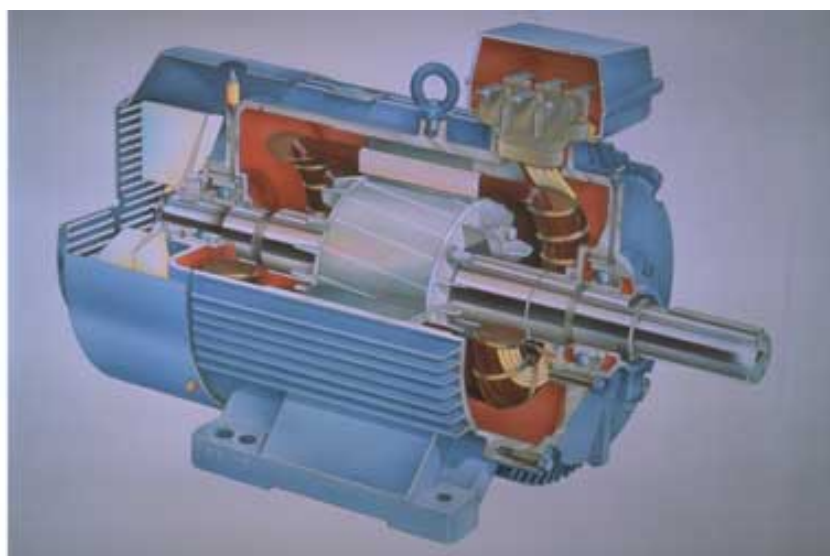


**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΘΕΜΑ : ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΣΤΑΥΡΑΚΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΓΕΡΑΣΗ Κ.**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΛΟΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΣΤΑΥΡΑΚΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΑΜ : 4317**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : 26/03/2014**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Οι ηλεκτρικές μηχανές είναι αρκετά διαδεδομένες στη σημερινή εποχή, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας όπως επίσης και πολύ αποτελεσματική. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας έχει την δυνατότητα να μην χρειάζεται συνεχή τροφοδοσία με καύσιμο και συνεπώς να μην χρειάζεται να αποβάλει καυσαέρια, ιδιότητες που τον καθιστούν κατάλληλο για χώρους όπου τα καυσαέρια μπορούν να αποφευχθούν. Στην πτυχιακή που ακολουθεί θα γίνει μια αναφορά στους ηλεκτρικούς κινητήρες που υπάρχουν σήμερα. Στα δυο πρώτα κεφάλαια θα παρουσιάσουμε μια γενική αναφορά στους ηλεκτρικούς κινητήρες και μια ιστορική αναδρομή. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στους μονοφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού και μονοφασικού στάτη. Στο πέμπτο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι τριφασικοί κινητήρες λεπτομερώς και θα καταλάβουμε ευκολότερα την λειτουργία των σύγχρονων και επαγωγικών. Στα δυο επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούμε στα βασικότερα χαρακτηριστικά των ασύγχρονων κινητήρων, στα προβλήματά τους και στους τρόπους επίλυσης τους. Μετέπειτα θα γίνει μια ανάλυση της λειτουργίας των σύγχρονων κινητήρων και θα κάνουμε μια σύγκριση των υπέρ και κατά με την εφαρμογή που έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες για την πρόωση των πλοίων. Τέλος θα παρουσιάσουμε το σύστημα πρόωσης των πλοίων με το αζιμούθιο, για να καταλάβουμε καλύτερα την σημασία στην χρήση και στην λειτουργία των σημερινών κινητήρων.

## **Abstract**

Electric machines are quite common nowadays, because electrical energy is a pure and very effective form of energy. An electric motor has an important advantage: it doesn't need constant fuel input throughout its function. Therefore it doesn't have to cast off any fuel as well. Because of these advantages, it is suitable for areas where fuel use can be avoided. In the following paperwork we will make an extended reference to the possible types of electric machines that one may come across to in our times. Some general function information as well as a historical background will be provided in the first two chapters of the current assignment. Proceeding with our topic, we will talk about a specific genre of electric motor: single phase electric machines with an induction motor squirrel-cage of a one phase static type. In the fifth chapter we will make a detailed analysis about three phase electric motors and we will be able to better comprehend the function of modern and inductive electric motors. The basic characteristics of asynchronous electric machine will be our main concern in the next two chapters. Also at this point we will mention the possible problems that this motor type may develop and the way of solving those problems. Afterwards the function of modern electric machines will be discussed. Furthermore there will be a presentation of both the advantages and the disadvantages that we might encounter, when using modern motors during a ship's propulsion. Towards the last part of our assignment, we will say a few words about a procedure in which azimuth systems are used for the propulsion of ships. This way we will be able to understand the reason why modern engines are irreplaceable in terms of function.

# Κεφάλαιο 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. Γενικά για τους κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες ή ηλεκτροκινητήρες ,είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, με την βοήθεια του μαγνητικού πεδίου . Χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στην καθημερινή μας ζωή (π.χ. σε ηλεκτρικές συσκευές, ρολόγια) όσο και στην βιομηχανία (π.χ. κίνηση εργαλειομηχανών, ναυτιλία) και σε άλλες δραστηριότητες. Μαζί με τις γεννήτριες ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρικών μηχανών. Συνεπώς μπορούμε να εξάγουμε τον ορισμό ότι, οι ηλεκτρικές μηχανές είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις μετατροπής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται για συνεχή μετατροπή ενέργειας και μεγάλες, συνήθως κυκλικές, μετατοπίσεις.

### Κατασκευαστικά γνωρίσματα ηλεκτροκινητήρα

Τα βασικότερα μέρη είναι,

A. Το ηλεκτρικό σύστημα

B. Το μηχανικό σύστημα

Γ. Το μαγνητικό πεδίο που εμπλέκει τα αλλά δυο

Ένας ηλεκτροκινητήρας κατασκευαστικά αποτελείται από τα εξής μέρη.

#### 1. Το δρομέα

Ο δρομέας είναι το κινούμενο μέρος της μηχανής και μπορεί να μετατοπίζεται γραμμικά ή να περιστρέφεται. Σε αυτόν προσαρμόζονται κατάλληλα πυρήνας και τυλίγματα , μόνιμος μαγνήτης ή μαλακός σίδηρος.

#### 2. Το στάτη

Ο στάτης παραμένει ακίνητος. Αποτελεί το πλαίσιο του κινητήρα και σε αυτόν είναι προσαρμοσμένοι ηλεκτρομαγνήτες ή μόνιμοι μαγνήτες μέσω των οποίων δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Οι ηλεκτρομαγνήτες ουσιαστικά αποτελούνται από ρευματοφόρους αγωγούς (τυλίγματα) που έχουν περιελιχτεί γύρω από κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό (πυρήνα). .

Μεταξύ δρομέα και στάτη υπάρχει ένα διάκενο , το οποίο επιτρέπει την σχετική κίνηση των δύο μερών και ρυθμίζει την μαγνητική ροή που διαρρέει το μαγνητικό κύκλωμα της μηχανής. Οι

πυρήνες είναι κατασκευασμένοι από σιδηρομαγνητικό υλικό , που διαμορφώνονται συνήθως σε παράλληλα ελάσματα , ώστε να ελαττώνεται η μαγνητική αντίσταση και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες πυρήνα. Οι συνδέσεις των στρεφόμενων τυλιγμάτων γίνονται είτε με δακτυλίους ολίσθησης και ψήκτρες και συλλέκτη. Οι ψήκτρες (brushes) κατασκευάζονται από μαλακό άνθρακα (πχ γραφίτη), επιτρέπουν στο ρεύμα να διέρχεται ελεύθερα, ενώ παρουσιάζουν χαμηλή τριβή. Ο συλλέκτης αποτελείται από έναν κύλινδρο, στην περιφέρεια του οποίου υπάρχουν σφηνοειδείς τομείς από χαλκό, μονωμένους μεταξύ τους με μίκα. Φέρει στην περιφέρεια του τις ψήκτρες. Κύρια λειτουργία του συστήματος είναι η ανόρθωση του ρεύματος. Οι δακτύλιοι ολίσθησης είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο και προσαρμόζονται στην άτρακτο του δρομέα, με την παρεμβολή μόνωσης. Βρίσκονται σε συνεχή επαφή με τις ψήκτρες. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν οι διατάξεις αυτές, η παραγωγή συνεχούς ρεύματος τάσης γίνεται μέσω ηλεκτρονικής οδήγησης.

Οι κινητήρες μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε από συνεχές ρεύμα, δηλαδή από κάποιου είδους μπαταρία, είτε από εναλλασσόμενο, δηλαδή από ένα κεντρικό αγωγό ρεύματος. Στη βιομηχανία συναντούμε κινητήρες μεσαίου, αλλά και πολύ μεγάλου μεγέθους για τη λειτουργία των οποίων απαιτούνται εκατομμύρια watt. Τέλος οι ηλεκτρικές μηχανές ταξινομούνται ανάλογα

1. Με την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας τους
2. Με την εσωτερική κατασκευή τους
3. Με την εφαρμογή τους.

# ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

## Η αρχή

Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια , με ηλεκτρομαγνητικά μέσα επιτεύχθηκε από το Βρετανό επιστήμονα Michael Faraday το 1821 . Πήρε ένα καλώδιο με ρεύμα και το βύθισε σε μια λεκάνη με υδράργυρο και ένα μαγνήτη στον πάτο . Όταν το ρεύμα πέρασε μέσω του καλωδίου , το καλώδιο περιστράφηκε γύρω από τον μαγνήτη . Αυτό το γεγονός δείχνει πως το ρεύμα έδωσε αφορμή για ένα κυκλικό μαγνητικό πεδίο γύρω από το καλώδιο . Τις περισσότερες φορές αντί για υδράργυρο χρησιμοποιούνταν αλμυρό νερό . Αυτή η μορφή έδωσε μια κατηγορία συσκευών αποκαλούμενων ως ομοιοπολικές μηχανές ή διαφορετικά σε μια πιο πρόσφατη μορφή , που αποκαλείται Ρόδα Barlow . Οι συσκευές αυτές όμως χρησιμοποιούνταν μόνο για επίδειξη λόγω της απλουστευμένης κατασκευής τους.

