



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών  
μηχανικών**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

<<Κατασκευή και διαστασιολόγηση ηλεκτρικής μηχανής>>

<<Construction and dimensioning of an electrical machine>>



<b>Όνοματεπώνυμο</b>	<b>Αρ.Μητρώου</b>
<b>Βατικιώτης Παναγιώτης</b>	<b>45258</b>
<b>Μαύρος Αλέξανδρος</b>	<b>45491</b>

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Ν. ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ**

**ΑΙΓΑΛΕΩ  
2018**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε από τους φοιτητές Βατικιώτη Παναγιώτη και Μαύρο Αλέξανδρο του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ιδρύματος Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα και πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον κύριο Μανουσάκη ο οποίος μας στήριξε σε κάθε μας δυσκολία και μας καθοδήγησε κατά την διάρκεια της εκπόνησης και πραγματοποίησης της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας μας. Θερμές ευχαριστίες δίνουμε και σε όλους τους καθηγητές του ιδρύματος οι οποίοι με τον δικό τους τρόπο συνέλαβαν στην μετάδοση όλης της αναγκαίας γνώσης κατά την διάρκεια της ακαδημαϊκής μας ζωής και ήταν πάντα παρόντες έτσι ώστε να λύσουν τις απορίες μας.

<b><u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u></b> .....	<b>1</b>
---------------------------------	----------

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

1.1:Κινητήρες Παράλληλης Διέγερσης.....	3
1.2:Κινητήρες Διέγερσης Σειράς .....	9
1.3:Κινητήρες Σύνθετης Διέγερσης .....	12

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

2.1:Ασύγχρονοι Επαγωγικοί 3Φ Κινητήρες.....	18
2.2:Επαγωγικοί Κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα.....	26
2.3:Επαγωγικοί Κινητήρες Τυλιγμένου Δρομέα.....	37
2.4:Μονοφασικοί Επαγωγικοί Κινητήρες .....	47
2.5:Σύγχρονες Μηχανές.....	73

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

3.1:Βλάβες κινητήρων συνεχούς ρεύματος.....	81
3.2:Βλάβες γεννητριών συνεχούς ρεύματος.....	84
3.3:Βλάβες γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος.....	86
3.4:Βλάβες σύγχρονων κινητήρων.....	87
3.5:Βλάβες ασύγχρονων κινητήρων.....	89

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (FEM)**

4.1 : Εισαγωγή στην μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (FEM).....	92
4.2: Βασικά στοιχεία μεθόδου FEM.....	93
4.3: Ιστορία της μεθόδου FEM.....	95
4.4: Εισαγωγή στο FEMM.....	96
4.5: Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου FEMM .....	97

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Συμπεράσματα.....	99
-------------------	----

<b><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u></b> .....	<b>102</b>
----------------------------------	------------

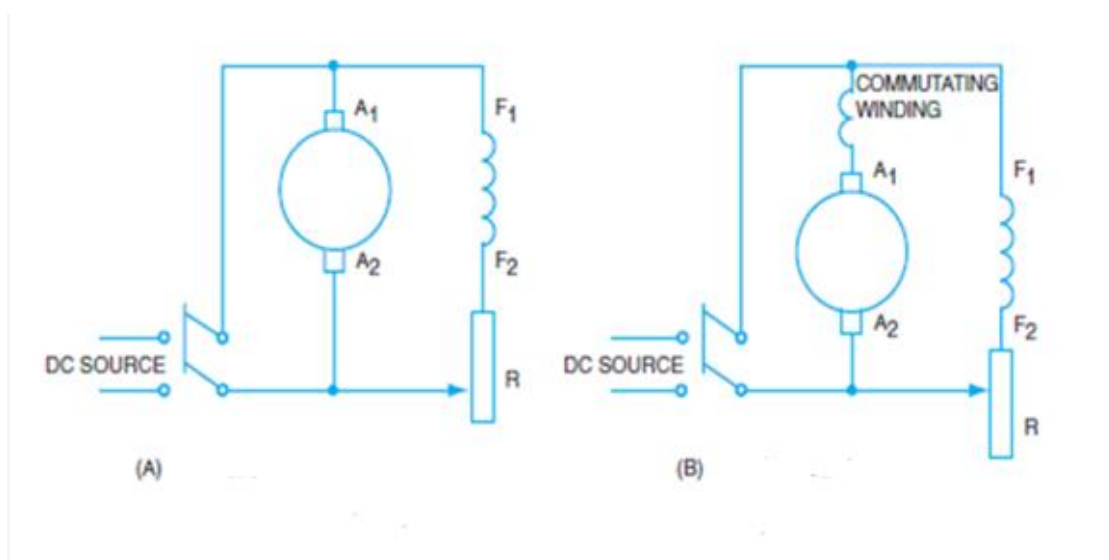
## 1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 1.1:Κινητήρες Παράλληλης Διέγερσης

Δύο παράγοντες είναι σημαντικοί κατά την επιλογή ενός κινητήρα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή: (1) η μεταβολή της ταχύτητας με μεταβολή του φορτίου, και (2) η μεταβολή της ροπής με αλλαγή στο φορτίο.

Ένας κινητήρας παράλληλης διέγερσης(η αλλιώς διακλάδωσης) είναι βασικά μια συσκευή σταθερής ταχύτητας. Αν υπάρχει φορτίο και εφαρμοστεί, ο κινητήρας τείνει να επιβραδύνεται. Η μικρή απώλεια ταχύτητας μειώνει την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη και οδηγεί σε αύξηση του ρεύματος οπλισμού. Η ενέργεια αυτή συνεχίζεται μέχρι το αυξανόμενο ρεύμα να παράγει αρκετή ροπή για να καλύψει τις απαιτήσεις του αυξημένου φορτίου. Σαν αποτέλεσμα, ο κινητήρας διακλάδωσης φτάνει σε μια κατάσταση σταθερής ισορροπίας, επειδή μια αλλαγή του φορτίου παράγει πάντα μια αντίδραση που προσαρμόζει την ισχύ εισόδου στην αλλαγή του φορτίου.

Το βασικό κύκλωμα για έναν κινητήρα διακλάδωσης φαίνεται στο σχήμα 1.1(A). Σημειώστε ότι φαίνεται μόνο μια περιέλιξη του κινητήρα παράλληλης διέγερσης. Το σχήμα 1.1(B) δείχνει την προσθήκη μίας περιέλιξης σειράς για να αντισταθμίζει τα αποτελέσματα της αντίδρασης του οπλισμού. Από την άποψη ενός σχηματικού διαγράμματος, το σχήμα 1-1(B) μοιάζει με εκείνο ενός κινητήρα σύνθετης διέγερσης. Ωστόσο, αυτός ο τύπος κινητήρα δεν θεωρείται ως ένας κινητήρας σύνθετης διέγερσης επειδή η περιέλιξη του τυλίγματος τυμπάνου δεν περιελίσσεται στον ίδιο πόλο με το τύλιγμα διέγερσης, και το τύλιγμα σειράς έχει μόνο μερικές περιελίξεις σε σειρά με το κύκλωμα οπλισμού. Ως αποτέλεσμα, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας είναι αυτά ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης. Αυτό σημειώνεται στην πινακίδα τύπου του κινητήρα με τον όρο αντισταθμισμένο μοτέρ ή σταθεροποιημένος κινητήρας διακλάδωσης.



**ΣΧΗΜΑ 1.1: (A) ΧΩΡΙΣ ΠΟΛΟΥΣ ΚΑΙ (B) ΜΕ ΠΟΛΟΥΣ**

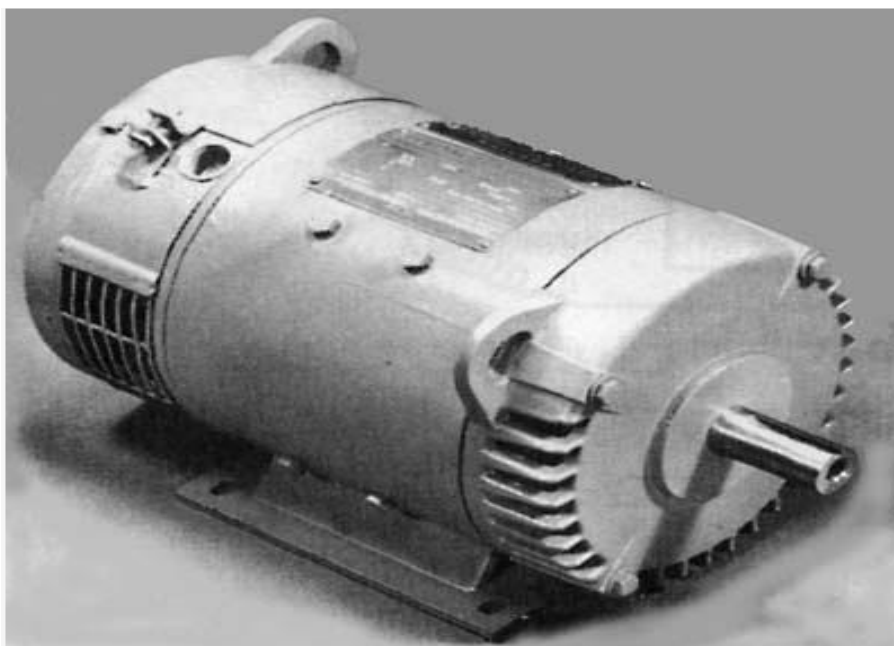
Ο κινητήρας DC παράλληλης διέγερσης έχει άριστο έλεγχο ταχύτητας. Για τη λειτουργία του κινητήρα πάνω από την ονομαστική του ταχύτητα, μειώστε το ρεύμα διέγερσης και το πεδίο

διέγερσης πρέπει να μειωθούν. Για τη λειτουργία του κινητήρα κάτω από την ονομαστική του ταχύτητα, η τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα οπλισμού πρέπει να μειωθεί. Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ταχύτητας χρησιμοποιούνται ευρέως. Οι αρχές του ελέγχου είναι το ίδιο με τα παλιά χειροκίνητα χειριστήρια. Οι ταχύτητες άνω του κανονικού επιτυγχάνονται μειώνοντας τη τάση πεδίου ηλεκτρονικά και οι ταχύτητες κάτω από το κανονικό μειώνουν την τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα οπλισμού.

Η κατεύθυνση της περιστροφής του οπλισμού μπορεί να αλλάξει αντιστρέφοντας την κατεύθυνση του ρεύματος είτε στο κύκλωμα διέγερσης είτε στο κύκλωμα οπλισμού. Για έναν κινητήρα με απλή διακλάδωση το πιθανότερο είναι να αντιστραφεί το ρεύμα στο κύκλωμα διέγερσης που προηγείται. Αν ο κινητήρας έχει ένα τύλιγμα σειράς, ή μια περιέλιξη μεταξύ των πόλων για να εξουδετερώσει την αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου, η ίδια κατεύθυνση του ρεύματος πρέπει να διατηρείται στις περιελίξεις της διακλάδωσης και της σειράς. Για αυτό το λόγο, είναι πάντα ασφαλέστερο να αντιστρέψουμε την κατεύθυνση μόνο του ρεύματος οπλισμού

Ένας κινητήρας διακλάδωσης DC έχει υψηλή ροπή στρέψης σε οποιαδήποτε ταχύτητα. Κατά την εκκίνηση, ο DC κινητήρας παράλληλης διέγερσης αναπτύσσει το 150 τοις εκατό της ονομαστικής ροπής του, εάν ο εκκινητής είναι σε θέση να αντέξει τα θερμαντικά αποτελέσματα του ρεύματος. Για πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα, ο κινητήρας μπορεί να αναπτύξει το 350 τοις εκατό της ροπής πλήρους φορτίου, εάν είναι απαραίτητο.

Η ρύθμιση της ταχύτητας ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης πέφτει από 5 έως 10 τοις εκατό από την κατάσταση χωρίς φορτίο στην κατάσταση με πλήρες φορτίο. Ως αποτέλεσμα, ένας κινητήρας αυτού του τύπου είναι ανώτερος από έναν αντίστοιχο DC διέγερσης σειράς, αλλά είναι κατώτερος από έναν κινητήρα σύνθετης διέγερσης. Το Σχήμα 1.2 δείχνει ένα τυπικό μοτέρ DC με ονομαστικές τιμές ιπποδύναμης που κυμαίνονται από 1 HP έως 5,5HP.



**ΣΧΗΜΑ 1.2**

Μια παραλλαγή της αρχής του κινητήρα DC παράλληλης διέγερσης είναι ο κινητήρας μόνιμου μαγνήτη (PM). Υπάρχουν δύο παραλλαγές αυτού του τύπου κινητήρα.

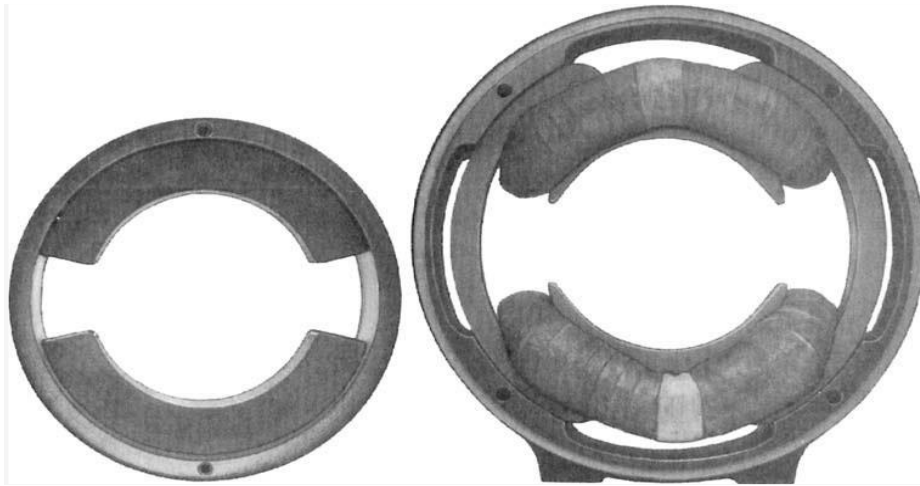
Ένας τύπος κινητήρα PM χρησιμοποιεί ένα μόνιμα μαγνητισμένο υλικό όπως το AL-NI-CO (ουσιαστικά αναφέρεται στην οικογένεια των κραμάτων σιδήρου και επιπρόσθετα στον σίδηρο αποτελείται κυρίως από αλουμίνιο (Al), νικέλιο (Ni) και κοβάλτιο (Co)) ή κεραμικούς μαγνήτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω στον στάτη για να παρέχουν ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας τροφοδοτείται με DC μέσω ενός συστήματος ψηκτρών και μετατροπών. Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με έναν κινητήρα DC παράλληλης διέγερσης, αλλά έχει μία εντελώς γραμμική καμπύλη ταχύτητας / ροπής.

Ένας άλλος τύπος κινητήρα PM χρησιμοποιεί τους μόνιμους μαγνήτες που είναι τοποθετημένοι στον δρομέα. Επειδή ο κινητήρας τροφοδοτείται ακόμα με DC, πρέπει να πραγματοποιηθεί η μετατροπή ώστε να μαγνητιστεί σωστά ο στάτης σε σχέση με τον δρομέα για την ροπή περιστροφής. Τα τμήματα του μετατροπέα είναι στην πραγματικότητα συνδεδεμένα στις περιελίξεις του στάτη και μια σειρά από ολισθαίνουσες επαφές στον δρομέα παρέχουν την κατάλληλη ηλεκτρική σύνδεση από την πηγή DC στα κατάλληλα τμήματα του μετατροπέα στον στάτη. Αυτός ο τύπος κινητήρα PM μπορεί να παραχθεί σε μοντέλα μεγαλύτερης ιπποδύναμης από τα PM τύπου στάτη. Οι κινητήρες PM είναι γενικά μικρότεροι από 5 HP.

Το Σχήμα 1.3 συγκρίνει το πραγματικό μέγεθος ενός κινητήρα PM με έναν κινητήρα παράλληλης διέγερσης παρόμοιας ιπποδύναμης. Ο κινητήρας μόνιμου μαγνήτη συνεχούς ρεύματος είναι ένας δημοφιλής κινητήρας και επιλέγεται σε περιπτώσεις όπου η ισχύς μιας μπαταρίας παρέχει DC για την ισχύ του κινητήρα. Μικροί κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροκίνηση στο αυτοκίνητο και τις μηχανές όπως οι κινητήρες συρμού είναι καλά παραδείγματα κινητήρων PM. Σπάνια μαγνητικά υλικά όπως το σαμάριο-κοβάλτιο και το νεοδύμιο έχουν κάνει τους μόνιμους μαγνήτες πιο ισχυρούς και επιτρέπουν το μέγεθος των PM κινητήρων να αυξηθεί σε ιπποδύναμη σε περισσότερους από 15 HP.

Ο λόγος ροπής προς βάρος και ο λόγος ιπποδύναμης προς βάρος καθιστούν αυτούς τους κινητήρες μια ιδιαίτερη επιλογή για κινητά οχήματα όπου η ιπποδύναμη είναι απαραίτητη με τα οχήματα ελαφριού τύπου. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας αυτών των μοτέρ αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά ενός ξεχωριστού κινητήρα διακλάδωσης ξένης διέγερσης. Η καμπύλη της ταχύτητας εξαρτάται από το ρεύμα του πεδίου οπλισμού.

Αν ένας κινητήρας δεν παρέχει ροπή περιστροφής, το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι ότι οι μαγνήτες έχουν χάσει κάποια από την αρχική μαγνητική τους δύναμη. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι ο απομαγνητισμός του μαγνητικού υλικού PM. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν λειτουργούν οι κινητήρες

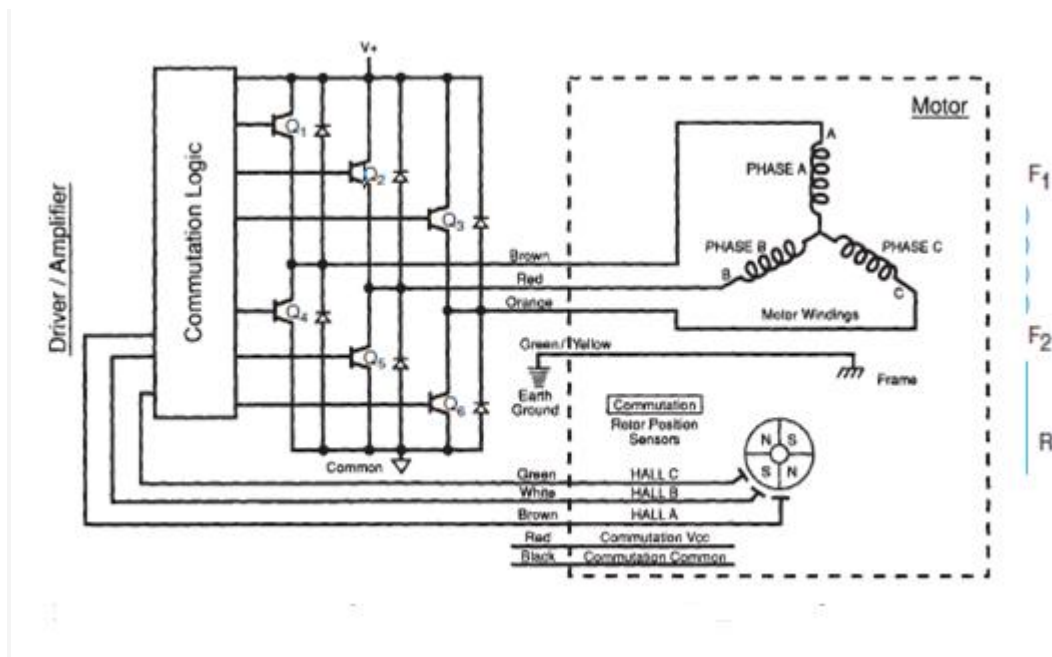


**ΣΧΗΜΑ 1.3**

προς την μια κατεύθυνση και στη συνέχεια αντιστρέφονται γρήγορα κατά την λειτουργία τους. Ορισμένα κυκλώματα ελέγχου παρέχουν προστασία από γρήγορες αντιστροφές, ενώ άλλοι αντισταθμίζουν αυτό το πρόβλημα εφαρμόζοντας μία μικρή τάση κατά την αντιστροφή.

Αντί να χρησιμοποιηθεί μηχανική μεταγωγή για να έχουμε την παραγωγή ενός πεδίου και ισχύ στον δρομέα, ηλεκτρονικές διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν το πεδίο του στάτη. Ο δρομέας χρησιμοποιεί ένα μόνιμα μαγνητικό υλικό έτσι ώστε να μην είναι άμεση η παροχή ισχύος στον δρομέα. Για να αλλάξει η τροφοδοσία του ρεύματος και να κατευθυνθεί στις περιελίξεις πεδίου, πρέπει να χρησιμοποιηθούν συσκευές με αισθητήρες για τον προσδιορισμό της κίνησης του δρομέα. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του δρομέα ή μειώνεται, ο αισθητήρας μεταδίδει τις πληροφορίες στην ηλεκτρονική παροχή εναλλαγής. Η τροφοδοσία που προέρχεται από την ηλεκτρονική διάταξη συνεχώς ρυθμίζεται για να παρέχει το κατάλληλο επίπεδο τάσης στους κατάλληλους πόλους του στάτη για τη διατήρηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης (βλ. Σχήμα 1.4).

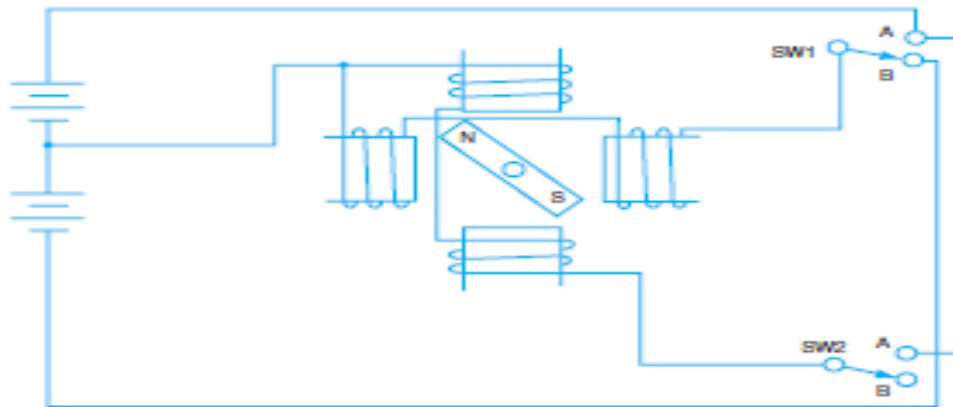




**ΣΧΗΜΑ 1.4**

Ένας άλλος τύπος κινητήρα που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα PM στον δρομέα είναι ο Βηματικός Κινητήρας. Αντί να έχει συνεχή παροχή ισχύος και συνεχή περιστροφή, ο δρομέας κινείται σε βήματα καθώς παρέχεται μηχανική ενέργεια στον στάτη. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου κινητήρα είναι ότι η κίνηση μπορεί να παρατηρηθεί και οι ακριβείς μοίρες της περιστροφής μπορούν να ληφθούν από την είσοδο στο κινητήρα. Αυτοί οι κινητήρες δεν παράγουν μεγάλη ροπή, έτσι χρησιμοποιούνται συχνά σε μικρό εξοπλισμό που χρειάζεται αυξητική κίνηση ή "κίνηση σε βήματα".

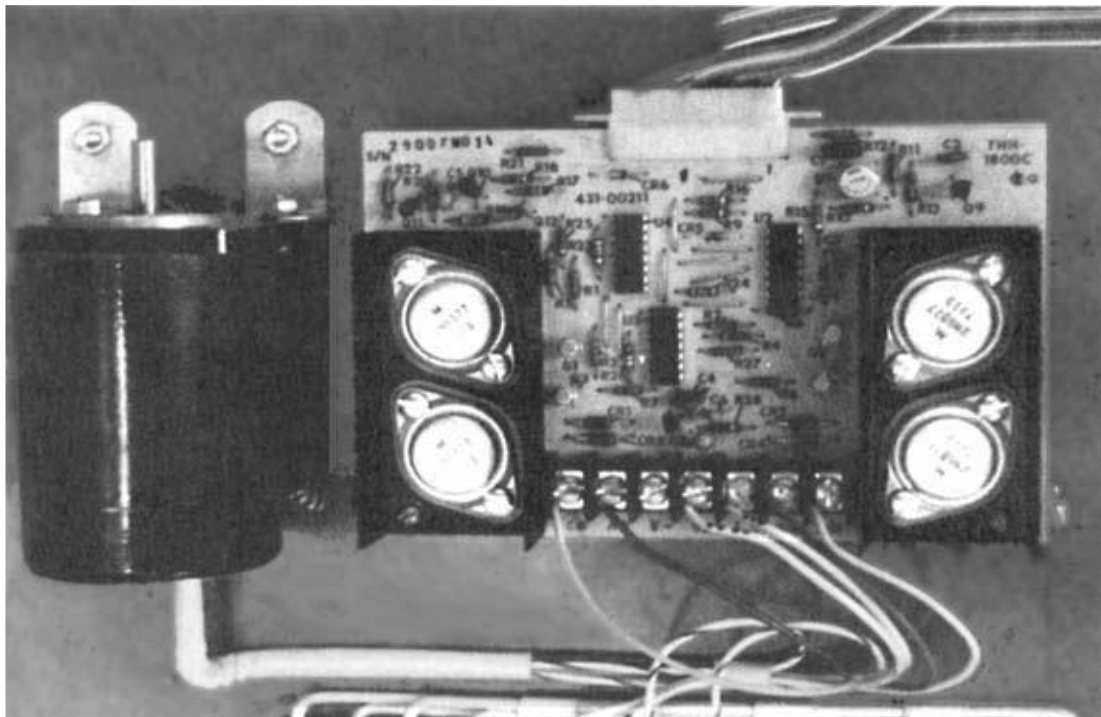
Ο κύριος σκοπός ενός τέτοιου κινητήρα είναι να ενεργοποιήσει το πεδίο του στάτη και να επιτρέψει στους πόλους του δρομέα να μετακινηθούν σε μια επιθυμητή θέση που παρέχει μαγνητική ευθυγράμμιση. Αντί να παρέχει ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ή πεδίο DC με μεταγωγή, τα πεδία είναι πιο ακίνητα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5, ο στάτης μπορεί να ενεργοποιηθεί μετακινώντας τους διακόπτες 1 και 2 στις δύο θέσεις A ή B. Η πρώτη ακολουθία του διακόπτη που φαίνεται στην Σχήμα 1.6 θα έχει ως αποτέλεσμα τη δεξιόστροφη φορά περιστροφής; η δεύτερη ακολουθία παράγει αριστερόστροφη περιστροφή. Ο βασικός σκοπός ενός βηματικού κινητήρα εξηγείται χρησιμοποιώντας ένα PM στον δρομέα με μόλις δύο σειρές πόλων στον στάτη. Στην πραγματικότητα ο δρομέας αποτελείται από πολλούς μαγνητικούς πόλους ευθυγραμμισμένους με "δόντια" στο δρομέα. Αυτά τα δόντια απέχουν μεταξύ τους τόσο ώστε μόνο μία σειρά δοντιών να είναι τέλεια ευθυγραμμισμένη με τους πόλους του στάτη σε οποιαδήποτε στιγμή. Ένα πάρομε το πόσες φορές πρέπει να εφαρμοστεί ισχύ στον στάτη για να μετακινηθεί ένα δόντι μέσα από  $360^\circ$  περιστροφής, μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνία του βήματος. Για παράδειγμα, αν το δόντι μετακινείται  $360^\circ$  με 200 βήματα ισχύος (εφαρμογή της ισχύος του στάτη), η γωνία βήματος υπολογίζεται διαιρώντας τις  $360^\circ$  με 200, το οποίο μας δίνει  $1,8^\circ$  κίνηση ανά βήμα. Η γωνία βήματος καθορίζει πόσο λεπτά είναι τα βήματα της κίνησης για ένα συγκεκριμένο κινητήρα.



STEP	CLOCKWISE ROTATION		COUNTERCLOCKWISE ROTATION	
	SWITCH 1	SWITCH 2	SWITCH 1	SWITCH 2
STEP 1	A	A	A	A
STEP 2	B	A	A	B
STEP 3	B	B	B	B
STEP 4	A	B	B	A
STEP 5	A	A	A	A

**ΣΧΗΜΑ 1.5**

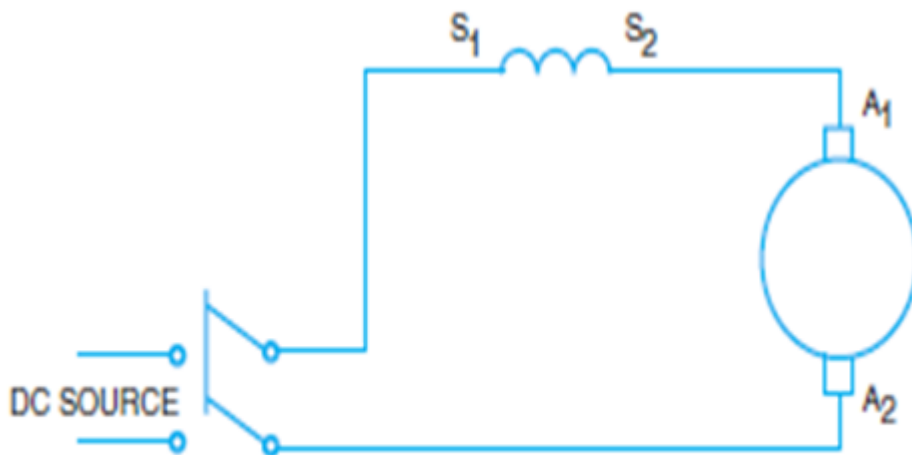
Άλλοι τύποι βηματικών κινητήρων χρησιμοποιούν έναν δρομέα υψηλής διαπερατότητας αντί για έναν δρομέα με μόνιμη μαγνήτιση. Τα μαγνητικά πεδία του δρομέα ευθυγραμμίζονται και διατηρούν το μαγνητισμό ενώ είναι σε λειτουργία. Αυτοί οι βηματικοί κινητήρες ονομάζονται βηματικοί κινητήρες μεταβλητής απόδρασης. Οι περισσότεροι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούν οδηγίες ή εντολές που παράγονται από επεξεργαστές υπολογιστή. Οι εντολές βημάτων δημιουργούνται για να παράγουν μια επιθυμητή κίνηση και τροφοδοτούνται σε μια ηλεκτρονική πλακέτα ελεγκτή. Τότε η ισχύς εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του κινητήρα (Σχήμα 1.6).



**ΣΧΗΜΑ 1.6**

## 1.2:Κινητήρες Διέγερσης Σειράς

Ένας κινητήρας σειράς αναπτύσσει μέχρι και το 500 τοις εκατό της ροπής πλήρους φορτίου κατά την εκκίνηση. Επομένως, αυτός ο τύπος κινητήρα χρησιμοποιείται για σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις, γερανούς και άλλες εφαρμογές απαιτώντας υψηλή ροπή σε χαμηλή ταχύτητα. Ο κινητήρας σειράς χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές μηχανές, και ο άξονας γίνεται ο άξονας των κινητήριων τροχών. Ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα. Σε ένα κινητήρα σειράς, το πεδίο του στάτη λειτουργεί κάτω από τον κορεσμό και οποιαδήποτε αύξηση του φορτίου προκαλεί μια αύξηση του ρεύματος και στο κύκλωμα του τυλίγματος διέγερσης και στο κύκλωμα του τυλίγματος τυμπάνου. Ως αποτέλεσμα, η ροή του πεδίου διέγερσης και η ροή του πεδίου οπλισμού αυξάνονται μαζί. Επειδή η ροπή εξαρτάται από την αλληλεπίδραση του οπλισμού και

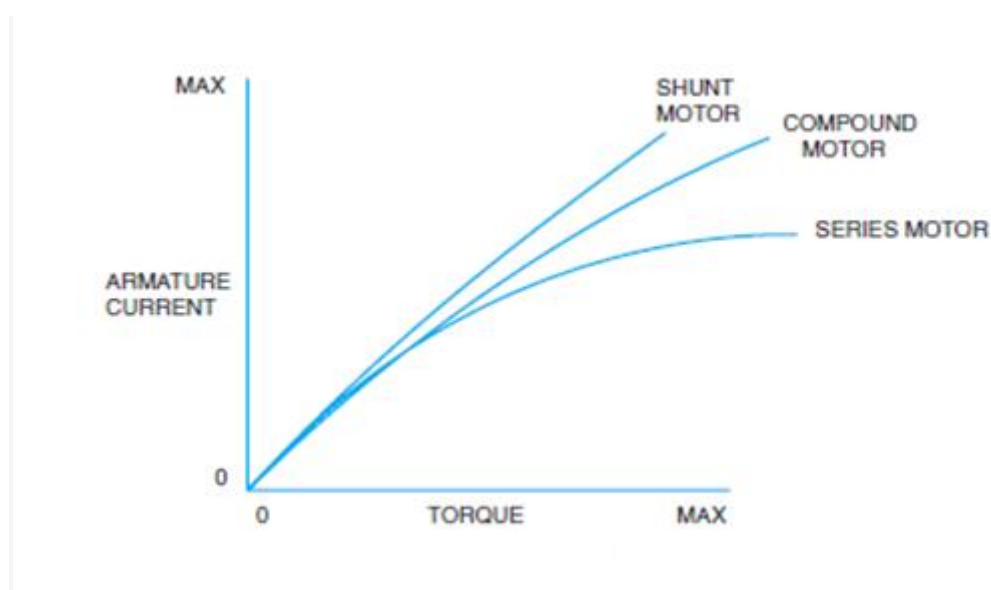


**ΣΧΗΜΑ 1.7**

τις ροές πεδίου, η ροπή αυξάνεται καθώς αυξάνεται το τετράγωνο της τιμής του ρεύματος. Επομένως, ένας κινητήρας σειράς παράγει μια μεγαλύτερη ροπή στρέψης από έναν κινητήρα διακλάδωσης για την ίδια αύξηση του ρεύματος. Ο κινητήρας σειράς, ωστόσο, παρουσιάζει μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας καθώς προστίθεται μηχανικό φορτίο. Ένα ελαφρύ φορτίο έχει μικρή έλξη ρεύματος, και το ρεύμα του οπλισμού και του πεδίου διέγερσης μειώνονται.

Η ρύθμιση της ταχύτητας ενός κινητήρα σειράς είναι εγγενώς φτωχότερη από εκείνη ενός κινητήρα διακλάδωσης. Εάν ο κινητήρας λειτουργεί με μηχανικό φορτίο και το φορτίο μειώνεται ξαφνικά, η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται. Η αύξηση της ταχύτητας δημιουργεί περισσότερη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη στον οπλισμό και το ρεύμα του κυκλώματος μειώνεται. Το ρεύμα του κυκλώματος είναι το ίδιο ρεύμα τόσο στο πεδίο στάτη όσο και στο πεδίο του δρομέα, επομένως ισοβαθεί το αποτέλεσμα της τρέχουσας μείωσης. Η ροπή που παράγεται πέφτει δραματικά. Η μεταβολή της ταχύτητας και της ροπής είναι πολύ μεγαλύτερη σε έναν κινητήρα σειράς από την

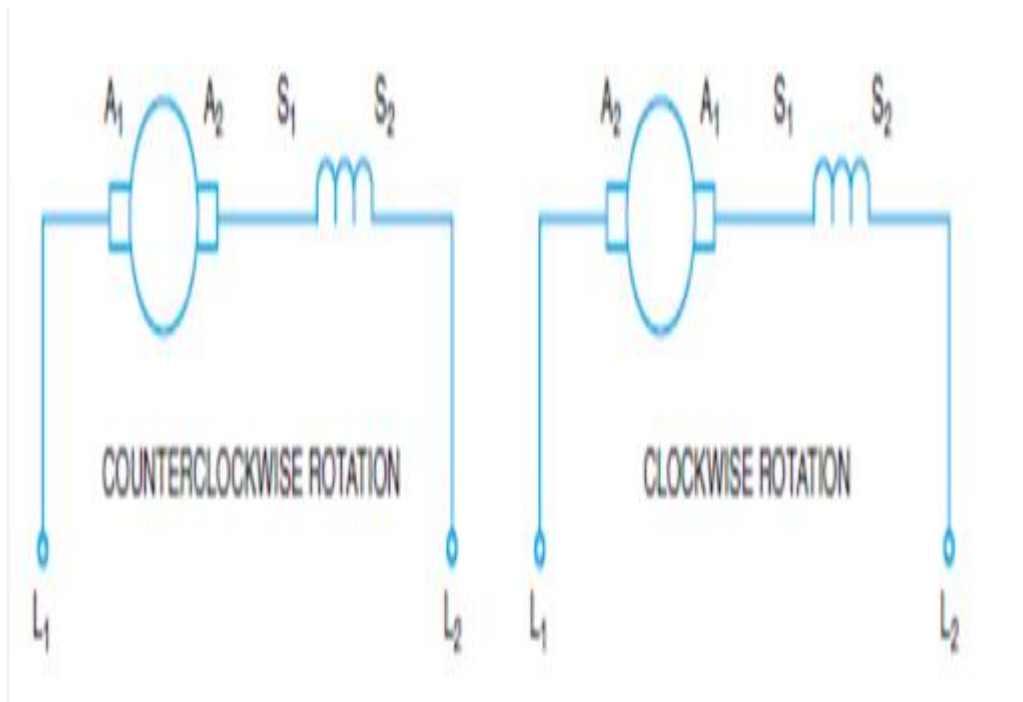
ίδια μεταβολή του φορτίου που επιβάλλεται σε έναν κινητήρα διακλάδωσης. Αν αφαιρεθεί το μηχανικό φορτίο εξ ολοκλήρου, η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνεται σε επικίνδυνα επίπεδα, ακόμη και μέχρι το σημείο καταστροφής του κινητήρα με τη δική του φυγόκεντρη δύναμη. Για το λόγο αυτό, οι κινητήρες σειράς συνδέονται μόνιμα στο μηχανικό φορτίο και δεν πρέπει να λειτουργούν με πλήρη τάση χωρίς φορτίο. Όταν ένα μηχανικό φορτίο προστίθεται στον κινητήρα σειράς, ισχύει το αντίθετο αποτέλεσμα. Ο κινητήρας επιβραδύνεται με μια νέα, υψηλότερη απαίτηση ροπής. Καθώς ο κινητήρας επιβραδύνεται, η αντιηλεκτρεγερτική στον δρομέα μειώνεται και το ρεύμα γραμμής επιτρέπεται να αυξηθεί. Αυτό επηρεάζει και το πεδίο του στάτη και το πεδίο του δρομέα. Με μια πτώση της ταχύτητας, η ροπή αυξάνεται δραματικά και ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλότερη ταχύτητα αλλά με πολύ μεγαλύτερη ροπή. Αυτό δίνει στην καμπύλη της ροπής ταχύτητας την επίπεδη κλίση της (βλ. Σχήμα 1.8). Ο κινητήρας σειράς έχει μεγαλύτερη ροπή με χαμηλότερο ρεύμα οπλισμού από τους άλλους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.



**ΣΧΗΜΑ 1.8 : Καμπύλες Ροπής για DC Κινητήρες**

Εάν το μέγιστο μέγεθος ασφαλειών κυκλώματος διακλάδωσης για κάθε κινητήρα συνεχούς ρεύματος περιορίζεται στο 150% του ρεύματος λειτουργίας πλήρους φορτίου του κινητήρα, οι εκκινητές που χρησιμοποιούνται με τους κινητήρες αυτούς πρέπει να περιορίσουν το ρεύμα εκκίνησης στο 150% της ονομαστικής τιμής ρεύματος πλήρους φορτίου. Αυτοί οι εκκινητές πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με αυτόματη απελευθέρωση χωρίς φορτίο για να αποτραπεί ο οπλισμός να φτάσει σε επικίνδυνες ταχύτητες. Η απελευθέρωση χωρίς φορτίο έχει ρυθμιστεί για να ανοίξει το κύκλωμα στο ρεύμα οπλισμού που αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα. Η ταχύτητα ενός κινητήρα σειράς ελέγχεται με μεταβολή της εφαρμοζόμενης τάσης. Ένας ελεγκτής ενός κινητήρα σειράς έχει συνήθως σχεδιαστεί για να ξεκινά, να σταματά, να αντιστρέφει και να ρυθμίζει την ταχύτητα.

Η κατεύθυνση περιστροφής μπορεί να αντιστραφεί αλλάζοντας την κατεύθυνση του ρεύματος είτε στο πεδίο της σειράς είτε στο πεδίο του οπλισμού (Σχήμα 1.9).



**ΣΧΗΜΑ 1.9**

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος σειράς έχουν ονομαστική τάση, ρεύμα, ιπποδύναμη και μέγιστη ταχύτητα.

### 1.3:Κινητήρες Σύνθετης Διέγερσης

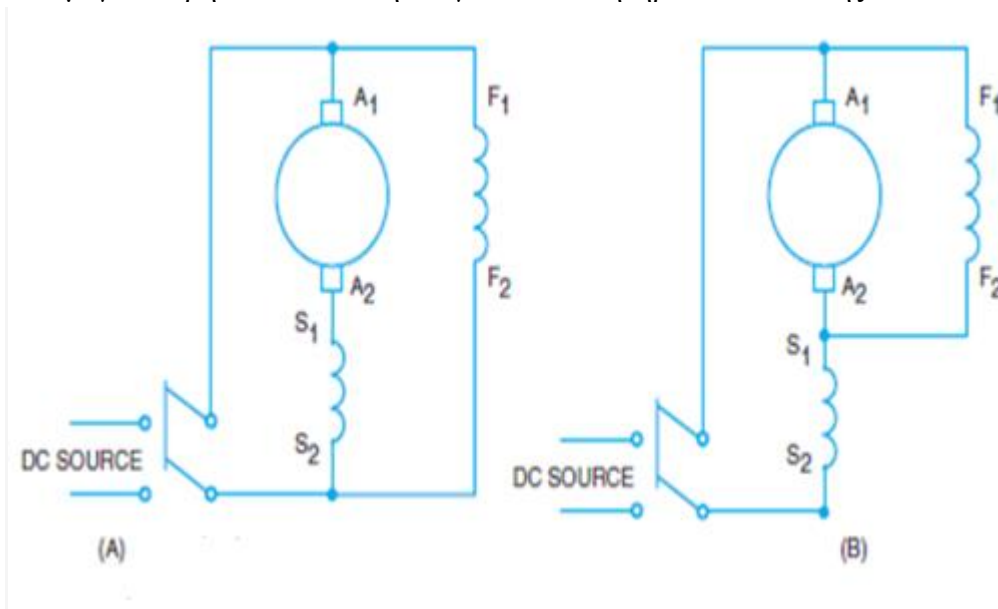
Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητο να επιτευχθούν η ρύθμιση της ταχύτητας και τα χαρακτηριστικά ροπής που δεν μπορούν να ληφθούν ούτε με ένα κινητήρα παράλληλης διέγερσης ή με έναν κινητήρα σειράς. Επειδή πολλοί κινητήρες χρειάζονται μια αρκετά υψηλή ροπή εκκίνησης και μια σταθερή ταχύτητα σε λειτουργία υπό φορτίο,

ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης είναι κατάλληλος για αυτές τις εφαρμογές. Μερικές από τις βιομηχανικές εφαρμογές περιλαμβάνουν δίσκους για ανελκυστήρες επιβατών και εμπορευμάτων, πιεστήρια σφράγισης, και μεταλλικά ψαλίδια.

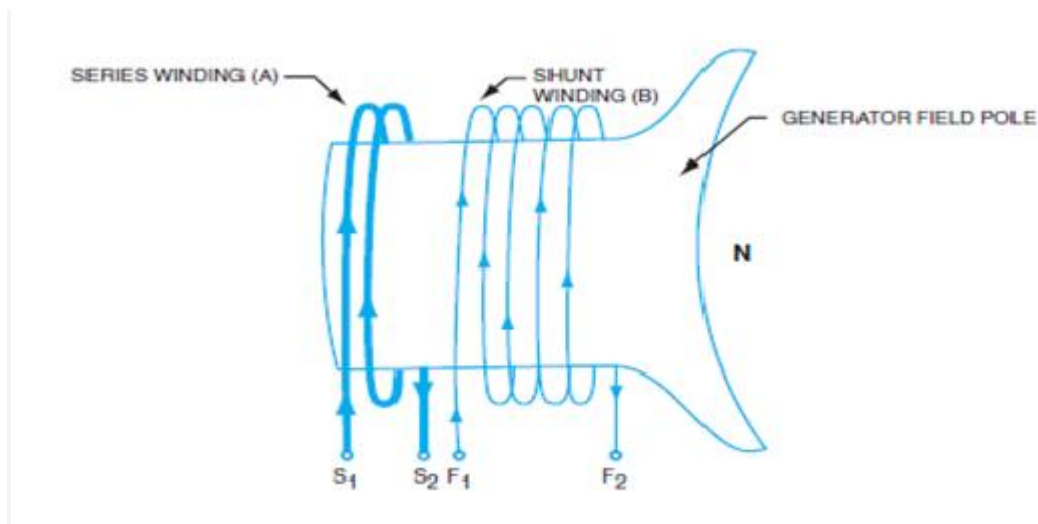
Ο σύνθετος κινητήρας έχει μια κανονικά παράλληλη περιέλιξη και μια περιέλιξη σε κάθε πόλο του πεδίου. Όπως και στην γεννήτρια συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης, οι περιελίξεις σειράς και διακλάδωσης μπορούν να συνδεθούν σε μακρά διακλάδωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10(A), ή σύντομη διακλάδωση, που φαίνεται στο Σχήμα 1.10 (B).

