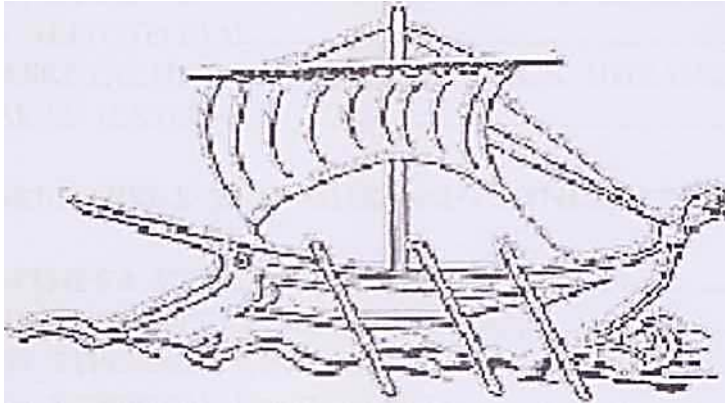


**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΘΕΜΑ**

1

**ΜΕΛΕΤΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΚΙΝΗΤΗΡΑ UNIVERSAL**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:**

ΤΣΑΜΛΙΛΑΡ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α.Μ : 31128

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:**

ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
<b>1.ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ.....</b>	<b>6</b>
1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	6
1.2 ΕΙΔΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	8
1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	11
1.4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	14
<b>2.ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>16</b>
<b>3.ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>17</b>
3.1ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DC.....	20
3.2 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DC.....	21
3.3ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΥ .....	22
3.4 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	22
3.5 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DC.....	23
3.6 ΑΝΤΙΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DC ( $E_{\alpha}$ ).....	24
3.7 ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DC.....	25
3.8.ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	25
3.9 ΤΑΣΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DC.....	26
3.10 Η ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DC .....	27
3.11 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	28
<b>4.ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ DC ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ ΣΕΙΡΑΣ.....</b>	<b>31</b>
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	31
4.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	32
4.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	33
4.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ .....	33
4.5 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	33
4.6 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ.....	35
4.7 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ.....	37

4.8 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ.....	40
4.9 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ.....	40
<b>5. ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DC (ΑΜΚ).....</b>	<b>46</b>
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	46
5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΑΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	46
5.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΜΚ.....	46
5.4 ΣΤΑΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ ΑΜΚ.....	48
5.5 ΔΙΟΛΙΣΘΗΣΗ ΑΜΚ .....	49
5.6 ΑΜΚ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	50
5.6.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	50
5.7 ΤΡΟΠΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ Η.Ε.Δ.....	54
5.8 ΡΟΠΗ .ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	54
<b>6. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ.....</b>	<b>57</b>
6.1 ΔΟΜΗ.....	57
6.2 ΤΥΛΙΓΜΑ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	59
6.3 ΒΡΟΧΟΕΙΔΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑ (ΒΡΟΧΟΤΥΛΙΓΜΑ) ΩΣ ΤΥΛΙΓΜΑ ΜΙΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ.....	60
6.4 ΒΡΟΧΟΕΙΔΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑ ΩΣ ΤΥΛΙΓΜΑ ΔΥΟ ΣΤΡΩΣΕΩΝ.....	62
6.5 ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΕΣ ΤΥΛΙΓΜΑ ( ΚΥΜΜΑΤΟΤΥΛΙΓΜΑ).....	68
6.6 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	71
6.7 ΕΙΔΗ Α.Μ.Κ. ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	75
<b>7. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ UNIVERSAL.....</b>	<b>76</b>
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	76
7.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	76
7.3 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	80
7.3.1 ΔΙΑΝΟΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	80
7.3.2 ΠΡΟΚΛΗΘΕΙΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΣΗ.....	82
7.3.3 ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ.....	85

7.3.4 ΜΕΤΑΓΩΓΗ.....	88
7.3.5 ΨΗΚΤΡΕΣ.....	93
7.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	94
7.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	94
7.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	97
7.4.2.1 ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ $U$ .....	97
7.4.2.2 ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	99
7.4.2.3 ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΗ ΡΟΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ $\Phi$ ΜΕΣΩ ΤΑΠΩΝ ΤΟΥ ΤΥΛΙΓΜΑΤΟΣ ΤΟΜΕΩΝ.....	100
7.4.2.4 ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ $R_A + R_E$ .....	100
7.5 ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ .....	100
7.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κινητήρας UNIVERSAL είναι ένας μονοφασικός κινητήρας σειράς με συλλέκτη. *Χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρά ηλεκτρικά εργαλεία (δράπανα, πριόνια κ.λ.π.) και σε διάφορες ηλεκτρικές οικιακές συσκευές.*

Η λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων σειράς με συλλέκτη στηρίζεται στην ίδια αρχή που στηρίζεται η λειτουργία των κινητήρων συνεχούς ρεύματος και παρουσιάζουν βασικά τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας.

Παρουσιάζουν όμως και ορισμένες διαφορές ,όσον αφορά την κατασκευή τους, από τους κινητήρες σειράς με συνεχές ρεύμα .Οι διαφορές αυτές συντελούν ώστε να λειτουργούν ομαλά στο εναλλασσόμενο ρεύμα και να μη θερμαίνονται υπερβολικά, η δε απόδοση τους να βρίσκεται σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Σε μερικές περιπτώσεις ,για να περιορισθούν οι απώλειες από τα δινορεύματα και τη μαγνητική υστέρηση, τροφοδοτούνται οι κινητήρες σειράς με ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 25 ή  $16 \frac{2}{3}$  HZ.

Οι μικροί κινητήρες αυτού του είδους είναι ισχύος μέχρι 500 W, λειτουργούν και στο συνεχές ρεύμα και ονομάζονται όπως αναφέραμε UNIVERSAL.

Από την κατασκευαστική τους μεριά έχουν το μειονέκτημα ότι χρειάζονται συχνά συντήρηση λόγω του ότι οι ψήκτρες φθείρονται γρήγορα εξαιτίας της τριβής και χρειάζεται να αντικατασταθούν.

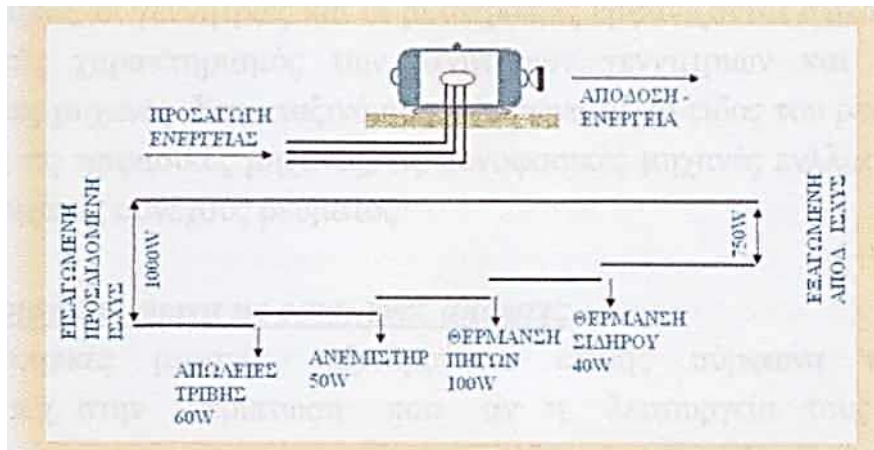
Στις παρακάτω ενότητες θα αναφερθούμε στην κατασκευή του εν λόγω κινητήρα, στη ρύθμιση στροφών , στο φαινόμενο της μεταγωγής, στις πρακτικές εφαρμογές του.

# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

## 1.1 Ταξινόμηση

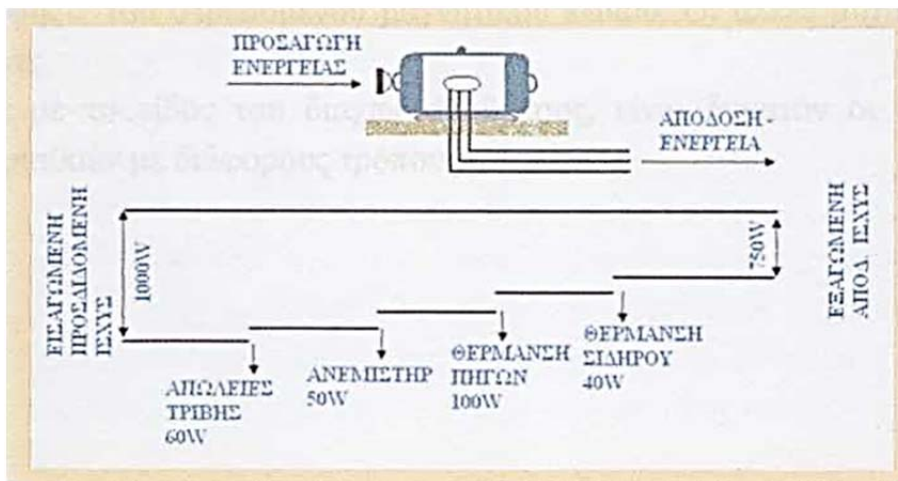
Οι περιστρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές είναι ηλεκτρικές συσκευές, που κατά τη λειτουργία τους έχουν περιστρεφόμενα μέρη και στην περίπτωση που δεν δημιουργείται κάποια σύγκυση αναφέρονται απλά ως ηλεκτρικές μηχανές. Οι ηλεκτρικές μηχανές δεν ανήκουν στα πολυάριθμα ηλεκτρονικά κυκλώματα, π.χ. κυκλώματα ανορθωτών. Στις ηλεκτρικές μηχανές αποδίδονται διάφορα κριτήρια.

Σχ.1



## Ταξινόμηση σύμφωνα με την αποστολή

Οι ηλεκτρικές μηχανές σύμφωνα με την αποστολή τους διακρίνονται σε κινητήρες, γεννήτριες και μετατροπείς. Οι κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική (σχ.1) και οι κινητήρες αποτελούν μία συνηθισμένη ηλεκτρική συσκευή. Κινεί πολυάριθμες μηχανές π.χ. εργαλειομηχανές.



Σχ.2

Οι γεννήτριες μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική (σχ.2). Η συνολική ισχύς όλων των ηλεκτρικών γεννητριών είναι φυσικά μικρότερη από την ισχύ όλων των ηλεκτρικών κινητήρων. Βέβαια η ισχύς της κάθε γεννήτριας είναι συνήθως πολύ μεγάλη γι' αυτό και οι ηλεκτρικές γεννήτριες είναι σπανιότερες από ηλεκτρικούς κινητήρες.

Οι ηλεκτρικοί *μετατροπείς* μετατρέπουν μία ηλεκτρική ενέργεια μιας συγκεκριμένης τάσης ή συχνότητας σε μία ηλεκτρική ενέργεια άλλης τάσης και άλλης συχνότητας.

Η σημασία των μετατροπέων μειώθηκε με την εφαρμογή της ηλεκτρονικής.

### **Ταξινόμηση σύμφωνα με το είδος του ρεύματος**

Οι κινητήρες, οι γεννήτριες και οι μετατροπείς εμφανίζονται σε όλα τα είδη ρευμάτων. Ο γενικός χαρακτηρισμός των κινητήρων γεννητριών και μετατροπέων είναι ηλεκτρικές μηχανές. Στην ταξινόμηση σύμφωνα με το είδος του ρεύματος, διακρίνουμε συνήθως τις τριφασικές μηχανές, τις μονοφασικές μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος, και τις μηχανές συνεχούς ρεύματος.

### **Ταξινόμηση σύμφωνα με ορισμένες απόψεις**

Οι ηλεκτρικές μηχανές ταξινομούνται επίσης σύμφωνα και με ορισμένες απόψεις π.χ. στην περίπτωση που αν η λειτουργία τους στηρίζεται σε ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ονομάζονται μηχανές περιστρεφόμενου πεδίου. Στην περίπτωση που στους κινητήρες το ρεύμα του δρομέα παράγεται εξ' επαγωγής τότε τους ονομάζουμε επαγωγικούς κινητήρες.

Μία συνηθισμένη ταξινόμηση μεταξύ των μηχανών στρεφόμενου πεδίου παρουσιάζεται ως προς τη συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας τους στροφές σε σχέση με τις στροφές στρεφόμενου πεδίου, οπότε διακρίνουμε τις σύγχρονες και τις ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές. Σύγχρονες μηχανές θεωρούνται εκείνες στις οποίες η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι ίση με την ταχύτητα περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Οι άλλες μηχανές ανήκουν στις ασύγχρονες.

Ανάλογα με το είδος του διαχωρισμού τους, είναι δυνατόν οι ίδιες μηχανές να χαρακτηρισθούν με διάφορους τρόπους.

## 1.2 Είδη Λειτουργίας

### Γενικά

Οι ηλεκτρικές μηχανές χρησιμοποιούνται όπως και οι άλλες ηλεκτρικές συσκευές με διαφορετικούς τρόπους. Έτσι είναι δυνατόν να εργάζονται συνεχώς ή και για συγκεκριμένο μόνο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα διαφορετική θερμοκρασία εξαιτίας των απωλειών τους. Ανάλογα με το μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται, η θερμοκρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Επειδή το χρονικό διάστημα στο οποίο αναπτύσσεται η συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρό - εξαιτίας της μάζας - επιβάλλεται η *μεγαλύτερη φόρτιση των συσκευών που λειτουργούν λίγο χρόνο σε σχέση με εκείνες που λειτουργούν συνεχώς*. Γι' αυτό διακρίνουμε ονομαστικά είδη λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών,

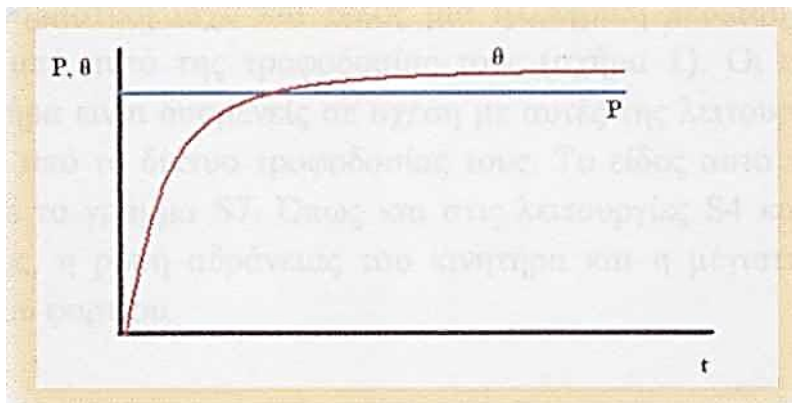
Ως ονομαστική λειτουργία θεωρούμε εκείνη για την οποία έχει κατασκευαστεί η ηλεκτρική μηχανή και η οποία αναγράφεται στον πίνακα ισχύος της. Βασικά - δε - διακρίνουμε τη συνεχή λειτουργία και τη λειτουργία μικρού χρόνου. Η συνεχή (διαρκής) *λειτουργία* είναι είδος εργασίας στην οποία η μηχανή φορτίζεται συνεχώς με το ονομαστικό φορτίο της. Το είδος λειτουργίας - συνεχή λειτουργία - που αναγράφεται στην μηχανή σημαίνει, ότι η μηχανή αυτή δεν πρέπει να υπερβαίνει την ανώτατη επιτρεπόμενη θερμοκρασία της κατά τη συνεχή λειτουργία με το πλήρες φορτίο της. Είναι προφανές - δε - ότι μία μηχανή δεν είναι δυνατόν να λειτουργεί σε καθαρή συνεχή λειτουργία επειδή αφ'ενός εργάζονται με μέρος του φορτίου τους ή δεν εργάζονται καθόλου (*αποσύνδεση από το δίκτυο*) και αφ' ετέρου είναι υπερφορτισμένες για μικρό χρονικό διάστημα, π.χ. εκκίνηση. Ο χαρακτηρισμός της συνεχούς λειτουργίας, σε μία μηχανή δίνει μόνο το ανώτατο όριο με το οποίο μπορεί να επιβαρυνθεί. Το ίδιο ισχύει και για την επιβάρυνση μικρού χρόνου.

*Το είδος της ονομαστικής λειτουργίας δίνει τους όρους λειτουργίας κάτω από τους οποίους επιτρέπεται να εργάζεται μία μηχανή.*



### Συνεχής λειτουργία S1

Κατά τη συνεχή λειτουργία *μίας μηχανής με το* ονομαστικό της φορτίο η επιτρεπόμενη θερμοκρασία αναπτύσσεται από την αρχή, γεγονός που έχει ως συνέπεια και την αύξηση της απαγωγής θερμότητας από αυτή με ακτινοβολία, ροή και μεταφορά. Έτσι μετά από αρκετό χρονικό διάστημα *πραγματοποιείται* μία *ισορροπία* που δεν επιτρέπει πλέον την άνοδο της θερμοκρασίας. Η μηχανή στην περίπτωση αυτή έχει τη θερμοκρασία αδράνειας . Είναι ευνόητο ότι η θερμοκρασία αδράνειας πρέπει να είναι μικρότερη *από* την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του μονωτικού.



