	Μηχανή με δύο συστήματα (αναρροφήσεως και καταθλίψεως) - Το ψυκτικό μέσον λαμβάνεται από περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής, οδηγείται εντός αυτής μέσω του συστήματος αναρροφήσεως και εξέρχεται μέσω του συστήματος καταθλίψεως σε περιβάλλον διαφορετικό από αυτό της μηχανής.
4	Μηχανή ψυχομένη διά της επιφάνειας της χρησιμοποιώντας το μέσον που την περιβάλλει - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο, το οποίο είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή και διατρέχει την επιφάνεια της.
5	Εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο που περιβάλλει την μηχανή εντός εναλλάκτη θερμότητας που είναι τοποθετημένος πάνω της σχηματίζοντας ενιαίο σώμα με αυτήν
6	Εναλλάκτης θερμότητας επί της μηχανής χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο που περιβάλλει την μηχανή εντός εναλλάκτη θερμότητας που είναι ανεξάρτητος αλλά συναρμολογημένος πάνω της
7	Ενσωματωμένος εναλλάκτης θερμότητας μη χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο που δεν είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή εντός εναλλάκτη θερμότητας που είναι τοποθετημένος πάνω της σχηματίζοντας ενιαίο σώμα με αυτήν
8	Εναλλάκτης θερμότητας επί της μηχανής μη χρησιμοποιώντας το μέσον που περιβάλλει την μηχανή - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο που δεν είναι αυτό που περιβάλλει την μηχανή εντός εναλλάκτη θερμότητας που είναι ανεξάρτητος αλλά συναρμολογημένος πάνω της
9	Ξεχωριστός εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιώντας ή όχι το μέσο που περιβάλλει τη μηχανή - Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα και μεταφέρει την θερμότητά του στο δευτερεύον ψυκτικό μέσο εντός ανεξάρτητου εναλλάκτη θερμότητας που τοποθετείται ξεχωριστά από τη μηχανή.

Πίνακας 3.11: Διάταξη του κυκλώματος ψύξης.

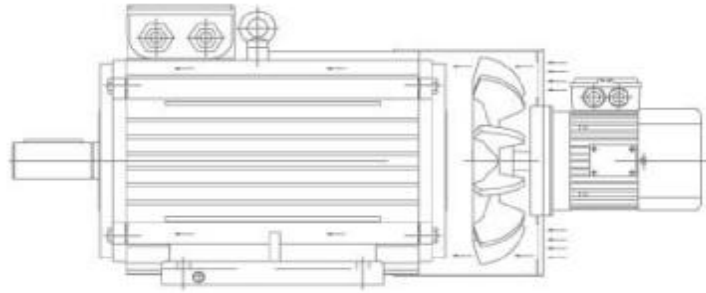
Χαρακτηριστικός Αριθμός	Περιγραφή
0	Ελεύθερη μεταγωγή – Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου γίνεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Ο αερισμός που προέρχεται από το δρομέα είναι αμηλετέος.
1	Αυτοκυκλοφορία - Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και προέρχεται είτε μόνο από το δρομέα είτε από διάταξη συναρμολογημένη πάνω στο δρομέα.
2, 3, 4	Δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί
5	Ανεξάρτητη διάταξη – Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από ανεξάρτητη διάταξη της οποίας η ισχύς δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.
6	Ανεξάρτητη διάταξη συναρμολογημένη πάνω στη μηχανή – Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από ανεξάρτητη διάταξη συναρμολογημένη πάνω στη μηχανή της οποίας η ισχύς δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.
7	Ανεξάρτητη διάταξη μη συναρμολογημένη πάνω στη μηχανή ή κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου υπό πίεση - Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται είτε από ανεξάρτητη διάταξη μη συναρμολογημένη πάνω στη μηχανή είτε μέσω πίεσης.
8	Σχετική Κυκλοφορία - Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται από τη σχετική κίνηση αυτού και της μηχανής ή αντιστρόφως.
9	Άλλες Μέθοδοι – Η κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με μεθόδους διαφορετικές από τις παραπάνω που πρέπει να περιγράφονται αναλυτικά.

Πίνακας 3.12: Μέθοδος Κυκλοφορίας.

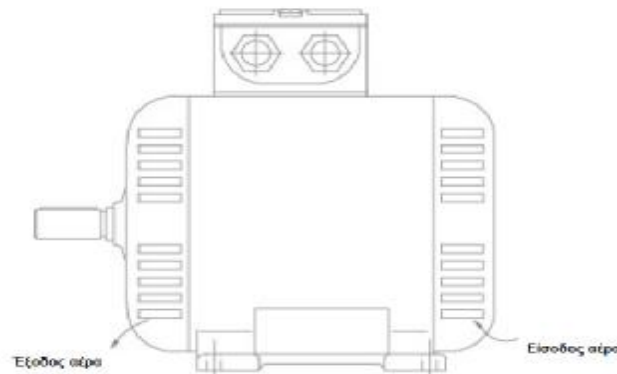
3.5.1 Τρόποι ψύξης ηλεκτρικών μηχανών



Σχήμα 3.4: Κατά IC 411 - Κινητήρας στεγανός. Κέλυφος με πτερύγια. Ανεμιστήρας εξωτερικός συναρμολογημένος επί του άξονα.



Σχήμα 3.5: Κατά IC 416 - Κινητήρας στεγανός. Κέλυφος με πτερύγια. Ανεξάρτητος ανεμιστήρας συναρμολογημένος επί του κινητήρα.



Σχήμα 3.6: Κατά IC 01 - Κινητήρας βαθμού προστασίας IP23. Ανεμιστήρας εσωτερικός.

3.6 Είδη Λειτουργίας

Για να ανταποκριθεί ο κινητήρας στις απαιτήσεις του χρήστη και να εργάζεται ομαλά, είναι πολύ σημαντική η σωστή προδιαγραφή του είδους της λειτουργίας του. Αναφέρονται τα τυποποιημένα είδη λειτουργίας (κατά IEC 34-1), που καλύπτουν τις περισσότερες περιπτώσεις.

- Συνεχής λειτουργία (S1): Ο κινητήρας εργάζεται υπό σταθερό φορτίο, για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να επέλθει η θερμική ισορροπία.
- Λειτουργία μικρής διάρκειας (S2): Ο κινητήρας εργάζεται για μικρό χρονικό διάστημα, τόσο ώστε δεν αποκαθίσταται η θερμική ισορροπία, και η διακοπή λειτουργίας είναι τόσο μεγάλη, ώστε η θερμοκρασία του επανέρχεται στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τυποποιημένοι χρόνοι για την διάρκεια λειτουργίας: 10 min, 30 min, 60 min και 90 min.
- Διακοπτόμενη περιοδική λειτουργία (S3): Ο κινητήρας εκτελεί ίδιους κύκλους φορτίσεων (υπό σταθερό φορτίο) – στάσεων, τέτοιας χρονικής διάρκειας, ώστε δεν φθάνει η θερμοκρασία του την μέγιστη επιτρεπόμενη και το ρεύμα εκκινήσεως δεν επιδρά στην θερμοκρασία. Τυποποιημένες τιμές για τον συντελεστή διαρκείας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.
- Διακοπτόμενη περιοδική λειτουργία με επίπτωση των εκκινήσεων (S4): Ο κινητήρας εκτελεί ίδιους κύκλους φορτίσεων (υπό σταθερό φορτίο) –

στάσεων, και το ρεύμα εκκινήσεως επιδρά επί της τελικής θερμοκρασίας. Τυποποιημένες τιμές για τον συντελεστή διάρκειας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.

- Διακοπτόμενη περιοδική λειτουργία με επίπτωση των εκκινήσεων και ηλεκτρική πέδηση (S5): Λειτουργία όμοια με την S4 αλλά και με ηλεκτρική πέδηση.
- Συνεχής λειτουργία περιοδικών φορτίσεων (S6): Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας κύκλους με σταθερό φορτίο και σε κενό. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως. Τυποποιημένες τιμές για τον συντελεστή διάρκειας λειτουργίας: 15%, 25%, 40%, 60%.
- Συνεχής λειτουργία περιοδικών ηλεκτρικών πεδήσεων (S7): Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας κύκλους με σταθερό φορτίο και ηλεκτρική πέδηση. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως. Συντελεστής διάρκειας λειτουργίας 1.
- Συνεχής λειτουργία περιοδικών αλλαγών στροφών και φορτίου (S8): Ο κινητήρας λειτουργεί συνεχώς εκτελώντας ίδιους κύκλους, καθένας από τους οποίους αποτελείται από μία περίοδο με σταθερό φορτίο και μία ορισμένη ταχύτητα περιστροφής, ακολουθούμενη από μία ή περισσότερες περιόδους λειτουργίας σε διαφορετικά σταθερά φορτία και διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Δεν υπάρχει περίοδος στάσεως.

Στα είδη λειτουργίας S3, S4 και S6 η τυποποιημένη περίοδος (χρονική διάρκεια του κύκλου λειτουργίας) είναι 10 min.

Στα είδη λειτουργίας S4, S5, S7 και S8 πρέπει να δίνεται και ο συντελεστής αδράνειας (FI).

Οι συμβολισμοί των διαφόρων ειδών λειτουργίας, κατά IEC, δίνονται παρακάτω με διάφορα παραδείγματα:

S1

S2 60 min

S3 25%

S4 25%, 10 εκκίνησης. ανά ώρα, FI = 2

S5 25%, 30 εκκίνησης. ανά ώρα, FI = 4

S6 40%

S7 30 περίοδοι ανά ώρα, FI = 5

S8 24 kW, 740 rpm, 40%, FI = 10 και

60 kW, 1.450 rpm, 60%, FI = 10

Εάν στην πινακίδα δεν αναγράφεται συμβολισμός είδους λειτουργίας, τότε η λειτουργία είναι S1. Τα διάφορα είδη λειτουργίας κατατάσσονται στις εξής τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Συνεχής μέγιστη λειτουργία κατά την οποία ο κινητήρας αποδίδει συνεχώς το πλήρες φορτίο.
2. Μικρής διάρκειας λειτουργία κατά την οποία ο κινητήρας εργάζεται για μία περιορισμένη περίοδο, εκκινώντας πάντα από την ψυχρή κατάσταση.

3. Κυκλική λειτουργία κατά την οποία ο κινητήρας εκτελεί κύκλους φορτίσεων με εκκινήσεις που επηρεάζουν την τελική του θερμοκρασία.

3.7 Δοκιμές

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να δύναται να παρέχει πιστοποιητικά δοκιμών :

- σειράς (routine tests)
- δοκιμών τύπου (type tests)

καθώς και άλλων εξειδικευμένων δοκιμών. Για κινητήρες με μέγεθος πλαισίου μεγαλύτερο από 250, ο κατασκευαστής θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα, κατόπιν συμφωνίας, ο πελάτης να παρακολουθεί όλες τις παραπάνω δοκιμές.

3.7.1 Δοκιμές Σειράς (routine tests)

Οι δοκιμές αυτές γίνονται σε κάθε ηλεκτροκινητήρα και περιλαμβάνουν:

- Μέτρησης της αντίστασης των τυλιγμάτων.
- Διηλεκτρική δοκιμή των τυλιγμάτων του στάτη.
(Η δοκιμή αυτή θα γίνει σύμφωνα με την πρότυπη προδιαγραφή IEC 34 και τα τυλίγματα θα δοκιμαστούν με συνεχή τάση 1000 V + δυο φορές την ονομαστική τάση λειτουργίας).
- Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη.
(Η αντίστασης μόνωσης των τυλιγμάτων του στάτη θα μετρηθεί πριν και μετά την εκτέλεση δοκιμής διηλεκτρικής αντοχής).
- Δοκιμή λειτουργίας εν κενό.
- Δοκιμή βραχυκύκλωσης (Διατηρώντας το δρομέα ακίνητο).
- Δοκιμή υπερτάχυνσης, σύμφωνα με την πρότυπη προδιαγραφή IEC 34.

3.7.2 Δοκιμές Τύπου (type tests)

Οι δοκιμές αυτές γίνονται σε έναν ηλεκτροκινητήρα από κάθε τύπο και αφορούν :

- Τη θερμική δοκιμή για τον καθορισμό της ανύψωσης της θερμοκρασίας στα κύρια μέρη του ηλεκτροκινητήρα σύμφωνα με IEC 34.
- Τη δοκιμή του ηλεκτροκινητήρα υπό φορτίο.

3.8 Στοιχεία Προσδιορισμού

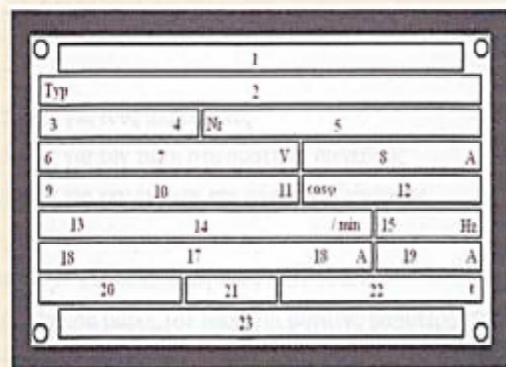
3.8.1 Πινακίδα

Τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε ηλεκτροκινητήρα τα οποία και τον προσδιορίζουν και εμπορικά είναι:

1. Η απαιτούμενη τάση για την τροφοδοσία του σε βολτ (V).
2. Το είδος της απαιτούμενης τάσης, συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα (DC ή AC) και στη 2η περίπτωση, μονοφασικό (1PH) ή τριφασικό (3PH).
3. Η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος, εφόσον πρόκειται για ηλεκτροκινητήρα AC και προφανώς σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο κ/δ (c/s) ή Χέρτζ (Hertz). Πολλές φορές χρησιμοποιείται το σύμβολο ~ αντί του κ/δ.
4. Η ισχύς του κινητήρα σε Βατ ή ίππους (W ή HP).
5. Η ένταση του ρεύματος σε αμπέρ που διαρρέει τον κινητήρα.
6. Η αποκτώμενη ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm ή RPM). Όλα τα παραπάνω στοιχεία φέρονται χαραγμένα, από τους κατασκευαστές, σε ειδική ενσωματωμένη στον ηλεκτροκινητήρα πινακίδα, καθώς και ο αριθμός της έγκρισης του.

1	Κατασκευαστής, φέρμα
2	Τύπος κινητήρα και σειρά κατασκευής
3	Ένδειξη ρεύματος (συνεχές - εναλλασσόμενο)
4	Ένδειξη τρόπου λειτουργίας
5	Αριθμός σειράς παραγωγής
6	Πληροφορίες για το τύλιγμα και τις φάσεις
7	Τάση τροφοδοσίας
8	Ρεύμα τροφοδοσίας
9	Ισχύς που αποδίδει στον άξονα σαν κινητήρας (σε KW)
10	Το σύμβολο KW ή KVA ή VA VA (για εναλλασσόμενη) σαν ισχύς εξόδου γεννήτριας.
11	Προορισμός
12	Συντελεστής Ισχύος
13	Διεύθυνση περιστροφής (διεύθυνση δεικτών ρολογιού και διεύθυνση αντίθετη προς τους δείκτες του ρολογιού)
14	Αριθμός στροφών
15	Συχνότητα ρεύματος
16	Διέγερση
17	Πληροφορίες για τους ακροδέκτες
18	Πληροφορίες για την τάση στο σύστημα διέγερσης
19	Πληροφορίες για την ένταση στο σύστημα διέγερσης
20	Κατηγορία στεγανότητας
21	Αντιστοιχία με κωδικοποίηση κατά DIN 40050
22	Κατά προσέγγιση βάρος (σε tons) για μηχανές βαρύτερες του 1 ton.
23	Πρόσθετες ενδείξεις για προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας (π.χ. σύστημα ψύξης)

Σχήμα 3.7: Μορφή της πινακίδας ενός ηλεκτροκινητήρα



Πίνακας 3.13: Στοιχεία Πινακίδας Ηλεκτρικού Κινητήρα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ολοκληρωμένη μορφή της πινακίδας ενός τριφασικού Ασύγχρονου κινητήρα.

Επεξήγηση Ενδείξεων

1. Τριφασικός κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος.
2. Συχνότητα τάσης τροφοδοσίας
3. Τυποποίηση διαστάσεων.
4. Σειριακός αριθμός
5. Ισχύς (άξονα) του κινητήρα σε KW – HP.
6. Ταχύτητα περιστροφής κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm) υπό ονομαστικό φορτίο.
7. Μέγιστη θερμοκρασία αντοχής μονώσεων τυλιγμάτων (Insulation Class).
8. Συντελεστής Ισχύος (cosφ) υπό ονομαστικό φορτίο.
9. Βάρος κινητήρα.
10. Τάση (πολική) τροφοδοσίας κινητήρα σε συνδεσμολογία τυλιγμάτων Υ/Δ αντίστοιχα.
11. Ένταση ρεύματος γραμμής (πολικό) σε συνδεσμολογία Υ/Δ αντίστοιχα υπό ονομαστικό φορτίο.
12. Βαθμός προστασίας.

Motor 3~	50Hz	IEC 34-1
		No
15KW	20.4 Hp	1450 r/min
	CI F	cos 0.90
V 220 / 380 ΔΥ	I 50 / 29 A	
Kg	IP 54	

Σχήμα 3.8: Πινακίδα Ηλεκτρικής μηχανής.

3.9 Διαχείριση

3.9.1 Έλεγχος Παραλαβής

Αμέσως μετά την παραλαβή, ελέγχουμε το μηχάνημα για εξωτερικές ζημιές (π.χ. άκρα άξονα, φλάντζες και βαμμένες επιφάνειες) και σε περίπτωση που εντοπιστούν κάποιες, ενημερώνουμε αμέσως και χωρίς καθυστέρηση τον μεταφορέα. Ελέγχουμε όλα τα στοιχεία της πινακίδας τεχνικών χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα την τάση και τη συνδεσμολογία της περιέλιξης (αστέρα ή τριγώνου), την κατηγορία, τον τύπο προστασίας και την κλάση θερμοκρασίας. Ο τύπος των ρουλεμάν καθορίζεται στην πινακίδα τεχνικών χαρακτηριστικών, σε όλους τους ηλεκτροκινητήρες, εκτός αυτών με τα μικρότερα μεγέθη πλαισίου. Στην περίπτωση εφαρμογής μεταβλητών στροφών, ελέγχουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο ανάλογα με τη συχνότητα που αναγράφεται στη δεύτερη πινακίδα του ηλεκτροκινητήρα.

3.9.2 Μεταφορά και Αποθήκευση

Ο ηλεκτροκινητήρας πρέπει πάντα να φυλάσσεται σε εσωτερικό χώρο (πάνω από τους 20°C), στεγνό και ελεύθερο από σκόνη και κραδασμούς. Κραδασμοί, πτώσεις και υγρασία πρέπει να αποφεύγονται κατά τη μεταφορά. Οι μη προστατευμένες επιφάνειες του ηλεκτροκινητήρα (άξονες και φλάντζες) πρέπει να διαθέτουν αντιδιαβρωτική προστασία. Συνιστάται να περιστρέφουμε περιοδικά τους άξονες με το χέρι, όσο το μηχάνημα παραμένει αποθηκευμένο, για να μη φύγει το γράσο. Αν υπάρχουν αντισυμπυκνωτικοί θερμαντήρες, πρέπει να είναι συνδεδεμένοι στο ρεύμα για να αποφεύγεται η συμπύκνωση υδρατμών μέσα στον ηλεκτροκινητήρα. Ο ηλεκτροκινητήρας δεν πρέπει να υποβάλλεται σε εξωτερικούς κραδασμούς πάνω από 0,5 mm/sec σε κατάσταση ακινησίας, για να μη γίνει ζημιά στα ρουλεμάν. Στους ηλεκτροκινητήρες που έχουν κυλινδρικά ή γωνιακά ρουλεμάν πρέπει να τοποθετούνται ασφάλειες ακινητοποίησης κατά τη μεταφορά τους.

3.9.3 Ανύψωση

Οι ηλεκτροκινητήρες με βάρος που υπερβαίνει τα 25 kg θα πρέπει να διαθέτουν άγκιστρα ή κρίκους ανύψωσης. Για την ανύψωση του ηλεκτροκινητήρα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο τα άγκιστρα ή κρίκοι ανύψωσης. Δεν πρέπει να γίνει απόπειρα ανύψωσης του ηλεκτροκινητήρα ενώ είναι συνδεδεμένος σε άλλο εξοπλισμό. Για την ανύψωση του ηλεκτροκινητήρα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σημεία των παρελκομένων (π.χ. φρένα, ξεχωριστοί ανεμιστήρες ψύξης) ή των κιβωτίων σύνδεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

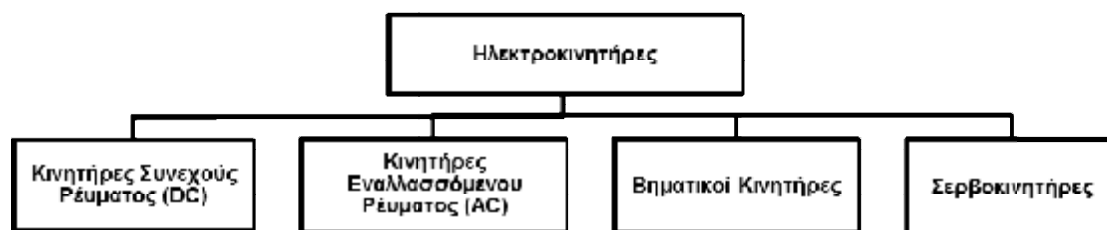
4.1 Κριτήρια Ταξινόμησης

Η ταξινόμηση των κινητήρων μπορεί να γίνει με βάση τη :

- Τάση τροφοδοσίας.
- Μορφή κίνησης.

Ανάλογα με την τάση τροφοδοσίας οι ηλεκτρικοί κινητήρες κατηγοριοποιούνται σε Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC motors), Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC motors), Βηματικούς κινητήρες (stepping motors) και Σερβοκινητήρες (servo motors).

Ανάλογα με τη μορφή κίνησης οι ηλεκτρικοί κινητήρες διακρίνονται σε περιστροφικούς και γραμμικούς (linear motors).



Πίνακας 4.1: Κατηγορίες Ηλεκτρικών Κινητήρων με βάση την τάση τροφοδοσίας.

4.2 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (DC)

Η αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, βασίζεται στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων. Το κύριο μαγνητικό πεδίο ή πεδίο διέγερσης ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργείται διαχωρίζει τους κινητήρες σε δύο κατηγορίες:

Κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες (permanent magnet motors). Το κύριο πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες (διέγερση) που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στον στάτη της μηχανής και

Κινητήρες με τύλιγμα πεδίου όπου το πεδίο δημιουργείται από τύλιγμα ηλεκτρομαγνήτη, που αποτελεί και τη συνηθέστερη πρακτική. Ο κινητήρας αυτός ονομάζεται κινητήρας συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα πεδίου. Μεταβάλλοντας το

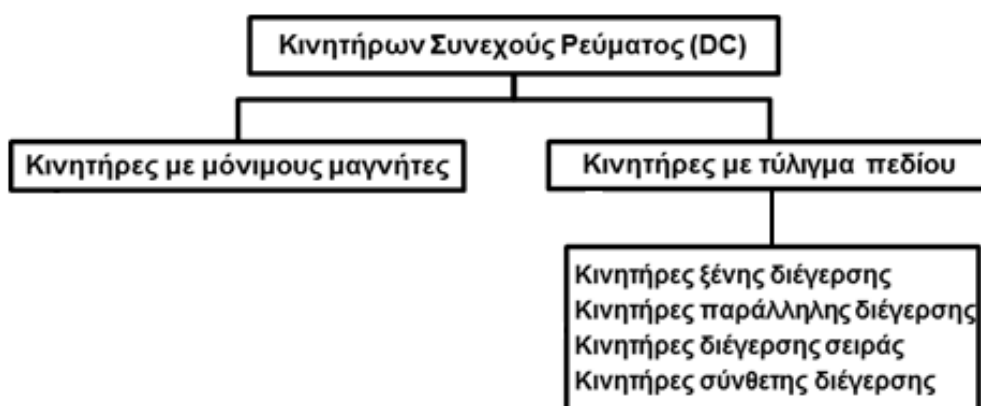
ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρομαγνήτη (που ονομάζεται εναλλακτικά τύλιγμα πεδίου ή τύλιγμα διεγέρσεως) μπορεί να μεταβληθεί η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής του κινητήρα.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσης σε σχέση με αυτό του δρομέα (τυμπάνου) οι κινητήρες Σ.Ρ., διακρίνονται σε:

- α) κινητήρες με ξένη διέγερση (separately excited)
- β) κινητήρες με παράλληλη διέγερση (shunt)
- γ) κινητήρες με διέγερση σειράς (series)
- δ) κινητήρες με σύνθετη διέγερση (compound)

Όλοι οι παραπάνω κινητήρες ανήκουν στην κατηγορία DC κινητήρων με ψήκτες. Εκτός από την κατηγορία αυτή υπάρχει και η κατηγορία DC κινητήρων χωρίς ψήκτες που διακρίνονται σε κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη και κινητήρες με διακοπτόμενη μαγνητική αντίσταση.

Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες είναι κινητήρες χαμηλής ισχύος και ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα διακρίνονται σε κινητήρες με δρομέα σιδήρου, κινητήρες χωρίς δρομέα σιδήρου και σε επίπεδους κινητήρες.



Πίνακας 4.2: Κατηγορίες Ηλεκτρικών Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.

4.2.1 Κινητήρες με Μόνιμους Μαγνήτες

Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες λειτουργούν παρόμοια με τους κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης με την διαφορά ότι δεν διαθέτουν τύλιγμα διέγερσης αλλά πόλους κατασκευασμένους από μόνιμους μαγνήτες. Λόγω της απουσίας του τυλίγματος διέγερσης ο κινητήρας μπορεί να κατασκευάζεται για χαμηλές ισχύεις. Χωρίς ρεύμα διέγερσης παρουσιάζει μειωμένες απώλειες και επίσης λόγω των μόνιμων μαγνητών έχει σταθερή μαγνητική ροή.

Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

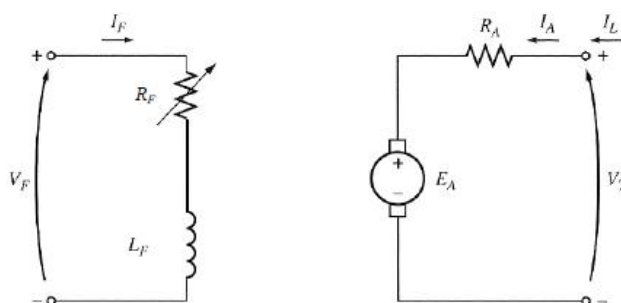
Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν άριστη ροπή εκκίνησης και την δυνατότητα καλύτερης ρύθμισης στροφών, μετά βέβαια από τους κινητήρες σύνθετης διέγερσης. Οι μαγνητικές και οι ηλεκτρικές απώλειες που παρουσιάζουν είναι πολύ χαμηλές σε σύγκριση με τους άλλους κινητήρες λόγω της έλλειψης των πηνίων πεδίου. Μπορούμε να τους φρενάρουμε και να αντιστρέψουμε τη φορά περιστροφής τους εφαρμόζοντας χαμηλή τάση γύρω στο 10% της ονομαστικής τάσης χωρίς πρόβλημα αρκεί το ρεύμα αντιστροφής να μην ξεπερνάει αυτό που θα διέρρεε τον κινητήρα με σταματημένο δρομέα.

Παρόλα αυτά οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ο κίνδυνος απομαγνητισμού των μαγνητών λόγω μεγάλης αύξησης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους ή σε περίπτωση που το ρεύμα οπλισμού γίνει πολύ μεγάλο. Άλλο μειονέκτημα είναι η περιορισμένη ροπή που γενικά μπορούν να παράγουν αφού οι μόνιμοι μαγνήτες μπορούν να μαγνητιστούν μέχρι ένα απαράβατο αλλά χαμηλό επίπεδο. Έτσι δεν μπορούν να έχουν αυξημένη μαγνητική ροή ή τουλάχιστον όση μπορούν να παράγουν τα τυλίγματα διέγερσης.

4.2.2 Κινητήρες με τύλιγμα πεδίου

4.2.2.1 Ξένης Διέγερσης

Κινητήρες ξένης διέγερσης ονομάζονται οι κινητήρες στους οποίους το τύλιγμα διέγερσης τους τροφοδοτείται από εξωτερική ηλεκτρική πηγή.



Σχήμα 4.1: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα ξένης διέγερσης.

Οι εξισώσεις που προκύπτουν από το ισοδύναμο κύκλωμα είναι :

$$I_F = \frac{V_F}{R_F}, \quad V_T = E_A + I_A R_A \quad \text{και} \quad I_L = I_A$$

Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

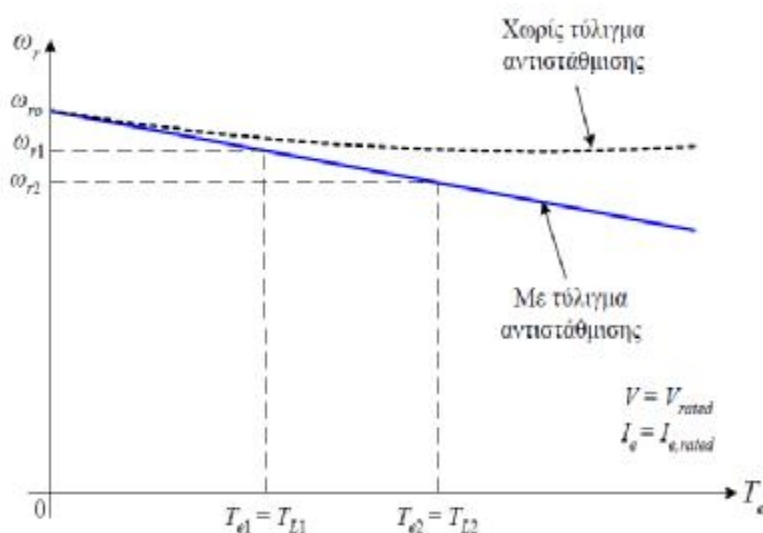
Με σταθερή την τάση τροφοδοσίας και σταθερό μαγνητικό πεδίο:

- η ροπή του κινητήρα αυξάνεται ή μειώνεται γραμμικά ανάλογα με το φορτίο.
- η ένταση του ρεύματος στα τυλίγματα του δρομέα αυξάνεται ή μειώνεται γραμμικά ανάλογα με το φορτίο.
- η ταχύτητα περιστροφής του δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα από τη λειτουργία χωρίς φορτίο (n_0) μέχρι τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο (n_N).

Ένας συνήθης τρόπος μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής είναι:

- με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας για την περιοχή ταχυτήτων $0 - n_N$. Όσο αυξάνεται η τάση τροφοδοσίας τους τόσο αυξάνει και η ταχύτητα περιστροφής τους.
- με μεταβολή του ρεύματος του τυλίγματος διέγερσης συνήθως για την περιοχή ταχυτήτων $n > n_N$. Όσο μειώνεται το ρεύμα διέγερσης τόσο αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής.

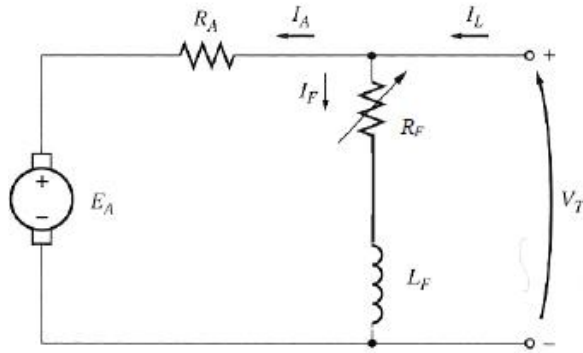
Η αλλαγή στη φορά περιστροφής του κινητήρα επιτυγχάνεται με αλλαγή της πολικότητας της τάσης ενός από τα δυο τυλίγματα.



Σχήμα 4.2: Χαρακτηριστική ταχύτητας - ροπής κινητήρα ξένης διέγερσης.

4.2.2.2 Παράλληλης Διέγερσης

Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης τα τυλίγματα τυμπάνου και διέγερσης διασυνδέονται παράλληλα, έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για ξεχωριστή πηγή τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης.



Σχήμα 4.3: Ισοδύναμο κύκλωμα παράλληλης διέγερσης.

Το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα τυμπάνου του κινητήρα και οι αντίστοιχες εξισώσεις είναι :

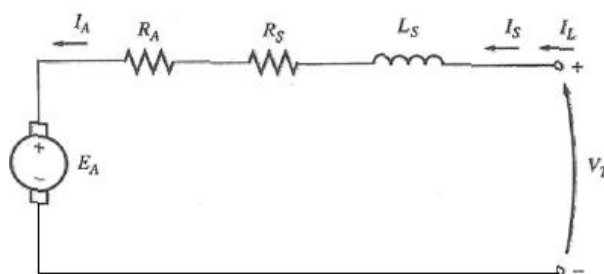
$$I_F = \frac{V_T}{R_F}, \quad V_T = E_A + I_A R_A, \quad I_L = I_A + I_F$$

Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Θεωρώντας ότι η τάση τροφοδοσίας στα τυλίγματα μένει σταθερή, όπως και στην ξένη διέγερση η ροπή και η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο και αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα. Οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά περίπου με τους κινητήρες ξένης διέγερσης οπότε δεν θα επαναληφθούν.

4.2.2.3 Διέγερσης Σειράς

Οι κινητήρες διέγερσης σειράς είναι οι κινητήρες στους οποίους τα τυλίγματα διέγερσης και τυμπάνου (δρομέα) συνδέονται σε σειρά με αποτέλεσμα να διαρρέονται πάντα από το ίδιο ρεύμα. Οι πόλοι διαθέτουν τυλίγματα διέγερσης με λίγες σπείρες και μεγάλης διατομής σε σχέση με τους προηγούμενους κινητήρες αφού το ρεύμα που τα διαρρέει είναι μεγαλύτερο.



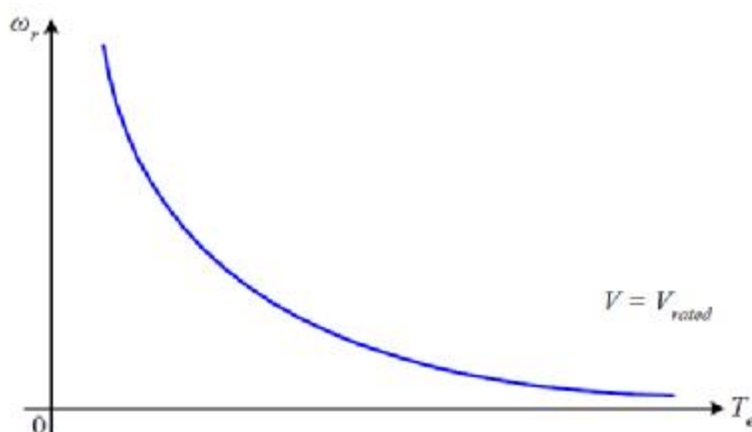
Σχήμα 4.4: Ισοδύναμο κύκλωμα διέγερσης σειράς.

Από το ισοδύναμο κύκλωμα προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις :

$$I_A = I_s = I_L \text{ και } V_T = E_A + I_A(R_A + R_s)$$

Λειτουργικά χαρακτηριστικά

1. Μεγάλη ροπή εκκίνησης και η διατήρησης της, αλλά με κόστος την πτώση των στροφών τους.
2. Όσο αυξάνεται η ροπή στον άξονα η ταχύτητα τους μειώνεται και αντίθετα όσο μειώνεται η ροπή τους τόσο αυξάνεται η ταχύτητα τους. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ένα πρόβλημα που αν δεν γίνει ελεγχόμενο μπορεί να καταστρέψει τον κινητήρα. Αν η ροπή ενός κινητήρα με διέγερση σειράς γίνει μηδενική τότε η ταχύτητα του τείνει στο άπειρο. Για τον λόγο αυτό οι κινητήρες δεν χρησιμοποιούνται ποτέ χωρίς φορτίο και ποτέ δεν συνδέονται σε φορτίο που ενδέχεται να αποσυνδεθεί απρόοπτα όπως για παράδειγμα ένας ιμάντας που μπορεί να σπάσει.
3. Ο έλεγχος ταχύτητας δεν είναι εύκολος επειδή μεταβάλλει συνεχώς τις στροφές του για να ανταποκριθεί στην ροπή του φορτίου. Για έλεγχο της ταχύτητας χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές στις οποίες όμως η ταχύτητα ελέγχεται με το φορτίο συνδεδεμένο. Μια από αυτές είναι η χρήση μεταβλητών αντιστάσεων σε πολύπλοκους συνδυασμούς έτσι ώστε να περιορίζεται η ένταση του ρεύματος. Μετά από κάθε ρύθμιση αν για οποιοδήποτε λόγο το φορτίο του κινητήρα μεταβληθεί, τότε θα μεταβληθεί έντονα και η ταχύτητα του.
4. Η χαρακτηριστική ροπής και ταχύτητας διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με τους κινητήρες παράλληλης διέγερσης όσο αφορά την χαρακτηριστική ροπής και ταχύτητας.