Έπειτα, το 1827, ο Ούγγρος Anyos Jettik άρχισε να πειραματίζεται με τις ηλεκτρομαγνητικές περιστρεφόμενες συσκευές , ορίζοντάς τις ως αστραπιαίες μαγνητικές αυτο-περιστρεφόμενες μηχανές . Τις χρησιμοποίησε κυρίως για διδακτικούς λόγους στα πανεπιστήμια και το 1828 παρουσίασε την πρώτη συσκευή που περιείχε τα τρία κύρια στοιχεία συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος μηχανής : Στάτης , στροφέας και μεταγωγός . Τα στάσιμα και τα κινητά μέρη της συσκευής ήταν ηλεκτρομαγνητικά χωρίς να υπάρχει κανένας μόνιμος μαγνήτης . Και πάλι όμως και αυτού του είδους οι συσκευές δεν είχαν καμία πρακτική εφαρμογή .

## Οι πρώτες ηλεκτρικές μηχανές

Ο πρώτος εφευρέτης μηχανής συνεχούς ρεύματος ήταν ο Βρετανός William Sturgeon το 1832 . Στην συνέχεια , οι Αμερικανοί Emily και Thomas Davenport δημιούργησαν τέτοιες συσκευές για εμπορική χρήση το 1837 . Αυτοί οι κινητήρες δούλευαν με 600 στροφές/λεπτό και χρησιμοποιήθηκαν στην λειτουργία εργαλειομηχανών και της τυπογραφίας . Ωστόσο , λόγω του υψηλού κόστους των αρχικών μπαταριών και την ανυπαρξία συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας το σχέδιο αυτό απέτυχε .

Ο σύγχρονος κινητήρας συνεχούς ρεύματος ανακαλύφθηκε τυχαία το 1873 από το Γάλλο Zenode Gramme . Όταν συνέδεσε στον κινητήρα ένα δυναμό , τον οποίο είχε ανακαλύψει σε ένα παρόμοιο πείραμα , έδωσε κίνηση στον κινητήρα . Η μηχανή του Gramme ήταν η πρώτη ηλεκτρική μηχανή

που ήταν επιτυχής στη βιομηχανία.

Το 1886, ο Frank Julian Sprague εφηύρε την πρώτη πρακτική μηχανή συνεχούς ρεύματος. Μια μη σπινθηρίζουσα μηχανή, ικανή να παραμένει σταθερή κάτω από μεταβαλλόμενο φορτίο. Επόμενες ηλεκτρικές εφευρέσεις του, για εκείνη την περίοδο, βελτίωσαν ιδιαίτερα το ηλεκτρικό πλέγμα, αποτελούμενο από ψηλούς πυλώνες που ενώνονται με καλώδια και παρείχαν ρεύμα σε βαγόνια. Αυτά με την σειρά τους κινούνταν μέσω της ηλεκτρικής αυτής ενέργειας. Ο ίδιος επιστήμονας το 1892 κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό σύστημα ανελκυστήρων και τον πρώτο ηλεκτρικό σιδηρόδρομο στο Σικάγο.

### **Εξελίξεις στη σχεδίαση κινητήρων**

Οι βασικές ιδέες που διέπουν τη λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1880 από το Nicola Tesla ο οποίος απέκτησε την πατέντα αυτής της ιδέας το 1888. Εκείνο τον καιρό παρουσιάστηκε μια δημοσίευση στο Αμερικανικό Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (American Institute of Electrical Engineers – AIEE, προπομπό της σημερινής IEEE) στο οποίο περιέγραφε τις βασικές αρχές των επαγωγικών κινητήρων με δακτυλιοφόρο δρομέα μαζί με τις απόψεις του για δύο ακόμη σημαντικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, το σύγχρονο κινητήρα και τον κινητήρα μαγνητικής αντίστασης (reluctance motor).

Αν και η βασική ιδέα για τον επαγωγικό κινητήρα περιγράφηκε στα 1888 ο ίδιος ο κινητήρας δεν εξελίχθηκε ως τελική μορφή. Αρχικά υπήρξε μια περίοδος γρήγορης εξέλιξης που ακολουθήθηκε από μια σειρά καθυστερήσεων και από εξελικτικές βελτιώσεις που συνεχίζονται ακόμη και σήμερα. Ο επαγωγικός κινητήρας θεωρούνταν αντικειμενικά μοντέρνος μεταξύ του 1888 και του 1895. Εκείνη την περίοδο οι πηγές τάσης δυο και τριών φάσεων είχαν αναπτυχθεί, ώστε να μπορεί να παραχθεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Ακόμη τα διανεμημένα τυλίγματα είχαν αναπτυχθεί και είχε εισαχθεί ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού. Στα 1896 ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας με πλήρεις τις λειτουργίες του και κοινώς αναγνωρισμένος ήταν εμπορικά διαθέσιμος.

Από τότε μέχρι τις αρχές του 1970 υπήρξαν συνεχείς βελτιώσεις στην ποιότητα των χαλύβων στις τεχνικές χύτευσης στη μόνωση και στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των επαγωγικών κινητήρων. Αυτές οι εξελίξεις είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους του κινητήρα για δεδομένη ισχύ εξόδου, πράγμα που μείωσε το κόστος κατασκευής. Στην πραγματικότητα ένας σημερινός κινητήρας ισχύος 100 hp έχει το ίδιο μέγεθος με τον κινητήρα ισχύος 7,5 hp του 1897.



Αυτή η περίοδος παρουσιάζεται χαρακτηριστικά με την εξέλιξη του κινητήρα ισχύος 15 hp . Όμως, οι παραπάνω βελτιώσεις στη σχεδίαση των επαγωγικών κινητήρων δεν ακολουθήθηκαν από βελτιώσεις στην απόδοση λειτουργίας . Το κύριο βάρος των προσπαθειών στη σχεδίαση κατευθύνθηκε στη μείωση του αρχικού κόστους των υλικών και όχι στην αύξηση της απόδοσης . Οι προσπάθειες στη σχεδίαση οργανώθηκαν σε αυτή την κατεύθυνση , επειδή η ηλεκτρική ενέργεια ήταν τόσο φθηνή , που ανάγκασε τους κατασκευαστές να επιλέξουν ως βασικό κριτήριο το κόστος παραγωγής του ίδιου του κινητήρα .

Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί νέες αλυσίδες παραγωγής επαγωγικών κινητήρων υψηλής απόδοσης από όλους σχεδόν τους κατασκευαστές . Αυτοί οι νέοι κινητήρες κερδίζουν συνέχεια όλο και μεγαλύτερο μέρος της αγοράς των επαγωγικών κινητήρων . Με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων αυτών σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες τυπικής απόδοσης χρησιμοποιούνται αρκετές μέθοδοι κατασκευής , ανάμεσα σε αυτές είναι :

1. Η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας χαλκού στα τυλίγματα του στάτη με σκοπό τη μείωση των απωλειών χαλκού .

2. Η αύξηση του μήκους του πυρήνα στο στάτη και στο δρομέα με σκοπό την αύξηση της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο της μηχανής . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μαγνητικού κορεσμού της μηχανής και τελικά τη μείωση των απωλειών πυρήνα .

3. Η χρήση περισσότερου χάλυβα στο στάτη της μηχανής , πράμα που επιτρέπει τη μεταφορά ποσότητας θερμότητας από τον κινητήρα προς το περιβάλλον , ελαττώνοντας τη θερμοκρασία λειτουργίας . Μετά από αυτή την εξέλιξη του δρομέα ξανασχεδιάστηκε , ώστε να μειωθούν οι απώλειες εξαερισμού .

4. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του στάτη είναι από ειδικό υψηλής ποιότητας ηλεκτρικό χάλυβα , ο οποίος παρουσιάζει μικρές απώλειες υστέρησης .

5. Ο χάλυβας της μηχανής παράγεται σε εξαιρετικά μικρά πάχη (δηλαδή τα δυναμοελάσματα βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους) και διαθέτει μεγάλη εσωτερική ειδική αντίσταση . Οι δύο αυτές ιδιότητες τείνουν να μειώσουν τις απώλειες των δινορρευμάτων .

6. Η κατασκευή του κινητήρα γίνεται με μεγάλη προσοχή , ώστε το διάκενο να είναι ομοιόμορφο και να μειώνονται οι κατανομημένες απώλειες του φορτίου .

Στις γενικές τεχνικές που παρουσιάστηκαν πιο πάνω μπορούν να προστεθούν και οι ιδιαίτερες μέθοδοι που χρησιμοποιεί ο κάθε κατασκευαστής με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα .

### **3.ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

## **Ταξινόμηση**

Οι τύποι των ηλεκτρικών μηχανών που υπάρχουν είναι πολλοί και συνεπώς έχουν αρκετά κριτήρια για να ταξινομηθούν. Έτσι λοιπόν για να μην υπάρξουν συγχύσεις από το γεγονός ότι ο ηλεκτροκινητήρας, ανήκει σε διαφορετικές κατηγορίες, χρησιμοποιείται η παρακάτω ταξινόμηση των δυο κριτηρίων:

- **Το είδος της κίνησης του δρομέα.**

Διαχωρίζει τους κινητήρες σε γραμμικούς, όπου η κίνηση του δρομέα είναι γραμμική και περιστροφικούς, όπου έχουμε περιστροφική κίνηση.

- **Η τροφοδοσία του κινητήρα**

Οι κινητήρες σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, χωρίζονται σε συνεχούς ρεύματος, που τροφοδοτούνται από συνεχές ρεύμα, σε εναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτούνται από εναλλασσόμενο ρεύμα καθώς και σε νηματικούς κινητήρες, όπου έχουμε ηλεκτρονική τροφοδοσία.

Οι κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων που προκύπτουν από την ταξινόμηση με βάση το δεύτερο κριτήριο, χωρίζονται σε διάφορες υποκατηγορίες. Έτσι οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς, ανάλογα με το αν η τροφοδοσία γίνεται από μια ή τρεις φάσεις και κινητήρες με ψήκτρες ή κινητήρες σειράς . Οι μονοφασικοί και τριφασικοί κινητήρες χωρίζονται με την σειρά τους στο επαγωγικούς ή ασύγχρονους και τους σύγχρονους κινητήρες. Οι επαγωγικοί, ανάλογα με το είδος του δρομέα τους χαρακτηρίζονται ως κινητήρες με δρομέα κλωβού ή κινητήρες με τυλιγμένους δρομείς.