Όταν το πεδίο του τυλίγματος σειράς είναι συνδεδεμένο για να ενισχύσει το πεδίο του τυλίγματος παράλληλης διέγερσης, τότε ο κινητήρας ονομάζεται σωρευτικός κινητήρας παράλληλης διέγερσης. Όταν το πεδίο του τυλίγματος σειράς αντιτίθεται στο πεδίο διακλάδωσης, τότε ο κινητήρας είναι ένας διαφορικός κινητήρας παράλληλης διέγερσης. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα του αριστερού χεριού του Fleming για ηλεκτρομαγνήτες, μπορεί να φανεί ότι οι δύο περιελίξεις είτε θα ενισχυθούν είτε θα προσπαθήσουν να ακυρώσουν το ένα το άλλο (Σχήμα 1.11).

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός αθροιστικού κινητήρα είναι ένας συνδυασμός του κινητήρα σειράς και του κινητήρα διακλάδωσης. Όταν εφαρμόζεται ένα φορτίο, το ρεύμα μέσω του τυλίγματος σειράς αυξάνει την μαγνητική ροή. Ως αποτέλεσμα, η ροπή στρέψεως για ένα δεδομένο ρεύμα είναι μεγαλύτερη από ό, τι θα ήταν για έναν κινητήρα διακλάδωσης. Ωστόσο,



**ΣΧΗΜΑ 1.10 : (A) ΜΑΚΡΑ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ  
(B) ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ**



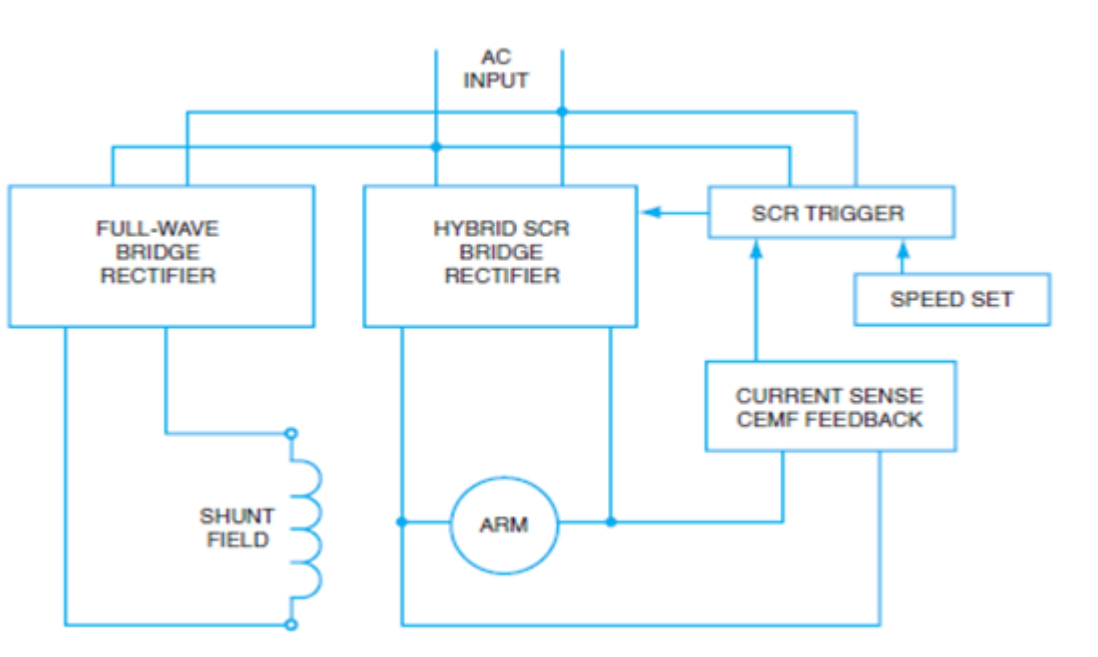
**ΣΧΗΜΑ 1.11**

η αύξηση της μαγνητικής ροής αναγκάζει την ταχύτητα να μειωθεί σε χαμηλότερη τιμή από ό, τι σε έναν κινητήρα διακλάδωσης. Ένας αθροιστικός κινητήρας αναπτύσσει υψηλή ροπή με κάθε ξαφνική αύξηση του φορτίου. Είναι ιδανικό για τη λειτουργία διαφορετικών μηχανών φορτίων όπως πρέσες διάτρησης.

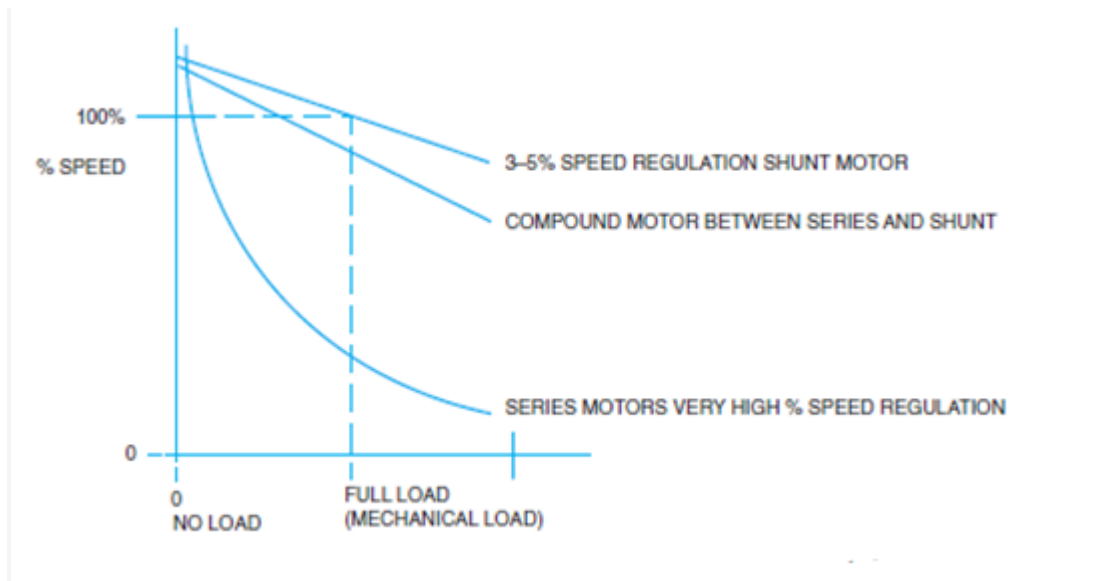
Σε αντίθεση με έναν κινητήρα σειράς, ο αθροιστικός κινητήρας έχει μια συγκεκριμένη ταχύτητα χωρίς φορτίο και δεν θα φτάσει σε καταστροφικές ταχύτητες αν αυτό αφαιρεθεί.

Η ταχύτητα ενός αθροιστικού κινητήρα μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας αντιστάτες στο κύκλωμα οπλισμού για τη μείωση της εφαρμοζόμενης τάσης. Όταν θα χρησιμοποιηθεί ο κινητήρας για εγκαταστάσεις όπου η περιστροφή πρέπει συχνά να αντιστραφεί, όπως σε ανελκυστήρες, ανυψωτήρες, και σιδηρόδρομοι, ο ελεγκτής θα πρέπει να διαθέτει αντιστάσεις για την πτώση τάσης και διατάξεις εναλλαγής για την αντιστροφή.

Μία προσέγγιση πάνω στον ηλεκτρονικό έλεγχο ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος φαίνεται στο Σχήμα 1.12. Η γραμμή AC ανορθώνεται από γέφυρα πλήρους ανόρθωσης για την τροφοδοσία παλμών DC στο πεδίο διακλάδωσης σε σταθερή τιμή. Το DC που τροφοδοτείται στο πεδίο οπλισμού και σειράς ελέγχεται από ελεγχόμενο ανορθωτή με πυρίτιο (SCR). Ρυθμίζοντας τον χρόνο έναρξης του SCR, είτε περισσότερη ή λιγότερη από την διαθέσιμη τάση DC, μπορεί να εφαρμοστεί στον οπλισμό. Εάν εφαρμόζεται μικρή τάση DC, η ροπή είναι χαμηλή και η προκύπτουσα ταχύτητα είναι χαμηλή. Εάν το SCR ενεργοποιηθεί νωρίς στην κυματομορφή και αφεθεί να άγει για το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου, τότε εφαρμόζεται μεγαλύτερη ποσότητα τάσης στον οπλισμό, περισσότερο ρεύμα και η ροπή αυξάνεται για να περιστρέψει τον οπλισμό με μεγαλύτερη ταχύτητα. Ταχύτητες κάτω από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα παράγονται με τη μείωση της τάσης που εφαρμόζεται στον οπλισμό ενώ διατηρείται το πεδίο διακλάδωσης σταθερό. Εάν απαιτείται υψηλότερη από την κανονική ταχύτητα, το πεδίο διακλάδωσης μπορεί να αποδυναμωθεί. Τα περισσότερα χειριστήρια ταχύτητας έχουν κάποιο είδος ανατροφοδότησης για να αισθανθούν το ρεύμα στον οπλισμό,



**ΣΧΗΜΑ 1.12**



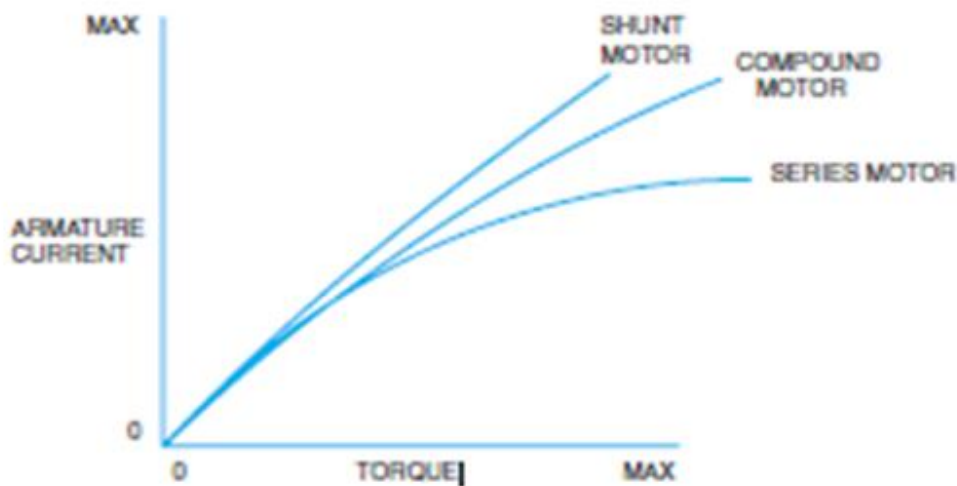
**ΣΧΗΜΑ 1.13**

συγκρίνοντάς τον με την καθορισμένη ταχύτητα και ρυθμίζοντας τη γωνία εκτόξευσης SCR για να αντισταθμίσουν τα μεταβαλλόμενα μηχανικά φορτία έτσι ώστε να διατηρηθεί η ταχύτητα του κινητήρα ρυθμισμένη.

Η ρύθμιση της ταχύτητας ενός αθροιστικού κινητήρα είναι κατώτερη από αυτή ενός κινητήρα διακλάδωσης και ανώτερη από εκείνη ενός κινητήρα σειράς. Είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ ενός κινητήρα σειράς και κινητήρα παράλληλης διέγερσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.6.

Το γράφημα στο Σχήμα 1.13 δείχνει ότι το ποσοστό της ρύθμισης της ταχύτητας ενός αθροιστικού κινητήρα DC είναι μικρότερος αλλά υψηλότερο από αυτόν ενός κινητήρα σειράς. Οι καμπύλες ταχύτητας και ροπής που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.14 δείχνουν τη σχέση μεταξύ του κινητήρα παράλληλης διέγερσης, κινητήρα σειράς και σύνθετου κινητήρα. Ο κινητήρας σειράς έχει

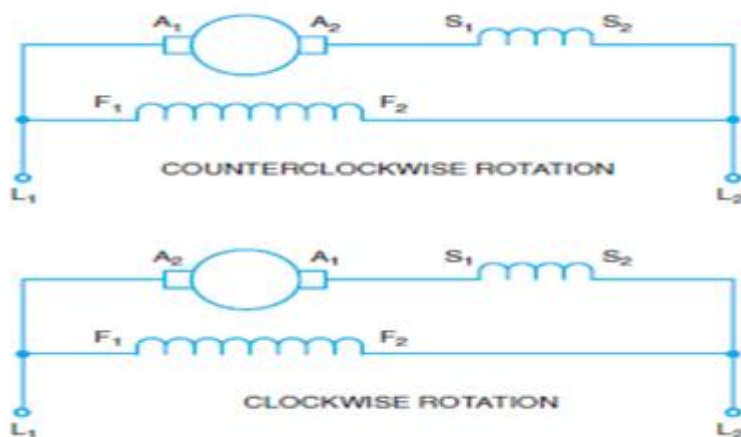




**ΣΧΗΜΑ 1.14 : Καμπύλες Ροπής για DC Κινητήρες**

την υψηλότερη ροπή στην χαμηλότερη ταχύτητα, αλλά η ρύθμιση της ταχύτητας δεν είναι εύκολη. Ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης έχει μικρότερη ροπή στρέψης σε υψηλότερα φορτία, αλλά η ρύθμιση της ταχύτητας είναι πολύ καλή. Ο σύνθετος κινητήρας έχει χαρακτηριστικά τόσο από το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά ρύθμισης της ροπής και της ταχύτητας βρίσκονται μεταξύ των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και σειράς.

Η περιστροφή ενός κινητήρα σύνθετης διέγερσης τυλιγμένου δρομέα μπορεί να αντιστραφεί αλλάζοντας την κατεύθυνση του ρεύματος στο κύκλωμα διέγερσης ή στο κύκλωμα οπλισμού (Σχήμα 1.15). Επειδή τα πηνία του τυλίγματος διέγερσης που είναι σε σειρά πρέπει επίσης να αντιστραφούν αν το πεδίο παράκαμψης αντιστρέφεται, είναι προτιμότερο να αντιστραφεί το ρεύμα μόνο στο κύκλωμα οπλισμού.

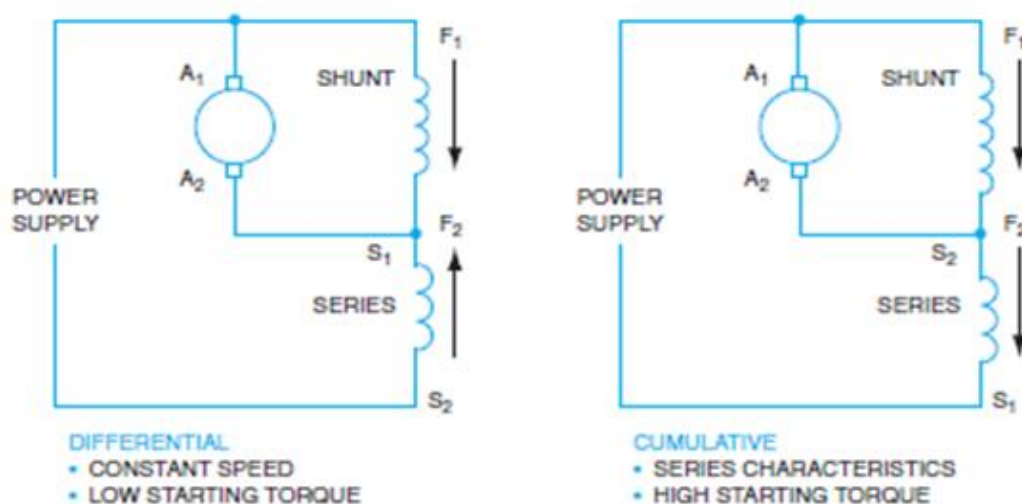


**ΣΧΗΜΑ 1.15**

Όταν συνδέεται πρώτη φορά ένας κινητήρας, είναι σημαντικό να καθοριστεί η συνέχεια του κυκλώματος πεδίου διακλάδωσης. Επιπλέον, για έναν κινητήρα σύνθετης διέγερσης τυλιγμένου

δρομέα, πρέπει να καθοριστεί η σωστή μαγνητική πολικότητα του πεδίου διακλάδωσης και σειράς. Οι τυποποιημένες δοκιμές καθορίζουν αυτές τις συνθήκες. Για παράδειγμα, όταν ένας σύνθετος κινητήρας είναι έτοιμος για να τεθεί σε λειτουργία, είναι απαραίτητος ένας διπλός έλεγχος για σωστή σύνθεση. Πρέπει να επαληθευτεί ότι το κύκλωμα σειράς ενισχύει την μαγνητική ροή στο τύλιγμα διακλάδωσης. Εάν αυτό δεν γίνει, ο κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει με ελαφρύ φορτίο κάτω από την επιρροή του πεδίου διακλάδωσης. Καθώς αυξάνεται το φορτίο, το πεδίο σειράς γίνεται πιο ισχυρό. Εάν το πεδίο σειράς είναι σε αντίθετη πολικότητα από το πεδίο διακλάδωσης, το πεδίο του στάτη γίνεται ασθενέστερο. Τελικά το πεδίο της σειράς γίνεται πιο κυρίαρχο και μπορεί να αναστρέψει ξαφνικά την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα. Η παρακάτω δοκιμή επαληθεύει την πολικότητα του πεδίου. Χωρίς φορτίο στον κινητήρα συνδέουμε τον κινητήρα ως κινητήρα παράλληλης διέγερσης μόνο, χωρίς να τοποθετήσουμε το πεδίο σειράς στο κύκλωμα. Προς στιγμή ξεκινάμε τον κινητήρα και σημειώνουμε την κατεύθυνση περιστροφής. Παρακολουθούμε ποιες ενδείξεις των άκρων του πεδίου διακλάδωσης οδηγούν σε ποιες γραμμές του κινητήρα. Συνδέουμε τον κινητήρα ως κινητήρα σειράς, χωρίς το πεδίο διακλάδωσης. Ξεκινάμε στιγμιαία τον κινητήρα. Δεν αφήνουμε τον κινητήρα να τρέξει χωρίς μηχανικό φορτίο. Πάλι, βεβαιωνόμαστε ότι έχουμε σημειώσει ποιοι σειριακοί αγωγοί συνδέονται σε ποιες γραμμές του κινητήρα. Αν ο κινητήρας γυρίζει στην ίδια κατεύθυνση κάθε φορά, επανασυνδέουμε το πεδίο διακλάδωσης με τις γραμμές που ήταν συνδεδεμένο την πρώτη φορά. Αν όχι, αντιστρέφουμε τα καλώδια του πεδίου διακλάδωσης έτσι ώστε και τα δύο πεδία σειράς και διακλάδωσης να προκαλούν την ίδια κατεύθυνση περιστροφής. Αυτό καθιερώνει την αθροιστική σύνθεση.

Σχεδόν η μηδενική ποσοστιαία ρύθμιση της ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί με μια διαφορική ένωση ενός κινητήρα dc σύνθετης διέγερσης. Όταν ένας κινητήρας είναι συνδεδεμένος ως μηχανή διαφορικής σύνθεσης, το πεδίο σειράς αντιτίθεται στο πεδίο διακλάδωσης έτσι ώστε η ροή πεδίου να μειώνεται καθώς φορτίζεται (Σχήμα 1.16).



**ΣΧΗΜΑ 1.16**

Ως αποτέλεσμα, η ταχύτητα παραμένει ουσιαστικά σταθερή με αύξηση του φορτίου. Με υπερσύνθεση, είναι δυνατή μια μικρή αύξηση της ταχύτητας με αύξηση του φορτίου. Αυτή η χαρακτηριστική ταχύτητα επιτυγχάνεται μόνο με απώλεια του ρυθμού με τον οποίο η ροπή

αυξάνεται με το φορτίο. Επειδή το πεδίο μειώνεται με αύξηση του φορτίου, ένας κινητήρας διαφορικής ένωσης έχει μια τάση για αστάθεια φορτίου. Κατά την εκκίνηση ενός διαφορικού(αφαιρετικού) κινητήρα, συνιστάται το πεδίο σειράς να είναι βραχυκυκλωμένο επειδή το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης σε αυτό το πεδίο μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπία του πεδίου διακλάδωσης και να προκαλέσει την εκκίνηση του κινητήρα προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Ένα διαφορικό μηχανήμα συνδέεται και δοκιμάζεται κατά την εγκατάσταση χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία που περιγράφεται για έναν κινητήρα σύνθετης διέγερσης. Για τον διαφορικό κινητήρα, ωστόσο, οι περιελίξεις σειράς θα πρέπει να συνδέονται προς την αντίθετη κατεύθυνση από εκείνη της διακλάδωσης. Δεν πρέπει να γίνει υπέρβαση του φορτίου που αναγράφεται στην πινακίδα τύπου, καθώς μπορεί να προκύψει αναστροφή της κατεύθυνσης όπως σημειώνεται στην περιγραφή του κινητήρα σύνθετης διέγερσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 2.1: Ασυγχρονοι Επαγωγικοί 3Φ Κινητήρες

Ο τριφασικός κινητήρας επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι σχετικά μικρός σε φυσικό μέγεθος για μια συγκεκριμένη ιπποδύναμη σε σύγκριση με άλλους τύπους κινητήρων. Αυτού του είδους ο επαγωγικός κινητήρας έχει πολύ καλή ρύθμιση ταχύτητας υπό διαφορετικές συνθήκες φορτίου.

Λόγω της ανθεκτικής κατασκευής και της αξιόπιστης λειτουργίας του, ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας τύπου κλωβού χρησιμοποιείται ευρέως για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (Σχήμα 2.1).

Ο τριφασικός κινητήρας επαγωγής τύπου κλωβού αποτελείται κανονικά από έναν στάτη, έναν δρομέα και δύο ακραίες προστατευτικές βάσεις που στεγάζουν τα ρουλεμάν που υποστηρίζουν τον άξονα του δρομέα. Απαιτείται ελάχιστη συντήρηση με αυτόν τον τύπο κινητήρα, επειδή

- Οι περιελίξεις του δρομέα είναι βραχυκυκλωμένες για να σχηματίσουν ένα περιτύλιγμα τύπου κλωβού.
- Δεν λειτουργούν μετατροπείς ηλεκτρικού ρεύματος ή δακτύλιοι ολίσθησης (σε σύγκριση με τον κινητήρα DC).
- Δεν υπάρχουν βούρτσες για αντικατάσταση.

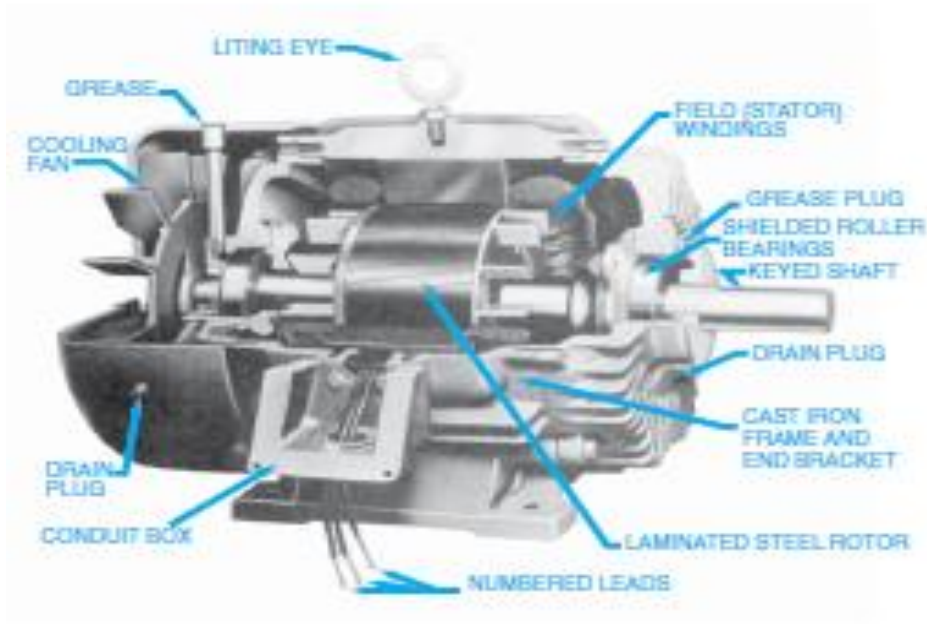


**ΣΧΗΜΑ 2.1**

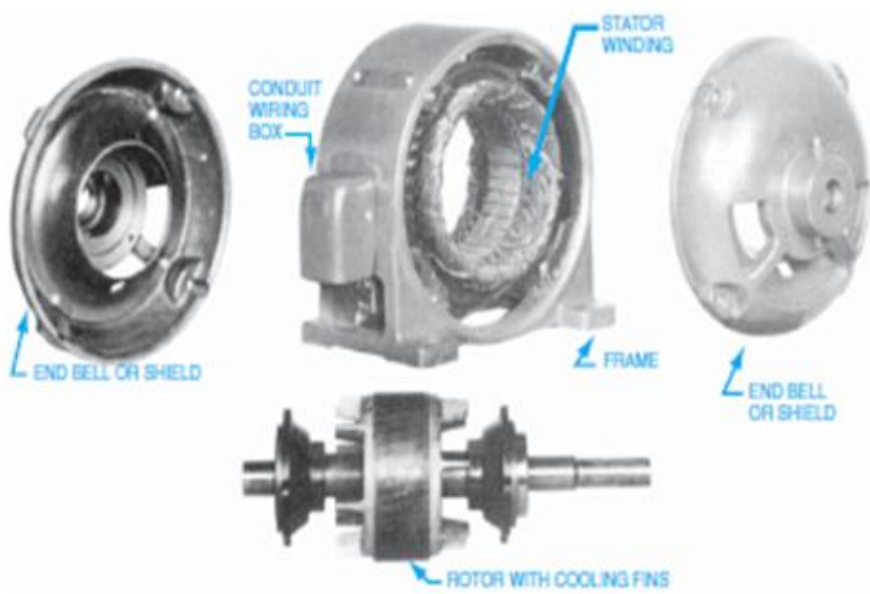
Το πλαίσιο κινητήρα είναι συνήθως κατασκευασμένο από χυτό χάλυβα. Ο πυρήνας του στάτη πιέζεται κατευθείαν μέσα στο πλαίσιο. Οι δύο άκρες των προστατευτικών βάσεων, το περίβλημα δηλαδή των ρουλεμάν είναι βιδωμένο στο χυτό χάλυβινο πλαίσιο. Τα ρουλεμάν που υποστηρίζουν τον άξονα του δρομέα είναι είτε ρουλεμάν με μανίκια είτε ένσφαιρα ρουλεμάν. Το

σχήμα 2.2 είναι μια κατακόρυφη προβολή ενός συναρμολογημένου μοτέρ. Το σχήμα 2.3 απεικονίζει τα κύρια τμήματα ενός τριφασικού κινητήρα επαγωγής τύπου κλωβού.

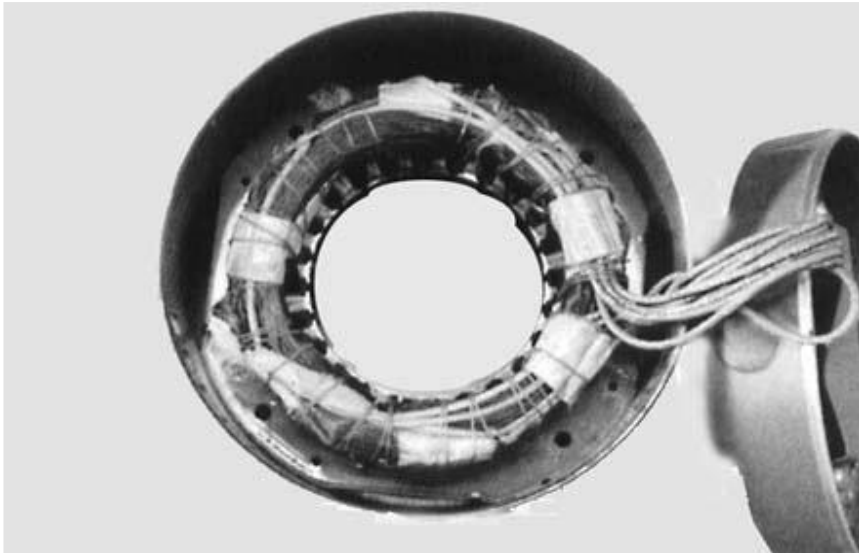
Ένας τυπικός στάτης περιέχει μία τριφασική περιέλιξη τοποθετημένη στις εγκοπές ενός πυρήνα ελασματοποιημένου χάλυβα(σχήμα 2.4). Η ίδια η περιέλιξη αποτελείται από σχηματισμένα



ΣΧΗΜΑ 2.2



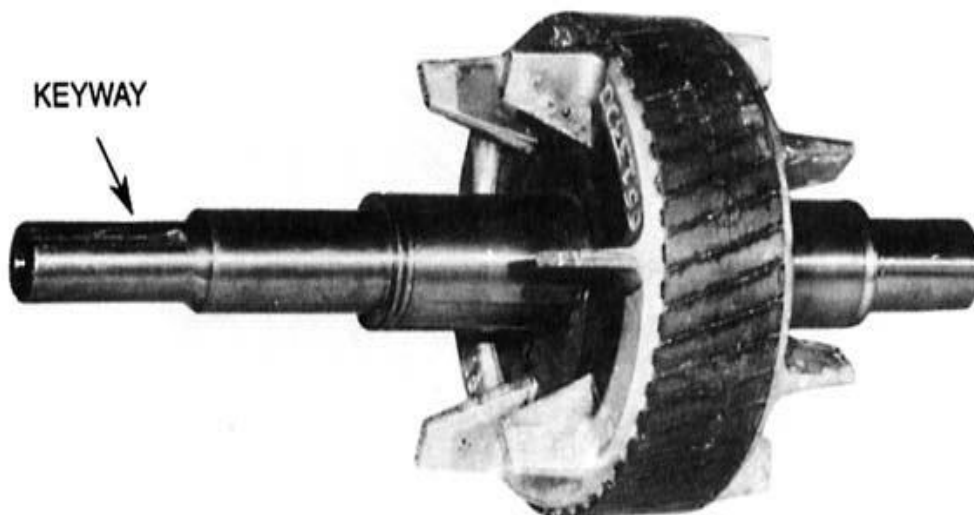
ΣΧΗΜΑ 2.3



**ΣΧΗΜΑ 2.4**

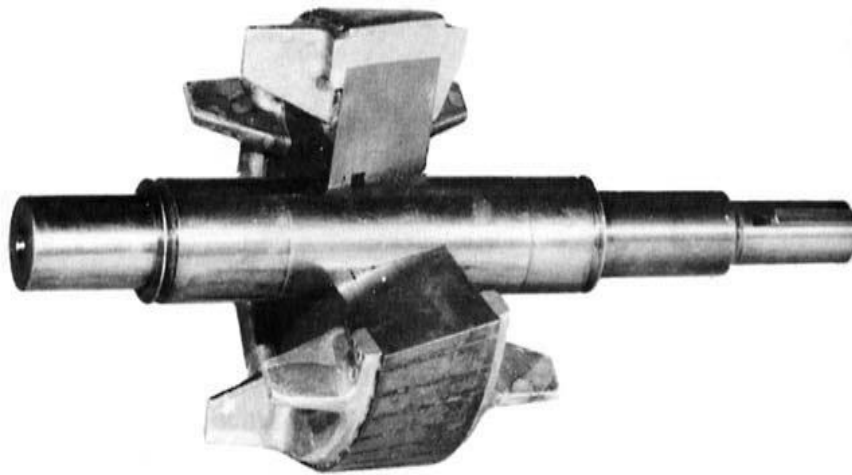
πηγία συρμάτων συνδεδεμένα έτσι ώστε οι τρεις μονοφασικές περιελίξεις να απέχουν 120 ηλεκτρικές μοίρες σε απόσταση μεταξύ τους. Οι τρεις χωριστές μονοφασικές περιελίξεις συνδέονται στη συνέχεια, συνήθως εσωτερικά, είτε σε διάταξη αστέρα είτε σε διάταξη τριγώνου. Τρεις ή εννέα αγωγοί από τις τριφασικές περιελίξεις του στάτη βγαίνουν σε κουτί ακροδεκτών που είναι τοποθετημένο στο πλαίσιο του κινητήρα για μόνες ή διπλές συνδέσεις τάσης.

Το περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα αποτελείται από διατρήσεις ή ελασματοποιήσεις χάλυβα σε έναν κυλινδρικό πυρήνα (Σχήματα 2.5, 2.6, και 2.7). Οι ράβδοι χαλκού ή αλουμινίου είναι

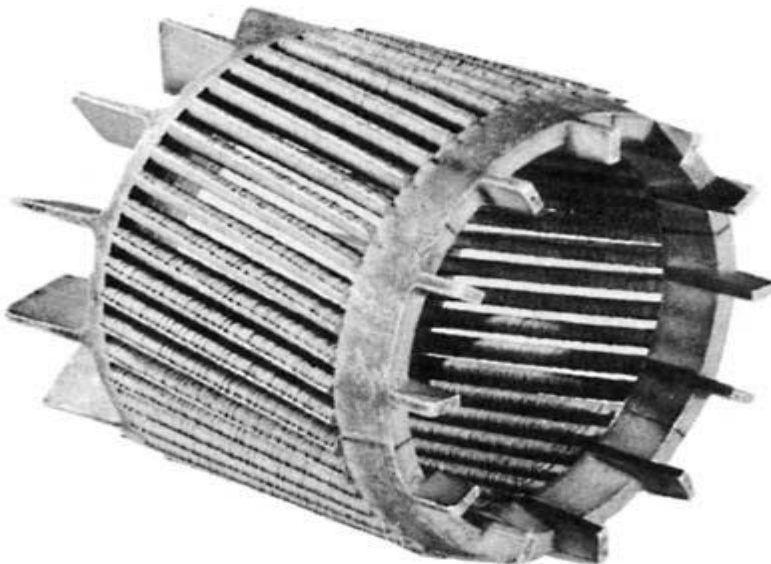


**ΣΧΗΜΑ 2.5**

τοποθετημένοι κοντά στην επιφάνεια του δρομέα. Οι ράβδοι είναι συγκολλημένες ή επιχαλκωμένες σε δύο άκρα χάλκινων δακτυλίων. Σε μερικούς μικρούς κινητήρες επαγωγής τύπου κλωβού, οι ράβδοι και οι ακραίοι δακτύλιοι χυτεύονται σε ένα κομμάτι από αλουμίνιο. Το Σχήμα 2.7 δείχνει ένα τέτοιο δρομέα. Τα πτερύγια χυτεύονται στον δρομέα για να κυκλοφορεί ο αέρας



**ΣΧΗΜΑ 2.6**

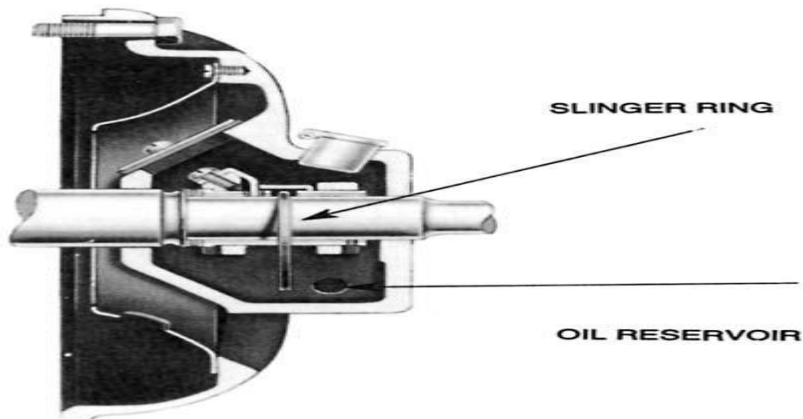


**ΣΧΗΜΑ 2.7**

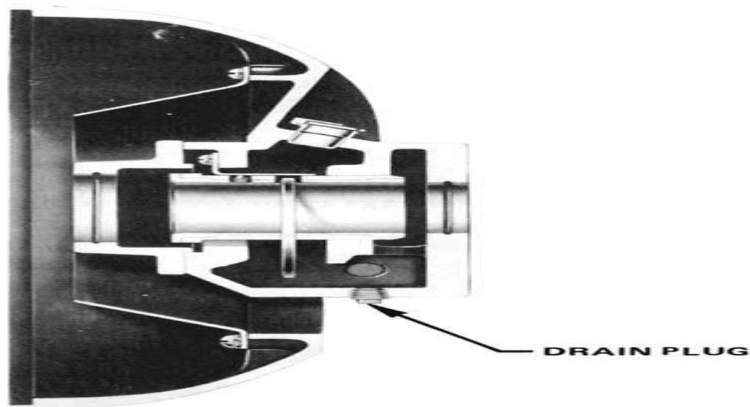
και να ψύχει τον κινητήρα ενώ αυτός λειτουργεί. Επίσης οι ράβδοι του ρότορα μεταξύ των δακτυλίων είναι λοξά προς τα πρόσωπα των δακτυλιδιών. Λόγω αυτού του σχεδιασμού, ο κινητήρας λειτουργεί πιο ήσυχα και ομαλότερα σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας. Στην αριστερή άκρη του άξονα είναι ορατή μία σχισμή. Μια τροχαλία ή ένας σύνδεσμος άξονα φορτίου μπορεί να ασφαλισθεί χρησιμοποιώντας αυτή την σχισμή.

Τα τυπικά ρουλεμάν με μανίκια εμφανίζονται στο Σχήμα 2.8 και Σχήμα 2.9. Τα εσωτερικά τοιχώματα των ρουλεμάν είναι κατασκευασμένα από βαμπίτ μέταλλο (στα αγγλικά ονομάζεται που παρέχει μια ομαλή, γυαλισμένη και μακρόστενη επιφάνεια για τον άξονα του ρότορα. Ένας μεγάλος, υπερμεγέθης δακτύλιος ψεκαστήρας πετρελαίου ταιριάζει χαλαρά γύρω από τον άξονα του δρομέα και επεκτείνεται προς τα κάτω στη δεξιαμενή λαδιού. Αυτός ο δακτύλιος παίρνει και σφίγγει το λάδι στην περιστροφή του άξονα και στις επιφάνειες των εδράνων. Δύο δακτυλίδια λαδιού παρουσιάζονται στο σχήμα 2.10. Αυτό το φιλμ λιπαντικού ελαχιστοποιεί τις

απώλειες τριβής. Ένας χώρος υποδοχής του λαδιού για την επιθεώρηση του λαδιού στο πλάι της κάθε προστατευτικής βάσης επιτρέπει στο προσωπικό συντήρησης να ελέγχει την στάθμη του λαδιού στο έδρανο του μανικιού.

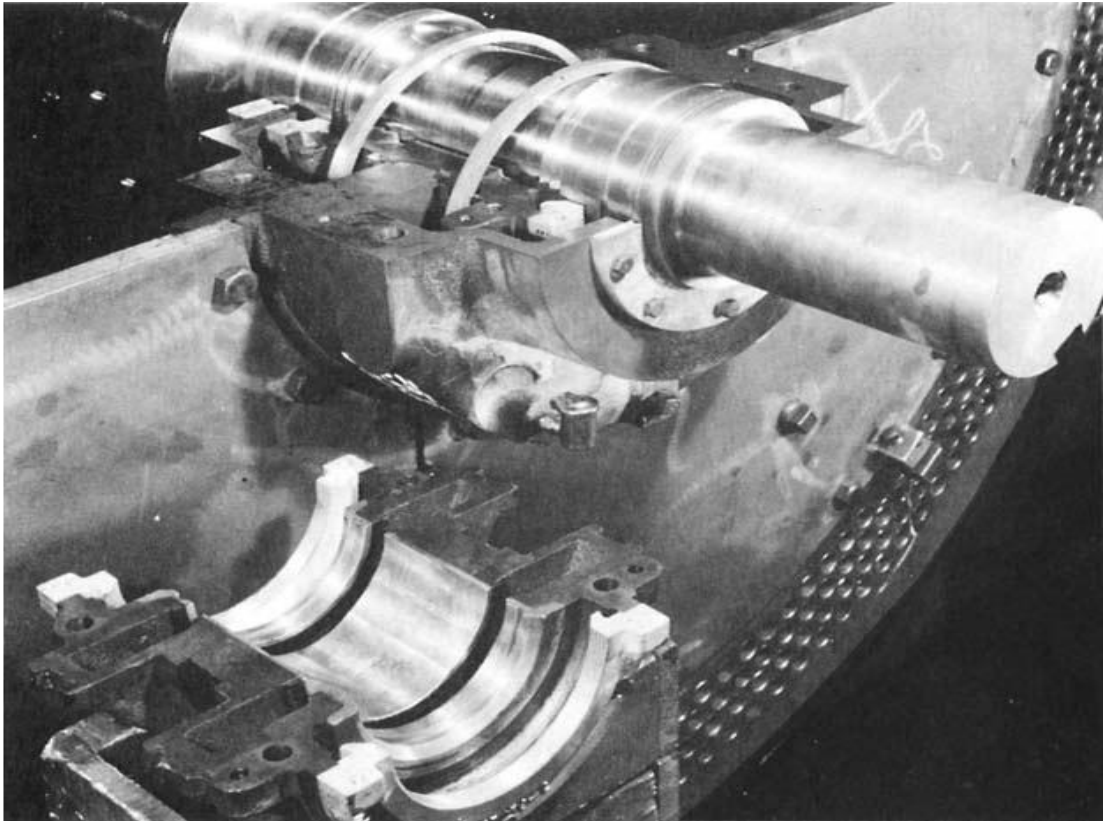


**ΣΧΗΜΑ 2.8**



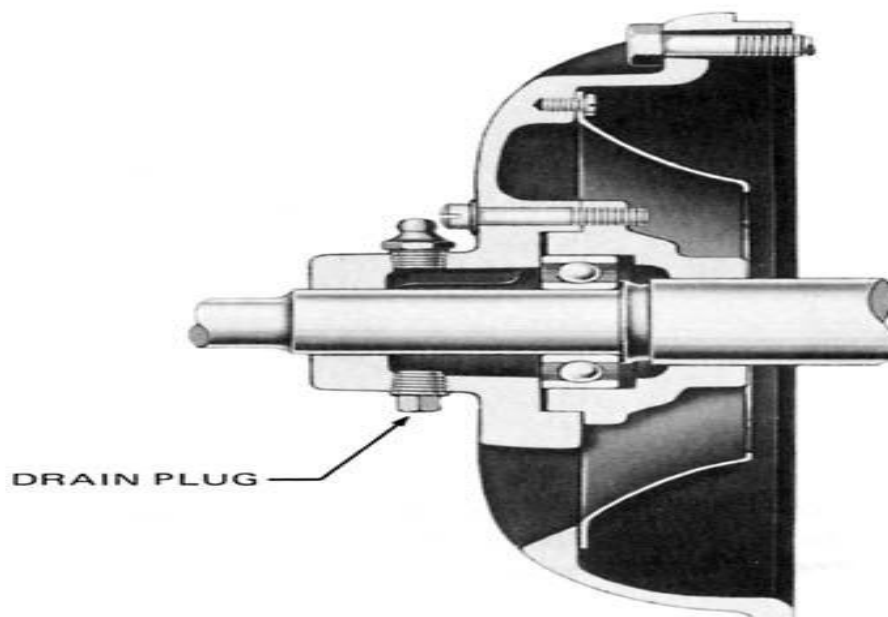
**ΣΧΗΜΑ 2.9**



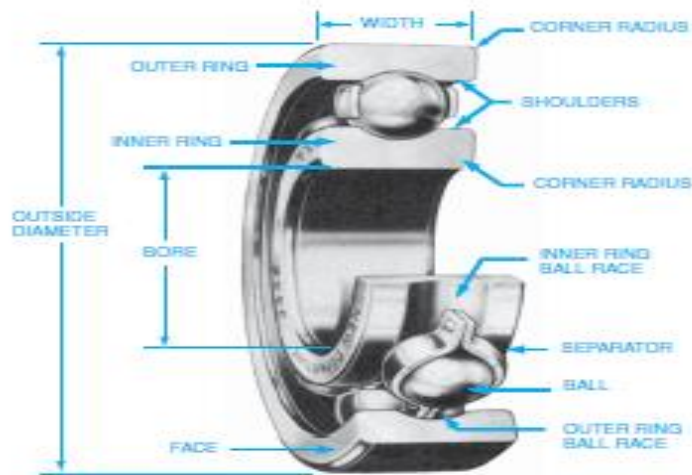


**ΣΧΗΜΑ 2.11**

Τα σχήματα 2.11, 2.12, 2.13 και 2.14 απεικονίζουν μονάδες ρουλεμάν. Σε μερικούς κινητήρες, χρησιμοποιούνται έδρανα με ένσφαιρα ρουλεμάν αντί για ρουλεμάν με μανίκια. Γράσο αντί για λάδι χρησιμοποιείται για τη λίπανση των ένσφαιρων ρουλεμάν. Σε αυτόν τον τύπο ρουλεμάν συνήθως τα δύο τρίτα είναι γεμάτο γράσο τη στιγμή που είναι ο κινητήρας συναρμολογημένος.