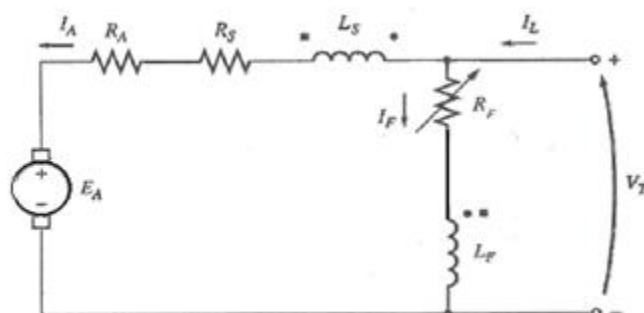


Σχήμα. 4.5: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας κινητήρα διέγερση σειράς.

4.2.2.4 Σύνθετης Διέγερσης

Το τύλιγμα του πεδίου τροφοδοτείται εν μέρει σε σειρά και εν μέρει παράλληλα με το τύλιγμα τυμπάνου, δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων περίπου σταθερής ταχύτητας παρά τις μεταβολές της ροπής του φορτίου. Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης χρησιμοποιούν συνδυασμούς χαρακτηριστικών παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς.

Χωρίζονται σε δυο τύπους διέγερσης οι οποίες διαφέρουν στην σύνθεση των μαγνητικών πεδίων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Ο ένας τύπος όπου οι μαγνητικές ροές των δύο πεδίων προστίθενται ονομάζεται **αθροιστικής σύνθετης διέγερσης** και ο τύπος όπου οι μαγνητικές ροές των δύο πεδίων αφαιρούνται ονομάζεται **διαφορικής σύνθετης διέγερσης**.

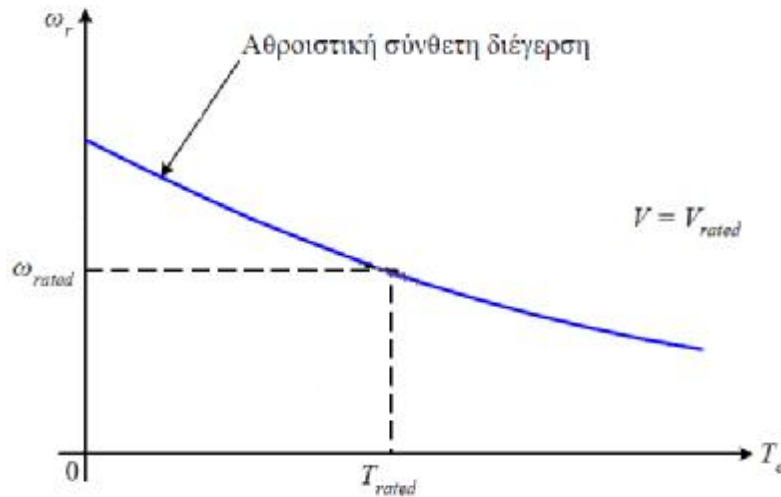


Σχήμα 4.6: Ισοδύναμο κύκλωμα σύνθετης διέγερσης.

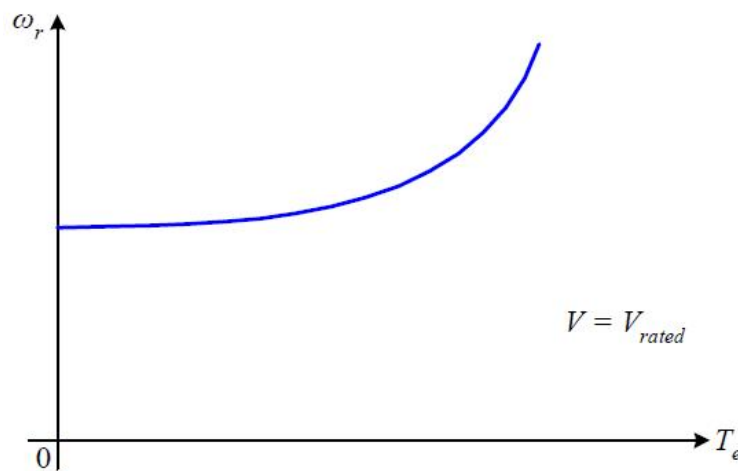
Λειτουργικά χαρακτηριστικά

1. Ο τύπος της αθροιστικής σύνθετης διέγερσης κινητήρα προσφέρει χαρακτηριστικά λειτουργίας ανάλογα με το ποσοστό της μαγνητικής ροής του τυλίγματος παράλληλης διέγερσης προς τη ροή του τυλίγματος διέγερσης σειράς. Με ποσοστό γύρω στο 12% παρουσιάζει καλή ροπή εκκίνησης και σταθερότητα στροφών. Μεγαλύτερη τιμή αναλογίας, δηλαδή τιμή που φτάνει και το 40% έως και 50%, προσφέρει παραπάνω ροπή εκκίνησης και χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις όπως ανελκυστήρες.
2. Η Αθροιστική Συνθέτη Διέγερση έχει πολλούς λόγους να βρίσκει εύκολα εφαρμογή αφού συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς αντίστοιχα. Για παράδειγμα ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη ροπή εκκίνησης όπως και ο κινητήρας διέγερσης σειράς. Επίσης ο κινητήρας χωρίς φορτίο ή με χαμηλό φορτίο δεν επιταχύνει ανεξέλεγκτα μέχρι να καταστραφεί (χαρακτηριστικό του κινητήρα διέγερσης σειράς) γιατί όταν το φορτίο του κινητήρα είναι μικρό και ο κινητήρας δεν χρειάζεται μεγάλη ροπή τότε καθόσον επικρατεί το μαγνητικό πεδίο της παράλληλης διέγερσης συμπεριφέρεται περισσότερο ως παράλληλης διέγερσης. Αντίθετα όταν υπάρχει μεγαλύτερο φορτίο και ο κινητήρας χρειάζεται ροπή, τότε ο κινητήρας «επικρατεί» το μαγνητικό πεδίο της διέγερσης σειράς και συμπεριφέρεται σαν κινητήρας διέγερσης σειράς.
3. Ο τύπος της διαφορικής Συνθέτης Διέγερσης δεν βρίσκει σχεδόν καθόλου εφαρμογή παρά μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις. Ο λόγος βρίσκεται στο ότι αυτού του τύπου η διέγερση είναι πολύ ασταθής, τόσο που ο κινητήρας συνεχώς αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής του χωρίς περιορισμούς

προκαλώντας ζημιές στον ίδιο ή πολλές φορές σε ότι είναι συνδεδεμένο σε αυτόν. Επίσης ο κινητήρας με αυτή τη διέγερση έχει το μειονέκτημα του ότι δεν μπορεί να εκκινήσει από μόνος του. Σπάνια υπάρχει πιθανότητα να εκκινήσει από μόνος του αλλά θα κινείται πολύ αργά προς την αντίθετη της αναμενόμενης κατεύθυνση. Έτσι τα τυλίγματα του υπερθερμαίνονται και καταστρέφονται. Ένας τρόπος εκκίνησης του είναι η βραχυκύκλωση του τυλίγματος σειράς έτσι ο κινητήρας εκκινεί ως παράλληλης διέγερσης.



Σχήμα 4.7: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.



Σχήμα 4.8: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας κινητήρα διαφορικής σύνθετης διέγερσης.

4.3 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC)

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτούνται συνήθως από το μονοφασικό ή το τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 50 Hz. Διακρίνονται ανάλογα αν η τροφοδοσία γίνεται από τριφασικό, μονοφασικό ή και πολυφασικό δίκτυο σε τριφασικούς ή μονοφασικούς ή πολυφασικούς κινητήρες, κινητήρες με ψήκτρες ή κινητήρες σειράς (universal motors).

Οι τριφασικοί ή μονοφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε σύγχρονους (synchronous motors) και ασύγχρονους ή επαγωγικούς (asynchronous, induction motors).

4.3.1 Σύγχρονοι Κινητήρες



Πίνακας 4.3: Κατηγορίες Σύγχρονων Κινητήρων.

1. Σύγχρονος Κινητήρας Περιστρεφόμενου Μαγνητικού Πεδίου

Η λειτουργία ενός σύγχρονου κινητήρα περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στηρίζεται στην αλληλεπίδραση δύο πεδίων: του συνεχούς πεδίου διέγερσης και του περιστρεφόμενου πεδίου του στάτη το οποίο δημιουργείται συνήθως από τρία όμοια σταθερά τύλιγματα που περιελίσσονται κατάλληλα στις αυλακώσεις του στάτη δημιουργώντας ημιτονοειδών κατανομημένο μαγνητικό πεδίο και στρεφόμενο με σταθερή ταχύτητα. Το πεδίο διέγερσης βρίσκεται συνήθως στον δρομέα (εσωτερικών πόλων), χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Συνήθως είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης (τύλιγμα διέγερσης ή τύλιγμα πεδίου) ο οποίος τροφοδοτείται με συνεχή τάση μέσω ψηκτρών, αλλά μπορεί να είναι και μόνιμος μαγνήτης.

2. Σύγχρονος Κινητήρας Στατικού Μαγνητικού Πεδίου

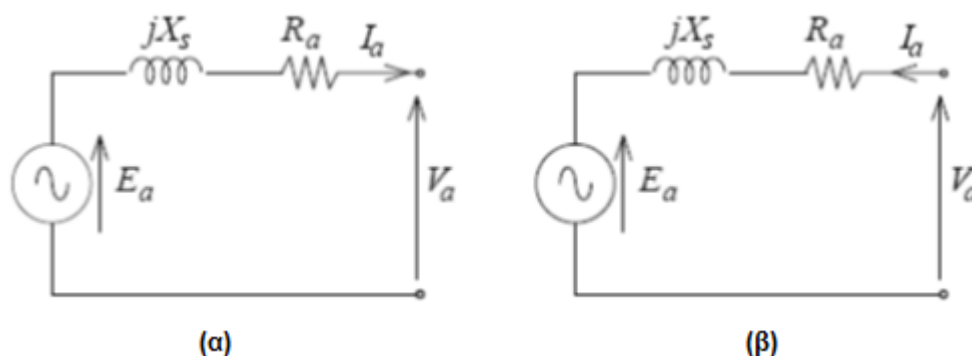
Ο σύγχρονος κινητήρας στατικού μαγνητικού πεδίου έχει τοποθετημένους τους έκτυπους πόλους στο στάτη. Οι πόλοι δημιουργούν μαγνητικό πεδίο είτε με μόνιμους μαγνήτες είτε με συνεχές ρεύμα. Το τριφασικό τύλιγμα του τυμπάνου, τοποθετείται στον άξονα. Το τύλιγμα τυμπάνου τροφοδοτείται μέσω τριών δακτυλίων (συλλέκτες) και ενός συνόλου ψηκτρών. Αυτή η διάταξη μπορεί να βρεθεί σε κινητήρες μέχρι 5 kVA.

Με την έρευνα και τις τελευταίες προόδους που έχουν συντελεστεί στην τεχνολογία των υλικών έχουν προκύψει μόνιμοι μαγνήτες με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά που δίνουν τη δυνατότητα αντικατάστασης του ηλεκτρομαγνήτη που συνήθως απαιτεί τροφοδοσία με ψήκτρες από κάποιον μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος δεν

έχει ανάγκη ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται **σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών**.

3. Σύγχρονοι Κινητήρες Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίστασης

Ένα άλλο είδος σύγχρονων κινητήρων που παρουσιάζει ενδιαφέρον, για ειδικές όμως εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης είναι οι **σύγχρονοι κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης**. Στον στάτη των κινητήρων αυτών υπάρχει και πάλι το συμμετρικό τριφασικό τύλιγμα. Ο δρομέας τους αποτελείται είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε από ηλεκτρομαγνήτες και κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει μικρό διάκενο (μικρή μαγνητική αντίσταση) κατά τον ευθύ άξονα (d) και μεγάλο διάκενο κατά τον εγκάρσιο άξονα (μεγάλη μαγνητική αντίσταση). Η ύπαρξη του μεταβλητού διακένου και συνακόλουθα μεταβλητής μαγνητικής επαγωγής οδηγεί στην ανάπτυξη δυνάμεων που στρέφουν το δρομέα προς τη θέση ελάχιστης μαγνητικής ενέργειας. Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δηλαδή που δημιουργεί ο στάτης αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο του ρότορα και προσπαθεί να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία έτσι το μόνο που μπορεί να κάνει ο δρομέας είναι να αποκτήσει κινητική ενέργεια και να αρχίσει να περιστρέφεται με την συχνότητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Η τελική ταχύτητα που θα αποκτήσει ο δρομέας είναι η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα τροφοδοσίας του στάτη και από τον αριθμό των πόλων που σχεδιάζονται τα τυλίγματα του.

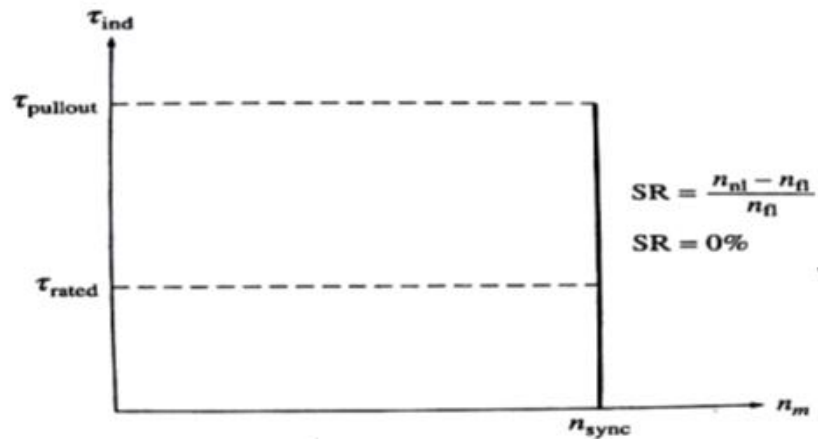


Σχήμα 4.9: Ισοδύναμο κύκλωμα ανά φάση Σύγχρονης Μηχανής . (α) γεννήτριας (β) κινητήρα.

Λειτουργικά χαρακτηριστικά

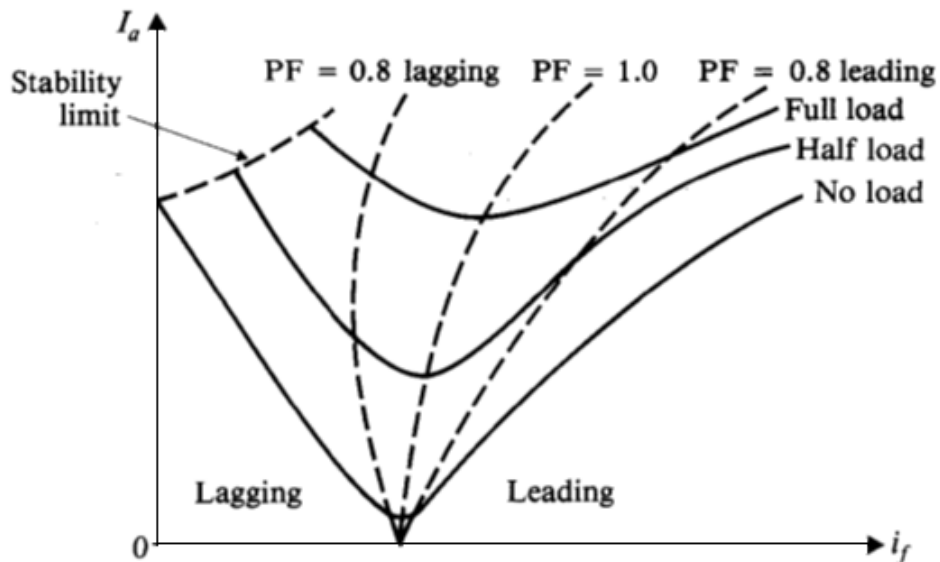
1. Η ροπή τους είναι αρκετά μεγάλη αλλά υπάρχει ένα «όριο» που ορίζουν οι προδιαγραφές του κάθε κινητήρα, τα οποία είναι ανάλογο του ρεύματος διέγερσης.
2. Όταν η ροπή του φορτίου είναι μεγαλύτερη αυτής που προσφέρουν οι προδιαγραφές του, δηλαδή φτάσει στη ροπή ανατροπής ή αποσυγχρονισμού, ($r_{pullout}$) ο δρομέας δεν μπορεί να ακολουθήσει την ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη με αποτέλεσμα να προκληθούν δονήσεις στον κινητήρα και μείωση των στροφών του.
3. Η ταχύτητα του κινητήρα παραμένει σταθερή ίση με τη σύγχρονη εφόσον η ροπή φορτίου δεν υπερβαίνει το παραπάνω «όριο» ($r_{pullout}$).

4. Όταν η ταχύτητα του απομακρυνθεί από την σύγχρονη ταχύτητα τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος οι μαγνητικές γραμμές που συνδέουν το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη με το στρεφόμενο με διαφορετική ταχύτητα μαγνητικό πεδίο του δρομέα να χάσουν «επαφή» και ο δρομέας να επιβραδύνεται συνεχώς ενώ το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο θα συνεχίσει να περιστρέφεται. Αυτό σίγουρα προκαλεί μαγνητικό θόρυβο και δονήσεις στον κινητήρα καθώς επίσης και αύξηση της θερμοκρασίας στα τυλίγματα του με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.



Σχήμα 4.10: Χαρακτηριστική ροπής ταχύτητας σύγχρονου κινητήρα

5. Ένα πλεονέκτημα του σύγχρονου κινητήρα σε σχέση με τον ασύγχρονο είναι η δυνατότητα να δουλεύει με επαγωγικό και με χωρητικό ΣΙ με κατάλληλη ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης όπως χαρακτηριστικά δείχνει και το σχέδιο που ακολουθεί.



Σχήμα 4.11: Καμπύλες «V» σύγχρονου κινητήρα.

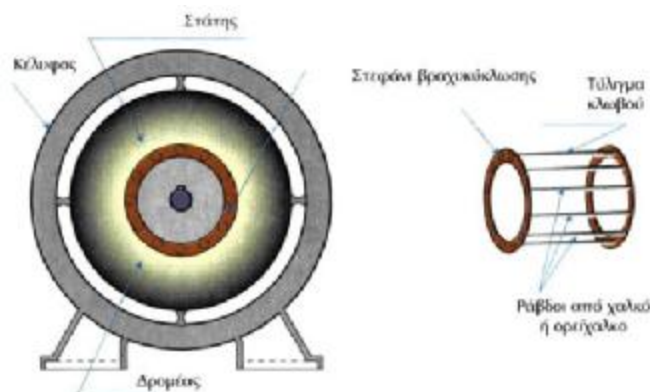
4.3.2 Ασύγχρονοι ή Επαγωγικοί Κινητήρες

Οι ασύγχρονες κινητήρες ή μηχανές επαγωγής (induction, asynchronous motors), στρέφονται γενικά με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη και στην ονομαστική τους λειτουργία. Ο στάτης των μηχανών αυτών είναι ίδιος με τον στάτη των σύγχρονων μηχανών δηλαδή διαθέτει τριφασικά σταθερά τυλίγματα που δημιουργούν ένα ομοιόμορφα στρεφόμενο και ημιτονοειδές κατανεμημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο. Οι κινητήρες αυτοί ονομάστηκαν επαγωγικοί γιατί η λειτουργία τους στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής και για το λόγο αυτό καλούνται επίσης και στρεφόμενοι μετασχηματιστές. Ασύγχρονοι κινητήρες είναι η δεύτερη ονομασία η οποία προέρχεται από την ταχύτητα περιστροφής τους η οποία είναι πάντα διαφορετική από τη σύγχρονη.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με μονοφασικό ή τριφασικό τύλιγμα στον στάτη τους και με δρομέα που είναι ειδικά κατασκευασμένος έτσι ώστε η τάση που «μεταφέρεται» μέσω του φαινομένου της επαγωγής να γίνεται ρεύμα.

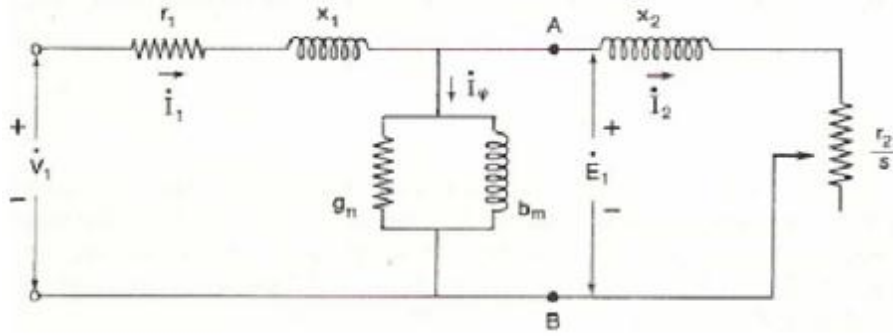
· Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες (Α.Τ.Κ)

Οι τριφασικοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που προκύπτουν από την κατασκευή του ρότορα. Ο ένας τύπος είναι ο **δακτυλιοφόρου δρομέα** και ο άλλος ο **βραχυκυκλωμένου δρομέα**. Οι δρομείς αποτελούνται από λεπτά φύλλα σιδηρομαγνητικού υλικού τα οποία είναι μονωμένα μεταξύ τους για τη μείωση των μαγνητικών απωλειών που προκαλούνται από τα δρομεύματα. Στην επιφάνεια του ρότορα υπάρχουν αυλακώσεις (κλειστές, ημίκλειστες ή ανοικτές) μέσα από τις οποίες διέρχονται τα τυλίγματα (δακτυλιοφόρου) ή οι αγωγοί (βραχυκυκλωμένου).

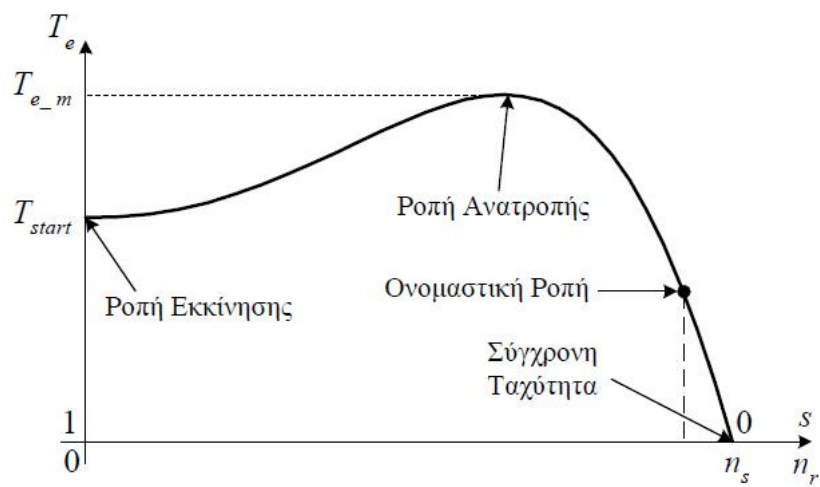


Σχήμα 4.12: Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

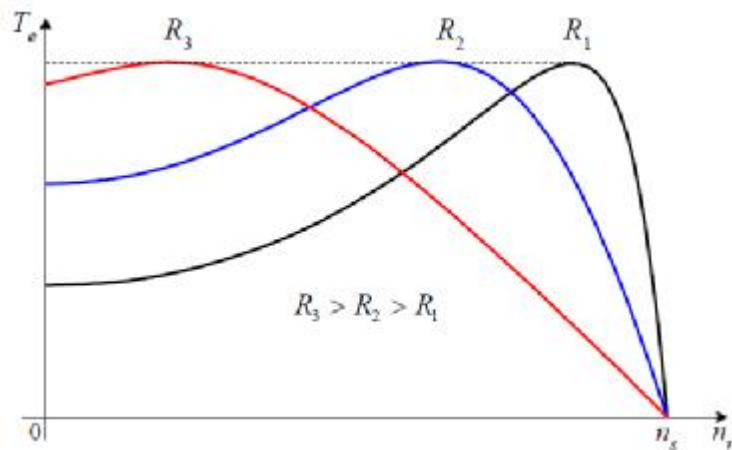
Κατά την εκκίνηση των κινητήρων αυτών τα τυλίγματα στον στάτη τους απορροφούν αυξημένη ένταση ρεύματος από την πηγή μέχρι ο ρότορας να φτάσει στην ασύγχρονη ταχύτητα περιστροφής όπου παράγει και την μεγαλύτερη ποσότητα ροπής (ταχύτητα/ ροπή ανατροπής). Αν στον άξονα του τοποθετηθεί φορτίο προτού φτάσει στην ταχύτητα ανατροπής τα τυλίγματα στον στάτη του θα απορροφήσουν ακόμα μεγαλύτερο ρεύμα από την πηγή από ότι συνήθως για να διατηρήσουν την αύξηση των στροφών.



Σχήμα 4.13: Το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα.



Σχήμα 4.14: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων.



Σχήμα 4.15: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων με δακτυλιοφόρο δρομέα, με τη μεταβολή της αντίστασης στο τύλιγμα του δρομέα.

· **Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες (Α.Μ.Κ.)**

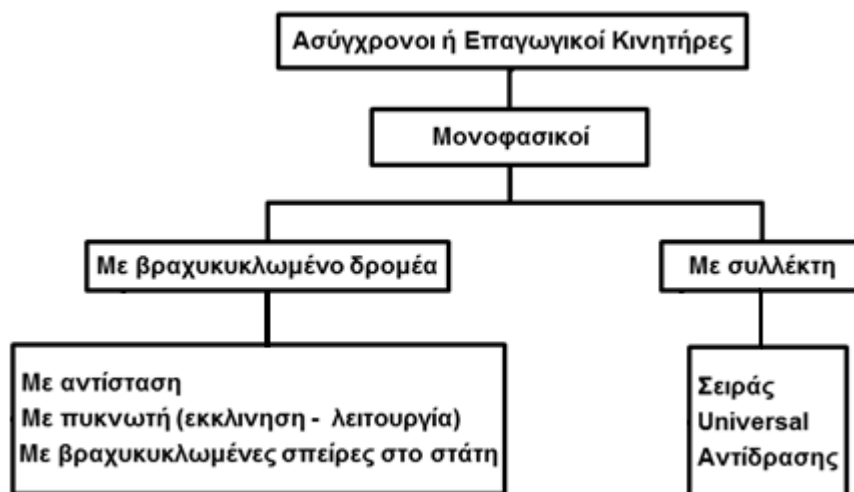
Οι Ασύγχρονοι Μονοφασικοί Κινητήρες (Α.Μ.Κ.) οι οποίοι συνδέονται σε μονοφασική τάση, κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα σε Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένο δρομέα και σε Α.Μ.Κ. με συλλέκτη.

Στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη το οποίο είναι απαραίτητο για την εκκίνηση, δηλαδή της δημιουργίας διαφοράς φάσης μεταξύ των ρευμάτων στο κύριο και στο βοηθητικό τύλιγμα, οι Α.Μ.Κ. διακρίνονται σε :

- α. κινητήρες με αντίσταση.
- β. κινητήρες με πυκνωτή (ή πυκνωτές).
- γ. κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Αντίστοιχα οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη διακρίνονται βασικά σε :

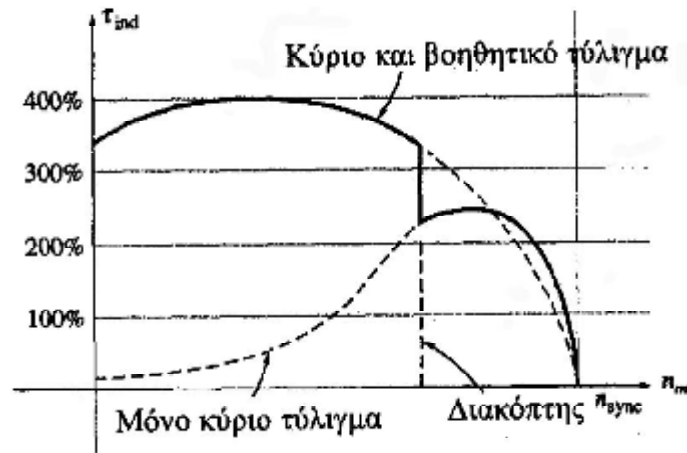
- α. κινητήρες Σειράς.
- β. κινητήρες Universal.
- γ. κινητήρες Αντίδρασης.



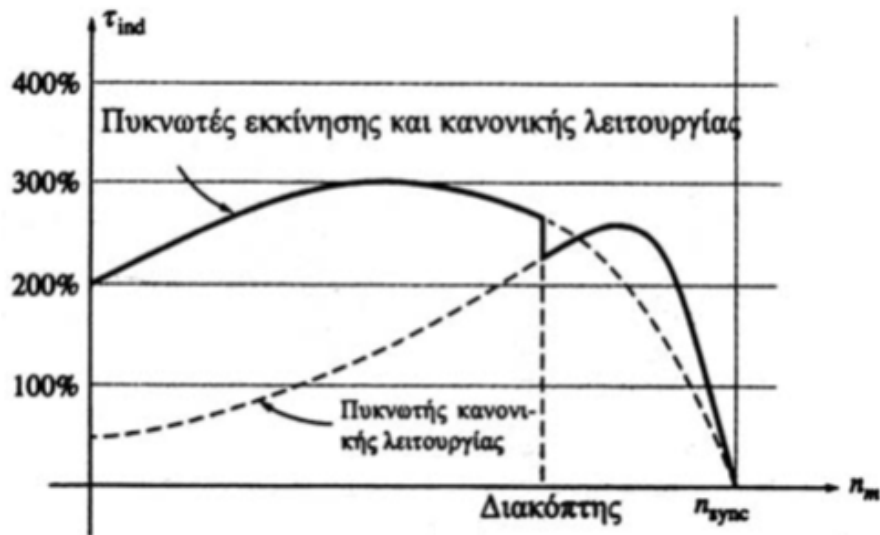
Πίνακας 4.4: Κατηγορίες Ασύγχρονων Μονοφασικών Ηλεκτρικών Κινητήρων Εναλλασσόμενου Ρεύματος.

Οι Α.Μ.Κ. με αντίσταση χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλες ροπές εκκίνησης (ή μπορούν να λειτουργούν με θόρυβο), όπως μηχανές γραφείου, ανεμιστήρες, φυσητήρες, φυγοκεντρικές αντλίες, πλυντήρια, ηλεκτροκίνητα εργαλεία, καυστήρες, συμπιεστές κ.α.

Οι Α.Μ.Κ. με πυκνωτή χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που είναι απαραίτητη η μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως π.χ. οι αεροσυμπιεστές, οι αντλίες, οι ράμπες συνεργείων αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά ψυγεία, τα κλιματιστικά μηχανήματα και άλλα τμήματα μηχανών και συσκευών που πρέπει να ξεκινούν με φορτίο.



Σχήμα 4.16: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης.



Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης και πυκνωτή λειτουργίας

Οι Α.Μ.Κ. με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές πολύ μικρής ισχύος όπως ανεμιστήρες, στεγνωτήρες μαλλιών κ.λπ.

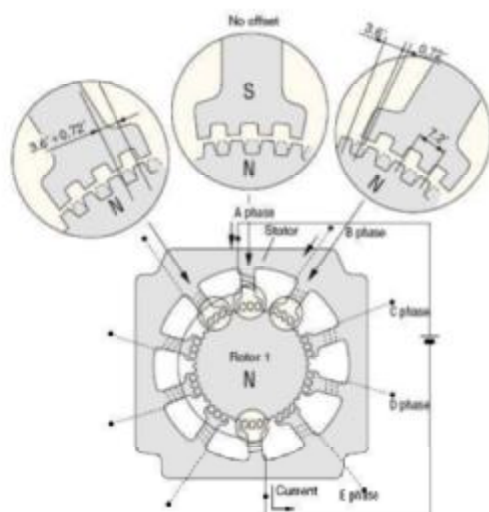
Οι Μονοφασικοί Κινητήρες Σειράς παρουσιάζουν αυξημένη ροπή κατά την εκκίνηση και χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση ηλεκτρικών οχημάτων και βαρούλκων στα ανυψωτικά μηχανήματα κ.λπ.

Οι κινητήρες Universal χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου το μικρό βάρος και η μεγάλη ροπή είναι απαραίτητα χαρακτηριστικά, όπως π.χ. οι ηλεκτρικές σκούπες, τα ηλεκτρικά τρυπάνια, τα δισκοπρίονα, οι μηχανές προβολείς, οι ραπτομηχανές κ.α. Χρησιμοποιούνται, επίσης στη βιομηχανία και την υφαντουργία.

Οι κινητήρες αντίδρασης χρησιμοποιούνται σε περιορισμένες εφαρμογές, όπως π.χ. τα μηχανικά εργαλεία, οι αεροσυμπιεστές, οι αντλίες βενζίνης και οι εργαλειομηχανές.

4.4 Βηματικοί Κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες είναι Ειδικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται ακρίβεια στο καθορισμό της θέσης μιας μετακίνησης. Γενικά η κατασκευή τους είναι απλή, αφού το μόνο κινούμενο τμήμα τους είναι ο ρότορας, ο οποίος δεν έχει πηνία, μεταγωγέας και οι ψήκτρες. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα τους είναι ότι ο άξονας εισόδου περιστρέφεται σε μία σειρά διακεκριμένων γωνιακών διαστημάτων ή βημάτων και ένα βήμα πραγματοποιείται κάθε φορά που μια εντολή παλμού λαμβάνεται. Όταν ένας τελικός αριθμός παλμών έχει παραχθεί ο άξονας θα περιστραφεί προς μια γνωστή γωνία. Χαρακτηριστικά, όλα τα τυλίγματα στη μηχανή είναι μέρος του στάτη και ο ρότορας είναι είτε ένας μόνιμος μαγνήτης είτε, στην περίπτωση των μηχανών μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης, ένας οδοντωτός κύλινδρος κάποιου μαγνητικά μαλακού υλικού.



Σχήμα 4.18: Λεπτομέρεια κατασκευής βηματικού κινητήρα.

Η αρχή λειτουργίας βηματικών κινητήρων ότι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται ενώ ετερώνυμοι μαγνητικοί πόλοι έλκονται αποτελεί τη βάση της λειτουργίας των βηματικών κινητήρων. Ο στάτης είναι οι δύο ηλεκτρομαγνήτες A1 και A2 ενώ ο σπλισμός είναι ένας μόνιμος μαγνήτης. Όταν η πολικότητα του ρεύματος είναι τέτοια ώστε ο ηλεκτρομαγνήτης A1 να σχηματίζει Βόρειο πόλο και ο ηλεκτρομαγνήτης A2 να σχηματίζει Νότιο πόλο, τότε, ο σπλισμός ξεκινάει από μια τυχαία θέση και περιστρέφεται προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά μέχρι να βρει την κατάσταση ισορροπίας.

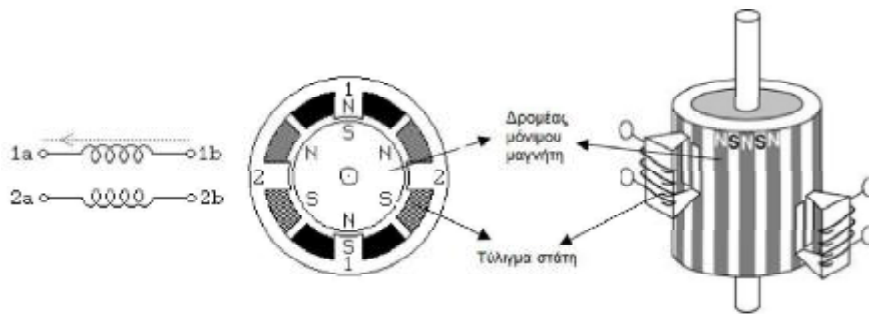


Πίνακας 4.5: Κατηγορίες βηματικών κινητήρων.

4.4.1 Βηματικός Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη

Οι βηματικοί κινητήρες (permanent magnet stepping motor PM), χρησιμοποιούν στο δρομέα ένα μόνιμο μαγνήτη καλούνται βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη. Ο δρομέας του κινητήρα του μόνιμου μαγνήτη αποτελείται από κυλινδρικούς τομείς μόνιμων μαγνητών που προσαρμόζονται στην ίδια άτρακτο. Οι μόνιμοι μαγνήτες έχουν πόλους που τείνουν να ευθυγραμμίζονται με το πεδίο πόλων του στάτη. Η φορά περιστροφής τους αλλάζει εάν αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει τα τυλίγματα του στάτη. Επιπλέον, οι μόνιμοι μαγνήτες συντελούν στην τάση του κινητήρα να ευθυγραμμίζεται στις διευθύνσεις που έχει. Μετά από μια μικρή διαταραχή ο δρομέας επανέρχεται σε μια θέση ισορροπίας. Αυτό συμβαίνει γιατί ο κινητήρας εμφανίζει μια ροπή επαναφοράς ή ροπή συγκράτησης ακόμα και αν διακοπεί η τροφοδοσία.

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν απλή κατασκευή, μικρή ροπή αδράνειας, παράγουν χαμηλή ροπή σε χαμηλές στροφές και έχουν το χαμηλότερο κόστος. Για τους παραπάνω λόγους, οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη αποτελούν μια ιδανική επιλογή για τις μη βιομηχανικές εφαρμογές και είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι (π.χ. εκτυπωτής, μηχανές γραφείου κτλ).