## **4. Σύγχρονες και ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές**

Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις σύγχρονες μηχανές και τις ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές. Η βασική διαφορά των δύο αυτών κατηγοριών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, έγκειται στον τρόπο παραγωγής του ρεύματος διεγέρσεώς τους.

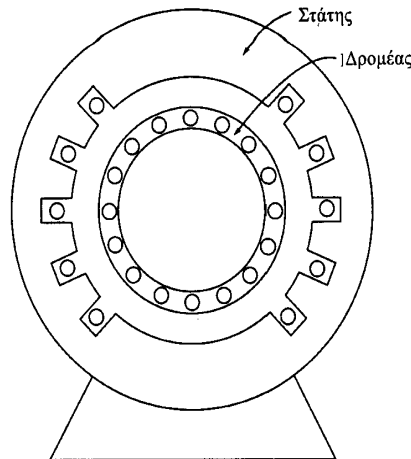
Στις σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές το ρεύμα διέγερσης παράγεται από ανεξάρτητες πηγές συνεχούς ρεύματος. Αντίθετα στις ασύγχρονες το ρεύμα διέγερσης παράγεται επαγωγικά στα τυλίγματα διέγερσής τους (αρχή λειτουργίας μετασχηματιστή). Για αυτόν ακριβώς το λόγο οι ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές αναφέρονται συχνά και ως επαγωγικές.

Όσον αφορά τις εφαρμογές των δύο παραπάνω κατηγοριών ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος παγκοσμίως, καλύπτεται με τη χρήση σύγχρονων γεννητριών. Αντίθετα οι ασύγχρονες μηχανές συναντώνται κυρίως ως ασύγχρονοι κινητήρες, με αποτέλεσμα να βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις ηλεκτρικές κινήσεις και στη ναυτιλία, στις οποίες χρησιμοποιούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%. Η λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών ως γεννητριών είναι εφικτή, αλλά λόγω σημαντικών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε αυτή τους τη λειτουργία, η χρήση ασύγχρονων γεννητριών είναι σπάνια.

## **5.Μονοφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες**

Ένας πολύ διαδεδομένος κινητήρας είναι ο μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας με δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού και μονοφασικό στάτη. Οι μονοφασικοί επαγωγικοί κινητήρες έχουν

μόνο μια φάση στα τυλίγματα του στάτη, και έτσι το μαγνητικό πεδίο του κινητήρα δεν περιστρέφεται αλλά πάλλεται, αυτό σημαίνει ότι εφόσον παραμένει με την ίδια φορά, στην αρχή έχει μεγάλη τιμή ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Έτσι σε αυτού του είδους κινητήρα δεν αναπτύσσεται ροπή εκκίνησης, γιατί δεν υπάρχει περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στον στατή.



Ο μονοφασικός επαγωγικός κινητήρας δεν έχει κάποιου είδους εσωτερικής ροπής εκκίνησης. Παρόλα αυτά υπάρχουν τρεις αρκετά διαδεδομένοι τρόποι εκκίνησης των κινητήρων αυτών που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ροπής εκκίνησης. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται βάση του κόστους και της παραγόμενης ροπής εκκίνησης, επιλέγοντας με αυτόν τον τρόπο ο μηχανικός την καλύτερη τεχνική στο δυνατότερο μικρότερο κόστος για να καλύψει τις ανάγκες ροπής της εγκατάστασης. Οι τεχνικές εκκίνησης έχουν στόχο να ενισχύσουν το ένα από τα δυο στρεφόμενα πεδία του κινητήρα, έτσι ώστε να κατευθυνθεί προς μια κατεύθυνση έχοντας μια αρχική ώθηση.

Οι τεχνικές εκκίνησης είναι οι παρακάτω:

- ⌚ Με πυκνωτή εκκίνησης.
- ⌚ Με αντίσταση.
- ⌚ Με βραχυκυκλωμένες σπείρες στον στάτη.

Οι **Μ.Α.Κ (Μονοφασικοί Ασύγχρονοι Κινητήρες)** με πυκνωτή εκκίνησης κατασκευάζονται για ανάγκες μεγαλύτερης ισχύος και (μέχρι 3HP/2KW) είναι ακριβότεροι από τους κινητήρες με αντίσταση. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που είναι απαραίτητη η μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως π.χ. αεροσυμπιεστές, οι αντλίες, τα ηλεκτρικά ψυγεία, τα κλιματιστικά μηχανήματα και άλλα

τιμήματα μηχανών και συσκευών που πρέπει να ξεκινούν με φορτίο.

Οι **Μ.Α.Κ με αντίσταση**, έχουν σχετικά μικρή ροπή εκκίνησης και αρκετό θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, αλλά είναι πολύ φθηνοί. Η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 3/4HP και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλες ροπές εκκίνησης, όπως φυγοκεντρικές αντλίες, καυστήρες, πλυντήρια, συμπιεστές κ.α.

Οι **Μ.Α.Κ με βραχυκυκλωμένες σπείρες στον στάτη** έχουν την μικρότερη ροπή εκκίνησης και τον μικρότερο βαθμό απόδοσης απ όλους τους μονοφασικούς κινητήρες, είναι όμως πολύ φθηνοί και δεν παρουσιάζουν συχνά βλάβες. Χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές πολύ μικρής ισχύος όπως π.χ. ανεμιστήρες.

Συμπερασματικά , αναφέρουμε ότι οι μονοφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εκκίνησης και λειτουργίας κάθε τύπου, κατατάσσονται από τον καλύτερο στον χειρότερο ,ως έξης:

- Ⓟ Κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης και πυκνωτή λειτουργίας .
- Ⓟ Κινητήρες με μόνιμο πυκνωτή ( εκκίνησης και λειτουργίας).
- Ⓟ Κινητήρες με πυκνωτή εκκίνησης.
- Ⓟ Κινητήρες με αντίσταση.
- Ⓟ Κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Φυσικά ο καλύτερος κινητήρας είναι και ο ακριβότερος, ενώ ο χειρότερος είναι ο πιο φθηνός. Έτσι για οποιαδήποτε εφαρμογή επιλεγούμε το φθηνότερο διαθέσιμο κινητήρα που μπορεί να πραγματοποιήσει τη συγκεκριμένη εργασία.

### **Μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη**

Μία ακόμη σημαντική ενότητα είναι αυτή των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη. Όπως γνωρίζουμε, για να αλλάξουμε την φορά περιστροφής , σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος, θα πρέπει μόνο να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στα τυλίγματα του επαγωγικού τύμπανου ή μόνο

την πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Συνεπώς, αν ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος σειράς τροφοδοτηθεί με μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, η διεύθυνση του ρεύματος σε κάθε ημιπερίοδο θα αλλάζει ταυτόχρονα τόσο στο τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου, όσο και στο τύλιγμα διέγερσης. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να περιστρέφεται πάντα προς την ίδια φορά, και να λειτουργεί κανονικά. Όμως στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται κάποια προβλήματα όπως:

1. Υπερθέρμανση των πυρήνων των πόλων, λόγω των δινορρευμάτων, που αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της συχνότητας και τον όγκο του υλικού.
2. Μεγάλοι σπινθηρισμοί στον συλλέκτη, γιατί οι βραχυκυκλωμένες σπείρες αποτελούν ένα δευτερεύον κύκλωμα, που δημιουργεί επαγωγικά ρεύματα.
3. Μείωση του συντελεστή ισχύος συνφ, μεγαλύτερος θόρυβος, κ.α.

Η λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων με συλλέκτη είναι παρόμοια με αυτήν των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, δηλαδή βασίζεται στις δυνάμεις Laplace που αναπτύσσονται από επαγωγή στον δρομέα τους. Παρουσιάζονται όμως τα προβλήματα που αναφέραμε παραπάνω, πράγμα που μας δείχνει ότι ο κινητήρας απορροφά λιγότερο ρεύμα και λιγότερες στροφές, με αποτέλεσμα και την ανάπτυξη μικρότερης ροπής.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων στους μονοφασικούς κινητήρες με συλλέκτη, έκτος από την καλύτερη κατασκευή των μερών τους με καλύτερα σιδηρελάσματα, χρησιμοποιούνται επιπλέον διάφορα εξαρτήματα όπως, ο μηχανισμός μετάθεσης ψηκτρών. Σε αυτήν την περίπτωση ο συλλέκτης είναι ειδικής κατασκευής και οι ψηκτρες είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους, ώστε να επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη μετακίνηση τους. Όταν τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτηθούν με μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα, στα τυλίγματα του δρομέα επάγονται με τέτοια φορά ρεύματα, έτσι ώστε αντίθετα του βόρειου πόλου του στάτη να δημιουργείται βόρειος πόλος και στον δρομέα.

**Οι μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη χωρίζονται σε:**

- Ⓟ Κινητήρες σειράς
- Ⓟ Κινητήρες Universal
- Ⓟ Κινητήρες αντίδρασης

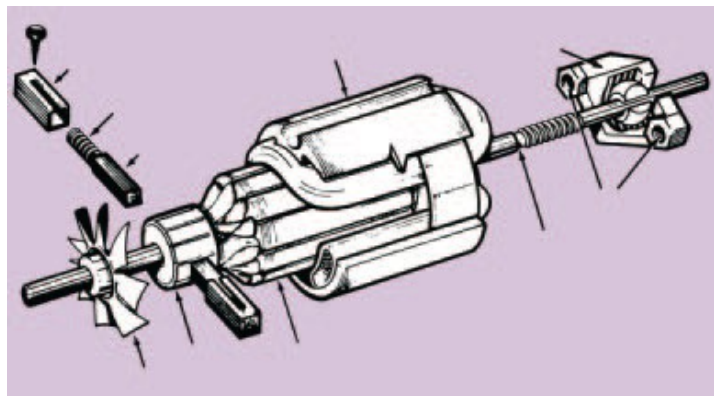
Οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς κατασκευάζονται για μεγάλες σχετικά ισχύς και τάσεις, έχουν καλή προσαρμογή στις μεταβολές του φορτίου και λειτουργούν συνήθως με μικρότερες συχνότητες. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση ηλεκτρικών οχημάτων και βαρούλκων, στα ανυψωτικά μηχανήματα, κ.α. Η χρήση τους με μειωμένη συχνότητα, οφείλεται κυρίως στο γεγονός

ότι στην εκκίνηση ή σε χαμηλές στροφές λειτουργούν με πολύ καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης.