9

Αν η συνεχής λειτουργία δίδεται ως είδος λειτουργίας της μηχανής, τότε αυτή έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί (εργάζεται) με το ονομαστικό της φορτίο χωρίς να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη θερμοκρασία του χρησιμοποιούμενου μονωτικού. Σε μια ηλεκτρική μηχανή το είδος « συνεχής λειτουργία », σημαίνει πως η μηχανή αυτή έχει τη δυνατότητα να εργάζεται χωρίς διακοπή με το ονομαστικό της φορτίο, χωρίς να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Η συνεχής λειτουργία χαρακτηρίζεται με το γράμμα S1. Αν δεν δίνεται το είδος της λειτουργίας μιας μηχανής στον πίνακα ισχύος της τότε αυτή είναι κατάλληλη για *συνεχή λειτουργία S1*.

Ο χαρακτηρισμός της συνεχούς λειτουργίας S1 μίας ηλεκτρικής μηχανής, είναι δυνατόν να παραλείπεται από τον πίνακα ισχύος της.

### Βραχεία λειτουργία S2 (λειτουργία μικρού χρόνου )

Κατά την βραχεία λειτουργία *μίας* μηχανής με το ονομαστικό της φορτίο ο χρόνος λειτουργίας της σε σχέση με τη διακοπή της λειτουργίας κατά την

οποία η συσκευή αποσυνδέεται από το δίκτυο είναι μικρός. Η μηχανή κατά τη διάρκεια φόρτισης της δεν αναπτύσσει τη θερμοκρασία αδράνειας. Η διακοπή λειτουργίας είναι τόσο μεγάλη ώστε η μηχανή ψύχεται στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος της. Αν η βραχεία λειτουργία δίνεται ως είδος λειτουργίας της μηχανής, τότε αυτή έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με το ονομαστικό της φορτίο μόνο κατά το συγκεκριμένο μικρό χρονικό διάστημα χωρίς να υπερβαίνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας.

### **Αδιάκοπη περιοδική λειτουργία με ηλεκτρική πέδηση S7**

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αυτής ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι πρακτικά συνδεδεμένος στην τάση του δικτύου. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής πραγματοποιείται μια εκκίνηση, ένα χρονικό διάστημα λειτουργίας με το πλήρες φορτίο και με ονομαστική ισχύ και τέλος μια ηλεκτρική πέδηση π.χ. με ρεύμα αντίθετης φοράς από αυτό της τροφοδοσίας τους (σχήμα 1). Οι συνθήκες αυτές λειτουργίας κινητήρα είναι δυσμενείς σε σχέση με αυτές της λειτουργίας S5, επειδή δεν αποσυνδέεται από το δίκτυο τροφοδοσίας τους. Το είδος αυτό της λειτουργίας χαρακτηρίζεται με το γράμμα S7. Όπως και στις λειτουργίες S4 και S5 πρέπει να δίνεται η περίοδος, η ροπή αδράνειας του κινητήρα και η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή αδράνειας του φορτίου.

### **Αδιάκοπη περιοδική λειτουργία με μεταβολή αριθμού στροφών S8**

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αυτής ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι πρακτικά συνεχώς συνδεδεμένος με την τάση του δικτύου και εργάζεται με διαφορετική όμως ταχύτητα (σχήμα 2). Το είδος αυτό λειτουργίας εμφανίζεται κυρίως στους τριφασικούς κινητήρες αλλαγής πόλων. Για την ακρίβεια δίνονται οι ροπές αδράνειας, οι περίοδοι λειτουργίας (αν αποκλίνουν των 10 min) οι ονομαστικές ισχύεις, ο χρόνος διάρκειας παρεμβολής και οι στρόφες ,

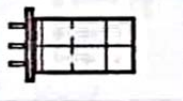
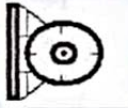


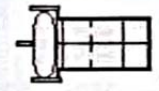
### **Αδιάκοπη λειτουργία με μη περιοδικό φορτίο και αλλαγή στροφών S9**

Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται μια λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα, κατά την οποία το φορτίο του και η ταχύτητα περιστροφής του μεταβάλλονται περιοδικά. Ενώ εμφανίζονται αιχμές φορτίου που μπορούσαν να είναι πολύ μεγαλύτερες από την ονομαστική ισχύ.



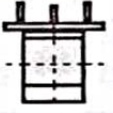
### **1.3 Κατασκευαστική δομή ηλεκτρικών μηχανών**

Οι ηλεκτρικές μηχανές χαρακτηρίζονται από το σταθερό τμήμα τους, που ονομάζεται στάτης (πριν στάτορας) και το περιστρεφόμενο τμήμα που ονομάζεται δρομέας (πριν ρότορας). Στην δομική σύνθεση της μηχανής διακρίνονται τα ενεργά και τα παθητικά της μέρη. Στα *ενεργά μέρη* ανήκουν τα τμήματα από τα οποία διέρχεται το ηλεκτρικό *ρεύμα* και η μαγνητική ροή *όπως* π.χ. τα πηνία, το *πακέτο ελασμάτων του στάτη* και το πακέτο ελασμάτων του δρομέα. Τα παθητικά μέρη είναι κατασκευαστικά τμήματα από τα οποία δεν διέρχεται ούτε το ρεύμα ούτε τη μαγνητική ροή *όπως* π.χ. ο άξονας. Η διάταξη του *δρομέα ως προς το στάτη είναι δυνατόν να διαφέρει*, γι' αυτό και εμφανίζονται διάφορες κατασκευαστικές φόρμες μηχανών. Για τις φόρμες αυτές θεσπίστηκαν συμβολισμοί σύμφωνα με το **DIN** και **IEC**. Ιδιαίτερα συχνά συναντιόνται στην *πράξη οι μηχανές οριζόντιας τοποθέτησης*, οι *οποίες διαθέτουν ένα ή δύο έδρανα (κουζινέτα - τριβεία)* (πίνακας 1). Υπάρχουν επίσης και μηχανές κάθετης τοποθέτησης που χρησιμοποιούνται ευρέως στην πράξη. Οι πλέον διαδεδομένες φόρμες είναι IMB3 και IMB5.

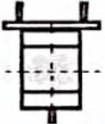
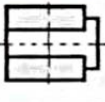

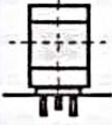
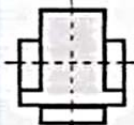
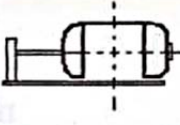
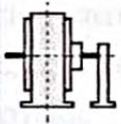
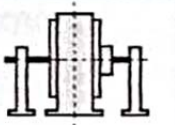
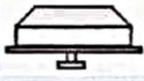
**Πίνακας 1 : Μηχανές με τριβείς (κουζινέτα)**

IEC – Κώδ. I IEC – Κώδ. II	Εικόνα	Εξήγηση
IMB5		Με δύο κουζινέτα, ταινία σταθεροποίησης
IM 3001		
IMB6		Όπως IMB5 σταθεροποιημένη στον τοίχο ελεύθερου άξονα αριστερά
IM 1051		
IMB7		Όπως IMB6 αλλά με ελεύθερο τον άξονα δεξιά
IM 1061		
IMB8		Όπως IMB 3 αλλά για σταθεροποίηση στην οροφή
IM 1071		
IMB10		Με δύο ασπίδες στρωμάτων, φλάντζα σταθεροποίησης
IM 4001		

**Πίνακας 2 : Μηχανές κάθετης τοποθέτησης**

IEC – Κώδ. I IEC – Κώδ. II	Εικόνα	Εξήγηση
IMV1		Με δύο ασπίδες, φλάντζα και ελεύθερο άξονα κάτω
IM 3011		
IMV2		Όπως IMV1 αλλά με ελεύθερο άξονα πάνω
IM 3231		
IMV3		Όπως IMV1 αλλά με ελεύθερο άξονα πάνω και φλάντζα
IM 3031		



IMV4		Όπως IMV3 αλλά με ελεύθερο άξονα κάτω
IM 3211		
IMV5		Μέ δύο τριβείς, ελεύθερο άξονα κάτω, τάση για σταθεροποιητή στόν τοίχο
IM 1011		
IMV10		Με δύο ασπίδες, φλάντζα σταθεροποίησης κάτω
IM 4011		
IMV18		Όπως IMV1 αλλά με ελεύθερο άξονα πάνω
IM 3611		
A2		Χωρίς άξονα, περίβλημα με υπερυψωμένη βάση
IM 5510		
C2		Με δύο ασπίδες στρωμάτων και μία όρθια βάση
IM 6010		
D1		Μία όρθια βάση, φλάντζα τού άξονα
IM 7001		
D9		Μέ δύο βάσεις σταθεροποίησης ελεύθερο άξονα
IM 7201		
W1		Εγκάρσια βάση, πάνω φλάντζα ζεύξης κάτω. Στή βάση πλάκα σώμα φρεάτιο
IM 8015		– κολώνες στήριξης

#### 1.4 Πίνακας ισχύος (πινακίδα)

Στον πίνακα ισχύος (πινακίδα) των ηλεκτρικών μηχανών αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη. Δίπλα στα στοιχεία του κατασκευαστή και του χαρακτηρισμού του τίτλου της μηχανής καθώς και το είδος της ο πίνακας ισχύος περιλαμβάνει την ονομαστική τάση, το ονομαστικό ρεύμα και την ονομαστική ισχύ, που ισχύουν για το συγκεκριμένο είδος κατασκευής. Στην περίπτωση που δεν δίνεται το είδος κατασκευής τότε η μηχανή θεωρείται S1 είδους λειτουργίας. Ακόμη στον πίνακα ισχύος δίνονται ο συντελεστής ισχύος, οι ονομαστικές στροφές και η συχνότητα της τάσης σύνδεσης, όπως επίσης και η κατηγορία μόνωσης και η κατηγορία προστασίας της. Στις μεγαλύτερες μηχανές δίνεται και η μάζα.

*Στην πινακίδα μιας ηλεκτρικής μηχανής αναφέρονται σημαντικό, δεδομένο., απαραίτητα για την αξιολόγηση κατά την χρήση τους.*

#### **Πινακίδα Ηλεκτροκινητήρα (κατά DIN 42961)**

1	
Τύπ 2	
3	4 Nr 5
6	7 V 8 A
9	10 11 cosφ 12
13	14 /min 15 Hz
18	17 18 A 19 A
20	21 22 t
23	

- 1.Κατασκευαστής, φέρμα
2. Τύπος κινητήρα και σειρά κατασκευής
- 3.Ένδειξη ρεύματος (συνεχές - εναλλασσόμενο)
- 4.Ένδειξη τρόπου λειτουργίας
- 5.Αριθμός σειράς παραγωγής
- 6.Πληροφορίες για το τύλιγμα και τις φάσεις

I	Μονοφασικός κινητήρας	Υ	Τριφασικός με ουδέτερο
⊥	Με βοηθητική φάση	☆	Εξοφασικός (διπλό τρίγωνο)
	Διφασικός (ανοικτή)	○	Εξοφασικός (εξάγωνο)
L	Διφασικός (90°)	✱	Εξοφασικός (αστέρας)
	Τριφασικός		
Δ	Τριφασικός τρίγωνο		
Λ	Τριφασικός αστέρας		

7. Τάση τροφοδότησης
8. Ρεύμα τροφοδότησης
9. Ισχύς που αποδίδει στην έξοδο (σε KW για συνεχές και KVA ή VA για εναλλασσόμενο)
10. Το σύμβολο KW ή KVA ή VA
11. Προορισμός
12. Συντελεστής
13. Διεύθυνση περιστροφής (διεύθυνση δεικτών ρολογιού και διεύθυνση αντίθετη προς τους δείκτες του ρολογιού) .
14. Αριθμός στροφών
15. Συχνότητα ρεύματος
16. Διέγερση
17. Πληροφορίες για τους ακροδέκτες
18. Πληροφορίες για την τάση στο σύστημα διέγερσης
19. Πληροφορίες για την ένταση στο σύστημα διέγερσης
20. Κατηγορία στεγανότητας
21. Αντιστοιχία με κωδικοποίηση κατά DIN 40050
22. Κατά προσέγγιση βάρος (σε tons) για μηχανές βαρύτερες του 1 ton.
23. Πρόσθετες ενδείξεις για προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας (π.χ. σύστημα ψύξης)

## **2.ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι γεννήτριες που μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή συνεχούς *ρεύματος και κινητήρες που* κινούνται με συνεχές ρεύμα μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι περισσότερες μηχανές συνεχούς ρεύματος μοιάζουν με τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, αφού και *στις* δύο κατηγορίες *τα ρεύματα και οι* τάσεις στο εσωτερικό των μηχανών είναι εναλλασσόμενα. Απλά οι μηχανές συνεχούς ρεύματος έχουν συνεχή έξοδο ή είσοδο λόγω του μηχανισμού που μετατρέπει τις εσωτερικές εναλλασσόμενες *τάσεις σε* *συνεχείς*. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται *συλλέκτης (commutator) και εξαιτίας* του οι μηχανές συνεχούς ρεύματος ονομάζονται *μηχανές με συλλέκτη*.

Οι βασικές αρχές λειτουργίας των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι πολύ απλές, *Δυστυχώς όμως* η περιπλοκή δομή των πραγματικών μηχανών τις κάνει μερικές φορές λίγο δυσνόητες.



### 3. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος, που λειτουργούν ως κινητήρες, ονομάζονται κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Όπως σημειώθηκε η ίδια ηλεκτρική μηχανή είναι δυνατό να λειτουργεί τόσο ως γεννήτρια όσο και ως κινητήρας, πράγμα που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη φορά ροής της ισχύος. Υπάρχουν μερικοί λόγοι που κάνουν αρκετά δημοφιλείς στις μέρες μας τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Ένας από αυτούς είναι το γεγονός ότι τα συστήματα συνεχούς ρεύματος είναι ακόμη αναντικατάστατα στα επιβατικά αυτοκίνητα, στα φορτηγά και στα αεροπλάνα. Όταν ένα όχημα διαθέτει κάποιο σύστημα ισχύος που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, προφανώς θα χρησιμοποιεί κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Οι κινητήρες αυτοί εμφανίζονται επίσης πολύ συχνά σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγάλες μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής. Σε τέτοιες εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι πραγματικά αξιόπεραστοι. Ακόμη κι όταν δεν είναι διαθέσιμη μια πηγή συνεχούς ρεύματος, συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί ανορθωτές ή κυκλώματα chopper για την παραγωγή της απαιτούμενης συνεχούς τάσης.

Όπως ακριβώς ο συντελεστής σταθεροποίησης τάσης δίνει ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών γεννητριών συνεχούς ρεύματος, έτσι και ο συντελεστής σταθεροποίησης ταχύτητας (*speed regulation-SR*) βοηθάει στη σύγκριση μεταξύ εξίσωσης κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Η εξίσωση ορισμού της διακύμανσης της ταχύτητας είναι η εξής:

$$SR = \frac{\omega_{nl} - \omega_{fl}}{\omega_n} 100\% \quad \text{ή} \quad SR = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_n} 100\%$$

Ο συντελεστής σταθεροποίησης ταχύτητας δίνει μια πρόχειρη εικόνα για τη μορφή της χαρακτηριστικής ροπής - ταχύτητας ενός κινητήρα. Θετική τιμή του συντελεστή σταθεροποίησης ταχύτητας σημαίνει μείωση της ταχύτητας του κινητήρα κατά την αύξηση του φορτίου του, ενώ αρνητική τιμή σημαίνει αύξηση της ταχύτητας κατά την αύξηση του φορτίου. Η απόλυτη τιμή του συντελεστή σταθεροποίησης ταχύτητας δείχνει προσεγγιστικά το πόσο

απότομη είναι η κλίση της καμπύλης ροπής - ταχύτητας.

Προφανώς οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος τροφοδοτούνται από μία πηγή συνεχούς τάσης. Για να απλοποιηθεί η σύγκριση μεταξύ των κινητήρων συνεχούς ρεύματος διαφορετικού τύπου και για να γίνει ευκολότερη η ανάλυση τους, η τάση εισόδου ενός κινητήρα θεωρείται σταθερή, εκτός κι αν σημειώνεται το αντίθετο.

Πέντε είναι οι βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος :

1. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης (separately excited motor)
2. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης (shunt DC motor)
3. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη (permanent magnet DC motor)
4. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς (series DC motor)
5. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης (compounded DC motor)

### Γενικά

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίζονται σε κατηγορίες που διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο παραγωγής του πεδίου της διέγερσης τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής : ανεξάρτητης, παράλληλης και σύνθετης διέγερσης, διέγερσης σειράς και με μόνιμους μαγνήτες. Ο τρόπος παραγωγής της μαγνητικής ροής διέγερσης ενός κινητήρα επηρεάζει τον τρόπο κατά τον οποίο αυτή μεταβάλλεται με το φορτίο, πράγμα που με την σειρά του επηρεάζει τη χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας του κινητήρα.

Η ταχύτητα στη χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας ενός κινητήρα ανεξάρτητης ή παράλληλης διέγερσης μειώνεται γραμμικά καθώς η ροπή του αυξάνεται. Η ρύθμιση της ταχύτητας ενός τέτοιου κινητήρα είναι δυνατό να γίνει με τη μεταβολή του ρεύματος διέγερσης ή της τάσης στα άκρα του σπλισμού.