Σχήμα 4.19: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη.

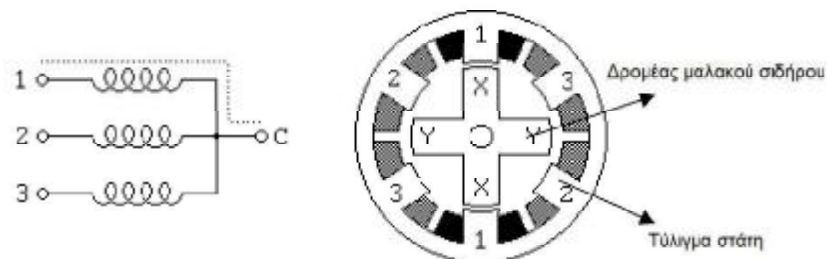
4.4.2 Βηματικός Κινητήρας Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίδρασης

Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης ή μεταβλητής απροθυμίας (variable reluctance stepper motor VR), είναι οι πιο διαδεδομένοι γι' αυτό τους συναντάμε και στις περισσότερες εφαρμογές. Οι κινητήρες αυτοί παράγονται με ένα τμήμα δρομέα (single stack rotor) ή με πολλαπλά τμήματα δρομέα (multiple stack rotor) προσαρμοσμένα στην ίδια άτρακτο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η βελτίωση της αποδιδόμενης ροπής. Μπορούν να έχουν μικρό ή μεσαίο γωνιακό βήμα και υψηλή συχνότητα παλμών.

Τα υλικά στατών και δρομέων πρέπει να έχουν την υψηλή διαπερατότητα και να είναι ικανά για υψηλή μαγνητική ροή, για να περάσουν ακόμα κι αν εφαρμόζεται μια χαμηλή μαγνητική δύναμη. Η συγκεκριμένη κατηγορία βηματικών κινητήρων περιλαμβάνει ένα στάτη που κρατιέται σε θέση με το εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα και τα τυλίγματα. Ο στροφάκος κατασκευάζεται ως ενιαία μονάδα, που υποστηρίζεται σε κάθε άκρη της μηχανής από τα ρουλεμάν, και περιλαμβάνει έναν άξονα προβολής για τη σύνδεση των εξωτερικών φορτίων. Ο δρομέας του κινητήρα μεταβλητής απροθυμίας έχει έκτυπους πόλους (οδόντες), όπου διαφέρουν σε

πλήθος από αυτό των πόλων του στάτη. Επομένως, πάντα υπάρχουν οδόντες που δεν είναι ευθυγραμμισμένοι με αυτούς του στάτη.

Ο δρομέας αναγκάζεται να περιστραφεί από τη διέγερση του τυλίγματος του κατάλληλου οδόντα έτσι ώστε κάποιο ζεύγος οδόντων να ευθυγραμμιστεί με τους πόλους του ενεργοποιημένου τυλίγματος. Αποτέλεσμα είναι η ελαχιστοποίηση της μαγνητικής αντίστασης στο δρόμο της μαγνητικής ροής.



Σχήμα 4.20: Τυλίγματα βηματικού κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης.

4.4.3 Υβριδικός Βηματικός Κινητήρας

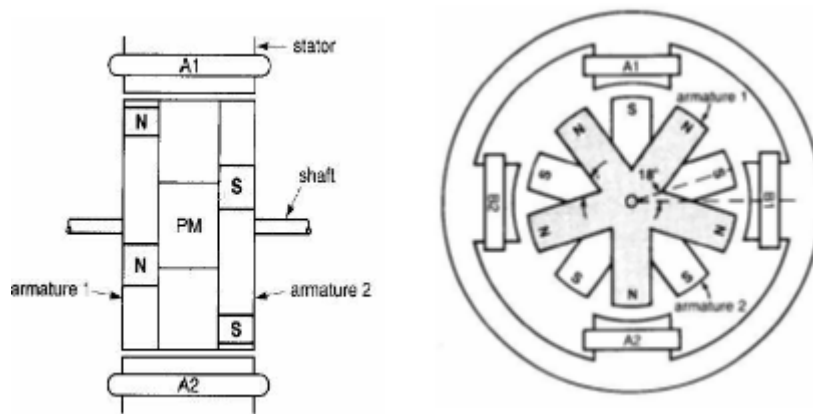
Οι Υβριδικοί Βηματικοί Κινητήρες (hybrid stepping motor HB), συνδυάζουν τα κύρια χαρακτηριστικά των άλλων δύο προηγούμενων τύπων. Ο δρομέας αποτελείται, όπως και στους βηματικούς κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, από μόνιμους μαγνήτες σε μορφή κυλίνδρου. Στα άκρα των μαγνητών, προσαρμόζονται τμήματα με μορφή οδοντωτών τροχών. Λόγω του ενδιάμεσου μαγνήτη αυτά μετατρέπονται σε βόρειο και σε νότιο πόλο.

Ο δρομέας αποτελείται από ζεύγη τμημάτων και επειδή είναι μόνιμος μαγνήτης υπάρχει πάντα κάποια ροπή συγκράτησης. Ο στάτης έχει έκτυπους πόλους ή οδόντες και τα τυλίγματά του είναι συνεχή και κατά μήκος του άξονα.

Οι υβριδικοί βηματικοί κινητήρες είναι οι πλέον διαδεδομένοι στις βιομηχανικές εφαρμογές. Έχουν δύο πανομοιότυπους σπλισμούς στο ίδιο άξονα. Στο σχήμα 3.10 απεικονίζεται υβριδικός κινητήρας με τετραπολικό στάτη και δύο πενταπολικούς σπλισμούς εκ των οποίων ο ένας είναι μαγνητισμένος ώστε οι πέντε πόλοι του να είναι βόρειοι και ο άλλος είναι μαγνητισμένος ώστε όλοι οι πέντε πόλοι του να είναι νότιοι.

Τα πηνία A1 και A2 είναι σε σειρά, το ίδιο τα πηνία B1 και B2. Ο κινητήρας αναπτύσσει ροπή συγκράτησης που κρατάει τον δρομέα ακίνητο. Όταν διεγείρονται τα πηνία B, τότε ο δρομέας περιστρέφεται κατά 18° και ευθυγραμμίζεται με τους πόλους B του στάτη.

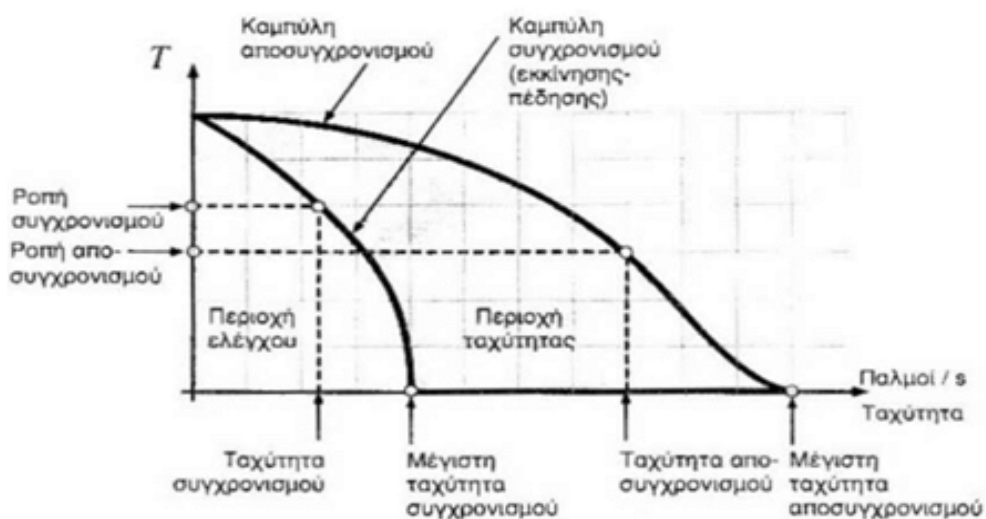
Μεταξύ των δύο σπλισμών βρίσκεται ένας μόνιμος μαγνήτης ο οποίος παράγει ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο μαγνητίζει τον έναν σπλισμό ως βόρειο και τον άλλο σπλισμό ως νότιο.



Σχήμα 4.21: Τομή υβριδικού κινητήρα.

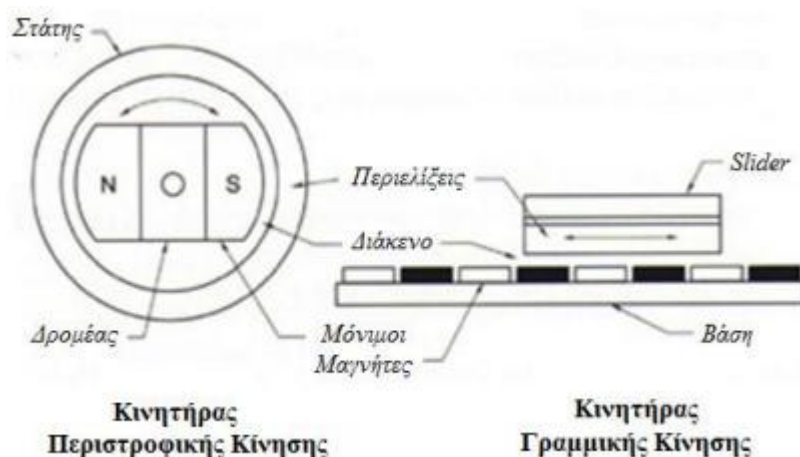
Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Η χαρακτηριστική ροπής ταχύτητας των βηματικών κινητήρων περιλαμβάνει δύο καμπύλες, την καμπύλη συγχρονισμού (pul I-in) και την καμπύλη αποσυγχρονισμού (pul II-out). Αυτές χωρίζουν το διάγραμμα ροπής ταχύτητας σε δύο περιοχές. Στην πρώτη, την περιοχή ελέγχου, ο κινητήρας μπορεί να εκκινήσει, να σταματήσει, ή να αλλάξει φορά με ένα μόνο παλμό. Στην περιοχή αυτή, ο κινητήρας μπορεί να εργάζεται σαν διάταξη ελέγχου θέσης ανοικτού βρόχου.



Σχήμα 4.22: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας.

4.5 Σερβοκινητήρες



Σχήμα 4.23: Σύγχρονος σερβοκινητήρας μόνιμου μαγνήτη α) περιστροφική και β) γραμμική κίνηση.

Στον τομέα του ελέγχου κίνησης και ειδικότερα σε εφαρμογές ελέγχου θέσεως ταχύτητας και ροπής άξονα χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια οι ειδικοί κινητήρες που λέγονται σερβοκινητήρες. Με τη χρήση αυτών των κινητήρων δίνεται λειτουργικά η δυνατότητα εκτός από την απλή ρύθμιση των στροφών που γίνεται και στους συνήθεις κινητήρες με ρυθμιστές στροφών ή inverters να γίνεται πραγματικός έλεγχος της θέσης του άξονα του κινητήρα (positioning). Οι σερβοκινητήρες είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου, χωρίς φυσικά να είναι ίδιοι με τους κοινούς κινητήρες παρόλο που μοιάζουν κατασκευαστικά. Οι σερβοκινητήρες διαφέρουν από τους άλλους κινητήρες στο ότι ενσωματώνουν σύστημα ανάδρασης το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σερβομηχανισμό οδήγησης με σκοπό να ελεγχθεί είτε η ροπή είτε η ταχύτητα. Οι σερβοκινητήρες έχουν την ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες επιταχύνσεις, όταν ξεκινούν από πλήρη ακινησία δηλαδή ο κινητήρας να έχει μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης.

Για να πετύχουμε αυτά τα δύο πρέπει:

- 1 Ο ρότορας να έχει μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο.
- 2 Να υπάρχουν περιελίξεις αντιστάθμισης οι οποίες επιτρέποντας ανάπτυξη μεγαλύτερων ρευμάτων αυξάνουν τη ροπή στρέψης.
- 3 Για μικρής ισχύος κινητήρες προβλέπεται μόνιμος μαγνήτης μέσα στους πόλους του οποίου και γύρω από ένα μόνιμο στέλεχος (όπως στα όργανα κινητού πλαισίου) περιστρέφεται το τύλιγμα του ρότορα.
- 4 Να είναι μειωμένη η σταθερά χρόνου L.R του τυλίγματος του ρότορα.

Οι σερβοκινητήρες διακρίνονται σε ηλεκτρικούς AC και DC, σε πνευματικούς και υδραυλικούς.

4.5.1 Σερβοκινητήρας Συνεχούς Ρεύματος

Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι βασικά τεσσάρων τύπων.

1. Σερβοκινητήρας ελεγχόμενου πεδίου

Ο έλεγχος των κινητήρων αυτών γίνεται με μεταβολή της τάσης του τυλίγματος διέγερσης, λόγω του σήματος σφάλματος στην είσοδο του ενισχυτή. Επίσης η ροπή τους είναι μηδενική. Επειδή το ρεύμα του τυλίγματος του δρομέα είναι πάντοτε σταθερό η ροπή εξαρτάται άμεσα από τη μαγνητική ροή του πεδίου, ή διαφορετικά από το ρεύμα του τυλίγματος διέγερσης (μέχρι το σημείο κορεσμού).

2. Σερβοκινητήρας έλεγχου τυμπάνου

Το τύλιγμα των κινητήρων αυτών τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα που προέρχεται από πηγή σταθερού ρεύματος, ενώ το τύλιγμα του δρομέα από ενισχυτή. Ο έλεγχος των κινητήρων ισχύος μέχρι περίπου 1000 HP γίνεται με μεταβολή της τάσης του τυλίγματος του δρομέα. Αν το σήμα σφάλματος του ενισχυτή και η πολικότητα της τάσης του τυλίγματος δρομέα αναστραφούν, ο κινητήρας θα αλλάξει φορά περιστροφής. Κινητήρες έλεγχου δρομέα μεγάλης ισχύος συνήθως τροφοδοτούνται από στρεφόμενους ενισχυτές, όπου ο σερβομηχανισμός χρειάζεται μεγάλες ισχύεις.

3. Σερβοκινητήρας «χωρισμένου» πεδίου σειράς

Είναι μικροί κινητήρες συνεχούς ρεύματος κλασματικής ισχύος, που μπορούν να λειτουργούν σαν κινητήρες ελεγχόμενου πεδίου ανεξαρτήτως διέγερσης.

Το ένα τύλιγμα ονομάζεται κύριο και το άλλο βοηθητικό, αναπτύσσουν γενικά την ίδια μαγνητηγενετική δύναμη και είναι περιελιγμένα στους πόλους έτσι ώστε να μπορούν να προκαλούν αντίθετη φορά περιστροφής. Οι σερβοκινητήρες τύπου σειράς αναπτύσσουν μεγάλη ροπή εκκίνησης και ταχεία απόκριση σε μικρά σήματα σφάλματος.

Γενικά οι δρομείς κινητήρων DC παράλληλων και σειράς παρουσιάζουν μεγαλύτερη ροπή αδράνειας από τους δρομείς των κινητήρων AC ίσης ισχύος, λόγω βαρύτερων τυλιγμάτων.

4. Σερβοκινητήρας μόνιμων μαγνητών έλεγχου τυμπάνου

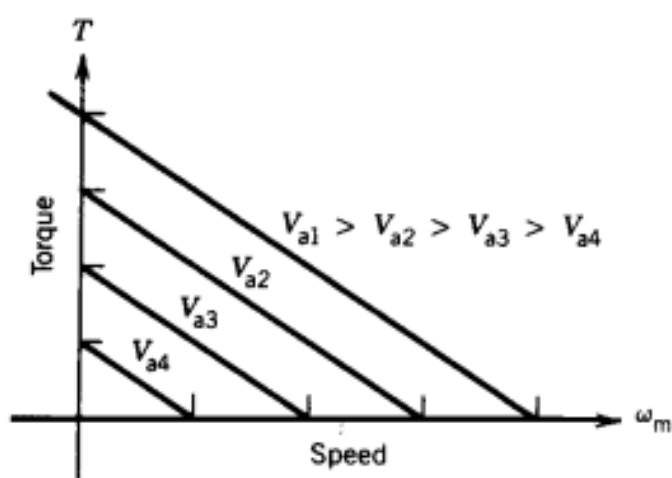
Είναι μικροί σερβοκινητήρες Σ.Ρ, κλασματικής ισχύος, μικρής ροπής, για διατάξεις μετρήσεων. Έχουν μόνιμους μαγνήτες για δημιουργία σταθερού πεδίου διέγερσης και δεν τροφοδοτούνται από πηγή σταθερού ρεύματος. Συνήθως οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται για ονομαστικές συνεχείς τάσεις 6V και 23V. Ο στάτης των κινητήρων αυτών κατασκευάζεται σε σχήμα κυκλικού δακτυλίου ώστε να περιβάλλει το τύμπανο και αναπτύσσει μεγάλη μαγνητική ροή. Έχουν κατάλληλα τυλίγματα αντιστάθμισης για να αποφεύγεται η απομαγνήτιση των μαγνητών όταν αναστρέφεται απότομα η πολικότητα της συνεχούς τάσης του τυλίγματος του δρομέα. Ο έλεγχος των κινητήρων αυτών γίνεται με μεταβολή της τάσης του τυλίγματος του δρομέα.

Οι τύποι των μαγνητών που χρησιμοποιούνται στους σερβοκινητήρες είναι:

- Κεραμικοί μαγνήτες οι οποίοι συνίστανται από οξειδίο του σιδήρου και καρβίδιο του βαρίου ή του στροντίου. Οι κεραμικοί μαγνήτες χρησιμοποιούνται σε κινητήρες μικρής σχετικά ισχύος για μη ενεργοβόρες διαδικασίες ελέγχου.

- Μαγνήτες AlNiCo, δηλαδή οι μαγνήτες αλουμινίου, νικελίου, κοβαλτίου, οι οποίοι είναι δυνατόν να περιέχουν ίχνη από σίδηρο, χαλκό και τιτάνιο. Σήμερα δε περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των καινούργιων κινητήρων εξαιτίας του υψηλού κόστους τους και της σχετικά εύκολης απομαγνήτισής τους σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος.
- Μαγνήτες Σαμαρίου Κοβαλτίου, οι οποίοι λόγω του μεγάλου κόστους τους χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές στις οποίες η υψηλή θερμοκρασία και η αντοχή σε διάβρωση αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους.

Μαγνήτες Νεοδύμιου Σιδήρου Βορίου (NdFeB) είναι οι πιο σύγχρονη γενιά μαγνητών. Οι εξαιρετικές μαγνητικές τους ιδιότητες τους καθιστούν παράλληλα κατάλληλους και για συμπαγείς κατασκευές σε χρήσεις που απαιτούν μικρότερα κόστη κατασκευής. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι ότι διαβρώνονται πολύ εύκολα.

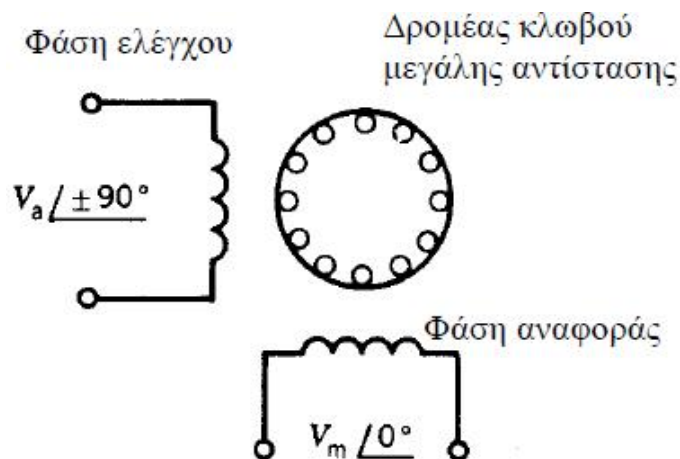


Σχήμα 4.24: Χαρακτηριστικές ροπής – ταχύτητας DC σερβοκινητήρα.

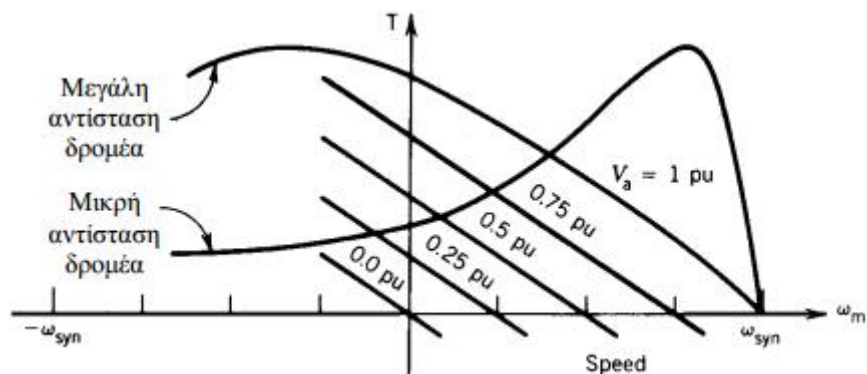
4.5.2 Σερβοκινητήρας Εναλλασσομένου Ρεύματος

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος μπορούν να είναι διφασικοί ή τριφασικοί. Οι διφασικοί αποτελούνται από δύο τυλίγματα στο στάτη με τέτοια τοποθέτηση, ώστε να παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90 μοιρών και το ρότορα. Το ένα τύλιγμα ονομάζεται τύλιγμα αναφοράς και τροφοδοτείται από μια εναλλασσόμενη τάση σταθερής τιμής, ενώ το άλλο τύλιγμα είναι τύλιγμα ελέγχου και τροφοδοτείται από την τάση ελέγχου. Όταν λοιπόν εφαρμοστούν αυτές οι τάσεις στα τυλίγματα τότε δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο από τα δύο ρεύματα που διαρρέουν τα τυλίγματα και ο ρότορας περιστρέφεται.

Ο ρότορας είναι φτιαγμένος από χάλκινες ράβδους που βραχυκυκλώνουν μεταξύ τους (βραχυκυκλωμένος δρομέας). Η ταχύτητα και η διεύθυνση περιστροφής καθορίζονται από το πλάτος και τη φάση της τάσης ελέγχου. Οι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος παρουσιάζουν μεγάλη ροπή στρέψης για μικρές γωνιακές ταχύτητες. Η σχέση μεταξύ ροπής και γωνιακής ταχύτητας είναι όμοια με αυτήν των σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος που ελέγχονται από το ρότορα, δηλαδή η ροπή στρέψης μικραίνει γραμμικά σε συνάρτηση με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας.



Σχήμα 4.25: Σχηματικό διάγραμμα Διφασικού AC σερβοκινητήρα.



Σχήμα 4.26: Χαρακτηριστικές ροπής – ταχύτητας διφασικού AC σερβοκινητήρα.

4.6 Εφαρμογές

4.6.1 Ηλεκτροκινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος ιστορικά προηγούνται των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δυνατότητα που παρέχουν για εύκολο έλεγχο ταχύτητας και ροπής τις κατέστησε για δεκαετίες τη μοναδική επιλογή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που απαιτούσαν μεταβλητή ταχύτητα λειτουργίας. Η ευκολία του ελέγχου οφείλεται στο ότι σε γενικές γραμμές σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος η ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης στο τύμπανο και η αναπτυσσόμενη ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου (αυτό βέβαια ισχύει επακριβώς μόνο για τους κινητήρες συνεχούς ξένης διέγερσης). Συνεπώς, όπως ήδη είναι φανερό, είναι αρκετά απλός ο έλεγχος ενός τέτοιου κινητήρα (πχ μέσω ενός μετατροπέα συνεχούς σε συνεχές – DC to DC Converter).

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν χρησιμοποιηθεί για πάρα πολλά χρόνια σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και θεωρούνταν αναντικατάστατοι σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής. Μόνο τα τελευταία είκοσι χρόνια δόθηκε η δυνατότητα αντικατάστασής τους από τους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (κινητήρες επαγωγής) που οδηγούνται με προηγμένες τεχνικές ελέγχου. Σύμφωνα με μελέτες στις βιομηχανικές χώρες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες καταναλώνουν περίπου το 65% της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας. Το 8% αυτής της κατανάλωση οφείλεται σε κινητήρες Σ.Ρ., που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ελεγχόμενης λειτουργίας. Το υπόλοιπο, μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, καταναλώνεται από κινητήρες Ε.Ρ., που λειτουργούν συνήθως με μη ελεγχόμενες ταχύτητες περιστροφής. Ηλεκτροκινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές κινήσεις με έλεγχο της περιστροφικής ταχύτητας, όπως μεταφορικές εγκαταστάσεις, εργαλειομηχανές, τροchioδρομικά οχήματα κ.λπ. Συγκριτικά με τους κινητήρες Ε.Ρ., οι κινητήρες Σ.Ρ. παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά ανωτερότητας που τους κάνουν αναντικατάστατους σε κινήσεις υψηλών απαιτήσεων όπως π.χ. στα έλαστρα. Η τροφοδότηση με ηλεκτρονικά ισχύος τελειοποίησε πολλές από τις εφαρμογές αυτές. Οι μικροί κινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται γενικά σε όλες τις εφαρμογές όπου διατίθεται συνεχής ή ημιανορθωμένη τάση, όπως σε αυτοματισμούς αεροπλάνων, συστήματα ψύξης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μικρούς διεγέρτες, σερβομηχανισμούς, παιχνίδια, μαγνητόφωνα, μονάδες μαγνητικών ταινιών, εκτυπωτές υπολογιστών, φωτοτυπικά μηχανήματα κ.λπ.

4.6.2 Ηλεκτροκινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Οι κινητήρες ΕΡ βρίσκουν ευρεία εφαρμογή. Είναι μηχανές που μπορούν να προσφέρουν σταθερή ροπή, ακρίβεια και ταχύτητα απαιτήσεις συχνά απαραίτητες στις βιομηχανικές εφαρμογές ιδίως για τις βαριές και μεγάλης διάρκειας εργασίες. Επίσης μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς μεγάλες απαιτήσεις, σε συσκευές που βρίσκονται στον οικιακό εξοπλισμό όπως ένας ανεμιστήρας, κλιματισμός, ηλεκτρική σκούπα, ψυγείο, και πολλά άλλα.

Η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, καλύπτεται με τη χρήση σύγχρονων γεννητριών. Αντίθετα οι ασύγχρονες μηχανές συναντώνται κυρίως ως ασύγχρονοι κινητήρες, με αποτέλεσμα να βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις ηλεκτρικές κινήσεις, στις οποίες χρησιμοποιούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%. Οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες ή κινητήρες επαγωγής παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως υψηλή αξιοπιστία και απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς ιδιαίτερες ανάγκες συντήρησης και μικρό βάρος και όγκο. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τους μοντέρνους αντιστροφείς και τις προηγμένες τεχνικές ελέγχου τους καθιστούν την ιδανική επιλογή για τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Ήδη υπάρχει η τάση αντικατάστασης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σε βιομηχανικό επίπεδο από τους πιο οικονομικούς και αξιόπιστους κινητήρες επαγωγής ενώ το ενδιαφέρον και για νέες εφαρμογές είναι αυξημένο.

4.6.3 Βηματικοί Κινητήρες

- Αυτοκίνητο και αεροσκάφος : Οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να βοηθήσουν τα αυτοκίνητα , SUV και RV να λαμβάνουν σήματα τηλεπικοινωνίας . Χρησιμοποιούνται επίσης στον αυτόματο πλοηγό (cruise control) , στρατιωτικές κεραίες , αυτόματες συσκευές ανίχνευσης , και αυτοματοποιημένες κάμερες . Στο αεροσκάφος , οι βηματικοί

κινητήρες χρησιμοποιούνται σε όργανα του όπως αισθητήρες , κεραίες και εξοπλισμούς σάρωσης .

- Εξοπλισμός γραφείου: Οι βηματικοί κινητήρες, ενσωματώνονται σε εξαρτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπως σαρωτές, σκληροί δίσκοι, κεφαλές οπτικών δίσκων, εκτυπωτές, εκτυπωτές bar-code και άλλα.
- Ιατρική: Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό ιατρικών σαρωτών, αξονικούς τομογράφους, έλεγχο κίνησης των αυτόματων συσκευών, δειγματολήπτες, αυτόματος χρωματογράφους. Επίσης τους συναντάμε σε ψηφιακές οδοντιατρικές φωτογραφίες, αντλίες υγρών, αναπνευστήρες και μηχανήματα ανάλυσης αίματος.
- Βιομηχανικά μηχανήματα: Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μετρητές της αυτοκινητοβιομηχανία, σε αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής καθώς επίσης και στον έλεγχο των μηχανών CNC.
- Επιστημονικός Εξοπλισμός: Σπεκτογράφοι, τηλεσκόπια παρατηρήσεως.
- Ηλεκτρονικές συσκευές: Σε φωτογραφικές μηχανές και για την αυτόματη εστίαση των καμερών, στα κινητά τηλέφωνα για την αντίστοιχη λειτουργία της κάμερας.
- Χημεία: Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για την ανάμιξη και δειγματοληψία προϊόντων και οι ελεγκτές τους για έλεγχο και δοκιμές περιβαλλοντικών συστημάτων.
- Ασφάλεια: Νέα προϊόντα επιτήρησης για τον κλάδο της ασφάλειας.
- Παιχνίδια.

4.6.4 Σερβοκινητήρες

Η δυνατότητα που προσφέρουν οι σερβοκινητήρες στα συστήματα ελέγχου κίνησης με τον παράλληλο έλεγχο ταχύτητας και θέσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια και χωρίς περιορισμούς μηχανικής ισχύος (δηλαδή αναγκαίας ροπής) τους καθιστά κατάλληλους για μια τεράστια γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτές αναφέρεται σε εξελεγμένη αυτοματοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών και σε μεταφορά και συσκευασία υλικών και προϊόντων.

Αναλυτικότερα οι εφαρμογές που συναντούν οι σερβοκινητήρες στη βιομηχανία είναι: Σε ρομποτικά συστήματα όλων των ειδών. Σημειώνουμε ότι τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μεταξύ άλλων εξελεγμένες εργαλειομηχανές κατεργασιών υλικών και μηχανές συγκόλλησης και βαφής μετάλλων, αλλά και συστήματα συναρμολόγησης σε κατασκευαστικές βιομηχανίες. Στην κατεργασία των υλικών κατέχουν εξέχοντα ρόλο στην αναβάθμιση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών σε εργαλειομηχανές CNC. Χρησιμοποιούνται στις κοπές μετάλλων οποιασδήποτε μορφής. Βρίσκουν ιδιαίτερες εφαρμογές σε τριαξονικά συστήματα κοπής, σε σύγχρονες κοπές εν κινήσει πολλαπλών σταθμών και μπορούν να επιτύχουν κοπές εν κινήσει με συγχρονισμό μέχρι 12 αξόνων. Ιδιαίτερη εφαρμογή συναντούν στις μηχανές συρματοουργίας.

Οι σερβοκινητήρες διευρύνουν την εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό τομέα της βιομηχανίας χρησιμοποιούμενοι σε μηχανές που κάνουν επεξεργασία χαρτιού,

ξύλου, μαρμάρου. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν στις μηχανές παραγωγής πλαστικών προϊόντων (extruders, μηχανές blow, κ.λπ.). Ειδικές εφαρμογές βρίσκουν σε διάφορες άλλες βιομηχανίες, όπως στην καπνοβιομηχανία και στην τυπογραφία.

Στον τομέα της μεταφοράς και συσκευασίας υλικών και προϊόντων βρίσκουν μαζική εφαρμογή. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται σε εγκιβωτιστικά συστήματα, σε παλετοποιητικά συστήματα διάφορων προϊόντων και σε συστήματα pick and place. Ακόμα χρησιμοποιούνται σε μηχανές συσκευασίας, σε καρτονέπτες και σε ετικετέζες. Τέλος χρησιμοποιούνται σε γεμιστικά μηχανήματα χύδην, στερεών και υγρών προσόντων.

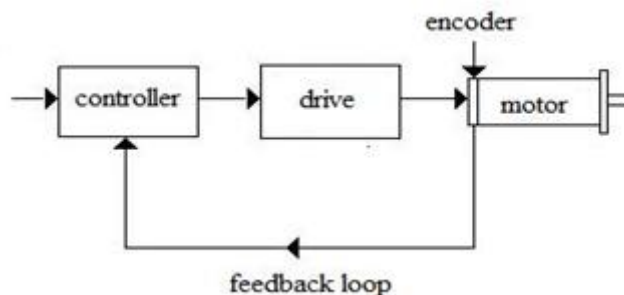
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

5.1 Δομή Συστήματος Ελέγχου

Ο έλεγχος της λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων έχει ως άμεσο στόχο την επιθυμητή απόκριση του κινητήρα όσον αφορά την ταχύτητα, τη θέση του κινητήρα, το ρυθμό επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης, τη φορά περιστροφής, αλλά και την εξοικονόμηση ενέργειας. Μέσω των τεχνολογιών ελέγχου λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων είναι δυνατή η διατήρηση ορισμένων μεγεθών του κινητήρα στις επιθυμητές τιμές σύμφωνα με την κατασκευαστικά προδιαγραφόμενη λειτουργία τους. Η ρύθμιση και ο έλεγχος των κινητήρων έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό να τροφοδοτούν τον κινητήρα με μεταβλητά ηλεκτρικά μεγέθη, όπως η συχνότητα, τάση, ρεύμα διέγερσης, με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα του κινητήρα ή η παραγόμενη στον άξονά του ροπή, να παίρνουν τις κατάλληλες τιμές για τις απαιτήσεις του εκάστοτε φορτίου. Πολύ σημαντικό ρόλο στις τεχνολογίες ελέγχου για ρύθμιση των στροφών των ηλεκτροκινητήρων παίζει και η εξέλιξη των ηλεκτρονικών χαμηλής ισχύος και υψηλής συχνότητας λειτουργίας – μικροϋπολογιστές.

Η βασική δομή ενός γενικού συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου κλειστού βρόγχου, δηλαδή με ανάδραση (feedback), φαίνεται στο **Σχήμα 5.1** και περιγράφεται στη συνέχεια.



Σχήμα 5.1: Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου κλειστού βρόχου.

1. Σύστημα ελέγχου (controller)

Το σύστημα ελέγχου καθορίζει την εργασία που θα εκτελέσει ο κινητήρας. Λαμβάνει σαν είσοδο την πραγματική και την επιθυμητή κατάσταση του κινητήρα (π.χ. ταχύτητα, ροπή, μαγνητικό πεδίο) και βάσει ενός αλγορίθμου ελέγχου δίνει την κατάλληλη εντολή στον μετατροπέα ισχύος (drive) ώστε η μηχανή να μεταβεί στην επιθυμητή κατάσταση. Η εντολή για τον μετατροπέα ισχύος είναι η κατάλληλη παλμοδότηση κατάλληλων κάθε φορά ημιαγωγικών στοιχείων, όπως προκύπτει μετά από την κατάλληλη επεξεργασία του σήματος ελέγχου. Ανάλογα με την εφαρμογή

και την τεχνολογία η μονάδα αυτή επεξεργασίας μπορεί να είναι ένας μικροεπεξεργαστής ή ένας αναλογικός επεξεργαστής ή τέλος ένας ψηφιακός επεξεργαστής σήματος (DSP, Digital Signal Processor) ή ένας υπολογιστής (PC) με τα ανάλογα κάθε φορά περιφερειακά. Τελικά το σύστημα ελέγχου με τη βοήθεια του συστήματος επεξεργασίας εφαρμόζει τον κατάλληλα επιλεγμένο κάθε φορά αλγόριθμο ελέγχου.

2. Ρυθμιστή (drive)

Ο οποίος είναι ένας ηλεκτρονικός ρυθμιστής της ισχύος που μεταφέρεται στον κινητήρα για να λειτουργήσει ανταποκρινόμενος στα σήματα χαμηλής ισχύος που δέχεται από τον ελεγκτή. Μπορεί να είναι αντιστροφέας (inverter) που έχει την ιδιότητα να μετατρέπει μία πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος, σε μία εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Συνήθως είναι στατικού τύπου δηλαδή διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, χωρίς κινούμενα μέρη, με διόδους, θυρίστορ ή τρανζίστορ ισχύος.

Με τη χρήση ενός αντιστροφέα επιτυγχάνονται εκτός από την πλήρη ρύθμιση των στροφών και τα εξής επίσης σημαντικά:

- ∅ Ομαλή εκκίνηση και μάλιστα ρυθμιζόμενη με μικρό ρεύμα εκκίνησης.
- ∅ Ομαλή πέδηση.
- ∅ Αύξηση της ροπής εκκινήσεως.
- ∅ Δυνατότητα αυτόματης ή προγραμματιζόμενης ρύθμισης.
- ∅ Πλήρη έλεγχο των στροφών.
- ∅ Εξοικονόμηση ενέργειας.
- ∅ Δυνατότητα αλλαγής φοράς περιστροφής χωρίς επιπλέον διακόπτες.
- ∅ Αυξημένη προστασία του κινητήρα.