Οι κινητήρες *Universal* είναι ένα άλλο είδος το οποίο, όπως και οι κινητές σειράς, κατασκευάζεται για μεγαλύτερες ισχύς μέχρι  $\frac{1}{2}$  KW και λειτουργεί εξίσου καλά τόσο στο εναλλασσόμενο ρεύμα όσο και στο συνεχές. Έχει αρκετά μεγάλες ταχύτητες περιστροφής και μπορεί να δώσει μεγάλη ροπή, για αυτό χρησιμοποιείται σε λειτουργίες όπου η μεγάλη ροπή και το μικρό βάρος, είναι χρήσιμα, όπως τα ηλεκτρικά τρυπάνια, οι μηχανές προβολείς κ.α.

Οι κινητήρες αντίδρασης κατασκευάζονται για ισχύς από  $\frac{1}{2}$  έως και 15HP. Βασικό πλεονέκτημα τους είναι η μεγάλη δυνατότητα ρύθμισης των στροφών. Κάποια από τα μειονεκτήματά τους είναι ο μεγάλος θόρυβος όταν λειτουργεί, η συχνή ανάγκη για συντήρηση και η μεγάλη εξάρτηση στροφών απ το φορτίο. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως μηχανικά εργαλεία, εργαλειομηχανές, αντλίες βενζίνης και αεροσυμπιεστές.

Κατασκευαστικά οι μονοφασικοί κινητήρες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς, ως προς την κατασκευή του στάτη. Σε αυτό το είδος ο στάτης δεν έχει μαγνητικούς πόλους, όπως οι μηχανές συνεχούς ρεύματος, αλλά μονοφασικό τύλιγμα βαλμένο στις οδοντώσεις, όπως οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα. Εκτός από το κύριο μονοφασικό τύλιγμα υπάρχουν συνήθως τοποθετημένα στο στάτη και δυο επιπλέον τυλίγματα, το τύλιγμα αντιστάθμισης και το βοηθητικό τύλιγμα. Αυτά είναι τοποθετημένα και συνδεδεμένα σε σειρά με το κύριο τύλιγμα και το επαγωγικό τύμπανο του δρομέα που αποσκοπούν στην μείωση των σπινθηρισμών των ψηκτρών.



Κινητήρας universal

### **Συντήρηση, βλάβες και επισκευή μονοφασικών κινητήρων**

Ο προληπτικός έλεγχος και η συντήρηση αυξάνουν την διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών μηχανών και μειώνουν τις βλάβες. Οι περισσότεροι τύποι των ηλεκτροκινητήρων και πιο συγκεκριμένα των

μονοφασικών , χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση που περιορίζεται μόνο σε περιοδική λίπανση , για αυτό και ο έλεγχος που πραγματοποιείται, γίνεται με τις ανθρώπινες αισθήσεις ( αφή, ακοή, όραση). Ο έλεγχος που μπορούμε να συναντήσουμε στην εμπορική ναυτιλία καθορίζεται συνήθως από τον κατασκευαστή του ηλεκτροκινητήρα, αλλά κυρίως από τις ώρες λειτουργίας του και την σοβαρότητα της αδιάκοπης λειτουργίας στο καράβι, όπως για παράδειγμα οι ηλεκτροκινητήρες που είναι υπεύθυνοι για την πηδαλιούχηση του πλοίου, η ακόμα και οι αντλίες κατασβέσεως φωτιάς σε περίπτωση κινδύνου. Και στις δυο περιπτώσεις η σωστή λειτουργία του κινητήρα για ένα μεγάλο διάστημα είναι πολύ σημαντική.

### **Έλεγχος του ηλεκτροκινητήρα**

- 1) Για τον έλεγχο των ακροδεκτών είναι σημαντική η σύνδεση τους, διαφορετικά προκαλούνται ανωμαλίες και σε κάποιες περιπτώσεις ενδέχεται να αλλάξει και η φορά περιστροφής, για αυτό πρέπει να ελέγχουμε τους ακροδέκτες του κύριου και του βοηθητικού τυλίγματος.
- 2) Για την μέτρηση των αντιστάσεων και την καλή κατάσταση των τυλιγμάτων, για τον εντοπισμό τυχόν κακών κολλήσεων, λανθασμένης συνδεσμολογίας, και βραχυκυκλωμένων σπειρών, γίνεται μέτρηση.
- 3) Για τον έλεγχο της μόνωσης μεταξύ των τυλιγμάτων πρέπει να ελέγχεται και η μόνωση των ψηκτρών μεταξύ τους. Αν για παράδειγμα ο κινητήρας έχει εκτεθεί σε υγρασία πρέπει να στεγνώνεται η μόνωση και να γίνει έλεγχος για σκουριά.
- 4) Για τον έλεγχο της λίπανσης, παρατηρείται η κατάσταση του λιπαντικού και τυχόν απώλεια γράσου η λαδιού.

### **Συντήρηση ηλεκτροκινητήρα**

Η συντήρηση ενός ηλεκτροκινητήρα που απαιτείται για την διατήρηση της καλής λειτουργίας καθορίζεται από το πρόγραμμα συντήρησης που ορίζει ο κατασκευαστής βάση των ωρών που έχει δουλέψει συνολικά ο κινητήρας. Τέτοιες εργασίες είναι, η λίπανση, ο καθαρισμός και η συντήρηση η αλλαγή των φθαρμένων εξαρτημάτων.

Ο κινητήρας μπορεί να καθαριστεί εύκολα με στεγνό αέρα, όπως επίσης και με ειδικό χημικό ( electro clean) τα οποία θα απομακρύνουν διαφορές ακαθαρσίες η ακόμα και σκουριά. Για την λίπανση των εδράνων ολισθήσεως χρησιμοποιείται γράσο ή λαδί αντίστοιχο των απαιτήσεων του κατασκευαστή. Η αλλαγή και η πρόσθεση καινούριου λιπαντικού στα διάφορα τμήματα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να καθαρίζεται σωστά ο χώρος για να μην εισχωρήσουν ακαθαρσίες, χωρίς όμως να λιπανθούν αλλά τμήματα όπως στον συλλέκτη και τις ψήκτρες που θα προκαλούσαν βλάβες.



Οι πιο κοινές φθορές ενός συλλέκτη προκαλούνται από συγκέντρωση ακαθαρσιών και σκόνης που υπάρχουν πάνω στις ψήκτρες προκαλώντας γρατζουνιές, οι οποίες μπορούν εύκολα να καθαριστούν με ψιλό σμυριδόπανο. Σε πιο σημαντικές φθορές όπως βαθουλώματα, ενανθρακωμένα από σπινθηρισμό η και προεξοχές, τότε πρέπει να αφαιρεθεί με χρήση τόννου το πάνω τμήμα της προβληματικής επιφάνειας ώστε να είναι ομοιόμορφα γυαλισμένη σε όλο το μήκος της.

Η συντήρηση των ψηκτρών συνήθως επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση τους και για να γίνει κάτι τέτοιο απλά τοποθετούνται καινούριες από το ίδιο υλικό και τύπο που ορίζει ο κατασκευαστής. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι νέες ψήκτρες δεν θα έχουν την απαιτούμενη καμπυλότητα και για αυτό θα πρέπει να φροντίσουμε να προσέξουμε την επαφή τους με τον συλλέκτη.

## **6.Εισαγωγή στους ασύγχρονους κινητήρες**

Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι οι πιο απλοί και διαδεδομένοι ηλεκτροκινητήρες. Τα μεγάλα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών σε σύγκριση με τους άλλους

τύπους είναι το χαμηλό κόστος συντήρησης και αγοράς τους.

Οι ασύγχρονες μηχανές ονομάζονται και επαγωγικές μηχανές. Η ασύγχρονη λοιπόν μηχανή αποτελείται από το σταθερό μέρος που ονομάζεται στάτης και από ένα κινητό, τον δρομέα.

Ένας επαγωγικός κινητήρας έχει τον ίδιο στάτη με μια σύγχρονη μηχανή, ενώ ο δρομέας του έχει διαφορετική δομή. Στον δρομέα αντί για τύλιγμα, όπως έχει ο σύγχρονος κινητήρας έχουν ράβδους αλουμινίου οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με δακτυλίους βραχυκύκλωσης στα άκρα τους. Έτσι η κατασκευή αυτή είναι πολύ απλή, χωρίς να έχει μόνωση στις ράβδους του δρομέα, αλλά ούτε και κάποιο μηχανισμό που να προκαλεί προβλήματα ή να χρειάζεται συγκεκριμένη συντήρηση, όπως για παράδειγμα τις ψήκτρες ή τους δακτυλίους.

Ο στάτης φέρει στο εσωτερικό του μέρος αυλακώσεις μέσα στις οποίες τοποθετείται ένα τύλιγμα. Το τύλιγμα αυτό μπορεί να είναι μονοφασικό, διφασικό ή και τριφασικό. Μπορεί να πάρει ρεύμα από το δίκτυο και να δημιουργήσει ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο με τη σειρά του θα δημιουργήσει εξ' επαγωγής ρεύματα στον κινητό δρομέα. Τα συνδυασμένα αυτά ρεύματα προκαλούν δυνάμεις μαζί με το πεδίο που τα δημιούργησε και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρομαγνητική ροπή, λόγω της οποίας ο δρομέας μπορεί να περιστραφεί. Μέσα στις αυλακώσεις όπου τοποθετείται το τύλιγμα μπορούμε να συναντήσουμε αυλακώσεις οι οποίες είναι ανοιχτές κατά το ήμισυ και στον δρομέα μπορεί να είναι τελείως κλειστές ή μισόκλειστες. Από αυτές τις δυο περιπτώσεις επιθυμητή είναι η αυλάκωση να είναι κλειστή, πράγμα όμως που σημαίνει ότι η τοποθέτηση των αγωγών μέσα σε αυτές είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Στη ναυτιλία όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του κινητήρα, τα πράγματα γίνονται πιο δύσκολα γιατί η τοποθέτηση τυλιγμάτων γίνεται πιο μεγάλη με αποτέλεσμα η όλη κατασκευή και ό, τι αυτή συνεπάγεται να είναι πιο ακριβή.