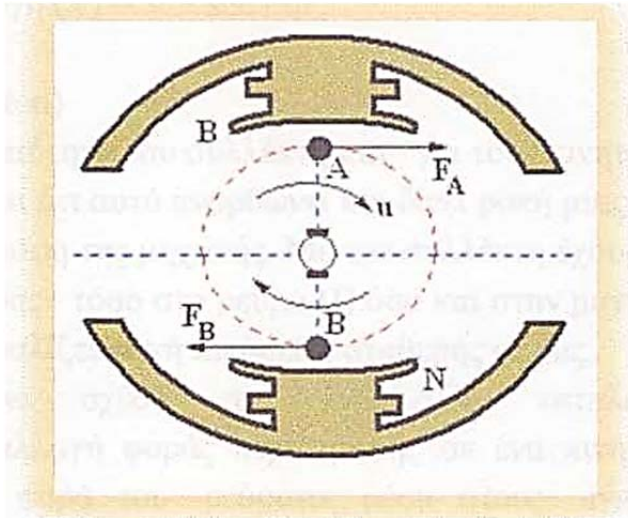
Ο κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες είναι ίδιος με τους παραπάνω, με τη διαφορά ότι η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του παράγεται από μόνιμους μαγνήτες. Ο κινητήρας με διέγερση σειράς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία αλλά στη λειτουργία χωρίς φορτίο

υπάρχει περίπτωση να επιταχύνεται ασταμάτητα Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ροπή εκκίνησης και όπου ο συντελεστής σταθεροποίησης της ταχύτητας δεν είναι σημαντικός, όπως στους εκκινητές των αυτοκινήτων.

Ο κινητήρας αθροιστικής σύνθετης διέγερσης είναι συνδυασμός των κινητήρων με διέγερση σειράς και παράλληλης διέγερσης και σε αυτόν συνυπάρχουν τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των δύο παραπάνω κατηγοριών. Αντίθετα η συμπεριφορά του κινητήρα διαφορικής σύνθετης διέγερσης είναι τελείως απαράδεκτη. Αυτός παρουσιάζει αστάθειες και επιταχύνεται ασταμάτητα με την αύξηση του φορτίου του.

### 3.1 Αρχή λειτουργίας κινητήρα DC

#### *Στοιχειώδης κινητήρας DC με μια σπείρα*



Σχήμα 1

Ας πάρουμε μια σπείρα με βήμα ακριβώς όσο το πολικό βήμα της μηχανής. Η σπείρα κινείται δεξιόστροφα, ως προς τον συλλέκτη, έναν στοιχειώδη συλλέκτη με δύο τομείς. Ο αγωγός A της σπείρας διαρρέεται από ρεύμα προς τον συλλέκτη ( προς τον παρατηρητή ), ο αγωγός B διαρρέεται από αντίθετης φοράς ρεύμα, δηλαδή απομακρύνεται από τον παρατηρητή. Τη στιγμή που ο αγωγός A βρίσκεται στο Βόρειο πόλο της διπολικής μηχανής μας επάνω σ' αυτόν ασκείται μια δύναμη.

$$\vec{F}_A = \vec{L} * \vec{IX} * \vec{B} \quad \text{Εξ.1}$$

Η δύναμη αυτή τείνει να περιστρέψει τον αγωγό δεξιόστροφα, ως προς ένα παρατηρητή, από τη μεριά του συλλέκτη. Επίσης η δύναμη που ασκείται στον αγωγό B που βρίσκεται προ του Νοτίου μαγνητικού πόλου δίνεται από την εξίσωση 1 και επίσης τείνει να κινήσει τον αγωγό B δεξιόστροφα. Το ζεύγος δυνάμεων  $F_A$ ,  $F_B$  ασκεί λοιπόν μια ροπή επάνω στην σπείρα και την θέτει σε περιστροφική κίνηση, κατά την δεξιόστροφη φορά. Εάν η σπείρα μας κινηθεί κατά  $90^\circ$  και οι αγωγοί της βρεθούν πάνω στον ουδέτερο άξονα, καμία ροπή δεν ασκείται επάνω στην σπείρα μας ( μια μηχανή με μία μόνο σπείρα δεν φαίνεται να λειτουργεί κανονικά). Ύστερα από  $180^\circ$  δεξιόστροφα περιστροφή οι αγωγοί μας θα αλλάξουν θέση αμοιβαία και ο αγωγός A θα βρεθεί κάτω από

τον Νότιο μαγνητικό πόλο (N), ο δε αγωγός (B) κάτω από τον Βόρειο μαγνητικό πόλο. Η φορά της ροπής του ζεύγους των δύο δυνάμεων όμως θα εξακολουθεί να είναι δεξιόστροφη, γιατί χάρη στο συλλέκτη., για κάθε αγωγό άλλαξε μεν η φορά του μαγνητικού πεδίου αλλά άλλαξε και η φορά του ρεύματος ( καθώς η σπείρα διέρχεται από την ουδέτερη ζώνη όπου το ρεύμα αλλάζει φορά αφού πρώτα μηδενιστεί). Τη φορά της δυνάμεως LAPLACE που ασκείται επάνω σε κάθε ρευματοφόρο αγωγό εντός μαγνητικού πεδίου τη βρίσκουμε με τον κανόνα του αριστερού χεριού ή με τον κανόνα του δεξιού χεριού.

(L) Ενεργό μήκος αγωγού (m)

(B) Μαγνητική επαγωγή (T) =  $V \cdot \text{sec} / \text{m}^2$

(I) Ένταση (A)

(P) Δύναμη (N) (Newton)

Όστε λοιπόν η σπουδαιότητα του συλλέκτη και για τους κινητήρες DC όπως και για τις γεννήτριες DC είναι ότι αυτό ανορθώνει και δίνει ροπή μιας φοράς, έτσι ώστε να συντηρείται η περιστροφή της μηχανής. Με τον συλλέκτη έχουμε ταυτόχρονο και σύγχρονο αλλαγή φοράς τόσο στο ρεύμα (I) όσο και στην μαγνητική επαγωγή (B). Αυτό όμως μας εξασφαλίζει ροπή κινήσεως σταθερής φοράς.

Από την παραπάνω σχέση του LAPLACE καταλαβαίνουμε ότι για να πραγματοποιήσουμε αλλαγή φοράς περιστροφής σε ένα κινητήρα θα πρέπει ή να αλλάξουμε μόνο την φορά του ρεύματος, μέσα στους αγωγούς του επαγωγικού τύμπανου, αλλάζοντας προφανώς την πυκνότητα της μαγνητικής ροής της μηχανής, ή να αλλάξουμε μόνο το ρεύμα διεγέρσεως της μηχανής.

### **3.2 Ροπή στρέψεως κινητήρα DC**

Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, την αρχή λειτουργίας ενός κινητήρα. Επίσης είδαμε πως γίνονται τα τυλίγματα της μηχανής. Σε κάθε αγωγό της μηχανής ασκείται μια ροπή και το σύνολο της καθορίζουν την ροπή στρέψεως, που εξασφαλίζει την περιστροφική κίνηση της μηχανής και δημιουργεί μηχανικό έργο.

### 3.3 Ροπή στρέψεως ενός αγωγού

Η δύναμη LAPLACE στον αγωγό δίνεται από την σχέση

$$P_{\alpha} = B_{\mu} * L * I_{\alpha} \quad \text{μιας και γωνία είναι } 90^{\circ}$$

Η ροπή  $M_{\alpha}$  επί του αγωγού είναι  $M_{\alpha} = F_{\alpha} * r = B_{\mu} * I_{\alpha} * L * r$

Η Μέση μαγνητική επαγωγή  $B_{\mu}$  είναι αυτή που μας δίνει την χρήσιμη ανά πόλο μαγνητική ροή ( $\Phi$ ).

$$B_{\mu} = \frac{\Phi}{\tau_p * L}$$

όπου  $\tau_{\mu} = 2\pi r / 2P$  το πολικό βήμα της μηχανής.

Έτσι έχουμε:

$$M_{\alpha} = 2P / 2\pi * \Phi * I_{\alpha}$$

Ροπή επί ενός ρευματοφόρου αγωγού εντάσεως  $I_{\alpha}$  Ampere.

Εάν ( $2\alpha$ ) είναι ο αριθμός των παραλλήλων κλάδων της μηχανής και ( $I$ ) είναι το ρεύμα του τυλίγματος του τύμπανου της μηχανής είναι:

$I_{\alpha} = I / 2\alpha$  και έτσι έχουμε :

$$M_{\alpha} = P / 2\alpha\pi * \Phi * I_r \text{ Ροπή αγωγού}$$

$P$  = ζεύγη πόλων

$2\alpha$  = παράλληλοι κλάδοι

$\Phi$  = χρήσιμη μαγνητική ροή ανά πόλο (V.S)

$I_r$  = ρεύμα τυλίγματος τύμπανου (A)

### 3.4 Ροπή στρέψεως κινητήρα

Εάν ( $Z$ ) είναι ο συνολικός αριθμός των αγωγών του επαγωγικού τύμπανου, η ροπή στρέψεως, επί όλων των αγωγών καθορίζει την συνολική ροπή στρέψεως, που λέγεται και ροπή στρέψεως του κινητήρα.  $M$  (ονομάζεται και εσωτερική ροπή της μηχανής).

$M = Z * M_{\alpha}$  και βρίσκουμε :

$$M = K_M * \Phi * I_R$$

όπου  $K_M = 2P / 2\alpha * Z / 2\pi$  παράμετρος ροπής του κινητήρα χαρακτηριστική σταθερά κάθε συγκεκριμένης μηχανής.

Επειδή  $\Phi = f(I\delta, I_r)$  δηλαδή η χρήσιμη μαγνητική ροή ανά πόλο εξαρτάται κυρίως από το ρεύμα διεγέρσεως της μηχανής, αλλά και από το ρεύμα αντιδράσεως του επαγωγικού τύμπανου, συμπεραίνουμε ότι η ροπή στρέψεως μιας μηχανής DC εξαρτάται από την αλληλεπίδραση της μαγνητικής ροής ( $\Phi$ ) της μηχανής και του ρεύματος του επαγωγικού τύμπανου.

### 3.5 Μηχανική ισχύς κινητήρα DC

Η Μηχανική ισχύς κάθε κινητήρα δίνεται από την σχέση  $P=M \cdot \omega_R$ , δηλαδή από το γινόμενο της ροπής στρέψεως του κινητήρα *επί* την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.

Πράγματι η στοιχειώδης ενέργεια ( $d_w$ ) κατά την στοιχειώδη μετακίνηση ( $dx$ ) κατά την κατεύθυνση της δυνάμεως ( $P$ ) δίνεται από την σχέση :

$$d_w = F dx \quad \text{και η ισχύς } P = d_w/d$$

εάν η παραπάνω στοιχειώδης μετακίνηση γίνεται μέσα στον στοιχειώδη χρόνο ( $dt$ )

Έτσι έχουμε:

$$P = F \frac{dx}{d} \quad \text{ή } P = F U$$

U είναι η γραμμική ταχύτης του σημείου μετακινήσεως, δηλαδή του αγωγού  $U = \omega r$  και έτσι έχουμε:

$$P = P \cdot \omega \cdot r \quad \text{ή } P = M \cdot \omega_R \quad \text{και } M = F \cdot r$$

Αλλά  $\omega_R = \frac{d\theta}{dt}$  είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και είναι:

$$\omega_R = 2\pi \frac{n_R}{60} \quad \text{όπου } n = \text{RPM οί στροφές ανά λεπτό τής μηχανής.}$$

$$K_{(KPM)} = \frac{M \cdot n_R}{\frac{60}{2\pi}} \quad \text{όπου (M) η ροπή σε (K}$$

$$\text{ακόμη: } P_{PS} = \frac{M \cdot n_R}{\frac{60}{2\pi} \cdot 75}$$

$$\text{ή } P_{PS} = \frac{M \cdot n_R}{716.2} \quad \text{η ισχύς σε ίππους}$$

$$\text{ή } P_{KW} = \frac{M \cdot n_R}{71.36 \cdot 75 \cdot \frac{60}{2\pi}} \quad \text{ή } P_{KW} = \frac{M \cdot n_R}{974} \quad \text{η ισχύς σε KW}$$

### **3.6 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα DC (E<sub>α</sub>)**

Στο σχήμα 1, οι ρευματοφόροι αγωγοί Α και Β, οι οποίοι κάτω από την επίδραση της ροπής *στρέψεως* που *αναπτύσσεται* από τον κινητήρα, κινούνται δεξιόστροφα αντίστοιχα προ του Βόρειου και Νότιου Μαγνητικού πόλου. Στους αγωγούς θα αναπτυχθούν αντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις με φορά αντίθετη εκείνων των ρευμάτων των αγωγών. Για αυτό μιλάμε για αντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις, καθώς αντιτίθενται στην κίνηση, μια και έχουν σαν προορισμό να ελαττώσουν το ρεύμα, που δημιουργεί την περιστροφική κίνηση στη μηχανής μας. Η τιμή της παραπάνω επαγωγικής τάσης είναι:

$$E_{\alpha} = K_{\varepsilon} \cdot \eta \cdot \Phi$$

$$K_{\varepsilon} = \frac{Zp}{2\alpha 60} Z$$

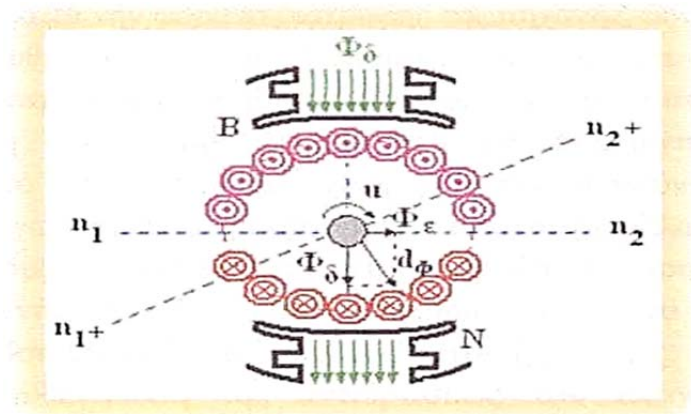
η σταθερά τάσεως της μηχανής.

η = RPM οι στροφές της μηχανής και (Φ) η χρήσιμη ανά πόλο μαγνητική ροή.

Η παραπάνω Η Ε Δ (E<sub>α</sub>) δημιουργεί μια ροπή αντιστάσεως ή πεδήσεως της μηχανής. Την ροπή αυτή πρέπει να εξουδετερώσει ο κινητήρας, αναπτύσσοντας μία τάση ίση και αντίθετη ροπή, την ροπή στρέψεως. Η τιμή της (E<sub>α</sub>) είναι περίπου τα 85%-95% της τάσεως τροφοδοσίας της μηχανής.



### 3.7 Αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου στους κινητήρες DC



Σχήμα 2

Και στους κινητήρες το Μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως της μηχανής  $\Phi_{\delta}$  υφίσταται την επίδραση από το μαγνητικό πεδίο αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες ενισχύονται μαγνητικά τα άκρα εισόδου των πεδίων των μαγνητικών πόλων και απομαγνητίζονται τα άκρα εξόδου. Το αντίθετο ακριβώς από ότι συμβαίνει στις γεννήτριες DC. Στους κινητήρες η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται αντίθετα προς τη φορά περιστροφής. Αυτό έχει τις ίδιες επιπτώσεις, εξετάζοντας την μηχανή σαν γεννήτρια, δηλαδή κορεσμός στους πόλους, απώλειες ισχύος, σπινθηρισμούς και φθορά στον συλλέκτη κ.λ.π

25

### 3.8 Εξουδετέρωση των επιδράσεων της αντίδρασης του επαγωγικού τυμπάνου στους κινητήρες DC

Η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου εν κενώ είναι μικρή, με φορτίο όμως, καθώς αυξάνεται το ρεύμα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, αυξάνεται και η γωνία μετατόπισης της ουδέτερης ζώνης. Και έτσι έχουμε όλες τις δυσμενείς επιπτώσεις που γνωρίζουμε. Θα πρέπει λοιπόν να μεταθέσουμε λίγο τις ψήκτρες, αντίθετα από την φορά περιστροφής από την θέση τους στους άξονες των πόλων της μηχανής. Με την μετακίνηση αυτή, δεν πετυχαίνουμε εξαφάνιση των σπινθηρών του κινητήρα κατά την συνεχώς μεταβαλλόμενη φόρτιση του, αλλά περιορισμό αυτού. Επιπλέον όμως, έχουμε

μείωση της χρήσιμης μαγνητικής ροπής ανά πόλο και, *συνέπεια αυτής, μια μικρή αύξηση στις στροφές της μηχανής.*

Η μετακίνηση των ψηκτρών προκαλεί ακόμη απομαγνήτιση της μηχανής. Η ριζική αντιμετώπιση και για τους κινητήρες DC είναι η χρησιμοποίηση άλλων μέσων όπως η χρησιμοποίηση βοηθητικών πόλων. Προορισμός των βοηθητικών πόλων θα είναι να εξουδετερωθεί η μαγνητική ροή  $\Phi_T$  του επαγωγικού τύμπανου. (βλέπε σχήμα 2). Στον άξονα  $\eta_2$  θα τεθεί ένας βόρειος βοηθητικός πόλος και στη θέση του άξονα  $\eta_1$  θα τεθεί ένας νότιος βοηθητικός πόλος. Έτσι, αντίθετα από ότι συμβαίνει με τις γεννήτριες DC, στους κινητήρες DC κατά την φορά περιστροφής της μηχανής ύστερα από έναν βόρειο πόλο διεγέρσεως ακολουθεί ένας βόρειος βοηθητικός και ύστερα από ένα πόλο νότιο διεγέρσεως ,ακολουθεί ένας νότιος βοηθητικός πόλος. Τα τυλίγματα των βοηθητικών πόλων συνδέονται στη σειρά προς το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου και διαρρέονται από το αυτό ακριβώς ρεύμα. Η αλλαγή της διεύθυνσεως του ρεύματος του τύμπανου, στους αγωγούς του, δημιουργεί ταυτόχρονα αλλαγή της πολικότητας στους βοηθητικούς πόλους. Αυτό μας πείθει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια μηχανή, είτε σαν γεννήτρια, είτε σαν κινητήρα, χωρίς να αλλάξουμε καμιά συνδεσμολογία στους βοηθητικούς πόλους της μηχανής. Τέλος, για πολύ μεγάλους κινητήρες, για την εξουδετέρωση της αντιδράσεως του επαγωγικού τύμπανου, χρησιμοποιούνται τυλίγματα αντισταθμίσεως στα πέλματα των κυρίων πόλων μηχανής.