Τέλος με τη χρήση των ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών (inverter) είναι δυνατή, χρησιμοποιώντας ως πηγή τροφοδοσίας το δίκτυο των 50 Hz, η λειτουργία κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα με ταχύτητα περιστροφής άνω των 3000 στρ/λεπτό.

3. Κινητήρας (motor)

Αυτός μπορεί να είναι ένας κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος, ένας βηματικός κινητήρας ή ένας servo κινητήρας. Ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος με ένα σύστημα λήψης δεδομένων από τον κινητήρα (π.χ. ρεύμα, τάση ταχύτητα, μαγνητικό πεδίο), σαν υποσύστημα του συστήματος ελέγχου. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να προέρχονται από κατάλληλα αισθητήρια ή μετρητικές διατάξεις. Σημειώνεται ότι οι δύσκολες συνθήκες του βιομηχανικού περιβάλλοντος και το κόστος επηρεάζουν αρνητικά την εγκατάσταση αισθητηρίων.

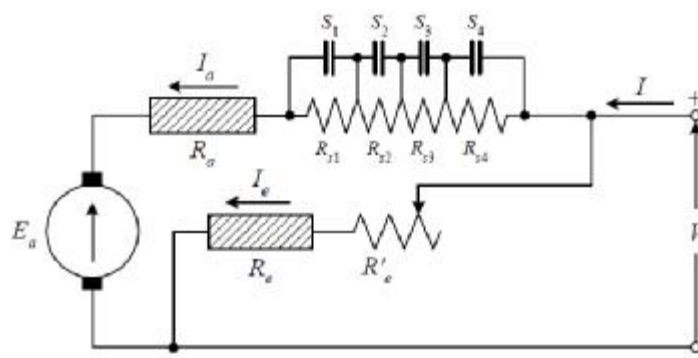
5.2 Τεχνικές Εκκίνησης

5.2.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Κατά την εκκίνηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με την ονομαστική τάση (V_N) το ρεύμα του δρομέα (τυμπάνου) αποκτά πολύ μεγάλες τιμές διότι η αναπτυσσόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) είναι μηδενική ($\Omega = 0$), οπότε ρεύμα κατά τη στιγμή της εκκίνησης είναι ίσο με V_N/R_a , πολλαπλάσιο του ονομαστικού (I_N) του κινητήρα. (έως και 20 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό). Καθώς η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται, η ΑΗΕΔ ενισχύεται και έτσι περιορίζει το ρεύμα του δρομέα. Αν και η χρονική διάρκεια της εκκίνησης είναι σε γενικές γραμμές μικρή, η ιδιαίτερα μεγάλη τιμή του ρεύματος μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον κινητήρα, οπότε πρέπει να περιορισθεί, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

1. Αντίσταση εκκίνησης (εκκινητής)

Για τον περιορισμό του ρεύματος εκκίνησης, τοποθετείται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα του κινητήρα μια αντίσταση εκκίνησης, κατάλληλα υπολογισμένη, η οποία απομακρύνεται σταδιακά και πλήρως από το κύκλωμα. Στο **σχήμα 5.2**, φαίνεται η σύνδεση του εκκινητή σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης. Η αντίσταση εκκίνησης βραχυκυκλώνεται σταδιακά με τη βοήθεια των διακοπών **S1, S2, S3, S4**, όσο η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται. Η εκκίνηση του κινητήρα είναι τόσο πιο ομαλή, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των βημάτων της αντίστασης εκκίνησης.



Σχήμα 5.2: Διάταξη εκκίνησης κινητήρα παράλληλης διέγερσης.

2. Εκκινητής τριών ακροδεκτών

Οι εκκινητές αυτού του είδους είναι κατάλληλοι για κινητήρες παράλληλης και σύνθετης διέγερσης.

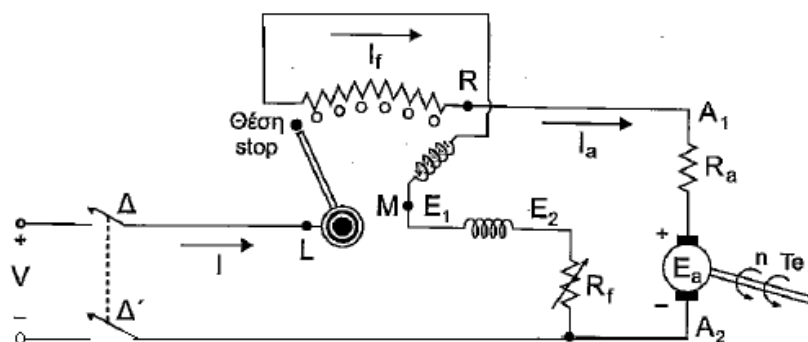
Στη θέση του σχήματος ο εκκινητής είναι εκτός λειτουργίας. Στον ακροδέκτη **L** συνδέεται το δίκτυο, στον ακροδέκτη **R** το τύλιγμα τυμπάνου και στον ακροδέκτη **M** το τύλιγμα της κύριας διέγερσης του κινητήρα. Όταν μετακινηθεί ο στρόφαλος προς τα δεξιά στην πρώτη επαφή, το τύλιγμα διέγερσης τίθεται υπό την πλήρη τάση του δικτύου, ενώ το σύνολο της αντίστασης του εκκινητή παρεμβάλλεται σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να αρχίσει να περιστρέφεται με μικρότερο ρεύμα εκκίνησης.

Καθώς ο στρόφαλος μετακινείται προς την επαφή **R**, έχουμε σταδιακή μείωση της αντίστασης από το κύκλωμα του δρομέα και παράλληλη πρόσθεση αυτής στο τύλιγμα διέγερσης. Παρόλα αυτά όμως, η αντίσταση διέγερσης παραμένει πρακτικά

σταθερή, διότι $R_{εκκ} \ll R_f$. Για λόγους προστασίας ο εκκινητής διαθέτει ελατήριο επαναφοράς και πηνίο συγκράτησης του στρόφαλου. Έτσι σε περίπτωση διακοπής του κυκλώματος διέγερσης το πηνίο συγκράτησης απομαγνητίζεται και ο στρόφαλος μέσω του επανατατικού ελατηρίου πηγαίνει στην αρχική του θέση, όπου έχουμε την αποσύνδεση του κινητήρα από την τάση τροφοδοσίας (προστασία έναντι υπερτάχυνσης).

Σε περίπτωση τυχαίας διακοπής της τάσης του δικτύου, έχουμε πάλι απομαγνήτωση του πηνίου λόγω της διαρκούς μείωσης των στροφών (και αντίστοιχα της Α.Η.Ε.Δ) με αποτέλεσμα τον αποκλεισμό του ενδεχόμενου ο κινητήρα να βρεθεί χωρίς αντίσταση εκκίνησης μετά την επαναφορά της τάσης.

Ο εκκινητής τριών ακροδεκτών παρουσιάζει ένα μειονέκτημα. Εάν σε σειρά με την ρυθμιστική αντίσταση διέγερσης, παρεμβάλουμε εξωτερική αντίσταση μεγάλης τιμής για την αύξηση των στροφών του κινητήρα, προκαλείται εξασθένηση του ρεύματος διέγερσης και κατ' επέκταση του ρεύματος του πηνίου συγκράτησης του στρόφαλου, με αποτέλεσμα τη διακοπή της τροφοδοσίας του κινητήρα.



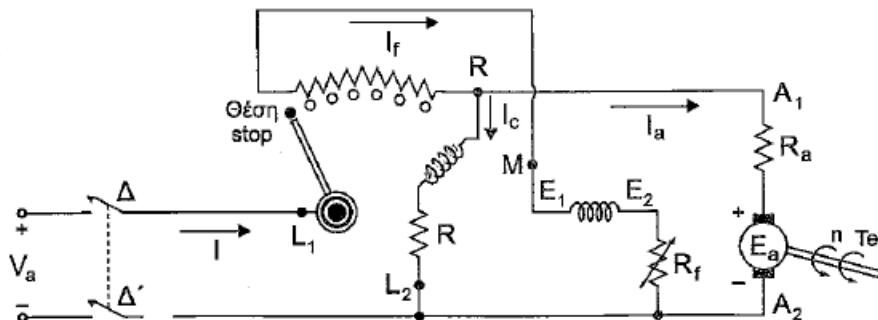
Σχήμα 5.3 : Εκκινητής τριών ακροδεκτών.

3. Εκκινητής τεσσάρων ακροδεκτών

Οι ρυθμιστές αυτοί είναι κατάλληλοι για κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες (μεγαλύτερες των ονομαστικών) και των οποίων η ρύθμιση γίνεται μέσω του πεδίου διέγερσης.

Με την προσθήκη του τέταρτου ακροδέκτη L_2 , εξασφαλίζουμε την απευθείας τροφοδοσία του πηνίου συγκράτησης από το δίκτυο.

Ένα μειονέκτημα του εκκινητή αυτού είναι ότι δεν έχει προστασία του κινητήρα από υπερτάχυνση, σε περίπτωση διακοπής του τυλίγματος του πεδίου. Στις περιπτώσεις αυτές η προστασία επιτυγχάνεται μέσω φυγοκεντρικών διακοπών, κατάλληλα προσαρμοσμένων στον άξονα του κινητήρα.



Σχήμα 5.4: Εκκινητής τεσσάρων ακροδεκτών.

5.2.2 Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος

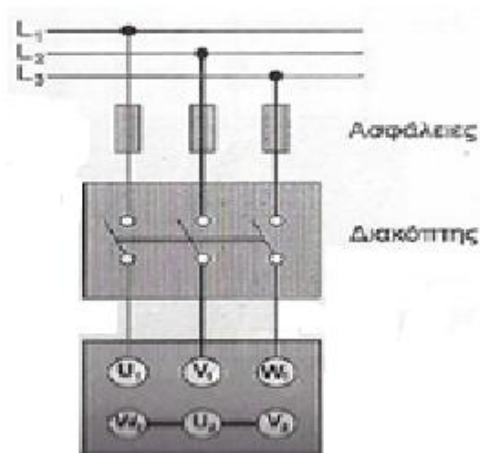
5.2.2.1 Τριφασικοί Σύγχρονοι Κινητήρες

- 1. Με τη χρήση τύλιγμάτων απόσβεσης.** Εάν ο μετατροπέας συχνότητας δεν είναι διαθέσιμος, ή εάν ο σύγχρονος κινητήρας δεν πρέπει να λειτουργεί σε μεταβαλλόμενες ταχύτητες, τότε μπορεί να εκκινήσει σαν επαγωγικός κινητήρας. Για το σκοπό αυτό ένα συμπληρωματικό τύλιγμα, το οποίο μοιάζει με τον κλωβό στον επαγωγικό κινητήρα, τοποθετείται στο δρομέα. Αυτό το τύλιγμα κλωβού είναι γνωστό και σαν τύλιγμα απόσβεσης.
Για να εκκινήσει ο κινητήρας το τύλιγμα διέγερσης μένει αδιέγερτο. Συχνά παραλληλίζεται με μία αντίσταση. Εάν τώρα οι ακροδέκτες του κινητήρα συνδεθούν σε μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης ο κινητήρας θα εκκινήσει σαν επαγωγικός επειδή ρεύματα θα επαχθούν στο τύλιγμα απόσβεσης και θα παραχθεί ροπή. Ο κινητήρας θα επιταχυνθεί και θα πλησιάσει τη σύγχρονη ταχύτητα. Ο δρομέας τότε ακολουθεί από πολύ κοντά τους πόλους του πεδίου του στάτη, οι οποίοι περιστρέφονται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Εάν εκείνη τη χρονική στιγμή διεγερθούν οι πόλοι του δρομέα από ένα ρεύμα πεδίου μιας πηγής συνεχούς ρεύματος, οι πόλοι του δρομέα, οι οποίοι ακολουθούν από πολύ κοντά εκείνους του στάτη, θα συγχρονισθούν με αυτούς. Ο δρομέας τότε θα στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Εάν η μηχανή στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα τότε δεν θα επάγεται ρεύμα στο τύλιγμα απόσβεσης. Συνεπώς το τύλιγμα απόσβεσης είναι λειτουργικό μόνο για την εκκίνηση.
- 2. Με μείωση της ταχύτητας περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη σε**
τέτοια τιμή, ώστε το πεδίο του δρομέα να συγχρονιστεί μ' αυτή σε λιγότερο από τη μισή περίοδο του πεδίου του στάτη. Αυτό γίνεται με τη μείωση της συχνότητας της εφαρμοζόμενης τάσης.
- 3. Με σύνδεση κινητήριας μηχανής στο δρομέα του κινητήρα, ώστε αυτός να**
αρχίσει να περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Στη συνέχεια η μηχανή παραλληλίζεται στο δίκτυο ισχύος ως γεννήτρια και τελικά με την αποσύνδεση της κινητήριας μηχανής λειτουργεί ως κινητήρας.

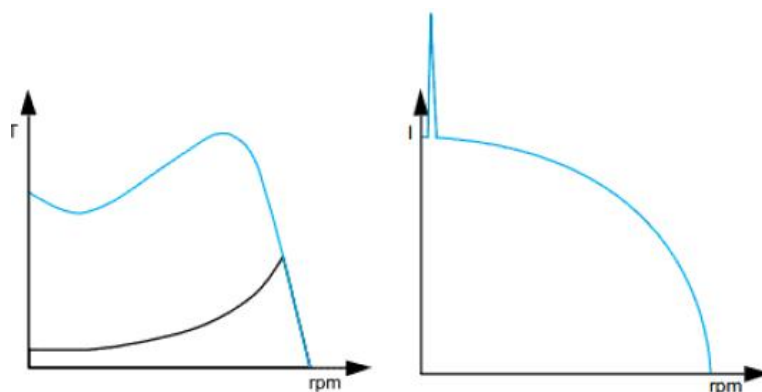
5.2.2.2 Τριφασικοί AC Κινητήρες

1. Απευθείας εκκίνηση

Ο απλούστερος τρόπος εκκίνησης τριφασικού κινητήρα, είναι η απευθείας εκκίνηση με τη χρήση ενός απλού τριπολικού διακόπτη και συνδεσμολογία τυλιγμάτων σε αστέρα.



Σχήμα 5.5 : Απευθείας εκκίνηση τριφασικού κινητήρα.



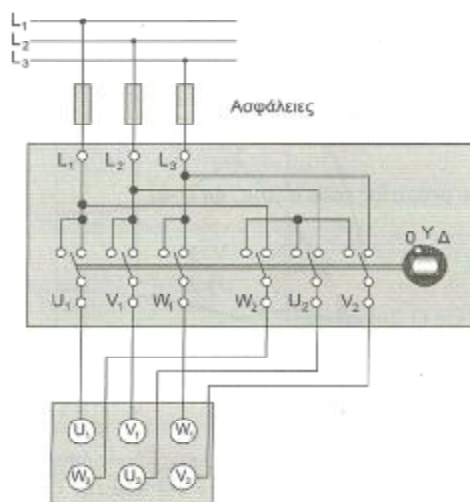
Σχήμα 5.6: Χαρακτηριστική ροπής/στροφών και ρεύματος/στροφών κατά την απευθείας εκκίνηση.

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

2. Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου

Οι περισσότεροι κινητήρες χαμηλής τάσης μπορεί να συνδεθούν και να λειτουργήσουν σε τάση 400 V με σύνδεση τριγώνου ή σε τάση 690 V με σύνδεση αστέρα. Με τη μέθοδο αυτή δίνεται η δυνατότητα στον κινητήρα να ξεκινήσει με χαμηλή τάση τροφοδοσίας. Στη σύνδεση αστέρα / τριγώνου έχουμε ένα χαμηλό

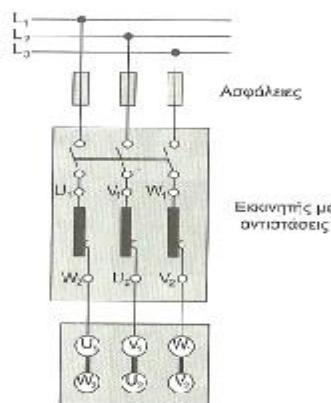
ρεύμα εκκίνησης, περίπου το ένα τρίτο σε σχέση με αυτό στην απευθείας εκκίνηση, αν και αυτό μειώνει την ροπή εκκίνησης, περίπου στο 25%. Ο κινητήρας ξεκινά με συνδεσμολογία αστέρα μέχρι να επιταχυνθεί στο μέγιστο βαθμό και στη συνέχεια αλλάζει η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων σε συνδεσμολογία τριγώνου.



Σχήμα 5.7 : Συνδεσμολογία για εκκίνηση αστέρα / τριγώνου.

3. Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

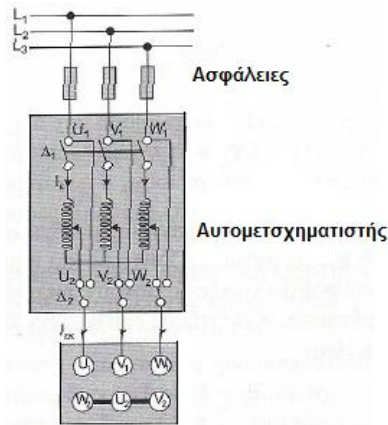
Για την εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη χρησιμοποιείται εκκινητής που αποτελείται από τρεις αντιστάσεις ισχύος οι οποίες παρεμβάλλονται στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του τριφασικού κινητήρα. Ο κινητήρας μ' αυτόν τον τρόπο ξεκινάει με ελαττωμένη τάση και συνεπώς και με ελαττωμένη ένταση ρεύματος εκκίνησης. Προοδευτικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα αφαιρούνται σταδιακά οι αντιστάσεις έως ότου ο κινητήρας αποκτήσει τις κανονικές στροφές οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι στη μόνιμη λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι εκτός κυκλώματος.



Σχήμα 5.8: Συνδεσμολογία για εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.

4. Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

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

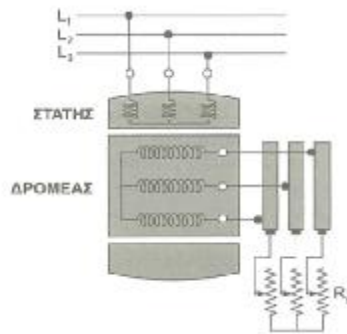


Σχήμα 5.9: Συνδεσμολογία για εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

Με τη μέθοδο αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε ελαφρώς μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης απ' ότι στην εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη. Με τον αυτομετασχηματιστή η πλήρης τάση παρέχεται κλιμακωτά αφού ο κινητήρας έχει φτάσει την ονομαστική του ταχύτητα. Κατόπιν αποσυνδέουμε τον αυτομετασχηματιστή μέσω του διακόπτη διπλής ενέργειας $\Delta 1$ και συνδέουμε με τον κινητήρα απευθείας με το δίκτυο για την κανονική του λειτουργία.

5. Εκκίνηση με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα

Αφορά επαγωγικούς κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα. Στη μέθοδο αυτή συνδέουμε εξωτερικές ωμικές αντιστάσεις (R_e) στο τύλιγμα του δρομέα εφόσον βέβαια ο κινητήρας είναι δακτυλιοφόρου δρομέα.



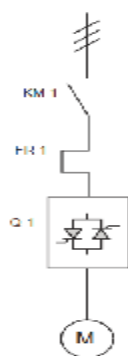
Σχήμα 5.10: Συνδεσμολογία για εκκίνηση με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.

6. Εκκίνηση με ηλεκτρονική ρύθμιση της τάσης (Soft Starter)

Η μεθοδολογία αυτή εκκίνησης μπορεί να εφαρμοστεί σε κινητήρες ισχύος από 3 μέχρι 800 KW, πραγματοποιείται με την προοδευτική ρύθμιση/αύξηση της τάσης τροφοδοσίας τους, από το μηδέν μέχρι την τιμή της πλήρους τάσης του δικτύου. Η μεταβολή αυτή επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικής διάταξης που περιλαμβάνει ηλεκτρονικό ρυθμιστή με αντιπαράλληλα θυρίστορ.,

Η ομαλή εκκίνηση (soft starter) των κινητήρων εξασφαλίζεται με τον έλεγχο της γωνίας έναυσης των θυρίστορ, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια ομαλή επιτάχυνση των στροφών του ανεξάρτητα από το φορτίο του.

Ο λειτουργία του soft starter ελέγχεται από μικροεπεξεργαστή που παρακολουθεί συνεχώς το ρεύμα και τη λειτουργία των θυρίστωρ.



Σχήμα 5.11: Συνδεσμολογία για εκκίνηση με soft starter.

5.2.2.3 Μονοφασικοί Κινητήρες

Οι διάφοροι μέθοδοι εκκίνησης διαφέρουν ως προς τον τρόπο που δημιουργείται η χρονική διαφορά δηλαδή η διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και βοηθητικού τυλίγματος του στάτη.

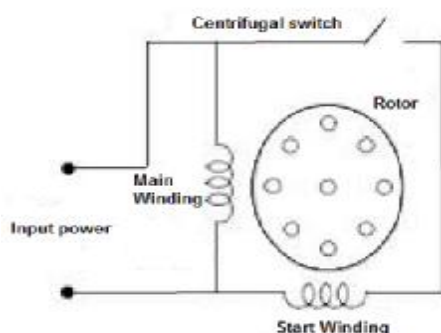
1. Εκκίνηση με χρήση βοηθητικού τυλίγματος

Στην περίπτωση αυτή η χρονική διαφορά φάσης μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος του στάτη δημιουργείται αποκλειστικά και μόνο από την κατάλληλη επιλογή των επιμέρους ωμικών αντιστάσεων και αυτεπαγωγών των δύο τυλιγμάτων. Τα δύο αυτά τυλίγματα κατασκευάζονται έτσι ώστε να ισχύει:

$$(T_a/L_a) \gg (T_m/L_m)$$

όπου : R_a, L_a ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή βοηθητικού τυλίγματος.
 R_m, L_m ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή κύριου τυλίγματος.

Για να επιτευχθεί αυτό η διατομή των αγωγών του βοηθητικού τυλίγματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του κύριου τυλίγματος.

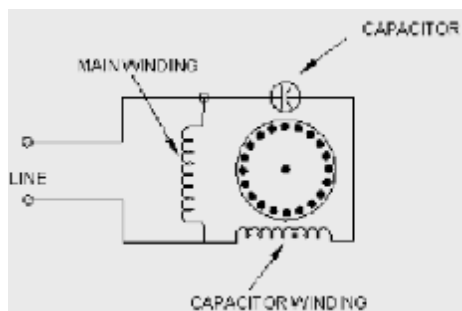


Σχήμα 5.12: Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα.

2. Εκκίνηση με χρήση πυκνωτή μόνιμης κατάστασης

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, τοποθετείται σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα ένας πυκνωτής μόνιμης λειτουργίας. Με κατάλληλη επιλογή της τιμής της χωρητικότητας

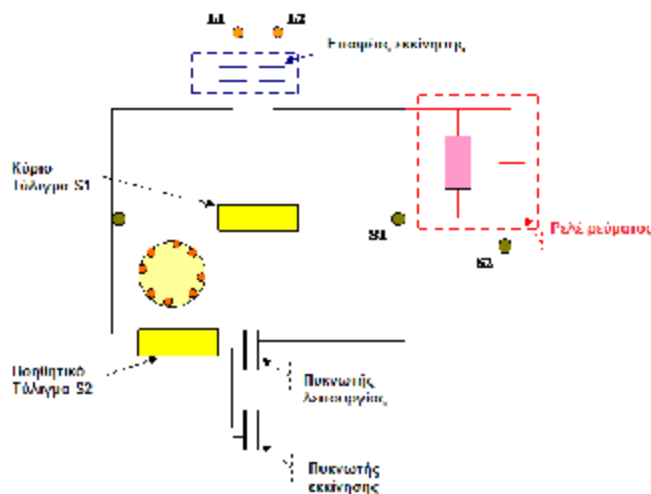
το βοηθητικό τύλιγμα μπορεί να εμφανίζει χωρητική συμπεριφορά με αποτέλεσμα το ρεύμα του να προηγείται σε σχέση με το την τάση τροφοδοσίας. Εύκολα λοιπόν μπορεί να δημιουργηθεί μια φασική απόκλιση μεταξύ των ρευμάτων του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος της τάξης των 90 μοιρών. Στη συγκεκριμένη μέθοδο το βοηθητικό τύλιγμα παραμένει εντός λειτουργίας και μετά τη λήξη της φάσης εκκίνησης. Επομένως δεν απαιτείται η χρήση φυγοκεντρικού διακόπτη ή άλλου μέσου για την αποσύνδεσή του. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξασφαλίζει υψηλότερες ροπές εκκίνησης σε σχέση με τη χρήση βοηθητικού τυλίγματος.



Σχήμα 5.13: Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή λειτουργίας.

3. Εκκίνηση με χρήση δύο πυκνωτών

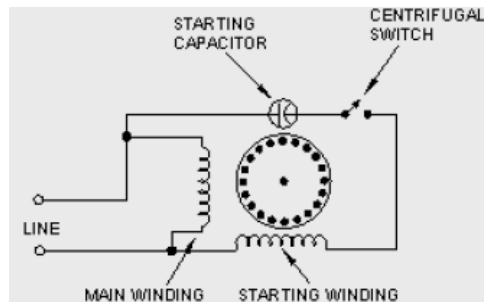
Στην περίπτωση που απαιτούνται υψηλότερες ροπές κατά την εκκίνηση παρεμβάλλεται ένας ακόμα πυκνωτής παράλληλα με τον προηγούμενο αλλά μόνο κατά τη φάση εκκίνησης. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου μοιάζουν με εκείνα της προηγούμενης μεθόδου με τη διαφορά ότι η χρήση του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή εξασφαλίζει υψηλότερες ροπές κατά την εκκίνηση.



Σχήμα 5.14: Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης και λειτουργίας.

4. Εκκίνηση με χρήση μόνο του πυκνωτή εκκίνησης

Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιείται μόνο ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής εκκίνησης, ο οποίος συνδέεται μέσω φυγοκεντρικού διακόπτη σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα.



Σχήμα 5.15 : Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού επαγωγικού κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης.

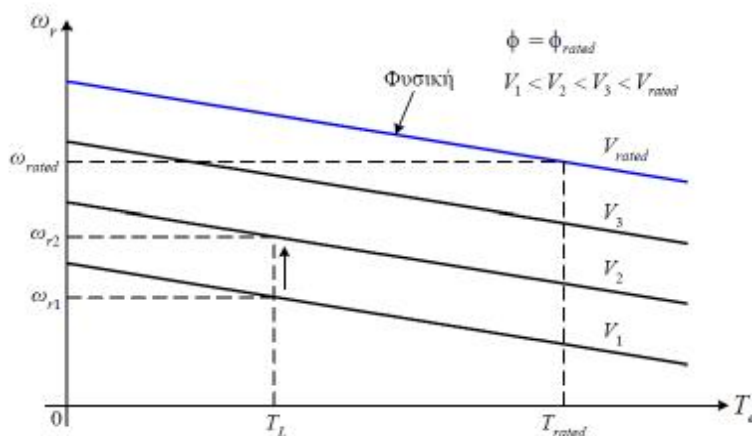
5.3 Τεχνικές Ελέγχου Ταχύτητας

5.3.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Κινητήρας ξένης ή παράλληλης διέγερσης

Μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας από 0 V έως την ονομαστική τάση V_N . Η διαδικασία έχει ως εξής:

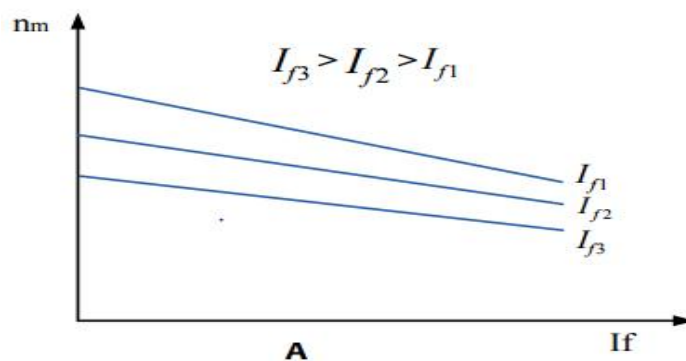
1. Η αύξηση της τάσης τροφοδοσίας (δρομέα) προκαλεί αύξηση του ρεύματος
2. Η αύξηση του ρεύματος δρομέα προκαλεί αύξηση της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και ο κινητήρας επιταχύνεται.
3. Η επιτάχυνση του κινητήρα αυξάνει την επαγόμενη τάση E_a (ΑΗΕΔ) με αποτέλεσμα τη μείωση του ρεύματος δρομέα
4. Η μείωση του ρεύματος δρομέα προκαλεί μείωση της ηλεκτρομαγνητικής ροπής μέχρι αυτή να γίνει ίση με τη ροπή του φορτίου. Αυτό συμβαίνει πλέον σε μια μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής.



Σχήμα 5.16: Χαρακτηριστική ταχύτητας - ροπής κινητήρα ξένης διέγερσης, με ρύθμιση της τάσης τροφοδοσίας

Μεταβολή του ρεύματος διέγερσης:

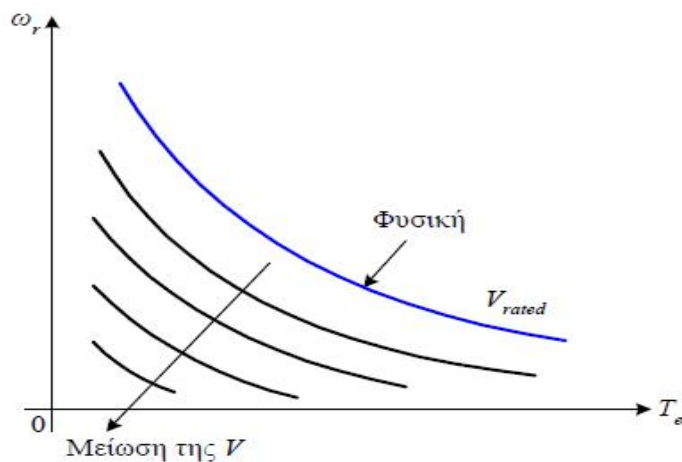
1. Η αύξηση του ρεύματος διέγερσης προκαλεί αύξηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του κινητήρα και ταυτόχρονα αύξηση της επαγόμενης τάσης (ΑΗΕΔ) E_a .
2. Η αύξηση της E_a προκαλεί μείωση του ρεύματος του δρομέα και αντίστοιχη μείωση της επαγόμενης ροπής.
3. Η μείωση της επαγόμενης ροπής προκαλεί μείωση των στροφών του κινητήρα και παράλληλα μείωση της E_a .
4. Η μείωση της E_a προκαλεί αύξηση του ρεύματος του δρομέα και της ροπής του κινητήρα. Όταν η ροπή του κινητήρα γίνει ίση με την ροπή του φορτίου η ταχύτητα του κινητήρα σταθεροποιείται σε νέες χαμηλότερες τιμές.



Σχήμα 5.17: Χαρακτηριστική ταχύτητας - ροπής κινητήρα ξένης διέγερσης, με ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης.

Κινητήρας διέγερσης σειράς

Ο πιο αποδοτικός τρόπος για τον έλεγχο της ταχύτητας στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς είναι η μεταβολή της τάσης εισόδου. Με την αύξηση της τάσης εισόδου ο κινητήρας περιστρέφεται πιο γρήγορα.



Σχήμα. 5.18: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας κινητήρα διέγερση σειράς με μεταβαλλόμενη UT.

Ένας άλλος τρόπος ελέγχου της ταχύτητας είναι να γίνει έλεγχος του ρεύματος διέγερσης μέσω παράλληλης αντίστασης στο τύλιγμα.

Κινητήρας σύνθετης διέγερσης

Ο έλεγχος της ταχύτητας στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης μπορεί να γίνει με δυο τρόπους :

- Με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας
- Με μεταβολή της αντίστασης παράλληλης διέγερσης.

5.3.2 Κινητήρες Εναλλασσομένου Ρεύματος

5.3.2.1 Επαγωγικοί κινητήρες

Είναι γνωστό ότι όταν ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας τροφοδοτείται από το δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας, στρέφεται με μια ταχύτητα η οποία είναι λίγο μικρότερη από τη σύγχρονη. Η μεταβολή της ταχύτητας από τη σύγχρονη εξαρτάται από το φορτίο και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο υψηλότερη είναι η αντίσταση του δρομέα. Η λειτουργία του κινητήρα με μειωμένη ταχύτητα σημαίνει αύξηση της ολίσθησης και των απωλειών χαλκού στο δρομέα $P_{cur} = s \times P_{ag}$, με συνέπεια τη μείωση του βαθμού απόδοσης.

Ο έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

- Με τη ρύθμιση της ολίσθησης.
- Με τη ρύθμιση της σύγχρονης ταχύτητας.

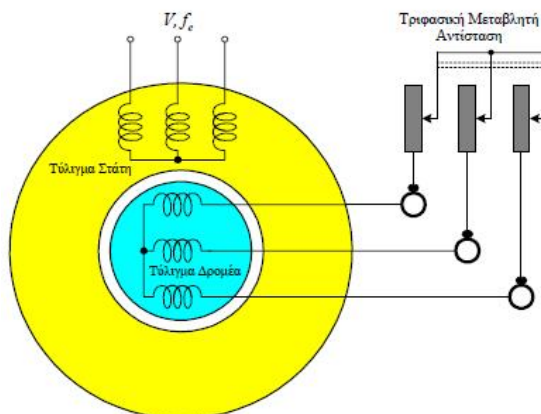
Η ρύθμιση της ολίσθησης, για δεδομένη ροπή φορτίου, επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της αντίστασης του δρομέα στον κινητήρα δακτυλιοφόρο δρομέα και με τον έλεγχο της τάσης τροφοδοσίας στον κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού.

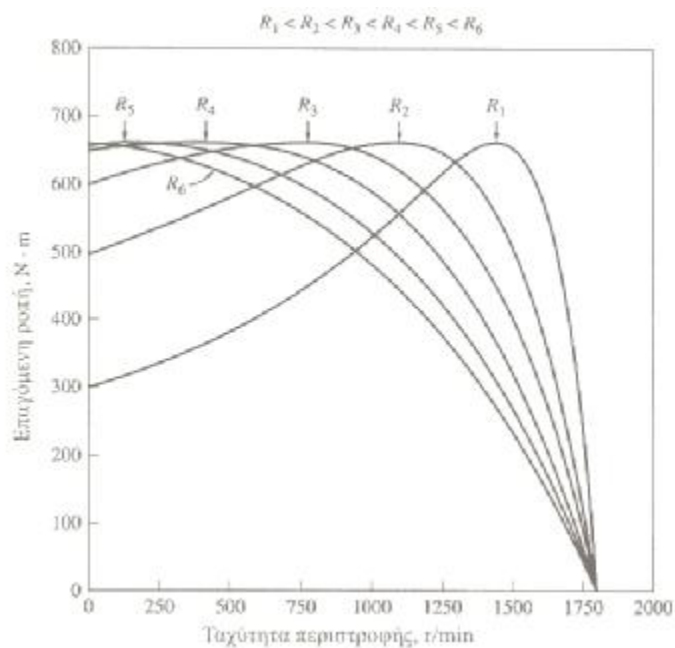
Η ρύθμιση της σύγχρονης ταχύτητας από τη σχέση $n_s = 120 \times f_e / P$, επιτυγχάνεται είτε με τη μεταβολή του αριθμού των πόλων του τυλίγματος του στάτη, ή με τη μεταβολή της συχνότητας τροφοδοσίας.

1. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της αντίστασης του δρομέα

Η ταχύτητα των επαγωγικών κινητήρων με δακτυλιοφόρο δρομέα ρυθμίζεται με την εισαγωγή μεταβλητών αντιστάσεων στο τύλιγμα του δρομέα. Με τον τρόπο αυτό μεταβάλλεται η μορφή της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας του κινητήρα.

Σχήμα 5.19: Σύνδεση ρυθμιστικών αντιστάσεων στο δρομέα, για τη ρύθμιση της ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα.





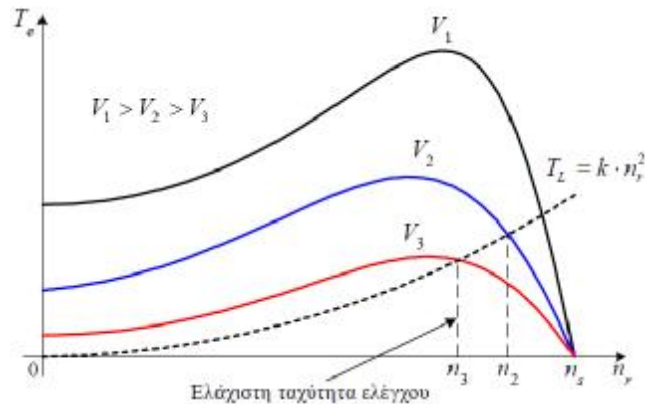
Σχήμα. 5.20: Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.

2. Έλεγχος της ταχύτητας με ρύθμιση της τάσης του στάτη

Στους επαγωγικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, η ρύθμιση της ολίσθησης (ταχύτητας) επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη. Η συχνότητα της τάσης είναι σταθερή και ίση με τη συχνότητα του δικτύου. Καθώς η ροπή που αναπτύσσει ο επαγωγικός κινητήρας είναι ανάλογη με το τετράγωνο της τάσης του στάτη, οι χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας μεταβάλλονται όπως στο **Σχ. 5.21**, για διάφορες τιμές της τάσης.