**Σχήμα 2.11**

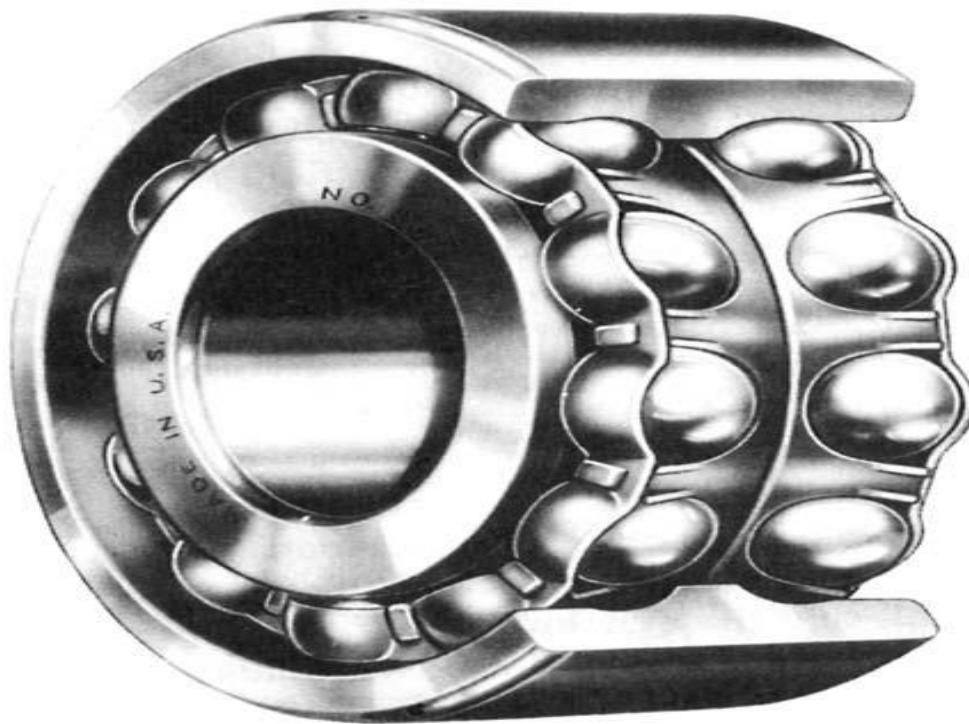


**Σχήμα 2.12**



**Σχήμα 2.13**

Ειδικά εξαρτήματα παρέχονται στο μπροστινό καπάκι του κινητήρα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εξάρτημα λίπανσης για να εφαρμόσουμε πρόσθετο λιπαντικό στις μονάδες των ρουλεμάν σε περιοδικά διαστήματα. Κατά την έγχυση των κυλίνδρων, αφαιρείται το κάτω βύσμα έτσι ώστε το παλιό γράσο να εξαναγκάζεται να βγει προς τα έξω. Συμβουλευόμαστε πάντα τις προδιαγραφές του κατασκευαστή για τον κινητήρα για τον βαθμό του λιπαντικού που συνιστάται, την διαδικασία λίπανσης και τα φορτία των εδράνων.



Σχήμα 2.14

## 2.2:Επαγωγικοί Κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για την κατασκευή του στάτη, οι σχισμές του στάτη στον πυρήνα του περιέχει τρεις ξεχωριστές μονοφασικές περιελίξεις. Όταν τρία ρεύματα διαφέρουν κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες μεταξύ τους και περνούν από αυτές τις περιελίξεις, προκύπτει ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο ταξιδεύει γύρω από το εσωτερικό του πυρήνα του στάτη. Η ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων του στάτη και τη συχνότητα της πηγής. Αυτή η ταχύτητα ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα και καθορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

Εάν ένας τριφασικός κινητήρας επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα έχει έξι πόλους πάνω στις περιελίξεις του στάτη και συνδέεται με μια τριφασική, 60-hertz πηγή, τότε η σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου είναι 1.200 περιστροφές ανά λεπτό (RPM).

Καθώς το μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα, κόβει τις χάλκινες ράβδους του ρότορα και προκαλεί τάσεις στις ράβδους της περιελίξης του επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Αυτές οι επαγόμενες τάσεις δημιουργούν ρεύματα στις ράβδους του ρότορα, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν ένα πεδίο στον πυρήνα του δρομέα.

Αυτό το πεδίο του ρότορα αντιδρά με το πεδίο του στάτη για να προκαλέσει στρέβλωση ή ροπή στρέψης, η οποία γυρίζει το στροφέιο. Ο δρομέας στρέφεται πάντοτε με ταχύτητα ελαφρώς μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα του στάτη. Αυτό σημαίνει ότι το πεδίο του στάτη θα κόβει πάντα τις ράβδους του ρότορα. Αν ο ρότορας έπρεπε να γυρίσει με την ίδια ταχύτητα με το πεδίο του στάτη, το πεδίο του στάτη δεν θα έκοβε τον ρότορα και δεν θα υπήρχε καμία επαγόμενη τάση ή ροπή.

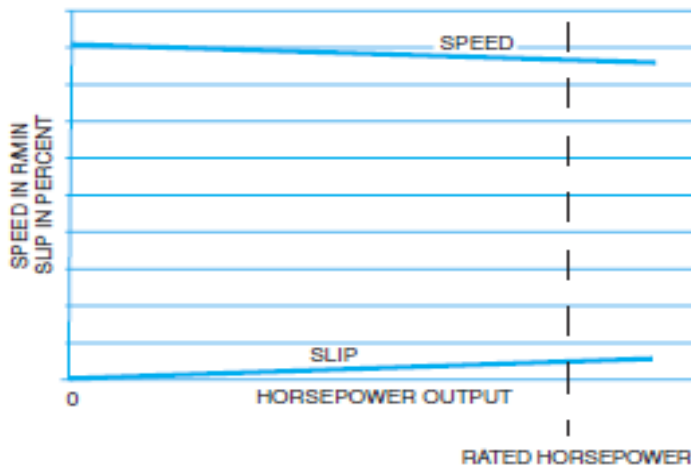
Ο κινητήρας επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα έχει πολύ καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά την ρύθμιση της ταχύτητας (ο λόγος της διαφοράς ταχύτητας από το φορτίο στο πλήρες φορτίο). Η ταχύτητα επιδόσεων μετριέται σε όρους ποσοστού ολίσθησης.

Η σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου του στάτη είναι αυτή που χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς. Θυμηθείτε ότι η σύγχρονη ταχύτητα εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων του στάτη και τη συχνότητα λειτουργίας. Επειδή αυτές οι δύο ποσότητες παραμένουν σταθερές, η σύγχρονη ταχύτητα παραμένει σταθερή. Εάν η ταχύτητα του δρομέα είναι πλήρης που αφαιρείται από την σύγχρονη ταχύτητα του πεδίου του στάτη, η διαφορά είναι ο αριθμός των στροφών ανά λεπτό που ο δρομέας γλιστρά πίσω από το περιστρεφόμενο πεδίο του στάτη. Η διαφορά αυτή εκφράζεται ως ποσοστό ολίσθησης σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Ποσοστό Ολίσθησης} = \frac{\text{σύγχρονη ταχύτητα} - \text{ταχύτητα του δρομέα}}{\text{σύγχρονη ταχύτητα}} \times 100$$

Για έναν κινητήρα επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα, καθώς η τιμή του ποσοστού ολίσθησης μειώνεται προς το ποσοστό 0 τοις εκατό, η απόδοση ταχύτητας του κινητήρα βελτιώνεται. Το μέσο εύρος του ποσοστού ολίσθησης για κινητήρες επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι 2% έως 6%.

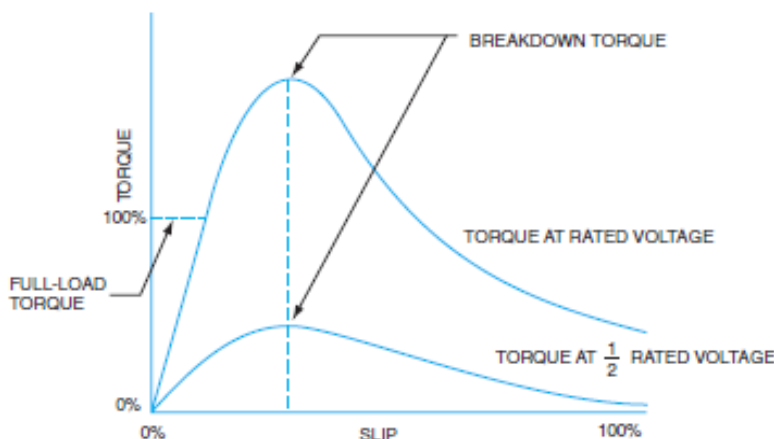
Το σχήμα 2.15 δείχνει μια καμπύλη ταχύτητας και ένα ποσοστό ολίσθησης για έναν επαγωγικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα που λειτουργεί μεταξύ χωρίς φορτίου και πλήρους φορτίου.



**Σχήμα 2.15**

Η ταχύτητα του ρότορα χωρίς φορτίο ολισθαίνει πίσω από την σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου του στάτη τόσο όσο χρειάζεται για να δημιουργήσει τη ροπή που απαιτείται για να ξεπεραστούν οι απώλειες τριβής και οι μηχανικές απώλειες και οι απώλειες περιστροφής χωρίς φορτίο. Ως μηχανικό φορτίο που εφαρμόζεται στον άξονα του κινητήρα, ο δρομέας τείνει να επιβραδύνεται. Αυτό σημαίνει ότι το πεδίο του στάτη (που περιστρέφεται σε σταθερή ταχύτητα) κόβει τις ράβδους του ρότορα σε μεγαλύτερο αριθμό χρόνων σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

Οι επαγόμενες τάσεις στις ράβδους του ρότορα αυξάνονται, με αποτέλεσμα περισσότερο ρεύμα στις ράβδους του ρότορα και ένα ισχυρότερο πεδίο του δρομέα. Μία μεγαλύτερη μαγνητική αντίδραση μεταξύ των πεδίων του στάτη και του ρότορα υπάρχει, πράγμα που προκαλεί ισχυρότερη περιστροφή ή αλλιώς ροπή. Αυτό αυξάνει επίσης το ρεύμα του στάτη από τη γραμμή. Ο κινητήρας είναι σε θέση να χειριστεί το αυξημένο μηχανικό φορτίο με πολύ μικρή μείωση της ταχύτητας του δρομέα. Τυπικές καμπύλες ολίσθησης-ροπής για έναν κινητήρα επαγωγής με σκάλες εμφανίζονται στο Σχήμα 2.16



**Σχήμα 2.16**

Η έξοδος ροπής του κινητήρα σε λίβρες-πόδια (lb-ft) αυξάνεται γραμμικά με μια αύξηση της τιμής του ποσοστού ολίσθησης καθώς το μηχανικό φορτίο αυξάνεται στο σημείο του πλήρους

φορτίου. Πέρα από το πλήρες φορτίο, η καμπύλη ροπής στρέφεται και τελικά φτάνει στο μέγιστο σημείο που ονομάζεται ροπή ανατροπής. Εάν ο κινητήρας φορτωθεί πέρα από αυτό το σημείο, θα υπάρξει να είναι μια αντίστοιχη μείωση της ροπής έως ότου φτάσει το σημείο όπου ο κινητήρας θα σταματήσει. Ωστόσο, όλοι οι κινητήρες επαγωγής πρέπει να έχουν κάποια ολίσθηση για να λειτουργήσουν. Ροπή εκκίνησης δεν εμφανίζεται, αλλά είναι περίπου 300 τοις εκατό της ροπής λειτουργίας για μια γενική κατηγορία αυτών των τύπων AC κινητήρα.

Όταν ένας τριφασικός, επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι συνδεδεμένος σε όλη την έκταση της τάση γραμμής, η τάση εκκίνησης του ρεύματος φτάνει στιγμιαία από 400 έως 1.000 φορές το ποσοστό ή ακόμα και περισσότερο του ονομαστικού ρεύματος πλήρους φορτίου.

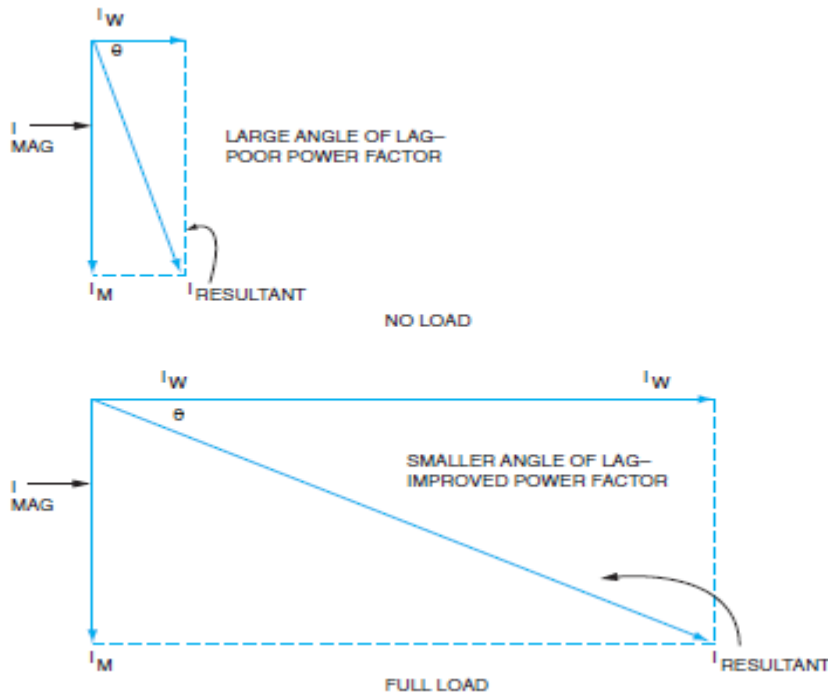
Την στιγμή που ξεκινά ο κινητήρας, ο ρότορας βρίσκεται σε αναμονή. Εκείνη την στιγμή, επομένως, το πεδίο του στάτη κόβει τις ράβδους του ρότορα σε ένα ταχύτερο ρυθμό από ό, τι όταν στρέφεται ο ρότορας. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξουν σχετικά υψηλές επαγόμενες τάσεις στον δρομέα, οι οποίες θα προκαλέσουν μεγάλο ρεύμα στον δρομέα. Το αποτέλεσμα είναι ότι το ρεύμα εισόδου στις περιελίξεις του στάτη θα είναι υψηλό κατά την εκκίνηση. Επειδή από αυτό το υψηλό ρεύμα εκκίνησης, προστατευτική διάταξη κατά την εκκίνηση που βαθμολογείται τόσο υψηλά όσο το 300 τοις εκατό του ονομαστικού ρεύματος πλήρους φορτίου για ασφάλειες μη καθυστέρησης προβλέπεται για εγκαταστάσεις επαγωγικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Οι περισσότεροι κινητήρες επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα ξεκινούν με πλήρη τάση. Εάν υπάρχουν ερωτήσεις σχετικά με την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων σε πλήρη τάση, πρέπει να υπάρξει συνεννόηση με την ίδια την εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περίπτωση που τα τροφοδοτικά και προστατευτικές διατάξεις της συγκεκριμένης εταιρείας ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σε θέση να χειριστούν τα μεγάλα ρεύματα εκκίνησης, τα κυκλώματα εκκίνησης μειωμένης τάσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν με τον κινητήρα.

Ο συντελεστής ισχύος ενός κινητήρα επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα δεν είναι τόσο αποδοτικός σε συνθήκες μη φορτίου και μικρού φορτίου συνθήκες. Σε συνθήκες μη φορτίου ο συντελεστής ισχύος μπορεί να είναι τόσο χαμηλός όσο το 15% μεταφορείας.

Ωστόσο, καθώς το φορτίο εφαρμόζεται στον κινητήρα, αυξάνεται ο συντελεστής ισχύος. Στο ονομαστικό φορτίο, ο συντελεστής ισχύος μπορεί να είναι τόσο υψηλός όσο 85 έως 90 τοις εκατό μεταφορείας.

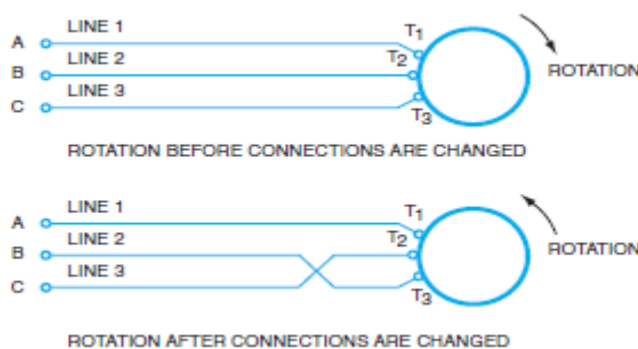
Ο συντελεστής ισχύος χωρίς φορτίο είναι χαμηλός επειδή το στοιχείο μαγνητίσεως του ρεύματος εισόδου το ρεύμα μαγνήτισης αλλιώς, είναι ένα μεγάλο μέρος του συνολικού ρεύματος εισόδου του κινητήρα. Όταν το φορτίο στον κινητήρα αυξάνεται, το ρεύμα το ρεύμα το οποίο βρίσκεται σε φάση που τροφοδοτείται στον κινητήρα αυξάνεται, αλλά η μαγνητική συνιστώσα του ρεύματος παραμένει πρακτικά ίδια. Αυτό σημαίνει ότι η προκύπτουσα γραμμή του ρεύματος είναι σχεδόν σε φάση με την τάση και ο συντελεστής ισχύος βελτιώνεται όταν ο κινητήρας φορτώνεται, σε σύγκριση με έναν μη φορτωμένο κινητήρα. Το σχήμα 2.17 δείχνει την αύξηση του συντελεστή ισχύος από μια κατάσταση χωρίς φορτίο σε πλήρες φορτίο.



**Σχήμα 2.17**

Στο διάγραμμα χωρίς φορτίο, το ρεύμα εντός φάσης ( $I_W$ ) είναι μικρό σε σύγκριση με το ρεύμα μαγνήτισης που συμβολίζεται με  $I_M$ . Επομένως, ο συντελεστής ισχύος είναι χαμηλός χωρίς φορτίο. Στο διάγραμμα πλήρους φορτίου, το ρεύμα εντός φάσης έχει αυξηθεί ενώ το μαγνητικό ρεύμα παραμένει το ίδιο. Σαν αποτέλεσμα, η γωνία καθυστέρησης του ρεύματος γραμμής μειώνεται και αυξάνεται ο συντελεστής ισχύος.

Η κατεύθυνση περιστροφής ενός κινητήρα επαγωγής τριών φάσεων μπορεί εύκολα να αντιστραφεί. Ο κινητήρας περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση εάν αντιστραφούν οποιεσδήποτε δύο από τους τρεις αγωγούς. Οι αγωγοί αντιστρέφονται στον κινητήρα.



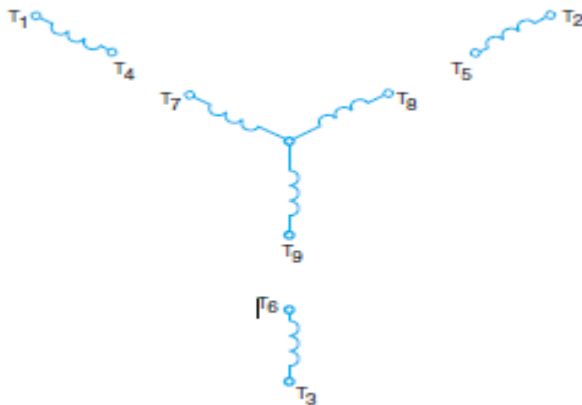
**ΣΧΗΜΑ 2.18**

Ένας κινητήρας επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα δεν έχει σχεδόν καμία διακύμανση ταχύτητας χωρίς κάποιον εξωτερικό έλεγχο. Τονίζεται εδώ ότι η ταχύτητα του κινητήρα εξαρτάται από τη συχνότητα των τριών φάσεων και τον αριθμό των πόλων της περιέλιξης του στάτη

Η συχνότητα της γραμμής τροφοδοσίας είναι συνήθως 60 hertz στις Ηνωμένες Πολιτείες, και είναι που διατηρείται σε αυτή την ονομαστική τιμή από την τοπική εταιρεία παροχής ηλεκτρικού

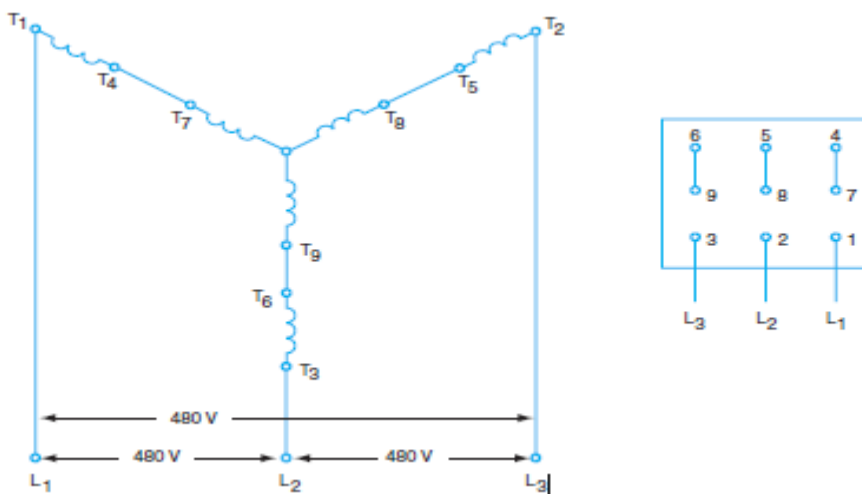
ρεύματος. Επειδή ο αριθμός των πόλων στον κινητήρα είναι επίσης μια σταθερή τιμή, η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα παραμένει σταθερή. Ως αποτέλεσμα, είναι αδύνατο να αποκτήσετε ένα εύρος ταχύτητας χωρίς να αλλάξετε την εφαρμοζόμενη συχνότητα. Μπορεί να ελεγχθεί από ένα ηλεκτρονικό σύστημα μετάδοσης εναλλασσόμενου ρεύματος AC ή από αλλάζοντας τον αριθμό πόλων χρησιμοποιώντας εξωτερικούς ελεγκτές.

Πολλοί τριφασικοί κινητήρες επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε δύο διαφορετικές τιμές τάσης. Για παράδειγμα, μια τυπική διαβάθμιση διπλής τάσης για έναν τριφασικό επαγωγικό κινητήρα είναι 240/480 βολτ.



**Σχήμα 2.19**

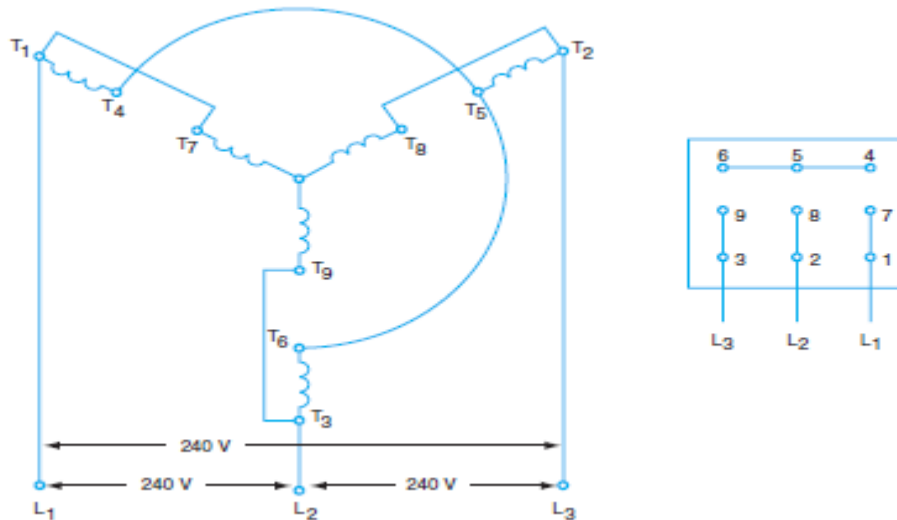
Το Σχήμα 2.19 δείχνει μια τυπική περιέλιξη στάτη συνδεδεμένη κατά αστέρα για την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε 240 βολτ, τριφασική, είτε 480 βολτ, τριφασική. Κάθε μία από τις τρεις μονοφασικές περιελίξεις αποτελούνται από δύο περιελίξεις πηνίων. Εννέα καλώδια εξέρχονται εξωτερικά από τον συγκεκριμένο τύπος περιέλιξης στάτη. Αυτά τα καλώδια, που αναγνωρίζονται ως αγωγοί με αρίθμηση από 1 έως 9 αντίστοιχα, τελειώνουν στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα. Για να επισημάνουμε τους ακροδέκτες, ξεκινάμε από τον άνω αριστερό ακροδέκτη T1 και προχωράμε σε μία περιστροφή κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μια σπείρα προς το κέντρο, σημειώνοντας κάθε γραμμή όπως υποδεικνύεται στην σχήμα.



**Σχήμα 2.20**



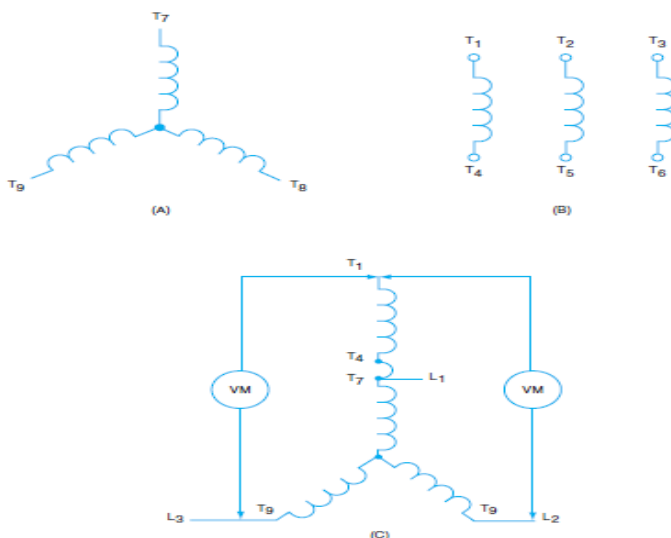
Το σχήμα 2.20 δείχνει τις συνδέσεις που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός κινητήρα από ένα καλώδιο 480 V, τριών φάσεων. Τα δύο πηνία κάθε μονοφασικής περιέλιξης συνδέονται σε σειρά.



**Σχήμα 2.21**

Το σχήμα 2.21 δείχνει τις συνδέσεις για να επιτύχουμε τη λειτουργία από μια τριφασική πηγή 240 volt.

Αν τα αναγνωριστικά των φορών περιέλιξης των γραμμών ενός κινητήρα εννέα γραμμών(διπλής τάσης), τριών φάσεων, με σύνδεση κατά αστέρα έχουν καταστραφεί, ο ηλεκτρολόγος πρέπει να τα αναγνωρίσει ξανά πριν συνδέσει τον κινητήρα στη γραμμή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη μέθοδος.



**Σχήμα 2.22 (A)-(B)-(C)**

Πρώτον, προσδιορίζουμε το εσωτερικό συνδεδεμένο σημείο του αστέρα ελέγχοντας για συνέχεια μεταξύ τριών καλωδίων όπως στο Σχήμα 2.22 (A). Κατόπιν προσδιορίζουμε τα άλλα τρία σύνολα πηνίων ακολουθώντας τη συνέχεια ανάμεσα σε δύο καλώδια κάθε φορά, που φαίνεται στο σχήμα 2.22 (B). Εκχωρήσουμε τα T7, T8 και T9 σε οποιοδήποτε από τα τρία καλώδια των μόνιμων περιστρεφόμενων πηνίων (A). Εφαρμόζουμε την κατώτερη ονομαστική τάση γραμμής για τον κινητήρα σε T7, T8, και T9 και τον λειτουργούμε για να ελέγξουμε την κατεύθυνση περιστροφής.

Αποσυνδέουμε την τάση της γραμμής και την συνδέουμε σε ένα από τα απροσδιόριστα πηνία στο T7. Επανασυνδέουμε την παροχή ρεύματος, αφήνοντας τις γραμμές στα T7, T8, και T9. Εάν το πηνίο είναι σωστά συνδεδεμένο και είναι το σωστό πηνίο, πρέπει η τάση να είναι περίπου 1,5 φορές την τάση γραμμής μεταξύ του χαλαρού άκρου και των άλλων δύο γραμμών. Προσέχουμε την τάσης γραμμής.

Εάν το σωστό πηνίο έχει επιλεγεί αλλά έχει αντιστραφεί, η τάση μεταξύ του χαλαρού άκρου και των άλλων δύο αγωγών θα είναι περίπου 58 τοις εκατό της τάσης γραμμής. Εάν υπάρχει λάθος σπείρωμα επιλεγμένο σπείρωμα, οι διαφορές τάσης μεταξύ του χαλαρού άκρου και των δύο αγωγών των δύο γραμμών θα είναι άνισες. Βλέπε Σχήμα 2.22 (C).

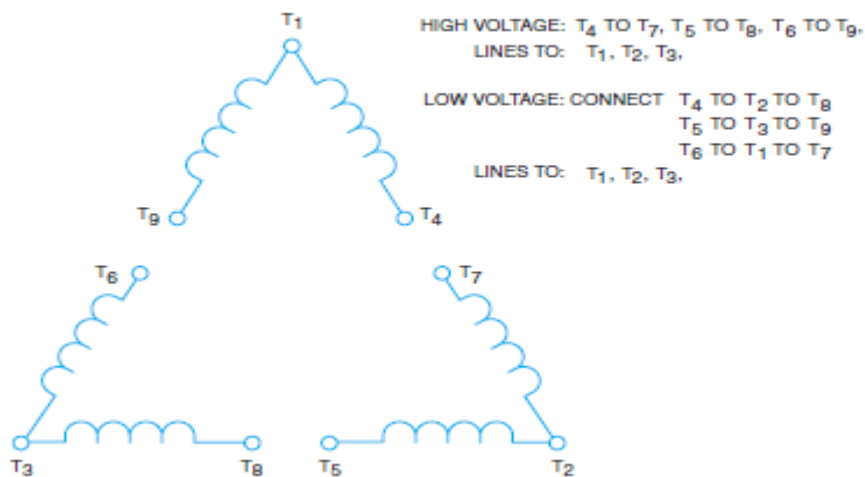
Όταν οι μετρήσεις είναι ίσες και περίπου 1,5 φορές την τάση της γραμμής, σημειώνουμε το πρωτεύον άκρο του πηνίου που συνδέεται με το T7 ως T4 και το άλλο άκρο του πηνίου ως T1. Εκτελούμε τις ίδιες δοκιμές με ένα άλλο πηνίο συνδεδεμένο με το T8. Σημειώνουμε αυτούς τους οδηγούς T5 και T2. Εκτελούμε την ίδια δοκιμή με το τελευταίο πηνίο που είναι συνδεδεμένο με το T9 για να αναγνωρίσουμε τα πρωτεύον άκρα T3 και T6. Συνδέουμε το L1 με το T1, το L2 με το T2, το L3 με το T3, το T4 με το T7, το T5 με το T8, το T6 με το T9 και, στη συνέχεια, λειτουργούμε τον κινητήρα. Ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί αθόρυβα προς την ίδια κατεύθυνση όπως προηγουμένως.

Ένα άλλο μοτίβο σύνδεσης για τους τριφασικούς κινητήρες είναι ο κινητήρας που συνδέεται κατά τρίγωνο(αλλιώς δέλτα). Το τρίγωνο ονομάζεται έτσι επειδή το προκύπτον σχηματικό μοτίβο μοιάζει με το δέλτα ελληνικής γραμματοσειράς ( $\Delta$ ). Μια μέθοδος αναγνώρισης και σύνδεσης αυτών των οδηγών είναι απαραίτητη επειδή αυτό το μοτίβο είναι διαφορετικό από τον κινητήρα που συνδέεται κατά αστέρα ή αλλιώς σύμφωνα με την αγγλική ονομασία κατά wye.

Συνδέοντας σωστά τους αγωγούς ενός τριφασικού κινητήρα διπλής τάσης συνδεδεμένου κατά τρίγωνο εάν είναι κατεστραμμένες οι σημάσεις των πρωτεύον άκρων θα αναδείξει ένα πρόβλημα.

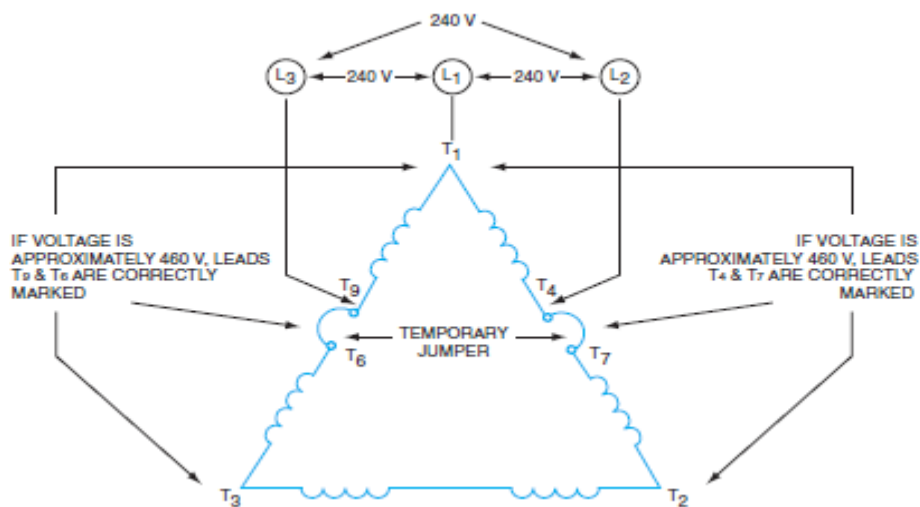
Πρώτον, ο ηλεκτρολόγος πρέπει να καθορίσει εάν ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος κατά τρίγωνο ή συνδέεται κατά αστέρα. Και οι δύο κινητήρες έχουν εννέα καλώδια αν είναι κινητήρες διπλής τάσης. Ωστόσο, αυτός που είναι συνδεδεμένος κατά τρίγωνο έχει τρία σύνολα τριών αγωγών που έχουν συνέχεια, ενώ ο κινητήρας που είναι συνδεδεμένος κατά αστέρα έχει μόνο ένα σύνολο τριών αγωγών.

Αφού διαπιστωθεί ότι ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος κατά τρίγωνο, ένα ευαίσθητο ωμόμετρο χρειάζεται για να βρεθεί η μέση της κάθε ομάδας των τριών οδηγών αγωγών. Οι τιμές του ωμόμετρου είναι χαμηλές όταν χρησιμοποιείται η ισχύς συνεχούς ρεύματος για το ωμόμετρο, γι 'αυτό δίνουμε μεγάλη προσοχή στην αναγνώριση του κέντρου της κάθε ομάδας των αγωγών.



**ΣΧΗΜΑ 2.23**

Σημαδεύουμε το κέντρο κάθε ομάδας T1, T2, και T3, αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας ταινία κάλυψης, επισημάνουμε προσωρινά τους άλλους αγωγούς της ομάδας T1 ως T4 και T9 (βλ. Σχήμα 2.23). Σημειώνουμε προσωρινά τα άκρα της ομάδας T2 ως T5 και T7 και σημειώνουμε επίσης τα άκρα της T3 ως T6 και T8. Συνδέουμε τη χαμηλότερη ονομαστική τάση κινητήρα χρησιμοποιώντας τις γραμμές 1, 2 και 3 έως T1, T4 και T9. Τα άλλα πηνία θα έχουν δημιουργήσει μια επαγόμενη τάση, οπότε προσέχουμε να μην αγγίζουμε τα υπόλοιπα χαλαρά καλώδια μεταξύ τους ή με εμάς τους ίδιους! Αποσυνδέουμε την παροχή ρεύματος και συνδέουμε το άκρο με την ένδειξη T4 στο T7. Επανασυνδέουμε την παροχή ρεύματος και όπως και πριν διαβάζουμε την τάση μεταξύ T1 και T2. Εάν οι σημάνσεις είναι σωστές, η τάση θα πρέπει να είναι περίπου διπλάσιο από την εφαρμοζόμενη τάση γραμμής. Αν είναι περίπου 1,5 φορές την τάση γραμμής, επανασυνδέουμε το άκρο T4 με το άκρο του αγωγού με την ένδειξη T5. Αν η τάση T1 έως T2 μεταβεί τότε στην τάση γραμμής, επανασυνδέουμε το άκρο T9 του αγωγού με το άκρο T7 του αγωγού, αντιστρέφοντας έτσι και τα δύο πηνία. Όταν η τάση T1 έως T2 ισούται δύο φορές την εφαρμοζόμενη τάση γραμμής, σημειώνουμε τους αγωγούς που συνδέονται μεταξύ τους ως T4 από την ομάδα T1 συνδεδεμένη με την T7 της ομάδας T2.



**ΣΧΗΜΑ 2.24**

Τώρα χρησιμοποιούμε την τρίτη ομάδα πηνίων. Αφήνουμε την κατώτερη τάση γραμμής συνδεδεμένη με την πρώτη όπως πριν. Ελέγχουμε και συνδέουμε τους αγωγούς έτσι ώστε όταν το T9 είναι συνδεδεμένο με ένα καλώδιο της τρίτης ομάδα, η τάση T1-T3 να είναι διπλάσια από την εφαρμοζόμενη τάση γραμμής. Σημειώνουμε το πρωτεύον άκρο του αγωγού T9 που συνδέεται και ως T6 και το άλλο άκρο της ομάδας πηνίων ως T8.

Για διπλό έλεγχο, αποσυνδέουμε το καλώδιο γραμμής από το T9 και το επανασυνδέουμε στο T7. Αποσυνδέουμε το καλώδιο γραμμής από το T1 και να το επανασυνδέουμε στο T2. αποσυνδέουμε το καλώδιο γραμμής από το T4 και το επανασυνδέουμε με το T5. Ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί στην ίδια κατεύθυνση όπως και πριν. Εάν δεν το κάνει, επανεξετάζουμε τα σημάδια οδηγιών.

Για να ελέγξουμε περαιτέρω, μετακινούμε τους αγωγούς γραμμής από T7 σε T8, από T5 σε T6, και από T2 σε T3. Εκκινούμε τον κινητήρα. Η περιστροφή πρέπει να είναι ίδια με τα προηγούμενα βήματα. Μεγάλη προσοχή καθώς η τάση προκαλείται σε άλλες περιελίξεις. (Βλ. Σχήμα 2.24)

Οι πινακίδες τύπου κινητήρα παρέχουν πληροφορίες απαραίτητες για την σωστή επιλογή και εγκατάσταση του κινητήρα. Τα πιο χρήσιμα δεδομένα που αναγράφονται στην πινακίδα αναφέρονται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις πληροφορίες και χρησιμοποιώντας το NationalElectricalCode®, ο ηλεκτρολόγος μπορεί να καθορίσει τον αγωγό, το καλώδιο και τα μεγέθη προστασίας εκκίνησης και λειτουργίας. (Το NEC® παρέχει ελάχιστες απαιτήσεις.)

Τα στοιχεία σχεδιασμού και απόδοσης στην πινακίδα τύπου είναι χρήσιμα στο προσωπικό συντήρησης. Οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την ταχεία και σωστή αντικατάσταση του κινητήρα, εάν είναι απαραίτητο. Για καλύτερη κατανόηση του κινητήρα, τυπικές πληροφορίες που βρέθηκαν στον κινητήρα οι πινακίδες κυκλοφορίας περιγράφονται εδώ (Σχήμα 2.25):

MANUFACTURER'S NAME		
INDUCTION MOTOR		
MADE IN U.S.A.		
SERIAL NO.	TYPE	MODEL
HP	FRAME	SV. FACTOR
AMPS	VOLTS	INSUL.
RPM	HERTZ	kVA
DUTY	PHASE	TEMP C°
NEMA NOM. EFF.	dBA/NOISE	THERMAL-PROTECTED SEALED BEARINGS

### Σχήμα 2.25

- Το όνομα του κατασκευαστή.
- Ο τύπος προσδιορίζει τον τύπο του περιβλήματος. Αυτή είναι η κωδικοποιημένη ταυτότητα του κατασκευαστή
  - Ο σειριακός αριθμός είναι η συγκεκριμένη αναγνώριση κινητήρα. Αυτός είναι ο ατομικός αριθμός που αντιστοιχεί σε έναν αριθμό κοινωνικής ασφάλισης για ένα άτομο. Διατηρείται από τον κατασκευαστή.

- Ο αριθμός μοντέλου είναι ένα πρόσθετο αναγνωριστικό κατασκευαστή, που χρησιμοποιείται συνήθως για σκοπούς παραγγελίας.

- Το μέγεθος του πλαισίου προσδιορίζει τις μετρήσεις του κινητήρα.

- Συντελεστής υπηρεσίας (ή SF). Ένα SF 1.0 σημαίνει ότι ο κινητήρας δεν πρέπει να αναμένεται να παραδίδει περισσότερο από την ονομαστική ιπποδύναμη του. Ο κινητήρας θα λειτουργήσει με ασφάλεια αν λειτουργεί στις ονομαστικές ώρες ιπποδύναμης του SF, το μέγιστο. Τα κοινά SF είναι 1,0 έως 1,15. Τότε συνιστάται ο κινητήρας να μην λειτουργεί συνεχώς στην περιοχή SF. Αυτό μπορεί να ελαττώσει το προσδόκιμο ζωής του συστήματος μόνωσης.

- Αμπέρ σημαίνει το ρεύμα που ρέει από τη γραμμή όταν ο κινητήρας λειτουργεί ονομαστική τάση και συχνότητα στην ονομαστική ιπποδύναμη ονομαστικής πινακίδας.

- Τα βολτ θα πρέπει να είναι η τιμή που μετρείται στα τερματικά του κινητήρα και για την οποία ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί.

- Η κατηγορία της μόνωσης αναφέρεται στο μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται για την περιέλιξη του κινητήρα του στάτη. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα κλάσης B, η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας είναι 130 ° C. για την κατηγορία F, είναι 155 ° C. και για την κατηγορία H, είναι 180 ° C. Αυτό είναι η μέγιστη θερμοκρασία του πηνίου του κινητήρα.

- RPM σημαίνει την ταχύτητα σε περιστροφές ανά λεπτό όταν όλες οι άλλες συνθήκες πινακίδας κυκλοφορίας ικανοποιούνται.

- Hertz είναι η συχνότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για την οποία είναι ο κινητήρας σχεδιασμένος. Η απόδοση θα μεταβληθεί αν λειτουργεί σε άλλες συχνότητες.

- Περίοδος είναι ο κύκλος λειτουργίας στον οποίο ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια. "Συνεχής" σημαίνει ότι ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει πλήρως φορτωμένος 24 ώρες την ημέρα. Αν εμφανίζεται το "ενδιάμεσο", εμφανίζεται επίσης ένα χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει το μοτέρ μπορούν να λειτουργούν με πλήρες φορτίο για την καθορισμένη περίοδο. Ο κινητήρας θα πρέπει τότε να είναι σταματημένος και να τον αφήσουμε να κρυώσει πριν ξαναρχίσει.

- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος καθορίζει τη μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος στον αέρα την οποία ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει για να παραδώσει την ονομαστική ιπποδύναμη.

- Η φάση υποδεικνύει τον αριθμό των φάσεων τάσης στις οποίες έχει σχεδιαστεί ο κινητήρας να λειτουργεί.

- Το kVA είναι ένα γράμμα που υποδεικνύει τον κλειδωμένο δρομέα kVA ανά ιπποδύναμη. Αυτό είναι που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εξοπλισμού εκκίνησης και της προστασίας του κινητήρα. Ένα γράμμα κώδικα πίνακα βρίσκεται στον Εθνικό Ηλεκτρικό Κώδικα®430.7 (B).

- Η απόδοση εκφράζεται ως ποσοστό. Αυτή η τιμή βρίσκεται στους τυπικούς κινητήρες ως καθώς και κινητήρες υψηλής απόδοσης.

- Θόρυβος. Ορισμένοι κινητήρες είναι σχεδιασμένοι για εκπομπές χαμηλού θορύβου. Το επίπεδο θορύβου που δίνεται στην πινακίδα μετράται σε μονάδες ήχου "dBA".

- Οι σημειώσεις του κατασκευαστή αναφέρουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των κινητήρων, όπως "θερμικά προστατευμένα" και / ή "κλιμακωτά έδρανα".

- Το γράμμα σχεδιασμού είναι κωδικοποιημένο γράμμα του κατασκευαστή για το σχεδιασμό του κινητήρα που επηρεάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Πέντε τυπικές ταξινομήσεις είναι σχέδια A, B, Γ, Δ, και E. Κάθε σχέδιο έχει μια ειδική καμπύλη ταχύτητας έναντι ροπής και χρησιμοποιείται για διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογών. Το σχέδιο B είναι το πιο

κοινό. Το σχέδιο E είναι ένας σχεδιασμός υψηλής απόδοσης και απαιτεί ειδικές παραμέτρους εγκατάστασης.

Οι εγγυήσεις των κατασκευαστών για τις τυπικές αξιολογήσεις των κινητήρων βασίζονται συνήθως στη λειτουργία σε οποιοδήποτε υψόμετρο έως και τα 3.300 πόδια. Κινητήρες κατάλληλοι για λειτουργία σε υψόμετρο υψηλότερο από 3.300 πόδια πάνω από τη θάλασσα είναι ειδικού σχεδιασμού ή / και έχουν διαφορετική κατηγορία μόνωσης. Για παράδειγμα, τυποποιημένοι κινητήρες με SF 1.15 μπορούν να λειτουργούν μέχρι υψόμετρο 9.900 πόδια χρησιμοποιώντας το SF. Σε υψόμετρο 9.900 ft, το SF θα είναι 1.00. Μπορεί να είναι απαραίτητο να μειώσουμε τον κινητήρα ή χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο μέγεθος πλαισίου.

### 2.3:Επαγωγικοί Κινητήρες Τυλιγμένου Δρομέα

Οι κινητήρες τυλιγμένου δρομέα χρησιμοποιούν ένα ειδικά κατασκευασμένο εναλλασσόμενο κινητήρα ρεύματος για να επιτύχουν έλεγχο ταχύτητας. Οι περιελίξεις του δρομέα του κινητήρα εξέρχονται από τον κινητήρα μέσω δακτυλίων ολίσθησης στον άξονα του δρομέα. Το σχήμα 2.26 δείχνει ένα στοιχειώδες διάγραμμα ενός περιστρεφόμενου κινητήρα τυλιγμένου δρομέα με ρυθμιζόμενη ταχύτητα. Αυτές οι περιελίξεις συνδέονται με έναν ελεγκτή που τοποθετεί μεταβλητές αντιστάσεις σε σειρά με τις περιελίξεις. Η απόδοση ροπής του κινητήρα μπορεί να ελέγχεται χρησιμοποιώντας αυτές τις μεταβλητές αντιστάσεις. Οι κινητήρες περιστρεφόμενου στροφέα είναι πιο συνηθισμένοι στα μεγαλύτερα μεγέθη, δηλαδή 300 hp και άνω.