### **3.9 Τάση μεταγωγής στους κινητήρες DC**

Και για τους κινητήρες DC όπως και για τις γεννήτριες υπάρχει το πρόβλημα της μεταγωγής του ρεύματος. Και για τους κινητήρες η μεταγωγή του ρεύματος δημιουργεί σπινθηρισμούς στις ψήκτρες και στους τομείς του συλλέκτη. Υπάρχουν τα εξής κριτήρια;

1. Εάν η τάση μεταγωγής είναι μικρότερη από 1,5 - 2,0 V, αυτό το ανεχόμαστε και δεν προβαίνουμε σε καμιά προφύλαξη της μηχανής.
2. Εάν η τάση μεταγωγής είναι από 2,0 έως 5,0 V χρησιμοποιούμε τους βοηθητικούς πόλους.
3. Εάν η τάση μεταγωγής είναι μεταξύ 5,0 και 8,0 V, η μηχανή θα πρέπει να

εφοδιαστεί τόσο με βοηθητικούς πόλους, όσο και με τυλίγματα αντισταθμίσεως.

4. Απορρίπτουμε κάθε περίπτωση που η τάση μεταγωγής γίνεται μεγαλύτερη από 8v.

Τόσο με τη χρήση των βοηθητικών πόλων, όσο και με τη χρήση των τυλιγμάτων αντισταθμίσεως εξουδετερώνεται η αντίδραση του επαγωγικού τύμπανου.

### **3.10 Η εκκίνηση των κινητήρων DC**

Σε όλους τους τύπους κινητήρων με αυτοδιέγερση, η τάση τροφοδοσίας της μηχανής έχει να αντιμετωπίσει, εκτός από την εσωτερική πτώση τάσης της μηχανής, και την

εξουδετέρωση της αντιηλεκτρικής δύναμης  $E_a$  της μηχανής. Η τελευταία μάλιστα είναι και το μεγαλύτερο ποσοστό της τάσης τροφοδοσίας (85-95) % αυτής. Στο ξεκίνημα όμως της μηχανής με την επιβολή της τάσης τροφοδοσίας, ενώ η μηχανή είναι ακόμη ακίνητη, δεν υπάρχει αντιηλεκτρική δύναμη. Έτσι όλη η τάση της μηχανής διατίθεται σαν εσωτερική πτώση τάσης αυτής. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται ένα ρεύμα 10-20 φορές μεγαλύτερο από το κανονικό ρεύμα του κινητήρα. Αυτά για τους μεγαλύτερους κινητήρες είναι επιζήμιο. Για το δίκτυο επίσης σημαίνει βύθιση τάσης και πρέπει επομένως να αποφεύγονται τα υψηλά ρεύματα εκκινήσεως στους κινητήρες. Η ένταση κανονικής λειτουργίας του τυλίγματος του τύμπανου του κινητήρα δίνεται από μια σχέση της μορφής :

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T}$$

Το ρεύμα εκκίνησης της μηχανής δίνεται προφανώς από τη σχέση :

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T}$$

Προκειμένου να μειωθεί η μεγάλη ένταση του ρεύματος κατά τον χρόνο της εκκίνησης παρεμβάλλεται στη σειρά προς την  $R_T$  μιας κατάλληλης τιμής

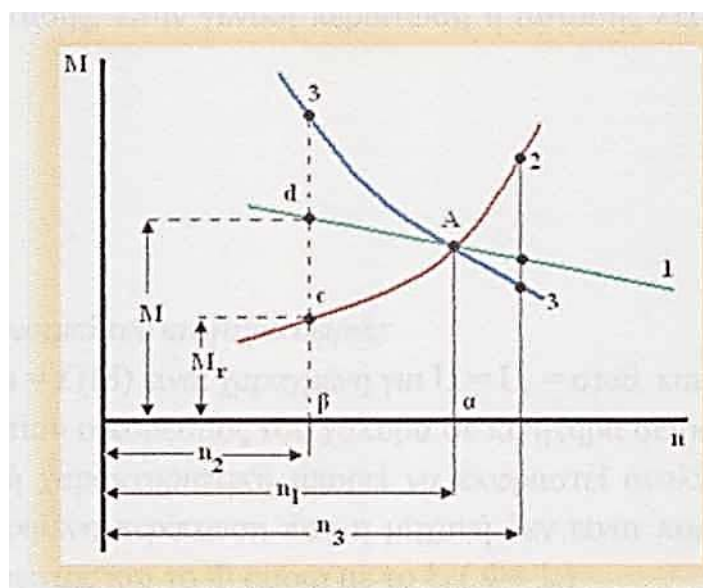
αντίσταση  $R_{εκ}$ , την οποία ονομάζουμε αντίσταση εκκίνησης. Η τιμή της είναι συνήθως τόση, ώστε το ρεύμα εκκίνησης να γίνει 1,5 - 3,0 φορές το κανονικό ρεύμα φόρτισης της μηχανής. Καθώς η μηχανή παίρνει στροφές, αφαιρείται σταδιακά ένα μέρος της αντίστασης, μια και με την αύξηση της ταχύτητας αυξάνεται και η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_a$ , και εξουδετερώνει ένα μέρος από την τάση τροφοδοσίας της μηχανής. Με την παρεμβολή της αντίστασης εκκίνησης το ρεύμα εκκίνησης του τύμπανου γίνεται:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_1 + R_{εκ}}$$

Εφόσον η μηχανή πάρει τις ονομαστικές της στροφές όλη η  $R_ε$  πρέπει να τεθεί εκτός (βραχυκυκλωθεί). Η παραμονή της στο κύκλωμα θα σημαίνει αδυναμία της μηχανής να αναπτύξει την κανονική της ροπή, εκτός από την αδικαιολόγητη και επικίνδυνη απώλεια ισχύος επάνω στην  $R_ε$

### 3.11 Μηχανικά χαρακτηριστικά

Τα κύρια μέρη μιας ηλεκτρικά κινούμενης μηχανής είναι η κινούμενη μονάδα (φορτίο) και ο ηλεκτρικός κινητήρας. Για να αποκτήσουμε συντονισμένη λειτουργία μια καθορισμένη σχέση πρέπει να δημιουργηθεί μεταξύ των μηχανικών χαρακτηριστικών του κινητήρα και της κινούμενης μονάδας για σταθερές και μεταβατικές συνθήκες. Η σχέση μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών καθορίζει την σταθερότητα λειτουργίας της μηχανής



### Συνθήκες σταθερότητας

Ας υποθέσουμε ότι η ροπή του κινητήρα  $M_a$  και η ροπή αντίστασης του φορτίου  $M_R$  που παράγεται από το φορτίο στον άξονα του κινητήρα παριστάνονται με τις καμπύλες 1 και 2 στο παραπάνω σχήμα και συναντώνται στο σημείο A. Για ευκολία, οι μηχανικές χαρακτηριστικές δεν έχουν χαραχτεί με συνηθισμένο τρόπο, δηλαδή όχι σαν  $n = f(M)$  αλλά σαν  $M = f(n)$ .

Αν η ταχύτητα περιστροφής η αλλάξει, για παράδειγμα αν η ταχύτητα πέσει από  $n_1 = 0\alpha$  στο  $n_2 = 0\beta$  τότε μια θετική δυναμική ροπή

$$M_j = M - M_r = \beta d - \beta c = cd$$

θα εμφανιστεί στον άξονα του κινητήρα.

Υπό την επίδραση αυτής, η ταχύτητα του κινητήρα θα αυξηθεί μέχρι να ξαναπάρει την αρχική τιμή  $n_1$ .

Αντιστρόφως, αν η ταχύτητα αυξηθεί σε  $n_3$  τότε με  $M_r > M$  γεννιέται μια αρνητική δυναμική ροπή και η ταχύτητα αρχίζει να πέφτει μέχρι να πάρει την τιμή  $n_1$ . Άρα για δεδομένες συνθήκες λειτουργίας A είναι το σημείο της *σταθερής κατάστασης*.

Στην γενική περίπτωση, σταθερή λειτουργία της ηλεκτρικής μονάδας εξασφαλίζεται όταν :

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_r}{dn}$$

Ας υποθέσουμε ότι η σχέση  $M_r = f(n)$  έχει την μορφή της καμπύλης 3 στο παραπάνω σχήμα .Σε αυτή την περίπτωση μια μείωση της ταχύτητας θα προκαλέσει την εμφάνιση στον άξονα μιας αρνητικής δυναμικής ροπής  $M_j = df$ . Υπό την δράση αυτής, η ταχύτητα του κινητήρα θα μειωθεί ακόμα πιο πολύ προκαλώντας μια επιπλέον αύξηση στην αρνητική ροπή  $M_j$  και ούτω καθεξής. Άρα σε αυτές τις συνθήκες , η λειτουργία του κινητήρα είναι ασταθής. Στην γενική περίπτωση η ασταθής λειτουργία της μηχανής θα υπάρξει όταν:

$$\frac{dM}{dn} > \frac{dM_r}{dn}$$

Μηχανικά χαρακτηριστικά του κινητήρα σειράς:

Η χαρακτηριστική  $\eta = f(M)$  είναι χαραγμένη για  $U = U_{r=σταθ}$  και  $R_{reg} = σταθ$ . Αφού με μεταβολή του φορτίου ο κορεσμός του χάλυβα σε κινητήρα σειράς ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, η μηχανική χαρακτηριστική μπορεί να εκφραστεί αναλυτικά με απλή μορφή μόνο στην συγκεκριμένη περίπτωση που η μηχανή δεν είναι κορεσμένη και όταν το πεδίο  $\Phi$  είναι ακόρεστος και το  $\Phi$  όμοιο με το  $I_a$  ( $\Phi = I_a$ )

Σε αυτή την περίπτωση:

$$M = C'_t I_a^2 \Rightarrow I_a = C''_t \sqrt{M} \quad \text{και αφού}$$

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_{reg})}{C_e \Phi} \quad \text{τότε}$$

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_{reg})}{C'_e \Phi} = C''_e \frac{U}{\sqrt{M}} - C$$

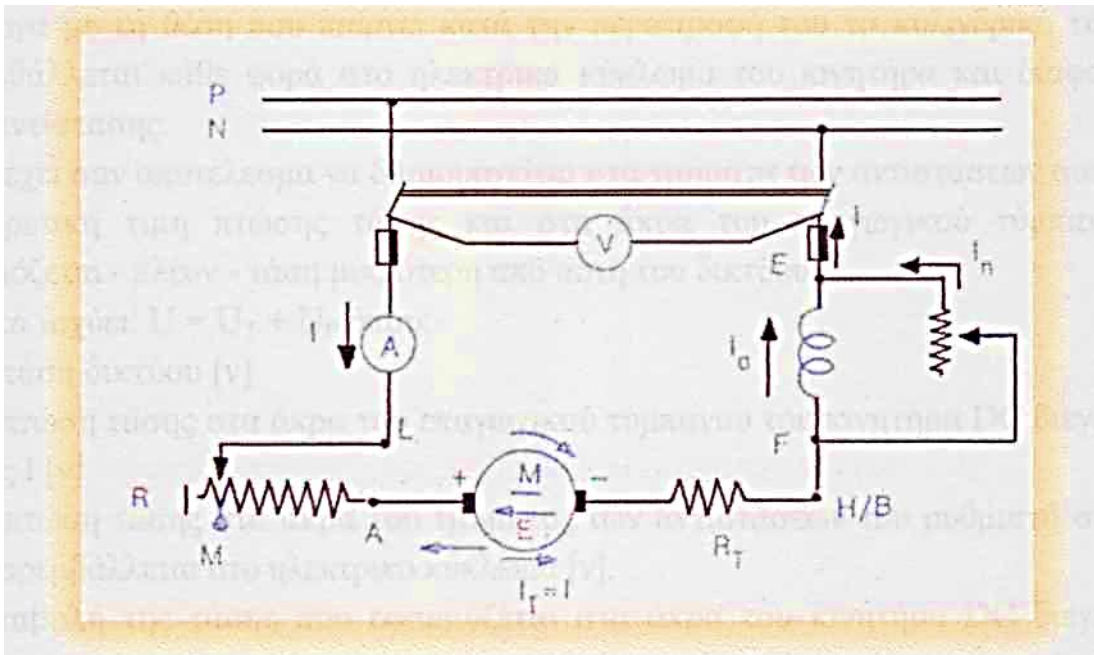
30

Από την παραπάνω σχέση βλέπουμε ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός μη κορεσμένου κινητήρα σειράς είναι υπερβολικής φύσης.

## 4.Κινητήρας DC διεγέρσεως σειράς

### 4.1 Γενικά

Κινητήρας *DC* διεγέρσεως σειράς ονομάζεται εκείνος που το τύλιγμα διέγερσης του *AC* είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού του τύμπανου. Ανήκει –δε-στην κατηγορία των αυτοδιεγειρόμενων κινητήρων *DC*. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το τύλιγμα της διέγερσης του κινητήρα αυτού, εξαρτάται άμεσα από το εσωτερικό ηλεκτρικό του κύκλωμα.



31

Συνήθως στο ηλεκτρικό κύκλωμα λειτουργίας των κινητήρων *DC* διεγέρσεως σειράς χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής στροφών αντί του εκκινητή, Ο ρυθμιστής στροφών είναι μια ειδική κατασκευής μεταβλητή αντίστασης που:

- παρεμβάλλεται σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου
- περιορίζει την ένταση του ρέματος που απορροφά ο κινητήρας, κατά το στάδιο της εκκίνησης του
- ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα.

Ο ρυθμιστής στροφών αποτελείται από δύο μέρη

- το κινητό και
- το ακίνητο

Πιο συγκεκριμένα:

- Το κινητό μέρος περιλαμβάνει ένα κυλινδρικό τύμπανο που έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται με μία χειρολαβή και στην επιφάνεια του έχει στερεωμένους μεταλλικούς τομείς.

- Το ακίνητο μέρος περιλαμβάνει τις σταθερές επαφές που εφάπτονται και βραχυκυκλώνουν τους μεταλλικούς τομείς του κινητού μέρους.

Στις σταθερές επαφές συνδέονται:

- τα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τύμπανου
- οι αγωγοί σύνδεσης του κινητήρα με το δίκτυο

#### **4.2 Τρόπος λειτουργίας**

Ανάλογα με τη θέση που παίρνει κατά την περιστροφή του το κυλινδρικό τύμπανο, παρεμβάλλεται κάθε φορά στο ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα και διαφορετική τιμή αντίστασης.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται στα τμήματα των αντιστάσεων αυτών και διαφορετική τιμή πτώσης τάσης και στα άκρα του επαγωγικού τύμπανου να εφαρμόζεται - πλέον - τάση μικρότερη από αυτή του δικτύου.

Βασικά ισχύει:  $U = U_T + U_P$  όπου:  $U$  = τάση δικτύου [V]

$U_T$  = πτώση τάσης στα άκρα του επαγωγικού τύμπανου του κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς 1 [V]

$U_P$  = πτώση τάσης στα άκρα του τμήματος των αντιστάσεων του ρυθμιστή στροφών που παρεμβάλλεται στο ηλεκτρικό κύκλωμα [V],

Η μεταβολή της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς αποτελεί έναν από τους τρόπους ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής του. Στις περιπτώσεις εφαρμογών που απαιτείται:

- \* συνεχής ρύθμιση στροφών του κινητήρα αλλά και
  - συχνή αλλαγή φοράς περιστροφής του,
- χρησιμοποιείται ειδικός ρυθμιστής στροφών αναστροφέας.



### **4.3 Παρατηρήσεις**

1. Όταν το κυλινδρικό τύμπανο Βρίσκεται στη:

**Θέση α.** τότε βραχυκυκλώνονται οι επαφές 6,7,8,10 και στο κύκλωμα παρεμβάλλονται όλα τα τμήματα των αντιστάσεων του ρυθμιστή στροφών στο ηλεκτρικό κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα.

**Θέση ζ.** τότε βραχυκυκλώνονται οι επαφές 1 μέχρι 10 και στο κύκλωμα δεν παρεμβάλλονται τα τμήματα των αντιστάσεων του ρυθμιστή στροφών στο ηλεκτρικό κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα.