Σ' ένα πλοίο συναντούμε ασύγχρονους κινητήρες με κλωβό, όπου κατασκευαστικά μέσα στις αυλακώσεις χύνεται αλουμίνιο σε ρευστή μορφή. Έτσι δημιουργείται αγωγός ηλεκτρισμού. Ο αγωγός αυτός μπορεί να είναι και από χαλκό αλλά δεν είναι μονωμένος με το σίδηρο. Όταν ο κλωβός αποτελείται από μπάρες έχουμε μόνωση γιατί στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε χύτευση και οι αγωγοί που τοποθετούνται μέσα στις αυλακώσεις είναι έτοιμοι.

### **Ολίσθηση του δρομέα**

Ολίσθηση ονομάζεται η διαφορά ταχύτητας μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του στάτη και του δρομέα. Ο δρομέας δεν μπορεί ποτέ να φτάσει τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού

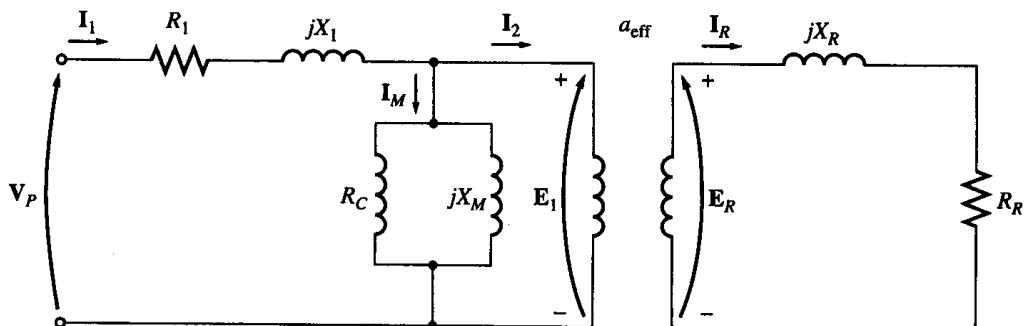
πεδίου του στάτη αφού η περιστροφή του οφείλεται στη διαφορά ταχύτητας του σε σχέση με αυτή του στάτη.

$$s = \frac{ns - nm}{ns} (*100\%)$$

Όταν ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας τροφοδοτηθεί με εναλλασσόμενη τριφασική τάση, δημιουργείται στο στάτη του στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένος ο κλωβός του δρομέα. Για τη δημιουργία της εναλλασσόμενης τάσης εξ' επαγωγής υπάρχει η στρεφόμενη μαγνητική ροή του στάτη, η οποία κόβει τις ράβδους του δρομέα. Γνωρίζοντας όμως ότι το κύκλωμα του δρομέα είναι κλειστό κύκλωμα ξέρουμε ότι δημιουργείται και εναλλασσόμενο ρεύμα εξ' επαγωγής. Ο δρομέας λοιπόν στρέφεται από τη δημιουργία ζευγών δυνάμεων μέσα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη, επειδή οι ράβδοι του δρομέα διαρρέονται από ρεύμα. Η περιστροφή του δρομέα οφείλεται στη διαφορά ταχύτητάς του σε σχέση με αυτή του στάτη. Γι αυτό το λόγο ο δρομέας δε μπορεί ποτέ να φτάσει τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη.

## Ταχύτητα επαγωγικού κινητήρα

### Ισοδύναμο κύκλωμα επαγωγικού κινητήρα



Η λειτουργία του κινητήρα βασίζεται στις τάσεις και τα ρεύματα που παράγονται εξ' επαγωγής στο δρομέα και οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Κατά την παραγωγή των ρευμάτων και των τάσεων ο επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί όμοια με ένα μετασχηματιστή και έτσι μπορούμε να πούμε ότι το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα μοιάζει αρκετά με αυτό του μετασχηματιστή.

Ο επαγωγικός κινητήρας τη στιγμή της εκκίνησης συμπεριφέρεται σαν μετασχηματιστής. Στη συνέχεια όμως οι στρόφες αυξάνονται και ο μετασχηματιστής αποκτά στρεφόμενο δευτερεύον.

Όταν στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα εφαρμοστεί μια τάση, στο δρομέα του αναπτύσσεται τάση εξ' επαγωγής. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ των πεδίων του στάτη και του δρομέα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση που αναπτύσσεται στο δρομέα της μηχανής. Η μεγαλύτερη σχετική κίνηση μεταξύ των δυο παραπάνω πεδίων επιτυγχάνεται, όταν ο δρομέας της μηχανής είναι ακίνητος. Σ' αυτή την περίπτωση ο δρομέας ονομάζεται ακινητοποιημένος και η τάση που παράγεται στα τυλίγματα του είναι η μέγιστη δυνατή. Η ελάχιστη τάση παράγεται στα τυλίγματα του δρομέα, όταν αυτός περιστρέφεται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα περιστροφής του πεδίου του στάτη, όταν δηλαδή, δεν υφίσταται η σχετική κίνηση. Για κάθε άλλη ενδιάμεση τιμή της ταχύτητας του δρομέα η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη της ολίσθησης. Έτσι, αν η επαγόμενη τάση, στην περίπτωση που ο κινητήρας λειτουργεί με ακινητοποιημένο δρομέα, συμβολιστεί με  $ER_0$ , η τιμή της επαγόμενης τάσης για οποιαδήποτε τιμή της ολίσθησης δίνεται από τη σχέση

$$ER = s ER_0,$$

Και η συχνότητα της επαγόμενης τάσης σε κάθε ολίσθηση δίνεται από την εξίσωση

$$FR = s FR_0$$

Το ρεύμα του δρομέα υπολογίζεται ως εξής

$$IR = ER / RR + jXR$$

Παράδειγμα.

Ένας επαγωγικός κινητήρας 400 V, 50 Hz λειτουργεί με ονομαστικό φορτίο με ταχύτητα 1440rpm στον δρομέα, η ολική αντίσταση είναι 24 Ω και η επαγωγική 100 Ω. Η ολίσθηση με το ονομαστικό φορτίο είναι 4% και η σύγχρονη ταχύτητα 1500rpm, να υπολογιστούν όλα τα μεγέθη του δρομέα που εξαρτώνται από την ολίσθηση τη στιγμή της εκκίνησης και με ονομαστικό φορτίο.

Λύση.

1) Την στιγμή της εκκίνησης  $s = 1$

$$ER_1 = ER_0 = 400V$$

$$FR = FR_0 = 50Hz$$

$$XR = XR_0 = 100\Omega$$

$$IR_0 = ER / RR + jXR_0 = 400/24 + j100 = 400 \angle 0^\circ / 102.8 \angle 46.5^\circ = 3.9 \angle -76.5^\circ A$$

2) Με ονομαστικό φορτίο  $s = 0.04$

$$ER_1 = sER_0 = 0.04 * 400 = 16V.$$

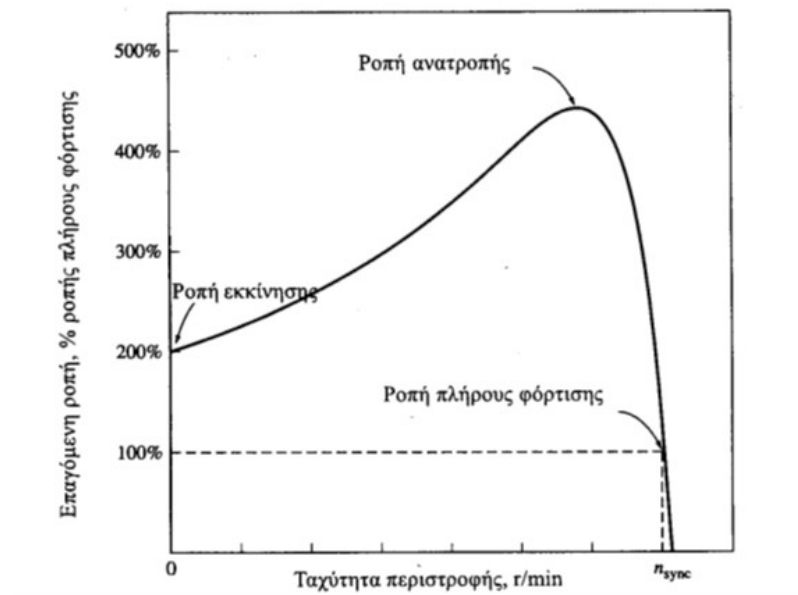
$$FR = sFR_0 = 0.04 * 50 = 2Hz.$$

$$XR = sXR_0 = 0.04 * 100 = 4\Omega.$$

$$IR = ER / RR + jXR = 16/24 + j4 = 16/24.3 \angle 9.5^\circ$$

$$= 0.7L - 9.5^{\circ} A.$$

## Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας των επαγωγικών κινητήρων



Η καμπύλη ροπής ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα μας δίνει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων.

- ⌚ Αρχικά γνωρίζουμε ότι οι επαγόμενη ροπή αυτού του κινητήρα στη σύγχρονη ταχύτητα ισούται με μηδέν.
- ⌚ Η καμπύλη ροπής ταχύτητας μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο αλλά και με όλο το φορτίο είναι πρακτικά γραμμική. Η αντίσταση του δρομέα σε αυτή την περιοχή είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίδρασή του με συνέπεια το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, η επαγόμενη ροπή και το ρεύμα του δρομέα να αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της ολίσθησης.
- ⌚ Η ροπή ανατροπής είναι η μέγιστη επιτρεπτή ροπή και είναι δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή του κινητήρα κατά την πλήρη φόρτιση, που είναι αδύνατο να περαστεί.
- ⌚ Ο επαγωγικός κινητήρας όταν βρίσκεται σε πλήρη ισχύ έχει μεγαλύτερη ροπή από τη ροπή εκκίνησης, γι αυτό και μπορεί να ξεκινήσει με οποιοδήποτε από τα φορτία που είναι ικανός να κινήσει όταν λειτουργεί σε πλήρη ισχύ.

- ⌚ Στην περίπτωση όπου ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα περιστραφεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από τη σύγχρονη ταχύτητα τότε η φορά περιστροφής της επαγόμενης ροπής αντιστρέφεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργήσει ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική.
- ⌚ Εάν η φορά περιστροφής του κινητήρα είναι αντίθετη από τη φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του, η επαγόμενη ροπή θα σταματήσει τον κινητήρα και θα προσπαθήσει να τον περιστρέψει αντίθετα.