Οι κινητήρες περιστρεφόμενου δρομέα έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, τα οποία τα καθιστούν κατάλληλα για μια ποικιλία πολλών εφαρμογών:

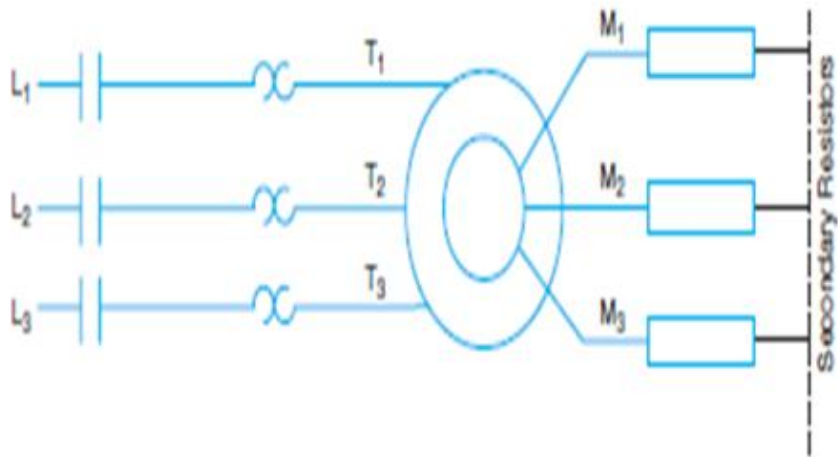
- **ΚΟΣΤΟΣ**-Το αρχικό κόστος είναι μέτριο για τις μονάδες υψηλής ιπποδύναμης.
- **ΕΛΕΓΧΟΣ**-Δεν χρειάζεται να ελέγχεται όλη η ισχύς, με αποτέλεσμα να επαρκεί ένας κινητήρας μέτριου μεγέθους και ένας απλός ελεγκτής.
- **ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ** - Η απλή κατασκευή του κινητήρα και ο έλεγχος προσφέρεται για συντήρηση χωρίς την ανάγκη υψηλού επιπέδου εκπαίδευσης.
- **ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ**-Ο κινητήρας λειτουργεί ικανοποιητικά στα φορτία υψηλής αδρανείας.

Οι κινητήρες περιστρεφόμενου δρομέα έχουν επίσης μειονεκτήματα:

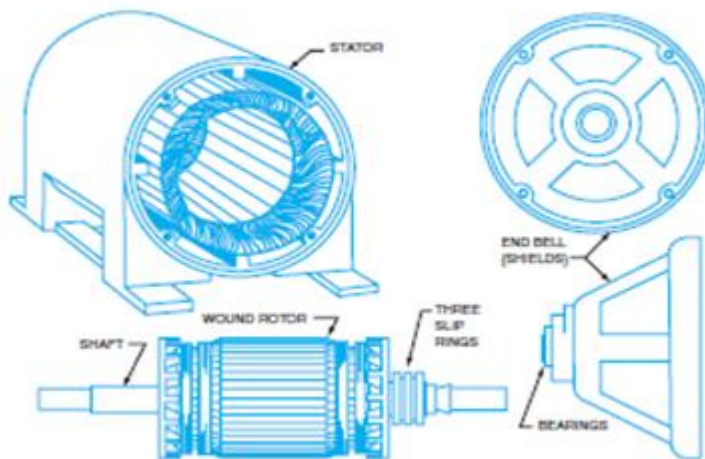
- **ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ** - Ο κινητήρας έχει δρομέα τυλιγμένο με σύρμα και δακτυλίδια ολίσθησης, και δεν είναι άμεσα διαθέσιμος.
- **ΑΠΟΔΟΣΗ**-Ο κινητήρας δεν διατηρεί υψηλή απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες.
- **ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ**-Η μονάδα δίσκου συνήθως περιορίζεται σε μια περιοχή ταχύτητας δύο προς μία.

Ένας τριφασικός κινητήρας επαγωγής τυλιγμένου δρομέα αποτελείται από έναν πυρήνα του στάτη με ένα τριφασικό τύλιγμα περιτύλιγμα, περιστρεφόμενο δρομέα με δακτυλίδια ολίσθησης, ψήκτρες και θήκες ψηκτρών και δύο προστατευτικά στα άκρα για να στεγάζουν τα ρουλεμάν που υποστηρίζουν τον άξονα του δρομέα.

Τα σχήματα 2.27, 2.28, 2.29, και 2.30 δείχνουν τα βασικά μέρη ενός τριφασικού, επαγωγικού κινητήρα τυλιγμένου δρομέα.



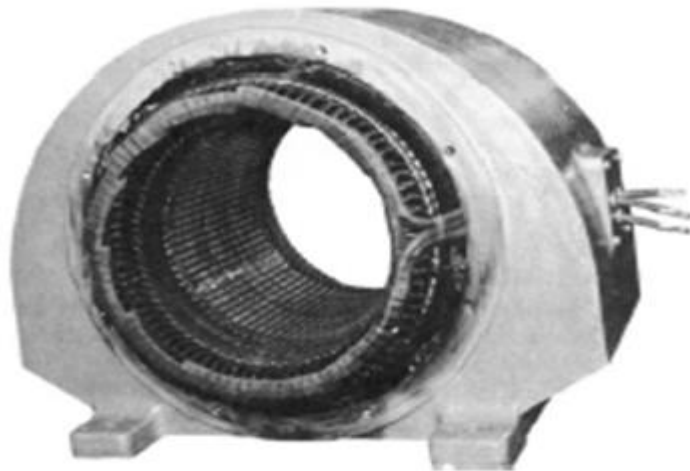
ΣΧΗΜΑ 2.26



ΣΧΗΜΑ 2.27

Ένας τυπικός στάτης περιέχει μια τριφασική περιέλιξη που συγκρατείται στη θέση της στις εγχοπές ενός ελασματοποιημένου στοιχείου χάλυβα, που φαίνεται στο σχήμα 2.27. Η περιέλιξη αποτελείται από διατεταγμένα διαμορφωμένα πηνία





**ΣΧΗΜΑ 2.28**

και συνδέονται έτσι ώστε τρεις μονοφασικές περιελίξεις να απέχουν 120 ηλεκτρικές μοίρες μεταξύ τους. Οι ξεχωριστές μονοφασικές περιελίξεις συνδέονται είτε σε διάταξη αστέρα είτε σε διάταξη τριγώνου. Τρεις αγωγοί γραμμής εξάγονται σε κουτί ακροδεκτών τοποθετημένο στο πλαίσιο του κινητήρα. Αυτή είναι η ίδια κατασκευή με τον στάτη ενός κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

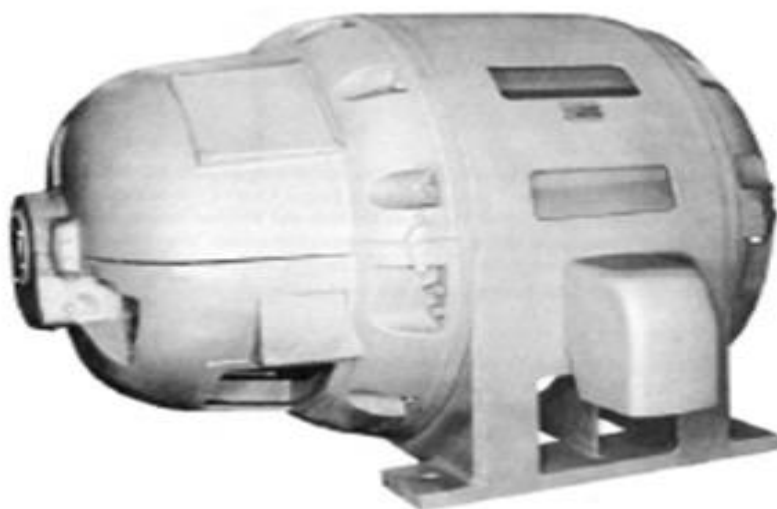
Ο δρομέας αποτελείται από έναν κυλινδρικό πυρήνα που αποτελείται από χαλύβδινα φύλλα. Οι σχισμές που κόβονται στον κυλινδρικό πυρήνα συγκρατούν τα σχηματισμένα πηνία σύρματος για την περιέλιξη του δρομέα. Η περιέλιξη του δρομέα αποτελείται από τρία μονοφασικά τυλίγματα που απέχουν 120 ηλεκτρικές μοίρες σε απόσταση μεταξύ τους. Οι μονοφασικές περιελίξεις συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο. (η περιέλιξη του δρομέα πρέπει να έχει τον ίδιο αριθμό πόλων με την περιέλιξη του στάτη.) Τα τρία καλώδια από την τριφασική περιέλιξη του δρομέα τερματίζονται σε τρεις δακτυλίους ολίσθησης που είναι τοποθετημένοι στον άξονα του δρομέα. Οι γραμμές από τις ψήκτρες άνθρακα που οδηγούν σε αυτά τα δακτυλίδια ολίσθησης συνδέονται με εξωτερικό ελεγκτή ταχύτητας για να μεταβάλλουν την αντίσταση του δρομέα για τον έλεγχο της ταχύτητας.



**ΣΧΗΜΑ 2.29**

Οι ψήκτρες συγκρατούνται σταθερά στους δακτυλίους ολίσθησης του περιστρεφόμενου δρομέα με ρυθμιζόμενα ελατήρια τοποθετημένα στις υποδοχές των ψηκτρών. Οι υποδοχές των ψηκτρών είναι σταθεροί σε μία θέση. Για αυτού του τύπου κινητήρα, δεν είναι απαραίτητο να αλλάζετε τη θέση των ψηκτρών όπως απαιτείται μερικές φορές σε γεννήτρια DC και κινητήρα.

Το πλαίσιο κινητήρα είναι κατασκευασμένο από χυτοχάλυβα. Ο πυρήνας του στάτη πιέζεται κατευθείαν στο πλαίσιο. Δύο προστατευτικά στα άκρα είναι βιδωμένα στο χυτό χαλύβδινο πλαίσιο. Ένα από τα προστατευτικά στο ένα άκρο είναι μεγαλύτερο από αυτό στο άλλο άκρο, επειδή πρέπει να στεγάζει τις υποδοχές των ψηκτρών και τις ψήκτρες που οδηγούν στους δακτυλίους ολίσθησης του περιστρεφόμενου δρομέα. Επιπλέον, περιέχει συχνά αφαιρούμενα καλύμματα ελέγχου.



**ΣΧΗΜΑ 2.30**

Η διάταξη έδρασης είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται σε κινητήρες επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα. Είτε τα ρουλεμάν με μανίκια είτε οι μονάδες ρουλεμάν χρησιμοποιούνται στις άκρες των προστατευτικών.

Όταν τρία ρεύματα, 120 ηλεκτρικές μοίρες χωριστά, περνούν από τις τρεις ενιαίες φάσεις στις σχισμές των περιελίξεων του πυρήνα του στάτη, αναπτύσσεται ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο περιστρέφεται γύρω από τον στάτη. Η ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων του στάτη και τη συχνότητα της πηγής ενέργειας. Αυτή η ταχύτητα ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα. Καθορίζεται με την εφαρμογή του τύπου που χρησιμοποιείται για την εύρεση της σύγχρονης ταχύτητας του περιστρεφόμενου πεδίου των κινητήρων επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα.

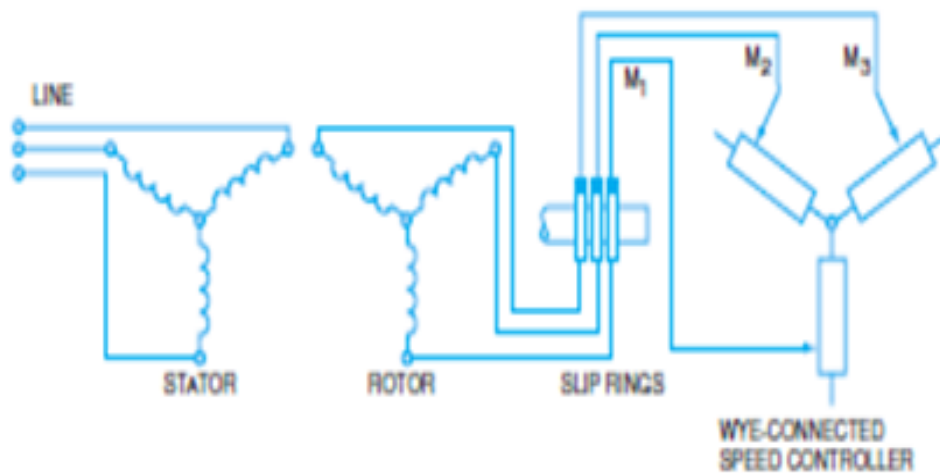
$$\text{Σύγχρονη ταχύτητα σε στροφές ανά λεπτό} = \frac{120 \times f}{P}$$

Όπου  $f$ : η συχνότητα του δικτύου από το οποίο θα τροφοδοτηθεί ο κινητήρας

$P$ : ο αριθμός των πόλων του κινητήρα

Καθώς το περιστρεφόμενο πεδίο κινείται με σύγχρονη ταχύτητα, κόβει την τριφασική περιέλιξη του στάτη και προκαλεί τάσεις σε αυτή την περιέλιξη. Η περιέλιξη του δρομέα συνδέεται με τους

τρεις δακτυλίους ολίσθησης που είναι τοποθετημένοι στον άξονα του δρομέα. Οι βούρτσες που οδηγούν στους δακτυλίους ολίσθησης συνδέονται



**ΣΧΗΜΑ 2.31**

σε μια εξωτερική ομάδα αντιστάσεων (ελεγκτής ταχύτητας) που συνδέεται με τον αστέρα, που φαίνεται στο σχήμα 2.31

Οι επαγόμενες τάσεις στις περιελίξεις του δρομέα ρυθμίζουν τα ρεύματα που ακολουθούν μια κλειστή διαδρομή από την περιέλιξη του δρομέα στον ελεγκτή ταχύτητας που συνδέεται με τον αστέρα. Τα ρεύματα του δρομέα δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο στον πυρήνα του δρομέα σύμφωνα με τη δράση του μετασχηματιστή. Αυτό το πεδίο του δρομέα αντιδρά με το πεδίο στάτη για να αναπτυχθεί η ροπή που προκαλεί την περιστροφή του δρομέα. Ο ελεγκτής ταχύτητας ονομάζεται μερικές φορές και ως ελεγκτής δευτερογενούς αντίστασης

Για να ξεκινήσει ο κινητήρας, εισάγεται όλη η αντίσταση του ελεγκτή ταχύτητας συνδεδεμένου με τον αστέρα στο κύκλωμα του δρομέα. Το κύκλωμα στάτη ενεργοποιείται από τη γραμμή τριών φάσεων. Η τάση που προκαλείται στον δρομέα αναπτύσσει ρεύματα στο κύκλωμα του δρομέα.

Τα ρεύματα του δρομέα, ωστόσο, έχουν περιορισμένη τιμή από την αντίσταση του ρυθμιστή ταχύτητας. Ως αποτέλεσμα, το ρεύμα του στάτη έχει επίσης περιορισμένη τιμή. Με άλλα λόγια, για να ελαχιστοποιηθεί η εκκίνηση του ρεύματος σε έναν κινητήρα επαγωγής περιελίξεως περιστρεφόμενου κυλίνδρου, εισάγεται η πλήρης αντίσταση του ελεγκτή στροφών στο κύκλωμα του δρομέα. Η ροπή εκκίνησης επηρεάζεται από την αντίσταση που εισάγεται στο δευτερεύον του δρομέα.

Με αντίσταση στο δευτερεύον του δρομέα, ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι υψηλός ή κοντά στην μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του δρομέα είναι σχεδόν σε φάση με την τάση που προκαλείται από τον δρομέα. Αν το ρεύμα του δρομέα είναι σε φάση με την τάση που προκαλείται από τον δρομέα, τότε οι μαγνητικοί πόλοι του δρομέα παράγονται ταυτόχρονα με τους πόλους του στάτη. Αυτό δημιουργεί ένα ισχυρό μαγνητικό αποτέλεσμα, που δημιουργεί μια ισχυρή ροπή εκκίνησης. Καθώς ο κινητήρας επιταχύνει, τα βήματα των αντιστάσεων στον ελεγκτή ταχύτητας που συνδέεται με το αστέρα μπορεί να αποκοπούν από το κύκλωμα του δρομέα μέχρι ο κινητήρας να επιταχύνει στις ονομαστικές στροφές του.

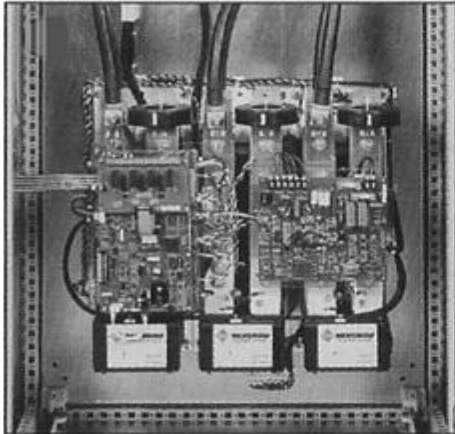
Η εισαγωγή αντίστασης στο κύκλωμα του δρομέα δεν περιορίζει μόνο την αύξηση του ρεύματος εκκίνησής του αλλά παράγει επίσης υψηλή ροπή εκκίνησης και παρέχει ένα μέσο ρύθμισης της ταχύτητας. Αν η πλήρης αντίσταση του ρυθμιστή ταχύτητας έχει εισαχθεί στο κύκλωμα του δρομέα όταν ο κινητήρας λειτουργεί, το ρεύμα του δρομέα μειώνεται και ο κινητήρας επιβραδύνεται. Καθώς στον δρομέα μειώνεται η ταχύτητα, προκαλείται περισσότερη τάση στις περιελίξεις του δρομέα και αυξάνεται το ρεύμα του δρομέα που αναπτύχθηκε για να δημιουργήσει την απαραίτητη ροπή με μειωμένη ταχύτητα.

Αν απομακρυνθεί όλη η αντίσταση από το κύκλωμα του δρομέα, η ταχύτητα του ρεύματος και του κινητήρα αυξάνουν. Ωστόσο, η ταχύτητα του δρομέα είναι πάντα μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα του πεδίου που αναπτύχθηκε από τις περιελίξεις του στάτη. Αυτό ισχύει και για τον επαγωγικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Η ταχύτητα ενός κινητήρα περιστρεφόμενου δρομέα μπορεί να ελέγχεται χειροκίνητα ή αυτόματα με ρελέ χρονισμού, επαφά και ηλεκτρονικό έλεγχο ταχύτητας.

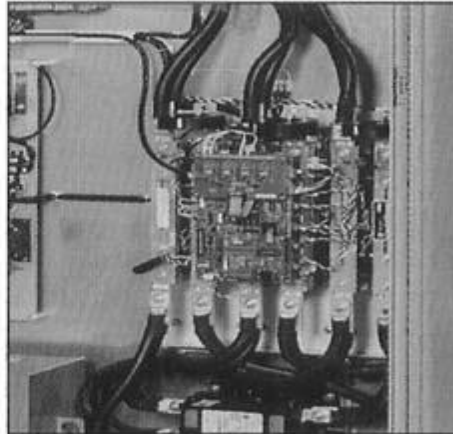
Μέσω της χρήσης ελεγκτών στερεάς κατάστασης, ο κινητήρας του περιστρεφόμενου δρομέα μπορεί να ξεκινήσει με την πλήρη δευτερεύουσα αντίσταση στο κύκλωμα και στη συνέχεια η ισχύς εισόδου ελέγχεται επίσης έτσι ώστε να παρέχει ομαλή επιτάχυνση και μέγιστη ροπή.

Καθώς ο κινητήρας φτάνει στην πλήρη τάση εισόδου, οι δευτερεύουσες αντιστάσεις μπορούν να αφαιρεθούν από το κύκλωμα και ο κινητήρας θα λειτουργήσει με παρόμοια χαρακτηριστικά με έναν κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Όταν η αντίσταση επανεισάγεται στο δευτερεύον κύκλωμα, η ταχύτητα του κινητήρα επιβραδύνεται και η κύρια ηλεκτρονική μονάδα μπορεί επίσης να είναι προσαρμοσμένη ώστε να παρέχει σταδιακή ρύθμιση ταχύτητας. Το σχήμα 2.32 δείχνει έναν ελεγκτή ταχύτητας.



**SMRSM6: Synchronous (Bypass)**

- ◆ RSM6B with integrated/programmable synchronous excitation controls
- ◆ Automatic power factor control
- ◆ Also available as stand-alone synchronous excitation package

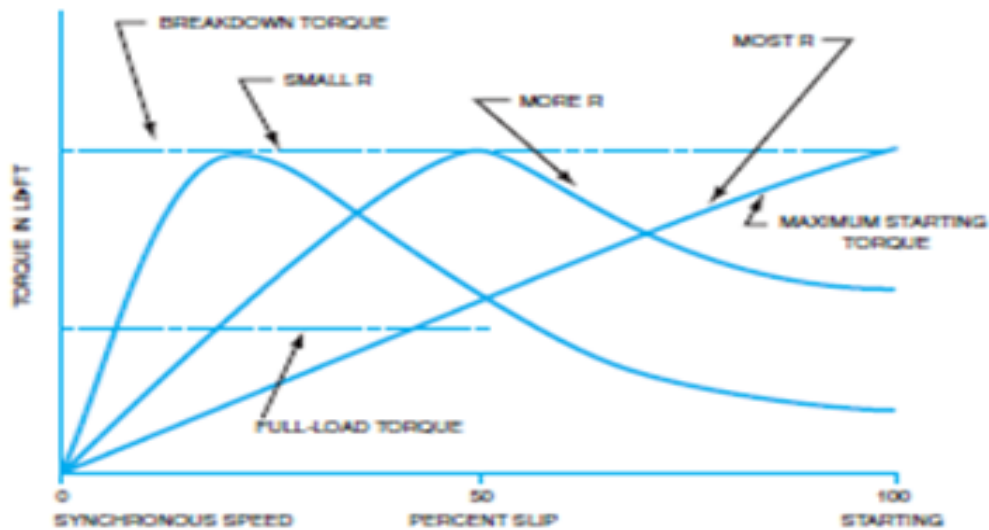


**WRSM6: Wound Rotor**

- ◆ RSM6 with integrated/programmable wound rotor controls
- ◆ High torque starting or speed control

**ΣΧΗΜΑ 2.32**

Καθώς το φορτίο εφαρμόζεται στον κινητήρα, τόσο το ποσοστό ολίσθησης του δρομέα όσο και η ροπή στρέψης που αναπτύχθηκε στον δρομέα αυξάνεται. Όπως φαίνεται στο γράφημα στο σχήμα 2.33, η σχέση μεταξύ της ροπής και του ποσοστού ολίσθησης είναι ουσιαστικά μια ευθεία γραμμή. Το Σχήμα 2.33 δείχνει ότι η απόδοση ροπής ενός κινητήρα επαγωγής περιστρεφόμενου δρομέα



**ΣΧΗΜΑ 2.33**

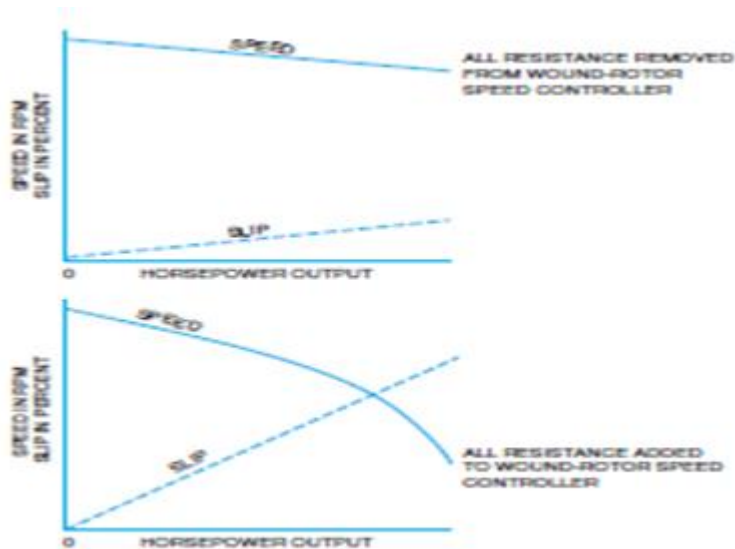
είναι καλός όποτε η πλήρης αντίσταση του ρυθμιστή ταχύτητας έχει εισαχθεί στο κύκλωμα του δρομέα.

Η μεγάλη αντίσταση στο κύκλωμα του δρομέα καθιστά το ρεύμα του δρομέα σχεδόν σε φάση με την επαγόμενη τάση του δρομέα. Ως αποτέλεσμα, το πεδίο που δημιουργήθηκε από το ρεύμα του δρομέα είναι σχεδόν σε φάση με το πεδίο στάτη. Αν τα δύο πεδία φτάσουν στην μέγιστη τιμή την ίδια στιγμή, θα υπάρξει μια ισχυρή μαγνητική αντίδραση που θα οδηγήσει σε υψηλή ροπή εξόδου.

Ωστόσο, εάν απομακρυνθεί όλη η αντίσταση του ελεγκτή ταχύτητας από το κύκλωμα του δρομέα και ο κινητήρας είναι σε λειτουργία, η απόδοση ροπής είναι κακή. Το κύκλωμα του δρομέα μείον την αντίσταση του ελεγκτή ταχύτητας συνίσταται σε μεγάλο βαθμό στην επαγωγική αντίδραση. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του δρομέα υστερεί πίσω από την επαγόμενη τάση του δρομέα και έτσι το ρεύμα του δρομέα υστερεί το ρεύμα του στάτη. Ως αποτέλεσμα, το πεδίο δρομέα που δημιουργείται από το ρεύμα του δρομέα υστερεί πίσω από το πεδίο του στάτη που έχει ρυθμιστεί από το ρεύμα στάτη.

Η προκύπτουσα μαγνητική αντίδραση των δύο πεδίων είναι σχετικά μικρή επειδή φθάνουν τις μέγιστες τιμές τους σε διαφορετικά σημεία. Συμπερασματικά η έξοδος ροπής εκκίνησης ενός κινητήρα επαγωγής περιελισσόμενου δρομέα είναι κακή όταν όλη η αντίσταση αφαιρείται από το κύκλωμα του δρομέα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εισαγωγή αντιστάσεων στον ελεγκτή ταχύτητας βελτιώνει την ροπή εκκίνησης ενός κινητήρα περιστρεφόμενου δρομέα σε χαμηλές ταχύτητες. Ωστόσο, υπάρχει ένα αντίθετο



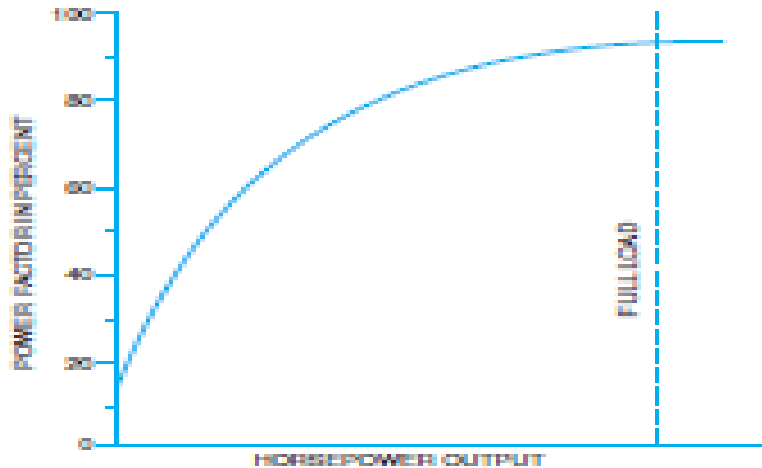
**ΣΧΗΜΑ 2.34**

αποτέλεσμα σε κανονικές ταχύτητες. Με άλλα λόγια, η ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα είναι φτωχότερη όταν η αντίσταση προστίθεται στο κύκλωμα του δρομέα σε υψηλότερη ταχύτητα. Για το λόγο αυτό, η αντίσταση του ρυθμιστή ταχύτητας αφαιρείται καθώς ο κινητήρας φτάνει μέχρι την ονομαστική του ταχύτητα.

Το Σχήμα 2.34 δείχνει την απόδοση ταχύτητας ενός κινητήρα επαγωγής περιστροφικού δρομέα. Η καμπύλη χαρακτηριστικών ταχύτητας που προκύπτει όταν αποκοπεί όλη η αντίσταση από τον ελεγκτή ταχύτητας δείχνει σχετικά καλή ρύθμιση της ταχύτητας. Το δεύτερο χαρακτηριστικό της καμπύλης ταχύτητας, που προκύπτει όταν έχει εισαχθεί όλη η αντίσταση στον ελεγκτή ταχύτητας, είναι η εμφανής μείωση της ταχύτητας καθώς το φορτίο αυξάνεται. Αυτό δείχνει την κακή ρύθμιση της ταχύτητας.

Ο συντελεστής ισχύος ενός κινητήρα επαγωγής περιστροφικού δρομέα χωρίς φορτίο είναι τόσο χαμηλός όσο το 15% έως 20% καθυστέρηση. Ωστόσο, καθώς το φορτίο εφαρμόζεται στον κινητήρα, ο συντελεστής ισχύος βελτιώνεται και αυξάνεται σε 85 τοις εκατό έως 90 τοις εκατό υστέρηση στο ονομαστικό φορτίο.

Το σχήμα 2.35 δείχνει ένα γράφημα της απόδοσης του συντελεστή ισχύος ενός περιστρεφόμενου δρομέα επαγωγικού κινητήρα από κατάσταση μη φορτίου έως και το πλήρες φορτίο. Ο συντελεστής ισχύος χαμηλής απόκλισης στην περίπτωση που δεν υπάρχει



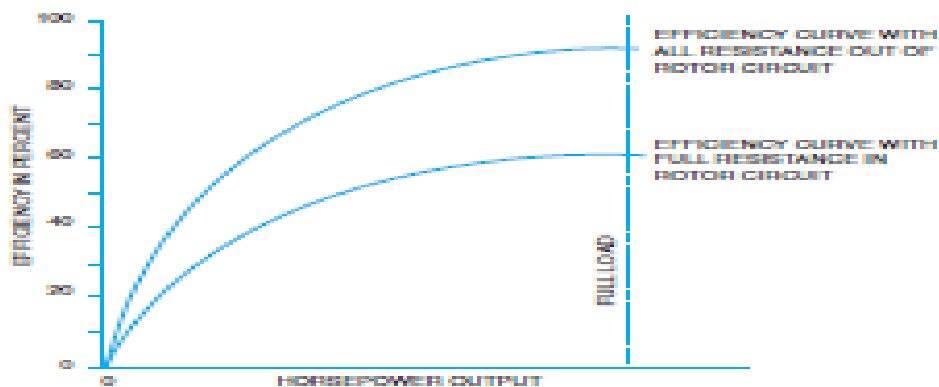
**ΣΧΗΜΑ 2.35**

κανένα φορτίο οφείλεται στο γεγονός ότι το συστατικό μαγνητίσεως του ρεύματος φορτίου είναι πολύ σημαντικό μέρος του συνολικού ρεύματος του κινητήρα. Η μαγνητική συνιστώσα του ρεύματος φορτίου μαγνητίζει το σίδηρο, προκαλώντας αλληλεπίδραση μεταξύ του δρομέα και του στάτη λόγω της αμοιβαίας επαγωγής.

Καθώς το μηχανικό φορτίο στο μοτέρ αυξάνεται, το μέρος του ρεύματος που είναι σε φάση αυξάνει για να μπορέσει να καλύψει τις αυξημένες απαιτήσεις της παροχής ισχύος. Το μαγνητικό μέρος του ρεύματος παραμένει το ίδιο όμως. Επειδή το συνολικό ρεύμα του κινητήρα είναι τώρα σχεδόν σε φάση με την τάση γραμμής, υπάρχει μια βελτίωση του παράγοντα ισχύος.

Τόσο ένας επαγωγικός κινητήρας τυλιγμένου δρομέα κινητήρα με ολόκληρη την αντίσταση αποκομμένη από τον ελεγκτή ταχύτητας όσο και ένας επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα έχουν σχεδόν την ίδια απόδοση. Ωστόσο, όταν ένας κινητήρας πρέπει να λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες με όλη την αντίσταση αποκομμένη από το κύκλωμα του δρομέα, η απόδοση του κινητήρα είναι φτωχή εξαιτίας της απώλειας ισχύος σε watts στις αντιστάσεις του ρυθμιστή ταχύτητας.

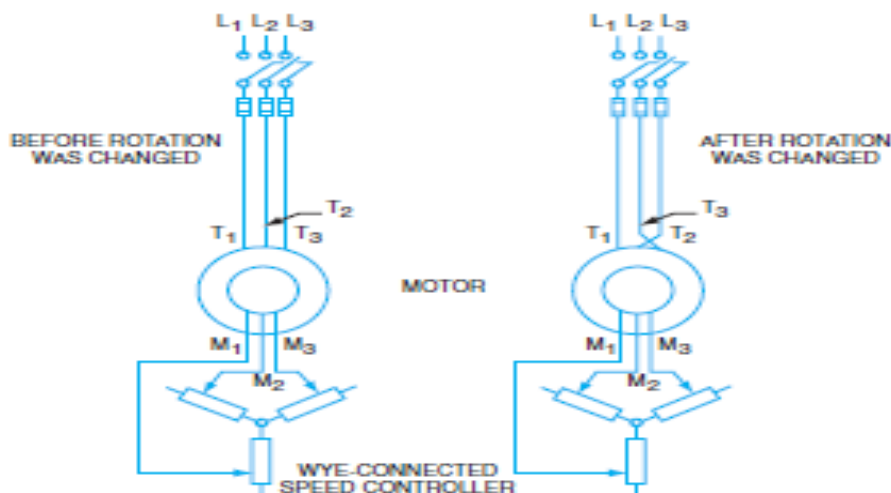
Το σχήμα 2.36 απεικονίζει την απόδοση ενός κινητήρα επαγωγής περιστρεφόμενου –δρομέα. Η ανώτερη καμπύλη δείχνει τα υψηλότερα αποτελέσματα απόδοσης κατά την λειτουργία όταν ο ελεγκτής ταχύτητας βρίσκεται σε γρήγορη θέση και δεν υπάρχει αντίσταση στο κύκλωμα του δρομέα.



**ΣΧΗΜΑ 2.36**

Η χαμηλότερη καμπύλη δείχνει την χαμηλότερη λειτουργική απόδοση. Αυτό συμβαίνει όταν ο ρυθμιστής ταχύτητας βρίσκεται σε αργή θέση και κάθε αντίσταση του ελεγκτή εισάγεται στο κύκλωμα του δρομέα.

Η κατεύθυνση περιστροφής ενός κινητήρα επαγωγής περιστρεφόμενου-δρομέα αντιστρέφεται με εναλλαγή στις συνδέσεις οποιωνδήποτε δύο από τους τρεις αγωγούς γραμμής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.37



**ΣΧΗΜΑ 2.37**

Αυτή η διαδικασία είναι ίδια με τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την αντιστροφή της κατεύθυνσης περιστροφής ενός επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Ο ηλεκτρολόγος δεν θα πρέπει ποτέ να προσπαθήσει να αντιστρέψει την κατεύθυνση περιστροφής ενός επαγωγικού κινητήρα τυλιγμένου δρομέα αντικαθιστώντας οποιοδήποτε από τα καλώδια τροφοδοσίας από τους δακτυλίους ολίσθησης στον ρυθμιστή ταχύτητας. Οι αλλαγές στις συνδέσεις αυτές δεν θα αντιστρέψουν την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα.

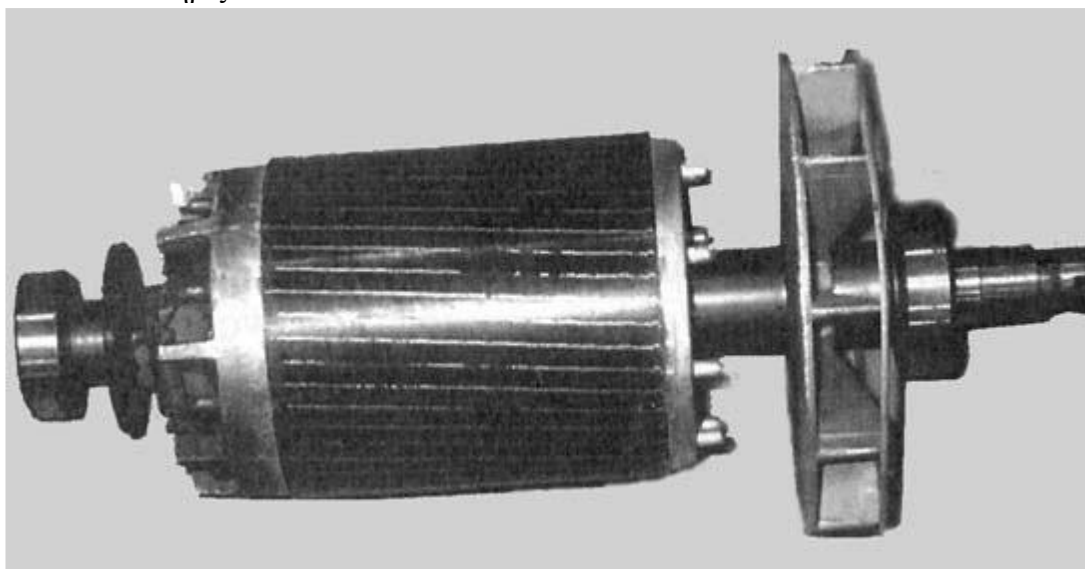


## 2.4:Μονοφασικοί Επαγωγικοί Κινητήρες

Οι δύο κύριοι τύποι μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων είναι ο κινητήρας χωριστής φάσης και ο κινητήρας πυκνωτών. Και οι δύο τύποι μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων έχουν συνήθως ένα μια κλασματική ιπποδύναμη.

Ο κινητήρας χωριστής φάσης χρησιμοποιείται για τη λειτουργία συσκευών όπως το πλύσιμο μηχανημάτων, μικρές αντλίες νερού, καυστήρες πετρελαίου και άλλους τύπους μικρών φορτίων που δεν απαιτούν μια ισχυρή ροπή εκκίνησης. Ο κινητήρας πυκνωτών γενικά χρησιμοποιείται με συσκευές που απαιτούν μια ισχυρή ροπή εκκίνησης, όπως ψυγεία και συμπιεστές. Και οι δύο τύποι μονοφασικών επαγωγικών κινητήρων είναι σχετικά χαμηλοί στο κόστος, έχουν μια τραχιά κατασκευή και εκθέτουν μια καλή λειτουργική απόδοση.

Ο επαγωγικός κινητήρας χωριστής φάσης βασικά αποτελείται από στάτη, ρότορα, φυγόκεντρο διακόπτη που βρίσκεται στο εσωτερικό του κινητήρα, δύο ακραίες ασπίδες που στεγάζουν τα ρουλεμάν που υποστηρίζουν



**ΣΧΗΜΑ 2.38**

τον άξονα του ρότορα και ένα χυτό χαλύβδινο πλαίσιο μέσα στο οποίο πιέζεται ο πυρήνας του στάτη. Τα δύο άκρα των ασπίδων είναι βιδωμένα στο χυτό χαλύβδινο πλαίσιο. Τα ρουλεμάν που στεγάζονται στις άκρες των ασπίδων κρατούν τον δρομέας κεντραρισμένο με τον στάτορα έτσι ώστε να περιστρέφεται με ελάχιστη τριβή και χωρίς να συγκρούεται ή να τρίβεται με τον πυρήνα του στάτορα.

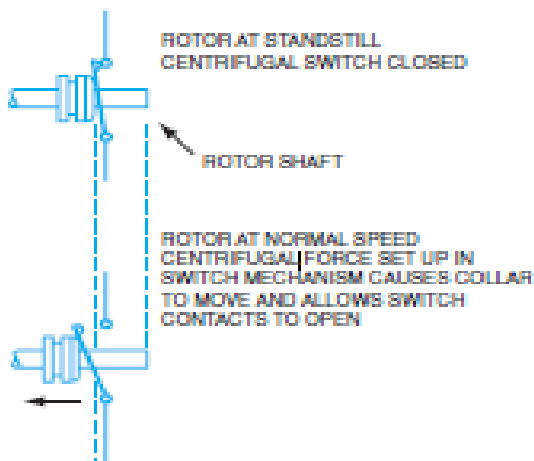
Ο στάτης για έναν κινητήρα χωριστής φάσης αποτελείται από δύο περιελίξεις που συγκρατούνται στη θέση τους στις εγκοπές ενός ελασματοποιημένου πυρήνα από χάλυβα. Οι δύο περιελίξεις αποτελούνται από μονωμένα πηνία που διανέμονται και είναι συνδεδεμένα για να σχηματίσουν δύο περιελίξεις χωρισμένες σε απόσταση 90 ηλεκτρικών μοιρών.

Το ένα τύλιγμα είναι η τρέχουσα περιέλιξη και το δεύτερο τύλιγμα είναι το τύλιγμα εκκίνησης. Η τρέχουσα περιέλιξη αποτελείται από μονωμένο χάλκινο σύρμα τοποθετημένο στο κάτω μέρος των θέσεων εγκοπών του στάτορα. Το μέγεθος του καλωδίου στην περιέλιξη εκκίνησης είναι μικρότερο από το μέγεθος της τρέχουσας περιέλιξης. Αυτά τα πηνία τοποθετούνται στην κορυφή των τρεχόντων πηνίων περιέλιξης στις σχισμές του στάτορα πλησιέστερα στον στροφέα.

Τόσο οι τρέχουσες περιελίξεις όσο και της εκκίνησης είναι συνδεδεμένες παράλληλα με την μονοφασική γραμμή όταν ενεργοποιείται ο κινητήρας. Αφού ο κινητήρας επιταχύνει σε ταχύτητα ίση με περίπου τα δύο τρίτα έως τα τρία τέταρτα της ονομαστικής ταχύτητας, η περιέλιξη εκκίνησης είναι αποσυνδεδεμένη αυτόματα από τη γραμμή μέσω ενός φυγοκεντρικού διακόπτη.

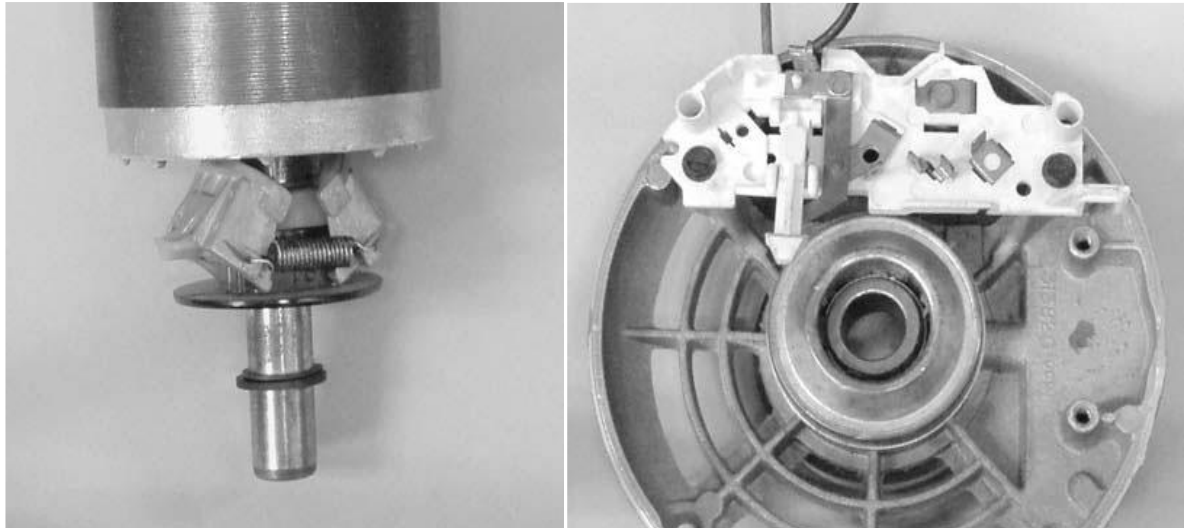
Ο ρότορας για τον κινητήρα χωριστής φάσης έχει την ίδια κατασκευή με τον τριφασικό, κινητήρα επαγωγής με σκίουρος δηλαδή, ο ρότορας αποτελείται από έναν κυλινδρικό πυρήνα συναρμολογούμενο από χαλύβδινα ελάσματα. Οι ράβδοι χαλκού τοποθετούνται κοντά στην επιφάνεια του δρομέα. Οι ράβδοι συγκολλούνται σε δύο δακτυλίους από χαλκό. Σε ορισμένους κινητήρες, ο ρότορας είναι μια μονοκόμματη μονάδα αλουμινίου.