2. Η διάταξη του ρυθμιστή στροφών περιλαμβάνει το πηνίο Π/Σ (στραγγαλιστικό) και έχει σκοπό την εξαφάνιση των σπινθηρισμών που δημιουργούνται μεταξύ των σταθερών κινητών *επαφών του*, κάθε φορά που υπάρχει *διακοπή* επαφής, τους.

### **4.4 Προετοιμασία εκκίνησης**

Κατά το στάδιο της προετοιμασίας για την εκκίνηση ενός κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς πρέπει:

- ρυθμιστής στροφών να παρεμβάλλεται με όλη την τιμή της αντίστασης του στο ηλεκτρικό κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα (θέση α). Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα της μείωσης της έντασης του ρεύματος που θα διαρρέει το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου του κινητήρα κατά τη στιγμή της εκκίνησης του.

- ο διακόπτης "Δ" να είναι στη θέση "εκτός"

### **4.5 Λειτουργία**

Κατά τη λειτουργία ενός κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς πρέπει:

- ο διακόπτης "Δ" να είναι στη θέση "εντός" για να διαρρέει από ρεύμα το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου

- ο ρυθμιστής στροφών να αφαιρείται σταδιακά από το ηλεκτρικό κύκλωμα τροφοδοσίας του κινητήρα με την αύξηση των στροφών αυτού. Κατά

τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα σειράς, ο ρυθμιστής στροφών συμμετέχει στο ηλεκτρικό του κύκλωμα.

- το βολτόμετρο (v) δείχνει την τάση τροφοδοσίας U που είναι μεγαλύτερη από την αναπτυσσόμενη ΑΗΕΔ  $E_a$ , κατά την πτώση τάσης:

- \*στο εσωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα της γεννήτριας  $I_T H_T$  και

- \*στο τύλιγμα διέγερσης σειράς  $I_T K_T$

Δηλαδή:

$$U = E_a + I_T R_T + I_T R_\sigma$$

όπου:  $R_\sigma$  = η ωμική αντίσταση του τυλίγματος σειράς DC

### Σημείωση:

1. Στην περίπτωση που η ρυθμιστική αντίσταση  $R_T$  έχει κάποια τιμή - και επειδή είναι παράλληλα συνδεδεμένη με το τύλιγμα διέγερσης  $R_\sigma$  - ο κλάδος τους θα παρουσιάζει ολική αντίσταση:

$$R_\sigma = \frac{R_T R_\pi}{R_T + R_\pi}$$

34

Έτσι η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του κινητήρα δίνεται από την σχέση:

$$U = E_a + I_T \left( R_T + \frac{R_T R_\pi}{R_T + R_\pi} \right)$$

2. Στην περίπτωση που κατά τη λειτουργία του κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς παρεμβάλλεται στο ηλεκτρικό κύκλωμα τμήμα μέρος της αντίστασης του ρυθμιστή στροφών, τότε η τάση στα άκρα του δίνεται από τη σχέση:

$$U = E_a + I_T R_T + I_T R_\sigma + I_T R_{pi}$$

όπου  $R_{pi}$  = το τμήμα αντίστασης του ρυθμιστή στροφών.

- \* Το αμπερόμετρο ( $A_\phi$ ) δείχνει την ένταση του ρεύματος I που δέχεται ο κινητήρας από το δίκτυο.

Επειδή δεν υπάρχει κόμβος στο ηλεκτρικό κύκλωμα για την τροφοδοσία του κινητήρα η ένταση του ρεύματος I που δείχνει το αμπερόμετρο είναι ίση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα:

- \*του επαγωγικού τύμπανου του κινητήρα  $I_T$

- \*της διέγερσης σειράς  $I_\delta$ , δηλαδή:  $I = I_T = I_\delta$

### Σημείωση:

Στην περίπτωση που η ρυθμιστική αντίσταση  $R_{\pi}$  έχει κάποια τιμή - και επειδή είναι παράλληλα συνδεδεμένη με το τύλιγμα διέγερσης σειράς  $R_{\sigma}$  - ο κλάδος της διαρρέεται από την ένταση ρεύματος μικρής τιμής  $I_{\pi}$

Έτσι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα διέγερσης σειράς είναι, διαφορετική από την ένταση του ρεύματος  $I$ , που δείχνει το αμπερόμετρο.

$$\text{Δηλαδή: } I = I_T = I_{\delta} (=I - I_{\pi})$$

### 4.6 Μεταβολή της ροπής στρέψης

Η ροπή στρέψης που αναπτύσσεται σε ένα κινητήρα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M = K_1 \Phi I_T \quad (1)$$

Η μαγνητική ροή  $\Phi$  στον κινητήρα UNIVERSAL εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα της διέγερσης σειράς και για την οποία ισχύει:

$$I_T = I_{\delta} \quad (2)$$

Έτσι είναι δυνατόν να γραφεί:

$$\Phi = \lambda I_T$$

όπου:  $\lambda$  = συντελεστής που αναφέρεται στο χαρακτηριστικό κατασκευαστής της περιέλιξης διέγερσης και έχει μονάδα [m/A],

Από τις παραπάνω σχέσεις (1) και (2) η ροπή στρέψης του κινητήρα αυτού είναι φανερό πως εξαρτάται από τη μεταβολή της έντασης του ρεύματος  $I_T$  που διαρρέει το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου και είναι δυνατόν να γραφεί:

$$M = K_1 \lambda I_T I_T \Leftrightarrow M = \lambda^1 I_T^2$$

όπου  $\lambda^1 = K_1 \lambda = \text{σταθερά}$

Η εξάρτηση αυτή δίνεται από τη συναρτησιακή σχέση:

$$M = f(I_T)$$

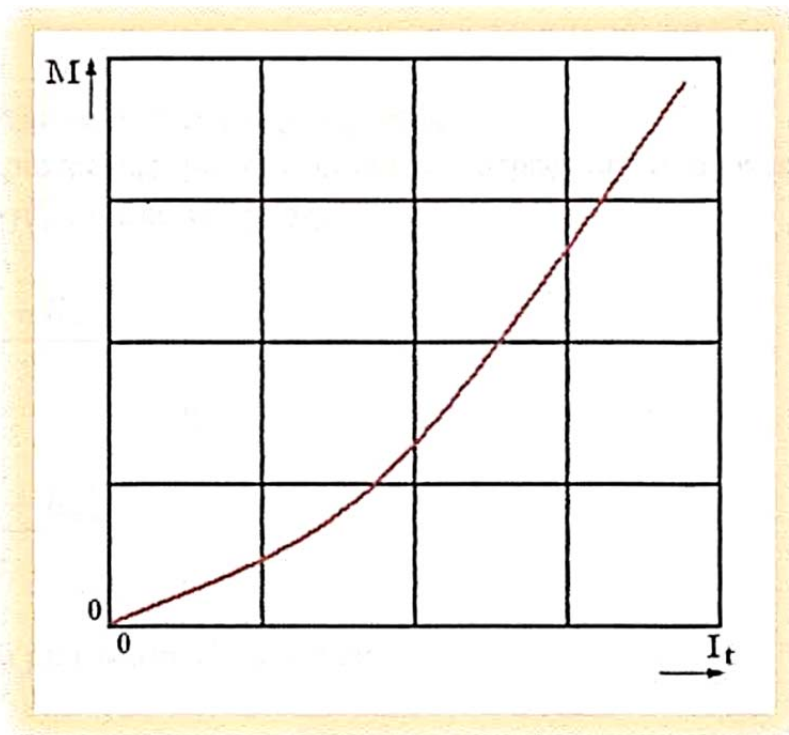
που:

\*σημαίνει μεταβολή της ροπής στρέψης  $M$ , αν μεταβάλλεται η τιμή της

έντασης του ρεύματος του επαγωγικού τύμπανου  $I_t$ .

\*ονομάζεται χαρακτηριστική ροπής και

\*έχει τη μορφή του παρακάτω σχήματος:



36

Στον κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς η ένταση  $I_T$  του τυλίγματος του είναι ίση με την ένταση  $I_\sigma$  της διεγέρσεως του εάν δεν υπάρχει η εν παραλλήλω προς την διέγερση ρυθμιστική αντίσταση  $R_{\pi}$ . Η ροή όμως  $\Phi$  είναι ανάλογη προς την ένταση του τυλίγματος των μαγνητικών πόλων, άρα η σχέση της ροπής μπορεί να γραφτεί ως εξής

$$T = K I^2$$

Από αυτή τη σχέση βλέπουμε ότι αφού οι πυρήνες των μαγνητικών πόλων δεν βρίσκονται στην περιοχή κορεσμού η ροπή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της εντάσεως τροφοδοτήσεως του κινητήρα.

Στην πράξη λόγω του κορεσμού των μαγνητικών πόλων η ροπή δεν είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της εντάσεως αλλά είναι μικρότερη του τετραγώνου όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Δηλαδή για να μας δώσει ο κινητήρας διπλάσια ροπή από τη ροπή του πλήρους φορτίου πρέπει να απορροφήσει μεγαλύτερη ένταση. Παρόλα αυτά

παρατηρούμε πως αν ο κινητήρας ήταν παράλληλης διέγερσης θα χρειαζόταν διπλάσια ένταση για διπλάσια ροπή.

Επομένως για εκκίνηση με μεγάλο φορτίο ο κινητήρας *DC* διεγέρσεως σειράς 1 είναι καλύτερος από τον κινητήρα παραλλήλου διεγέρσεως γιατί απορροφά λιγότερο ρεύμα από αυτόν. Στα μεγάλα φορτία, όπως είναι το φορτίο κατά την εκκίνηση, ο κινητήρας απορροφά ένταση μεγαλύτερη της ονομαστικής με συνέπεια να αναπτύσσει μεγαλύτερη ροπή στρέψης από τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης και στρέφεται με λιγότερες στροφές

#### 4.7 Μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής

Η ταχύτητα περιστροφής με την οποία περιστρέφεται ο άξονας ενός κινητήρα UNIVERSAL υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{U - I_T(R_T + R_\sigma)}{K\Phi}$$

$$\eta = \frac{U - I_T(R_T + R_\sigma)}{K\lambda I_T}$$

και γράφεται και με τον πιο κάτω τρόπο:

$$\eta = \frac{U}{K\lambda I_T} - \frac{I_T(R_T + R_\sigma)}{K\lambda I_T} \Leftrightarrow$$

$$\eta = \frac{U}{K\lambda I_T} - \frac{R_T + R_\sigma}{K\lambda}$$

Από την παραπάνω σχέση είναι φανερό πως η ταχύτητα περιστροφής ( $\eta$ ) του κινητήρα διεγέρσεως σειράς εξαρτάται (αντιστρόφως ανάλογα) από τη μεταβολή της έντασης του ρεύματος  $I$  που διαρρέει το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

Αυτό συμβαίνει γιατί είναι σταθερές οι ποσότητες:

$$\frac{U}{K\lambda}$$

και

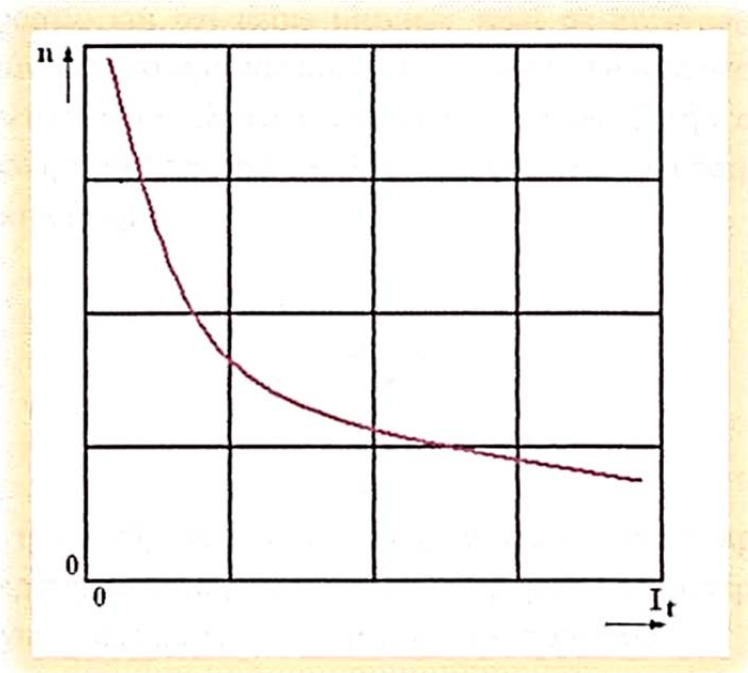
$$\frac{R_T + R_\sigma}{K\lambda}$$

Η εξάρτηση αυτή δίνεται από τη συναρτησιακή σχέση:

$$\eta = f(I_T)$$

\*που σημαίνει μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής ( $n$ ) αν μεταβάλλεται η τιμή της έντασης του ρεύματος του επαγωγικού τύμπανου  $I_t$ .

\*ονομάζεται χαρακτηριστική στροφών και έχει την παρακάτω μορφή σχήματος:



38

Οι στροφές του κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς δίνονται από τη σχέση:

$$n = \frac{U - I(R_t + R_\sigma)}{K\Phi}$$

Δεδομένου ότι στους κινητήρες η ροή  $\Phi$  είναι ανάλογη της εντάσεως του κινητήρα η σχέση των στροφών μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$n = \frac{U - I(R_t + R_\sigma)}{K\Phi}$$

Η τάση τροφοδοτήσεως θεωρείται σταθερή η δε πτώση τάσης στα τυλίγματα του τυμπάνου και διεγέρσεως δεν υπερβαίνει συνήθως το 5% της  $U$ .

Αρα αν εξετάσουμε τη σχέση αυτή μαθηματικά μπορούμε να συμπεράνουμε εύκολα ότι οι στροφές μειώνονται όταν αυξάνεται το φορτίο και αυξάνονται όταν το φορτίο ελαττώνεται.

Όταν υπάρχει φορτίο συνδεδεμένο στον κινητήρα η ένταση  $I$  γίνεται πολύ μικρή. Τότε επειδή ο αριθμητής είναι μεγάλος και ο παρανομαστής γίνεται πολύ μικρός οι στροφές αυξάνονται πολύ και μάλιστα τόσο ώστε μπορεί να προκληθεί καταστροφή του κινητήρα λόγω των μεγάλων φυγόκεντρων δυνάμεων οι οποίες αναπτύσσονται. Για τον λόγο αυτό οι κινητήρες DC διεγέρσεως σειράς πρέπει να συνδέονται απευθείας στο φορτίο και όχι μέσω ιμάντων γιατί σε περίπτωση καταστροφής ή ολίσθησης των ιμάντων ο κινητήρας αυτομάτως αποκτά πολλές στροφές.

Όταν το φορτίο ελαττώνεται ελαττώνεται η ένταση τροφοδοτήσεως και επομένως η ροή  $\Phi$ . Τότε ο κινητήρας αποκτά πολλές στροφές για να δώσει την απαιτούμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη

$$E = K\Phi_n$$

Όπως βλέπουμε η διακύμανση των στροφών σε αντίθεση προς τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης είναι μεγαλύτερη. Οι κινητήρες DC διεγέρσεως σειράς είναι κατάλληλοι για ανυψώσεις βαρών και για την ηλεκτρική έλξη.

### **Προσοχή!**

Οι κινητήρες DC διεγέρσεως σειράς πρέπει και κατά την εκκίνηση τους να έχουν συνδεδεμένο φορτίο στον άξονα τους.

Αυτό συμβαίνει γιατί αν δεν υπάρχει φορτίο η ένταση που απορροφά από το δίκτυο έχει μικρή τιμή με αποτέλεσμα (χαρακτηριστική  $\eta = f(I_T)$ ) να αναπτύσσει υπερβολικά μεγάλη ταχύτητα περιστροφής και να κινδυνεύει να βρεθεί εκτός ορίου αντοχής του δρομέα, όσον αφορά τις φυγόκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται.

Έτσι, απαγορεύεται να "τεθεί" σε τάση κινητήρας σειράς χωρίς φορτίο στον

άξονα του.

Τέλος, - σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς - η σύνδεση του φορτίου στον άξονα του κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς γίνεται με οδοντωτούς τροχούς και όχι με ιμάντες.

#### **4.8 Διακύμανση στροφών**

Η διακύμανση στροφών, δηλαδή το σχετικό σφάλμα, μεταξύ των στροφών στον άξονα ενός κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς, στη λειτουργία του:

- με ελάχιστο φορτίο - που φυσικά ανήκει στο όριο αντοχής του δρομέα -  $\eta$ ,

και

- με κανονικό φορτίο  $\eta$  δίνεται από τη σχέση:

$$V\% = \frac{\eta_{o1} - \eta}{\eta} 100$$

Είναι τέλος προφανές πως το όριο τιμών της διακύμανσης τάσης ενός κινητήρα DC διεγέρσεως σειράς είναι πολύ μεγάλο.

#### **4.9 Ρύθμιση ταχύτητας περιστροφής**

Οι κινητήρες DC διεγέρσεως σειράς - όπως είδαμε παραπάνω - κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στροφών.

Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα UNIVERSAL που δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{U - I_T R}{K \Phi}$$

ρυθμίζεται με τη μεταβολή :

- \* της πτώσης τάσης που έχει στα άκρα του το επαγωγικό του τύμπανο που πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση του ρυθμιστή στροφών και

- \* της μαγνητικής ροής  $\Phi$  των πόλων.

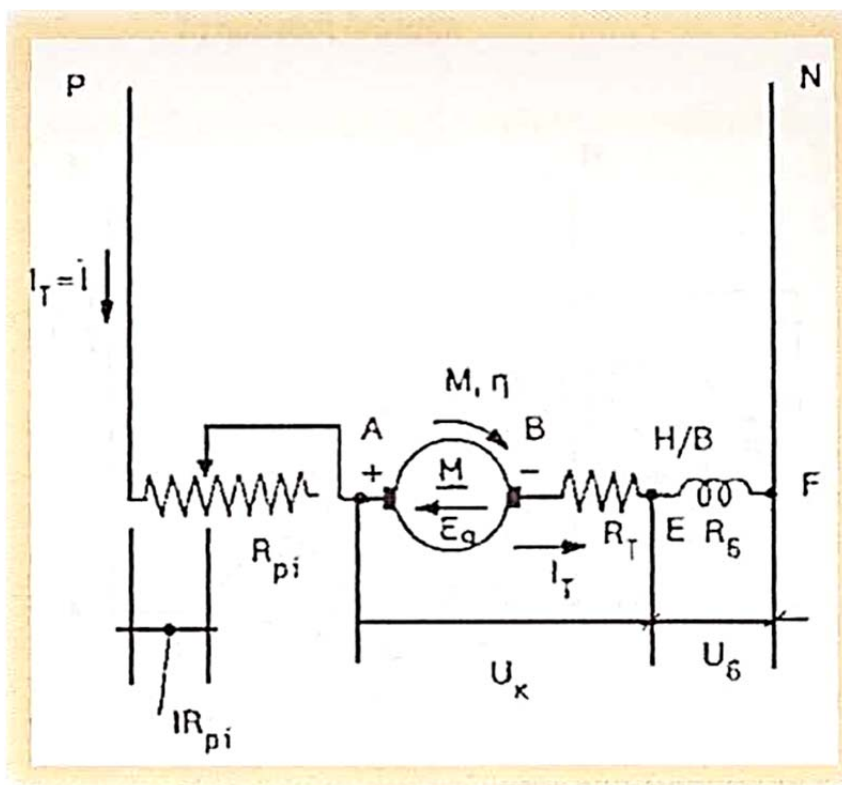
Πιο συγκεκριμένα έχουμε:



**α. Ρύθμιση στροφών με τη μεταβολή της πτώσης τάσης στα άκρα του επαγωγικού τύμπανου του κινητήρα ΣΡ σειράς.**

Η μεταβολή του αριθμού στροφών ενός κινητήρα ΣΡ με διέγερση σειράς πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση του ρυθμιστή στροφών, που αναλύσαμε παραπάνω.

Σχηματική διάταξη



41

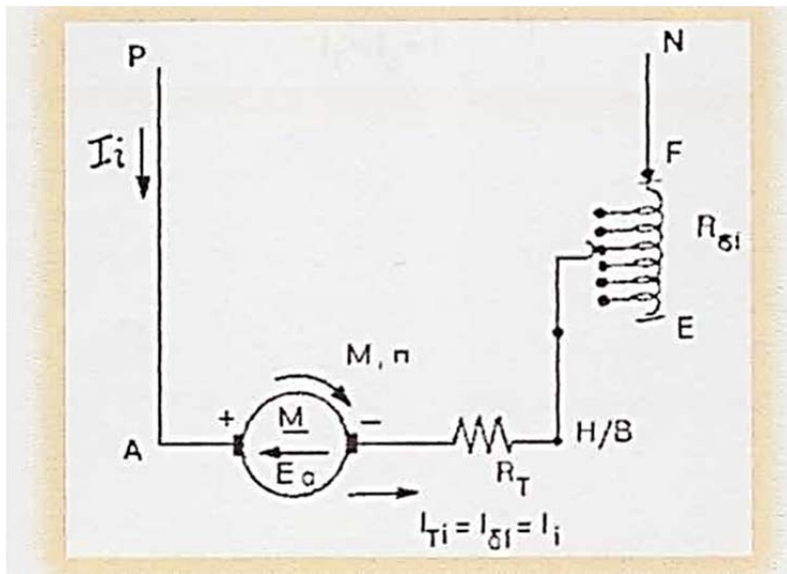
Στην περίπτωση - λοιπόν - αυτή η γνωστή σχέση της ταχύτητας περιστροφής γίνεται:

$$\eta = \frac{U - I_T (R_T + R_\sigma + R_{pi})}{K\Phi}$$

Όπου  $R_{pi}$  = η αντίσταση του ρυθμιστή στροφών που συμμετέχει στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Είναι λοιπόν φανερό πως όταν αυξάνεται η τιμή της αντίστασης του ρυθμιστή στροφών  $R_{pi}$ , ο αριθμός των στροφών του κινητήρα ελαττώνεται.





### Σημείωση:

Υπάρχει περίπτωση ένας κινητήρας διεγέρσεως σειράς να έχει δύο ταχύτητες περιστροφής:

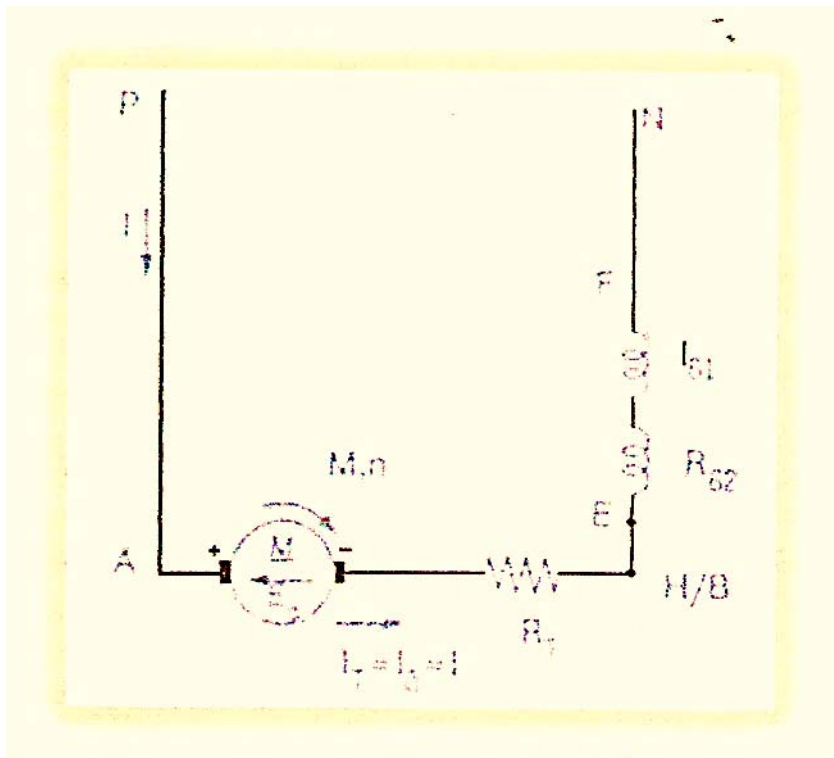
- μία υψηλή και
- μία χαμηλή

Αυτό πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση διαιρούμενου τυλίγματος διέγερσης σειράς, που ανάλογα με τη σύνδεση:

- σε σειρά ή
- παράλληλα

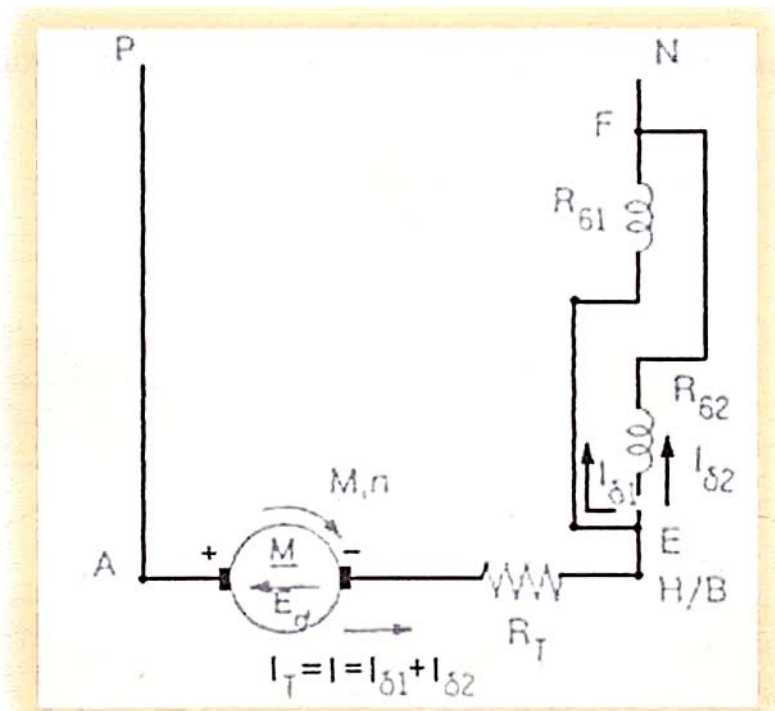
δίνει και διαφορετική ταχύτητα περιστροφής.

α. σε σειρά.



44

β. παράλληλα



Στην περίπτωση αυτή η ολική αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης σειράς είναι:

$$R_{\sigma\sigma} = R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}$$

$$R_{\sigma\pi} = \frac{R_{\sigma 1} \cdot R_{\sigma 2}}{R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}}$$

$$R_{\sigma\sigma} > R_{\sigma 1} \text{ ή } R_{\sigma 2}$$

$$R_{\sigma\pi} < R_{\sigma 1} \text{ ή } R_{\sigma 2}$$

Στην περίπτωση αυτή η γνωστή σχέση της ταχύτητας περιστροφής γίνεται:

$$\eta = \frac{U - I_T (R_t + R_{\sigma\sigma})}{K\Phi}$$

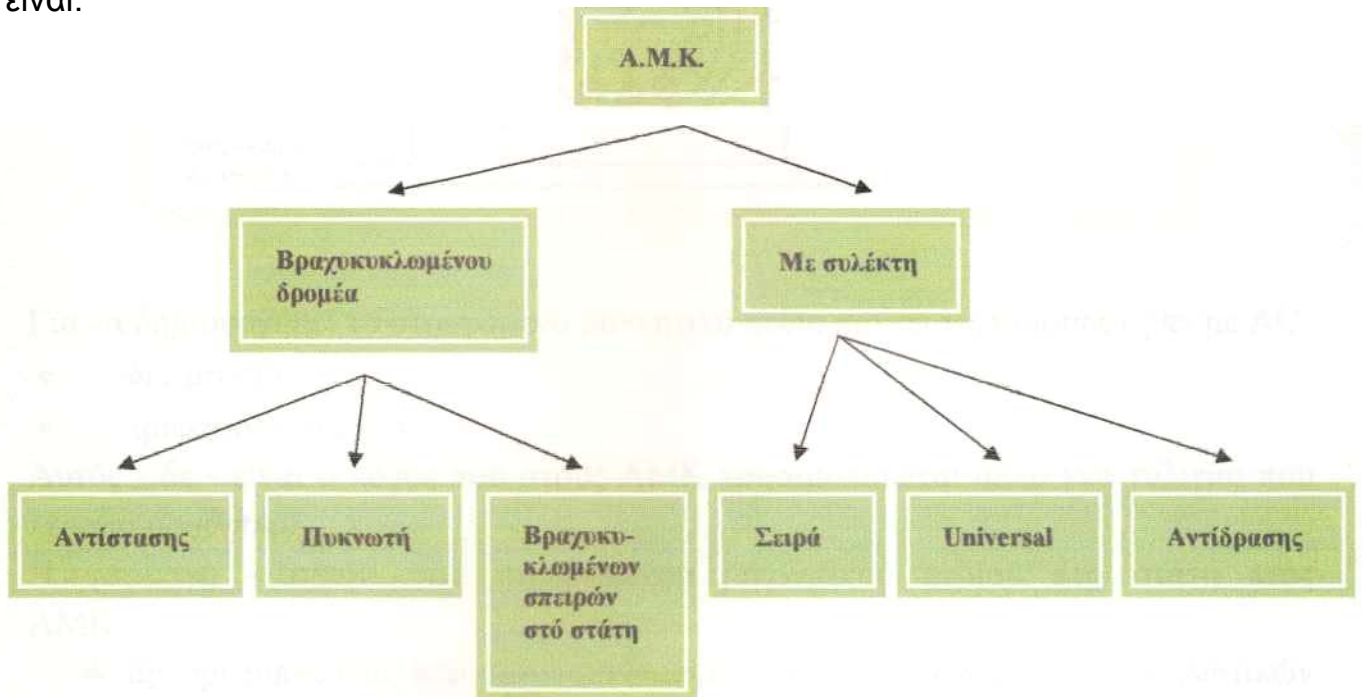
$$\eta_{\pi} = \frac{U - I_T (R_t + R_{\sigma\pi})}{K\Phi}$$

Από τα παραπάνω είναι φανερό πώς όταν τα δύο τμήματα του διαιρούμενου τυλίγματος σειράς συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα στον κινητήρα DC διέγερσης σειράς αναπτύσσεται η μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής ( $\eta_{\pi}$ ) από εκείνη που αναπτύσσεται σ' αυτόν όταν τα δύο αυτά τμήματα του συνδεθούν σε σειρά.

## 5, ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΑΜΚ)

### 5.1 Γενικά

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες χωρίζονται σε δύο είδη για τα οποία είναι:



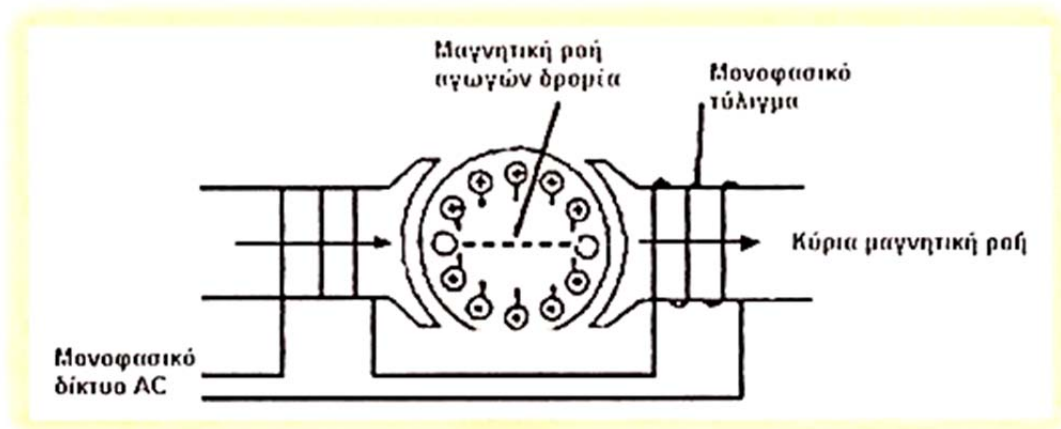
### 5.2 Κατασκευαστικό μέρος ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων

Οι ασύγχρονοι μονοφασικοί κινητήρες αποτελούνται - και αυτοί - από τα δύο βασικά τμήματα της κάθε ηλεκτρικής μηχανής που είναι:

- \* ο στάτης και
- \* ο δρομέας

### 5.3 Λειτουργία ΑΜΚ

Η λειτουργία των ΑΜΚ βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής κατά το οποίο αναπτύσσεται ΗΕΔ στους αγωγούς του τυλίγματος του δρομέα - που είναι ακίνητοι αρχικά - όταν στρέφεται το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Όταν όμως το μονοφασικό τυλίγμα του στάτη τροφοδοτηθεί με AC από το δίκτυο τότε δημιουργείται σ' αυτό εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, που όμως, δεν δημιουργεί ροπή στρέψης στους αγωγούς του τυλίγματος του κλωβού για να αρχίσει να περιστρέφεται ο δρομέας του.



Για να δημιουργηθεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο πρέπει να τροφοδοτηθεί με AC:

- \* διφασικό ή
- τριφασικό τύλιγμα

Αυτός - δε - είναι ο λόγος που στους AMK χρησιμοποιείται άλλο ένα τύλιγμα που λέγεται βοηθητικό.

Η εφαρμογή - λοιπόν - του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στο στάτη ενός AMK:

\*πραγματοποιείται από τον συνδυασμό των εναλλασσόμενων μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται:

- στο κύριο τύλιγμα και
- βοηθητικό τύλιγμα του

\*διαμορφώνεται σε ελλειπτικό.

Από τα παραπάνω είναι προφανές πως για να δημιουργηθεί το στρεφόμενο ελλειπτικό μαγνητικό πεδίο σε ένα AMK, πρέπει να σχηματίζεται φασική απόκλιση μεταξύ των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τα δύο τυλίγματα. Η εκκίνηση λοιπόν του AMK εξαρτάται άμεσα από τη τιμή της γωνίας της φασικής απόκλισης μεταξύ των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους δύο παράλληλα τοποθετημένους κλάδους τυλιγμάτων.