### **Εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων**

Για την εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων γνωρίζουμε ότι δεν υπάρχουν προβλήματα όπως αυτά που συναντούμε στους σύγχρονους κινητήρες. Πολλές φορές η εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων μπορεί να επιτευχθεί απλά και μόνο με τη σύνδεσή τους στο δίκτυο ισχύος του καραβιού. Παρόλα αυτά υπάρχουν σημαντικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν και να μη μπορέσει ο κινητήρας να ξεκινήσει, όπως για παράδειγμα να έχουμε μια μεγάλη πτώση τάσης στο δίκτυο του βαποριού, λόγω του ρεύματος εκκίνησης που απαιτείται. Έτσι υπάρχει η πιθανότητα να μην μπορεί να γίνει η απευθείας σύνδεση στο δίκτυο.

Σ' ένα πλοίο όπου συναντούμε πιο συχνά κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, το ρεύμα εκκίνησης μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες τιμές και εξαρτάται καθαρά από την ενεργό αντίσταση του δρομέα και την ονομαστική ισχύ του κινητήρα κατά την εκκίνηση. Για να ξεχωρίζουμε το ρεύμα ενός επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού στο ξεκίνημά του, τον χαρακτηρίζουμε με κάποιο κωδικό γράμμα που αναγράφεται στην πινακίδα του. Το γράμμα αυτό όμως δεν πρέπει να συγχέεται με το γράμμα που προσδιορίζει την τάση. Για να μπορέσει να λειτουργήσει ο κινητήρας το κωδικό γράμμα είναι αυτό που καθορίζει τα όρια της έντασης του ρεύματος. Αυτό το κωδικό γράμμα λοιπόν, έχει προσδιοριστεί από τη NEMA η οποία είναι μια μέθοδος τυποποίησης για την μέτρηση της απόδοσης του κινητήρα. Στον παρακάτω πίνακα τυποποίησης των κινητήρων της NEMA παρουσιάζεται η φαινόμενη ισχύς εκκίνησης προς την ονομαστική ισχύ του κινητήρα όπου ο κάθε κωδικός γράμματος φτάνει έως το χαμηλότερο όριο του επόμενου κωδικού χωρίς όμως να το καλύπτει.

Nominal code letter	Locked rotor, kVA/hp	Nominal code letter	Locked rotor, kVA/hp
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.00
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.7-8.00	V	22.40 and up
K	8.00-9.00		

Για τον προσδιορισμό του ρεύματος εκκίνησης ενός επαγωγικού κινητήρα αντλούμε στοιχεία από την πινακίδα του κινητήρα, όπου μπορούμε να δούμε την ονομαστική ιπποδύναμη, την ονομαστική τάση και το κωδικό γράμμα. Έτσι διευκολύνεται ο υπολογισμός της φαινόμενης ισχύος του κινητήρα κατά την εκκίνηση.

Ένα παράδειγμα της διαδικασίας της εύρεσης του ρεύματος εκκίνησης και της φαινόμενης ισχύος ενός επαγωγικού κινητήρα είναι.

Ονομαστική ισχύς 20 hp και ονομαστική τάση 210V, χαρακτηρίζεται από το κωδικό γράμμα B.

Βάση του παραπάνω πίνακα ο μέγιστος λόγος kVA / hp του κινητήρα είναι 3,55, έτσι κάνουμε

$$S_{εκκιν} = 20 * 3,55 = 71 \text{ kVA}.$$

Και από τον τύπο για την εύρεση του ρεύματος εκκίνησης .

$$I_L = S_{εκκιν} / \sqrt{3} * V = 71 / \sqrt{3} * 210 = 195 \text{ A}$$

## Έλεγχος ταχύτητας σε ασύγχρονους κινητήρες

Ένας επαγωγικός κινητήρας μπορεί να έχει ολίσθηση έως 5% στο κανονικό εύρος λειτουργίας του. Όταν όμως η μεταβολή της ταχύτητας ξεπερνά το εύρος αυτό τότε είναι περίπου ανάλογη του φορτίου που δίνεται στον άξονα της μηχανής. Στην περίπτωση που η ολίσθηση ήταν μεγαλύτερη, η απόδοση του κινητήρα θα μειωνόταν πολύ γιατί οι απώλειες χαλκού στο δρομέα θα εξαρτιόνταν από την τιμή της ολίσθησης ( $PRCL = sPAG$ ).

Για να ρυθμιστεί η ταχύτητα των επαγωγικών κινητήρων υπάρχουν δυο μέθοδοι. Στην πρώτη μέθοδο αλλάζει η ολίσθηση του κινητήρα για ένα συγκεκριμένο φορτίο. Στη δεύτερη αλλάζει η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα, που στην ουσία είναι η ταχύτητα με την οποία περιστρέφονται τα μαγνητικά πεδία του δρομέα και του στάτη εφόσον κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα παραμένει η ταχύτητα του άξονα.

Για να βρεθεί η σύγχρονη ταχύτητα ενός ασύγχρονου κινητήρα χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση

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

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι μέθοδοι μεταβολής της σύγχρονης ταχύτητας είναι είτε με τη ρύθμιση της συχνότητας είτε με τη μεταβολή του αριθμού των πόλων του κινητήρα. Έτσι λοιπόν μπορούμε να κάνουμε έλεγχο στην ολίσθηση αλλάζοντας την τάση εισόδου του κινητήρα ή την αντίσταση του δρομέα.



## Γνωρίσματα επαγωγικών κινητήρων

3 ~ Mot BN 63B 4				№60278000286	
Cod. 830520106				IM B5 IP 55	
V $\Delta$ / Y	I:CL. F S 1			min-1	cos $\Phi$
	Hz	kW	A $\Delta$ / Y		
230/400	50	0.18	1.23 - 0.71	1320	0.67
460	60	0.21	0.69	1630	
220/240	V $\Delta$	1.25-1.28 A		50Hz	
380/415	VY	0.72-0.74 A			
440/480	VY	0.68-0.71 A		60Hz	

Ενδεικτική πινακίδα επαγωγικού κινητήρα.

Το εξωτερικό περίβλημα ενός επαγωγικού κινητήρα καθορίζεται με το χαρακτηρισμό IP (Ingress protection code). Ο χαρακτηρισμός αυτός έχει δυο αριθμούς και δείχνει την προστασία που διαθέτει το περίβλημα του κινητήρα στην εισχώρηση υγρών και στερεών. Ενδεικτικό παράδειγμα τέτοιου κωδικού είναι IP68. Ο κινητήρας αυτός δηλαδή έχει υψηλό βαθμό προστασίας από στερεά, αφού η τιμή της κυμαίνεται από μηδέν έως έξι. Η προστασία που έχει ο κινητήρας από υγρά δηλώνεται με το δεύτερο ψηφίο και κυμαίνεται από μηδέν έως οχτώ. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο πιο μεγάλη τιμή παίρνει ο IP, τόσο το περίβλημα έχει καλύτερη προστασία. Επίσης αξίζει να σημειώσουμε ότι η μόνωση (insulation class), που υποδηλώνει τη μόνωση των τυλιγμάτων του κινητήρα, συμβολίζεται με τα γράμματα A, E, B, F, H. Η διάρκεια ζωής της μόνωσης σχετίζεται με τις θερμοκρασίες στις οποίες εκτίθεται το τύλιγμα.

Στο εξωτερικό μέρος του επαγωγικού κινητήρα διακρίνουμε την πινακίδα που απεικονίζει τις σημαντικότερες προδιαγραφές του. Αυτές είναι

- Ⓟ Η τάση
- Ⓟ Το ρεύμα
- Ⓟ Η ισχύς εξόδου
- Ⓟ Η ταχύτητα
- Ⓟ Ο συντελεστής ισχύος
- Ⓟ Η συχνότητα
- Ⓟ Η ονομαστική απόδοση

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αυτά από τα οποία θα εξαρτηθεί η χρήση του κινητήρα σε ένα πλοίο, ανάλογα με την ανάγκη που πρέπει να καλύψει.

## Ανακεφαλαίωση

Ο ασύγχρονος κινητήρας είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος ναυτικού κινητήρα λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει στη λειτουργία του και της απλής κατασκευής του. Ο κινητήρας αυτός δεν έχει μοναδικό κύκλωμα διέγερσης αλλά οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στη διέγερσή του όπως άλλωστε γίνεται και με την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή. Έτσι λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι ο κινητήρας αυτός είναι ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής όπου το ισοδύναμο κύκλωμά του είναι παρόμοιο με αυτό του μετασχηματιστή και η μοναδική διαφορά του είναι στην αλλαγή της ταχύτητας. Ο επαγωγικός κινητήρας, όταν λειτουργεί κανονικά, περιστρέφεται με παρεμφερή ταχύτητα με αυτή της σύγχρονης, χωρίς όμως να γίνονται ποτέ ίδιες. Αυτό πρέπει να γίνεται για να εξασφαλίζεται η επαγωγή τάσης στο κύκλωμα διέγερσης απ' αυτή τη σχετική κίνηση. Η ύπαρξη της τάσης εξ' επαγωγής στο δρομέα υφίσταται λόγω της κίνησης των μαγνητικών πεδίων του δρομέα και του στάτη, η οποία παράγει ρεύμα στο δρομέα. Με αυτή τη διαδικασία το πεδίο του στάτη αλληλεπιδρά με την τάση εξ' επαγωγής και έτσι παράγεται η επαγόμενη ροπή του κινητήρα. Η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα πλοίου είναι δυνατόν να εμφανίζει μια μέγιστη ροπή, η οποία μεταβάλλεται με την αντίσταση του δρομέα. Αυτή η μέγιστη ροπή αποκτά μια τιμή η οποία είναι διαφορετική από την αντίσταση του δρομέα. Δηλαδή εάν έχουμε μια μεγάλη τιμή στην αντίσταση του δρομέα, η ταχύτητα της μέγιστης ροπής θα είναι μικρή. Ως αποτέλεσμα θα έχουμε την αύξηση της ροπής εκκίνησης του κινητήρα κι έτσι δημιουργούνται δυο διαφορετικές

απαιτήσεις. Η πρώτη είναι η δημιουργία μεγάλης ροπής εκκίνησης, η οποία όμως ανταμείβεται με την μικρή διακύμανση ταχύτητας που ακολουθεί όταν βρισκόμαστε στην περιοχή ευσταθούς λειτουργίας. Η δεύτερη είναι ότι λόγω της βελτίωσης της διακύμανσης ταχύτητας θα έχουμε μείωση στη ροπή εκκίνησης από μια μικρή αντίσταση στο δρομέα. Συνεπώς για τη σχεδίαση ενός επαγωγικού κινητήρα πλοίου, θα πρέπει να καλύπτονται αυτές οι απαιτήσεις.