Το Σχήμα 2.38 δείχνει ένα τυπικό ρότορα τύπου κλωβού-σκίουρου για μονοφασικό επαγωγικό κινητήρα. Αυτός ο τύπος ρότορα απαιτεί ελάχιστη συντήρηση επειδή δεν υπάρχουν περιελίξεις, βούρτσες, δακτύλιοι ολίσθησης ή μεταλλάκτες. Στο σχήμα ο ανεμιστήρας του ρότορα είναι μέρος του κλωβού σκίουρου της συναρμολόγησης ρότορα. Αυτοί οι ανεμιστήρες στροφέα διατηρούν την κυκλοφορία του αέρα μέσω του κινητήρα για να αποτρέψουν την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας των περιελίξεων. Ο φυγοκεντρικός διακόπτης είναι τοποθετημένος μέσα στο μοτέρ. Ο φυγοκεντρικός διακόπτης αποσυνδέει την περιέλιξη εκκίνησης όταν το στροφείο φτάνει σε μια προκαθορισμένη ταχύτητα, συνήθως τα δύο τρίτα με τρία τέταρτα της ονομαστικής ταχύτητας. Ο διακόπτης αποτελείται από ένα σταθερό και ένα περιστρεφόμενο μέρος. Το ακίνητο τμήμα είναι τοποθετημένο σε μία από τις ακριανές ασπίδες και έχει δύο επαφές που ενεργούν



**ΣΧΗΜΑ 2.39**

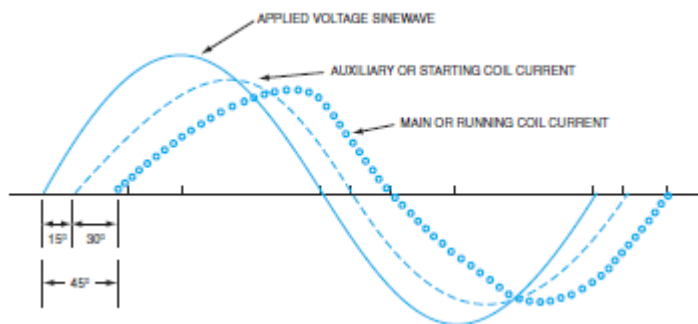
όπως ένας μονοπολικός διακόπτης μίας ρίψης. Το περιστρεφόμενο τμήμα του φυγοκεντρικού διακόπτη είναι τοποθετημένο στον δρομέα. Ένα απλό διάγραμμα της λειτουργίας του φυγοκεντρικού διακόπτη εμφανίζεται στο Σχήμα 2.39. Όταν ο ρότορας βρίσκεται σε αναμονή, η πίεση της του ελατηρίου πάνω στον δακτύλιο του περιστρεφόμενου τμήματος διατηρεί τις επαφές κλειστές. Όταν ο δρομέας φτάνει περίπου στα τρία τέταρτα της ονομαστικής ταχύτητας, η φυγοκεντρική δράση του ρότορα προκαλεί την απελευθέρωση του ελατηρίου και της προηγούμενης πίεσής του στον δακτύλιο και τις επαφές να ανοίξουν. Ως αποτέλεσμα, το κύκλωμα της περιέλιξης εκκίνησης αποσυνδέεται από τη γραμμή.



**ΣΧΗΜΑ 2.40**

Το σχήμα 2.40 δείχνει έναν τυπικός φυγοκεντρικός διακόπτης που χρησιμοποιείται με κινητήρες διέγερσης χωριστής φάσης.

Όταν το κύκλωμα στον κινητήρα επαγωγής χωριστής φάσης είναι κλειστό, τόσο οι εκκίνησης όσο και η τρέχουσες οι περιελίξεις λειτουργίας ενεργοποιούνται παράλληλα. Επειδή η τρέχουσα περιέλιξη αποτελείται από ένα σχετικά μεγάλου μεγέθους σύρμα, η αντίσταση του είναι χαμηλή. Η τρέχουσα περιέλιξη είναι εκείνη που τοποθετείται στο κάτω μέρος των εγκοπών του πυρήνα του στάτορα. Ως αποτέλεσμα, η επαγωγική αντίδραση της περιέλιξης είναι σημαντικά υψηλή λόγω των μαζών των σιδηρομαγνητικών περιβαλλόντων του.



**ΣΧΗΜΑ 2.41**

Επειδή η τρέχουσα περιέλιξη έχει χαμηλή αντίσταση και υψηλή επαγωγική αντίδραση, το ρεύμα της τρέχουσα περιέλιξη υστερεί πίσω από την τάση περίπου 90 ηλεκτρικές μοίρες. Η περιέλιξη εκκίνησης αποτελείται από μικρότερο μέγεθος σύρματος, ως εκ τούτου, η αντίσταση της είναι υψηλή. Επειδή η περιέλιξη είναι τοποθετημένη κοντά στην κορυφή των σχισμών του στάτορα, η μάζα του σιδήρου που περιβάλλει είναι σχετικά μικρή και η επαγωγική αντίδραση είναι χαμηλή. Επομένως, η περιέλιξη εκκίνησης έχει υψηλή αντίσταση και χαμηλή επαγωγική αντίδραση. Ως αποτέλεσμα, το ρεύμα της εκκίνησης είναι σχεδόν σε φάση με την τάση.

Οι δύο περιελίξεις δημιουργούν τη διάσπαση στην απλή φάση της εισερχόμενης τάσης με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το ρεύμα να αντιδρά στις δύο περιελίξεις (βλ. Σχήμα 2.41). Η διάσπαση φάσης μεταξύ των ρευμάτων στην περιέλιξη εκκίνησης και στην τρέχουσα περιέλιξη δεν είναι το ιδανικό,

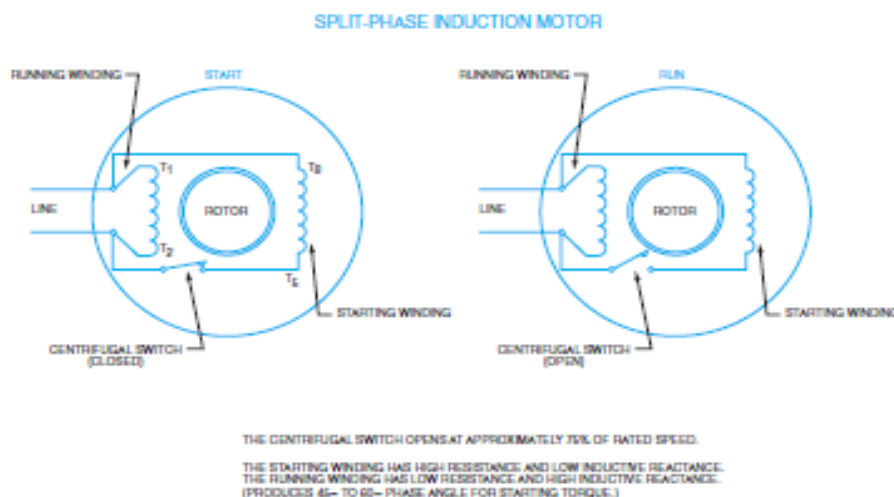
δηλαδή 90 °, αλλά το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με τη διάσπαση των μαγνητικών επιδράσεων των σπειρών για την παραγωγή του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου που απαιτείται για την περιστροφή του ρότορα. Αφού αποσυνδεθεί η περιέλιξη εκκίνησης, ο ρότορας συνεχίζει να περιστρέφεται εξαιτίας του παλλόμενου μαγνητικού πεδίου της τρέχουσας περιέλιξης και την ορμή του ρότορα περιστροφής και του φορτίου. Το ρεύμα της τρέχουσας περιέλιξης καθυστερεί από το ρεύμα της εκκίνησης περίπου 30 ηλεκτρικές μοίρες. Αυτά τα δύο ρεύματα, σε απόσταση 30 ηλεκτρικών μοίρες ξεχωριστά μεταξύ τους, περνούν από αυτές τις περιελίξεις με σκοπό να αναπτυχθεί ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο ταξιδεύει γύρω από το εσωτερικό του πυρήνα του στάτορα.

Η ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου καθορίζεται χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία που δίδεται για κινητήρα επαγωγής τριών φάσεων. Αν ένας επαγωγικός κινητήρας χωριστής φάσης έχει τέσσερις πόλους στις περιελίξεις του στάτορα και είναι συνδεδεμένος σε μία μονοφασική πηγή 60 Hz, η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του πεδίου είναι

$$\text{ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ} = \frac{120 \times f}{4}$$

**Μέσω της παραπάνω πράξης έχουμε σύγχρονη ταχύτητα ίση με 1800 rpm για τον παραπάνω κινητήρα**

Καθώς το περιστρεφόμενο πεδίο του στάτορα κινείται με την σύγχρονη ταχύτητα, κόβει τις χάλκινες ράβδους του ρότορα και προκαλεί τάσεις στις ράβδους της περιέλιξης του τύπου κλωβού-σκίουρου. Αυτές οι επαγόμενες τάσεις ρυθμίζουν τα ρεύματα στις ράβδους του ρότορα. Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται ένα πεδίο ρότορα που αντιδρά με το πεδίο του στάτορα για να αναπτύξει τη ροπή που προκαλεί τη στροφή του δρομέα. Καθώς ο ρότορας επιταχύνει στην ονομαστική ταχύτητα, ο φυγοκεντρικός διακόπτης αποσυνδέει την περιέλιξη εκκίνησης από τη γραμμή. Ο κινητήρας συνεχίζει να λειτουργεί μόνο με την τρέχουσα περιέλιξη ή αλλιώς την περιέλιξη λειτουργίας.

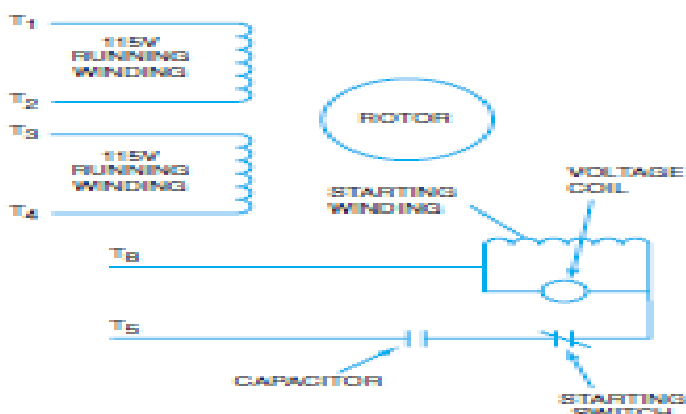


**ΣΧΗΜΑ 2.42**

Το σχήμα 2.42 απεικονίζει τις συνδέσεις του φυγοκεντρικού διακόπτη την στιγμή που ο κινητήρας ξεκινάει (ο διακόπτης είναι κλειστός) και όταν ο κινητήρας φτάσει σε κανονική λειτουργία και ταχύτητα (διακόπτης ανοικτός).

Ένας κινητήρας χωριστής φάσης πρέπει να έχει ενεργοποιημένη τόσο την περιέλιξη εκκίνησης όσο και την περιέλιξη λειτουργίας ενεργοποιημένη όταν ξεκινήσει ο κινητήρας. Ο κινητήρας μοιάζει με έναν κινητήρα επαγωγής δύο φάσεων στον οποίο τα ρεύματα αυτών των δύο περιελίξεων είναι περίπου 90 ηλεκτρικές μοίρες εκτός φάσης. Η πηγή τάσης, ωστόσο, είναι μονοφασική. επομένως, ο κινητήρας ονομάζεται χωριστή φάση επειδή αρχίζει σαν κινητήρας δύο φάσεων από μονοφασική γραμμή. Μετά ο κινητήρας επιταχύνεται σε μια τιμή κοντά στην ονομαστική ταχύτητά του, λειτουργεί στην τρέχουσα περιέλιξη ως μία μόνο φάση και άρα ως ένας επαγωγικός κινητήρας.

Εάν οι επαφές του φυγοκεντρικού διακόπτη δεν κλείσουν όταν ο κινητήρας σταματήσει, τότε το κύκλωμα της εκκίνησης είναι ακόμη ανοιχτό. Όταν το κύκλωμα κινητήρα ενεργοποιηθεί ξανά, ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει. Ο κινητήρας πρέπει να έχει τόσο ενεργοποιημένες τις περιελίξεις εκκίνησης όσο και της λειτουργίας εκείνη τη στιγμή που το κύκλωμα του κινητήρα κλείνει για να δημιουργήσει την απαραίτητη ροπή εκκίνησης. Αν ο κινητήρας δεν ξεκινά, αλλά απλά δίνει ένα χαμηλό βουητό, τότε το κύκλωμα της περιέλιξη εκκίνησης είναι ανοιχτό. Είτε οι επαφές του φυγοκεντρικού διακόπτη δεν είναι κλειστές είτε υπάρχει σπάσιμο στα πηνία των περιελίξεων εκκίνησης. Αυτή είναι μια ανασφαλής κατάσταση. Η τρέχουσα περιέλιξη θα τραβήξει υπερβολικό ρεύμα και επομένως ο κινητήρας πρέπει να αφαιρεθεί από τη γραμμή παροχής ισχύος. Εάν το μηχανικό φορτίο είναι πολύ μεγάλο όταν ξεκινάει ένας κινητήρας χωριστής φάσης ή αν η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα είναι χαμηλή, τότε ο κινητήρας ενδέχεται να μην επιτύχει την ταχύτητα που απαιτείται για τη λειτουργία του φυγοκεντρικού διακόπτη.



**ΣΧΗΜΑ 2.43**

Το τύλιγμα εκκίνησης έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε τάση γραμμής μόνο για μια περίοδο 3 ή 4 δευτερολέπτων ενώ ο κινητήρας επιταχύνεται στην ονομαστική του ταχύτητα. Είναι σημαντικό ότι η εκκίνηση της περιέλιξης πρέπει να αποσυνδεθεί από τη γραμμή από τον φυγοκεντρικό διακόπτη μόλις ο κινητήρας επιταχύνει στο 75% της ονομαστικής ταχύτητας. Η λειτουργία του κινητήρα μέσω της περιέλιξης εκκίνησης του για περισσότερο από 60 δευτερόλεπτα μπορεί να κάψει τη μόνωση της περιέλιξη ή ακόμα να γίνει και η αιτία η περιέλιξη να καεί.

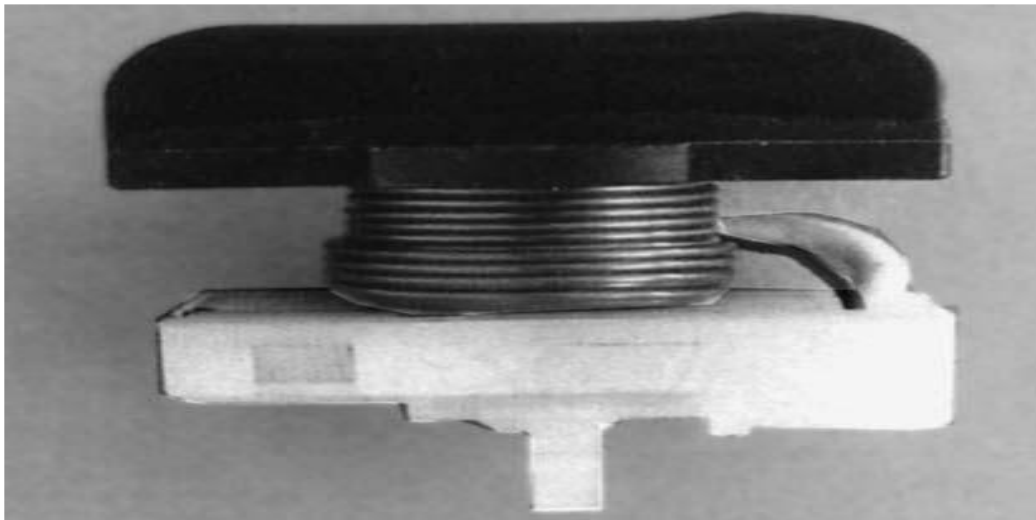
Ορισμένοι κινητήρες δεν χρησιμοποιούν τον μηχανικό τύπο διακόπτη εκκίνησης. Αντ' αυτού χρησιμοποιούν έναν διακόπτη εξωτερικό προς τον κινητήρα. Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι εξωτερικού διακόπτη εκκίνησης που χρησιμοποιούνται εκτός του κινητήρα. Αυτοί οι διακόπτες εκκίνησης μπορεί να χρειαστεί να βρίσκονται μακριά από τον κινητήρα για ευκολία στη συντήρηση ή λόγω της αλλαγής μπορεί να δημιουργήσουν ένα πολύ επικίνδυνο τόξο σε μια επικίνδυνη

τοποθεσία. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ένας διακόπτης τάσης ή που λειτουργεί με ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μηχανική μεταγωγή, ή ένα ρελέ στερεάς κατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εναλλαγή χωρίς την δημιουργία τόξου.

Ο διακόπτης που λειτουργεί με τάση είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 2.43. Αυτού του είδους οι διακόπτες είναι συνδεδεμένοι απέναντι από την περιέλιξη εκκίνησης. Αυτοί οι διακόπτες χρησιμοποιούνται με πυκνωτές εκκίνησης σε μονοφασικούς κινητήρες. Καθώς η ισχύς του κινητήρα εφαρμόζεται στον κινητήρα, το ρεύμα επιτρέπεται να ρέει μέσω του κανονικά κλεισμένου διακόπτη προς την περιέλιξη εκκίνησης και την περιέλιξη λειτουργίας.

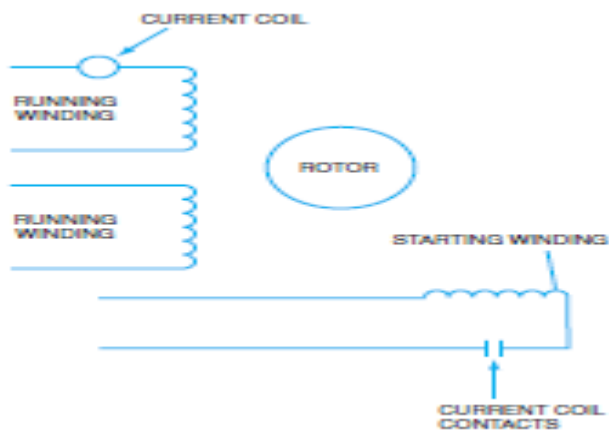
Η περιέλιξη εκκίνησης είναι ένα φορτίο χαμηλής σύνθετης αντίστασης εξαιτίας του πυκνωτή εκκίνησης στο κύκλωμα. Το μεγάλο ρεύμα εισόδου προκαλεί μια μεγάλη πτώση τάσης στον πυκνωτή σειράς ενώ μια μικρή στο πηνίο του κινητήρα. Επίσης έχουμε μια πολύ μικρή πτώση τάσης πάνω στην περιέλιξη εκκίνησης, και επομένως μειώνεται η τάση μέσω του πηνίου για τον διακόπτη εκκίνησης, η οποία διατηρεί τις επαφές του ρελέ κλειστές.

Καθώς ο ρότορας αρχίζει να περιστρέφεται, η αντιδρώσα ηλεκτρεγερτική δύναμη που παράγεται στο σπείρωμα της εκκίνησης αυξάνεται και το πηνίο αρχίζει να πέφτει σε μεγαλύτερο ποσοστό της τάσης γραμμής. Τώρα το πηνίο του ρελέ εκκίνησης ενεργοποιεί και ανοίγει τις επαφές, διακόπτοντας έτσι την παροχή ρεύματος προς την περιέλιξη εκκίνησης. Η επαγόμενη τάση από τον περιστρεφόμενο δρομέα είναι αρκετή για να κρατήσει ανοιχτές τις επαφές του ρελέ ενώ ο κινητήρας περιστρέφεται.



**ΣΧΗΜΑ 2.44**

Ένας δεύτερος τύπος μηχανικού διακόπτη είναι ο διακόπτη εκκίνησης που λειτουργεί με ρεύμα και φαίνεται στο σχήμα 2.44



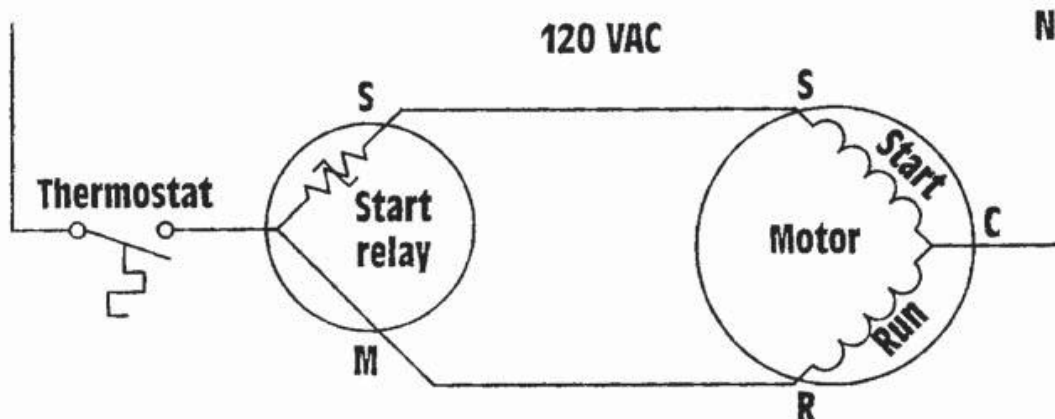
**ΣΧΗΜΑ 2.45**

Το πηνίο ρεύματος είναι συνδεδεμένο σε σειρά με την τρέχουσα περιέλιξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.45. Καθώς η ισχύς εφαρμόζεται στον μονοφασικό κινητήρα, το ρεύμα εκκίνησης στην τρέχουσα περιέλιξη είναι σχετικά μεγάλο (έξι έως δέκα φορές ρεύμα λειτουργίας). Αυτό το μεγάλο ρεύμα εισόδου προκαλεί το τρέχον ρελέ να κλείσει τις επαφές του, οι οποίες είναι σε σειρά με την περιέλιξη εκκίνησης. Αυτές οι επαφές επιτρέπουν το ρεύμα να προχωρήσει στην περιέλιξη εκκίνησης, και ο ρότορας αρχίζει να περιστρέφεται. Καθώς ο κινητήρας αυξάνει την ταχύτητα, το ρεύμα στην είσοδο μειώνεται και οι επαφές του πηνίου ρεύματος επιτρέπεται να ανοίξουν. Η περιέλιξη εκκίνησης είναι τώρα αποσυνδεδεμένη από την ισχύ γραμμής και ο κινητήρας λειτουργεί ως κανονικός μονοφασικός κινητήρας.



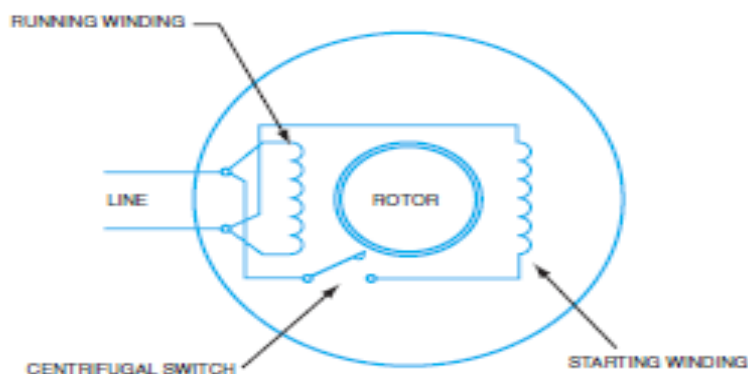
**ΣΧΗΜΑ 2.46**

Ένας τρίτος τύπος ρελέ εκκίνησης είναι το ηλεκτρονικό ρελέ, που φαίνεται στο σχήμα 2.46. Αυτό χρησιμοποιείται αποτελεσματικά ως μεταγωγή χωρίς την δημιουργία τόξου της περιέλιξης εκκίνησης.



**ΣΧΗΜΑ 2.47**

Το ρελέ συνδέεται όπως φαίνεται στο σχήμα 2.47. Η ιδέα είναι η ίδια με εκείνη του ρελέ ρεύματος, αλλά το αισθητήριο είναι ένα θερμίστορ. Αυτό το θερμίστορ είναι μια συσκευή στερεάς κατάστασης που θα αντιδράσει σε μια μεταβολή της θερμοκρασίας αυξάνοντας την αντίσταση (θετικός συντελεστής θερμοκρασία). Επειδή το θερμίστορ είναι σε σειρά με την περιέλιξη εκκίνησης, το ρεύμα στη περιέλιξη εκκίνησης αυξάνει την θερμοκρασία του θερμίστορ, και η αντίσταση επίσης ξεκινά να αυξάνεται από 3 έως 4 ohm μέχρι μερικά χιλ. Ω. Αυτό έχει το ίδιο αποτέλεσμα με το άνοιγμα του διακόπτη στην περιέλιξη. Μία μικρή ποσότητα ρεύματος εξακολουθεί να ρέει μέσα από την υψηλή αντίσταση στην περιέλιξη εκκίνησης. Αυτό το ρεύμα δεν επηρεάζει τη λειτουργία του κινητήρα, αλλά είναι απαραίτητο για να διατηρηθεί το θερμίστορ ζεστό και η αντίσταση υψηλή. Αυτός ο τύπος διακόπτη εκκίνησης είναι ευαίσθητος στη θερμοκρασία, και αν δεν είναι αφήνεται να κρυώσει επαρκώς, μπορεί να εμποδίσει την κανονική λειτουργία κατά την εκκίνηση. Πρέπει να αφήνουμε τον κινητήρα να κρυώσει μεταξύ διαδοχικών εκκινήσεων.



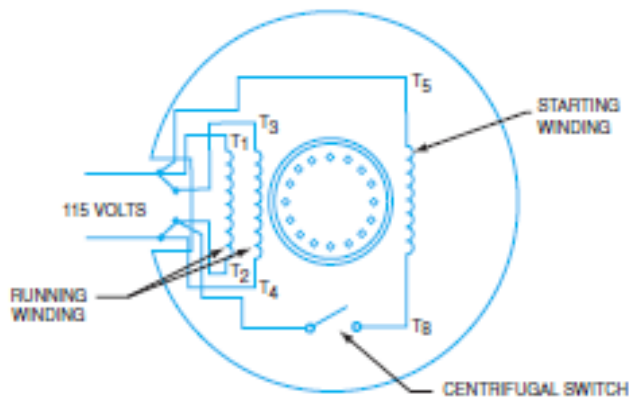
**ΣΧΗΜΑ 2.48**

Για να αντιστρέψουμε την περιστροφή του κινητήρα, απλά αντιστρέφουμε τους αγωγούς της εκκίνησης (Σχήμα 2.48). Αυτό προκαλεί την κατεύθυνση του πεδίου που έχει ρυθμιστεί από τις περιελίξεις του στάτορα να αντιστραφεί. Ως αποτέλεσμα, η κατεύθυνση περιστροφής αντιστρέφεται. Η κατεύθυνση της περιστροφής του κινητήρα χωριστής φάσης μπορεί επίσης να αντιστραφεί με την εναλλαγή των δύο αγωγών της περιέλιξης λειτουργίας. Κανονικά, η εκκίνηση χρησιμοποιείται για την αντιστροφή.



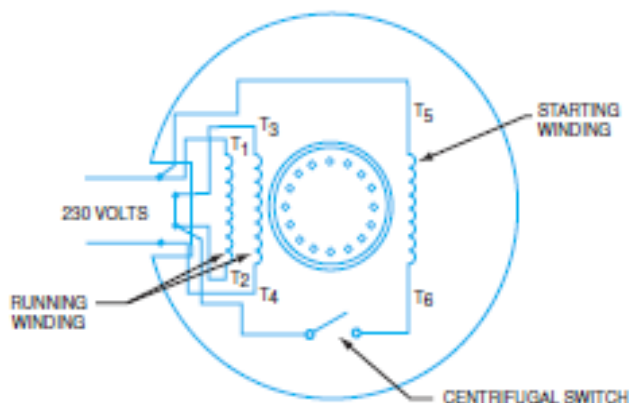
Οι μονοφασικοί κινητήρες έχουν συχνότητες διπλής τάσης 115 βολτ και 230 βολτ. Για να αποκτήσουν αυτές τις ονομαστικές τιμές, η τρέχουσα περιέλιξη αποτελείται από δύο τμήματα. Κάθε τμήμα της περιέλιξης έχει ονομαστική τιμή στα 115 βολτ. Ένα τμήμα της τρέχουσας περιέλιξης γενικά χαρακτηρίζεται ως T1 και T2 και το άλλο τμήμα σημειώνεται με T3 και T4. Εάν πρόκειται να λειτουργήσει ο κινητήρας στα 230 volts, οι δύο περιελίξεις των 115 volt συνδέονται σε σειρά σε όλη τη γραμμή των 230 volt.

Αν ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί με 115 βολτ, τότε συνδέονται οι δύο περιελίξεις 115 βολτ παράλληλα σε όλη τη γραμμή των 115 βολτ. Η περιέλιξη εκκίνησης αποτελείται συνήθως μόνο από μία περιέλιξη των 115 volt. Οι αγωγοί του τυλίγματος εκκίνησης γενικά χαρακτηρίζονται ως T5 και T8. Εάν πρόκειται να λειτουργήσει ο κινητήρας 115 βολτ, και τα δύο τμήματα της τρέχουσας περιέλιξης συνδέονται παράλληλα με την περιέλιξη εκκίνησης.



**ΣΧΗΜΑ 2.49**

Για λειτουργία 230 volt, οι βραχυκυκλωτήρες σύνδεσης αλλάζουν στο κιβώτιο ακροδεκτών έτσι ώστε και τα δύο τμήματα των 115 βολτ της τρέχουσας περιέλιξης να συνδέονται σε σειρά κατά μήκος της γραμμή των 230 βολτ (Σχήμα 2.49). Λάβετε υπόψη ότι η περιέλιξη εκκίνησης των 115 volt είναι συνδεδεμένη παράλληλα με ένα τμήμα της τρέχουσας περιέλιξης. Η πτώση τάσης σε αυτό το τμήμα της τρέχουσα περιέλιξη είναι 115 βολτ και η τάση κατά μήκος της εκκίνησης είναι επίσης 115 βολτ.

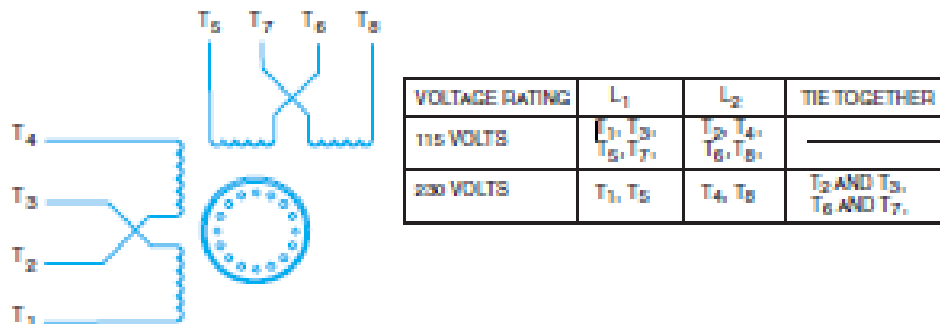


**ΣΧΗΜΑ 2.50**

Ορισμένοι κινητήρες διπλής τάσης, με χωριστή φάση, έχουν μια περιέλιξη εκκίνησης με δύο τμήματα καθώς και μια τρέχουσα περιέλιξη με δύο τμήματα. Τα τρεχούμενα τμήματα περιέλιξης επισημαίνονται T1 και T2 για ένα τμήμα και T3 και T4 για την άλλο τμήμα. Ένα τμήμα της

περιέλιξης εκκίνησης περιέλιξη σημειώνεται με T5 και T6 και σημειώνεται το δεύτερο τμήμα της περιέλιξης εκκίνησης ως T7 και T8.

Η Εθνική Ένωση Ηλεκτροπαραγωγών Κατασκευαστών (NEMA) έχει κωδικοποιήσει το χρώμα των τερματικών καλωδίων. Εάν χρησιμοποιούνται χρώματα, πρέπει να κωδικοποιούνται ως εξής: T1, μπλε; T2, λευκό. T3, πορτοκαλί. T4, κίτρινο. T5, μαύρο. και T8, κόκκινο.



**ΣΧΗΜΑ 2.51**

Το Σχήμα 2.50 δείχνει τη διάταξη περιέλιξης για έναν κινητήρα διπλής τάσης με δύο περιελίξεις εκκίνησης και δύο περιελίξεις περιστροφής. Οι σωστές συνδέσεις για λειτουργία 115 volt και για λειτουργία 230 volt δίνεται στον πίνακα που φαίνεται στο σχήμα 2.51

Η ρύθμιση της ταχύτητας ενός κινητήρα επαγωγής χωριστής φάσης είναι πολύ καλή. Έχει τέτοια απόδοση ταχύτητας από την κατάσταση χωρίς φορτίο στο πλήρες φορτίο που είναι παρόμοια με εκείνη ενός τριφασικού, επαγωγικού κινητήρα τύπου κλωβού. Το ποσοστό ολίσθησης στους περισσότερους κλασματικούς κινητήρες χωριστής φάσης είναι από 4 έως 6 τοις εκατό της υποδύναμης.

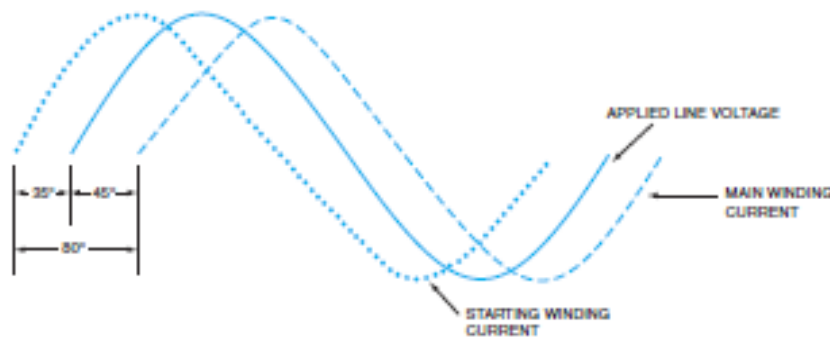
Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα διαχωριζόμενης φάσης είναι σχετικά χαμηλή. Η χαμηλή αντίσταση και υψηλή επαγωγική αντίδραση στο κύκλωμα λειτουργίας και η υψηλή αντίσταση και η χαμηλή επαγωγική αντίδραση στο κύκλωμα εκκίνησης προκαλούν τις δύο τρέχουσες τιμές να είναι σημαντικά μικρότερες από 90 ηλεκτρικές μοίρες. Τα ρεύματα της περιέλιξης λειτουργίας και της περιέλιξης εκκίνησης σε πολλούς κινητήρες χωριστής φάσης είναι μόνο 30 ηλεκτρικές μοίρες εκτός φάσης ο ένας με τον άλλο. Ως αποτέλεσμα, το πεδίο που δημιουργείται από αυτά τα ρεύματα δεν αναπτύσσει ισχυρή ροπή εκκίνησης.

Η κατασκευή ενός κινητήρα με πυκνωτή-εκκίνησης είναι σχεδόν η ίδια με αυτή ενός επαγωγικού κινητήρα διαχωριζόμενης φάσης.

Για τον κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης, ωστόσο, συνδέεται ένας πυκνωτής σε σειρά με τις περιελίξεις εκκίνησης. Ο πυκνωτής είναι συνήθως τοποθετημένος σε μεταλλικό περίβλημα στην κορυφή του κινητήρα. Ο πυκνωτής μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε βολική εξωτερική θέση στο πλαίσιο του κινητήρα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στο περίβλημα του κινητήρα. Ο πυκνωτής παρέχει μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης από ό, τι μπορεί να ληφθεί με έναν τυπικό κινητήρα διαχωριζόμενης φάσης ή αλλιώς split-phase. Επιπλέον, ο πυκνωτής περιορίζει την εκκίνηση του ρεύματος σε χαμηλότερη τιμή από αυτή που αναπτύσσεται από τον τυποποιημένο κινητήρα χωριστής φάσης. Ο κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή-εκκίνησης χρησιμοποιείται σε μονάδες ψύξης, συμπιεστές, Καυστήρες λαδιού και για μικρές μηχανές, καθώς και για άλλες εφαρμογές που απαιτούν μια ισχυρή ροπή εκκίνησης.

Όταν ο πυκνωτής εκκίνησης είναι συνδεδεμένος για χαμηλότερη τάση και ξεκινάει ο κινητήρας, και οι δύο περιελίξεις, δηλαδή οι περιελίξεις εκκίνησης και λειτουργίας συνδέονται παράλληλα σε όλη την τάση γραμμής και ο φυγοκεντρικός διακόπτης είναι κλειστός. Ωστόσο, η περιέλιξη εκκίνησης συνδέεται σε σειρά με τον πυκνωτή. Όταν ο κινητήρας φτάσει το 75% της ονομαστικής του ταχύτητας, τότε ο φυγοκεντρικός διακόπτης ανοίγει και αποσυνδέει την περιέλιξη εκκίνησης και τον πυκνωτή από την γραμμή. Ο κινητήρας στη συνέχεια λειτουργεί ως μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας χρησιμοποιώντας μόνο την περιέλιξη λειτουργίας. Ο πυκνωτής χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ροπής εκκίνησης και δεν βελτιώνει τον συντελεστή ισχύος του κινητήρα.

Για να παραχθεί η απαραίτητη ροπή εκκίνησης, το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο πρέπει να έχει μια καλύτερη κατανομή του μονοφασικού ρεύματος γραμμής. Ο πυκνωτής προστίθεται σε σειρά με την περιέλιξη εκκίνησης προκειμένου να προκαλέσει τη μετατόπιση του ρεύματος σε ένα κύριο ρεύμα προπορείας σε σχέση με την τάση, αντί για ένα ρεύμα καθυστέρησης όπως στον κινητήρα διαχωριζόμενης φάσης



**ΣΧΗΜΑ 2.52**

Το σχήμα 2.52 απεικονίζει το φαινόμενο της προπορείας που προκλήθηκε από την προσθήκη ενός αρχικού ονομαστικού πυκνωτή. Το ρεύμα στην η περιέλιξη εκκίνησης οδηγεί την τάση γραμμής κατά περίπου 35° και το ρεύμα στην τρέχουσα περιέλιξη καθυστερεί την τάση της γραμμής κατά 45°. Αυτή η διαφορά δημιουργεί μια απόσταση 80° ηλεκτρικών μοιρών, πλησιάζοντας το βέλτιστο των 90° ηλεκτρικών μοιρών. Αυτό δημιουργεί έναν καλύτερο προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου του στάτορα και συνεπώς δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή στρέψης από μια παρόμοια που εμφανίζεται σε έναν κινητήρα διαχωρισμένης φάσης.

Οι ελαττωματικοί πυκνωτές αποτελούν συχνή αιτία δυσλειτουργιών στην εκκίνηση κινητήρων επαγωγής που λειτουργούν με πυκνωτή εκκίνησης. Ορισμένες αποτυχίες πυκνωτών που μπορούν να εμφανιστούν παρατίθενται εδώ:

- Ο πυκνωτής μπορεί να βραχυκυκλώσει, όπως αποδεικνύεται από μια χαμηλότερη ροπή εκκίνησης.
- Ο πυκνωτής μπορεί να είναι "ανοικτός", οπότε τα κυκλώματα εκκίνησης θα να είναι ανοιχτοκυκλωμένα, προκαλώντας την αδυναμία εκκίνησης του κινητήρα.
- Ο πυκνωτής μπορεί να βραχυκυκλώσει και να προκαλέσει την κατάρρευση της προστασίας της ασφάλειας που παρέχεται για το κύριο κύκλωμα του κινητήρα. Εάν οι ονομαστικές τιμές των ασφαλειών είναι υψηλές και δεν διακόπτεται η τροφοδοσία του κινητήρα αρκετά σύντομα, η περιέλιξη εκκίνησης μπορεί να καεί.

- Οι πυκνωτές εκκίνησης ενδέχεται να βραχυκυκλώσουν αν ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος και απενεργοποιημένος πολλές φορές σε σύντομο χρονικό διάστημα.

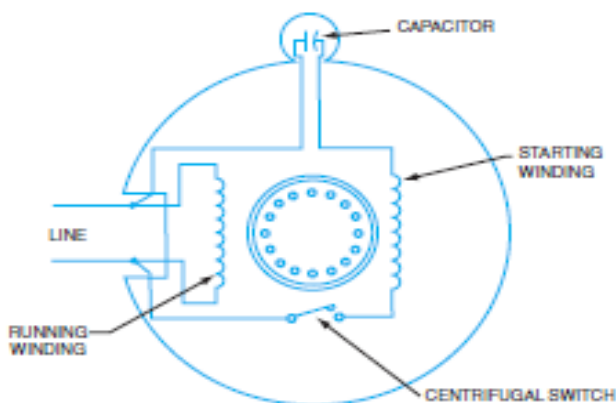
Για να αποφευχθούν οι αστοχίες πυκνωτών, πολλοί κατασκευαστές κινητήρων συνιστούν να ξεκινήσει ένας κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης όχι περισσότερο από 20 φορές ανά ώρα. Επομένως, αυτός ο τύπος κινητήρα χρησιμοποιείται μόνο σε εφαρμογές όπου υπάρχουν σχετικά λίγες εκκινήσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η απόδοση ταχύτητας ενός κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης είναι πολύ καλή. Η μεταβολή του ποσοστού ολίσθησης από μια κατάσταση χωρίς φορτίο στο πλήρες φορτίο είναι από 4 έως 6 τοις εκατό. Η απόδοση ταχύτητας τότε είναι το ίδιο με αυτό ενός τυπικού κινητήρα διαχωριζόμενης φάσης.

	High Voltage	Low Voltage
<b>FORWARD</b> $L_1$ to	$T_1$ & $T_2$	$L_1$ to $T_1$ & $T_2$ & $T_3$
$L_2$ to	tie $T_2$ , $T_3$ & $T_4$ together $T_4$	$L_2$ to $T_2$ , $T_4$ & $T_3$
<b>REVERSE</b> $L_1$ to	$T_1$ & $T_3$	$L_1$ to $T_1$ & $T_3$ & $T_2$
$L_2$ to	tie $T_2$ , $T_3$ & $T_4$ together $T_4$	$L_2$ to $T_2$ , $T_4$ & $T_3$

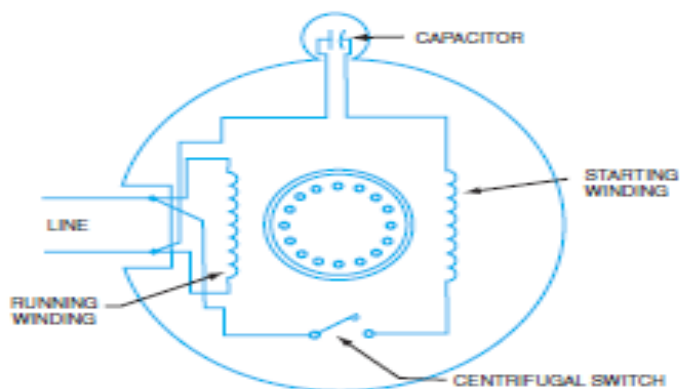
**ΣΧΗΜΑ 2.53**

Οι αγωγοί του κυκλώματος εκκίνησης περιέλιξης εναλλάσσονται για να αντιστρέψουν την κατεύθυνση περιστροφής ενός κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης. Ως αποτέλεσμα, η κατεύθυνση της περιστροφής του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται από τις περιελίξεις του στάτορα αντιστρέφεται στον πυρήνα του στάτορα και η περιστροφή του δρομέα αντιστρέφεται (βλέπε Σχήμα 2.53 για αντιστροφή των συνδέσεων ηλεκτροδίων).



**ΣΧΗΜΑ 2.54**

Το σχήμα 2.54 δείχνει ένα διάγραμμα των συνδέσεων κυκλωμάτων ενός κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης πριν να αλλάξουν οι αγωγοί εκκίνησης για την αντιστροφή της κατεύθυνσης περιστροφής του ρότορα.



### ΣΧΗΜΑ 2.55

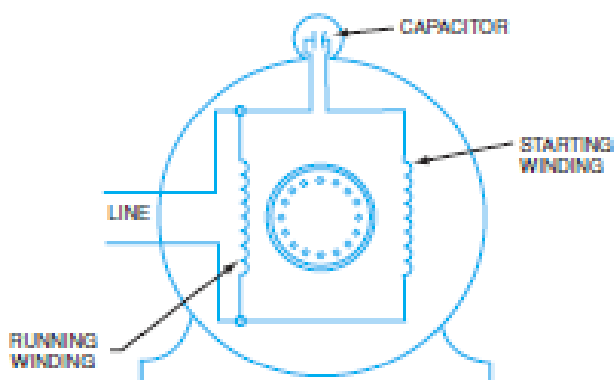
Το διάγραμμα στο σχήμα 2.55 δείχνει τις συνδέσεις κυκλωμάτων του κινητήρα αφού οι αγωγοί εκκίνησης εναλλάσσονται για να αντιστρέψουν την κατεύθυνση περιστροφής.

Μια δεύτερη μέθοδος αλλαγής της κατεύθυνσης περιστροφής ενός κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης είναι τη εναλλαγή των δυο γραμμών περιέλιξης λειτουργίας. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος σπάνια χρησιμοποιείται.

Οι πυκνωτές-εκκίνησης, οι κινητήρες που λειτουργούν με επαγωγή έχουν συχνά τάση διπλής τάσης 115 βολτ και 230 βολτ. Οι συνδέσεις για έναν κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης είναι οι ίδιες με αυτές για split-phase κινητήρες επαγωγής, από το ότι η περιέλιξη εκκίνησης συνδέεται κατά το ήμισυ της σειράς της τρέχουσας περιέλιξης.

Ο τύπος κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης, πυκνωτή-λειτουργίας είναι παρόμοιος με τον τύπο κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης, επαγωγικής-λειτουργίας, εκτός από το ότι το κύκλωμα εκκίνησης και ο πυκνωτής είναι συνδεδεμένα στο κύκλωμα κάθε φορά. Αυτός ο κινητήρας έχει πολύ καλή ροπή εκκίνησης. Ο συντελεστής ισχύος στο ονομαστικό του φορτίο είναι σχεδόν 100 τοις εκατό ή αλλιώς στην μονάδα το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής στον κινητήρα ανά πάσα στιγμή.