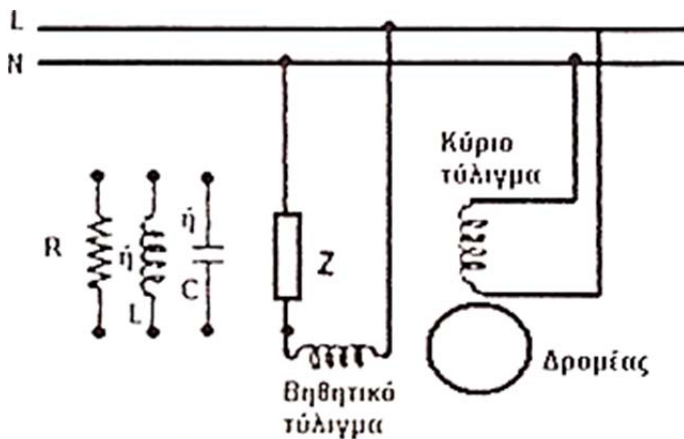
Ανάλογα με την ηλεκτρική συμπεριφορά τους οι κλάδοι αυτοί είναι:

- και οι δύο επαγωγικοί, αλλά οι τιμές αντιστάσεων πολύ διαφορετικών μεταξύ τους, ή
- ο ένας επαγωγικός (κύριος) και ο άλλος χωρητικός (βοηθητικός) με

προσθήκη πυκνωτή.

Το βοηθητικό τύλιγμα των AMK :

- έχει παράλληλη τοποθέτηση ως προς το κύριο και
- απέχει απόσταση από αυτό  $90^\circ$  ηλεκτρικών



Η τοποθέτηση του βοηθητικού τυλιγματος στο επαγωγικό τύμπανο του AMK γίνεται:

- ♦ σε ξεχωριστά αυλάκια από το κύριο τύλιγμα (συνήθως) οπότε στα  $2/3$  των αυλακιών υπάρχει το κύριο τύλιγμα και στο  $1/3$  το βοηθητικό τύλιγμα
- ♦ στα ίδια αυλάκια με το κύριο τύλιγμα

#### 5.4 Στάδια για τη λειτουργία ενός AMK

Τα στάδια είναι τα πιο κάτω:

- Ο κύριος και ο βοηθητικός κλάδος των τυλιγμάτων του στάτη του AMK τροφοδοτούνται με ρεύμα από το μονοφασικό δίκτυο, οπότε δημιουργείται σε αυτά στρεφόμενο ελλειπτικό πεδίο ταχύτητας:

$$n_s = \frac{60f}{P}$$



## Υπενθύμιση

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται επειδή υπάρχει τριφασική απόκλιση  $\theta$  μεταξύ των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τον κύριο και τον βοηθητικό κλάδο των τυλιγμάτων του στάτη του ΑΜΚ βδ,

- Οι αγωγοί του τυλίγματος κλωβού του δρομέα - που αρχικά είναι ακίνητος - τέμνονται από τις μαγνητικές γραμμές του στρεφόμενου ελλειπτικού πεδίου, οπότε σε αυτούς αναπτύσσεται ΗΕΔ που η φορά προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Οι αγωγοί αυτοί - όμως - διαρρέονται και από το επαγωγικό ρεύμα, γιατί το ηλεκτρικό κύκλωμα του δρομέα κλείνει μέσα από τα στεφάνια βραχυκύκλωσης.

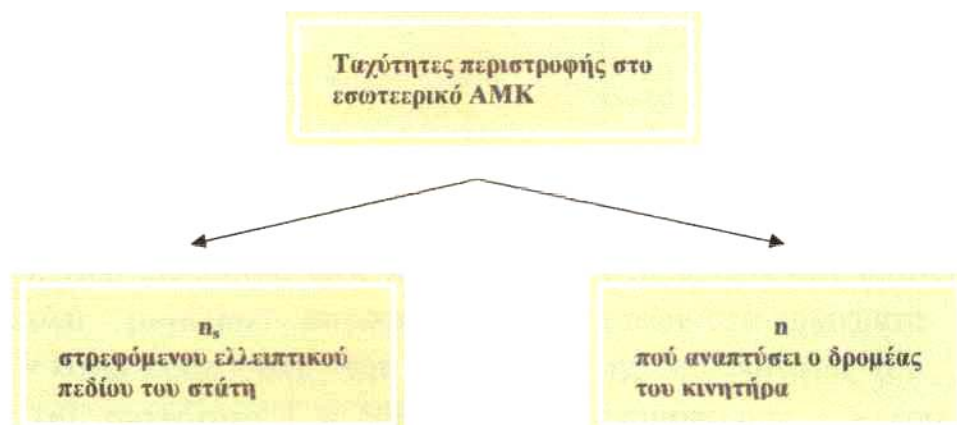
Στους ρευματοφόρους αγωγούς του δρομέα που βρίσκονται μέσα στο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη αναπτύσσονται δυνάμεις ΗΕΔ . Οι αντιδιαμετρικές από τις δυνάμεις αυτές αποτελούν μεταξύ τους ζεύγη που δημιουργούν ροπή στρέψης και περιστρέφουν το δρομέα του κινητήρα.

Η ταχύτητα περιστροφής που αναπτύσσει ο δρομέας του ΑΜΚ είναι η **ασύγχρονη** και είναι μικρότερη από την ταχύτητα περιστροφής η του στρεφόμενου ελλειπτικού μαγνητικού πεδίου.

49

## 5.5 Διολίσθηση ΑΜΚ

Στους ΑΜΚ βδ - όπως και στους ΑΤΚ - υπάρχουν δύο ταχύτητες περιστροφής για τις οποίες έχουμε:



Ισχύει πώς :  $n_s > n$

Η **διολίσθηση**:

- Είναι η απόκλιση μεταξύ των δύο παραπάνω ταχυτήτων  $n_s$  και  $n$   
Συμβολίζεται από την σχέση :

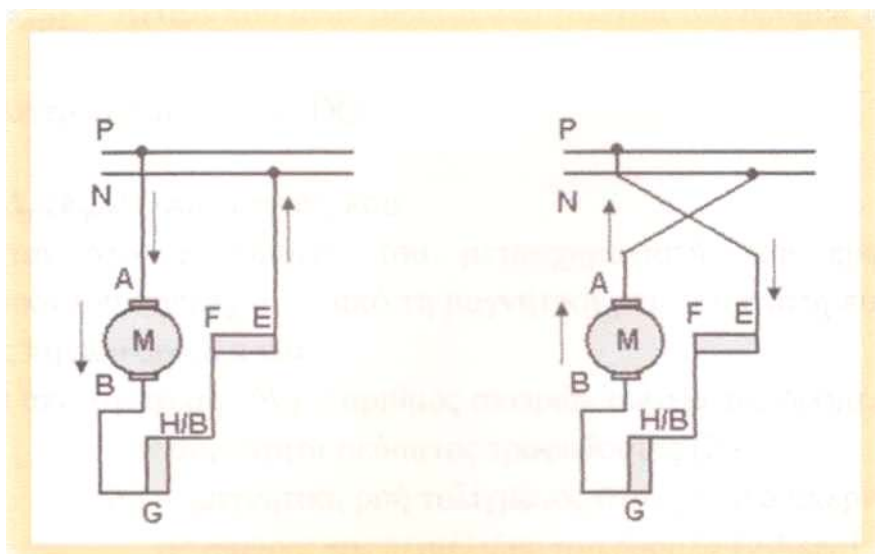
$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

- Είναι *καθαρός αριθμός* μικρότερος από την μονάδα και χαρακτηρίζει την ποιότητα του ΑΜΚ.

## 5.6 Α.Μ.Κ με συλλέκτη

### 5.6.1. Γενικά

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) σειράς είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και σε δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος (AC) Αυτό συμβαίνει επειδή με την αλλαγή της πολικότητας του ρεύματος τροφοδοσίας αλλάζει ταυτόχρονα και η φορά του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα διέγερσης και διατηρείται η αρχική φορά περιστροφής.



Στην πράξη, η χρησιμοποίηση ενός κινητήρα DC σειράς έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση πολύ μεγάλων αυτεπαγωγικών τάσεων στα τυλίγματα του που προέρχονται - λόγω Lenz από την εναλλαγή της πολικότητας του ρεύματος τροφοδοσίας (με συχνότητα  $f = 50\text{Hz}$ ). Η χρησιμοποίηση - λοιπόν - ενός κινητήρα DC σειράς σε δίκτυο AC προϋποθέτει και ορισμένες μετατροπές που πρέπει να γίνουν σε αυτόν. Αυτές αφορούν το σχηματισμό του μαγνητικού πεδίου που προέρχονται από την τροφοδοσία των τυλιγμάτων του στάτη με AC. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα DC σειράς στο AC, δημιουργούνται ΗΕΔ στο τύλιγμα του δρομέα του, αποτέλεσμα ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων.

Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

1.) την Η,Ε,Α.  $E_{περ}$  (επαγωγή):

- οφείλεται στην περιστροφή του δρομέα μέσα στο εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη και δίνεται από τη σχέση :

$$E_{περ} = K * \Phi_{\delta} * \eta \quad [V]$$

όπου :  $K$  = κατασκευαστική σταθερά των μηχανών DC

$\eta$  = ταχύτητα περιστροφής του δρομέα [στρ/min]

$\Phi_{\delta}$  = ροή του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη [ $V *$

sec]

- η ενεργή τιμή της είναι:

$$E_{περ} = \frac{E_{αDC}}{\sqrt{2}} \quad \text{ή} \quad E_{περ} = 0,707 E_{αDC}$$

όπου:  $E_{αDC} = AHE\Delta$  πού αναπτύσσεται στο τύλιγμα του δρομέα του κινητήρα σειράς κατά τη λειτουργία του στο DC.

2. ) την Η.Ε.Α. ( $E_{μετ}$ ) (επαγωγική), πού :

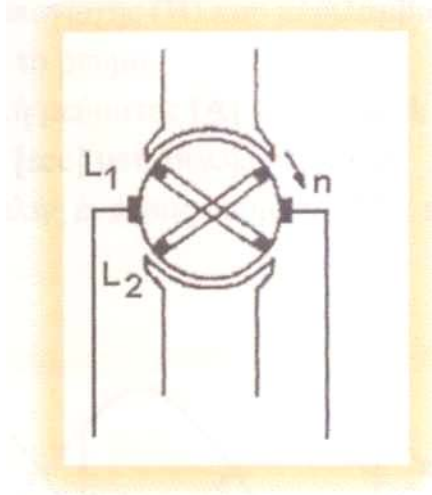
- οφείλεται στο φαινόμενο του μετασχηματιστή πού εμφανίζεται στο εσωτερικό του κινητήρα από τη μαγνητική ροή του στάτη που διαπερνά τις σπείρες πηνίου δρομέα και

- δίνεται από τη σχέση :  $W_2 =$  αριθμός σπειρών τυλίγματος δρομέα,  
 $f =$  συχνότητα ρεύματος τροφοδοσίας (Hz),  $\Phi_{12} =$  μαγνητική ροή τυλίγματος  
στάτη που διαπερνά τις σπείρες της περιέλιξης του δρομέα [ $v \cdot \text{sec}$ ]

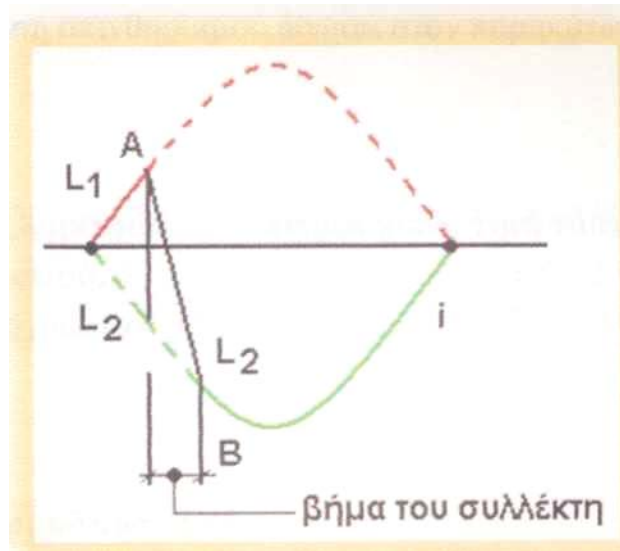
3) την Η.Ε.Λ. ( $E_{\text{αυτ}}$ ) (αυεπαγωγική), που :

- οφείλεται στις εναλλαγές της φοράς τού ρεύματος που διέρχεται από τους τομείς του συλλέκτη

### **Σχηματική παράσταση χρονικής στιγμής**



α. Αλλαγή θέσης πλευράς πηνίου ως προς την ψήκτρα που εφάπτεται στον τομέα του συλλέκτη.



β. Μεταβολή έντασης ρεύματος κατά τη στιγμή της εναλλαγής τομέα του συλλέκτη.

-δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\text{αυτ}} = -L_6 \frac{d_i}{d_t}$$

53

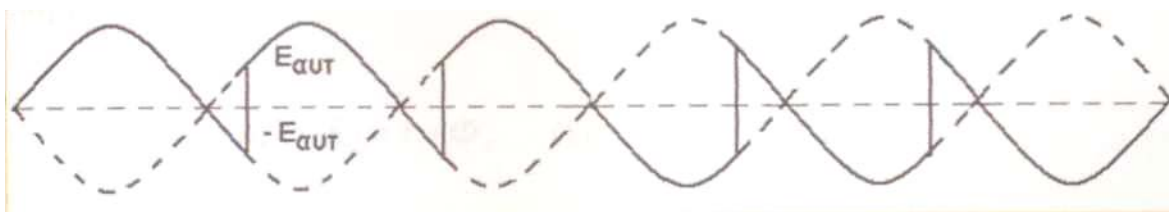
όπου:

$L_6$  = συντελεστής αυτεπαγωγής (H) που περιλαμβάνει όλες τις μαγνητικές ροές που μεταβάλλονται με το ρεύμα.

$d_i$  = στιγμιαία μεταβολή ρεύματος [A] και είναι:  $d_i = i_2 - i_1$

$d_t$  = χρονικό διάστημα [sec] μεταβολής ρεύματος

$d_i/d_t$  = ρυθμός μεταβολής έντασης ρεύματος [A/sec]



Το παραπάνω αλγεβρικό άθροισμα των ΗΕΔ πρέπει να είναι μικρότερο της ιτρεπόμενης τιμής της τάσης σπινθηρισμού

Δηλαδή:  $E_{\text{περ}} + E_{\text{μετ}} + E_{\text{αυτ}} < U_{\text{σπινθ}}$

Για την επιτρεπτή τάση σπινθηρισμού δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος ψηκτρών	Επιτρεπόμενη τιμή τάσης σπινθηρισμού
Γραφιτούχες	1,5 - 2
Μεταλλογραφιτούχες	2 - 2,5

### 5.7 Τρόποι περιορισμού των ΗΕΔ

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός κινητήρα DC σειράς στο AC οι τρεις ΗΕΔ - που αναλύσαμε παραπάνω - πρέπει να έχουν την επιτρεπόμενη από τους κανονισμούς τιμή . Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχουν προβλήματα λειτουργίας του κινητήρα σειράς στο AC, οπότε γίνεται επιτακτική η ανάγκη του περιορισμού των τριών ΗΕΔ. Η αντιμετώπιση των τριών ΗΕΔ γίνεται με:

i) **Το τύλιγμα αντιστάθμισης** που:

- εξουδετερώνει τις ΗΕΔ  $E_{περ}$  και  $E_{αυτ}$
- τοποθετείται σε ειδικές θέσεις στο κάτω μέρος (προς το πέλμα του κάθε πόλου)
- συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τύμπανου και της διέγερσης σειράς.

ii) **Την ελάττωση της συχνότητας** του ρεύματος τροφοδοσίας.

Αυτός - δε - είναι ο λόγος που οι κινητήρες του είδους αυτού λειτουργούν σε μικρές συχνότητες που οι πιο συνηθισμένες από αυτές είναι των  $16 \frac{2}{3}$  Hz και 25 Hz.

### 5.8 Ροπή ασύγχρονου κινητήρα με συλλέκτη

Η στιγμιαία τιμή της ροπής που αναπτύσσει ένας AMK **με** συλλέκτη δίνεται από τη σχέση :

$$m = K_1 * i * \Phi_s \quad (1)$$

όπου :  $K_1$  = κατασκευαστική σταθερά [ $K_1 = p_{sw} / 2\pi a$ ]

$i$  = η στιγμιαία τιμή της έντασης ρεύματος τροφοδοσίας που δίνεται από τη σχέση :

$$i = I_{max} * \eta \mu \omega t \quad \text{ή} \quad i = \sqrt{2} * I * \eta \mu \omega t$$

$\Phi_{\delta}$  = στιγμιαία τιμή μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του κινητήρα, που δίνεται από τη σχέση:  $\Phi_{\delta} = \Phi_{max} * \eta\mu(\omega t - \psi)$

με  $\psi$  = η διαφορά φάσης - πολύ μικρής τιμής - μεταξύ έντασης ρεύματος  $I$  και μαγνητικής ροής

Η σχέση (1) με αντικατάσταση γίνεται:

$$m = K_1 * I_{max} * \eta\mu\omega t * \Phi_{max} * \eta\mu(\omega t - \psi) \Leftrightarrow$$

$$m = K_1 * I_{max} * \Phi_{max} [\eta\mu\omega t * \eta\mu(\omega t - \psi)] \Leftrightarrow$$

$$m = K_1 * I_{max} * \Phi_{max} \left( \frac{1}{2} * [\sigma\upsilon\nu(\omega t - (\omega t - \psi))] \right) - [\sigma\upsilon\nu(\omega t + (\omega t - \psi))] \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{1}{2} K_1 * I_{max} * \Phi_{max} [\sigma\upsilon\nu\psi - \sigma\upsilon\nu(2\omega t - \psi)] \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{1}{2} K_1 * I_{max} * \Phi_{max} * \sigma\upsilon\nu\psi - \frac{1}{2} K_1 * I_{max} * \Phi_{max} * \sigma\upsilon\nu(2\omega t - \psi)$$

Από την τελευταία αυτή σχέση συμπεραίνουμε πως η στιγμιαία τιμή της ροπής στρέψης του

❖ μεταβάλλεται περιοδικά και μάλιστα με συχνότητα διπλάσια από αυτή των αρχικών μεγεθών ,έντασης ρεύματος και μαγνητικής ροής.