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής ενός κινητήρα του είδους που πραγματευόμαστε πραγματοποιείται με την αλλαγή του αριθμού των πόλων της μηχανής, με τη ρύθμιση της τάσης εισόδου, τη μεταβολή της συχνότητας, αλλά και με την αλλαγή της αντίστασης του δρομέα.

## 7. Ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης πλοίων

### Σύγχρονοι κινητήρες

Οι σύγχρονοι κινητήρες διέπονται από τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τις κλασσικές σύγχρονες μηχανές, προσφέρουν όμως μοναδικά πλεονεκτήματα και δίνουν σημαντικές δυνατότητες στους σχεδιαστές ελεγχόμενων κινητηρίων συστημάτων. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των μηχανημάτων αυτών είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης, η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ο μεγάλος λόγος ροπής στον άξονα προς αδράνεια.

Για μια σύγχρονη μηχανή με δύο πόλους, η οποία τροφοδοτείται με σταθερή συχνότητα  $f_s$  και έχει  $p$  ζεύγη πόλων, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι

$$n_s = f_s / p$$

Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα να διατηρούν την ταχύτητα του δρομέα στο σύγχρονο αριθμό στροφών, ανεξαρτήτως του φορτίου. Δύο είναι οι χαρακτηριστικές τιμές ροπής στις σύγχρονες μηχανές, η ονομαστική ροπή  $T_R$  και η μέγιστη ροπή  $T_P$ . Κατά τη συνεχή λειτουργία η μηχανή μπορεί να φορτιστεί μέχρι την ονομαστική ροπή, η οποία παραμένει σταθερή για ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων, έως την ονομαστική ταχύτητα. Η μηχανή μπορεί να επιταχύνει μέχρι μια μέγιστη ταχύτητα (έως και 150% της ονομαστικής ταχύτητας), αλλά η ροπή θα αρχίσει να μειώνεται. Σε αρκετές εφαρμογές που λαμβάνουν χώρα σ' ένα πλοίο με συχνές εκκινήσεις και παύσεις και συχνή αλλαγή της περιστροφής με φορτίο στον άξονα, απαιτείται μεγαλύτερη ροπή από την ονομαστική. Η απαίτηση αυτή είναι σύντομη, ιδίως κατά την εκκίνηση ή κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης όπου απαιτείται αυξημένη ροπή προκειμένου να αντιμετωπιστεί

η αδράνεια του φορτίου και του ίδιου του δρομέα.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύγχρονων κινητήρων μόνιμου μαγνήτη ανάλογα με την τεχνική έλεγχου του μετατροπέα που τροφοδοτεί τους κινητήρες:

α) Οι κινητήρες τραπεζοειδούς ή τετραγωνικού παλμού οι οποίοι τροφοδοτούνται με ρεύματα τετραγωνικής κυματομορφής. Η σχέση ροπής-ταχύτητας που προκύπτει εφαρμόζοντας τον κατάλληλο έλεγχο, είναι αντίστοιχη της μηχανής συνεχούς ρεύματος χωρίς όμως να μοιάζουν κατασκευαστικά με αυτές. Συναντώνται στη διεθνή ορολογία ως « brushless dc motors». Στην επιφάνεια του δρομέα τους είναι τοποθετημένοι μαγνήτες οι οποίοι επάγουν τάση τραπεζοειδούς μορφής στα τυλίγματα του στάτη. Η ροπή που παράγουν είναι σταθερή σχεδόν σε όλο το εύρος λειτουργίας τους.

β) Οι σύγχρονες μηχανές με ημιτονοειδή διαμόρφωση μόνιμων μαγνητών. Οι κινητήρες αυτής της κατηγορίας τροφοδοτούνται με ημιτονοειδή ρεύματα και συμπεριφέρονται όπως οι κλασσικές σύγχρονες μηχανές. Σε αυτές τις μηχανές εφαρμόζεται συνήθως διανυσματικός έλεγχος, γεγονός το οποίο οδήγησε στη διαχείριση λειτουργικών μεγεθών σε μορφή παρόμοια με εκείνη των μεγεθών των μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μηχανές που αναφέρθηκαν στο α έχουν απλό και σχετικά εύκολα υλοποιήσιμο έλεγχο, σε σύγκριση με εκείνες του β. Όμως οι μηχανές της α κατηγορίας παρουσιάζουν μεγαλύτερες ταλαντώσεις ροπής και ο συνολικός βαθμός απόδοσης του κινητήριου συστήματος είναι μικρότερος.

Τέλος οι σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε συνδυασμό με κατάλληλους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος σε συστήματα και ναυτιλιακές διεργασίες, όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια κινήσεων, όπως στα αυτόνομα μεγάλα πλοία.

## **Ισοδύναμο Κύκλωμα Σύγχρονου Κινητήρα**

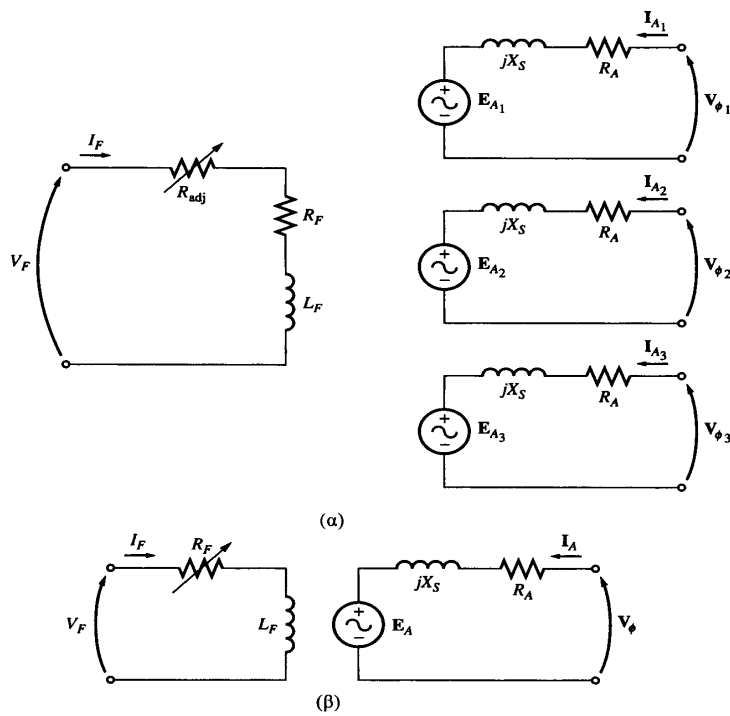
Η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα σε μια σύγχρονη γεννήτρια και ενός σύγχρονου κινητήρα είναι η φορά ροής της ισχύος τους. Λόγο της αντιστροφής της ροής ισχύος στο σύγχρονο κινητήρα το ρεύμα στο στάτη αντιστρέφεται. Συνεπώς η μοναδική διαφορά που βλέπουμε στο ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα αυτού σε σύγκριση με αυτό της σύγχρονης γεννήτριας είναι στη φορά του ρεύματος  $I_A$  στον στάτη που αντιστρέφεται. Το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα ενός σύγχρονου κινητήρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2α, ενώ το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του φαίνεται στο σχήμα 2β. Είναι βέβαια γνωστό ότι το τύλιγμα του στάτη ενός σύγχρονου κινητήρα είναι πιθανό να συνδέεται σε τρίγωνο ή αστέρα, όπως αντίστοιχα και το τύλιγμα μιας σύγχρονης γεννήτριας.

Ωστόσο η αντίστροφη του ρεύματος οπλισμού, στις σχέσεις που εκφράζουν το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του ρεύματος με αντίθετο πρόσημο. Ειδικότερα, στο κύκλωμα του σχήματος 2β θα ισχύει

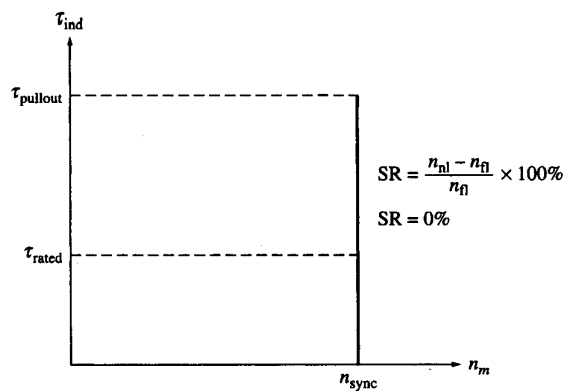
$$V_{\phi} = E_A + jX_s I_A + R_A I_A$$

ή

$$E_A = V_{\phi} - jX_s I_A - R_A I_A$$



## Χαρακτηριστική Ροπής-Ταχύτητας Σύγχρονου Κινητήρα



Το φορτίο του σύγχρονου κινητήρα είναι τις περισσότερες φορές μια διάταξη που είναι

αναγκασμένη να στρέφεται με σταθερή ταχύτητα. Επίσης η ταχύτητα του κινητήρα μπορεί να προσδιοριστεί από τη συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας με αποτέλεσμα να μην εξαρτάται καθόλου από το φορτίο του. Η ταχύτητα λοιπόν ενός τέτοιου κινητήρα στην μόνιμη κατάσταση ισορροπίας, θα είναι πάντοτε σταθερή, από το σημείο που λειτουργεί χωρίς φορτίο μέχρι το σημείο μέγιστης ροπής ή αλλιώς ροπής ανατροπής. Η εξίσωση της ροπής είναι.

$$t_{ind} = 3V\Phi EA \sin\delta / \omega m X_s$$

Όταν η ροπή του φορτίου του κινητήρα παρουσιάσει μεγαλύτερο βαθμό από τη ροπή ανατροπής, τότε το πεδίο του στάτη και το συνολικό μαγνητικό πεδίο δεν είναι σε θέση πλέον να συγκρατήσουν το δρομέα της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο ο δρομέας ξεκινά να επιβραδύνει με αποτέλεσμα το πεδίο του να μένει πολύ πίσω από αυτό του στάτη. Πρέπει να σημειώσουμε επίσης ότι κάθε φορά που το μαγνητικό πεδίο του στάτη προσπερνά το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, τότε η φορά της ροπής αλλάζει πρόσημο. Οι απότομες αυτές αλλαγές στη ροπή του είναι πολύ μεγάλες και μπορούν να προκαλέσουν αισθητούς κραδασμούς στον κινητήρα, που ονομάζονται απώλειες συγχρονισμού.