Η ροπή του φορτίου είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας. Από το **Σχ. 5.21** είναι φανερό ότι, η ταχύτητα του κινητήρα δεν μπορεί να ελεγχθεί σε τιμές πολύ μικρότερες από τη σύγχρονη. Η ελάχιστη δυνατή ταχύτητα είναι η n_3 , που αντιστοιχεί στη ροπή ανατροπής για την τάση τροφοδοσίας V_3 . Επίσης το ρεύμα του κινητήρα είναι ανάλογο της τάσης. Έτσι, ο λόγος ροπής προς ρεύμα, η μέγιστη ροπή, ο συντελεστής ισχύος και ο βαθμός απόδοσης, μειώνονται με τη μείωση της ταχύτητας. Επομένως, ο έλεγχος της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων με τη ρύθμιση της τάσης του στάτη δεν είναι αποτελεσματικός.

Ο έλεγχος της τάσης στα τυλίγματα του στάτη επιτυγχάνεται με κατάλληλους μετατροπείς ισχύος, οι οποίοι ονομάζονται ρυθμιστές εναλλασσόμενης τάσης (ac voltage controllers). Ο ρυθμιστής αποτελείται από έξι ελεγχόμενους ανορθωτές πυριτίου (SCR), οι οποίοι συνδέονται ανά δύο αντιπαράλληλα. Σε μικρές ισχύς χρησιμοποιούνται ως διακόπτες τρία TRIAC, στη θέση των έξι SCR. Το TRIAC συμπεριφέρεται όπως δύο αντιπαράλληλοι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου, όμως έχει πολύ μικρότερη ικανότητα χειρισμού ισχύος απ' αυτούς. Τα τυλίγματα του κινητήρα μπορεί να είναι σε σύνδεση αστέρα ή τριγώνου.



Σχήμα 5.21: Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα, με μεταβολή της τάσης του στάτη.

3. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή του αριθμού των πόλων

Ο αριθμός των μαγνητικών πόλων που αναπτύσσονται με την περιέλιξη του τριφασικού τυλίγματος του στάτη μπορεί να μεταβληθεί, με τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων (consequent poles), ή τοποθετώντας πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη (multiple stator windings). Στη μέθοδο των διαδοχικών πόλων, με κάποιες απλές αλλαγές στη σύνδεση των ομάδων του τυλίγματος του στάτη, ο αριθμός των πόλων του μεταβάλλεται με ένα λόγο 2 προς 1. Έτσι, ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να έχει δύο ή τέσσερις πόλους και σύγχρονη ταχύτητα $n_s=3000\text{rpm}$ ή $n_s=1500\text{rpm}$ αντίστοιχα.

Όταν ο λόγος 2 προς 1 στην ταχύτητα δεν είναι βολικός, τοποθετούνται στο στάτη περισσότερα από ένα ανεξάρτητα τριφασικά τυλίγματα, με τον επιθυμητό αριθμό πόλων. Ανάλογα με τη ζητούμενη ταχύτητα, τροφοδοτείται κάθε φορά το κατάλληλο τύλιγμα. Το μειονέκτημα των πολλαπλών τυλιγμάτων είναι ότι αυξάνουν το κόστος του κινητήρα. Ακόμη, η μέθοδος των πολλαπλών τυλιγμάτων μπορεί να συνδυασθεί με τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων, οπότε ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί σε περισσότερες ταχύτητες.

Η μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας με τη μεταβολή του αριθμών των πόλων, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επαγωγικούς κινητήρες με βραχυκυκλωμένο κλωβό. Γιατί ο δρομέας των κινητήρων αυτών αναπτύσσει πάντα τόσους πόλους, όσοι είναι και οι πόλοι του στάτη. Αυτό δεν ισχύει στους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα, όπου το τύλιγμα του δρομέα κατασκευάζεται με ένα καθορισμένο αριθμό πόλων ίδιο με αυτό του στάτη.

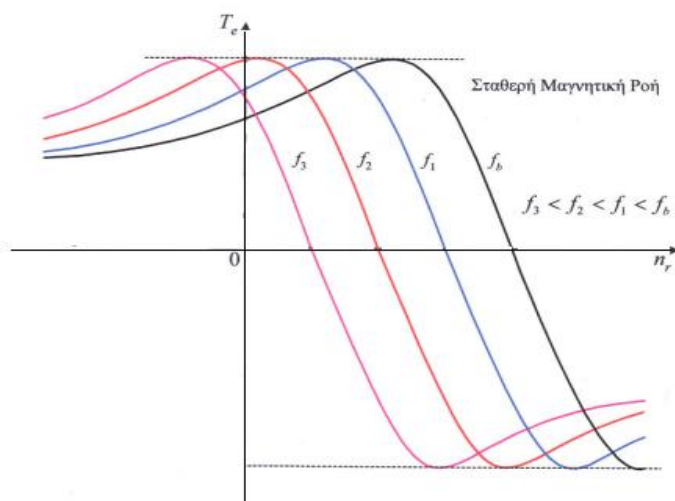
4. Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας

Η βέλτιστη μέθοδος για τον έλεγχο της ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων κάθε είδους, είναι με τη ρύθμιση της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας του στάτη. Έτσι, μεταβάλλεται η σύγχρονη ταχύτητα, δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής των μαγνητικών πεδίων και μαζί τους η ταχύτητα του κινητήρα. Η σύγχρονη ταχύτητα που αντιστοιχεί στην ονομαστική συχνότητα f_b , ονομάζεται βασική (base).

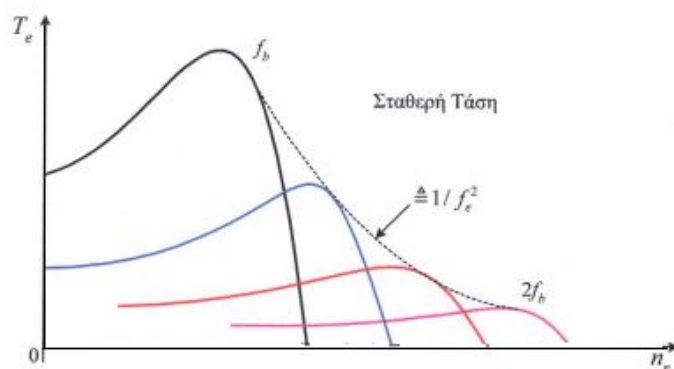
Όταν η ταχύτητα του κινητήρα ρυθμίζεται σε τιμές μικρότερες της βασικής, η μείωση της συχνότητας συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση της τάσης. Ειδικότερα, ο λόγος της τάσης προς τη συχνότητα V/f_e διατηρείται σταθερός. Με τον τρόπο αυτό η μαγνητική ροή στο διάκενο του κινητήρα παραμένει περίπου σταθερή ($\phi_m = E/f_e$). Στο **Σχήμα 5.22 α** εικονίζονται οι χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας του κινητήρα, σε διάφορες συχνότητες μικρότερες από τη βασική, όταν μαγνητική ροή διατηρείται σταθερή. Παρατηρούμε ότι η ροπή ανατροπής (μέγιστη ροπή), δεν μεταβάλλεται με

τη μεταβολή της συχνότητας. Έτσι, ο κινητήρας μπορεί να ελέγξει φορτία, τα οποία απαιτούν μεγάλη ροπή σε μικρές ταχύτητες. Επιπλέον, η δυναμική συμπεριφορά του κινητήρα είναι εξαιρετική.

Στην ονομαστική ταχύτητα, ο κινητήρας τροφοδοτείται με την ονομαστική τάση και τη βασική συχνότητα. Για την αύξηση της ταχύτητας, σε τιμές πέρα από την ονομαστική, η συχνότητα γίνεται μεγαλύτερη από τη βασική. Όμως, η τάση τροφοδοσίας διατηρείται σταθερή στην ονομαστική τιμή, για την προστασία της μόνωσης των τυλιγμάτων. Επειδή η τάση δεν ακολουθεί την αύξηση της συχνότητας, η μαγνητική ροή μειώνεται καθώς η συχνότητα αυξάνει. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της μέγιστης ροπής ανατροπής με το τετράγωνο της συχνότητας, όπως εικονίζεται στο **Σχήμα 5.22 β**.



(α)



(β)

Σχήμα 5.22: Έλεγχος της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα με τη μεταβολή της συχνότητας, σε τιμές μικρότερες από τη βασική, με σταθερή τη μαγνητική ροή (α) και σε τιμές μεγαλύτερες από τη βασική, με σταθερή την τάση (β)

Μεταβολή της χαρακτηριστικής ροπής- ταχύτητας ανάλογα με το σχεδιασμό του δρομέα

Σε ένα επαγωγικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα η ωμική αντίσταση του τυλιγματος δρομέα/κλωβού εξαρτάται από το σχεδιασμό του και συγκεκριμένα από το μέγεθος των αυλακώσεων, η οποία καθορίζει τη διατομή τη διατομή των ράβδων.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή των ράβδων, τόσο μικρότερη είναι η ωμική αντίσταση του κλωβού.

Η διαμόρφωση των αυλακώσεων του δρομέα, ορίζει την κλάση σχεδίασης αυτού. Σύμφωνα με το πρότυπα NEMA, διακρίνουμε τέσσερεις κατηγορίες σχεδίασης (A, B, C,D) του δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα/κλωβού

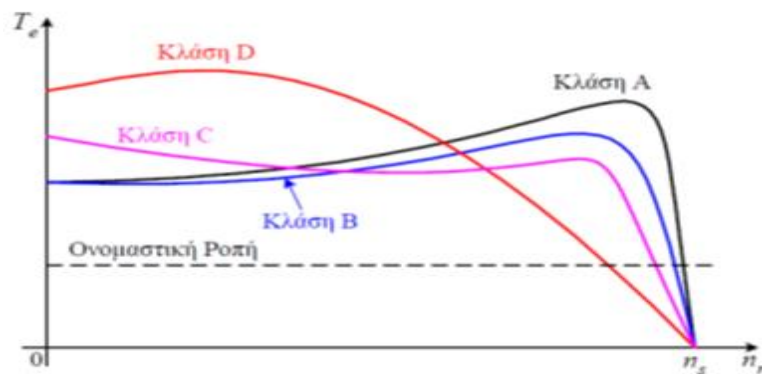
Το παγκόσμιο πρότυπο με Ευρωπαϊκή προέλευση IEC (International Electric Compranion) ορίζει αντίστοιχα τα πρότυπα: IEC class N που αντιστοιχεί στο NEMA B και IEC class H που αντιστοιχεί στο NEMA C.

Στον πίνακα 5.1. και στο **Σχήμα 5.23** που ακολουθούν, φαίνονται τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι χρήσεις της κάθε κατηγορίας.

ΚΛΑΣΗ Α	
Ροπή εκκίνησης	100% της ονομαστικής για μεγάλους κινητήρες, 200% για μικρότερους
Ρεύμα εκκίνησης	Περίπου 800% του ονομαστικού
Ροπή ανατροπής	200-300% της ονομαστικής
Ολίσθηση ανατροπής	<0,2
Ονομαστική ολίσθηση	<0,05
Εφαρμογές	Φτερωτές, αντλίες, μηχανικά εργαλεία
Παρατηρήσεις	Το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης προκαλεί σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο, άρα χρειάζονται ειδικές τεχνικές ομαλής εκκίνησης. Περισσότερο αποδοτικός από τους κλάσης Β.
ΚΛΑΣΗ Β	
Ροπή εκκίνησης	100% της ονομαστικής για μεγάλους κινητήρες, 200% για μικρότερους
Ρεύμα εκκίνησης	500-600% του ονομαστικού
Ροπή ανατροπής	≥200% της ονομαστικής
Ολίσθηση ανατροπής	<0,2
Ονομαστική ολίσθηση	<0,03
Εφαρμογές	Παρόμοιες με την κλάση Α, με περισσότερες εφαρμογές σε συστήματα HVAC
Παρατηρήσεις	Αντικαταστάτης των κινητήρων κλάσης Α, λόγω του μικρότερου ρεύματος εκκίνησης. Πιο συνηθισμένοι στο εμπόριο.
ΚΛΑΣΗ C	
Ροπή εκκίνησης	Περίπου 250% της ονομαστικής
Ροπή ανατροπής	Ελαφρώς μικρότερη από την αντίστοιχη κλάσης Α
Ονομαστική ολίσθηση	<0,05
Εφαρμογές	Συμπιεστές, αντλίες, ταινιόδρομοι
Παρατηρήσεις	Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που χρειάζεται μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης από τους κινητήρες κλάσης Β. Είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους αντίστοιχους κλάσης Β.

ΚΛΑΣΗ D	
Ροπή εκκίνησης	>275% της ονομαστικής
Ολίσθηση ανατροπής	Υψηλή Ολίσθηση ανατροπής, μπορεί να φτάσει και το 1
Ονομαστική ολίσθηση	>0,07
Εφαρμογές	Εφαρμογές που χρειάζονται μεγάλη ροπή εκκίνησης π.χ. τύπος διατρήσεων, γερανογέφυρες, ανυψωτικά
Παρατηρήσεις	Εφαρμογές που απαιτούν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπου η ολίσθηση μπορεί να παίρνει τιμές από 0 - 0,5. Είναι λιγότερο αποδοτικοί από όλες τις άλλες κατηγορίες.

Πίνακας 5.1. Χαρακτηριστικά κλάσεων σχεδίασης επαγωγικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Σχήμα 5.23: Χαρακτηριστικές ροπής–ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, ανάλογα με την κλάση σχεδίασης.

5.4 Τεχνικές Πέδησης

Πέδηση ονομάζεται η διαδικασία επιβράδυνσης, μείωσης της ταχύτητας περιστροφής ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Κατά τη διάρκεια της πέδησης, ο κινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια, δηλαδή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του φορτίου σε ηλεκτρική. Η μηχανική ενέργεια παρέχεται, στην περίπτωση του παθητικού φορτίου, από την κινητική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην αδράνεια του συστήματος κινητήρας– φορτίο, είτε απευθείας από το ενεργό φορτίο.

5.4.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Για την πέδηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, το ρεύμα του δρομέα (I_a) πρέπει να αντιστραφεί, ενώ η φορά της κύριας μαγνητικής ροής (ρεύμα διέγερσης) διατηρείται σταθερή. Η φορά της αναπτυσσόμενης ροπής αντιστρέφεται $T_e = -C_T \times \Phi \times I_a$ και η ισχύς γίνεται αρνητική $P = -T_e \times \Omega_r$. Η αρνητική ισχύς σημαίνει ότι, η μηχανή μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, δηλαδή λειτουργεί σαν γεννήτρια.

Διακρίνουμε τρεις μεθόδους πέδησης των ηλεκτρικών κινητήρων όλων των κατηγοριών, ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης της ισχύος που ανακτάται από τη μηχανή (regenerated power):

- Πέδηση με ανάκτηση της ισχύος (regenerative braking).
- Δυναμική πέδηση (dynamic braking).
- Πέδηση με αναστροφή της τάσης (plugging).

1. Πέδηση με Ανάκτηση της Ισχύος

Στη μέθοδο πέδησης με ανάκτηση της ισχύος, η ενέργεια που παράγεται από τη μηχανή κατά το διάστημα της επιβράδυνσής της, επιστρέφει στην πηγή τροφοδοσίας. Επομένως, η πηγή τροφοδοσίας πρέπει να έχει την ικανότητα αποθήκευσης, ή διάθεσης σ' άλλα φορτία, της παραγόμενης από τη μηχανή ενέργειας. Αν η δυνατότητα αυτή δεν υπάρχει, τότε η μέθοδος της πέδησης με ανάκτηση της ισχύος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

2. Δυναμική Πέδηση

Η πέδηση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με τη δυναμική μέθοδο, σημαίνει την δυνατότητα αποσύνδεσης των ακροδεκτών του δρομέα από την πηγή τροφοδοσίας και τον παραλληλισμό του με μια αντίσταση R_{br} (αντίσταση πέδησης). Επειδή η τάση τροφοδοσίας της μηχανής είναι μηδέν, η ΑΗΕΔ της μηχανής προκαλεί τη ροή ενός ρεύματος δρομέα με αντίθετη φορά από εκείνη στη λειτουργία του κινητήρα, οπότε η μηχανή λειτουργεί σαν γεννήτρια αναπτύσσοντας αρνητική ροπή.

Η αντίσταση πέδησης R_{br} που συνδέεται στο κύκλωμα του δρομέα πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή, έτσι ώστε το αρχικό ρεύμα πέδησης, για τη μέγιστη ταχύτητα άρα και τη μέγιστη ΑΗΕΔ του κινητήρα $I_{max} = E_{amax}/(R_a + R_{br})$, να περιορίζεται σε «ασφαλή» τιμή.

3. Πέδηση με Αναστροφή της Τάσης τροφοδοσίας

Στη μέθοδο αυτή πέδησης, αντιστρέφεται η φορά της τάσης τροφοδοσίας στο τύλιγμα του δρομέα. Έτσι, αντιστρέφεται η φορά του ρεύματος στο δρομέα και η μηχανή λειτουργεί σαν γεννήτρια. Η ενέργεια που παράγεται από τη μηχανή, μαζί με την ισχύ που η μηχανή απορροφά από την πηγή τροφοδοσίας, καταναλώνονται στην ωμική αντίσταση του δρομέα. Το ρεύμα στον οπλισμό αποκτά μια εξαιρετικά μεγάλη τιμή $I_a = (E_a + V)/R_a$, η οποία συχνά περιορίζεται με τη σύνδεση μιας εξωτερικής αντίστασης, σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα. Επομένως, η πέδηση με αναστροφή της τάσης τροφοδοσίας είναι μια εξαιρετικά αναποτελεσματική μέθοδος (plugging).

5.4.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος

1. Μηχανική Πέδηση

Πραγματοποιείται μέσω ειδικών σιαγόνων που πιέζουν τον άξονα της κινητήρα. Παρουσιάζουν συχνές φθορές και ο χρόνος πέδησης είναι μεγάλος.

2. Ελεύθερη Πέδηση

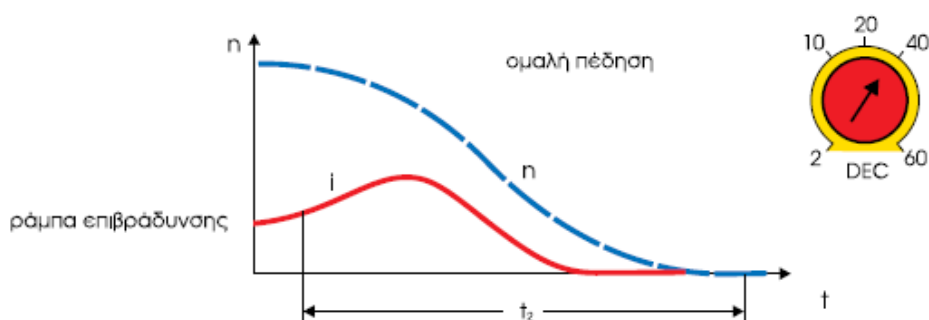
Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.

3. Ομαλή Πέδηση

Διακόπτεται «σταδιακά» η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγήν απότομης παύσης λειτουργίας του κινητήρα. Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη ράμπας επιβράδυνσης που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς εκκινητές.

Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

- α) Ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με το χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του ποτενσιόμετρου του εκκινητή.
- β) Ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών χτυπημάτων.
- γ) Προοδευτική μείωση της τάσης.



Σχήμα 5.24: Καμπύλη n-t, i-t ομαλής πέδησης.

4. Δυναμική πέδηση με αλλαγή φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη

Η μέθοδος αυτή, είναι αρκετά αποτελεσματική και επιτυγχάνεται με την απότομη αλλαγή της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη, αλλάζοντας τη διαδοχή δύο οποιονδήποτε από τις τρεις φάσεις της τάσης τροφοδοσίας.

5. Δυναμική πέδηση με συνεχές ρεύμα

Στη μέθοδο αυτή το τύλιγμα του στάτη αποσυνδέεται από το δίκτυο του Ε.Ρ και τροφοδοτείται με Σ.Ρ, μέσω κατάλληλης ανορθωτικής διάταξης. Σύμφωνα με το σχήμα κατά την ενεργοποίηση του μεταγωγέα (ρελαί) – της διαδικασίας πέδησης, οι δύο φάσεις του τυλίγματος του στάτη συνδέονται σε σειρά και διεγείρονται με συνεχές ρεύμα.

6. Πέδηση με αλλαγή του αριθμού των πόλων

Η μέθοδος αυτή αφορά αποκλειστικά και μόνο κινητήρες στους οποίους υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του αριθμού των πόλων. Π.χ. διπλασιάζοντας τον αριθμό των πόλων η ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου υποδιπλασιάζεται, με αποτέλεσμα στη δεδομένη περιοχή στροφών η μηχανή να λειτουργεί σαν γεννήτρια και να επιστρέφει ισχύ στο δίκτυο.

5.5 Τεχνικές Αλλαγής Φοράς Περιστροφής

Η αλλαγή της φοράς περιστροφής είναι στην ουσία η αντιστροφή της φοράς της παραγόμενης ροπής/δύναμης των κινητήρων. Οι τεχνικές αναφέρονται στη συνέχεια.

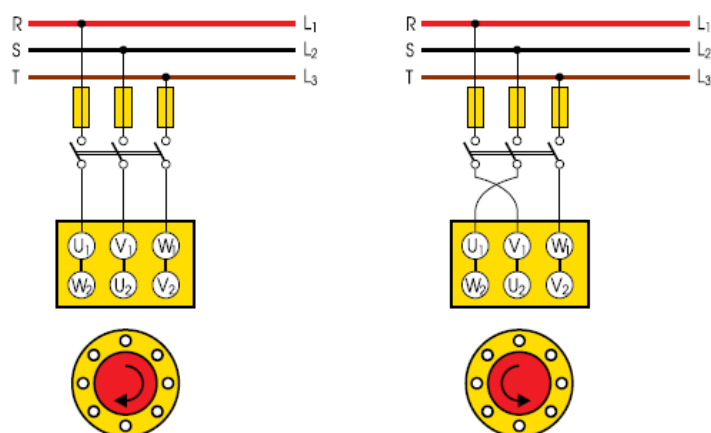
5.5.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες Σ.Ρ πραγματοποιείται με δυο τρόπους.

- Με εναλλαγή των συνδέσεων των ακροδεκτών του τυλίγματος τυμπάνου (αντιστροφή του ρεύματος του δρομέα)
- Με εναλλαγή των συνδέσεων των ακροδεκτών του τυλίγματος διέγερσης (αντιστροφή του μαγνητικού πεδίου).

5.5.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η αλλαγή φοράς περιστροφής των κινητήρων του εναλλασσομένου ρεύματος (ασύγχρονων και σύγχρονων) επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Η αλλαγή αυτή γίνεται με την αντιμετάθεση των δύο από τους τρεις αγωγούς που τροφοδοτούν τον κινητήρα.



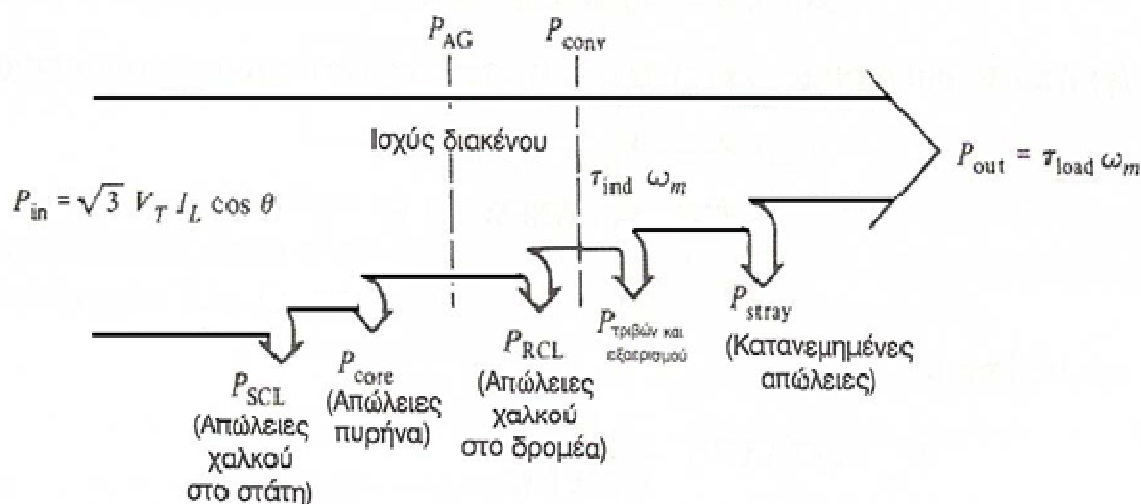
Σχήμα 5.25: Αλλαγή φοράς περιστροφής κινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

6.1 Απώλειες Ηλεκτρικών Κινητήρων

Η ηλεκτρική ισχύς που αναγράφεται στις πινακίδες των κινητήρων αναφέρεται στην τιμή της ισχύος που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του. Η ισχύς που απορροφάει ο κινητήρας από το ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να καλύπτει και τις απώλειες. Οι απώλειες μαγνήτισης, κορεσμού και τριβών, όπως επίσης και οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη και του δρομέα αφαιρούνται από την ηλεκτρική ισχύ του εκάστοτε κινητήρα και στο τέλος παραμένει η ωφέλιμη ισχύς που μπορεί να καταναλωθεί από το φορτίο.



Σχήμα 6.1: Σχηματική απεικόνιση απωλειών που συνοδεύουν τη λειτουργία ενός κινητήρα.

Η ισχύς (P_{out}) που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του με τη μορφή μηχανικής ισχύος είναι πάντοτε μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ (P_{in}) που απορροφά από το δίκτυο. Η διαφορά $P_{in} - P_{out} = P_{στπ}$ είναι το συνολικό ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο δε μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια αλλά σε θερμότητα και θερμαίνει τα μέρη της μηχανής και η οποία πρέπει να απομακρύνεται από το σύστημα μέσω ενός συστήματος ψύξης. Οι απώλειες εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά, το σχεδιασμό των επιμέρους στοιχείων της μηχανής, τις γεωμετρικές διαστάσεις, τον τρόπο λειτουργίας και τη συντήρηση.

Απώλειες Κινητήρα



Σχήμα 6.2: Σχηματική απεικόνιση ποσοστών απωλειών που συνοδεύουν τη λειτουργία ενός κινητήρα.

1. Μηχανικές Απώλειες για Κινητήρες Σ.Ρ. και Ε.Ρ

Μηχανικές απώλειες είναι οι:

Απώλειες τριβής (P_f) του άξονα του δρομέα στα έδρανα του κινητήρα, των ψηκτρών με το συλλέκτη,

Απώλειες εξαερισμού (P_w) δηλαδή μηχανικού έργου που απορροφάται του αέρα με τον περιστρεφόμενο δρομέα και του μηχανικού έργου που απορροφάται από τον ανεμιστήρα του κινητήρα.

Οι παραπάνω απώλειες αυτές είναι ανάλογες προς την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα του κινητήρα και, επειδή κατά κανόνα οι στροφές είναι σταθερές, είναι και οι μηχανικές απώλειες σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου του κινητήρα. Οι απώλειες λόγω της τριβής αυξάνονται με το τετράγωνο της ταχύτητας ενώ οι απώλειες ανεμισμού αυξάνονται με τον κύβο της ταχύτητας.

2. Μαγνητικές Απώλειες ή Απώλειες Πυρήνα (P_{core})

Οι απώλειες πυρήνα P_{core} (ή αλλιώς απώλειες σιδήρου ή μαγνητικές απώλειες) οφείλονται στα φαινόμενα υστέρησης και δινορρευμάτων που αναπτύσσονται στα σιδηρομαγνητικά υλικά των πυρήνων.

3. Απώλειες Υστέρησης

ι. Απώλειες υστέρησης για Κινητήρες Σ.Ρ.

Οι απώλειες υστέρησης οφείλονται στις διαδοχικές μεταβολές της μαγνήτισης του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου (δρομέα) όταν αυτό περιστρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι.

Είναι ανάλογες προς τις στροφές του κινητήρα και προς τη ροή των μαγνητικών πόλων του. Επομένως για σταθερές στροφές και για σταθερή ένταση διέγερσης παραμένουν αμετάβλητες άσχετα του αν ο κινητήρας έχει ή όχι φορτίο.

ii. Απώλειες υστέρησης για Κινητήρες Ε.Ρ.

Αναφέρονται στη μαγνητική ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μαγνήτιση του πυρήνα, δηλαδή την αναδιάταξη των μαγνητικών τμημάτων του όπως αυτή συμβαίνει σε κάθε περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα. Μπορεί ν' αποδειχτεί ότι οι απώλειες ενέργειας σε κάθε περίοδο είναι ανάλογες του εμβαδού που καλύπτει ο βρόχος υστέρησης του υλικού. Όσο μικρότερη είναι η μέγιστη τιμή της μαγνητεγερτικής δύναμης ($M=Ni$) που εφαρμόζεται στον πυρήνα, τόσο μικρότερο είναι το εμβαδόν του βρόχου υστέρησης, άρα και οι αντίστοιχες απώλειες.

4. Απώλειες Δινορρευμάτων για Κινητήρες Σ.Ρ. και Ε.Ρ

Οφείλονται στα ρεύματα (κλειστές διαδρομές) που κυκλοφορούν στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου (δρομέα) αλλά και του στάτη, εξαιτίας των επαγόμενων τάσεων λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής (N. Faraday) σε αυτόν. Οι απώλειες δινορρευμάτων είναι απώλειες θερμότητας και είναι ανάλογες του τετραγώνου της «έντασης» αυτών. Επομένως, εφόσον η ένταση του ρεύματος που κυκλοφορεί στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι ανάλογη προς την τάση η οποία τα προκαλεί και η τάση είναι ανάλογη προς τη μεταβολή της μαγνητικής ροής και τις στροφές, οι απώλειες είναι ανάλογες προς το τετράγωνο των στροφών και της ροής. Εξαρτώνται από τη γεωμετρία του πυρήνα, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού του, την πυκνότητα του ρεύματος και το πάχος των δυναμοελασμάτων.

5. Ηλεκτρικές Απώλειες ή Απώλειες Χαλκού για Κινητήρες Σ.Ρ. και Ε.Ρ

Οι ηλεκτρικές απώλειες οφείλονται στην ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων και δημιουργούνται στα διάφορα τυλίγματα του κινητήρα, όταν αυτά διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, γι' αυτό και ονομάζονται ηλεκτρικές απώλειες. Οι ηλεκτρικές απώλειες της μηχανής είναι ίσες προς το άθροισμα των γινομένων IR^2 των επιμέρους τυλιγμάτων της και μετατρέπονται σε θερμότητα.

6. Κατανεμημένες Απώλειες $P_{(STRAY)}$

Οι κατανεμημένες απώλειες είναι οι απώλειες που δεν μπορούν να υπολογιστούν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες και συνήθως οφείλονται στην αύξηση της μαγνητικής ροής σκέδασης κατά την αύξηση φορτίου και στις υψίσυχνες διακυμάνσεις της ροής αυτής (οι διακυμάνσεις της ροής προέρχονται από την παραμόρφωση της ημιτονοειδούς ιδανικά κατανομής της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο, λόγω της κατανομής των αγωγών στα αυλάκια). Τέτοιες μη υπολογίσιμες απώλειες μπορεί να είναι:

- i. Απώλειες δινορρευμάτων στις περιελίξεις εξαιτίας του επιδερμικού φαινομένου που προκαλεί η μαγνητική ροή σκέδασης, με συνέπεια την μείωση 29 της ενεργού διατομής των αγωγών και άρα την αύξηση της ωμικής των αντιστάσεως.
- ii. Απώλειες δινορρευμάτων λόγω της μαγνητικής ροής σκέδασης στις κεφαλές των τυλιγμάτων του στάτη, με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών πυρήνα και την πρόκληση απωλειών σιδήρου στο περίβλημα

και σε άλλα μη ενεργά μέρη του κινητήρα. Οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από τη γεωμετρία των κεφαλών του κινητήρα.

6.2 Ωφέλιμη Ισχύς και Βαθμός Απόδοσης Ηλεκτροκινητήρων

6.2.1 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Είναι ήδη γνωστό, ότι ο κινητήρας, με τη βοήθεια της τάσης τροφοδοσίας (τάση πηγής), η οποία υπερνικά την ΑΗΕΔ και προσφέρει ενέργεια, ώστε να δημιουργείται ροπή και να συνεχίζεται η κίνηση του επαγωγίσιμου, επιτυγχάνει τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανικό έργο. Το μηχανικό αυτό έργο, αποδίδεται στον άξονα του κινητήρα για την υπερνίκηση της «αντίστασης» του φορτίου. Η ισχύς (P_{in}) που απορροφά ο κινητήρας με μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή που τον τροφοδοτεί με Σ.Ρ. δίνεται από τη σχέση:

$$P_{in} = V \cdot I \quad (\text{σε } W)$$

Η ισχύς (P_{out}) που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του δίνεται από τη σχέση:

$$P_{out} = T_{\alpha} \cdot \Omega = T_{\alpha} \cdot 2\pi \cdot n \quad (\text{σε } W)$$

όπου T_{α} : είναι η ροπή (σε Nm) που αναπτύσσει ο κινητήρας στον άξονά του και

n : είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (σε στρ/sec – rps).

Ονομαστική ισχύς, που δίνεται σε KW ή HP (1HP=0,736 KW), είναι η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να δίνει στον άξονά του ο κινητήρας συνεχώς εργαζόμενος με την ονομαστική του τάση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη από υπερθέρμανση.

Ως βαθμός απόδοσης του κινητήρα Σ.Ρ. λαμβάνεται ο λόγος της μηχανικής ισχύος στον άξονά του (ισχύς εξόδου) προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά (ισχύς εισόδου) από το δίκτυο:

$$h = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{\alpha\tau}} < 1$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα και κυμαίνεται από 75% για τους μικρότερους κινητήρες ως 90% για τους μεγαλύτερους. Διευκρινίζεται ότι, ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων αναφέρεται πάντοτε σε πλήρη φόρτιση. Ο βαθμός απόδοσης στους κινητήρες γίνεται μέγιστος σε εκείνη την τιμή φορτίου, κατά την οποία οι ηλεκτρικές απώλειες γίνονται ίσες με τις μηχανικές και μαγνητικές. Αυτό συμβαίνει, όταν ο κινητήρας αποδίδει ισχύ ίση με την ονομαστική του ή και ελαφρώς μικρότερη αυτής

6.2.2 Κινητήρες Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Ασύγχρονοι ή Επαγωγικοί Κινητήρες

Η ισχύς P_{in} , που απορροφά από το δίκτυο ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δίνεται από τη σχέση:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (\text{σε W})$$

Όπου : V = η ονομαστική τάση του κινητήρα.

I = το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα.

$\cos \phi$ = ο συντελεστής ισχύος λειτουργίας του κινητήρα.

Αν είναι γνωστή η ηλεκτρική ισχύς εισόδου P_{in} και το σύνολο των απωλειών του κινητήρα $P_{απ}$, μπορεί να υπολογιστεί η μηχανική ισχύς εξόδου από τη διαφορά των δύο παραπάνω μεγεθών, δηλαδή:

$$P_{out} = P_{in} - P_{απ}$$

Ένας δεύτερος τρόπος προσδιορισμού της μηχανικής ισχύος εξόδου του επαγωγικού κινητήρα προκύπτει από τη σχέση που συνδέει την παραπάνω ισχύ με την ροπή που ασκείται στον άξονα του δρομέα T και τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ω . Με τη γνώση των παραπάνω τιμών ροπής και γωνιακής ταχύτητας, υπολογίζεται η τιμή της ισχύος εξόδου του επαγωγικού κινητήρα σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$P_{out} = \omega \times T = 2\pi \times n_s \times T$$

όπου: n_s : είναι η ταχύτητα του κινητήρα (σε στρ/ min – rpm).

T : είναι η ροπή που ασκεί στο δρομέα το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη (σε Nm).

Ο συντελεστής απόδοσης ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ίσος με το λόγο της ωφέλιμης μηχανικής ισχύος εξόδου του κινητήρα προς την ηλεκτρική ισχύ εισόδου του:

$$h = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Με παραδοχή ότι οι απώλειες σιδήρου και τριβών του δρομέα είναι αμελητέες και με δεδομένο ότι οι ηλεκτρικές απώλειες (απώλειες χαλκού) δίνονται από τη σχέση: $P_{απ} = P_{in} s$, όπου s είναι η ολίσθηση του κινητήρα, ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα θα δίνεται από τη σχέση:

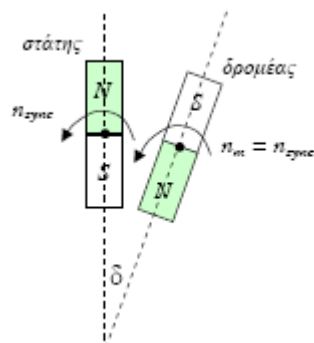
$$h = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{απ}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{in} \times s}{P_{in}} = 1 - s$$

Ο βαθμός απόδοσης η ενός ασύγχρονου κινητήρα στην κανονική λειτουργία του είναι τόσο καλύτερος όσο μικρότερη είναι η ολίσθησή του s δηλαδή όσο πιο κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα είναι η ταχύτητα περιστροφής.