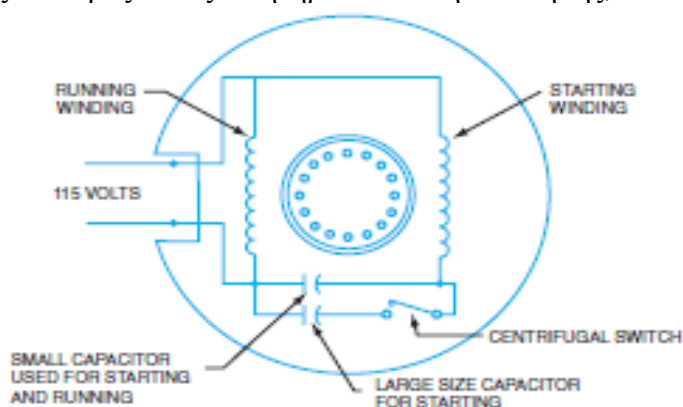
Αυτός ο τύπος κινητήρα μπορεί να έχει πολλά διαφορετικά σχέδια. Ένας τύπος αυτού του είδους κινητήρα μπορεί να έχει δύο περιελίξεις στάτορα που απέχουν μεταξύ τους 90 ηλεκτρικές μοίρες. Η κύρια ή τρέχουσα περιέλιξη συνδέεται απευθείας σε όλη την ονομαστική τάση γραμμής. Ένας πυκνωτής συνδέεται σε σειρά με την περιέλιξη εκκίνησης και αυτός ο συνδυασμός σειρών είναι επίσης συνδεδεμένος σε όλη την ονομαστική τάση γραμμής. Ο διακλαδισμένος διακόπτης δεν χρησιμοποιείται λόγω του ότι η περιέλιξη εκκίνησης ενεργοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα.



**ΣΧΗΜΑ 2.56**

Το Σχήμα 2.56 απεικονίζει τις εσωτερικές συνδέσεις για έναν κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης, πυκνωτή λειτουργίας χρησιμοποιώντας μία τιμή χωρητικότητας. Για να αντιστρέψουμε την περιστροφή αυτού του κινητήρα, πρέπει οι συνδέσεις των καλωδίων της περιέλιξης εκκίνησης να εναλλαχθούν μεταξύ τους. Αυτός ο τύπος του κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης, πυκνωτής-λειτουργίας είναι αθόρυβος κατά τη λειτουργία και χρησιμοποιείται σε αεροσυμπιεστές, ανεμιστήρες και σε μικρές μηχανές κατεργασίας ξύλου και επεξεργασίας μετάλλων.

Ένας δεύτερος τύπος κινητήρα πυκνωτή-εκκίνησης, πυκνωτή-λειτουργίας, έχει δύο πυκνωτές.

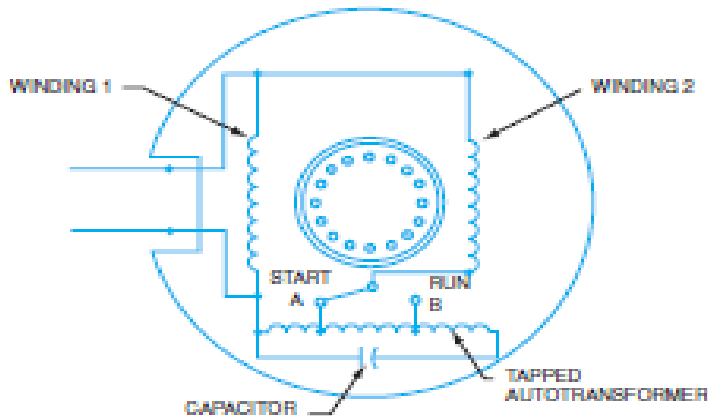


**ΣΧΗΜΑ 2.57**

Το Σχήμα 2.57 δείχνει ένα διάγραμμα των εσωτερικών συνδέσεων του κινητήρα. Τη στιγμή που ο κινητήρας τίθεται σε λειτουργία, οι δύο πυκνωτές είναι παράλληλοι. Όταν ο κινητήρας φτάσει το 75% της ονομαστικής ταχύτητας, ο φυγοκεντρικός διακόπτης αποσυνδέει τον πυκνωτή της μεγαλύτερης χωρητικότητας. Τότε ο κινητήρας λειτουργεί με τον μικρότερο πυκνωτή που συνδέεται μόνο σε σειρά με την περιέλιξη εκκίνησης.

Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει πολύ καλή ροπή εκκίνησης, καλή ρύθμιση ταχύτητας και ο συντελεστής ισχύος είναι σχεδόν 100 τοις εκατό στο ονομαστικό φορτίο. Εφαρμογές για αυτόν τον τύπο κινητήρα περιλαμβάνουν καταψύκτες κλιβάνου, ψυκτικές μονάδες και συμπιεστές.

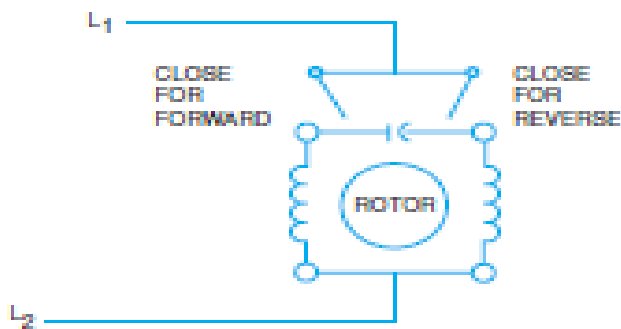
Ένας τρίτος τύπος κινητήρα με πυκνωτή-εκκίνησης, πυκνωτή-λειτουργίας, έχει αυτόματο μετασχηματιστή με έναν πυκνωτή. Αυτός ο κινητήρας έχει υψηλή ροπή εκκίνησης και υψηλό συντελεστή ισχύος κατά την λειτουργία.



**ΣΧΗΜΑ 2.58**

Το σχήμα 2.58 δείχνει ένα διάγραμμα των εσωτερικών συνδέσεων αυτού του κινητήρα. Όταν ο κινητήρας τίθεται σε λειτουργία, ο φυγοκεντρικός διακόπτης συνδέει την περιέλιξη 2 με το σημείο A στον αυτομετασχηματιστή. Καθώς ο πυκνωτής συνδέεται στις μέγιστες σπείρες του μετασχηματιστή, λαμβάνει την μέγιστη έξοδο τάσης κατά την εκκίνηση. Έτσι ο πυκνωτής είναι συνδεδεμένος κατά μήκος μίας μεγάλης τιμής της τάσης, περίπου 500 βολτ. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει υψηλή τιμή προπορεύοντος ρεύματος στην περιέλιξη 2 και μια ισχυρή ροπή εκκίνησης αναπτύσσεται. Όταν ο κινητήρας φτάσει περίπου το 75 τοις εκατό της ονομαστικής ταχύτητας, ο φυγοκεντρικός διακόπτης αποσυνδέει την περιέλιξη εκκίνησης από το σημείο A και επανασυνδέει αυτή την περιέλιξη στο σημείο B στον αυτομετασχηματιστή. Λιγότερη τάση εφαρμόζεται στον πυκνωτή, αλλά ο κινητήρας λειτουργεί και με τις δύο περιελίξεις ενεργοποιημένες. Έτσι, ο πυκνωτής διατηρεί έναν συντελεστή ισχύος κοντά στην μονάδα στο ονομαστικό φορτίο.

Η ροπή εκκίνησης αυτού του κινητήρα είναι πολύ καλή και η ρύθμιση της ταχύτητας είναι ικανοποιητική. Οι εφαρμογές που απαιτούν αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν μεγάλα ψυγεία και συμπιεστές.



**ΣΧΗΜΑ 2.59**

Ένας κινητήρας μόνιμης διάσπασης-πυκνωτή απεικονίζεται στο σχήμα 2.59. Σε αυτόν τον τύπο κινητήρα, ένας μικρός σε ονομαστική τιμή,  $\mu\text{F}$  (microfarad) πυκνωτής λαδιού συνδέεται σε σειρά με μία από τις πανομοιότυπες περιελίξεις πηνίου. Τοποθετώντας έναν πυκνωτή σε σειρά με μία περιέλιξη, το ρεύμα σε αυτή την περιέλιξη θα οδηγήσει το ρεύμα στην άλλη περιέλιξη, προκαλώντας έναν διαχωρισμό στα μαγνητικά πεδία και προκαλώντας τον κινητήρα να περιστραφεί από το πεδίο με τον πυκνωτή προς το πεδίο χωρίς τον πυκνωτή.

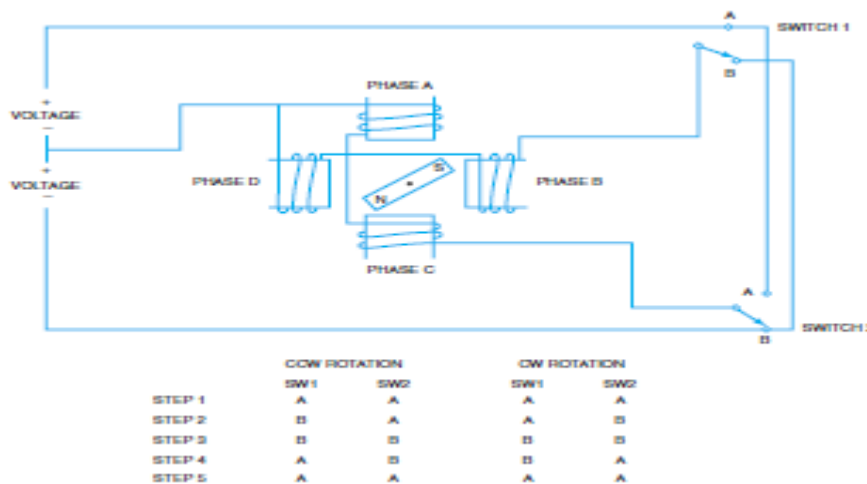
Αυτός ο κινητήρας χρησιμοποιείται για απαιτήσεις χαμηλής ροπής που μπορεί να απαιτούν συχνή χρήση αντιστροφής. Απλά κλείνοντας τον ένα διακόπτη ή τον άλλο, ο πυκνωτής θα είναι σε

σειρά με διαφορετικές περιελίξεις, αναστρέφοντας έτσι την κατεύθυνση της περιστροφής του κινητήρα.

Το NEC® 430.32 (D) (2) δηλώνει ότι οποιοσδήποτε κινητήρας ισχύος 1 hp ή μικρότερος δεν είναι μόνιμα εγκαταστημένος και ξεκινάει με το χέρι, και το πλαίσιο της θέσης του εκκινήτη όπως προστατεύεται από υπερφόρτωση από τη συσκευή υπερέντασης που προστατεύει τους αγωγούς του κυκλώματος διακλάδωσης. Αυτή η συσκευή υπερέντασης της διακλάδωσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή που καθορίζεται στο άρθρο 430, μέρος IV (Κύκλωμα διακλάδωσης κινητήρα, βραχυκύκλωμα και προστασία βλάβης γείωσης). Μια εξαίρεση είναι ότι οποιοσδήποτε τέτοιος κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα 120 βολτ ή λιγότερο σε ένα κύκλωμα κλάδου που προστατεύεται σε όχι πάνω από 20 αμπέρ. Μία απόσταση μεγαλύτερη από 50 ft θεωρείται ότι είναι εκτός πεδίου θέασης από τη θέση εκκίνησης.

Το 430.32 (B) καλύπτει κινητήρες 1 hp ή λιγότερο που ξεκινούν αυτόματα. Το σημείο 430.32 (B) (1) δηλώνει ότι οποιοσδήποτε κινητήρας ισχύος 1 hp ή μικρότερος ο οποίος αρχίζει αυτόματα πρέπει να έχει ξεχωριστή συσκευή υπερέντασης που ανταποκρίνεται στο ρεύμα του κινητήρα. Αυτή η μονάδα υπερφόρτωσης πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να μην υπερβαίνει το 125 τοις εκατό της ονομαστικής τιμής ρεύματος πλήρους φορτίου για κινητήρες με σήμανση για αύξηση θερμοκρασίας 40 ° C ή λιγότερο, ή με συντελεστή συντήρησης 1,15 ή υψηλότερο και όχι περισσότερο από 115 τοις εκατό για όλους τους άλλους τύπους κινητήρων. Άλλες επιλογές πρόκειται να χρησιμοποιούν κινητήρες με ενσωματωμένη θερμική προστασία ή κινητήρες προστατευμένους με σύνθετη αντίσταση.

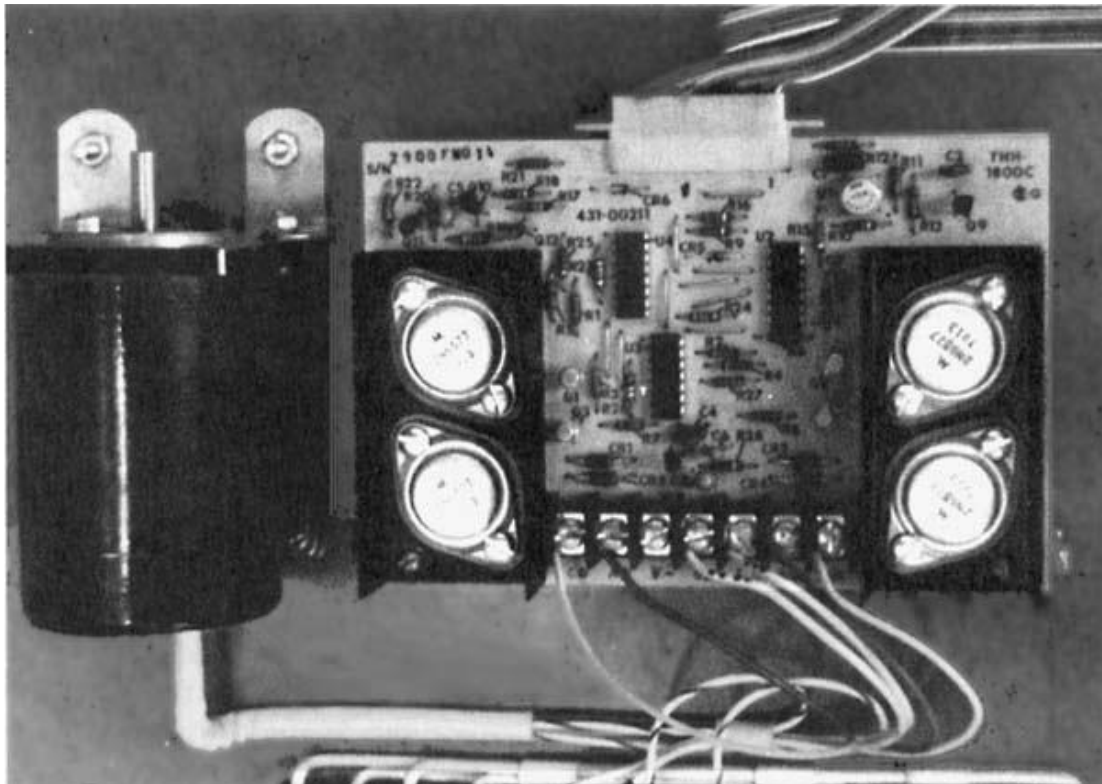
Οι βηματικοί κινητήρες είναι εξειδικευμένοι κινητήρες που δημιουργούν επίσης αυξημένα βήματα κίνησης παρά μια ομαλή αδιάκοπη περιστροφή. Η βασική ιδέα stepper εξηγείται χρησιμοποιώντας έναν μόνιμο μαγνήτη στο ρότορα με δύο σετ πόλων όπως φαίνεται στο σχήμα 2.60



**ΣΧΗΜΑ 2.60**

Καθώς ο στάτορας ενεργοποιείται με παλμούς συνεχούς ρεύματος, ο δρομέας μόνιμου μαγνήτη αποκρούεται ή έλκεται με σκοπό να ευθυγραμμιστεί με τους μαγνητικούς πόλους του στάτη. Οι παλμοί παρέχονται από ένα βηματικό χειριστήριο όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.61





**ΣΧΗΜΑ 2.61**

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής παρέχει χρονισμό και ακολουθία του κινητήρα, αλλά λειτουργεί ηλεκτρονικά για να παρέχει το κλείσιμο κυκλώματος όπως φαίνεται στο σχήμα 2.61. Για παράδειγμα, μετακινώντας τους διακόπτες 1 και 2 στη θέση Α ή Β, οι οριζόντιοι πόλοι ή οι κάθετοι πόλοι μπορούν να αντιστραφούν. Ακολουθώντας την πρώτη ακολουθία διακόπτη, όπου και οι δύο διακόπτες είναι ρυθμισμένοι στο Α, οι πόλοι στην κορυφή και οι δεξιότεροι πόλοι αποκτούν βόρεια μαγνητική πολικότητα και ο δρομέας ευθυγραμμίζεται μεταξύ των πόλων. Το βήμα 2 αλλάζει τον διακόπτη 1 στο Β. Εάν η ισχύς παραμείνει στους πόλους στην κορυφή, ο δρομέας ευθυγραμμίζεται από προς τα πάνω προς το κάτω μέρος. Όταν ο διακόπτης 1 συνδέεται στο σημείο Β, ο δρομέας κινείται και πάλι, ο νότιος πόλος του ρότορα ευθυγραμμίζεται μεταξύ των άνω και αριστερών πόλων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή προς τα αριστερά (CCW).

Για να αντιστρέψουμε την κατεύθυνση περιστροφής, χρησιμοποιούμε τη δεύτερη σειρά βημάτων. Βλέπουμε ότι αυτό συμβαίνει με την αλλαγή της ακολουθίας και του χρονικού διαστήματος που τα πηνία ενεργοποιούνται και την κατεύθυνση και την ταχύτητα των βημάτων που ελέγχονται.

Ο ρότορας θα μπορούσε να είναι μία από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες: ο ρότορας μεταβλητής-αντίστασης, ο ρότορας μόνιμου μαγνήτη (PM) ή συνδυασμός των δύο προηγούμενων- ένας υβριδικός δρομέας. Αντί να είναι απλά δύο μαγνητικοί πόλοι, ο ρότορας είναι πολλοί μαγνητικοί πόλοι οι οποίοι παρατάσσονται με τα δόντια στο ρότορα.

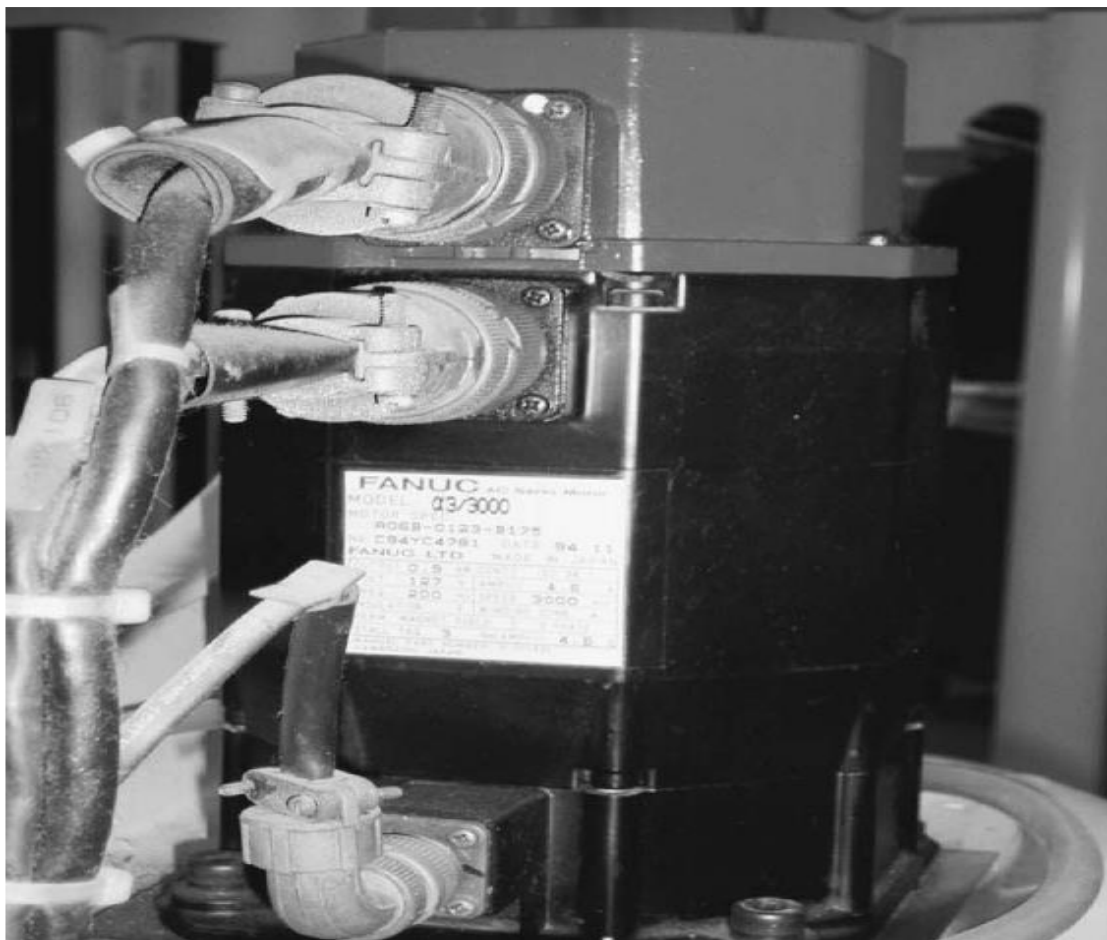
Τα δόντια του δρομέα είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να παραμένει μόνο ένα σύνολο δοντιών τέλεια ευθυγραμμισμένο με τους πόλους του στάτορα ανά πάσα στιγμή. Λαμβάνοντας τον αριθμό των φορών που η ισχύς πρέπει να εφαρμοστεί στους πόλους του στάτορα μετακινώντας ένα δόντι σε  $360^\circ$  μηχανικής περιστροφής, μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνία βήματος. Για παράδειγμα, αν ο στάτης χρειάζεται 200 παλμούς ισχύος για να μετακινήσουμε ένα δόντι  $360^\circ$ , τότε διαιρούμε

360 με 200 για να πάρουμε  $1,8^\circ$  κίνηση ανά βήμα. Ο κινητήρας θα κινηθεί κατά  $1,8^\circ$  ανά παλμό ισχύος του στάτορα. Οι βαθμίδες είναι διαθέσιμες στις γωνίες βήματος 90, 45, 15, 7.5, 1.8 και  $.9^\circ$ .

Η ανάλυση του κινητήρα είναι ένα μέτρο του πόσο καλά τα βήματα είναι διαιρεμένα. Η ανάλυση προσδιορίζεται διαιρώντας  $360^\circ$  με τη γωνία βήματος. Ο βηματικός κινητήρας  $1.8^\circ$  χρειάζεται 200 βήματα για να μετακινηθεί γύρω από μια πλήρη περιστροφή, οπότε η ανάλυση είναι 200. Η γωνία βήματος και η ανάλυση είναι αντιστρόφως ανάλογα μεταξύ τους.

Ο ρότορας PM χρησιμοποιήθηκε για το παράδειγμα στον έλεγχο βηματικής κίνησης. Αυτοί οι ρότορες PM χρησιμοποιούνται με τέσσερις πόλους για να παρέχουν γωνία βήματος  $90^\circ$  ή  $45^\circ$ . Αυτό επιτρέπει οι κινητήρες να κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά με μικρότερη ανάλυση. Οι πόλοι μπορούν να είναι φυσικά μεγαλύτερες επειδή υπάρχουν μόνο τέσσερις από αυτές. Έτσι, οι περιλίξεις του στάτορα μπορούν να μεταφέρουν υψηλότερο ρεύμα. Υψηλότερη ικανότητα ρεύματος σημαίνει ότι είναι διαθέσιμη περισσότερη ροπή.

Πολλά συστήματα κατασκευής και συστήματα χειρισμού ρομποτικού υλικού χρησιμοποιούν σερβοκινητήρες, δηλαδή κινητήρες για τον έλεγχο θέσης για γρήγορη κίνηση ακριβείας. Οι σερβοκινητήρες είναι μικροί PM κινητήρες που χρησιμοποιούν ελαφρούς βραχίονες για να παρέχουν γρήγορη εκκίνηση και διακοπή λειτουργίας χωρίς να χρειάζεται να υπερβούν πολύ αδράνεια.



**ΣΧΗΜΑ 2.62**

Βλ. Σχήμα 2.62 για δείγμα κινητήρα PM με τέσσερις πόλους.

Σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, οι τυποποιημένοι σερβοκινητήρες PM έχουν την τάση να δημιουργούν οδόντωση, δηλαδή, τείνουν να αναποδογυρίζουν μέσω της περιστροφής αντί να έχουν ομαλή περιστροφή. Αυτό είναι αποτέλεσμα του σιδήρου στο μαγνητισμό του οπλισμού και της αντίδρασης με το PM στα κομμάτια των πόλων του στάτη.

Οι δύο γενικοί τύποι σερβοκινητήρων AC είναι οι σύγχρονοι και οι ασύγχρονοι.

Οι σύγχρονοι σερβοκινητήρες δεν χρησιμοποιούν δρομείς τύπου επαγωγής όπως στους πιο συνηθισμένους τύπους κινητήρων AC. Δεν βασίζονται σε στρόβιλο-κλωβό που έχει ρεύμα σε αυτό. Αντ' αυτού βασίζονται σε ένα ρότορα που αποτελείται από PMs. Η ιδέα είναι να γίνει ο δρομέας όσο το δυνατόν ελαφρύτερος έτσι ώστε ο ίδιος ο ρότορας να έχει μικρή μάζα και επομένως μικρή αδράνεια που πρέπει να ξεπεράσει καθώς αρχίζει και σταματά. Καθώς το πεδίο του στάτορα ενεργοποιείται, ο δρομέας ακολουθεί το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτορα στην ίδια (σύγχρονη) ταχύτητα. Όταν το πεδίο του στάτορα σταματά, ο δρομέας σταματά επίσης.

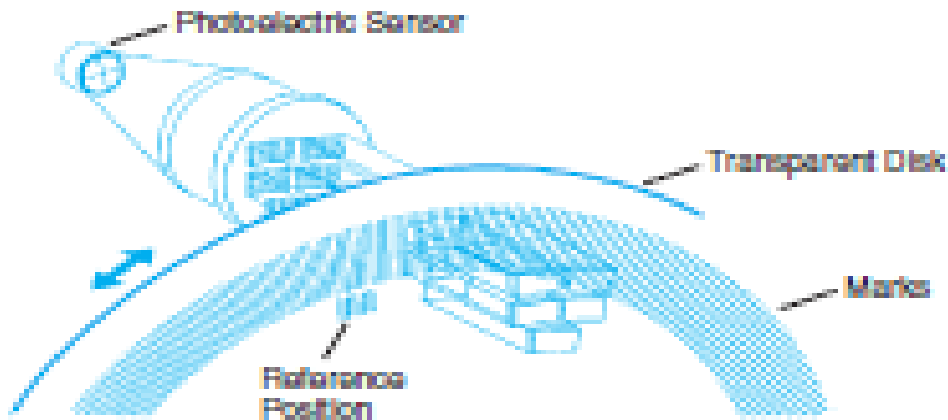
Με ένα δρομέα PM, παράγεται λιγότερη θερμότητα στον κινητήρα γιατί δεν έχει ρεύμα ο δρομέας. Επίσης επειδή δεν χρειάζεται ρεύμα ο δρομέας από τη γραμμή, οι κινητήρες είναι πιο αποτελεσματικοί. Για τον έλεγχο του ρότορα σε σχέση με τον στάτορα, απαιτείται ανατροφοδότηση στον ελεγκτή του κινητήρα. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας κωδικοποιητής και οι πληροφορίες τροφοδοτούνται πίσω στο στον σύγχρονο σερβοκινητήρα σε μία περιστροφή.

Οι ασύγχρονοι σερβοκινητήρες βασίζονται στην επαγωγή για παροχή ρεύματος και συνεπώς μαγνητικής ροής προς τον δρομέα. Ο ρότορας είναι σαν ένα τυπικό κλουβί σκίουρου με προσπάθειες να διατηρηθεί τόσο ελαφρύ όσο είναι δυνατόν να διατηρηθεί χαμηλή η αδράνεια. Όπως και στους κανονικούς ηλεκτροκινητήρες, το περιστρεφόμενο πεδίο του στάτορα κόβει τους αγωγούς του δρομέα και προκαλεί ρεύμα στον ρότορα, ο οποίος δημιουργεί ροή στον ρότορα. Αυτό το μαγνητικό πεδίο ωθείται και απωθείται γύρω από τον στάτορα. Όπως με όλους τους επαγωγικούς κινητήρες, υπάρχει ολίσθηση καθώς οι πόλοι του ρότορα πρέπει να πέφτουν πίσω από τους πόλους του στάτη. Και πάλι, ο ελεγκτής πρέπει να γνωρίζει την πραγματική θέση του δρομέα για ακριβείς ελέγχους ταχύτητας και θέσης.

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται για την ακριβή ταχύτητα, τη ροπή και την τοποθέτηση των κινητήριων μηχανών. Επειδή η ταχύτητα είναι η κύρια παράμετρος, ελέγχεται η ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό γίνεται με τον έλεγχο της συχνότητας του εφαρμοζόμενου AC στον στάτορα. Για να γίνει αυτό, ένας ηλεκτρονικός ελεγκτής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μεταβλητής AC συχνότητας και τάσης. Χρησιμοποιείται σύστημα διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM) για τον έλεγχο της επιθυμητής συχνότητας και την αντίστοιχη τάση που απαιτείται για τη μετάδοση του κινητήρα.

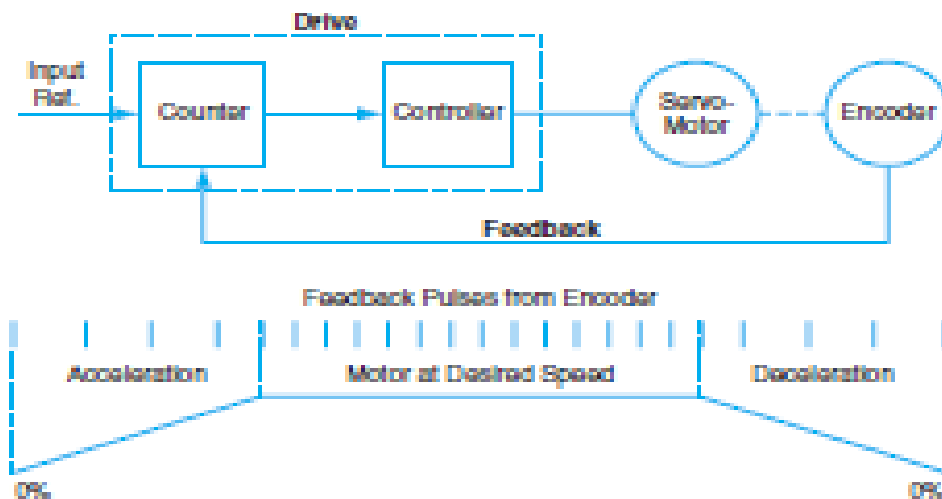
Πρέπει να προσέχουμε ότι ο συγκεκριμένος σερβοκινητήρας έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει σε έναν συγκεκριμένο ελεγκτή και ότι αυτός ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μονάδες PWM. Η ροπή ή η προσπάθεια συστροφής του κινητήρα είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος. Η ονομαστική ροπή είναι συχνά αναφερόμενη σε πλήρη ταχύτητα, στη μισή ταχύτητα και σε μηδενική ταχύτητα (σταματημένη). Η ροπή βραχίονα είναι η δυνατότητα να κρατηθεί ένα φορτίο στη θέση του όταν δεν υπάρχει περιστροφική ταχύτητα. Αυτό το σημείο στάσης έχει ένα συσχετισμένο ρεύμα στάσης και συχνά απαριθμεί την σχετική αύξηση της θερμοκρασίας καθώς εφαρμόζεται το απαιτούμενο ρεύμα για να κρατήσει το φορτίο στάσιμο. Η θερμοκρασία μόνωσης περιέλιξης στον κινητήρα έχει σχεδιαστεί για να αντέχει τη θερμοκρασία του θερμού σημείου της περιέλιξης καθώς διατηρεί απεριόριστα το ρεύμα στάσης και τη σχετική ροπή.

Οι κύκλοι εργασίας χρησιμοποιούνται ως παράμετρος ως προς το πόσο καιρό και πόσο σκληρά μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας χωρίς ψύξη. Οι κύκλοι λειτουργίας διατάσσονται από S1 έως S9. Το S1 είναι συνεχής λειτουργία, δηλαδή δεν απαιτείται χρόνος ανάπαυσης ή "off". Ένα S3 μπορεί να τρέξει για 4 από κάθε 10 λεπτά. Ένας S6 διαρκεί 4 λεπτά με πλήρες φορτίο και 6 λεπτά σε στάσιμο φορτίο.



**ΣΧΗΜΑ 2.63**

Η ανάδραση της ταχύτητας και της θέσης του δρομέα επιτυγχάνεται με τη χρήση κωδικοποιητών και επιλυτών. Χρησιμοποιείται ένας βαθμιδωτός κωδικοποιητής για βασικές πληροφορίες (βλ. Σχήμα 2.63). Ο κωδικοποιητής κωδικοποιεί το σήμα, δείχνει αν ο ρότορας επιταχύνει, σε καθορισμένη ταχύτητα ή επιβραδύνει. (βλέπε Σχήμα 2.64).

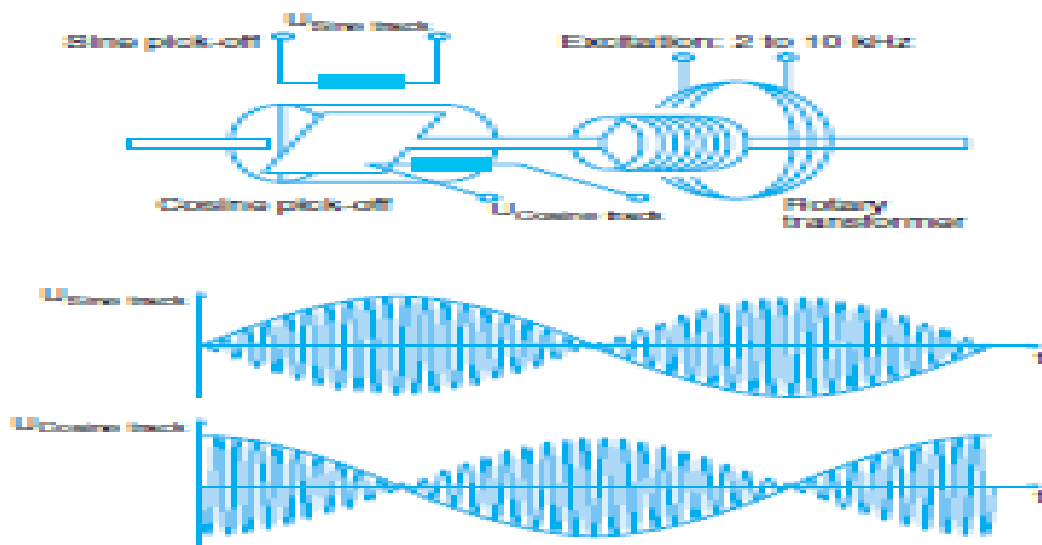


**ΣΧΗΜΑ 2.64**

Με τον υπολογισμό του αριθμού των παλμών, ο ελεγκτής μπορεί να καθορίσει τον αριθμό των στροφών που έχει κάνει ο ρότορας από την στιγμή που διευθετήθηκε εντολή έναρξης. Αυτό το σύστημα κλείνει το βρόχο μεταξύ της επιθυμητής εντολής που αποστέλλεται στον κινητήρα και της πραγματικής απόκρισης του δρομέα σχετικά με το σχεδιασμό του κωδικοποιητή και την ανάγνωση. Η επιλεκτικότητα στον σχεδιασμό και στην ένδειξη των κωδικοποιητών δημιούργησε έναν παλμό αναφοράς για τον ελεγκτή έτσι ώστε να γνωρίζει πού βρίσκονται οι πραγματικές στροφές των ασύγχρονων σερβοκινητήρων.

Η ακρίβεια είναι μικρότερη, διότι χρειάζεται να είναι ένας πλήρης κύκλος για τον κωδικοποιητή για να καταχωρήσει το σημείο αναφοράς. Καθώς η ανάγκη για ακρίβεια αυξάνει, πιο εξελιγμένες τεχνικές χρησιμοποιούνται για να μπορέσει να εξακριβωθεί η ακριβής θέση του δρομέα. Ένα πιο πολύπλοκο σύστημα παρακολούθησης για την κίνηση και την παρακολούθηση του συνολικού αριθμού των στροφών του από ένα αρχικό σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται από τον ελεγκτή. Μέθοδοι των επιλυτών για τον εντοπισμό της κίνησης του ρότορα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Ο αναλυτής χρησιμοποιεί την τεχνική ενός περιστρεφόμενου μαγνήτη που προκαλεί ένα ημιτονοειδές σήμα στον δέκτη.

Ο ρότορας χρησιμοποιεί δύο μαγνητικά πεδία σε απόσταση  $90^\circ$  μεταξύ τους. Καθώς περνούν από τον δέκτη, προκαλούν ένα ημιτονοειδές.



**ΣΧΗΜΑ 2.65**

Συγκρίνοντας τις δύο κυματομορφές, ο ελεγκτής υπολογίζει την ταχύτητα, την κατεύθυνση και τη θέση του ρότορα (βλέπε Σχήμα 2.65).

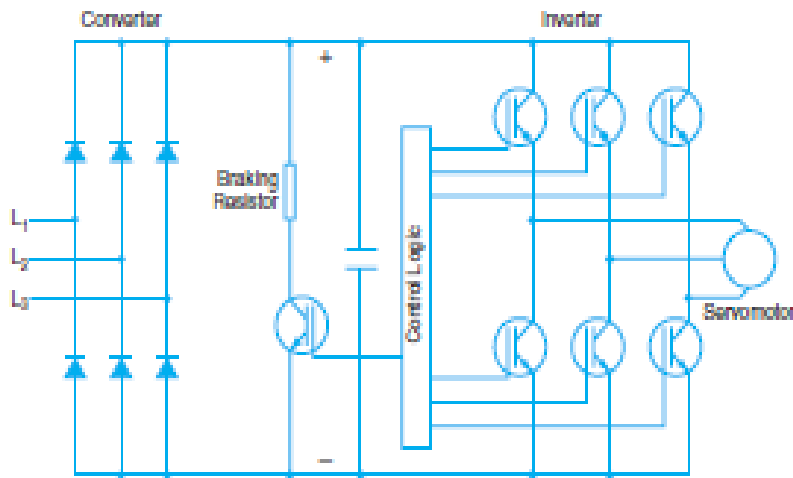
Οι κινητήρες έχουν τέσσερις γενικές συνθήκες: εκκίνηση και επιτάχυνση, εκτέλεση σε καθορισμένη ταχύτητα, επιβράδυνση για να σταματήσει και το σταμάτημα ή η στασιμότητα.

Η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση μπορεί να είναι βαθμιαία με την αφαίρεση της ισχύος και την ακινητοποίηση σε στάση, ή η επιβράδυνση μπορεί να ελεγχθεί και τελικά χρησιμοποιείται ένα φρένο που εφαρμόζεται για να συγκρατεί τη θέση του ρότορα. Η διαδικασία επιβράδυνσης του κινητήρα με μηχανικό τρόπο πάνω στον οποίο υπάρχει το φορτίο που συνδέεται έχει την επίδραση της αδράνειας φορτίου τραβώντας τον δρομέα ταχύτερα από την αντίστοιχη ταχύτητα που θα παρείχε το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως αρνητική ροπή

Καθώς ο ρότορας περιστρέφεται πέρα από το μαγνητικό πεδίο του στάτορα, ο κινητήρας γίνεται γεννήτρια ή παράγει μια αναγεννημένη τάση. Αυτή η τάση στην πραγματικότητα δημιουργείται πίσω στο στάτορα ως αντίστροφη τάση από την εφαρμοζόμενη. Αυτή η αναγέννηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβραδύνει τον κινητήρα, ακριβώς όπως μια γεννήτρια θα επιβραδύνει καθώς κάνει περισσότερο ηλεκτρικό έργο.

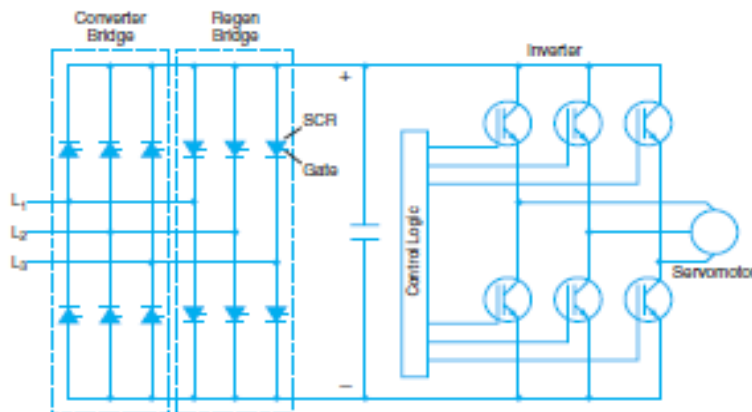
Εάν η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτηθεί πίσω στον ελεγκτή, η τάση μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο τμήμα μετατροπέα DC του ελεγκτή. Αυτό είναι το μπροστινό άκρο του ελεγκτή που μετατρέπει AC σε DC για χρήση από το PWM μετατροπέα. Τοποθετώντας μια αντίσταση

φρεναρίσματος στον δίαυλο DC του μετατροπέα, η περίσσεια ενέργεια μπορεί να διαλυθεί κλείνοντας το κύκλωμα στην αντίσταση, στην περίπτωση αυτή μέσω ενός(IGBT) με μονωμένη πύλη όπως φαίνεται στο σχήμα 2.66.



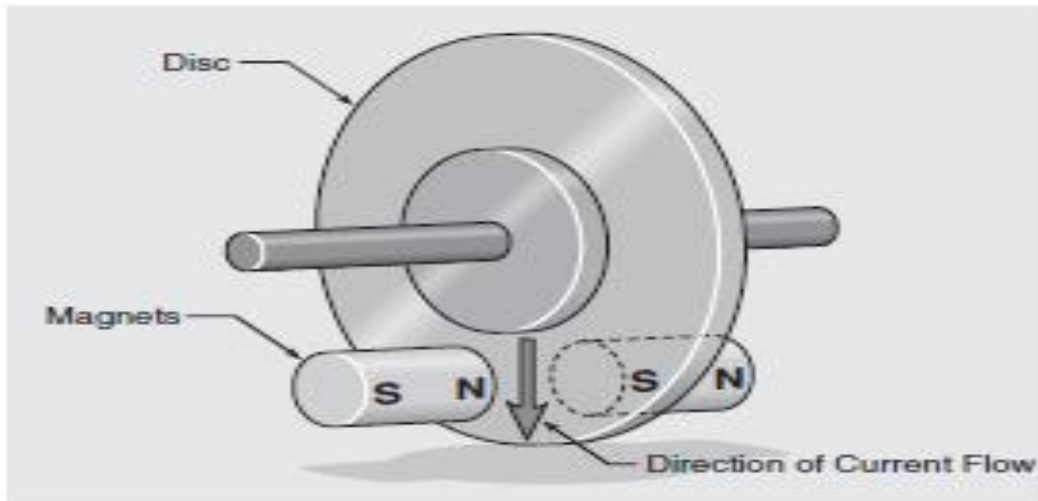
**ΣΧΗΜΑ 2.66**

Ένα άλλο σύστημα επιτρέπει η αναγεννημένη ισχύς να επιστρέφει στην πηγή ενέργειας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μια γέφυρα ανορθωτών SCR για να διορθωθεί η παροχή του εναλλασσόμενου ρεύματος για τον δίαυλο DC. Μια ξεχωριστή γέφυρα ανορθωτή SCR είναι τοποθετημένη αντίστροφα στην πρώτη, και ενεργοποιείται όταν υπάρχει αναγέννηση. Η αναγεννημένη ισχύς επιστρέφεται τώρα απευθείας στην πηγή τροφοδοσίας (βλ. Σχήμα 2.67).



**ΣΧΗΜΑ 2.67**

Ο σερβοκινητήρας δίσκου είναι ένας διαφορετικός σχεδιαστικός κινητήρας. Ο ρότορας είναι ένας μη αγώγιμος δίσκος που έχει στρώματα χαλκού "τυπωμένα" πάνω σε αυτό. Αυτό οδηγεί σε ένα άλλο όνομα για τον ίδιο κινητήρα ως "Κινητήρας τυπωμένου κυκλώματος" (βλ. Σχήμα 2.68.)



**ΣΧΗΜΑ 2.68**

Τα PM που σχηματίζουν τον στάτορα συναρμολογούνται σε κάθε πλευρά του δίσκου του ρότορα. Οι αγωγοί του δρομέα βγαίνουν στη μία πλευρά του δίσκου και οι εξωτερικές συνδέσεις γίνονται με μικρές βούρτσες που οδηγούν στο δίσκο. Επειδή οι αγωγοί βρίσκονται κάτω από ένα πόλο PM, δημιουργείται το ρεύμα στο ρότορα και μια μαγνητική ροή που αντιδρά με το πόλο για να δημιουργήσει ροπή. Ο αριθμός των πόλων και οι αντίστοιχοι αγωγοί πολλαπλασιάζουν αυτή την δημιουργία αντιρροπής.