Η μέγιστη ροπή του σύγχρονου κινητήρα δίνεται από τη σχέση:  $t_{max} = 3V\Phi EA / \omega m X_s$

Από την παραπάνω εξίσωση συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη ροπή που παράγεται.

Όταν επιθυμήσουμε να αυξήσουμε τη ροπή ανατροπής, θα επέμβουμε στη διέγερση Σ.Ρ αφού όμως η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα είναι σταθερή. Η μεταβολή της τάσης διέγερσης είναι ανάλογη της μεταβολής της ροπής ανατροπής. Έτσι έχουμε μεγάλη ροπή λόγω της υπερδιέγερσης.

### **Κινητήρες στην πρόωση**

Η πλειονότητα των κινητήρων είναι σύγχρονοι , οι οποίοι έχουν βαθμό απόδοσης 96 – 98 % , υψηλότερο κατά 3 – 4 % από τον βαθμό απόδοσης κινητήρων επαγωγής . Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3 – 6,6 KV . Σους σύγχρονους κινητήρες έρχεται να προστεθεί μια νέα κατηγορία , αυτή των σύγχρονων κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες των οποίων η απόδοση σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους υπερβαίνει το 98 % .

Σε αυτές τις σύγχρονες μηχανές , το τύλιγμα διεγέρσεως του δρομέα (που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα) έχει αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες . Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σταθερής τιμής που στρέφεται στο χώρο με την ταχύτητα του δρομέα .

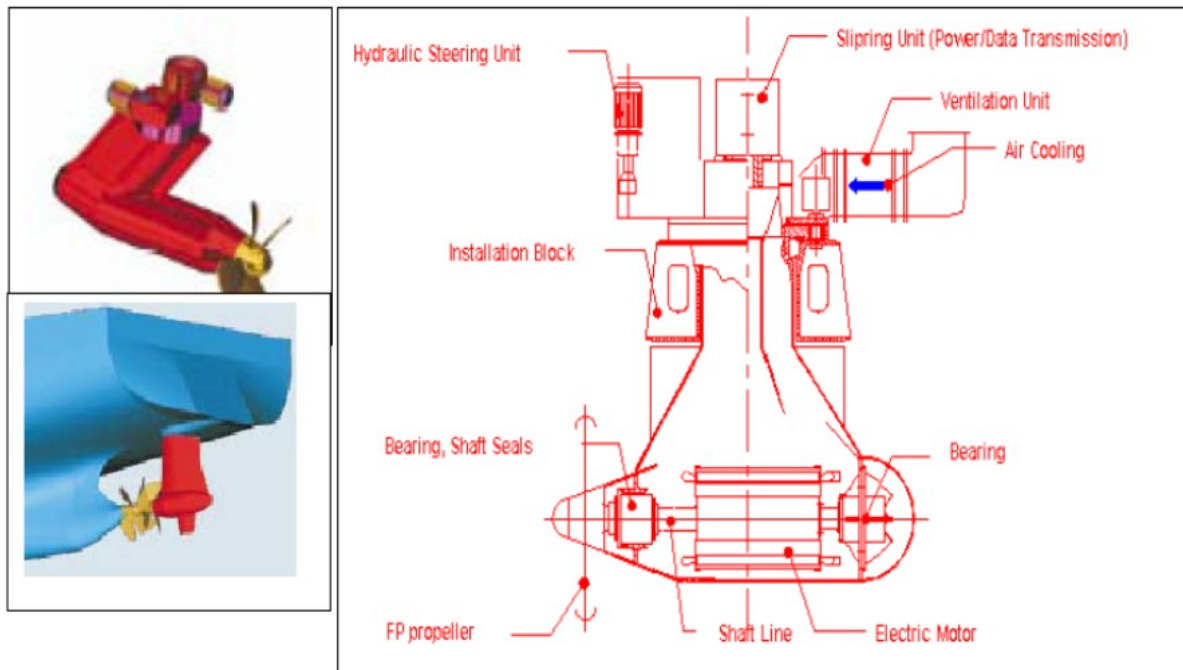
Το προφανές πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι δεν έχουν ανάγκη παροχής σε ΣΡ , ενώ με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και η συνολική απόδοση καθώς μεταξύ των άλλων μειώνονται και οι

συνολικές απώλειες Joule στα τυλίγματα . Η ιδέα της χρήσης μονίμων μαγνητών είναι παλιά αλλά η τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία χρόνια είναι που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων "μονίμων μαγνητών" (κράματα σαμαρίου-κοβαλτίου , Sm-Co και νεοβιδίου-σιδήρου-βορείου, NdFeB) που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σταθερή τη μαγνήτιση τους για αρκετά υψηλές θερμοκρασίες , όπως είναι αυτές που αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας στρεφόμενης μηχανής .

Οι κινητήρες αυτοί με κατάλληλη επιλογή τυλίγματος στάτη και πόλων δρομέα μπορούν να παράγουν ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ανταγωνιζόμενοι έτσι μία συμβατική σύγχρονη μηχανή στα χαμηλά επίπεδα απότομων αιχμών (torque ripples) και μηχανικών δονήσεων (vibrations) . Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων με υπέρ-αγώγιμα υλικά ως κινητήρες πρόωσης , κυρίως στην Αμερική . Οι κινητήρες αυτοί , λόγω του ότι το υπέρ-αγώγιμο υλικό παρουσιάζει μηδενική ηλεκτρική αντίσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν πολύ μεγάλη ισχύ ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τους συμβατικούς κινητήρες . Θεωρούνται έτσι ιδανικοί για την πρόωση πολεμικών πλοίων όπου ο χώρος είναι περιορισμένος σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες ισχύος . Η εταιρεία American Superconductor Inc. χρηματοδοτείται από το Αμερικάνικο Πολεμικό Ναυτικό για να κατασκευάσει έναν κινητήρα πρόωσης ονομαστικής ισχύος 25MW .

### **Το αξιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (POD)**

Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα που έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα . Πιο συγκεκριμένα , το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα , εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου όπως στις εξωλέμβιες , Σχ. 1 και Σχ. 2 . Το σύστημα μπορεί να φέρνει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360ο κατά την αξιμουθιακή διεύθυνση (από όπου προέρχεται και το όνομα του) δηλ. στο οριζόντιο επίπεδο αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου ενώ αφενός πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και αφετέρου δεν υφίσταται μηχανισμός πηδαλίου .



Σχήμα 1: Αξιμουθιακό προωστήριο σύστημα με μια έλικα.

## Πλεονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοση της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0-100%.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- Οικονομία καυσίμου καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.
- Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της ροπής στρέψης σε όλο το πεδίο λειτουργίας.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και επομένως,





πρόωσης , το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 – 8% στις γεννήτριες , 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 – 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες . Επομένως , ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή .

Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας , καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως . Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας . Έτσι ο "ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος" που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων . Τέλος , είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ίδιο-συχνότητες για ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων , όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας . Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλέκτρισης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά την φάση της σχεδίασης του ηλεκτρολογικού συστήματος .

Σε πολλές εφαρμογές , η συνισταμένη πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων είναι θετική , οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση , οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα , οικονομικότερη συντήρηση , γρηγορότερα ταξίδια , μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κ.ο.κ).

## **Γενικό Συμπέρασμα**

Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει στην εργασία αυτή, υπάρχουν σύγχρονοι και ασύγχρονοι κινητήρες στη ναυτιλία. Ο πιο διαδεδομένος κινητήρας πλοίου είναι ο ασύγχρονος βραχυκυκλωμένου κλωβού, ο οποίος έχει ποικίλες χρήσεις.

Σε ένα καράβι θα συναντήσουμε πολλούς κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την κίνηση αντλιών και μηχανημάτων απαραίτητων για τη λειτουργία του καραβιού.

Έτσι λοιπόν, χάρη στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, έχουμε την παραγωγή έργου προς όφελος του ανθρώπου.

Τέλος οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων λόγω της εξέλιξης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων τους. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζουν μια καλύτερη απόδοση κίνησης και ευκολίας σε ένα καράβι με μεγαλύτερες απαιτήσεις.

## **Βιβλιογραφία**

1. STEPHEN J. CHAPMAN, Ηλεκτρικές μηχανές AC-DC 3<sup>η</sup> έκδοση
2. [www.BIKIPAIΔΕΙΑ.gr](http://www.BIKIPAIΔΕΙΑ.gr)
3. Σημειώσεις μαθήματος Ηλεκτρικών Μηχανών.
4. www.ENGNG 2024, ELECTRICAL ENGINEERING.COM
5. Σ.Ν. Μανιάς, Ηλεκτρονικά Ισχύος
6. Αθ. Καλετσάνος, Βιομηχανικοί Κινητήρες.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1Γενικά για τους κινητήρες.....	5
2.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	6
2.1Η αρχή.....	6
2.2Οι πρώτες ηλεκτρικές μηχανές.....	6
2.3Εξελίξεις στη σχεδίαση κινητήρων.....	7
3.ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	9
3.1Ταξινόμηση.....	9
4.ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ.....	10
5.ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	11

5.1 Μονοφασικοί κινητήρες με συλλέκτη.....	12
5.2 Συντήρηση, βλάβες και επισκευή μονοφασικών κινητήρων.....	14
5.3 Έλεγχος ηλεκτροκινητήρα.....	14
5.4 Συντήρηση ηλεκτροκινητήρα.....	15
6.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	17
6.1 Ολίσθηση του δρομέα.....	18
6.2 Ταχύτητα επαγωγικού κινητήρα.....	19
6.3 Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας επαγωγικών κινητήρων.....	20
6.4 Εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων.....	21
6.5 Έλεγχος ταχύτητας σε ασύγχρονους κινητήρες.....	23
6.6 Γνωρίσματα επαγωγικών κινητήρων.....	24
6.7 Ανακεφαλαίωση.....	25
7.ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΡΟΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ.....	26
7.1 Σύγχρονοι κινητήρες .....	26
7.2 Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονου κινητήρα.....	28
7.3 Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας σύγχρονου κινητήρα.....	29
7.4 Κινητήρες στην πρόωση .....	30
7.5 Το αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα (POD).....	31
7.6 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	32
7.7 Μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης.....	33
8.ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	35
9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36

10. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....37