Σύγχρονοι Κινητήρες

Σχήμα 6.3: Παράσταση Σύγχρονου κινητήρα με σύστημα δύο μαγνητών.

Ο ένας μαγνήτης παριστάνει το μαγνητικό πεδίο του στάτη και ο άλλος το μαγνητικό πεδίο του δρομέα. Λόγω συνεχούς έλξης μεταξύ ετερόνυμων πόλων αν ο ένας μαγνήτης περιστραφεί με το σύγχρονο αριθμό στροφών n_{sync} , με τον ίδιο αριθμό στροφών θα περιστραφεί και ο άλλος.



Η γωνία δ που σχηματίζουν οι άξονες των δύο μαγνητικών πεδίων λέγεται γωνία ροπής ή γωνία φορτίου και εξαρτάται από το μηχανικό φορτίο που έχει ο άξονας. Όταν ο κινητήρας δεν έχει φορτίο η γωνία αυτή είναι κοντά στο μηδέν (έχει μια μικρή τιμή λόγω μάζας του ίδιου του δρομέα). Η σχέση που συνδέει τη γωνία δ με την ισχύ στον άξονα του κινητήρα P_{out} , δίνεται προσεγγιστικά από την επόμενη εξίσωση:

$$P_{out} = \frac{3 \times V_f \times E_A}{X_s} \sin \delta$$

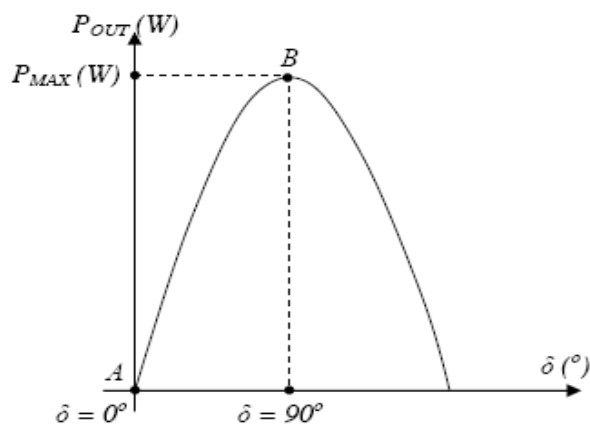
Όπου: V_f : φασική τάση τροφοδοσίας.

E_A : εσωτερική τάση του κινητήρα.

X_s : σύγχρονη ανά φάση αντίδραση του κινητήρα.

δ : γωνία ροπής ή γωνία φορτίου του κινητήρα.

Η τιμή της γωνίας δ μεταβάλλεται, θεωρητικά, από 0° έως 90° . Στην πράξη όμως αυτή δεν φτάνει ποτέ τις 90° . Στην ονομαστική κατάσταση του κινητήρα αυτή κυμαίνεται από 15° έως 25° .



Σχήμα 6.4 Μεταβολή της ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της γωνίας δ .

Το **Σχήμα 6.4** δείχνει τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η ισχύς του Σύγχρονου κινητήρα συναρτήσει της γωνίας φορτίου δ . Παρατηρείται ότι η μέγιστη ισχύς την οποία μπορεί να δώσει ένας Σύγχρονος κινητήρας, προκύπτει όταν $\delta = 90^\circ$ και αυτή είναι:

$$P_{\max} = \frac{3 \times V_f \times E_A}{X_s}$$

6.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας στους Ηλεκτρικούς Κινητήρες

6.3.1 Κατηγοριοποίηση

Ο βαθμός απόδοσης των ηλεκτροκινητήρων είναι το βασικό χαρακτηριστικό τους σύμφωνα με το οποίο γίνεται και η κατηγοριοποίησή τους. Η διαδικασία κατηγοριοποίησης των κινητήρων ξεκίνησε με την προτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης (μέσω της Ευρωπαϊκής Επιτροπής) σε συνεργασία με τους κατασκευαστές των κινητήρων.

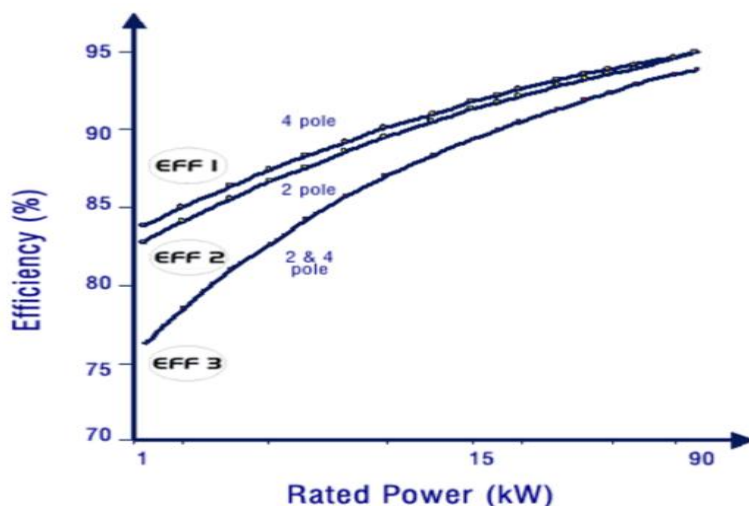
Το σχέδιο χωρίζει τους κινητήρες σε τρεις κατηγορίες/επίπεδα απόδοσης, EFF1, EFF2 και EFF3, με το EFF1 να είναι το καλύτερο επίπεδο απόδοσης. Εφαρμόζεται σε **διπολικούς και τετραπολικούς, τριφασικούς επαγωγικούς κινητήρες με κλωβό, με ονομαστικά μεγέθη λειτουργίας 400 V, 50 Hz, κύκλου λειτουργίας S1 και με ισχύ από 1,1 έως 90 kW**. Το εύρος αυτό καλύπτει το 80% των ηλεκτροκινητήρων της Ευρωπαϊκής αγοράς [16,17].

Ο κύριος στόχος αυτού του εγχειρήματος είναι αφενός η ένταξη των κινητήρων στην κατηγορία EFF1 που αποτελεί και την πιο αποδοτική (χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για το ίδιο μηχανικό έργο), αφετέρου η πλήρης κατάργηση των κινητήρων που ανήκαν στην κατηγορία EFF3 που αποτελεί την πλέον ενεργοβόρα. Τέλος σημαντικό κριτήριο στην κατηγοριοποίηση των κινητήρων αποτελεί και η χρήση τους. Αυτό το κριτήριο είναι εξίσου σημαντικό, καθώς σε περιπτώσεις που η χρήση δεν είναι και τόσο συχνή συμφέρει και διαφορετική κατηγορία, καθώς δε μπορεί να αγνοηθεί και το οικονομοτεχνικό στοιχείο.

Κατηγορία	EFF1	EFF2	EFF3
Απόδοση	Πολύ Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Χρήση	Συνεχόμενη Οικονομικά πιο αποδοτικός σε λειτουργία 2000 ωρών ετησίως	Συχνή Μικρά Χρονικά διαστήματα λειτουργίας	Περιστασιακή –Σπάνια Συμβατικός Κινητήρας
Κατασκευή Δρομέα	Χαλκός	Αλουμίνιο	Σιδηρομαγνητικά Ελάσματα
Στόχος	Ένταξη όλων των κινητήρων σε αυτή την κατηγορία	Ελάχιστη Απαίτηση Κατηγορίας	Πλήρης Κατάργηση

Πίνακας 6.1
Κατηγοριοποίηση κινητήρων σύμφωνα με το βαθμό απόδοσης και τη χρήση τους.

Το διάγραμμα του **Σχήματος 6.5** απεικονίζει τη συσχέτιση της απόδοσης των κινητήρων με την ονομαστική τους ισχύ και τα κατασκευαστικά τους μέρη (αριθμός πόλων). Παρατηρείται οι κινητήρες της κατηγορίας EFF1 (αποδοτικότερη από όλες) που αποτελούνται από 4 πόλους παρουσιάζουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης, ειδικά για μεγαλύτερες τιμές ονομαστικής ισχύος. Σύμφωνα με το διάγραμμα, αρκετά ικανοποιητική απόδοση προσφέρεται και ένα διπολικό κινητήρα κατηγορίας EFF2, για κάποια ίδια τιμή ονομαστικής ισχύος. Οι διπολικοί ή τετραπολικοί κινητήρες κατηγορίας EFF3 κινούνται σε χαμηλά επίπεδα βαθμού απόδοσης για κάποια συγκεκριμένη τιμή ονομαστικής ισχύος, συγκριτικά με τους κινητήρες των άλλων δύο κατηγοριών.



Σχήμα 6.5 Η απόδοση των κινητήρων των τριών κατηγοριών συγκριτικά με την ονομαστική τους ισχύ και των αριθμών πόλων.

Στον **Πίνακα 6.2** που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των τετραπολικών και διπολικών κινητήρων αντίστοιχα, με τη βάση των δεδομένων της Euro DEEM.

Οι Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα (ΑΤΚβδ) ανήκουν σε συγκεκριμένα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, τα οποία κατά καιρούς υφίστανται σημαντικές επικαιροποιήσεις με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία τους.

3000 RPM Motors			1500 RPM Motors		
kW	EFF1	EFF2	kW	EFF1	EFF2
1.1	82.8	76.2	1.1	83.8	76.2
1.5	84.1	78.5	1.5	85.0	78.5
2.2	85.6	81.0	2.2	86.4	81.0
3	86.7	82.6	3	87.4	82.6
4	87.6	84.2	4	88.3	84.2
5.5	88.6	85.7	5.5	89.2	85.7
7.5	89.5	87.0	7.5	90.1	87.0
11	90.5	88.4	11	91.0	88.4
15	91.3	89.4	15	91.8	89.4
18.5	91.8	90.0	18.5	92.2	90.0
22	92.2	90.5	22	92.6	90.5
30	92.9	91.4	30	93.2	91.4
37	93.3	92.0	37	93.6	92.0
45	93.7	92.5	45	93.9	92.5
55	94.0	93.0	55	94.2	93.0
75	94.6	93.6	75	94.7	93.6
90	95.0	93.9	90	95.0	93.9

Πίνακας 6.2 : Ενεργειακή απόδοση 2-πολικών και 4-πολικών κινητήρων.

Όλες οι τιμές απόδοσης εκφράζονται σε σχέση με τη Τροπολογία IEC 60034-2 (1972), Τροπολογία 1 (1995), Τροπολογία 2 (1996).

- Υψηλής Απόδοσης (EFF1)
- Βελτιωμένη Απόδοση (EFF2)

- ✓ Πηγή : EuroDEEM International For International Electrotechnical Commission (IEC) Metric Motors (50 Hz) Contains EFF1 and EFF2 Motors.

6.3.2 Πρότυπα

Το Διεθνές Πρότυπο IEC 60034-30 (International Electrotechnical Commission (European Union)) για τις περιστρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές, στο Μέρος 30 αναφέρεται σε κανόνες για την κατάταξη των ΑΤΚβδ σε κατηγορίες απόδοσης. Οι κανόνες αυτοί αναφέρονται ως MEPS (Minimum Energy Performance Standard, δηλαδή, Πρότυπο Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης).

Το Πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Ελάχιστη Ενεργειακή Απόδοση (EU MEPS) τέθηκε σε ισχύ με τον Κανονισμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής EC 640/2009. Σύμφωνα με τα διάφορα στάδια επικαιροποίησης του προτύπου IEC 60034-30, από τον Νοέμβριο του 2010 ισχύει, πλέον, το Πρότυπο IEC 60034-2. Σε αυτό, οι ΑΤΚβδ και γενικά οι ασύγχρονοι κινητήρες 50-60 Hz, χαμηλής τάσης μέχρι 1000V, μίας ταχύτητας, 2, 4, και 6 πόλων, και ισχύος από 0,75kW έως 375kW, ταξινομούνται σε νέες κλάσεις αποδοτικότητας, που εξαρτώνται και από τον τρόπο μέτρησης των επιπρόσθετων απωλειών τους.

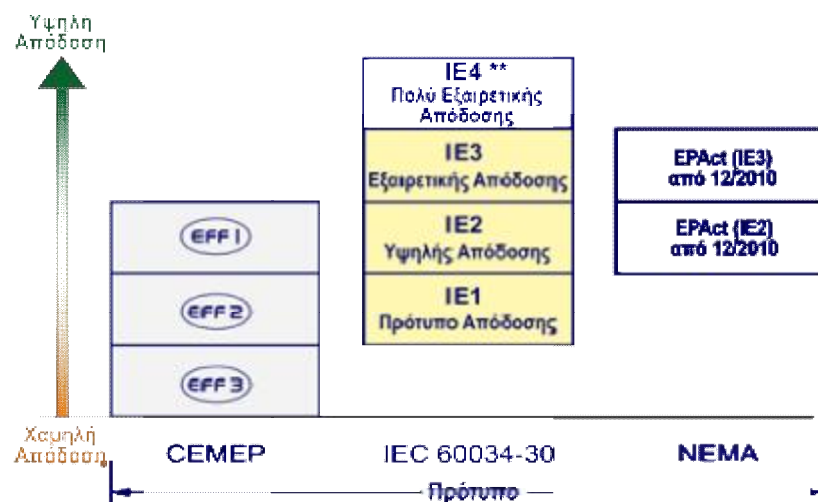
Οι νέες - λοιπόν - κατηγορίες απόδοσης έχουν μια νέα ονοματολογία που αποτελείται από τα γράμματα IE (αρχικά του International Efficiency) και έναν αριθμό που μπορεί να είναι το 1, το 2 ή το 3. Πιο συγκεκριμένα έχουμε τους παρακάτω χαρακτηρισμούς απόδοσης:

- IE1 (Αρχικό Πρότυπο Απόδοσης),
- IE2 (Πρότυπο Υψηλής Απόδοσης), και
- IE3 (Πρότυπο Εξαιρετικής Απόδοσης).

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί, πως, από τον οργανισμό CEMEP (Comité Européen de Constructeurs de Machines) δηλώθηκε ότι από τις 16 Ιουνίου 2011, ο χαρακτηρισμός "EFF" ως σήμα, δεν θα χρησιμοποιείται πλέον. Αυτό σημαίνει όμως, πως θα υπάρχει στους υφιστάμενους μέχρι την ημερομηνία αυτή κατασκευασμένους ηλεκτροκινητήρες. Ακόμη, αξίζει να αναφερθούν και τα βασικά χαρακτηριστικά της ενεργειακής αποδοτικότητας των ΑΤΚβδ κατά CEMEP. Με τις νέες μεθόδους - λοιπόν - μέτρησης των απωλειών των ΑΤΚβδ, οι επιπρόσθετες απώλειες δεν θεωρούνται, πλέον, ως σταθερό ποσοστό τιμών (π.χ. 0,5%), αλλά προσδιορίζονται πραγματοποιώντας τις κατάλληλες μετρήσεις σύμφωνα με το IEC 60034-2-1: 2007. Αυτός - δε - είναι και ο λόγος που οι ονομαστικές αποδόσεις των κινητήρων - αν και δεν έχουν πραγματοποιηθεί τεχνικές ή κατασκευαστικές αλλαγές σε αυτούς - έχουν μειωθεί, από το EFF1 του προτύπου CEMEP και στο IE2 του IEC. Όμοια, υπάρχει αντιστοιχία από EFF2 του CEMEP στο IE1 του IEC. Συνοψίζοντας τα νέα στοιχεία της επικαιροποίησης που προστέθηκαν είναι:

- Ø Πλήρης κατάργηση της κατηγορίας EFF3
- Ø Αντιστοιχία της κατηγορίας IE1 με την EFF2, και της IE2 με την EFF1
- Ø Δημιουργίας νέας κατηγορίας υψηλότερης απόδοσης της EFF1
- Ø Οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές διαφοροποιούνται ανάλογα την χώρα χρήσης του κινητήρα.

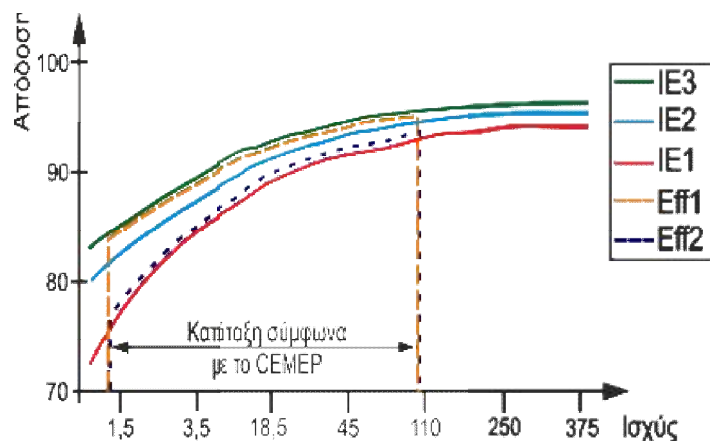
Στην Αμερική έχουν δημιουργηθεί αντίστοιχες κατηγορίες (EPA Act: Energy Policy Act), γνωστές και ως NEMA (National Electrical Manufacturers Association (USA)) για κινητήρες που δουλεύουν στα 60 Hz.



Σχήμα 6.6 Χαρακτηρισμοί αποδοτικότητας ΑΤΚβδ και αντιστοιχίες σύγκρισης σύμφωνα με τα διάφορα ισχύοντα πρότυπα από την χαμηλή στην υψηλή απόδοση αυτών.

a/a	Ονομασία	Βασικά χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Σύμβολο
1	Eff1	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Υψηλής απόδοσης κινητήρας ▶ Κατασκευή δρομέ χαλκός 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ανήκει στις μηχανές εξοικονόμησης ενέργειας. ▶ Οικονομικά είναι πιο αποδοτικός σε λειτουργία περίπου 2000 ωρών ετησίως 	EFF 1
2	Eff2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Βέλτιστης απόδοσης κινητήρας ■ Κατασκευή δρομέα: αλουμίνιο 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ανήκει στις μηχανές εξοικονόμησης ενέργειας. ■ Αποτελεί την καλύτερη επιλογή στην περίπτωση που υπάρχουν μικρά χρονικά διαστήματα λειτουργίας. 	EFF 2
3	Eff3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Συμβατικός κινητήρας (standard) ✓ Κατασκευή δρομέα: σιδηρομαγνητικά ελάσματα 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ανήκει στις μηχανές μη εξοικονόμησης ενέργειας. ✓ Λειτουργία των υφιστάμενων στις διάφορες εφαρμογές κινητήρων 	EFF 3

Πίνακας 6.3: Περιγραφή αποδοτικότητας ΑΤΚβδ.



Σχήμα 6.7 Κατάταξη αποδοτικότητας τετραπολικών ΑΤΚβδ με βάση την ισχύ τους, κατά IEC και CEMEP, με δυνατότητα σύγκρισής τους.

Οι αλλαγές (επικαιροποιήσεις) - εντελώς συνοπτικά - που έχουν τεθεί και θα τεθούν σε ισχύ στο Πρότυπο EU MEPS για τους ΑΤΚβδ, αναφέρονται στις παρακάτω ημερομηνίες:

- **16/06/2011**

Αποτελεί το νομικά καθορισμένο ελάχιστο απόδοσης IE2 για κινητήρες επαγωγής σε συνεχή λειτουργία S1, και πρέπει να διατηρηθεί σύμφωνα με τον υφιστάμενο κανονισμό της ΕΕ.

- **01/01/2015**

Αποτελεί την νομικά καθορισμένη ελάχιστη απόδοση IE3 των ηλεκτροκινητήρων που πρέπει να διατηρηθεί για ονομαστική ισχύ από 7.5 kW ως 375 kW. Ως εναλλακτική λύση μπορεί να θεωρηθεί, ένας ΑΤΚβδ απόδοσης IE2 με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση inverter.

- **01/01/2017**

Αποτελεί την νομικά καθορισμένη ελάχιστη απόδοση IE3 των ηλεκτροκινητήρων που πρέπει να διατηρηθεί για ονομαστική ισχύ από 0.75 kW ως 375 kW. Ως εναλλακτική λύση μπορεί να θεωρηθεί, ένας ΑΤΚβδ απόδοσης E2 με ταυτόχρονη χρησιμοποίηση inverter.

kW	HP	IE-1 - Standard efficiency						IE2 - High efficiency						IE3 - Premium efficiency					
		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
0,75	1	72.1	77.0	72.1	78.0	70.0	73.0	77.4	75.5	79.6	82.5	75.9	80.0	80.7	77.0	82.5	85.5	78.9	82.5
1.1	1.5	75.0	78.5	75.0	79.0	72.9	75.0	79.6	82.5	81.4	84.0	78.1	85.5	82.7	84.0	84.1	86.5	81.0	87.5
1.5	2	77.2	81.0	77.2	81.5	75.2	77.0	81.3	84.0	82.8	84.0	79.8	86.5	84.2	85.5	85.3	86.5	82.5	88.5
2.2	3	79.7	81.5	79.7	83.0	77.7	78.5	83.2	85.5	84.3	87.5	81.8	87.5	85.9	86.5	86.7	89.5	84.3	89.5
3		81.5	-	81.5	-	79.7	-	84.6	-	85.5	-	83.3	-	87.1	-	87.7	-	85.6	-
3.7	5	-	84.5	-	85.0	-	83.5	-	87.5	-	87.5	-	87.5	-	88.5	-	89.5	-	89.5
4		83.1	-	83.1	-	81.4	-	85.8	-	86.6	-	84.6	-	88.1	-	88.6	-	86.8	-
5.5	7.5	84.7	86.0	84.7	87.0	83.1	86.0	87.0	88.5	87.7	89.5	86.0	89.5	89.2	89.5	89.6	91.7	88.0	91.0
7.5	10	86.0	87.5	86.0	87.5	84.7	86.0	88.1	89.5	88.7	89.5	87.2	89.5	90.1	90.2	90.4	91.7	89.1	91.0
11	15	87.6	87.5	87.6	88.5	86.4	89.0	89.4	90.2	89.8	91.0	88.7	90.2	91.2	91.0	91.4	92.4	90.3	91.7
15	20	88.7	88.5	88.7	89.5	87.7	89.5	90.3	90.2	90.6	91.0	89.7	90.2	91.9	91.0	92.1	93.0	91.2	91.7
18.5	25	89.3	89.5	89.3	90.5	88.6	90.2	90.9	91.0	91.2	92.4	90.4	91.7	92.4	91.7	92.6	93.6	91.7	93.0
22	30	89.9	89.5	89.9	91.0	89.2	91.0	91.3	91.0	91.6	92.4	90.9	91.7	92.7	91.7	93.0	93.6	92.2	93.0
30	40	90.7	90.2	90.7	91.7	90.2	91.7	92.0	91.7	92.3	93.0	91.7	93.0	93.3	92.4	93.6	94.1	92.9	94.1
37	50	91.2	91.5	91.2	92.4	90.8	91.7	92.5	92.4	92.7	93.0	92.2	93.0	93.7	93.0	93.9	94.5	93.3	94.1
45	60	91.7	91.7	91.7	93.0	91.4	91.7	92.9	93.0	93.1	93.6	92.7	93.6	94.0	93.6	94.2	95.0	93.7	94.5
55	75	92.1	92.4	92.1	93.0	91.9	92.1	93.2	93.0	93.5	94.1	93.1	93.6	94.3	93.6	94.6	95.4	94.1	94.5
75	100	92.7	93.0	92.7	93.2	92.6	93.0	93.8	93.6	94.0	94.5	93.7	94.1	94.7	94.1	95.0	95.4	94.6	95.0
90	125	93.0	93.0	93.0	93.2	92.9	93.0	94.1	94.5	94.2	94.5	94.0	94.1	95.0	95.0	95.2	95.4	94.9	95.0
110	150	93.3	93.0	93.3	93.5	93.3	94.1	94.3	94.5	94.5	95.0	94.3	95.0	95.2	95.0	95.4	95.8	95.1	95.6
132		93.5	-	93.5	-	93.5	-	94.6	-	94.7	-	94.6	-	95.4	-	95.6	-	95.4	-
150	200	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.0	-	95.0	-	95.0	-	95.4	-	96.2	-	95.8
160		93.8	-	93.8	-	93.8	-	94.6	-	94.9	-	94.8	-	95.6	-	95.8	-	95.6	-
185	250	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.4	-	95.4	-	95.0	-	95.8	-	96.2	-	95.8
200		94.0	-	94.0	-	94.0	-	95.0	-	95.1	-	95.0	-	95.8	-	96.0	-	95.8	-
220	300	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
250	350	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
300	400	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
330	450	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
375	500	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8

Πίνακας 6.4: Κατάταξη αποδοτικότητας διπολικών τετραπολικών και εξαπολικών ΑΤΚβδ με βάση την ισχύ τους, κατά IEC.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω είναι φανερό, πως, οι ΑΤΚβδ, δηλαδή, οι περισσότεροι από τους επαγωγικούς κινητήρες που εισάγονται στην Ευρωπαϊκή αγορά πρέπει να είναι, κατ' ελάχιστο, κλάσης απόδοσης IE2.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως, στις 7 Ιανουαρίου του 2014 το παραπάνω αναφερόμενο Πρότυπο τροποποιήθηκε με την Τροπολογία της EU 4/2014, με ισχύ από τις 27 Ιουλίου 2014. Πιο συγκεκριμένα, ενώ δεν αλλάζει το πεδίο εφαρμογής, αλλά ούτε και οι απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης του αρχικού Προτύπου:

- υπάρχουν αλλαγές στις σημάνσεις και στην τεκμηρίωση των στοιχείων του ΑΤΚβδ

Η πινακίδα των τεχνικών χαρακτηριστικών του ΑΤΚβδ θα πρέπει - πλέον - να φέρει σήμανση της ονομαστικής απόδοσης στο 100%, 75% και 50% του φορτίου (δες παρακάτω σχήμα). Αυτό δεν είναι αναγκαίο για την περίπτωση κινητήρων μικρής ισχύος, κυρίως λόγω του μεγέθους της, όπου είναι αρκετό να φέρει σήμανση της απόδοσης του μόνο στο 100% του ονομαστικού φορτίου του. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρονται η κλάση απόδοσης IE και το έτος κατασκευής αυτού.

- δεν υπάρχουν αλλαγές για περιπτώσεις:

α) κινητήρων που είναι κατασκευασμένοι να λειτουργούν πλήρως εμβαπτισμένοι σε κάποιο υγρό, και

β) κινητήρων που είναι κατασκευασμένοι να λειτουργούν αποκλειστικά:

i. σε υψόμετρα μεγαλύτερα από 4000m από την επιφάνεια της θάλασσας (έως τώρα το όριο ήταν 1000 m),

ii. σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος μεγαλύτερες από 60°C (έως τώρα το όριο ήταν 40°C).

6.3.3 Ενέργειες Διεθνών Οργανισμών

Οι κυριότερες ενέργειες που έχει ξεκινήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον βασικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας των κινητήρων περιλαμβάνουν τα εξής [17]:

- Κατηγοριοποίηση κινητήρων και σήμανσης ενεργειακής τους κατανάλωσης.
- Καθορισμός και εφαρμογή των προτύπων ενεργειακής απόδοσης.
- Έρευνα, ανάπτυξη και επίδειξη προς όλους τους άμεσα εμπλεκόμενους με την ενέργεια.
- Εθελοντικές συμφωνίες με κατασκευαστές γνήσιου εξοπλισμού [Original Equipment Manufacturers (OEM)].
- Προγράμματα πληροφόρησης (συνέδρια, μαθήματα, έντυπα).
- Τεχνικά Εργαλεία (Αλγόριθμοι υπολογισμών, βάσεις δεδομένων, κτλ).

Για λογαριασμό της εταιρίας DG TREN, το Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Joint Research Centre (JRC), έχει αναπτύξει μια ευρωπαϊκή βάση δεδομένων κινητήριων συστημάτων, γνωστή ως «EuroDEEM».

Το πακέτο λογισμικού EuroDEEM είναι μία βάση δεδομένων που περιέχει διάφορα στοιχεία για έναν ηλεκτρικό κινητήρα και επιτρέπει στους χρήστες [19]:

- να προβούν εύκολα σε αξιολόγηση των κινητήρων με σκοπό την εγκατάσταση νέων ή την αντικατάσταση παλαιών.
- να επιλέξουν το καταλληλότερο ηλεκτρικό κινητήρα για οποιαδήποτε χρήση, υπολογίζοντας την ηλεκτρική και οικονομική κατανάλωση.

Η στρατηγική για την ανάπτυξη του EuroDEEM έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί για να επιτευχθούν οι εξής στόχοι:

- Να είναι σε θέση να διαθέσει ένα ευρωπαϊκό κατάλογο όλων των ηλεκτρικών κινητήριων συστημάτων και των παραγώγων τους, και φυσικά να προσφέρει λύσεις στην ενεργειακή απόδοση.
- Οι πληροφορίες που παρέχονται στο πλαίσιο της βάσης δεδομένων είναι εύκολο να κατανοηθούν έτσι ώστε ακόμη και μη έμπειροι του είδους (π.χ. ηλεκτρολόγοι, μηχανικοί εγκαταστάσεων, κλπ) να είναι σε θέση να επεξεργαστούν την βάση και να βρουν τις πληροφορίες που θέλουν.
- Η λειτουργία του προγράμματος να εξυπηρετεί και τους κατασκευαστές και τους καταναλωτές.
- Ακρίβεια των αποτελεσμάτων με μικρό αριθμό εισαγωγής εισόδων
- Δυνατότητα ανάπτυξης συστήματος ελέγχου καταναλώσεων κινητήριων συστημάτων σε μια εταιρία.

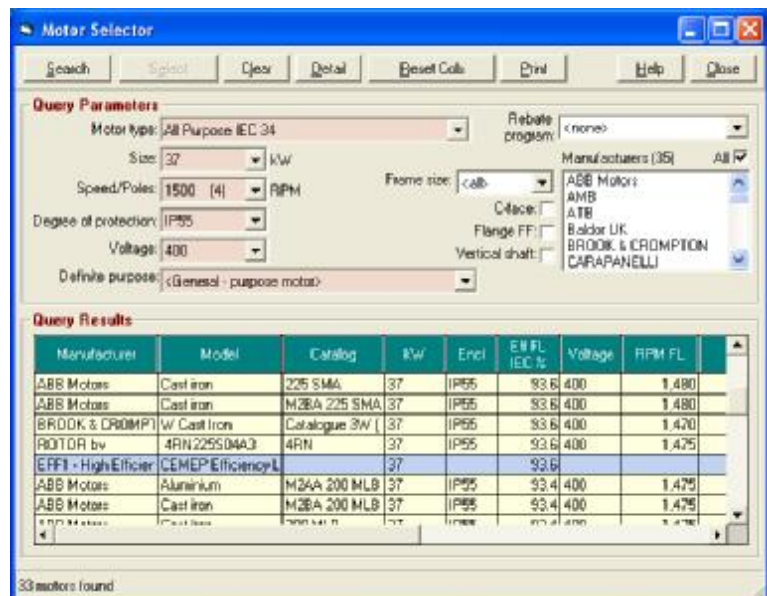


Εικόνα 6.1: Αρχική σελίδα του πακέτου λογισμικού EuroDEEM.

Στην **Εικόνα 6.1** παρουσιάζεται η αρχική σελίδα του πακέτου λογισμικού Euro DEEM. Όπως παρουσιάζεται ο χρήστης έχει δύο βασικές επιλογές:

- Ø **Motor Selector** (αριστερά): Επιλογή για εγκατάσταση νέου κινητήρα.
- Ø **Motor Savings Analysis** (δεξιά): Επιλογή για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της σύγκρισης δύο επιλεγμένων κινητήρων και με άμεσο στόχο την αντικατάσταση κάποιου υπάρχοντος κινητήρα.

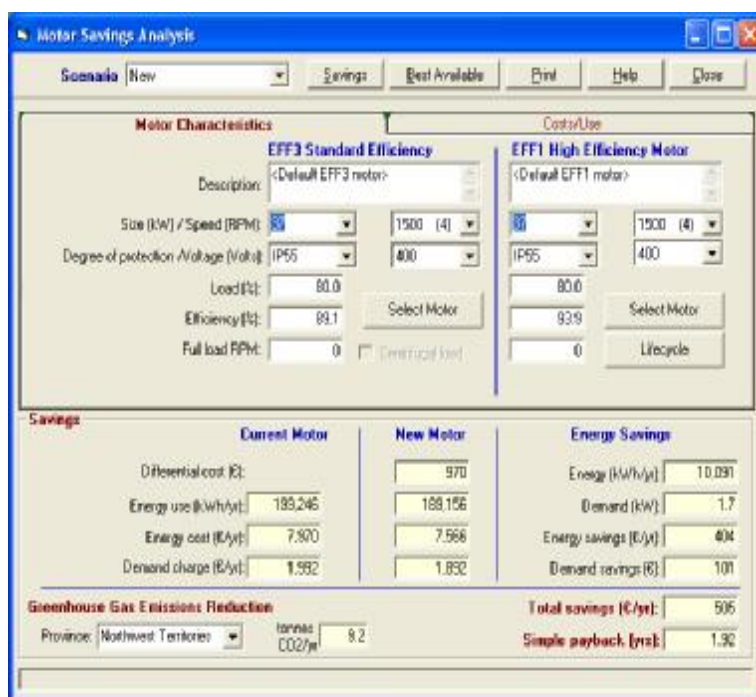
Στην **Εικόνα 6.2** παρουσιάζεται το μενού για νέους κινητήρες. Ο χρήστης προκειμένου να επιλέξει τον κατάλληλο νέο κινητήρα πρέπει να πληροφορηθεί το λογισμικό με κάποια βασικά χαρακτηριστικά και στοιχεία όπως τον τύπο του κινητήρα, την ισχύ, τις στροφές, των αριθμό των πόλων, την τάση, τον βαθμό προστασίας και τον σκοπό της χρήσης του κινητήρα. Η βάση δεδομένων θα του δώσει τις εταιρίες κατασκευής του κινητήρα σύμφωνα με τα κριτήρια και τα χαρακτηριστικά που έχει ο ίδιος επιλέξει.



Εικόνα 6.2: Μενού Motor Selector για επιλογή νέου κινητήρα του πακέτου λογισμικού.

Στην **Εικόνα 6.3** παρουσιάζεται το μενού για την αντικατάσταση ενός υπάρχοντος κινητήρα με κάποιον πιο αποδοτικό. Στο αριστερό παράθυρο του μενού εισάγονται τα χαρακτηριστικά του συμβατικού κινητήρα ενώ δεξιά παρουσιάζονται συγκριτικά τα χαρακτηριστικά του αποδοτικότερου κινητήρα κατηγορίας EFF1. Στο κάτω μέρος του μενού δίνεται η ανάλυση ως αποτέλεσμα από τη σύγκριση των δύο κινητήρων σχετικά με την ενεργειακή (σε kW) εξοικονόμηση σε ετήσια βάση, καθώς και τα οικονομικά οφέλη επίσης σε ετήσια βάση.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα στη βάση δεδομένων είναι καταγεγραμμένοι 35 κατασκευαστές κινητήρων και περισσότεροι από 7000 κινητήρες όλων των τύπων.



Εικόνα 6.3: Μενού Motor Savings Analysis για σύγκριση συμβατικού κινητήρα με αποδοτικούς (EFF1) του πακέτου λονισιικού EuroDEEM.

ABB	Emod MOTOREN	Marelli Motori
AMB	Felten & Guillaume	OEMER Motori
ATB	FIMET Motori	ROTOR bv
Baldor UK	GEC Alsthom	Schorch
Brook & Crompton	GEORGII KOBOLD	SEW Eurodrive
Carapanelli	Hanning Elektro-Werke	Siemens AG
CEG srl	KONCAR	Turk Elektrik Endustrisi
Dutchi Motors B.V.	Lafert	V.T.M.
EBM Werke	Landert Motoren AG	VEM Motors
EFACEC	Leroy Somer	WEG
ElectroAdda SpA	LOHER AG	Western Electric Europe
ELIN Motoren	M.G.M. Motori	

Πίνακας 6.5: Καταγεγραμμένοι κατασκευαστές κινητήρων στον κατάλογο της βάσης δεδομένων Euro DEEM.