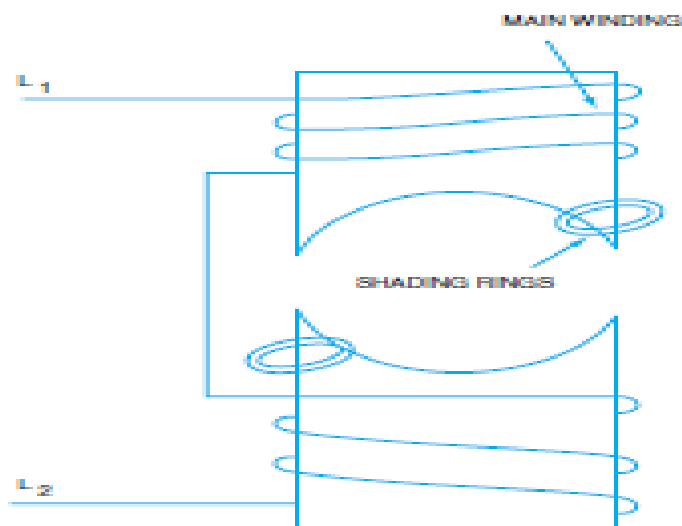
Η αντιρροπή που δημιουργείται είναι ομαλή σε όλες τις ταχύτητες, επειδή δεν υπάρχει σίδηρος στο οπλισμό για να δημιουργηθεί η οδόντωση όπως φαίνεται στους παραδοσιακούς κινητήρες PM. Επίσης, λόγω του λεπτού, μη χαλύβδινου ρότορα, ο σερβοκινητήρας δίσκου έχει πολύ γρήγορη επιτάχυνση. Μπορεί να επιταχύνει σε 3.000 στροφές ανά λεπτό περίπου  $60^\circ$  περιστροφής ή  $1/6$  μιας περιστροφής. Το ίδιο χαρακτηριστικό του δρομέα του επιτρέπει να σταματήσει και να αντιστραφεί πολύ γρήγορα επίσης. Όπως και με άλλους κινητήρες DC, η ταχύτητα ελέγχεται από το ρεύμα μέσω του δρομέα. Η αντίσταση του ρότορα είναι φυσικά μια σταθερή τιμή, έτσι ο έλεγχος τάσης στον οπλισμό μεταβάλλεται για τον έλεγχο της ταχύτητας και η τάση αντιστρέφεται για να παρέχει την αντίστροφη κατεύθυνση.

Όπως συμβαίνει και με τα ηλεκτρονικά χειριστήρια AC, το PWM χρησιμοποιείται για τον έλεγχο τόσο του επιπέδου τάσης όσο και της συχνότητας. Η συχνότητα διατηρείται κοντά στα 20 kHz παλμικού DC. Ελέγχοντας τον χρόνο "ενεργοποίησης" του παλμού, η τάση μεταβάλλεται και κατά συνέπεια η ταχύτητα ελέγχεται. Με τον έλεγχο της κατεύθυνσης της πολικότητας DC, η κατεύθυνση ελέγχεται. Βλέπε Σχήμα 2.69 για μια φωτογραφία ενός κινητήρα ServoDisc.



**ΣΧΗΜΑ 2.69**

Οι κινητήρες σκιασμένου πόλου είναι από τους πιο απλούς και φθηνότερους κινητήρες που κατασκευάζονται. Η αρχή της λειτουργίας χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα επαγωγής όχι μόνο στον στρόβιλο-κλωβό, αλλά και σε τμήματα του στάτορα που δημιουργούν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο από μία μόνο φάση της τάσης εισόδου. Αυτοί οι κινητήρες είναι συνήθως κλασματικής ιπποδύναμης και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλη ροπή εκκίνησης.



**ΣΧΗΜΑ 2.70**

Σε έναν απλό μονοκατευθυντικό κινητήρα, ένας δακτύλιος (δακτύλιος σκίασης) από συμπαγή αγωγό βραχυκυκλώνεται και ενσωματώνεται στη μία πλευρά μιας περιέλιξης στάτορα (βλέπε Σχήμα 2.70 και Σχήμα 2.71). Καθώς η τάση εφαρμόζεται στα πηνία κορυφής και πυθμένα, το πηνίο



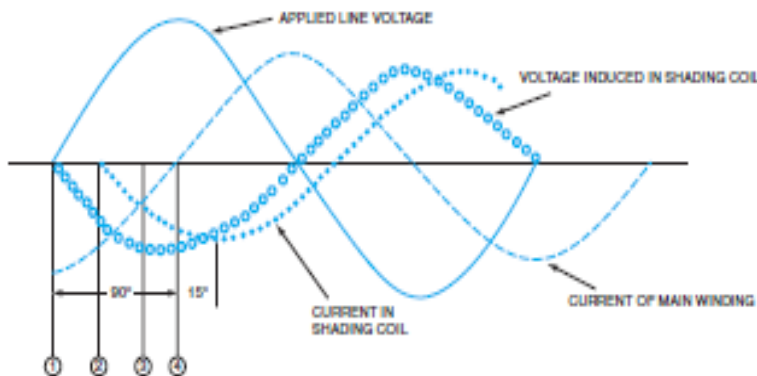
σκίασης έχει τάση σε αυτό. Ο νόμος του Lenz αναφέρει ότι η επίδραση της επαγωγής πάντα αντιτίθεται στην αιτία



**ΣΧΗΜΑ 2.71**

της επαγωγής. Ως εκ τούτου, το μαγνητικό πεδίο που αναπτύχθηκε από το δακτύλιο σκίασης ως ρεύμα ροής μέσω της βραχυκυκλωμένης περιέλιξης αντιτίθεται στην κύρια ροή. Αυτό προκαλεί το κύριο μαγνητικό πεδίο να μετατοπιστεί από το δακτύλιο σκίασης.

Καθώς η κυματομορφή της εφαρμοζόμενης τάσης αρχίζει να μειώνεται από την μέγιστη τιμή της, οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές επίσης μειώνονται. Η επίδραση στον δακτύλιο σκίασης είναι το αντίθετο. Καθώς η κύρια ροή του ρεύματος μειώνεται, το μαγνητικό αποτέλεσμα του δακτυλίου σκίασης τείνει να διατηρεί την ίδια πολικότητα ως κύρια, αλλά αυξάνει τη δύναμη. Αυτό προκαλεί την κίνηση του πόλου του στάτορα από τον κύριο (μη σκιασμένο) πόλο προς τον σκιασμένο πόλο (βλ. Σχήμα 2.72).



**ΣΧΗΜΑ 2.72**

Θέση 1-Σκίαση σκίασης παράγει νότιο πόλο, κεντρικό πόλο βόρεια. (Χρησιμοποιήστε την Σχήμα 20-33 ως αναφορά.)

Θέση 2-Μηδέν ρεύμα σκίασης, κεντρικός πόλος βόρεια.

Θέση 3-Σκίαση σπείρωμα ρεύματος και κύριο πόλο και βορρά.

Η θέση 4-Το κύριο πηνίο έχει μηδενική ροή, η σκίαση παραμένει βόρεια.

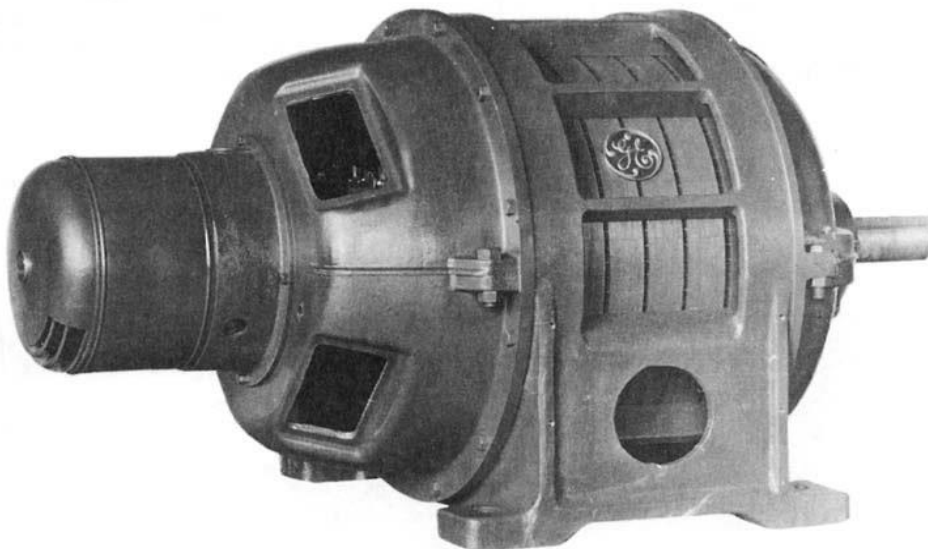
Αυτό δημιουργεί μια περιστροφή δεξιόστροφα της ροής του βόρειου πόλου. Για να αντιστρέψουμε την κατεύθυνση περιστροφής στους κινητήρες σκιασμένου πόλου, η σχέση μεταξύ του δακτυλίου σκίασης και της όψης του πόλου πρέπει να αντιστραφούν καθώς το πεδίο πάντα μετακινείται από το χωρίς σκίαση στο σκιασμένο τμήμα του πόλου του στάτορα. Ένα άλλο σύνολο δακτυλίων σκίασης στην αντίθετη πλευρά μπορεί να είναι βραχυκυκλωμένο.

Ο έλεγχος της ταχύτητας των κινητήρων σκιασμένου πόλου είναι εύκολος. Αλλάζουμε την τάση που εφαρμόζεται στην περιέλιξη του στάτορα ώστε να παράγει λιγότερη τάση ανά στροφή στην περιέλιξη, ή να αλλάζει τον αριθμό των στροφών με τη χρήση περιελίξεων με τρύπημα και τη διατήρηση της ίδιας εφαρμοζόμενης τάσης. Κάθε μέθοδος αλλάζει την τάση ανά στροφή στον κινητήρα. Λιγότερη τάση ανά στροφή λιγότερη ροή, περισσότερη ολίσθηση και μικρότερη ταχύτητα κάτω από το φορτίο.

Οι σκιασμένοι κινητήρες πόλων χρησιμοποιούνται συνήθως για ανεμιστήρες όπου οι λεπίδες είναι απευθείας τοποθετημένοι στον άξονα του δρομέα και ο αέρας περνά πάνω από τον κινητήρα. Αυτοί οι ανεμιστήρες απαιτούν ελάχιστη ροπή εκκίνησης και ο αέρας πάνω από τον κινητήρα βοηθά να διατηρείται δροσερός. Αν αυτοί οι κινητήρες ζεσταίνονται, ή βρίσκονται σε περιοχή υψηλών κραδασμών, οι δακτύλιοι σκίασης (οι οποίοι είναι συγκολλημένοι δακτύλιοι αγωγών) μπορεί να ανοίξουν και να προκαλέσουν την αποτυχία του κινητήρα.

## 2.5:Σύγχρονες Μηχανές

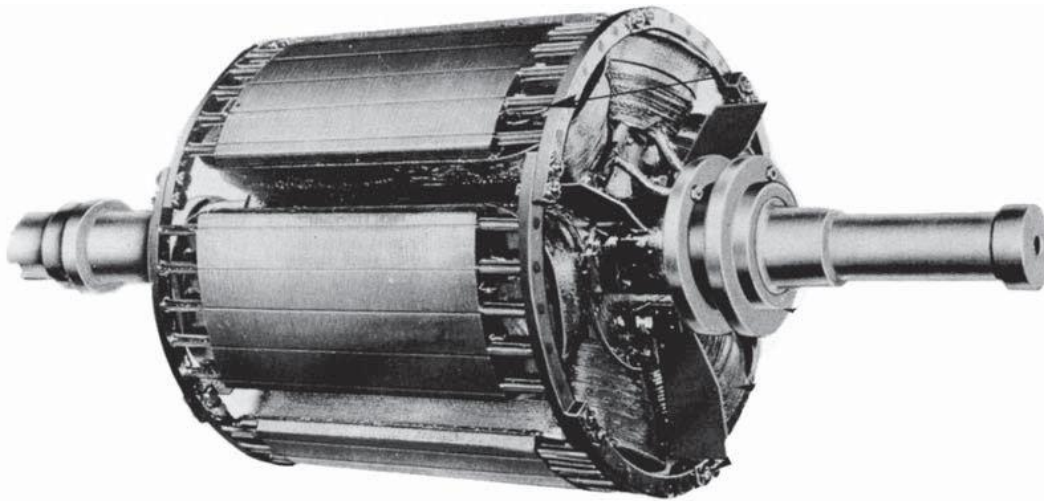
Ο σύγχρονος κινητήρας, που φαίνεται στο σχήμα 2.73, είναι τριφασικός ηλεκτροκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα από κατάσταση μη φορτίου έως πλήρες φορτίο. Αυτός ο τύπος κινητήρα έχει ένα περιστρεφόμενο πεδίο το οποίο ξεχωριστά διεγείρεται από μια πηγή DC. Από την άποψη αυτή, είναι παρόμοιος με μια τριφασική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Αν αλλάξει η διέγερση πεδίου DC, ο συντελεστής ισχύος του συγχρονισμένου κινητήρα μπορεί να ποικίλει σε ένα ευρύ φάσμα καθυστερημένων και πρωταρχικών τιμών.



**ΣΧΗΜΑ 2.73**

Ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της σταθερής χαρακτηριστικής ταχύτητάς του στην περιοχή από το φορτίο στο πλήρες φορτίο. Αυτός ο τύπος κινητήρα είναι επίσης που χρησιμοποιείται για τη διόρθωση ή τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος των τριών φάσεων βιομηχανικών κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος, ως εκ τούτου μειώνοντας το λειτουργικό κόστος.

Ένας τριφασικός σύγχρονος κινητήρας βασικά αποτελείται από έναν πυρήνα στάτορα με τρία στάδια(παρόμοια με έναν επαγωγικό κινητήρα), ένα περιστρεφόμενο πεδίο DC με βοηθητικές ή δακτυλιοειδείς περιελίξεις και δακτύλιοι ολίσθησης, ψήκτρες και βάσεις ψηκτρών και δύο θήκες ακραίων ασπίδων, τα ρουλεμάν που στηρίζουν τον άξονα του ρότορα. Μια περιέλιξη αμορτισέρ (Σχήμα 2.74) αποτελείται από χάλκινους ράβδους ενσωματωμένους στους πυρήνες των πόλων.



### ΣΧΗΜΑ 2.75

Οι χάλκινες ράβδοι αυτής της ξεχωριστής "τύλιξης σκίουρου-κλωβού" συγκολλούνται στους ακραίους δακτυλίους σε κάθε πλευρά του δρομέα.

Τόσο η περιέλιξη του στάτη όσο και ο πυρήνας ενός σύγχρονου κινητήρα είναι παρόμοιες με εκείνες του τριφασικού κινητήρα επαγωγή τυλιγμένου δρομέα και βραχυκυκλωμένου δρομέα. Οι αγωγοί για την περιέλιξη του στάτη σημειώνονται με T1, T2 και T3 και τελειώνουν σε ένα κουτί εξόδου τοποθετημένο στην πλευρά του πλαισίου του κινητήρα.

Ο ρότορας του σύγχρονου κινητήρα έχει προεξέχοντες πόλους πεδίου. Τα πηνία πεδίου είναι συνδεδεμένα σε σειρά για εναλλασσόμενη πολικότητα. Ο αριθμός των πόλων πεδίου του δρομέα πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των πόλων πεδίου στάτορα. Τα καλώδια κυκλώματος πεδίου εξέρχονται σε δύο δακτυλίους ολίσθησης στον άξονα του στροφέα για κινητήρες τύπου βούρτσας. Βούρτσες άνθρακα τοποθετημένες σε βάσεις βούρτσας κάνουν επαφή με τους δύο δακτυλίους.

Οι ακροδέκτες του κυκλώματος πεδίου εξέρχονται από τις βάσεις των βουρτσών σε ένα δεύτερο κουτί ακροδεκτών που είναι τοποθετημένο στο πλαίσιο του κινητήρα. Οι οδηγοί για το κύκλωμα πεδίου σημειώνονται ως F1 και F2. Παρέχεται ένα σκίουρο-κλουβί, ή αμορτισέρ, η περιέλιξη για εκκίνηση επειδή ο σύγχρονος κινητήρας δεν ξεκινάει αυτόματα χωρίς αυτή τη λειτουργία.

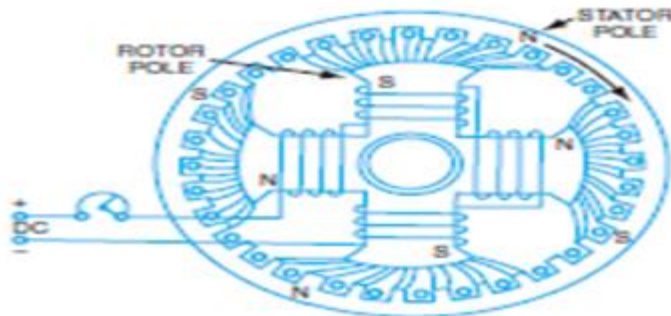
Ο ρότορας που φαίνεται στο σχήμα 2.75 έχει προεξέχοντες πόλους και περιελίξεις αμορτισέρ. Δύο ακραία προστατευτικά παρέχονται σε σύγχρονο κινητήρα. Ένα από τα ακραία προστατευτικά είναι μεγαλύτερο από το δεύτερο επειδή στεγάζει το συγκρότημα της διάταξης των ψηκτρών DC και τα δακτυλίδια ολίσθησης. Για τη στήριξη του άξονα του δρομέα χρησιμοποιούνται είτε τα ρουλεμάν με μανίκια είτε τα ρουλεμάν με μπίλιες. Τα ρουλεμάν στεγάζονται επίσης στις ακριανά προστατευτικά του κινητήρα.

Όταν εφαρμόζεται η τριφασική τάση με ονομαστική τάση στις περιελίξεις του στάτορα, αναπτύσσεται το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο ταξιδεύει με σύγχρονη ταχύτητα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από τη συχνότητα της τάσης των τριών φάσεων και τον αριθμό των πόλων του στάτορα.

Το μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται από τις περιελίξεις του στάτορα ταξιδεύει με την σύγχρονη ταχύτητα και τέμνει το τύλιγμα τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού του δρομέα. Τόσο η τάση όσο και το ρεύμα προκαλούνται στις ράβδους της περιέλιξης του ρότορα. Το προκύπτον μαγνητικό πεδίο του της περιέλιξης του αμορτισέρ(κυλινδρικού σκίουρου) αντιδρά με το πεδίο του στάτορα για να δημιουργήσει μια ροπή που προκαλεί τη στροφή του δρομέα.

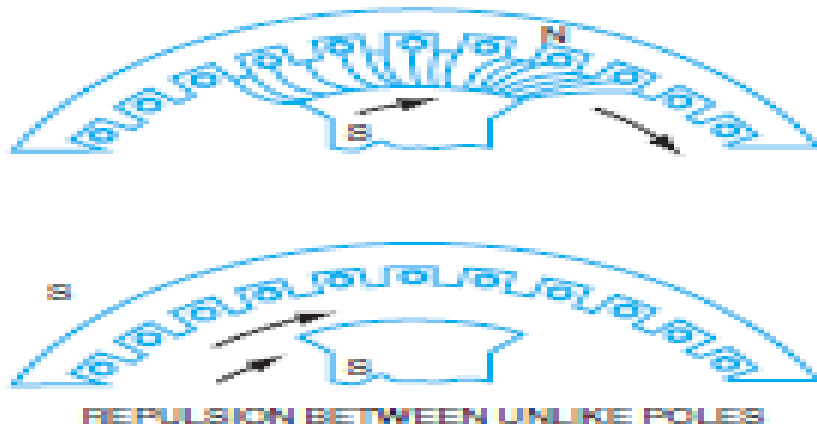
Η περιστροφή του δρομέα αυξάνεται σε ταχύτητα έως ένα σημείο ελαφρώς κάτω από την σύγχρονη ταχύτητα του στάτορα, περίπου 92 έως 97 τοις εκατό της ονομαστικής ταχύτητας του κινητήρα. Υπάρχει μια μικρή ολίσθηση στην ταχύτητα του δρομέα πίσω από την ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου που έχει ρυθμιστεί από τον στάτορα. Με άλλα λόγια, ο κινητήρας αρχίζει όπως ένα κινητήρα επαγωγής τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού.

Το κύκλωμα του πεδίου είναι τώρα συνδεδεμένο σε μια πηγή συνεχούς ρεύματος και οι σταθεροί μαγνητικοί πόλοι τοποθετούνται στους πυρήνες του πεδίου του δρομέα. Οι μαγνητικοί πόλοι του ρότορα έλκονται από τους αντίθετους μαγνητικούς πόλους που δημιουργούνται από το μαγνητικό πεδίο του στάτορα.



**ΣΧΗΜΑ 2.76 : ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ**

Το σχήμα 2.76 και το σχήμα 2.77 δείχνουν πώς μπλοκάρουν οι πόλοι του πεδίου του ρότορα σε αντίθεση με τους πόλους του πεδίου του στάτορα. Αφού οι πόλοι του πεδίου είναι κλειδωμένοι, η ταχύτητα του ρότορα γίνεται η ίδια με την ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τις περιελίξεις του στάτορα. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα του ρότορα είναι τώρα ίση με την σύγχρονη ταχύτητα.



**ΣΧΗΜΑ 2.77**

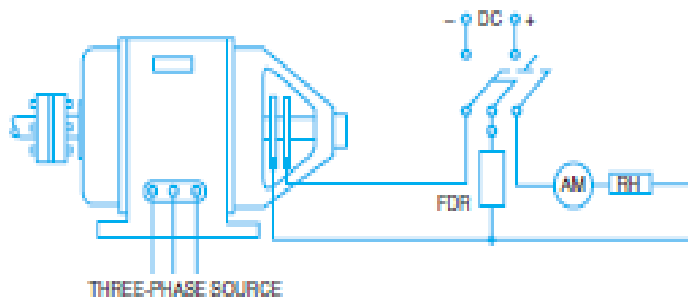
Θυμόμαστε ότι ένας σύγχρονος κινητήρας πρέπει πάντα να εκκινείται ως τριφασικός κινητήρας επαγωγής τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού με αποσύνδεση της διέγερσης πεδίου DC. Το κύκλωμα του πεδίου DC προστίθεται μόνο αφού ο ρότορας επιταχύνει σε μια τιμή κοντά στην σύγχρονη ταχύτητα.

Ο κινητήρας στη συνέχεια λειτουργεί ως σύγχρονος κινητήρας, κλειδωμένος σε βήμα με την περιστροφή του πεδίου του στάτορα. Εάν επιχειρήσουμε να ξεκινήσουμε έναν τριφασικό σύγχρονο

κινητήρα ενεργοποιώντας πρώτα το κύκλωμα πεδίου DC και στη συνέχεια την εφαρμογή της τάσης τριών φάσεων στις περιελίξεις του στάτορα, ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει επειδή η συνολική ροπή είναι μηδέν. Αυτή τη στιγμή η τριφασική τάση εφαρμόζεται στις περιελίξεις του στάτορα, το μαγνητικό πεδίο που ρυθμίζεται από το ρεύμα του στάτη περιστρέφεται στην σύγχρονη ταχύτητα. Ο ρότορας, με τους μαγνητικούς πόλους σταθερής πολικότητας, προσελκύεται πρώτα από ένα αντίθετο πόλο του στάτορα και προσπαθεί να γυρίσει προς αυτή την κατεύθυνση.

Ωστόσο, πριν ακόμα ο ρότορας να μπορεί να γυρίσει, ένας άλλος πόλος του στάτη με αντίθετη πολικότητα κινείται στη θέση του και ο ρότορας τότε επιχειρεί να γυρίσει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Λόγω αυτής της δράσης των εναλλασσόμενων πόλων, η ροπή του δικτύου είναι μηδενική και ο κινητήρας δεν ξεκινά.

Στα πρώιμα μοντέλα, το κύκλωμα πεδίου διέγερσης διεγείρεται από μια εξωτερική πηγή DC. Μία γεννήτρια DC μπορεί να συζευχθεί με τον άξονα του κινητήρα για να τροφοδοτήσει το ρεύμα διέγερσης DC. Το σχήμα 2.78 δείχνει τις συνδέσεις για ένα σύγχρονο κινητήρα. Ένα ροοστάτης πεδίου στο ξεχωριστά διεγερμένο κύκλωμα του πεδίου διέγερσης μεταβάλλει το ρεύμα στο κύκλωμα του πεδίου.

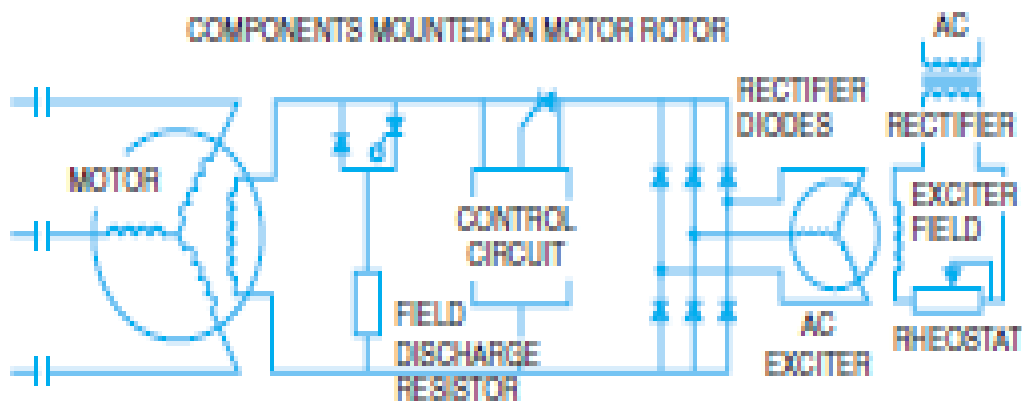


**ΣΧΗΜΑ 2.78**

Αλλαγές στο ρεύμα του πεδίου επηρεάζουν την αντοχή του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται από τον περιστρεφόμενο δρομέα. Οι μικρές διακυμάνσεις στην ισχύ του πεδίου του ρότορα δεν επηρεάζουν άμεσα τον κινητήρα, ο οποίος συνεχίζει να λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα. Ωστόσο, οι αλλαγές στη διέγερση του πεδίου DC προκαλούν αλλαγές στον συντελεστή ισχύος ενός σύγχρονου κινητήρα.

Μια βελτίωση στη σύγχρονη διέγερση του κινητήρα είναι η ανάπτυξη της διέγερσής του χωρίς ψήκτρες.

Ο εναλλάκτης ενός συμβατικού άμεσα συνδεδεμένου διεγέρτη αντικαθίσταται με τριφασικό ανορθωτή γέφυρας στερεάς κατάστασης. Η έξοδος συνεχούς ρεύματος τροφοδοτείται απευθείας στην περιέλιξη του πεδίου του κινητήρα. Απλοποιημένα κυκλώματα φαίνονται στο σχήμα 2.79.

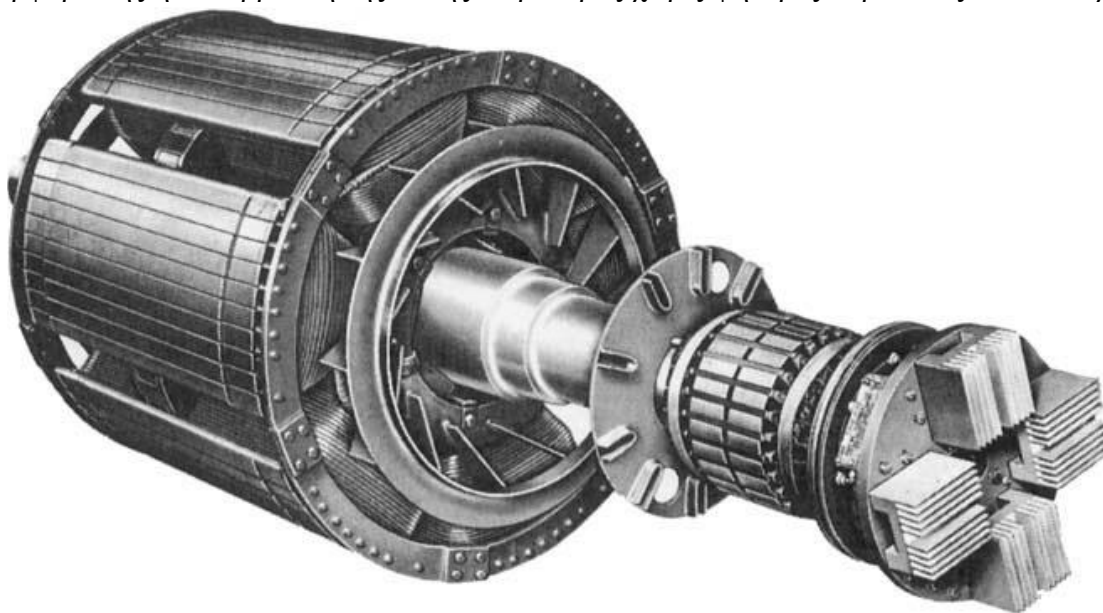


**ΣΧΗΜΑ 2.79**

Ένα στάσιμο δαχτυλίδι του τυλίγματος πεδίου για τον εκκινητή εναλλασσόμενου ρεύματος λαμβάνει DC από ένα μικρό ανορθωτή κιβώτιο ελέγχου του κινητήρα. Αυτός ο ανορθωτής τροφοδοτείται από την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Το πεδίο διέγερσης DC μπορεί επίσης να προσαρμοστεί.

Δίοδοι στερεάς κατάστασης τύπου ανορθωτή αλλάζουν την έξοδο AC του διεγέρτη σε DC. Αυτό το DC είναι η πηγή διέγερσης για τους πόλους του πεδίου του ρότορα. Ελεγχόμενοι ανορθωτές από πυρίτιο, ενεργοποιημένοι από το κύκλωμα ελέγχου πεδίου στερεάς κατάστασης, αντικαθιστούν τα ηλεκτρομηχανικά ρελέ και τις επαφές του συμβατικού σύγχρονου κινητήρα τύπου ψηκτρών.

Η αντίσταση εκφόρτισης του πεδίου εισάγεται κατά την εκκίνηση του κινητήρα. Κατά τον συγχρονισμό του κινητήρα όπου έχουμε την ταχύτητα έλξης, το κύκλωμα εκκένωσης πεδίου ανοίγει αυτόματα και η διέγερση DC εφαρμόζεται στις περιελίξεις των πόλων πεδίου του δρομέα. Η διέγερση αφαιρείται αυτόματα εάν ο κινητήρας εξέρχεται από το βήμα (συγχρονισμός) λόγω υπερφόρτισης ή κατάρρευση της τάσης. Ο ρότορας χωρίς ψήκτρες παρουσιάζεται στο σχήμα 2.79.



**ΣΧΗΜΑ 2.80**

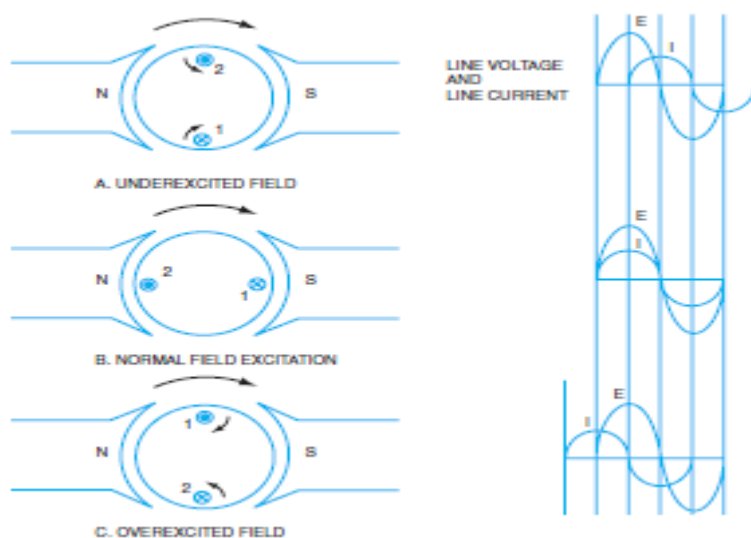
Τοποθετημένος στον άξονα του ρότορα είναι ο σπλισμός του εκκινητή εναλλασσόμενου ρεύματος, του οποίου η έξοδος AC διορθώνεται σε DC από τις διόδους πυριτίου. Τα προβλήματα

των ψηκτρών και των συλλεκτών εξαλείφονται με αυτό το σύστημα. (Ο στάτης ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες είναι παρόμοιος με αυτόν ενός τύπου ψηκτρών.)

Ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος παραμένει όταν το ρεύμα πεδίου μειωθεί κάτω από το κανονικό εισάγοντας όλη την αντίσταση του ροοστάτη στο κύκλωμα του πεδίου. Το τριφασικό AC στο κύκλωμα του στάτορα παρέχει κάποιο μαγνητικό ρεύμα, το οποίο βοηθά στην ενίσχυση του ασθενούς DC πεδίου. Αυτό το κομμάτι μαγνητίσεως του ρεύματος καθυστερεί την τάση κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες. Επειδή το μαγνητικό στοιχείο του ρεύματος γίνεται ένα μεγάλο μέρος του συνόλου στις τρέχουσα είσοδο, προκύπτει ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος με καθυστέρηση.

Εάν ενισχυθεί ένα αδύναμο πεδίο συνεχούς ρεύματος, βελτιώνεται ο συντελεστής ισχύος. Ως αποτέλεσμα, το τριφασικό κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος στον στάτορα παρέχει μικρότερο ρεύμα μαγνητισμού. Η μαγνητική συνιστώσα του ρεύματος γίνεται ένα μικρότερο μέρος της συνολικής εισόδου ρεύματος στον στάτορα και αυξάνεται ο συντελεστής ισχύος. Εάν η ένταση του πεδίου αυξηθεί επαρκώς, ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται σε μονάδα ή 100%. Όταν ο συντελεστής ισχύος καταφέρει να φτάσει την τιμή της μονάδας, το τριφασικό κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος δεν παρέχει κανένα ρεύμα δρομέα και το DC κύκλωμα πεδίου παρέχει όλο το ρεύμα που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση ενός ισχυρού πεδίου δρομέα.

Η τιμή της διέγερσης πεδίου DC που απαιτείται για την επίτευξη συντελεστή ισχύος ενότητας καλείται κανονική διέγερση. Αν το μαγνητικό πεδίο του δρομέα ενισχύεται περαιτέρω αυξάνοντας το πεδίο DC ρεύματος πάνω από την κανονική τιμή διέγερσης πεδίου, ο συντελεστής ισχύος μειώνεται.



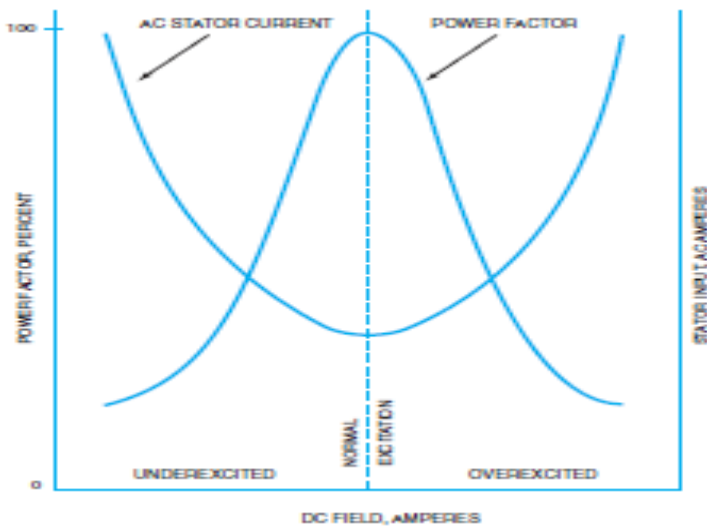
**ΣΧΗΜΑ 2.81**

Ωστόσο, ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται όταν το πεδίο DC υπερδιεγείρεται. Το τριφασικό κύκλωμα AC που τροφοδοτεί την περιέλιξη του στάτορα παρέχει ένα στοιχείο απομαγνητισμού του ρεύματος που αντιτίθεται στο πολύ ισχυρό πεδίο του ρότορα. Αυτή η ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένιση του πεδίου του ρότορα στο φυσιολογικό της μαγνητικής του αντοχής.

Τα διαγράμματα στο Σχήμα 2.81 δείχνουν πώς το μαγνητικό πεδίο συνεισφέρει ή αντιτίθεται στο πεδίο DC, όπου το μαγνητικό πεδίο έχει ρυθμιστεί από τις περιελίξεις του εναλλασσόμενου ρεύματος. Υπολογίζεται στο Σχήμα 2.81 ότι το πεδίο DC είναι ακίνητο και ένας περιστρεφόμενος οπλισμός συνδέεται στην πηγή του εναλλασσόμενου ρεύματος. Λαμβάνουμε υπόψη το γεγονός ότι



οι περισσότεροι σύγχρονοι κινητήρες έχουν σταθερές περιελίξεις εναλλασσόμενου ρεύματος και περιστρεφόμενο DC πεδίο. Και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο, η αρχή της λειτουργίας είναι η ίδια.

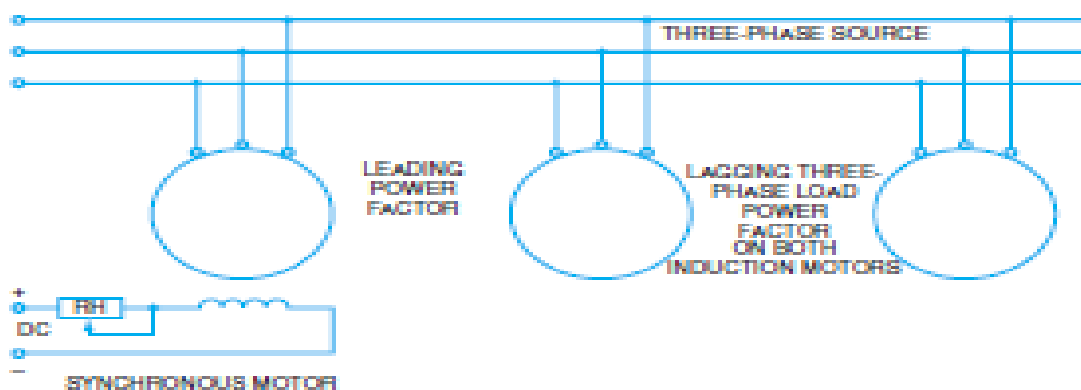


**ΣΧΗΜΑ 2.82**

Το σχήμα 2.82 δείχνει δύο χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας για ένα τριφασικό σύγχρονο μοτέρ. Με την κανονική διέγερση πλήρους πεδίου, ο συντελεστής ισχύος έχει μια μέγιστη τιμή της μονάδας ή 100 τοις εκατό και το ρεύμα στάτη AC είναι στη χαμηλότερη τιμή του.

Καθώς το ρεύμα πεδίου DC μειώνεται σε τιμή, ο συντελεστής ισχύος μειώνεται στο τεταρτημόριο καθυστέρησης και υπάρχει μια ταχεία αύξηση του ρεύματος στάτη AC. Εάν το ρεύμα πεδίου DC αυξάνεται παραπάνω από την τιμή διέγερσης κανονικού πεδίου, ο συντελεστής ισχύος μειώνεται στο τεταρτημόριο προπορείας και ως αποτέλεσμα έχουμε μια ταχεία αύξηση του ρεύματος του στάτη AC.

Έχει αποδειχθεί ότι ένας σύγχρονος κινητήρας που λειτουργεί με ένα υπερδιεγερμένο πεδίο DC έχει έναν συντελεστή ισχύος προπορείας. Για το λόγο αυτό, ένας τριφασικός σύγχρονος κινητήρας είναι συχνά συνδεδεμένος σε ένα τριφασικό κύκλωμα βιομηχανικού τροφοδότη με έναν συντελεστή ισχύος χαμηλής απόκλισης. Σε άλλες λέξεις, ο σύγχρονος κινητήρας με πεδίο υπερβολικής ισχύος βοηθάει να διορθωθεί ο συντελεστής ισχύος του κυκλώματος βιομηχανικού τροφοδότη.



**ΣΧΗΜΑ 2.83**

Στο Σχήμα 2.83, είναι συνδεδεμένοι δύο ηλεκτροκινητήρες επαγωγής με συντελεστές ισχύος με υστέρηση σε ένα κύκλωμα βιομηχανικού τροφοδότη. Ο σύγχρονος κινητήρας που είναι συνδεδεμένος στον ίδιο τροφοδότη λειτουργεί με ένα υπερδιεγερμένο πεδίο DC. Επειδή ο

σύγχρονος κινητήρας μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε ο προκύπτων συντελεστής ισχύος να είναι προπορείας, ο συντελεστής ισχύος του βιομηχανικού τροφοδότη μπορεί να διορθώνεται μέχρι να φτάσει μια τιμή κοντά στην μονάδα ή το 100%.

Η κατεύθυνση περιστροφής ενός σύγχρονου κινητήρα αντιστρέφεται με την αντικατάσταση δύο οποιονδήποτε από τα τρία καλώδια γραμμής που τροφοδοτούν την περιέλιξη του στάτη. Η κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα δεν αλλάζει εάν οι δύο αγωγοί της πηγής DC είναι εναλλάξιμοι.

Ο τριφασικός σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται όταν ένας κύριος κινητήρας έχει σταθερή την ταχύτητα από κατάσταση μη φορτίου σε πλήρες φορτίο που απαιτείται, όπως ανεμιστήρες, αεροσυμπιεστές και γοβάκια.

Ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται σε μερικές βιομηχανικές εφαρμογές για να οδηγήσει μηχανικά φορτία και επίσης να διορθώνει το συντελεστή ισχύος. Σε ορισμένες εφαρμογές, αυτός ο τύπος κινητήρα χρησιμοποιείται μόνο για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος ενός βιομηχανικού συστήματος ισχύος.

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας χρησιμοποιείται μόνο για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος και δεν οδηγεί μηχανικά φορτία, εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό με μια συστοιχία πυκνωτών που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος. Επομένως, σε μια τέτοια εγκατάσταση ο κινητήρας ονομάζεται σύγχρονος πυκνωτής.

Οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες, μέχρι την ισχύ των 10 hp, αρχίζουν συνήθως απευθείας στην ονομαστική τριφασική τάση. Σύγχρονοι κινητήρες μεγαλύτερων μεγεθών ξεκινούν μέσω ενός αντισταθμιστή εκκίνησης ή ενός αυτόματου εκκινήτη. Σε αυτόν τον τύπο εκκίνησης, η τάση που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του κινητήρα τη στιγμή της εκκίνησης είναι περίπου η μισή τιμή της ονομαστικής τάσης γραμμής και η αρχική τάση ρεύματος είναι περιορισμένη.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

#### 3.1:Βλάβες κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Παρακάτω διατυπώνονται οι συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να προκύψουν σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Επίσης αναγράφονται οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις προαναφερθείσες βλάβες καθώς και η αντιμετώπισή τους.

ΒΛΑΒΗ	ΑΙΤΙΕΣ	ΛΥΣΕΙΣ
Ο κινητήρας δεν ξεκινά	Δεν υπάρχει τάση στους ακροδέκτες	Να εξακριβωθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο
	Τήξη Ασφαλείας	Να αντικατασταθεί
	Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου	Αποκατάσταση της διακοπής η μερική νέα περιέλιξη
	Διακοπή η κακή επαφή στους τροφοδοτικούς αγωγούς ή στις βοηθητικές συσκευές πχ εκκινητής	Αποκατάσταση της διακοπής, σφίξιμο των επαφών

ΒΛΑΒΗ	ΑΙΤΙΕΣ	ΛΥΣΕΙΣ
Ο κινητήρας ξεκινά με δυσκολία	Κακή επαφή σε ακροδέκτες του κινητήρα ή των βοηθητικών συσκευών	Να σφιχθούν οι ακροδέκτες
	Όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη	Να αναζητηθεί η καλύτερη θέση για την λειτουργία με το κανονικό φορτίο
	Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου (δύο τομείς του συλλέκτη μαυρίζουν )	Αποκατάσταση της διακοπής η μερική νέα περιέλιξη
	Ιμάντας πολύ τανυσμένος	Να χαλαρωθεί ο ιμάντας
	Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή στην εκκίνηση	Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο όχημα ή απουσιάζει ανωμαλία
	Βραχυκύκλωμα του τυλίγματος με το σώμα του κινητήρα	Να επισκευαστεί το τύλιγμα

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την κανονική</b>	<b>Η τάση του δικτύου τροφοδότησης είναι πολύ υψηλή</b>	<b>Να γίνει μέτρηση της τάσεως τροφοδοσίας</b>
	<b>Διακοπή στο τύλιγμα των πόλων ή βραχυκυκλωμένες σπείρες</b>	<b>Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει νέο τύλιγμα διέγερσης</b>
	<b>Όχι σωστή συνδεσμολογία της διέγερσης</b>	<b>Να γίνει σύμφωνα με το σχέδιο του κατασκευαστή</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Σπινθηρισμός στον συλλέκτη του κινητήρα</b>	<b>Διακοπή ή βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου</b>	<b>Αποκατάσταση της διακοπής ή νέα περιέλιξη μερική ή ολική</b>
	<b>Φθαρμένος συλλέκτης</b>	<b>Να επισκευασθεί ο συλλέκτης</b>
	<b>Υπερφόρτιση η όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη</b>	<b>Ελάττωση του φορτίου η διόρθωση της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>
	<b>Ψήκτρες πολύ σκληρές ή πολύ μαλακές</b>	<b>Να τοποθετηθούν ψήκτρες όπως της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Οι ασφάλειες τήκονται</b>	<b>Ο κινητήρας υπερφορτίζεται</b>	<b>Να γίνει επαλήθευση με μέτρηση της εντάσεως που απορροφάται</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα</b>	<b>Να ελεγχθούν οι γραμμές και οι βοηθητικές συσκευές του κινητήρα</b>
	<b>Διακοπή στο κύκλωμα διεγέρσεως</b>	<b>Να αποκατασταθεί η διακοπή</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται</b>	<b>Υπερφόρτιση</b>	<b>Να ελαττωθεί το φορτίο η να τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας</b>
	<b>Η τάση του δικτύου είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή</b>	<b>Να ελεγχθεί αν η τάση του δικτύου είναι μέσα στα όρια του <math>\pm 5\%</math> της ονομαστικής τιμής εντάσεως</b>
	<b>Ο ανεμιστήρας δεν περιστρέφεται</b>	<b>Να γίνει αλλαγή στην φορά περιστροφής</b>
	<b>Ο δρομέας εφάπτεται στο στάτη</b>	<b>Να αλλάξουν τα έδρανα</b>
	<b>Βραχυκυκλωμένες σπείρες στο τύλιγμα του τυμπάνου</b>	<b>Να γίνει νέα μερική η ολική περιέλιξη</b>
	<b>Κακός αερισμός</b>	<b>Να καθαρισθούν οι δίοδοι κυκλοφορίας</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας λειτουργεί με θόρυβο</b>	<b>Χαλασμένα ρουλεμάν</b>	<b>Να αντικατασταθούν με καινούργια</b>
	<b>Ο μηχανικός σύνδεσμος της μηχανής δεν είναι ευθυγραμμισμένος</b>	<b>Να ευθυγραμμισθεί ο σύνδεσμος</b>
	<b>Κακή ζυγοστάθμιση του δίσκου του κόπλερ</b>	<b>Να ζυγοσταθμισθεί μαζί με το δρομέα της μηχανής</b>

### 3.2:Βλάβες γεννητριών συνεχούς ρεύματος

Παρακάτω διατυπώνονται οι συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να προκύψουν σε γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Επίσης αναγράφονται οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις προαναφερθείσες βλάβες καθώς και η αντιμετώπισή τους.