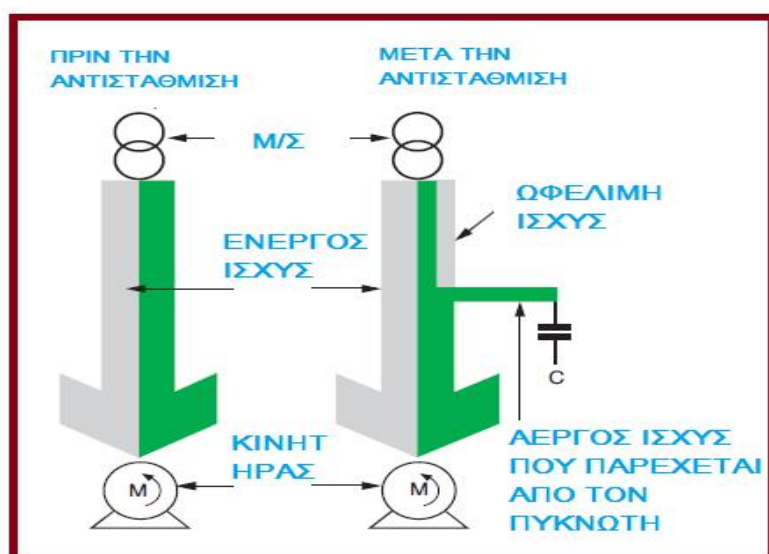
6.4 Τρόποι Εξοικονόμησης Ενέργειας στους Ηλεκτροκινητήρες

6.4.1 Διόρθωση Συντελεστή Ισχύος σε Επαγωγικούς Κινητήρες

Είναι γνωστό ότι στα επαγωγικά φορτία η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα προπορεύεται της τάσεως κατά μια γωνία φ η οποία καλείται διαφορά φάσεως. Ο βαθμός κατανάλωσης άεργου ισχύος από τα φορτία αυτά εκφράζεται με το μέγεθος Συντελεστή Ισχύος ($\cos\varphi$), το οποίο αντιστοιχεί στο λόγο της κατανάλωσης ενεργού ισχύος προς φαινόμενη ισχύ του φορτίου. Αντίθετα από τα επαγωγικά, τα χωρητικά φορτία (πυκνωτές) παράγουν άεργο ισχύ. Έτσι όταν αυτά βρίσκονται σε κυκλώματα μαζί με επαγωγικά φορτία προσφέρουν ένα μέρος της άεργου ισχύος (αντισταθμίζουν) που αυτά θα απορροφούσαν από το δίκτυο. Ένα σωστά αντισταθμισμένο φορτίο παρουσιάζει $\cos\varphi$ κοντά στη μονάδα (π.χ. 0,95 - 0,99) ενώ ένα φορτίο χωρίς αντισταθμισμό παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές (για τυπικούς επαγωγικούς κινητήρες 0.8-0.85).

Πρέπει να αναφερθεί ότι μιλώντας για ονομαστικό συντελεστή ισχύος ενός κινητήρα αυτός ορίζεται για την τάση και ένταση της θεμελιώδους συχνότητας των 50 Hz και σε 100% φόρτισή του. Το μέγεθος της άεργης ισχύος αυξάνεται καθώς ο συντελεστής ισχύος μειώνεται. Για να εξαλειφθεί η απώλεια ενέργειας λόγω της άεργης ισχύος, οι περισσότερες εταιρείες παροχής ενέργειας έχουν καθιερώσει τιμολόγια που επιβάλλουν πρόστιμα στους χρήστες με χαμηλό συντελεστή ισχύος. Επομένως, μπορεί να επέλθει σημαντική μείωση στο κόστος της παρεχόμενης ενέργειας με τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη μιας συστοιχίας πυκνωτών σε ολόκληρο την ηλεκτρική εγκατάσταση (κεντρική αντισταθμισμό).

Στην περίπτωση ατομικής αντισταθμισμού οι πυκνωτές συνδέονται απευθείας στους ακροδέκτες του κινητήρα όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6.8** που ακολουθεί. Πριν την αντισταθμισμό ο μετασχηματιστής τροφοδοτεί όλη την άεργο ισχύ, μετά την αντισταθμισμό ο πυκνωτής τροφοδοτεί ένα μεγάλο μέρος της άεργου ισχύος, ή διαφορετικά μ.Μετά την εφαρμογή αντισταθμισμού στον κινητήρα, το ρεύμα απορρόφησης από το δίκτυο (δηλαδή του συνδυασμού κινητήρα-πυκνωτή) θα μειωθεί με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν έχει μεταβληθεί το φορτίο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα σημαντικό μέρος της άεργου συνιστώσας του κινητήρα τροφοδοτείται από τον πυκνωτή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται για την αποφυγή των προβλημάτων/κινδύνων από υπεραντισταθμισμό (αυτοδιέγερση, κλπ)



Σχήμα 6.8: Ισχύς/ρεύμα απορρόφησης από το δίκτυο πριν και μετά την αντισταθμισμό με πυκνωτή.

- ✓ ΠΗΓΗ: “Chapter L-Power factor correction and harmonic filtering”-Schneider electric.

6.4.2 Τεχνικές Μείωσης Απωλειών στα Διάφορα Μέρη του Κινητήρα

Στον Πίνακα 6.6 που ακολουθεί καταγράφονται ενδεικτικά σε επαγωγικό κινητήρα οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες και οι τεχνικές μείωσης απωλειών στα διάφορα μέρη του κινητήρα οι οποίες ανήκουν κυρίως στον τομέα του σχεδιασμού.

Είδος απωλειών	Ποσοστό Απωλειών (%)	Παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες	Επιλογές εξοικονόμησης
Απώλειες στάτη	30-50	Υλικό και διατομή αγωγού του στάτη	Χρήση χαλκού και αυξημένη διατομή των τυλιγμάτων
Απώλειες δρομέα	20-25	Υλικό και διατομή αγωγού του δρομέα	Χρήση χαλκού και αγωγών μεγαλύτερης διατομής
Απώλειες πυρήνα	20-25	Τύπος και ποιότητα μαγνητικών ελασμάτων	Χρήση λεπτότερων ελασμάτων, χρήση περισσότερου χάλυβα στον πυρήνα
Απώλειες περιστροφής και αερισμού	5-10	Επιλογή της έδρασης του άξονα και ανεμιστήρα	Κατάλληλη σχεδίαση και επιλογή των τριβών και φτερωτής
Απώλειες φορτίου	5-15	Κακή επιλογή κινητήρα για ένα συγκεκριμένο φορτίο	Αυστηροί έλεγχοι προδιαγραφών και ποιότητας του φορτίου

Πίνακας 6.6: Τυπικές απώλειες και τεχνικές μείωσης σε επαγωγικό κινητήρα.

- ✓ ΠΗΓΗ: «Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems»-International energy agency-Paul Waide and Conrad U. Brunner.

6.4.3 Έλεγχος λειτουργίας

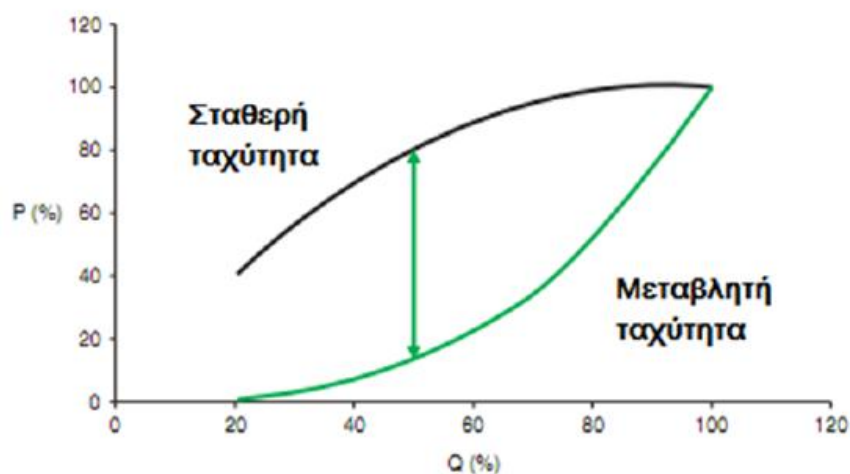
Σε πολλές εφαρμογές είναι απαραίτητος ο έλεγχος της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα για να επιτυγχάνεται π.χ. η διατήρηση ορισμένων μεγεθών σε επιθυμητές τιμές, σύμφωνα με προδιαγραμμένη επιθυμητή λειτουργία. Με έναν κατάλληλο ρυθμιστή/μετατροπέα ισχύος τοποθετημένο μεταξύ του αυτόματου διακόπτη και του κινητήρα (Κεφάλαιο 4^ο), η εξοικονόμηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται ότι μπορεί να φτάσει από 15% έως 50% ανάλογα με την εγκατάσταση και τη λειτουργία.

Ενας διαδεδομένος μετατροπέας ισχύος στην βιομηχανία είναι ο αντιστροφέας (Inverter) ελεγχόμενος μέσω τετραγωνικών παλμών (PWM) ή με ημιτονοειδή Διαμόρφωση Του Εύρους Των Παλμών (SPWM). Σε πολλές εφαρμογές κυρίως στη

χρήση κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος χρησιμοποιούνται οι ανορθωτες (Rectifier) σε τριφασική μορφή με διόδους ή με θυρίστορ και έλεγχο της γωνίας έναυσης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας δεν επιτυγχάνεται μόνο από τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του ηλεκτρικού κινητήριου συστήματος δηλαδή του ηλεκτρονικού μετατροπέα και ηλεκτρικού κινητήρα, αλλά και από τις βελτιώσεις του ηλεκτρονικού υποσυστήματος που περιλαμβάνει τις μονάδες ελέγχου του ηλεκτρικού κινητήριου συστήματος που βασίζονται στις σύγχρονες εξελιγμένες ηλεκτρονικές διατάξεις χαμηλής ισχύος όπως δείχνει και το σχέδιο που ακολουθεί.

Όπως φαίνεται και στο σχέδιο που ακολουθεί όταν δεν μπορούμε να μεταβάλουμε κατάλληλα τα ηλεκτρικά μεγέθη παροχής του κινητήρα, το κινητήριο σύστημα σπαταλά άσκοπες ποσότητες ενέργειας καθώς λειτουργεί αδιάλειπτα με αυξημένη ταχύτητα ανεξάρτητα από τη μεταβολή του φορτίου.



Σχήμα 6.9: Θεωρητική εξοικονόμηση ενέργειας βασισμένη στη τεχνολογία ελέγχου ρύθμισης στροφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Ανάλογα με τον τύπο της μηχανής ποικίλλει η διαδικασία του ελέγχου και της συντήρησης. Το πρόγραμμα ελέγχου και συντήρησης καθορίζεται συνήθως από τον κατασκευαστή του ηλεκτροκινητήρα. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται συγκεντρωτικά τα κυριότερα σημεία ελέγχου και συντήρησης, καθώς και τα συμπτώματα βλαβών συνοπτικά μαζί με τα πιθανά αίτια των κινητήρων.

Επίσης τονίζεται η σημασία του προγραμματισμένου προληπτικού ελέγχου και της προληπτικής ή συντήρησης στο να αποφεύγονται κατά το δυνατόν βλάβες και να αυξάνεται η διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών μηχανών.

7.1 Έλεγχος Κατάστασης Ηλεκτροκινητήρων

7.1.1 Έλεγχος με την παράδοση

1. Με την παράδοση ο υπεύθυνος ηλεκτρολόγος πρέπει να ελέγξει τον κινητήρα που παρέλαβε, τα διάφορα εξαρτήματα και τον πίνακα.
2. Εάν ο κινητήρας είναι εξωτερικά χτυπημένος ή η συσκευασία του έχει υποστεί ζημιά, έτσι ώστε να συμπεραίνεται κάποιο ατύχημα κατά τη μεταφορά του, τότε η παραλαβή του κινητήρα πρέπει να γίνεται μόνο μετά την επίσημη αναφορά και παρουσία εκπροσώπου του μεταφορέα.

7.1.2 Έλεγχος προστασίας από σφάλματα δικτύου

Ο αγοραστής πρέπει να εξασφαλίζει τουλάχιστον τους ακόλουθους τρεις τύπους προστασίας:

1. Προστασία έναντι υπερφόρτισης.
2. Προστασία έναντι βραχυκυκλώματος.
3. Προστασία έναντι πτώσης της τάσης.

7.1.3 Έλεγχος θεμελίωσης - σύνδεσης

1. Οι κινητήρες πρέπει να τοποθετούνται/θεμελιώνονται σε κατάλληλες βάσεις/θεμέλια, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία χωρίς κραδασμούς και σε χώρους που ανταποκρίνονται στον σχεδιασμό τους. Υποχρέωση του αγοραστή είναι να πάρει ή να κατασκευάσει την κατάλληλη βάση/θεμελίωση. Πριν την εγκατάσταση πρέπει να ελεγχθεί η ομαλότητα και η οριζοντιότητα της επιφανείας τοποθέτησης του κινητήρα.
2. Κατά την εγκατάσταση του κινητήρα τα κατεργασμένα μέρη του (άκρα άξονα) πρέπει να προστατεύονται καλυπτόμενα από δέρμα ή λάστιχο.
3. Μετά την εγκατάσταση του κινητήρα θα πρέπει να καθαριστεί το γράσο από τα μεταλλικά μέρη με να πανί ποτισμένο σε πετρέλαιο. Κατά την διαδικασία αυτή απαιτείται προσοχή για να αποφευχθεί η εισχώρηση πετρελαίου στα μονωμένα μέρη του κινητήρα.
4. Ο κινητήρας και ο εξοπλισμός του πρέπει να γειώνονται σύμφωνα με τους κανόνες ασφαλείας. Οι ακροδέκτες γείωσης βρίσκονται πάνω στο κέλυφος του κινητήρα. Ο προστατευτικός ακροδέκτης που συνδέεται στη γείωση του δικτύου τοποθετείται μέσα στο κιβώτιο ακροδεκτών.
5. Οι κύριες συνδέσεις πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τα τεχνικά στοιχεία του κινητήρα που αναφέρονται στην πινακίδα του.

7.1.4 Έλεγχος υγρασίας

Όλοι ανεξαιρέτως οι κινητήρες πριν τεθούν σε λειτουργία πρέπει να ελέγχονται ως προς την υγρασία. Χρησιμοποιώντας να μέγερ, ελέγχουμε τα τυλίγματα στα 500 V. Αποδεκτή θεωρείται η υγρασία, όταν, υπό κανονικές κλιματολογικές συνθήκες, μετρήσουμε αντίσταση μόνωσης μέχρι 40 MΩ. Σε διαφορετική περίπτωση είναι απολύτως απαραίτητο να υποβληθεί ο κινητήρας στη διαδικασία του στεγνώματος. Το στέγνωμα του κινητήρα μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος με το οποίο τροφοδοτούμε το στάτη, με μειωμένη όμως τάση (10-15% της ονομαστικής). Μπορούμε επίσης να στεγνώσουμε τον κινητήρα θερμαίνοντάς τον εξωτερικά (αφού προηγουμένως τον αποσυναρμολογήσουμε) με αντιστάσεις, φούρνο κ.λπ., ακολουθώντας μία συγκεκριμένη διαδικασία. Συνίσταται το στέγνωμα σε φούρνο και, εάν κρίνεται σκόπιμο, η επικοινωνία με το εργοστάσιο κατασκευής.

7.1.5 Έλεγχος μηχανικής ζεύξης

1. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι συνήθως σχεδιασμένοι για απευθείας ζεύξη με άλλες μηχανές ή συσκευές. Διαφορετικά πρέπει ο κατασκευαστής να υποδεικνύει τρόπο ζεύξης.
2. Ο κινητήρας πρέπει να τεθεί σε λειτουργία πριν γίνει η ζεύξη, ώστε να ελεγχθεί τυχούσα ζημιά κατά την διάρκεια της μεταφοράς.
3. Η ζεύξη πρέπει να γίνεται μόνο από ειδικευμένο προσωπικό και με μεγάλη προσοχή, ώστε να υπάρχει τέλεια ευθυγράμμιση μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα της οδηγούμενης μηχανής. (Η απόκλιση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/10 mm). Η οδηγούμενη μηχανή δεν πρέπει να μεταφέρει κραδασμούς ή αξονικές πιέσεις στον κινητήρα κατά την διάρκεια της εκκίνησης ή της λειτουργίας.

4. Οι κινητήρες μπορούν να μεταδώσουν την κίνηση και με ιμάντες. Για την επιλογή των καταλλήλων ιμάντων και τροχαλιών, ζητούνται τα σχετικά έντυπα των εργοστασίων κατασκευής.
5. Η τροχαλία θα πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να παρέχει σημείο εφαρμογής της τάσης του ιμάντα το οποίο δεν πρέπει να είναι πέρα του άκρου του άξονα.
6. Το τμήμα του συνδέσμου και η τροχαλία που εφαρμόζονται στον άξονα του κινητήρα πρέπει να είναι δυναμικά ζυγισμένα.

7.1.6 Έλεγχος πριν την έναρξη λειτουργίας

Μετά την εγκατάσταση και πριν την έναρξη λειτουργίας ο κινητήρας πρέπει υποχρεωτικά να ελεγχθεί λεπτομερώς. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τους παρακάτω επιμέρους ελέγχους:

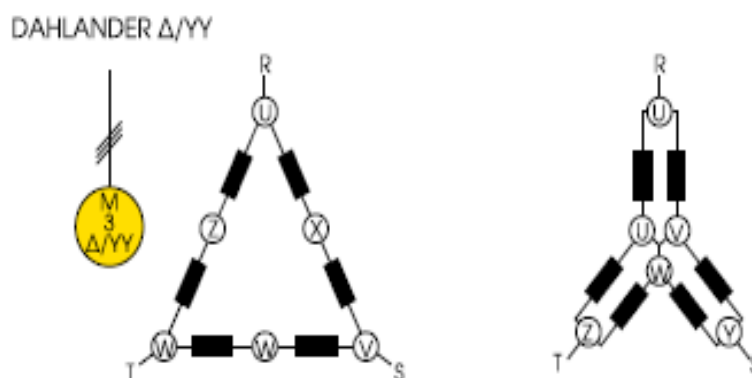
1. Έλεγχος όλων των εξαρτημάτων σύσφιγξης και στεγανοποίησης.
2. Έλεγχος για την πιθανή ύπαρξη ξένων σωμάτων μέσα στον κινητήρα.
3. Έλεγχος για το αν ο κινητήρας συνοδεύεται από το έντυπο των οδηγιών του κατασκευαστή.
4. Έλεγχος περιστροφής του δρομέα του κινητήρα.
5. Έλεγχος (στους προστατευμένους κινητήρες IP 23) πιθανής ύπαρξης σκόνης η οποία πρέπει να απομακρύνεται με πεπιεσμένο αέρα.
6. Έλεγχος της όλης εγκατάστασης σε σχέση με τους κανονισμούς Εργατικής ασφαλείας και Πυροπροστασίας.
7. Μέτρηση Αντιστάσεων. Εάν υπάρχει αμφιβολία για την καλή κατάσταση των τυλιγμάτων γίνεται μέτρηση των αντιστάσεων της μηχανής, για τον εντοπισμό τυχόν κακών κολλήσεων, βραχυκυκλωμένων σπειρών ή λανθασμένης συνδεσμολογίας.
8. Έλεγχος των αντιστάσεων μόνωσης των περιελίξεων και των καλωδίων σύνδεσης με την χρήση μέγερ των 1000 V. Ο έλεγχος της μόνωσης μεταξύ των διάφορων τυλιγμάτων και μεταξύ τυλιγμάτων και γης είναι απαραίτητος πριν από την πρώτη λειτουργία του κινητήρα. Επίσης πρέπει να ελέγχεται και η μόνωση των ψηκτρών μεταξύ τους. Αν ο κινητήρας έχει εκτεθεί σε υγρασία πρέπει να γίνεται στέγνωμα της μόνωσης και έλεγχος για τυχόν ενδείξεις σκουριάς. Το στέγνωμα γίνεται είτε με εξωτερική πηγή θερμότητας είτε με διοχέτευση συνεχών ή εναλλασσόμενων ρευμάτων στα τυλίγματα και ανάπτυξη θερμότητας μέσα σε αυτά.
9. Έλεγχος αντίστασης μόνωσης των θερμίστορ (στους κινητήρες που είναι εφοδιασμένοι με θερμίστορ) η οποία πρέπει να μετρηθεί σύμφωνα με τις ειδικές οδηγίες που συνοδεύουν τον κινητήρα όπου και αναφέρεται ο τύπος του θερμίστορ που χρησιμοποιείται. ΠΡΟΣΟΧΗ: ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ ΣΤΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ 2 V.
10. Έλεγχος μόνωσης των τυλιγμάτων τόσο ως προς το σώμα όσο και μεταξύ των ιδίων για χρονική διάρκεια ενός λεπτού σε αυξανόμενη τάση εναλλασσόμενου ρεύματος.
11. Έλεγχος των πλευρικών καλυμμάτων και του καλύμματος του ανεμιστήρα, ώστε να αποδίδεται ο απαιτούμενος βαθμός προστασίας.

12. Έλεγχος των ακροδεκτών, των περικοχλίων σύσφιγξης και των κοχλιών της πινακίδας άκρων, ώστε να προλαμβάνεται η υπερθέρμανση των καλωδίων σύνδεσης. Η λανθασμένη σύνδεση των ακροδεκτών προκαλεί ανωμαλίες και σε ορισμένους τύπους αλλάζει τη φορά περιστροφής. Για αυτό ελέγχουμε τους ακροδέκτες του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος, καθώς και αυτούς του φυγοκεντρικού διακόπτη (αν υπάρχει).
13. Έλεγχος της ροής αέρα του χώρου στον οποίο θα εγκατασταθεί ο κινητήρας έτσι, ώστε η θερμοκρασία του αέρα να μην υπερβαίνει τους 40°C.
14. Έλεγχος των ελάχιστων αποστάσεων που απαιτούνται για τη δυνατότητα αναρρόφησης του ανεμιστήρα ψύξης (τουλάχιστον 1.2 m από το πίσω μέρος του κινητήρα και 0.5 m από τα πλάγια πρέπει να είναι ελεύθερος χώρος).
15. Έλεγχος λίπανσης. Φεύγοντας από το εργοστάσιο ο κινητήρας πρέπει να έχει τα έδρανά του ήδη γεμάτα με γράσσο και έτοιμα για λειτουργία. α) Η λίπανση των εδράνων είναι μία εύκολη διαδικασία, αφού και στα δύο έδρανα υπάρχουν γρασσαδόροι για την εισαγωγή του γράσσου και βαλβίδες για την απομάκρυνση της περίσσειας του γράσσου. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η λίπανση του κινητήρα χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας του. Τα διαστήματα λίπανσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τον να χρόνο. Στους κινητήρες όπου δεν υπάρχει γρασαδόρος δεν απαιτείται λίπανση αφού χρησιμοποιούνται έδρανα αυτολιπαινόμενα. β) Αν το διάστημα μεταξύ της παράδοσης και της θέσης σε λειτουργία είναι μεγάλο (μεγαλύτερο από 6 μήνες), η λίπανση πρέπει να ελεγχθεί, μετακινώντας το κάλυμμα των εδράνων και παρατηρώντας, αν το γράσσο είναι σκληρό ή έχει χάσει τις λιπαντικές του ιδιότητες. Αν είναι αλλοιωμένο εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας αποθήκευσης πρέπει να αντικατασταθεί και τα έδρανα να καθαριστούν προσεκτικά και να στεγνώσουν με στεγνό πεπιεσμένο αέρα. Μετά τον καθαρισμό, το 1/3 ως το 1/2 του διαθέσιμου χώρου πρέπει να το γεμίσουμε με γράσσο, με αντοχή λειτουργίας μέχρι 110°C. γ) Ασυνήθιστες ταλαντώσεις ή θόρυβοι, συνήθως οφείλονται σε κακή κατάσταση των εδράνων. Σε αυτή την περίπτωση είναι προτιμότερη η αντικατάσταση των εδράνων.
16. Έλεγχος καλωδίωσης. Πριν την πρώτη εκκίνηση του κινητήρα, η ηλεκτρική καλωδίωση του κινητήρα πρέπει να υποστεί τους ακόλουθους ελέγχους από αδειούχο Ηλεκτρολόγο:
 - α. Έλεγχος του ηλεκτρικού πίνακα, των διακοπών και του αυτόματου διακόπτη εκκίνησης.
 - β. Ρύθμιση συστημάτων προστασίας.
 - γ. Η σύνδεση των τυλιγμάτων με τους αγωγούς πρέπει να γίνει σύμφωνα με τα στοιχεία που αναγράφονται στην πινακίδα του κινητήρα.

7.1.7 Έλεγχος συνδεσμολογίας - φοράς περιστροφής - εκκίνησης - σταματήματος για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες

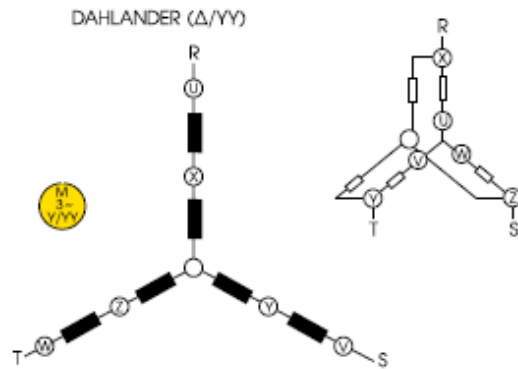
1. Η συνδεσμολογία πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό και άτομα που είναι κάτοχοι αντίστοιχης άδειας εγκαταστάσεων.
2. Οι ηλεκτροκινητήρες στους οποίους εφαρμόζονται οι παρούσες οδηγίες είναι σχεδιασμένοι για πολικές τάσεις 380/660V, 400V Δ και σε ειδικές περιπτώσεις για διαφορετική τάση (220/415 ή 500 V).

3. Κινητήρες μιας ταχύτητας. Εάν στην πινακίδα στοιχείων αναγράφεται 380 Υ, ο κινητήρας πρέπει να συνδεσμοποιηθεί κατά Υ. Εάν στην πινακίδα αναγράφεται 380Δ, ο κινητήρας μπορεί να συνδεθεί απευθείας Δ ή μέσω διακόπτη Υ-Δ.
4. Φορά περιστροφής. Οι ασύγχρονοι κινητήρες στους οποίους αναφέρονται οι παρούσες οδηγίες είναι σχεδιασμένοι, έτσι ώστε να επιτρέπουν τη φορά περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις, που πιθανόν να απαιτούνται από το οδηγούμενο μηχάνημα. Αν η γραμμή συνδέεται στους ακροδέκτες του στάτη, U, V και W και η φασική ακολουθία της γραμμής είναι R, S, T (1,2,3,) ο κινητήρας θα στραφεί κατά την ωρολογιακή φορά περιστροφής. Αν είναι επιθυμητή η αντίθετη φορά πρέπει να γίνει εναλλαγή των δύο από τις τρεις φάσεις που συνδέονται στον κινητήρα ή στον εκκινητή.
5. Εκκίνηση. Οι ηλεκτροκινητήρες συνήθως επιτρέπουν τη χρήση οποιασδήποτε μεθόδου εκκίνησης. (Υ-Δ, ηλεκτρονική εκκίνηση κ.α.). ΠΡΟΣΟΧΗ: Μικροί κινητήρες που τροφοδοτούνται άμεσα από θερμικούς διακόπτες μπορούν να ξεκινήσουν αυτόματα. Για τοποθέτηση διακόπτη Υ-Δ χρειάζεται έλεγχος της τάσης λειτουργίας αυτών.
6. Ανεξάρτητα με την μέθοδο εκκίνησης, ένας κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να ξεκινήσει από την ψυχρή κατάσταση 2-3 φορές το πολύ, μέσα σε διάστημα 8 ωρών.
7. Στους δακτυλιοφόρους ασύγχρονους κινητήρες, ο χειριστής πρέπει να αυξάνει την ταχύτητα σταδιακά. Αν η αύξηση αυτή γίνει πολύ γρήγορα ο κινητήρας απορροφά πολύ ρεύμα από τον αγωγό με συνέπεια το "κάψιμο" και την πρόωρη φθορά δακτυλίων και ψηκτρών.
8. Όλοι οι τύποι κινητήρων "σβήνουν" όταν διακοπεί η τροφοδοσία. Μετά την διακοπή παροχής στον κινητήρα, για να αποσυνδέσουμε τα καλώδια τροφοδοσίας από τον πίνακα άκρων, πρέπει να περιμένουμε να σταματήσει πλήρως η περιστροφή.
9. Ενδεικτικές τιμές Ασφαλειών - Διακοπών - Αγωγών για σύνδεση κινητήρων, τάσεων 380 V δίνονται στον **πίνακα 3.2**.
10. Κινητήρες διπλών στροφών 3000/1500 στρ/min ή 1500/750 στρ/min. Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται με μια περιέλιξη με συνδεσμολογία DAHLANDER (Δ/ΥΥ).



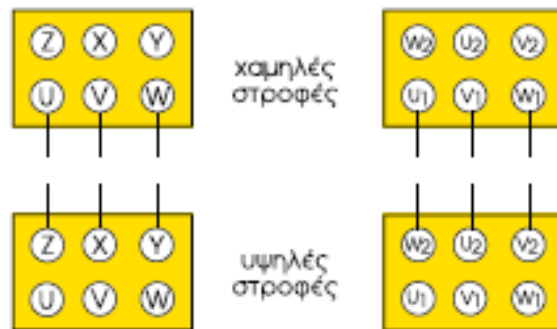
Σχήμα 7.1: Κινητήρας με περιέλιξη DAHLANDER (Δ/ΥΥ).

Σε περίπτωση κινητήρων για φυγοκεντρικά φορτία π.χ. ανεμιστήρες, χρησιμοποιείται ή συνδεσμολογία DAHLANDER (Υ/ΥΥ).



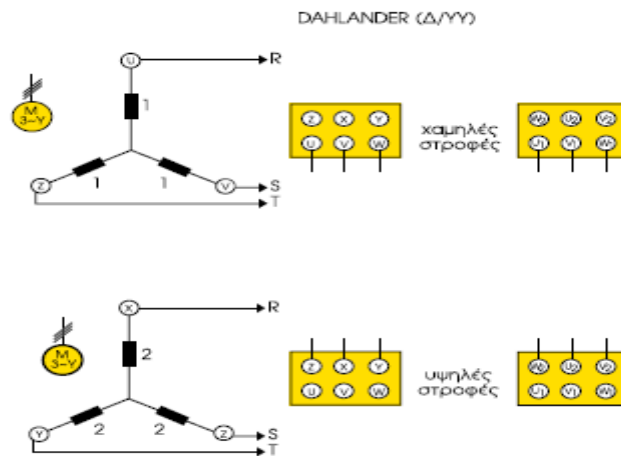
Σχήμα 7.2:Κινητήρας με περιέλιξη DAHLANDER (Υ/ΥΥ).

Και για τις δύο περιπτώσεις στο ακροκιβώτιο έχουμε 6 ακροδέκτες. Η σύνδεση πρέπει να γίνεται ως εξής:



Σχήμα 7.3: Αλλαγή ταχύτητας σε ακροκιβώτιο 6 ακροδεκτών DAHLANDER (Υ/ΥΥ) της εταιρίας Βαλιάδης Α.Ε.. Η εκκίνηση πρέπει να γίνεται πάντα από τις χαμηλές στροφές.

11. Κινητήρες διπλών στροφών 1500/1000 στρ/min. Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται με δύο ανεξάρτητες περιελίξεις. Στο ακροκιβώτιο έχουμε 6 ακροδέκτες και η σύνδεση πρέπει να γίνεται ως εξής:



Σχήμα 7.4: Αλλαγή ταχύτητας σε κινητήρα με ανεξάρτητες περιελίξεις της εταιρίας Βαλιάδης Α.Ε.

7.1.8 Έλεγχος του συλλέκτη

Ο συλλέκτης (όπου υπάρχει) είναι το πιο ευπαθές τμήμα και για αυτό απαιτεί συχνό έλεγχο και συντήρηση. Βασικές προϋποθέσεις για μία καλή μεταγωγή ρεύματος είναι η καμπυλότητά του, η λειτουργία του χωρίς δονήσεις και η καθαριότητά του. Ο συλλέκτης πρέπει να παρουσιάζει μία τελείως ομαλή και συχνό στιλπνή επιφάνεια. Ο έλεγχος του συλλέκτη επεκτείνεται και στις ψήκτρες. Πρέπει να έχουν την πίεση που ορίζει ο κατασκευαστής και να κινούνται ελεύθερα στις ψηκτροθήκες. Σημασία για την καλή λειτουργία έχει και η γωνία που σχηματίζουν οι ψήκτρες με το συλλέκτη. Επίσης πρέπει να γίνεται έλεγχος της θέσης των ψηκτρών.

Τα δακτυλίδια των μηχανών δεν απαιτούν συχνό έλεγχο. Σπάνια φθειρόνται, ώστε να απαιτούν τορνάρισμα. Ο έλεγχος περιορίζεται στη μόνωσή τους και στις συνδέσεις τους με τους αγωγούς.

7.1.9 Έλεγχος των βοηθητικών συσκευών

Οι συσκευές αυτές είναι οι διακόπτες, οι εκκινήτες, οι αντιστάσεις διέγερσης κ.λπ. και απαιτούν συνήθως έλεγχο των επαφών και των συνδέσεων των αγωγών.

7.2 Έλεγχος Λειτουργίας του Κινητήρα

7.2.1 Έλεγχος του κινητήρα σε λειτουργία χωρίς φορτίο

Κατά την πρώτη εκκίνηση της μηχανής πρέπει να γίνεται έλεγχος καλής λειτουργίας. Τα έδρανα να έχουν κανονική θερμοκρασία (45°C) και ήρεμη περιστροφή. Η αύξηση της θερμοκρασίας των εδράνων προέρχεται από κακή λίπανση, κακή τοποθέτηση, ή κακή κατάσταση εδράνων. Τα παραπάνω προκαλούν, εκτός από θέρμανση και ανώμαλη λειτουργία.

Ανώμαλη περιστροφή προέρχεται επίσης από κακή ζυγοστάθμιση του δρομέα, χαλαρή στήριξη της μηχανής, ανομοιόμορφο διάκενο ή βραχυκυκλώματα στα τυλίγματα στάτη ή δρομέα. Για τον έλεγχο των τυλιγμάτων, κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο, πρέπει να γίνεται η λήψη των σχετικών χαρακτηριστικών καμπυλών της μηχανής, δηλαδή τάσης, ρεύματος και αριθμού στροφών. Επίσης πρέπει να ελέγχεται και η πολικότητα.

7.2.2 Έλεγχος του κινητήρα σε λειτουργία με φορτίο

Η περιστροφή του κινητήρα πρέπει να ελεγχθεί και πάλι. Από την κινητήρια ή κινούμενη μηχανή είναι δυνατόν να μεταφέρονται δονήσεις οι οποίες είναι ανεπιθύμητες για ηλεκτροκινητήρες με συλλέκτη. Ελαστικοί σύνδεσμοι είναι σε αυτή την περίπτωση προτιμότεροι. Επίσης, μπορεί να προκαλείται θέρμανση των εδράνων (από αξονική πίεση ή έλξη της συνδεδεμένης μηχανής ή από μεγάλη σύσφιξη ιμάντων). Δονήσεις είναι δυνατόν να προέρχονται από ηλεκτρική ή μαγνητική ασυμμετρία, όπως π.χ. διακοπή ενός τυλίγματος (κύριου ή βοηθητικού).

Γίνεται έλεγχος της απορροφούμενης και αποδιδόμενης ισχύος της μηχανής. Σε συνδυασμό με τις μετρήσεις πριν την έναρξη λειτουργίας και χωρίς φορτίο, μετρούνται και υπολογίζονται οι απώλειες. Ακόμη και στον απλό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα πρέπει να γίνεται έλεγχος και καθάρισμα των διόδων παραγωγής αέρα για την απαγωγή της θερμότητας, και των πτερυγίων του ανεμιστήρα.

7.2.3 Έλεγχοι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας

1. Μετά την εκκίνηση πρέπει να ελεγχθεί η ταχύτητα κραδασμών του κινητήρα. Οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας κραδασμών (V_{ef}) στο σύγχρονο αριθμό στροφών (n_s) είναι: $V_{ef} = 4.5$ mm/sec. Σε περίπτωση αυξημένων τιμών, οι αιτίες που τις προκαλούν πρέπει να εντοπισθούν και η βλάβη να διορθωθεί.
2. Απαγορεύεται κατά την λειτουργία του κινητήρα η υπερφόρτωσή του για μεγάλο διάστημα, αντίθετα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.
3. Απαγορεύεται η άμεση επαφή (να ακουμπήσετε τα χέρια σας) με το κέλυφος του κινητήρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που μπορεί να αναπτυχθούν κατά τη λειτουργία του.
4. Οι δοκιμές που γίνονται στο εργοστάσιο του κατασκευαστή εγγυώνται την καλή λειτουργία όταν εκπληρούνται οι ακόλουθοι όροι:
 - Όταν η θερμοκρασία κινείται στα σύμφωνα με την κλάση μόνωσης προδιαγραφμένα όρια.
 - Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται στα προδιαγραφμένα όρια
 - Όταν εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαερισμού με την κατάλληλη τοποθέτηση και διατήρησή του.

Για να αποφευχθούν βλάβες που μπορούν να συμβούν αν οι ανωτέρω όροι δεν τηρηθούν, είναι απαραίτητο κατά την εκκίνηση και λειτουργία να ελέγχεται η θερμοκρασία των διαφόρων τμημάτων του κινητήρα (περιελίξεις, έδρανα κ.λπ.). Για

τις μετρήσεις πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος της καταβολής της αντίστασης με τη θερμοκρασία. Τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας είναι αυτό που αναφέρονται για την κλάση μόνωσης που αναφέρεται στην πινακίδα του κινητήρα. Εάν γίνεται χρήση λιπαντικών με επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους 100°C, επιτρέπεται θερμοκρασία των εδράνων μέχρι τους 70°C.