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Αν η γεννήτρια δεν δίνει τάση</b>	<b>Εξασθένηση του παραμένουτα μαγνητισμού</b>	<b>Να περάσουμε συνεχές ρεύμα από τα τυλίγματα των πόλων</b>
	<b>Διακοπή στο κύκλωμα του τυλίγματος των πόλων</b>	<b>Να βρεθεί η βλάβη</b>
	<b>Διακοπή στην ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως</b>	<b>Να βρεθεί η βλάβη</b>
	<b>Κακή επαφή των αγωγών με τους ακροδέκτες</b>	<b>Να σφιχθούν οι βίδες</b>
	<b>Η μαγνητική ροή των πόλων είναι αντίθετη από τον παραμένουτα μαγνητισμό</b>	<b>Στο κιβώτιο ακροδεκτών της μηχανής να γίνει αντιστροφή της τροφοδοσίας των πόλων</b>
	<b>Αντίστροφη φορά του ρεύματος σε ένα πόλο</b>	<b>Η βλάβη αυτή εμφανίζεται μετά την επισκευή του τυλίγματος ενός πόλου. Να γίνει σωστή σύνδεση</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Η τάση της γεννήτριας δεν είναι κανονική</b>	<b>Υπερφόρτιση ή όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη</b>	<b>Ελάττωση του φορτίου ή διόρθωση της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>
	<b>Διακοπή στο τύλιγμα του επαγωγικού (δύο τομείς του συλλέκτη μαυρίζουν από σπινθηρισμό)</b>	<b>Να επισκευασθεί ο συλλέκτης</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο ομάδων του επαγωγικού τυμπάνου (ισχυροί σπινθηρισμοί στον συλλέκτη)</b>	<b>Μερική ή νέα περιέλιξη του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Σπινθηρισμοί στον συλλέκτη</b>	<b>Διακοπή ή βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου</b>	<b>Αποκατάσταση της διακοπής η μερικής νέας περιέλιξης ή μερική η νέα περιέλιξη του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου</b>
	<b>Φθαρμένος συλλέκτης</b>	<b>Να επισκευασθεί ο συλλέκτης</b>
	<b>Υπερφόρτιση η όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη</b>	<b>Ελάττωση του φορτίου η διόρθωσης της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>
	<b>Ψήκτρες πολύ σκληρές ή πολύ μαλακές</b>	<b>Να τοποθετηθούν ψήκτρες όπως της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>

### 3.3:Βλάβες γεννητριών εναλλασσομένου ρεύματος

Παρακάτω διατυπώνονται οι συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να προκύψουν σε γεννήτριες εναλλασσομένου ρεύματος. Επίσης αναγράφονται οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις προαναφερθείσες βλάβες καθώς και η αντιμετώπισή τους.

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ανωμαλία στην τάση της γεννήτριας E.P</b>	<b>Η διεγέρτρια δεν δίνει τάση ή η τάση της δεν είναι κανονική</b>	<b>Πρέπει να βρεθεί και να επισκευασθεί η βλάβη</b>
	<b>Διακοπή στους αγωγούς που τροφοδοτούν τη διέγερση του εναλλακτήρα ή χαλαρή επαφή</b>	<b>Να βρεθεί και να αποκατασταθεί η διακοπή. Να σφικτούν οι επαφές</b>
	<b>Διακοπή στο τύλιγμα του στάτη</b>	<b>Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει μερική αντικατάσταση του τυλίγματος</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα μεταξύ των αγωγών φάσεως ή μεταξύ των δακτυλιδιών</b>	<b>Να βρεθεί το βραχυκύκλωμα και να επισκευασθεί</b>
	<b>Δεν είναι συμμετρική η φόρτιση</b>	<b>Να γίνει η τροφοδοσία περίπου συμμετρική</b>
	<b>Ο ρυθμιστής στροφών δεν εργάζεται καλά</b>	<b>Να επισκευασθεί η να αντικατασταθεί ο ρυθμιστής στροφών της κινητήριας μηχανής</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Σπινθηρισμοί στα δακτυλίδια</b>	<b>Δακτυλίδια μη ομαλά ή ακαθάριστα</b>	<b>Να καθαριστούν και αν χρειάζεται να επισκευασθούν</b>
	<b>Μη κυκλικά δακτυλίδια</b>	<b>Να τορνιθούν και να λειανθούν</b>
	<b>Οι ψήκτρες δεν πιέζουν κανονικά τα δακτυλίδια</b>	<b>Να ρυθμισθεί η πίεση των ψηκτρών</b>



### 3.4:Βλάβες σύγχρονων κινητήρων

Παρακάτω διατυπώνονται οι συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να προκύψουν σε σύγχρονους κινητήρες. Επίσης αναγράφονται οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις προαναφερθείσες βλάβες καθώς και η αντιμετώπισή τους.

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας δεν ξεκινά</b>	<b>Κακή σύνδεση στους τροφοδοτικούς αγωγούς</b>	<b>Να ελεγχθούν οι συνδέσεις μήπως υπάρχει χαλαρή σύνδεση ή διακοπή</b>
	<b>Διακοπή μίας φάσης τυλίγματος</b>	<b>Να ελεγχθεί και να Επισκευασθεί η κομμένη φάση</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα μίας φάσης του τυλίγματος</b>	<b>Ελάττωση του φορτίου η διόρθωση της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>
	<b>Ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση τριβής στην περιστροφή</b>	<b>Να ελεγχθούν οι φάσεις</b>
	<b>Υπάρχει ρεύμα στην διέγερση του κινητήρα</b>	<b>Να ελεγχθούν τα έδρανα, η τάνυση του ιμάντα, η αντίσταση του ιμάντα, η αντίσταση του φορτίου</b>
	<b>Το φορτίο είναι μεγάλο</b>	<b>Να ελαττωθεί το φορτίο</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας δεν αναπτύσσει ταχύτητα</b>	<b>Μεγάλο φορτίο</b>	<b>Να ελαττωθεί. Να ελεγχθεί μήπως η κινούμενη μηχανή έχει βλάβη</b>
	<b>Χαμηλή τάση τροφοδοσίας</b>	<b>Να αυξηθεί η τάση</b>
	<b>Υπάρχει ρεύμα στην διέγερση του κινητήρα</b>	<b>Να ελεγχθεί αν είναι ανοικτός ο διακόπτης διέγερσης</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας δεν συγχρονίζεται</b>	<b>Δεν υπάρχει ρεύμα στην διέγερση</b>	<b>Να ελεγχθεί μήπως υπάρχει διακοπή στους αγωγούς στη διεγέρτρια και στον διακόπτη διεγέρτριας στην ρυθμιστική αντίσταση. Να ελεγχθεί αν η διεγέρτρια δίνει τάση</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας αποσυγχρονίζεται ή ανοίγει ο αυτόματος διακόπτης</b>	<b>Χαμηλή τάση της διεγέρτριας</b>	<b>Να αυξηθεί η διέγερση. Να ελεγχθεί η διεγέρτρια</b>
	<b>Διακοπή στο κύκλωμα μαγνητικών πόλων και διεγέρτριας</b>	<b>Να βρεθεί η διακοπή και να επισκευαστεί</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα των μαγνητικών πόλων</b>	<b>Να ελεγχθεί το Κινούμενο μηχάνημα</b>
	<b>Υπερβολική ροπή του φορτίου</b>	<b>Να τοποθετηθούν ψήκτρες όπως της μεταθέσεως των ψηκτρών</b>
	<b>Διακοπή στο κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα</b>	<b>Να αυξηθεί η τάση</b>

### 3.5:Βλάβες ασύγχρονων κινητήρων

Παρακάτω διατυπώνονται οι συνηθέστερες βλάβες που μπορούν να προκύψουν σε ασύγχρονους κινητήρες. Επίσης αναγράφονται οι πιθανές αιτίες που προκαλούν τις προαναφερθείσες βλάβες καθώς και η αντιμετώπισή τους.

ΒΛΑΒΗ	ΑΙΤΙΕΣ	ΛΥΣΕΙΣ
<b>Ο κινητήρας δεν ξεκινά ούτε ακούγεται βόμβος</b>	<b>Δεν υπάρχει τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα</b>	<b>Να ελεγχθεί αν υπάρχει τάση στο δίκτυο</b>
	<b>Γήξη ασφαλειών</b>	<b>Να αντικατασταθούν</b>
	<b>Διακοπή ή κακή επαφή στους τροφοδοτικούς αγωγούς ή στις βοηθητικές συσκευές</b>	<b>Να γίνει αποκατάσταση της διακοπής και σφίξιμο των επαφών</b>

ΒΛΑΒΗ	ΑΙΤΙΕΣ	ΛΥΣΕΙΣ
<b>Ο κινητήρας δεν ξεκινά, ακούγεται κανονικός βόμβος</b>	<b>Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα</b>	<b>Οι φάσεις του στάτη πιθανώς είναι συνδεδεμένες σε αστέρα αντί του τριγώνου που απαιτεί η τάση τροφοδοσίας</b>
	<b>Διακοπή στο τύλιγμα του δρομέα</b>	<b>Σε τύλιγμα κλωβού να επαννακοληθεί. Σε τριφασικό τύλιγμα να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει νέο τύλιγμα</b>
	<b>Διακοπή στον εκκινητή ή στους αγωγούς συνδεσμολογήσεώς του</b>	<b>Να αποκατασταθεί η βλάβη ή να αντικατασταθεί ο εκκινητής</b>
	<b>Φθορά ή κακή επαφή των ψηκτρών</b>	<b>Αντικατάσταση φθαρμένων ψηκτρών, ρύθμιση πίεσεως ελατηρίων</b>
	<b>Μεγάλη αντισταθμισμένη ροπή στην εκκίνηση</b>	<b>Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο μηχάνημα ή αυτό έχει ελάττωμα</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας δεν ξεκινά και ακούγεται δυνατός βόμβος</b>	<b>Μια φάση δεν παίρνει ρεύμα</b>	<b>Να αναζητηθεί η βλάβη έλλειψη τάσεως σε μια φάση του δικτύου, τυχόν διακοπή ενός αγωγού ή κακή επαφή σε ακροδέκτες και να γίνει επισκευή</b>
	<b>Σε μια φάση του τυλίγματος του στάτη παρουσιάζεται διακοπή</b>	<b>Να αποκατασταθεί η διακοπή ή να αντικατασταθεί η φάση που παρουσιάζει βλάβη</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στάτη</b>	<b>Μερική ή ολική αντικατάσταση του τυλίγματος</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>	<b>ΛΥΣΕΙΣ</b>
<b>Ο κινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο και οι στροφές του πέφτουν μόλις τον φορτίσουμε</b>	<b>Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα</b>	<b>Οι φάσεις του στάτη πιθανώς είναι συνδεσμολογημένες σε αστέρα αντί του τριγώνου που απαιτεί η τάση τροφοδοσίας</b>
	<b>Διακοπή στο τύλιγμα του δρομέα</b>	<b>Σε τύλιγμα κλωβού να επαννακοληθεί. Σε τριφασικό τύλιγμα να αποκατασταθεί η διακοπή ή να γίνει νέο τύλιγμα</b>
	<b>Διακοπή στον εκκινητή ή στους αγωγούς Συνδεσμολογήσεώς του</b>	<b>Να αποκατασταθεί ή να η βλάβη ή να αντικατασταθεί ο εκκινητής</b>
	<b>Φθορά ή κακή επαφή των ψηκτρών</b>	<b>Αντικατάσταση Φθαρμένων ψηκτρών, Ρύθμιση πίεσεως ελατηρίων</b>
	<b>Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή Στην εκκίνηση</b>	<b>Ο κινητήρας είναι μικρός για το κινούμενο μηχάνημα ή αυτό έχει ελάττωμα</b>

<b>ΒΛΑΒΗ</b>	<b>ΑΙΤΙΕΣ</b>
<b>Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται</b>	<b>Υπερφόρτιση</b>
	<b>Λανθασμένη συνδεσμολογία στο κιβώτιο των ακροδεκτών</b>
	<b>Βραχυκύκλωμα στο τύλιγμα του στάτη ή του δρομέα</b>
	<b>Μια φάση δεν παίρνει ρεύμα και σε μια φάση του τυλίγματος του στάτη παρουσιάζεται διακοπή</b>
	<b>Ο δρομέας εφάπτεται στο στάτη</b>
	<b>Κακός αερισμός</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (FEM)

### 4.1 : Εισαγωγή στην μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (FEM)

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική ανάλυση με την οποία μπορεί κάποιος να επιλύσει μηχανολογικά ή ακόμα και μαθηματικά προβλήματα. Στα προβλήματα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτόν τον τομέα περιλαμβάνονται τα εξής: **δομική ανάλυση** , **μεταφορά θερμότητα** , **ροή ρευστού** , **μεταφορά μάζας** καθώς και **ηλεκτρομαγνητικό δυναμικό**.

Γενικά , η αναλυτική επίλυση τέτοιων προβλημάτων απαιτεί την επίλυση αυτών σε προβλήματα οριακών τιμών για μερικές διαφορικές εξισώσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος επίλυσης λοιπόν ενός τέτοιου προβλήματος οδηγεί σε ένα σύστημα από αλγεβρικές εξισώσεις. Η μέθοδος αυτή αποδίδει προσεγγιστικές τιμές στους αγνώστους ενός προβλήματος σε έναν αριθμό διακριτών σημείων γύρω από το πεδίο ορισμού. Για να λύσει το πρόβλημα η μέθοδος διαιρεί το πρόβλημα σε μικρότερα , πιο απλά μέρη του προβλήματος τα οποία ονομάζει ως πεπερασμένα στοιχεία. Οι απλές εξισώσεις που μοντελοποιούν τα πεπερασμένα στοιχεία στην συνέχεια ενώνονται σε ένα μεγαλύτερο σύστημα εξισώσεων που μοντελοποιούν ολόκληρο το πρόβλημα. Η μέθοδος FEM τελικά χρησιμοποιεί μεθόδους μεταβλητών για να προσεγγίσει μια επίλυση , ελαχιστοποιώντας μία συνάρτηση συναφούς σφάλματος. Η μελέτη ή η ανάλυση ενός φαινομένου μέσω του FEM συνήθως αναφέρεται και ως **ανάλυση πεπερασμένου στοιχείου(FEA)**.

Παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι προσεγγιστική μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Το μειονέκτημα που έχει όμως είναι ότι χρειάζεται μεγάλη υπολογιστική ισχύ για να εφαρμοστεί , ειδικότερα σε πολύ σύνθετα μοντέλα. Λόγω όμως της ανάπτυξης των υπολογιστών τα τελευταία χρόνια πλέον η παραπάνω δυσκολία έχει μειωθεί δραστικά. Έχει μεγάλη επιτυχία και για αυτόν κυρίως τον λόγο χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα ευρέως στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και την μελέτη διάφορων κατασκευών. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια εξέλιξη των **μητρικών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων** και αναπτύχθηκε από σπουδαίους επιστήμονες εκ των οποίων μερικοί είναι ο **Ιωάννης Αργύρης**, **Ρέι Κλαφ**, **Βάλτερ Ριτζ** και **Μπόρις Γκαλέρκιν**.

Για να μπορούμε να εφαρμόσουμε την συγκεκριμένη μέθοδο σε ένα πρόβλημα απαιτούνται τα εξής στάδια:

- 1) Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
- 2) Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Για παράδειγμα, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται ως pre processor.
- 3) Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα ονομάζονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
- 4) Όταν βγουν τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

## 4.2: Βασικά στοιχεία μεθόδου FEM

Η διαίρεση ενός μεγάλου γεωμετρικού σχήματος του προβλήματος σε μικρότερα γεωμετρικά πεδία έχει πολλά πλεονεκτήματα μεταξύ αυτών

- 1) Ακριβής αναπαράσταση μιας περίπλοκης γεωμετρίας
- 2) Συμπερίληψη ανόμοιων ιδιοτήτων διαφόρων υλικών
- 3) Εύκολη παρουσίαση της ολόκληρης τελικής λύσης
- 4) Αποτύπωση των τοπικών επιδράσεων

Αρχικά όλο το γεωμετρικό σχήμα διαιρείται σε μικρότερα πεδία, όπου το κάθε γεωμετρικό πεδίο αποτελείται από ένα σετ δομικών εξισώσεων προς το αρχικό γεωμετρικό σχήμα. Στην συνέχεια, ξανασυνδέονται συστηματικά όλα τα σετ των δομικών εξισώσεων σε ένα καθολικό σύστημα εξισώσεων για τον τελικό υπολογισμό.

Οι δομικές εξισώσεις είναι απλές εξισώσεις οι οποίες προσεγγίζουν τοπικά τις αρχικά περίπλοκες εξισώσεις που συνήθως οι τελευταίες είναι μερικές διαφορικές εξισώσεις. Προκειμένου να εξηγηθεί η προσέγγιση που πραγματοποιείται στην συγκεκριμένη διαδικασία το FEM συνήθως αναφέρεται κοινώς ως μια ειδική περίπτωση της μεθόδου Galerkin. Σε μαθηματική γλώσσα η διαδικασία που ακολουθείται είναι η δημιουργία ενός ολοκληρώματος του εσωτερικού γινομένου των διαφορών μεταξύ των μετρούμενων τιμών και των προβλεπόμενων τιμών και των συναρτήσεων βάρους και θέτοντας το ολοκλήρωμα να τείνει προς το 0. Με άλλα λόγια, είναι μια διαδικασία με την οποία ελαττώνεται το σφάλμα της προσέγγισης βάζοντας δοκιμαστικές συναρτήσεις στις μερικές διαφορικές εξισώσεις. Η διαφορά μεταξύ των μετρούμενων και των προβλεπόμενων τιμών είναι το σφάλμα που προκύπτει από τις δοκιμαστικές συναρτήσεις. Οι συναρτήσεις βάρους είναι πολυωνυμικές προσεγγιστικές συναρτήσεις που αντικατοπτρίζουν την παραπάνω διαφορά. Η διαδικασία αυτή εξαλείφει όλες τις χωρικές παραγωγούς από τις μερικές διαφορικές εξισώσεις. Ωστόσο προσεγγίζει τις μερικές διαφορικές εξισώσεις τοπικά με ένα σετ από αλγεβρικές εξισώσεις για προβλήματα σταθερής κατάστασης και με ένα σετ από ορισμένες διαφορικές εξισώσεις για προβλήματα μεταβλητής κατάστασης. Τα προαναφερθέντα σετ των εξισώσεων είναι οι στοιχειώδης εξισώσεις. Είναι είτε γραμμικές εάν οι μερικές διαφορικές εξισώσεις είναι γραμμικές ή μη γραμμικές εάν ισχύει το αντίθετο. Οι αλγεβρικές εξισώσεις που αφορούν τα προβλήματα σταθερής κατάστασης λύνονται με μεθόδους γραμμικής άλγεβρας ενώ οι ορισμένες διαφορικές εξισώσεις που αφορούν προβλήματα μεταβλητής κατάστασης λύνονται μέσω της ολοκλήρωσης με τεχνικές όπως η μέθοδος του Euler ή η μέθοδος Runge-kutta.

Το καθολικό σύστημα εξισώσεων παράγεται από στοιχειώδης εξισώσεις μέσω μετασχηματισμού των συντεταγμένων των τοπικών κόμβων των γεωμετρικών υποτυμημάτων στους καθολικούς κόμβους του γεωμετρικού σχήματος. Ο χωρικός αυτός μετασχηματισμός περιλαμβάνει κατάλληλες προσαρμογές προσανατολισμού όπως εφαρμόζονται σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς. Η συγκεκριμένη διαδικασία συνήθως γίνεται μέσω του λογισμικού FEM χρησιμοποιώντας δεδομένα συντεταγμένων που παράγονται από τα μικρότερα πεδία ορισμού.

Το FEM γίνεται πιο εύκολα κατανοητό μέσα από την πρακτική εφαρμογή που ονομάζεται ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (στα αγγλικά FEA). Εφαρμόζεται σε μηχανολογικές αναλύσεις. Περιλαμβάνει την χρήση τεχνικών παραγωγής πλέγματος για την διαίρεση ενός πολύπλοκου προβλήματος σε μικρότερα κομμάτια καθώς και την χρήση ενός λογισμικού προγράμματος που είναι κωδικοποιημένο με τον αλγόριθμο FEM. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου FEA το πολύπλοκο πρόβλημα ουσιαστικά είναι ένα φυσικό σύστημα με γνωστές φυσικές εξισώσεις όπως η **εξίσωση δέσμης Euler-Bernoulli, την εξίσωση θερμότητας, οι**

**εξισώσεις Navier-Stokes**, οι οποίες εκφράζονται είτε σε μερικές διαφορικές εξισώσεις, είτε σε εξισώσεις ολοκληρωμάτων. Τα μικρότερα κομμάτια του προβλήματος αντιπροσωπεύουν διάφορες πτυχές του φυσικού συστήματος. Η μέθοδος FEA είναι ιδανική για την ανάλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν πολύπλοκες γεωμετρίες (όπως αυτοκίνητα ή πετρελαιοαγωγούς). Επίσης είναι ιδανική όταν αλλάζει η γεωμετρία, όταν η επιθυμητή ακρίβεια ποικίλει σε όλη την γεωμετρική διάταξη, ή ακόμα και όταν η λύση υστερεί σε ομαλότητα. Οι εξομοιώσεις της μεθόδου FEA προσφέρουν μια πολύτιμη βοήθεια καθώς αποφεύγουν πολλές περιπτώσεις δημιουργίας και ελέγχου δύσκολων πρωτότυπων για καταστάσεις υψηλής πιστότητας. Για παράδειγμα, σε μια εξομοίωση μετωπικής συντριβής μπορούμε να αυξήσουμε την πρόβλεψη ευστοχίας σε σημαντικές περιοχές όπως το μπροστινό μέρος του αυτοκινήτου και να μειώσουμε την ευστοχία στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Ένα άλλο παράδειγμα θα μπορούσε να ήταν η πρόβλεψη καιρού όπου είναι πιο σημαντικό να υπάρχουν ακριβείς προβλέψεις για φαινόμενα όπως τροπικούς κυκλώνες στην ατμόσφαιρα ή φαινόμενα **eddies** στον ωκεανό, παρά για σχετικά ήρεμες περιοχές.



### 4.3: Ιστορία της μεθόδου FEM

Η συγκεκριμένη μέθοδος προήλθε από την ανάγκη επίλυσης προβλημάτων ελαστικότητας και δομικής ανάλυσης στην πολιτική και αεροναυπηγική μηχανική. Η δημιουργία της προήλθε από τους **A.Hrennikoff**, **R.Courant** και **Ιωάννης Αργύρης** στις αρχές του 1940. Στην Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατών η πρακτική εφαρμογή αυτή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε από τον **Leonard Organesyan**. Στην Κίνα στα τέλη του 1950 και στις αρχές του 1960 ο **K.Feng** πρότεινε μια αριθμητική μέθοδο για την επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων η οποία βασιζόταν σε υπολογισμούς κατασκευών φραγμάτων. Η μέθοδος ονομαζόταν ως **μέθοδος πεπερασμένων διαφορών** που ήταν άλλη μια ανεξάρτητη εφεύρεση της **μεθόδου πεπερασμένου στοιχείου**. Παρόλο που οι προσεγγίσεις όλων των παραπάνω ιδρυτών ήταν διαφορετικές, όλες είχαν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Τον διαχωρισμό μίας ενιαίας γεωμετρίας σε μικρότερα διακεκριμένα τμήματα τα οποία συνήθως αποκαλούνταν ως στοιχεία.

Η θεωρία του **Hrennikoff** διαχωρίζει την γεωμετρία χρησιμοποιώντας μια δικτυωτή αναλογία, ενώ η προσέγγιση του **Courant** διαιρεί την γεωμετρία σε πεπερασμένες τριγωνικές περιοχές έτσι ώστε να λυθούν δευτεροβάθμιες ελλειπτικές μερικές διαφορικές εξισώσεις. Η συνεισφορά του **Courant** ήταν επαναστατική αποτελούμενη από μεγάλη γκάμα προηγούμενων αποτελεσμάτων για τις μερικές διαφορικές εξισώσεις που είχαν αναπτυχθεί από τους **Rayleigh**, **Ritz** και **Galerkin**.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων απέκτησε την πραγματική της ώθηση στη δεκαετία του 1960 και του 1970 από τις εξελίξεις του **Ιωάννης Αργύρης** με τους συνεργάτες του στο **Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης**, του **RW Clough** με τους συνεργάτες του στο **Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϋ**, του **OC Zienkiewicz** με τους συναδέλφους **Ernest Hinton**, **Bruce Irons** και άλλους στο **Πανεπιστήμιο Σουόνσι**, του **Philippe G. Ciarlet** στο **Πανεπιστήμιο του Παρισιού 6** και του **Richard Gallagher** με τους συναδέλφους του στο **Πανεπιστήμιο Cornell**. Ακόμα περισσότερη ώθηση από διαθέσιμα ανοιχτά προγράμματα της μεθόδου αυτής. Η NASA χορήγησε την πρώτη έκδοση του NASTRAN και το πανεπιστήμιο του Μπέρκλεϋ έκανε ευρέως διαθέσιμο το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP IV. Στην Νορβηγία η απόρρητη κατοικία πλοίων **Det Norske Veritas** ανέπτυξε το **Sesam** το 1969 για την ανάλυση πλοίων. Το 1973 αναπτύχθηκε μια ισχυρή μαθηματική βάση με την δημοσίευση του **Strang** και **Fix**. Από τότε η μέθοδος έχει γενικευθεί για την αριθμητική μέθοδο φυσικών συστημάτων σε μία ποικιλία από μηχανολογικές αρχές όπως ηλεκτρομαγνητισμός, μεταφορά θερμότητας και δυναμική των ρευστών.

#### **4.4: Εισαγωγή στο FEMM**

Αφού κάναμε μια μακρά εισαγωγή στην μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, δηλαδή στην μέθοδο FEM, μπορούμε πλέον να μιλήσουμε για ένα παρακλάδι αυτής της μεθόδου που αφορά την περίπτωση που μας ενδιαφέρει. Στην περίπτωση λοιπόν του ηλεκτρομαγνητισμού το μοτίβο της διακριτοποίησης όπως αυτό που προσφέρει η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι η καλύτερη λύση για να πάρουμε ακριβής αποτελέσματα. Αποτελεί λοιπόν μια συχνή μέθοδο μέσω της οποίας μπορούμε να μοντελοποιήσουμε διάφορα φυσικά προβλήματα όπως ηλεκτροστατικά, μαγνητοστατικά, μαγνητοδυναμικά, και πολλά άλλα με περίπλοκες γεωμετρίες και τα οποία είναι μη γραμμικά. Παρόλο που οι διαφορικές εξισώσεις παρουσιάζονται σχετικά συμπαγής είναι αρκετά δύσκολο να πάρουμε ακριβής προσεγγιστικές λύσεις για όλες τις γεωμετρίες, σε αντίθεση με τις απλές γεωμετρίες όπου εκεί τα πράγματα είναι πιο εύκολα. Για αυτό λοιπόν το σκοπό έχει δημιουργηθεί και αναπτυχθεί το λογισμικό FEMM, δηλαδή η μέθοδος των πεπερασμένων μαγνητικών στοιχείων. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξασφαλίζει κάποιους περιορισμούς για τις εξισώσεις του Maxwell. Τα μαγνητικά προβλήματα που παρουσιάζονται θεωρούνται προβλήματα χαμηλής συχνότητας όπου τα ρεύματα μετατόπισης μπορούν να αμεληθούν. Σε μια παρόμοια λογική, το ηλεκτροστατικό λογισμικό ουσιαστικά θεωρεί ότι η ισχύει η αντίστροφη κατάσταση κατά την οποία το ηλεκτρικό πεδίο λαμβάνεται υπόψη ενώ το μαγνητικό πεδίο αγνοείται. Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται σε 2D επίπεδα καθώς και σε 3D μη συμμετρικά, γραμμικά και μη γραμμικά αρμονικά μαγνητικά, μαγνητοστατικά και γραμμικά ηλεκτροστατικά προβλήματα.

#### 4.5: Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου FEMM

Η μέθοδος FEMM παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς στις εξισώσεις του Maxwell, των μαγνητοστατικών, ηλεκτροστατικών και χαμηλών συχνοτήτων αρμονικών περιοδικών προβλημάτων. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις των προβλημάτων τα πεδία είναι χρονικά αμετάβλητα και οι εξισώσεις του Maxwell γίνονται όπως φαίνονται παρακάτω:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1) \qquad \nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{0} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3) \qquad \nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J} \quad (4)$$

Όπου το  $\mathbf{E}$  είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου,  $\mathbf{B}$  η πυκνότητα πεδίου της μαγνητικής ροής,  $\mathbf{J}$  η πυκνότητα του ρεύματος,  $\rho$  η πυκνότητα φορτίου,  $\epsilon$  η ηλεκτρική διαπερατότητα και  $\mu$  η μαγνητική διαπερατότητα. Οι ποσότητες  $\mathbf{E}$  και  $\mathbf{J}$  υπακούουν την παρακάτω σχέση

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (5)$$

Όπου  $\sigma$  ονομάζουμε την αγωγιμότητα του μέσου.

Στην περίπτωση ενός μαγνητοστατικού προβλήματος αυτό που κάνει το FEMM είναι ότι προσπαθεί να βρει ένα πεδίο το οποίο ικανοποιεί τις σχέσεις (3) και (4) μέσω της προσπάθειας προσέγγισης ενός μαγνητικού διανύσματος. Η πυκνότητα ροής γράφεται σε όρους δυνητικού διανύσματος  $\mathbf{A}$ , όπως φαίνεται στην συνέχεια

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (6)$$

Η σχέση (4) γίνεται ως εξής:

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu(\mathbf{B})} \nabla \times \mathbf{A} \right) = \mathbf{J} \quad (7)$$

Σε ένα ηλεκτροστατικό πρόβλημα η μέθοδος FEMM χρησιμοποιεί το διανυσματικό μέγεθος του ηλεκτρικού δυναμικού το οποίο ορίζεται από την παρακάτω έκφραση

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (8)$$

Η διαφορική εξίσωση η οποία λύνεται από την μέθοδο FEMM είναι η ακόλουθη

$$-\epsilon \nabla^2 V = \rho \quad (9)$$

Περιοδικά αρμονικά μαγνητικά προβλήματα χαμηλής συχνότητας στην περίπτωση κατά την οποία το πεδίο ταλαντεύεται σε μία σταθερή και συγκεκριμένη συχνότητα  $\omega$ , μπορούν επίσης να επιλυθούν μέσω της μεθόδου FEMM. Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση την οποία λύνει στην πραγματικότητα το FEMM είναι η ακόλουθη

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu_{eff}(\mathbf{B})} \nabla \times \boldsymbol{\alpha} \right) = -j\omega \sigma \boldsymbol{\alpha} + \widehat{J}_{src} - \sigma \nabla V \quad (10)$$

Όπου  $\mathbf{J}_{src}$  είναι ο μετασχηματισμός της φάσης των πηγών ρεύματος που εφαρμόζονται,  $\mu_{eff}(\mathbf{B})$  η αποτελεσματική μαγνητική διαπερατότητα που επιλέγεται έτσι ώστε να δώσει το

σωστό πλάτος της κυματομορφής υπό την ημιτονοειδή διέγερση και  $a$  είναι το πλάτος του μετασχηματισμού φάσης του  $A$  που εξάγεται από την παρακάτω σχέση

$$A = \text{Re}\{a(\cos\omega t + j\sin\omega t)\} = \text{Re}\{ae^{j\omega t}\} \quad (11)$$

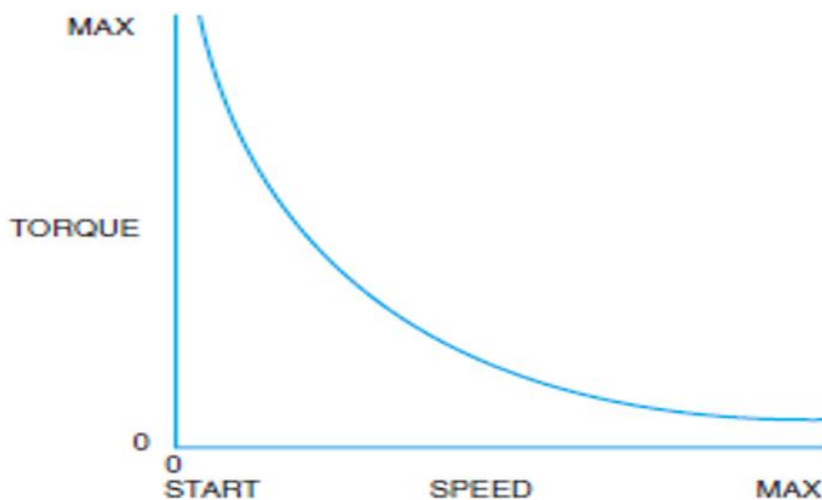
Και τελευταίο εξίσου σημαντικό με τα προηγούμενα που αναφέρθηκαν οι οριακές συνθήκες που χρειάζονται έτσι ώστε η μέθοδος FEMM να μπορεί να μας εγγυηθεί την μοναδική επίλυση. Αυτές είναι

- 1) Η οριακή συνθήκη του **Dirichlet**. Η τιμή του δυναμικού καθορίζεται σαφώς πάνω στο όριο (όπως  $A=0$ ).
- 2) Η οριακή συνθήκη του **Neumann**. Η παράγωγος του δυναμικού καθορίζεται γύρω από το όριο (όπως  $\frac{\partial A}{\partial \hat{n}} = 0$ )
- 3) Η οριακή συνθήκη του **Robin**. Ουσιαστικά είναι μια μίξη των δύο προηγούμενων οριακών συνθηκών (όπως  $\frac{\partial A}{\partial \hat{n}} + cA = 0$ ).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κινητήρας διακλάδωσης DC χρησιμοποιεί το πεδίο του τυλίγματος διέγερσης ως το κύριο μαγνητικό πεδίο στον στάτη. Το πεδίο του τυλίγματος διέγερσης αποτελείται από πολλές σπείρες μικρού σύρματος και συνδέεται ή απομακρύνεται από τον οπλισμό. Το πεδίο διέγερσης μπορεί να έχει έναν ελεγκτή συνδεδεμένο σε σειρά που ρυθμίζει το μέγεθος του ρεύματος στο πεδίο διέγερσης. Η αρχή του κινητήρα DC βασίζεται στην έννοια της μεταγωγής. Αυτή η σύνδεση τυλίγματος στάτη και ψηκτρών διατηρεί πάντα την κατεύθυνση του ρεύματος και η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου είναι σταθερή. Η ταχύτητα και το ρεύμα στο δρομέα είναι αντιστρόφως ανάλογα. Εάν ο δρομέας περιστρέφεται γρηγορότερα, παράγεται περισσότερο CEMF και μικρότερη διαφορά δυναμικού και επομένως παράγεται μικρότερο ρεύμα οπλισμού. Χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι κινητήρων συνεχούς ρεύματος για διαφορετικούς σκοπούς. Χρησιμοποιούνται επίσης πολλές παραλλαγές του κινητήρα παράλληλης διέγερσης σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

Ο κινητήρας της σειράς DC έχει πολύ υψηλή ροπή εκκίνησης σε πολύ χαμηλή ταχύτητα (Σχήμα 5.1). Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά ιδανικό για κινητήρες έλξης. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε περνοφόρα οχήματα και ντίζελ ηλεκτρικές μηχανές. Η ταχύτητα του κινητήρα ελέγχεται ρυθμίζοντας την εφαρμοζόμενη τάση στο πεδίο σειράς και οπλισμού. Ο κινητήρας μπορεί να αντιστραφεί με αλλαγή της κατεύθυνση του ρεύματος είτε στο πεδίο σειράς ή του οπλισμού.



**Σχήμα 5.1**

Ο κινητήρας DC σύνθετης διέγερσης χρησιμοποιείται όταν απαιτείται συμβιβασμός μεταξύ του κινητήρα σειράς και του κινητήρα διακλάδωσης. Ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης έχει καλύτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά την ταχύτητα σε σχέση με έναν κινητήρα σειράς και καλύτερα χαρακτηριστικά ροπής από έναν κινητήρα διακλάδωσης. Ο κινητήρας μπορεί να συνδεθεί έτσι ώστε το πεδίο διακλάδωσης και το πεδίο σειράς να βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση. Αυτή είναι η αθροιστική σύνδεση.

Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί εκτέλεση μιας δοκιμής για να επιβεβαιωθεί ότι ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος όπως προβλέπεται. Η αθροιστική σύνδεση ενός κινητήρα αντιδρά διαφορετικά από τη διαφορετική σύνδεση. Πολλοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος στην σήμερα κινούνται με

ηλεκτρονικές μονάδες δίσκου. Χρησιμοποιούνται οι ίδιες βασικές έννοιες τόσο για τον έλεγχο της ταχύτητας και την κατεύθυνση ελέγχου του κινητήρα.

Οι τριφασικοί επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούν ένα τύλιγμα βραχυκυκλωμένου δρομέα στο στροφέιο. Δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συνδέσεις στον δρομέα, αλλά το ρεύμα προκαλείται από τις περιελίξεις του δρομέα μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η περιέλιξη του τυλίγματος βραχυκυκλωμένου δρομέα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που ωθείται και έλκεται από το μαγνητικό πεδίο του στάτη.

Ο ρότορας υποστηρίζεται από έναν χαλύβδινο άξονα ο οποίος πρέπει να περιστρέφεται. Ο άξονας μπορεί να περιστραφεί με την εφαρμογή διαφορετικών τύπων εδράνων και διαφόρων λιπαντικών. Η σύγχρονη ταχύτητα, η ρύθμιση ταχύτητας και το ποσοστό ολίσθησης είναι όλοι οι υπολογισμοί που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του δρομέα. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα όπως ο συντελεστής ισχύος και το ρεύμα εκκίνησης σχετίζονται με τον ηλεκτρικό σχεδιασμό του κινητήρα.

Σε περίπτωση καταστροφής των σημάνσεων του ηλεκτροκινητήρα, τα καλώδια μπορούν να παρατηρηθούν σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στη συγκεκριμένη μονάδα. Τα στοιχεία της πινακίδας του κινητήρα είναι κρίσιμες πληροφορίες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν όταν παραγγέλνουμε κινητήρες αντικατάστασης. Ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τις πινακίδες είναι απαραίτητες για τη σωστή χρήση η αντικατάσταση των λειτουργικών χαρακτηριστικών και άλλα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ηλεκτρικής τροφοδοσίας και την προστασία του κινητήρα.

Μέχρι τα τελευταία χρόνια, ο έλεγχος μεταβλητής ταχύτητας AC ήταν πολύ δύσκολος με τον τυπικό κινητήρα. Ως εκ τούτου, αναπτύχθηκε ένας διαφορετικός τύπος συστήματος κινητήρα και ελέγχου και χρησιμοποιείται εκτεταμένα για χρόνια. Οι ηλεκτρολόγοι συντήρησης πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με αυτόν τον τύπο του κινητήρα και του συστήματος ελέγχου.

Πολλές βιομηχανικές εφαρμογές κινητήρα απαιτούν τριφασικούς κινητήρες με μεταβλητό έλεγχο ταχύτητας. Ο κινητήρας επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόσθετα χειριστήρια για εργασίες μεταβλητής ταχύτητας επειδή η ταχύτητα είναι ουσιαστικά σταθερή. Ένας άλλος τύπος κινητήρα επαγωγής αναπτύχθηκε για εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας. Αυτός ο κινητήρας ονομάζεται κινητήρας επαγωγής τυλιγμένου δρομέα.

Ο κινητήρας περιστρεφόμενου στροφέα σπάνια εγκαθίσταται σήμερα ως καινούριος κινητήρας, αλλά πολλοί από αυτούς τους κινητήρες εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται. Ο κινητήρας περιστρεφόμενου δρομέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεταβλητή ταχύτητα με την εισαγωγή δευτερευουσών αντιστάσεων. Το ρεύμα εκκίνησης και η ροπή εκκίνησης του κινητήρα ήταν οι βασικές εκτιμήσεις κατά την επιλογή του κινητήρα περιστρεφόμενου δρομέα για εγκατάσταση. Υπάρχουν ακόμα πολλές αναφορές στον κινητήρα περιστρεφόμενου δρομέα που χρησιμοποιείται στο Εθνικό Ηλεκτρικό Κώδικα.

Ο μονοφασικός επαγωγικός ηλεκτροκινητήρας είναι ένας από τους πλέον χρησιμοποιημένους οικιακούς και ελαφρούς εμπορικούς κινητήρες. Κάθε εφαρμογή θα υπαγορεύσει το σωστό είδος του κινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Όλοι αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούν την ιδέα της λήψης μιας φάσης ή ενός ημιτονικού σήματος και της μετατοπίζοντας τις επιδράσεις των ρευμάτων μέσω των πηνίων για τη δημιουργία ενός κινούμενου μαγνητικού πεδίου.

Οι κινητήρες χωριστής φάσης και πυκνωτή-εκκίνησης χρησιμοποιούν διακόπτη εκκίνησης για να αποσυνδέσουν τις περιελίξεις εκκίνησης από τη γραμμή αφού ο κινητήρας φτάσει μέχρι και την ταχύτητα λειτουργίας. Οι κινητήρες δύο πυκνωτών χρησιμοποιούν πολλαπλούς πυκνωτές ή παραλλαγές πυκνωτών δύο τιμών για τη δημιουργία κυκλώματος εκκίνησης και λειτουργίας. Όλοι οι κανονισμοί NEC® που ισχύουν για κινητήρες τριφασικού ισχύος για μονοφασικούς κινητήρες. Πολλές εξαιρέσεις ισχύουν μόνο για κινητήρες μικρής ισχύος.

Ο σύγχρονος κινητήρας AC χρησιμοποιείται όπου η ταχύτητα πρέπει να διατηρείται σταθερή. Όπως αναφέρει και το ίδιο το όνομα συνεπάγεται ότι ο κινητήρας λειτουργεί με την σχεδιασμένη σύγχρονη ταχύτητα. Η βασική αρχή που χρησιμοποιείται για τους μεγαλύτερους τριφασικούς

σύγχρονους κινητήρες είναι να παράσχουν ένα πεδίο DC για τον δρομέα. Οι μέθοδοι μπορεί να ποικίλουν κατά την εφαρμογή του DC.

Ορισμένοι κινητήρες χρησιμοποιούν εξωτερική πηγή DC και τροφοδοσία του DC στο ρότορα μέσω δακτυλίων ολίσθησης. Άλλοι κινητήρες ελέγχουν ένα μαγνητικό πεδίο στο ρότορα και χρησιμοποιούν τους ανορθωτές στερεάς κατάστασης για να δημιουργήσουν το DC στον δρομέα. Και στις δύο περιπτώσεις, το πεδίο του δρομέα μπορεί να αλλάξει τον συντελεστή ισχύος του σύγχρονου κινητήρα και του επιτρέπουν να ενεργεί ως πηγή ενός προπορευόντος ισχύος, διορθώνοντας έτσι τον συντελεστή κανονικής ισχύος αντοχής ενός βιομηχανικού συστήματος ισχύος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Παντελής Β. Μαλατέστας Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εκδόσεις Τζιόλα.
2. Νικολάου Μαστρομηνά. Ηλεκτρικά Μηχαναί Τόμος Α'.
3. Νικολάου Μαστρομηνά. Ηλεκτρικά Μηχαναί Τόμος Β'.
4. Παντελής Μαλατέστας Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π. Ηλεκτρικές Μηχανές. Εκδόσεις Τζιόλα.
5. Σπύρ.Ν.Βασιλακοπούλου (1954) Ηλεκτρολόγου Μηχανικού ΕΜΠ. Ηλεκτρικές Μηχανές. Εκδόσεις Ίδρυμα Ευγενίδου.
6. Γ. Πολίτης και Γ.Τσεκούρας. Ηλεκτρικές Μηχανές.Δομικά Στοιχεία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου.
7. Stephen J. Charman. Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC. Εκδόσεις Τζιόλα.
8. Κωνσταντίνος Φωτιάδης (1985). Ηλεκτρικές Μηχανές 1. Αθήνα: Εκδόσεις Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων.
9. Ι.Α. Τεγόπουλος. Ηλεκτρικές Μηχανές Μόνιμη Κατάσταση Μέρος Α. Εκδόσεις Συμμετρία.
10. Ι.Α. Τεγόπουλος. Ηλεκτρικές Μηχανές Μόνιμη Κατάσταση Μέρος Β. Εκδόσεις Συμμετρία.
11. Charles I. Hubert. Ηλεκτρικές Μηχανές. Εκδόσεις Ιων.
12. Stephen J. Charman. Electric Machinery Fundamentals.
13. Jeffrey J. Keljik(2009). Electricity 4 AC DC Motors, Controls, and Maintenance. Εκδόσεις Delmar Cengage Learning.