7.3 Λίπανση

7.3.1 Τρόποι λίπανσης

Υπάρχουν δυο τρόποι λίπανσης του κινητήρα η μη αυτόματη και η αυτόματη που περιγράφονται στη συνέχεια.

1. Μη αυτόματη λίπανση

- Λίπανση με τον ηλεκτροκινητήρα σε λειτουργία:
 - Βγάζουμε την τάπα του στομίου εξόδου του γράσου ή ανοίγουμε τη βαλβίδα, αν υπάρχει.
 - Βεβαιωνόμαστε ότι είναι ανοικτό το κανάλι λίπανσης.
 - Βάζουμε την καθορισμένη ποσότητα γράσου στο ρουλεμάν.
 - Αφήνουμε τον ηλεκτροκινητήρα να λειτουργήσει για 1-2 ώρες, για να εξασφαλίσετε ότι θα αποβληθεί από το ρουλεμάν όλο το επιπλέον γράσο. Βάλτε την τάπα στο στόμιο εξόδου του γράσου ή κλείστε τη βαλβίδα, αν υπάρχει.
- Λίπανση με τον ηλεκτροκινητήρα σε ακινησία:

Το γρασάρισμα πρέπει να γίνεται με τον ηλεκτροκινητήρα σε λειτουργία. Αν είναι αδύνατη η λίπανση του ηλεκτροκινητήρα ενώ βρίσκεται σε λειτουργία, η λίπανση μπορεί να γίνει και με το μηχάνημα ακινητοποιημένο.

- Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μόνο τη μισή ποσότητα γράσου και στη συνέχεια να λειτουργήσουμε τον ηλεκτροκινητήρα σε πλήρη ταχύτητα.
- Αφού σταματήσουμε τον ηλεκτροκινητήρα, βάζουμε και την υπόλοιπη από την καθορισμένη ποσότητα γράσου στο ρουλεμάν.
- Μετά από 1-2 ώρες λειτουργίας, βάζουμε την τάπα στο στόμιο εξόδου του γράσου ή κλείνουμε τη βαλβίδα, αν υπάρχει.

2. Αυτόματη λίπανση

Για την αυτόματη λίπανση, η τάπα του στομίου εξόδου του γράσου πρέπει να αφαιρεθεί μόνιμα ή η βαλβίδα, αν υπάρχει, να παραμένει ανοικτή.

Η ποσότητα του γράσου σε κάθε διάστημα λίπανσης που αναγράφεται στον πίνακα πρέπει να τριπλασιάζεται αν χρησιμοποιείται κεντρικό σύστημα λίπανσης. Σε περίπτωση μικρότερης μονάδας αυτόματης λίπανσης (ένα ή δύο φυσίγγια ανά ηλεκτροκινητήρα) ισχύει η κανονική ποσότητα γράσου. Το χρησιμοποιούμενο γράσο πρέπει να είναι κατάλληλο για αυτόματη λίπανση. Οι συστάσεις του κατασκευαστή του αυτόματου συστήματος λίπανσης και του γράσου πρέπει να συμφωνούν.

7.3.2 Λιπαντικά

Κατά τη λίπανση, χρησιμοποιείται μόνο ειδικό γράσο ρουλεμάν που προτείνεται συνήθως από τον κατασκευαστή. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- γράσο καλής ποιότητας με σάπωνα συμπλόκου λιθίου και ορυκτέλαιο ή πολυαλφαολεφίνη (PAO)
- συνεκτικότητα βάσης λαδιού 100-160 cST στους 40 °C
- βαθμός ιξώδους NLGI 1,5 -3 *)
- όρια θερμοκρασίας -30 °C +140 °C, συνεχώς.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω γράσα υψηλής απόδοσης:

- Mobil Unirex N2 ή N3 (βάση συμπλόκου λιθίου)
- Mobil Mobilith SHC 100 (βάση συμπλόκου λιθίου)
- Shell Gadus S5 V 100 2 (βάση συμπλόκου λιθίου)
- Kluber Kluberplex BEM 41-132 (ειδική βάση λιθίου)
- FAG Arcanol TEMP110 (βάση συμπλόκου λιθίου)
- Lubcon Turmogrease L 802 EP PLUS (ειδική βάση λιθίου)
- Total Multiplex S2 A (βάση συμπλόκου λιθίου)

7.4 Ανίχνευση Βλαβών

Τα κυριότερα προβλήματα, οι πιθανές αιτίες και η αντιμετώπιση αυτών που συχνά εμφανίζονται κατά τη λειτουργία των κινητήρων, δίνονται σε πινακοποιημένη μορφή στη συνέχεια .

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
Ο ηλεκτροκινητήρας δεν ξεκινά	Καμένες ασφάλειες	Αντικαταστήστε τις ασφάλειες με νέες κατάλληλου τύπου και έντασης.
	Πέφτει το ρελέ υπερφόρτισης	Ελέγξτε και σηκώστε το ρελέ υπερφόρτισης στον εκκινητή.
	Ακατάλληλη παροχή ισχύος	Ελέγξτε αν η ισχύς που παρέχεται συμφωνεί με την πινακίδα τεχνικών στοιχείων και το συντελεστή φορτίου του ηλεκτροκινητήρα.
	Εσφαλμένες συνδέσεις γραμμών	Ελέγξτε τις συνδέσεις σύμφωνα με το διάγραμμα που παρέχεται με τον ηλεκτροκινητήρα.
	Ανοικτό κύκλωμα στην περιέλιξη ή το διακόπτη ελέγχου	Εκδηλώνεται με έναν ξερό ήχο όταν κλείνει ο διακόπτης. Ελέγξτε για χαλαρές συνδέσεις καλωδίωσης και βεβαιωθείτε ότι όλες οι επαφές ελέγχου κλείνουν.
	Μηχανική βλάβη	Ελέγξτε αν ο ηλεκτροκινητήρας και το σύστημα κίνησης περιστρέφονται ελεύθερα. Ελέγξτε τα ρουλεμάν και τη λίπανση.
	Κακή σύνδεση του πηνίου του στάτορα	Εκδηλώνεται με καμένες ασφάλειες. Πρέπει να γίνει εκ νέου περιέλιξη του ηλεκτροκινητήρα. Αφαιρέστε το περίβλημα και εντοπίστε τη βλάβη.
	Ελαττωματικός ρότορας	Ελέγξτε αν έχουν σπάσει μπάρες ή ακροδακτύλιοι.
	Πιθανή υπερφόρτιση του ηλεκτροκινητήρα	Μειώστε το φορτίο.
Ο ηλεκτροκινητήρας «στολάρει»	Μπορεί να είναι ανοικτή μία φάση	Ελέγξτε τις γραμμές για τυχόν ανοικτή φάση.
	Εσφαλμένη εφαρμογή	Αλλάξτε τύπο ή μέγεθος. Συμβουλευθείτε τον προμηθευτή του εξοπλισμού.
	Υπερφόρτιση	Μειώστε το φορτίο.
	Χαμηλή τάση	Διασφαλίστε ότι διατηρείται η τάση της πινακίδας τεχνικών στοιχείων. Ελέγξτε τη σύνδεση.
	Ανοικτό κύκλωμα	Καμένες ασφάλειες. Ελέγξτε το ρελέ υπερφόρτισης, το στάτορα και τα κουμπιά.
Ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί και μετά σταματά	Διακοπή ρεύματος	Ελέγξτε αν είναι χαλαρή κάποια σύνδεση στη γραμμή, τις ασφάλειες και το σύστημα ελέγχου.
Εσφαλμένη φορά περιστροφής	Εσφαλμένη ακολουθία φάσεων	Αντιστρέψτε τις συνδέσεις στον ηλεκτροκινητήρα ή στον πίνακα διακοπών.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
Ο ηλεκτροκινητήρας δεν ανεβάζει στροφές μέχρι την ονομαστική ταχύτητα	Κακή εφαρμογή	Συμβουλευθείτε τον προμηθευτή του εξοπλισμού για τον σωστό τύπο.
	Η τάση στους ακροδέκτες του ηλεκτροκινητήρα είναι πολύ χαμηλή λόγω πτώσης τάσης στη γραμμή	Χρησιμοποιήστε υψηλότερη τάση ή ακροδέκτες μετασχηματιστή, ή μειώστε το φορτίο. Ελέγξτε τις συνδέσεις. Ελέγξτε αν οι αγωγοί έχουν το σωστό μέγεθος.
	Το φορτίο εκκίνησης είναι πολύ υψηλό	Ελέγξτε ότι ο ηλεκτροκινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο.
	Ο ρότορας έχει σπασμένες μπάρες ή έχει φύγει από τη θέση του	Ελέγξτε για ρωγμές κοντά στους δακτυλίους. Μπορεί να απαιτείται νέος ρότορας, καθώς οποιαδήποτε επισκευή είναι συνήθως προσωρινή.
	Ανοικτό κύριο κύκλωμα	Εντοπίστε τη βλάβη με δοκιμαστικό όργανο και αποκαταστήστε την.
Ο ηλεκτροκινητήρας αργεί να επιταχύνει ή/και αντλεί πολύ ρεύμα	Υπερβολικό φορτίο	Μειώστε το φορτίο.
	Χαμηλή τάση κατά την εκκίνηση	Ελέγξτε αν η αντίσταση είναι υψηλή. Βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείται καλώδιο επαρκούς μεγέθους.
	Ελαττωματικός βραχυκυκλωμένος ρότορας	Αντικαταστήστε με καινούριο ρότορα
	Η τάση που εφαρμόζεται είναι πολύ χαμηλή	Διορθώστε την παροχή ισχύος.
Ο ηλεκτροκινητήρας υπερθερμαίνεται κατά τη λειτουργία του	Τα ανοίγματα του πλαισίου ή των αεραγωγών μπορεί να έχουν γεμίσει με σκόνη και να μην επιτρέπεται ο σωστός αερισμός του ηλεκτροκινητήρα	Ανοίξτε οπές αεραγωγών και ελέγξτε αν ο αέρας περνάει ελεύθερα μέσα από τον ηλεκτροκινητήρα.
	Μία φάση του ηλεκτροκινητήρα μπορεί να έχει ανοίξει	Ελέγξτε αν όλα τα σύρματα και τα καλώδια είναι συνδεδεμένα.
	Υπερφόρτιση	Μειώστε το φορτίο.
	Ιμάντας πολύ σφικτός.	Διόρθωση τάσης ιμάντα
	Γείωση του πηνίου	Πρέπει να γίνει εκ νέου περιέλιξη του ηλεκτροκινητήρα.
	Μη ισορροπημένη τάση στους ακροδέκτες	Ελέγξτε για ελαττωματικά καλώδια, συνδέσεις και μετασχηματιστές.
Ο ηλεκτροκινητήρας χτυπάει	Ο ανεμιστήρας τρίβεται στο περίβλημα ή στο κέλυφος	Διορθώστε τον ανεμιστήρα.
	Ο ηλεκτροκινητήρας παίζει πάνω στη βάση	Σφίξτε τους κοχλίες συγκράτησης.

Πίνακας 7.1 (συνέχεια).

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
Ο ηλεκτροκινητήρας παρουσιάζει κραδασμούς	Κακή ευθυγράμμιση του κινητήρα	Επαναλάβετε την ευθυγράμμιση.
	Κακή στήριξη	Ενισχύστε τη βάση.
	Το κόπλερ δεν είναι ζυγοσταθμισμένο	Ζυγοσταθμίστε το κόπλερ.
	Ο οδηγούμενος εξοπλισμός δεν είναι ζυγοσταθμισμένος	Ζυγοσταθμίστε τον οδηγούμενο εξοπλισμό.
	Ελαττωματικά ρουλεμάν	Αντικαταστήστε τα ρουλεμάν
	Τα ρουλεμάν δεν είναι ευθυγραμμισμένα	Επισκευάστε τον ηλεκτροκινητήρα
	Τα αντίβαρα έχουν μετακινηθεί	Εξισορροπήστε το ρότορα.
	Αντιδιαστολή μεταξύ της ζυγοστάθμισης του ρότορα και του κόπλερ (ημι-σφήνα - πλήρης σφήνα)	Ζυγοσταθμίστε πάλι το κόπλερ ή το ρότορα.
	Πολυφασικός ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί μονοφασικά	Ελέγξτε για ανοικτό κύκλωμα.
	Υπερβολικός τζόγος	Ρυθμίστε το ρουλεμάν ή προσθέστε παρέμβυσμα.
Θορυβώδης λειτουργία	Το διάκενο αέρα δεν είναι ομοιόμορφο	Ελέγξτε και διορθώστε την τοποθέτηση του περιβλήματος ή των ρουλεμάν.
	Βλάβη στην περιέλιξη / στις φάσεις.	Έλεγχος αντίστασης και περιέλιξης και μόνωσης.
	Διακοπή μίας φάσης στη τροφοδοσία μετά την έναρξη λειτουργίας.	Έλεγχος διακόπτη και τροφοδοσίας.
	Τάση δικτύου πολύ χαμηλή, συχνότητα πολύ υψηλή	Έλεγχος κατάστασης δικτύου.
	Ανισορροπία του ρότορα	Εξισορροπήστε το ρότορα.
Τα ρουλεμάν υπερθερμαίνονται	Λυγισμένος ή σπασμένος άξονας.	Ισιώστε ή αντικαταστήστε τον άξονα.
	Υπερβολική έλξη ιμάντα	Μειώστε την τάνυση του ιμάντα.
	Η τροχαλία είναι πολύ μακριά από την έδραση του άξονα	Μετακινήστε την τροχαλία πιο κοντά στο ρουλεμάν του ηλεκτροκινητήρα.
	Η διάμετρος της τροχαλίας είναι πολύ μικρή	Χρησιμοποιήστε μεγαλύτερη τροχαλία.
	Κακή ευθυγράμμιση.	Διορθώστε την ευθυγράμμιση του συστήματος κίνησης.
	Ανεπαρκές γράσο	Διατηρείτε τη σωστή ποσότητα και ποιότητα γράσου στα ρουλεμάν.
	Αλλοίωση του γράσου ή επιμόλυνση του λιπαντικού	Αφαιρέστε το παλιό γράσο, πλύνετε τα ρουλεμάν καλά με φωτιστικό πετρέλαιο και αντικαταστήστε με καινούριο γράσο.
	Υπερβολική ποσότητα λιπαντικού.	Μειώστε την ποσότητα του γράσου, το ρουλεμάν δεν πρέπει να είναι γεμάτο πάνω από το μισό.
	Υπερφόρτωση των ρουλεμάν.	Ελέγξτε την ευθυγράμμιση, την πλευρική και την ακραία ώση.
Σπασμένα σφαιρίδια ή χαραγμένες σφαιραύλακες	Αντικαταστήστε το ρουλεμάν αφού καθαρίσετε καλά το κέλυφος.	

Πίνακας 7.1 (συνέχεια)

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΙΤΙΑ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
Κινητήρας με δακτυλίδια στρέφεται με χαμηλή ταχύτητα ενώ έχουμε βραχυκυκλώσει την εξωτερική αντίσταση του εκκινητή.	Πολύ μικρή διατομή καλωδίου στη διάταξη ρύθμισης.	Αντικατάσταση.
	Η διάταξη ρύθμισης της ταχύτητας είναι πολύ μακριά από τον κινητήρα.	Αλλαγή θέσης ρυθμιστή.
	Διακοπή στο κύκλωμα του δρομέα ή στο καλώδιο που συνδέει τον εκκινητή.	Αντικατάσταση τυλίγματος.
	Η βαλβίδα λιπαντικού δεν λειτουργεί κανονικά και το έδρανο έχει φθαρεί ή καταστραφεί.	Πρέπει να αντικατασταθεί.
	Ακαθαρσίες μεταξύ δακτυλιδιών και ψηκτρών.	Καθαρισμός με βούρτσα και σμυριδόπανο.
	Οι ψήκτρες είναι κολλημένες στις ψηκτροθήκες. Η πίεση των ελατηρίων των ψηκτρών δεν είναι κατάλληλη.	Αντικατάσταση ψηκτρών ψηκτροφορέα.
	Ανώμαλη η επιφάνεια των δακτυλιδιών.	Τρίψιμο με σμυριδόπανο ή αντικατάσταση.
	Δακτυλίδια έκκεντρα.	Αντικατάσταση.
	Υπερβολικές δονήσεις.	Έλεγχος στήριξης.
Όταν λειτουργεί ο κινητήρας, ο δρομέας έρχεται σε επαφή με το στάτη και δημιουργεί θόρυβο και υπερθέρμανση.	Πυκνότητα ρεύματος ψηκτρών πολύ μεγάλη (υπερφόρτιση).	Έλεγχος φορτίου.
	Είναι πιθανόν ότι το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα δεν είναι πια ομοιόμορφο, λόγω ρωγμών στα έδρανα ή στα καπάκια τους ή λόγω κάποιας κλίσης του άξονα.	Είναι πιθανόν ότι το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα δεν είναι πια ομοιόμορφο, λόγω ρωγμών στα έδρανα ή στα καπάκια τους ή λόγω κάποιας κλίσης του άξονα.
Τα έδρανα υπερθερμαίνονται	Έχει εισχωρήσει σκόνη ή άλλα ξένα σώματα, ή το λιπαντικό είναι βρώμικο.	Το παλαιό λιπαντικό απομακρύνεται. Τα έδρανα πλένονται και λιπαίνονται με κατάλληλο λιπαντικό.
	Το υπερβολικό γράσο στο έδρανο αυξάνει τις απώλειες των τριβών.	Αφαιρείται το επιπλέον γράσο.
	Ανεπαρκές γρασάρισμα	Γρασάρισμα σύμφωνα με τους κανονισμούς.
	Η βαλβίδα λιπαντικού δεν λειτουργεί κανονικά και το έδρανο έχει φθαρεί ή καταστραφεί.	Πρέπει να αντικατασταθεί.
	Ο ιμάντας είναι πολύ σφιγμένος.	Ο ιμάντας πρέπει να χαλαρώσει.
	Η μηχανή που οδηγείται δεν είναι καλά κεντραρισμένη.	Η έδραση των εδράνων και το κεντράρισμα της μηχανής πρέπει να ελεγχθούν.
	Το έδρανο έχει στραβώσει ή δεν κινείται.	Έλεγχος διάτρησης εδράνου. Επαφή με τον κατασκευαστή.

Πίνακας 7.1. Ανίχνευση βλαβών στους ηλεκτροκινητήρες

Προβλήματα στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών

Στις περιπτώσεις αυτές:

- α) Ενεργοποιείται το σύστημα προστασίας κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση.
- β) Ενεργοποιείται το σύστημα προστασίας κατά την ομαλή λειτουργία του ρυθμιστή.

Πιθανή Αιτία	Επισκευή
Υπερβολικά υψηλή αδράνεια, μεγάλο φορτίο.	Ροοστάτης ρύθμισης πιο αργά. Μείωση φορτίου. Απαιτείται μεγαλύτερος ρυθμιστής.
Βραχυκύκλωμα στην έξοδο.	Απομάκρυνση του βραχυκυκλώματος.
Υπερβολικά υψηλό φορτίο.	Μείωση φορτίου.
Μακριά καλώδια εξόδου. Καταστροφή γεφύρας ή Θυρίστωρ.	Μείωση του μήκους των καλωδίων. Ηλεκτρονικό εργαστήριο - Προμηθευτής.

Πίνακας 7.2: Ανίχνευση βλαβών στον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στροφών.

7.5 Ενδεικτικά Προγράμματα Συντήρησης Ηλεκτροκινητήρων

Συντήρηση είναι η εργασία που απαιτείται για να διατηρούνται οι μηχανές σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Ο προγραμματισμός και η διαδικασία εργασιών καθορίζεται αναλυτικά από το πρόγραμμα συντήρησης. Ορισμένες εργασίες πρέπει να γίνονται κάθε εβδομάδα, άλλες κάθε μήνα και άλλες κάθε χρόνο.

Γενικές αρχές

1. Η συντήρηση καθώς και η επισκευή των κινητήρων πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό, αδειούχους ηλεκτρολόγους με σχετική εμπειρία.
2. Για την ομαλή και ασφαλή λειτουργία του κινητήρα απαιτείται η καλή κατάσταση τόσο από ηλεκτρολογικής όσο και από μηχανολογικής πλευράς. Ο εξαιρετισμός του κινητήρα δεν πρέπει να εμποδίζεται από το σύστημα κάλυψης του ανεμιστήρα. Οι έλεγχοι πρέπει να είναι ανάλογοι των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα.
3. Οι έλεγχοι και οι τακτικές επιδιορθώσεις εξαρτώνται αποκλειστικά από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, εννοώντας με αυτό τις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος του χώρου εγκατάστασης, π.χ. υγρασία, περιεκτικότητα σε σκόνη, θερμοκρασία περιβάλλοντος, τύπος προστασίας κινητήρα κ.λπ.
4. Σε ορισμένες περιπτώσεις ιδιαίτερων συνθηκών λειτουργίας (π.χ. τροπικό κλίμα) πρέπει να γίνονται προληπτικοί έλεγχοι.
5. Οι ψήκτρες των δακτυλιοφόρων κινητήρων, πρέπει να αντικαθίστανται, όταν το ύψος της ψήκτρας έχει μειωθεί κατά 60%. Εάν το αρχικό ύψος της ψήκτρας

είναι 40 mm αυτή πρέπει να αντικατασταθεί, όταν το ύψος της φτάσει τα 16 mm.

7.5.1 Συντήρηση κατά την λειτουργία

Κατά τη λειτουργία πρέπει περιοδικά να ελέγχονται και να επιθεωρούνται τα κάτωθι:

- οι κοχλίες και τα περικόχλια σύσφιξης του κινητήρα στη βάση του.
- η ακρίβεια στη ζεύξη του κινητήρα.
- η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του κινητήρα (αρχικά επί του κελύφους και τοπικώς στα έδρανα και τον άξονα).
- οι κοχλίες σύσφιξης του καλύμματος του ανεμιστήρα.
- οι συνδέσεις στο κιβώτιο των ακροδεκτών (έλεγχος καλής επαφής και σύσφιξης)
- ο θόρυβος και κυρίως ο θόρυβος ο προερχόμενος από τα έδρανα.
- η τάση των ιμάντων εάν έχουμε ιμαντοκίνηση.
- η αντίσταση μόνωσης της περιέλιξης.
- Στους Δακτυλιοφόρους κινητήρες πρέπει επιπλέον να ελέγχονται:
 - οι δακτύλιοι.
 - οι ψήκτρες ως προς το μέγεθος, την πίεση και τη δυνατότητα ολίσθησης μέσα στις ψηκτροθήκες.
 - ο ψηκτροφορέας ως προς την στερέωσή του και τη μόνωση.

7.5.2 Καθαριότητα - Λίπανση

Η μηχανή πρέπει να καθαρίζεται τακτικά με φυσητήρα και με πινέλα. Εκτός από την εξωτερική καθαριότητα, των διόδων αερισμού και ανεμιστήρα, πρέπει να ελέγχονται και να καθαρίζονται τα έδρανα, ο συλλέκτης, οι ψήκτρες και τα δακτυλίδια. Λάδι λίπανσης στις μονώσεις και στο συλλέκτη προκαλεί βλάβες. Στους ηλεκτροκινητήρες, χρειάζονται λίπανση τα έδρανα και τα τυχόν συστήματα μετάδοσης κίνησης. Το λάδι λίπανσης ή το γράσσο πρέπει να αλλάζεται κατά διαστήματα, ανάλογα με την χρήση της μηχανής, γιατί παθαίνει αλλοιώσεις. Η αλλαγή του λαδιού γίνεται μετά την αφαίρεση του παλιού λιπαντικού και τον καθαρισμό του χώρου. Η καθαριότητα πρέπει να είναι σχολαστική για να μην εισχωρήσουν ακαθαρσίες στα έδρανα, αλλά και για να μη λαδωθούν άλλα μέρη της μηχανής όπως οι ψήκτρες, ο συλλέκτης και οι μονώσεις. Όση βλάβη μπορεί να προκαλέσει η έλλειψη λίπανσης, άλλη τόση προκαλείται και από κακή διαδικασία λίπανσης και λάδωμα άλλων τμημάτων της μηχανής. Περιοδικά, χωρίς να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας από τη μηχανή πρέπει να γίνονται οι εξής εργασίες συντήρησης:

- καθαρισμός των καναλιών αερισμού.
- καθαρισμός του πλέγματος του καλύμματος ανεμιστήρα.
- λίπανση των εδράνων και έλεγχος του συστήματος λίπανσης.

- καθαρισμός των μερών με ίχνη σκουριάς.
- έλεγχος της αντίστασης μόνωσης της περιέλιξης και των καλωδίων σύνδεσης.

7.5.3 Συντήρηση ψηκτρών

Στη συντήρηση των ψηκτρών υπάγεται κυρίως η αντικατάσταση των φθαρμένων ψηκτρών. Οι νέες ψηκτρες πρέπει να είναι από το ίδιο υλικό και του ίδιου τύπου που είχε χρησιμοποιήσει ο κατασκευαστής. Οι νέες ψηκτρες χρειάζονται “στρώσιμο”, ώστε να αποκτήσουν την καμπυλότητα και την γωνία που απαιτείται. Άλλη εργασία συντήρησης είναι η κατά μήκος μετατόπιση των ψηκτρών για να προκαλείται ομοιόμορφη φθορά στο συλλέκτη.

7.5.4 Συντήρηση συλλέκτη και δακτυλιδιών

Οι πιο απλές ανωμαλίες του συλλέκτη είναι γρατζουνίσματα που οφείλονται σε σκληρά μόρια σκόνης που υπάρχουν στις ψηκτρες και το μάζεμα ακαθαρσιών, από μόρια άνθρακα, λίπη, λάδια κ.λπ. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται καθάρισμα με πολύ λεπτό γυαλόχαρτο. Αν οι ανωμαλίες του συλλέκτη είναι σημαντικές όπως η εκκεντρότητα, προεξέχοντες τομείς, προεξέχοντα τεμάχια μίκας, αυλάκια, καψίματα από σπινθηρισμούς κ.λπ., αφαιρούνται στον τόρνο. Μετά το торνάρισμα πρέπει να αφαιρεθεί το πάνω τμήμα της μίκας, ώστε να βρίσκεται περίπου 0.8 mm κάτω από την επιφάνεια του συλλέκτη και να γίνει το γυάλισμα. Τα δακτυλίδια των μηχανών χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση, που περιορίζεται στην καθαριότητά τους. Σε περιπτώσεις εξαιρετικής φθοράς ή εκκεντρότητας απαιτούν торνάρισμα.

7.5.5 Συντήρηση των βοηθητικών συσκευών (διακόπτες, εκκινήτες, αντιστάσεις διέγερσης).

Η συντήρηση των βοηθητικών συσκευών περιορίζεται στον καθαρισμό ή στην αντικατάσταση των επαφών. Αν υπάρχουν διακόπτες λαδιού γίνεται αντικατάσταση του λαδιού (αν περιέχει ακαθαρσίες ή υγρασία). Αν πάθουν βλάβη οι φυγοκεντρικοί διακόπτες είναι προτιμότερη η αλλαγή τους από την επισκευή.

Επιπλέον

- Στους κινητήρες μεγάλης ισχύος είναι σκόπιμο ο αγοραστής να διατηρεί κατάσταση ωρών λειτουργίας και αριθμού εκκινήσεων.
- Επισημαίνεται ακόμη, πως καμία ευθύνη δεν φέρει ο κατασκευαστής από τυχόν ατύχημα ή βλάβη που μπορεί να προκληθεί από χρήση ανταλλακτικών χωρίς εγγύηση καθώς και από τη μη συμμόρφωση με τις οδηγίες χρήσης.

7.5.6 Συντήρηση σε κατάσταση αναμονής

Εάν ο κινητήρας βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής για μεγάλο χρονικό διάστημα σε πλοίο ή σε άλλο περιβάλλον όπου υπάρχουν δονήσεις, θα πρέπει να ληφθούν τα παρακάτω μέτρα:

1. Ο άξονας θα πρέπει να περιστρέφεται κάθε 2 εβδομάδες εκκινώντας το σύστημα. Σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο δεν είναι δυνατή η εκκίνηση, θα πρέπει να περιστρέφεται ο άξονας χειροκίνητα ώστε να βρίσκεται σε διαφορετική θέση τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα. Οι δονήσεις που προκαλούνται από άλλο εξοπλισμό στο σκάφος θα προκαλέσουν διάβρωση του ρουλεμάν, η οποία μπορεί να μειωθεί με τακτική χειροκίνητη περιστροφή.
2. Το ρουλεμάν θα πρέπει να λιπαίνεται με περιστροφή του άξονα κάθε έτος. Εάν ο κινητήρας παρέχεται με κυλινδρικό ρουλεμάν στην πλευρά μετάδοσης κίνησης, θα πρέπει να αφαιρεθεί η ασφάλεια μεταφοράς πριν την περιστροφή του άξονα. Η ασφάλεια μεταφοράς θα πρέπει να επανατοποθετηθεί σε περίπτωση μεταφοράς.
3. Θα πρέπει να αποφεύγονται οι δονήσεις προς αποφυγή αστοχίας κάποιου ρουλεμάν. Επιπλέον, θα πρέπει να ακολουθούνται όλες οι οδηγίες χρήσης και συντήρησης του εγχειριδίου του κινητήρα.

7.6 Χρονοδιάγραμμα Συντήρησης Μηχανών

Το πρόγραμμα συντήρησης εξαρτάται από το είδος των μηχανών, από τις συνθήκες λειτουργίας, από τις συνθήκες περιβάλλοντος κλπ. Συνεπώς είναι διαφορετικό από εγκατάσταση σε εγκατάσταση στην οποία βρίσκεται η μηχανή.

Οι καθοριζόμενες χρονικές περίοδοι για την επιθεώρηση μπορεί να μεταβάλλονται, ανάλογα με το βαθμό χρησιμοποίησεως των μηχανών. Μηχανές οι οποίες παραμένουν εκτός λειτουργίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα θα πρέπει να τίθενται σε λειτουργία μια φορά το μήνα και να επιθεωρούνται.

Επιθεωρούμενο μέρος	Χρονικό διάστημα επιθεώρησης	Τι πρέπει να ελέγχεται κατά την επιθεώρηση
Ψήκτρες	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Έλεγχος αν υπάρχουν σπινθηρισμοί.
	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος των ελατηρίων και αν υπάρχουν βλάβες στις ψήκτρες .
	ΕΤΟΣ	Έλεγχος μετατόπισης των θετικών και αρνητικών ψηκτρών, τη γωνία των ψηκτρών, την καλή επαφή με το συλλέκτη.
Συλλέκτες	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Αν υπάρχει συσσώρευση ακαθαρσιών, ανωμαλίες της επιφάνειας, προεξέχοντες, εκκεντρότητα, αγωγοί του τυλίγματος αποκολλημένοι από τους τομείς.
Τυλίγματα και συνδέσεις	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Αν υπάρχει συσσώρευση σκόνης, διαφυγή λιπαντικού προς τα τυλίγματα, υγρασία πάνω ή κοντά σε αυτά.

	ΜΗΝΑΣ	Χαλάρωση της στηρίξεως των τυλιγμάτων ή των συνδέσεων των αγωγών.
	ΕΤΟΣ	Αν υπάρχουν θραύσματα στις επιφάνειες των μονώσεων ή άλλες ενδείξεις βλάβης τους. Έλεγχος της αντιστάσεως μονώσεως.
Δακτυλίδια	ΜΗΝΑΣ	Αν υπάρχει συσσώρευση σκόνης.
	ΕΤΟΣ	Ελέγχεται η εκκεντρότητα και η αντίσταση μονώσεως.
Έδρανα τριβής	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Έλεγχος στάθμης λαδιού.
	ΜΗΝΑΣ	Αν υπάρχει φθορά των εδράνων, αν απαιτείται αντικατάσταση λαδιού, αν υπάρχουν διαφυγές λαδιού.
Ρουλεμάν	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Έλεγχος της θερμοκρασίας, αν υπάρχουν ασυνήθεις θόρυβοι ή δονήσεις.
	ΜΗΝΑΣ	Συμπλήρωση γράσου σε περίπτωση που υπάρχουν διαφυγές.
	ΕΤΟΣ	Καθαρισμός και αντικατάσταση γράσου
Σύστημα αερισμού και ψύξεως	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Έλεγχος αν υπάρχει συσσώρευση υλικού ή σκόνης στις διόδους διελεύσεως του αέρα ψύξεως
	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος για πιθανή χαλάρωση των πτερυγίων του ανεμιστήρα.
	ΕΤΟΣ	Καθαρισμός του εσωτερικού της μηχανής.
Μηχανικοί σύνδεσμοι	ΕΤΟΣ	Έλεγχος της ευθυγραμμίσεως και αν απαιτείται σύσφιξη των κοχλιών του συνδέσμου ή αντικατάσταση δακτυλιδιών.
Ιμάντες και αλυσίδες μετάδοσης κίνησης	ΕΒΔΟΜΑΔΑ	Έλεγχος αν είναι καλά τανυσμένοι και αν παρουσιάζουν φθορά που απαιτεί επισκευή ή αντικατάσταση.
	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος αν απαιτείται αντικατάσταση του λιπαντικού των αλυσίδων.
Συστήματα μετάδοσης κίνησης με οδοντωτούς τροχούς	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος για πιθανές φθορές και αν απαιτείται αντικατάσταση λιπαντικού.
Διάκενα αέρα μεταξύ δρομέα και στάτη	ΕΤΟΣ	Έλεγχος αν παρουσιάζεται ανομοιομορφία που απαιτεί διόρθωση
Στήριξη της μηχανής	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος για πιθανή χαλάρωση των κοχλιών συσφίξεως.
Φορτία	ΜΗΝΑΣ	Έλεγχος αν έχουν αλλάξει οι συνθήκες φορτίσεως της μηχανής
	ΕΤΟΣ	Έλεγχος αν η ισχύς που απορροφά ο κινητήρας χωρίς και με φορτίο, μετρούμενη με κατάλληλα όργανα, είναι μέσα στα κανονικά όρια

Πίνακας 7.3 : Πρόγραμμα συντήρησης μηχανών.

Βιβλιογραφία:

1. Ξυπτεράς Γ., Ηλεκτρικές Μηχανές, Τόμος 1, Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος και Ασύγχρονες Μηχανές, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1997.
2. Βασιλακόπουλου Ν. Σπ, Ηλεκτρικές Μηχανές, Ε.Μ.Π, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.
3. Stephen J. Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, 3η Έκδοση, Α. Τζιόλα.
4. Πέτρος Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης & Χαμηλής Τάσης, Β΄ έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.
5. Π. Μαλατέστας, Ηλεκτρική Κίνηση, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλη.
6. Ηλεκτρικές Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος, Τουλόγλου Σ
7. Στεργίου Β., Τουλόγλου Σ, «Ηλεκτρικές Μηχανές Εναλλασσόμενου Ρεύματος»
8. Βαλιάδης, Τεχνικό Έντυπο Ηλεκτροκινητήρων.
9. Τεχνικό Φυλλάδιο, Εξοικονόμηση Ενέργειας, Οδηγός Λύσεων, Schneider Electric.
10. Τεχνικό Φυλλάδιο, Οδηγίες Συναρμολόγησης, Χειρισμού και Συντήρησης, BOCKWOLDT.
11. Γαντζούδης Σ., Λαγουδάκος Μ., Μπινιάρης Α., Ηλεκτρικές Μηχανές ΟΕΔΒ, Αθήνα.
12. Τεχνικό Φυλλάδιο, Εγχειρίδιο εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης και ασφάλειας, ABB.
13. ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, Ασπραγκάθος Νίκος.
14. Τριφασικοί Ασύγχρονοι – Επαγωγικοί Κινητήρες, Παπαγεωργάς Παναγιώτης.
15. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, Παπαγεωργάς Παναγιώτης.
16. Τεχνικός Συντηρητής Εγκαταστάσεων Αυτοματισμού και Αυτόματου Ελέγχου, Εμπορικό και βιομηχανικό επιμελητήριο Πειραιώς.
17. Τεχνικό Φυλλάδιο, Οδηγίες Λειτουργίας Τριφασικών Ηλεκτροκινητήρων, Με Αντικερκτική προστασία, Ασύγχρονοι Σερβοκινητήρες, SEW EURODRIVE.
18. FAYAD.J FAYAD, ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.
19. Απόστολος Κ. Σεργιάδης, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΒΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕΣΩ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΘΥΡΑΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.

Διαδίκτυο:

- http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix_hm_05_DC_MOTORS.pdf
- <http://eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/file.php/487120/%CE%B7-v1.pdf>
- <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12848/>
- <http://www.electricaleasy.com/2014/01/electric-braking-of-dc-motors.html>
- <http://www.electricaleasy.com/2014/01/speed-control-methods-of-dc-motor.html>
- <http://www.electricaleasy.com/2014/01/starting-methods-of-dc-motor.html>
- <http://www.electrical4u.com/starting-methods-to-limit-starting-current-torque-of-dc-motor/>
- <http://www.electricaleasy.com/2014/02/speed-control-methods-of-induction-motor.html>
- <https://library.e.abb.com/public/151fdb9b43c49ee648257cc4003bc11b/Motor%20starting%20with%20soft%20starters%20-%20Reduced%20stresses.pdf>
- <http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12850/>