❖ Είναι άθροισμα δύο όρων :

- Ενός σταθμού, πάντα θετικού, που μεταβάλλεται από μηδέν μέχρι τη μέγιστη τιμή  $I_{MAX} \Phi_{MAX}$  Η μέση τιμή της είναι:

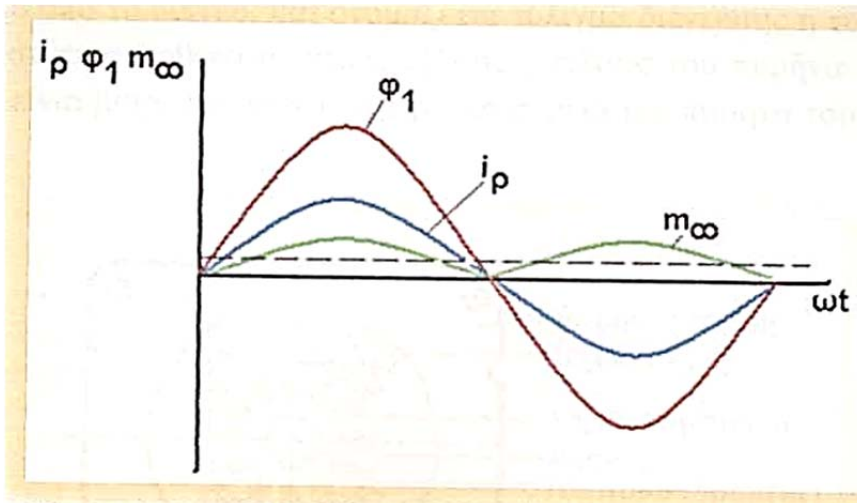
$$M = \frac{1}{2} K_1 * I_{max} * \Phi_{max} * \sigma\upsilon\nu\psi$$

Ενός ημιτονοειδούς:

$$-\frac{1}{2} K_1 * I_{max} * \Phi_{max} * \sigma\upsilon\nu(2\omega t - \varphi)$$

με μέση τιμή μηδέν.

Οι καμπύλες μεταβολής των παραπάνω μεγεθών δίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:

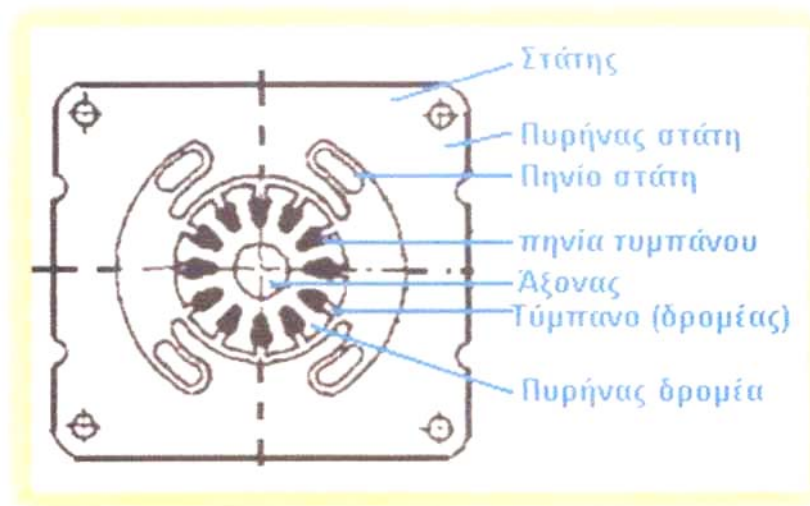




## 6. Κινητήρες με συλλέκτη για το μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα

### 6.1 Δομή

Ο στάτης των κινητήρων αυτών περιλαμβάνει τον πυρήνα και το τύλιγμα το οποίο τροφοδοτείται από το δίκτυο, και ονομάζεται τύλιγμα διέγερσης ή τύλιγμα πεδίου. Το τύλιγμα του στάτη τοποθετείται στους **εξέχοντες πόλους** του πυρήνα (σχήμα 1) ή σε αυλάκια που είναι μοιρασμένα σ' όλη την περιφέρεια του πυρήνα του στάτη.

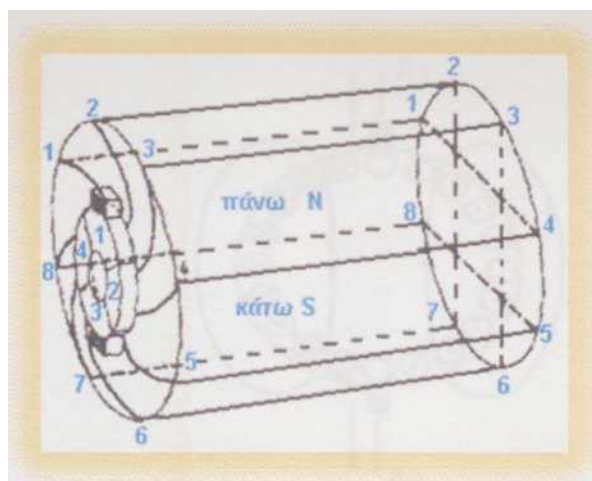


Σχήμα 1. Δομή κινητήρα, Universal

Το εναλλασσόμενο ρεύμα στο τύλιγμα διέγερσης δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο.

Ο δρομέας αποτελείται από τον άξονα, τον πυρήνα, το τύλιγμα του δρομέα και το συλλέκτη.

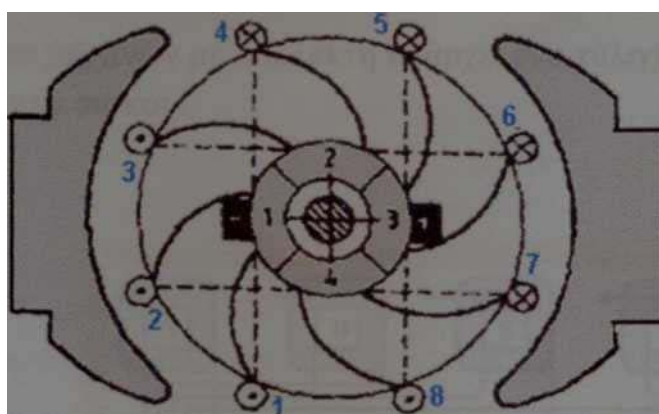
Το τύλιγμα του δρομέα έχει κατασκευή όπως το τύλιγμα συνεχούς ρεύματος. Ένας πυρήνας με συμμετρικά μοιρασμένα αυλάκια φέρει το τύλιγμα, που η αρχή ενός πηνίου και το τέλος ενός άλλου συνδέονται με τον ίδιο τομέα συλλέκτη. Έτσι το ρεύμα του δρομέα που διέρχεται διαμέσου των δύο ψηκτρών χωρίζεται σε δύο παράλληλους κλάδους. Το τύλιγμα του δρομέα είναι ένα τύλιγμα τύμπανου.



Σχήμα. 2. Αρχή του τυλίγματος τυμπάνου

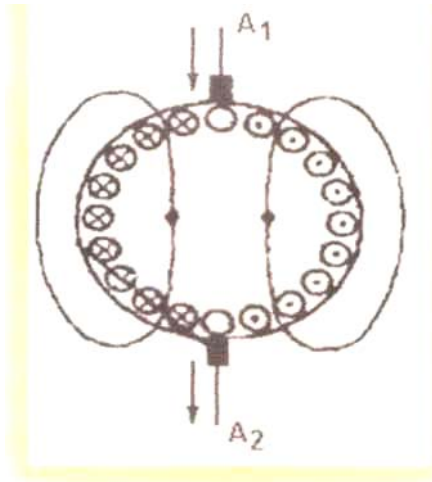
Το εναλλασσόμενο ρεύμα στο τύλιγμα του δρομέα παράγει ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο δύο εναλλασσόμενα πεδία του στάτη και του δρομέα πραγματοποιούν τη περιστροφή του δρομέα ,Κατά την περιστροφή του δρομέα η κατεύθυνση του πεδίου του δρομέα παραμένει ίδια επειδή οι ψήκτρες παραμένουν σταθερά στη θέση τους. Το τύλιγμα του τύμπανου σχεδιάζεται απλά όπως είναι εμφανές από την πλευρά του συλλέκτη στο παρακάτω σχήμα:

58



Σχήμα 3. Τύλιγμα τυμπάνου, απλοποιημένη παράσταση

Τα τυλίγματα τυμπάνου σχεδιάζονται πιο απλά, στην περίπτωση που θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει ο συλλέκτης και οι συνδέσεις αυτού, (σχήμα 4)



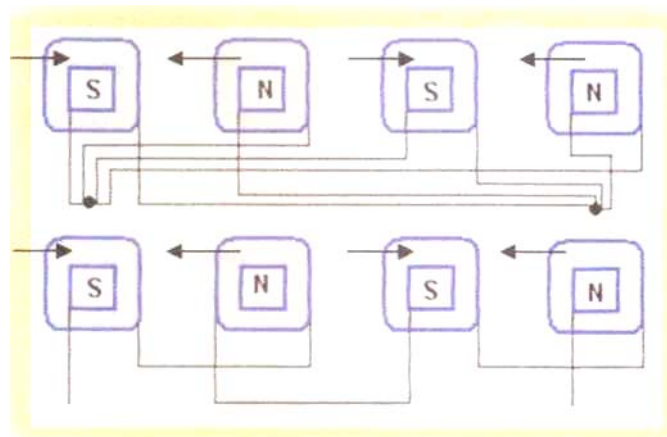
Σχήμα 4. Ακόμα πιο απλοποιημένη μορφή

Οι ψήκτρες θεωρούνται ότι εφάπτονται στην περίμετρο του δρομέα σε πλευρές του πηνίου που έχουν ρεύμα, Η πραγματική θέση των ψηκτρών μπορεί να είναι άλλη ανάλογα με την απλότητα των αγωγών σύνδεσης στον συλλέκτη.

## 6.2 Τύλιγμα τυμπάνου μηχανών με συλλέκτη

### Γενικά

Στο τύμπανο των μηχανών με συλλέκτη υπάρχει ένα τύλιγμα τύμπανου εκτός από τις μηχανές με δρομέα δίσκου.



Σχήμα 5. Συνδεσμολογία του τυλίγματος διέγερσης.

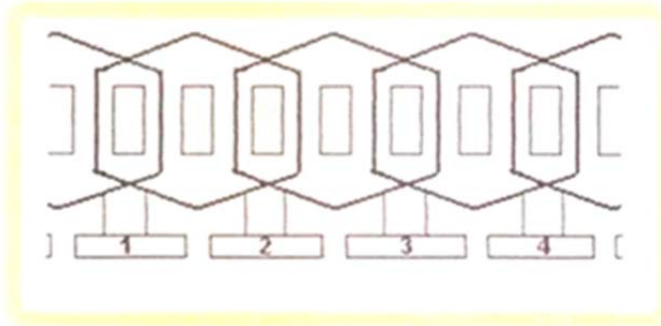
Πάνω παράλληλη σύνδεση Κάτω εν σειρά σύνδεση

Το όνομα τους προέρχεται από τη μορφή του τυλίγματος που μοιάζει με ένα τύμπανο. Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από πηνία, που το καθένα έχει δύο πλευρές πηνίου. Κάθε πλευρά πηνίου βρίσκεται σε ένα αυλάκι του δρομέα, επομένως το κάθε πηνίο τοποθετείται σε δύο αυλάκια. Τα πηνία συνδέονται μεταξύ τους για να εμφανίζει τη δυνατότητα η γεννήτρια να προσλαμβάνει την τάση που παράγεται στο κάθε πηνίο. Στον κινητήρα αντίστοιχα για να υπάρχει η δυνατότητα να διαρρέονται με ρεύμα όλα τα πηνία. Τα τυλίγματα του τύμπανου των μηχανών με συλλέκτη είναι κλειστά. Η σύνδεση των πηνίων πραγματοποιείται στους τομείς του συλλέκτη. Σε κάθε τομέα του συλλέκτη συνδέεται η αρχή ενός πηνίου και το τέλος ενός άλλου. Στις δύο πλευρές ενός πηνίου ρέει το ρεύμα σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Γι' αυτό πρέπει και οι πλευρές κάθε πηνίου να βρίσκονται κάτω από διαφορετικούς πόλους.

Συνήθως σε κάθε αυλάκι του δρομέα βρίσκονται δύο πλευρές πηνίων. Σε αυτό το τύλιγμα των δύο στρώσεων η μία πλευρά πηνίου βρίσκεται στην κάτω στρώση, και η άλλη πλευρά στην πάνω στρώση. Η παρατήρηση κατά την περιγραφή του τυλίγματος γίνεται από την πλευρά του συλλέκτη, επειδή από την πλευρά αυτή πραγματοποιείται η σύνδεση των πηνίων τον τύμπανου με το δίκτυο. Ανάλογα με την τεχνική τοποθέτηση του τυλίγματος είναι δυνατόν στη κάτω στρώση να βρίσκεται ή η δεξιά πλευρά του πηνίου ή η αριστερή πλευρά.

### **6.3 Βροχοειδές τύλιγμα (βροχοτύλιγμα) ως τύλιγμα μίας στρώσης**

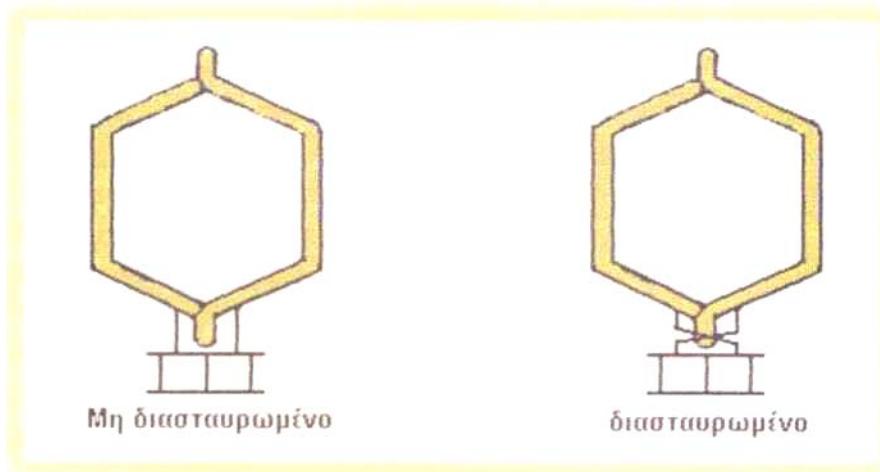
Στο βροχοειδές τύλιγμα (βροχοτύλιγμα) σε κάθε αυλάκι βρίσκεται μια πλευρά πηνίου έτσι ώστε η αρχή του πρώτου πηνίου να συνδέεται με ένα τομέα του συλλέκτη και το τέλος του πηνίου με τον επόμενο τομέα του συλλέκτη. Στον τομέα αυτό συνδέεται και η αρχή του δεύτερου πηνίου ενώ το τέλος του στο τρίτο τομέα του συλλέκτη. Έτσι συνεχίζουμε μέχρις ότου το τέλος του τελευταίου πηνίου συνδεθεί με τον τομέα του συλλέκτη με την οποία συνδέεται η αρχή του πρώτου πηνίου όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα:



Τα πηνία με τον τρόπο αυτό σχηματίζουν βρόχους. Τα τυλίγματα του είδους αυτού χαρακτηρίζονται βροχοειδή.

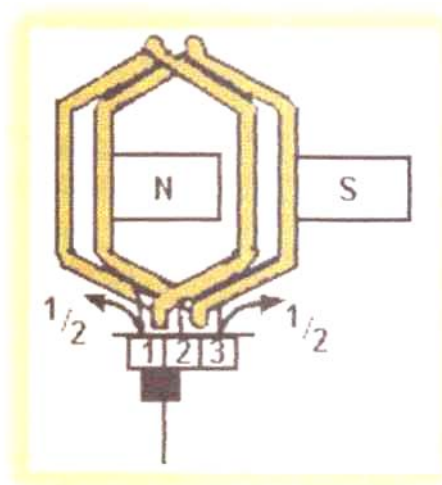
Στο βροχοειδές τύλιγμα το βήμα του συλλέκτη είναι  $yk = 1$

Η σύνδεση των άκρων των πηνίων με τους τομείς του συλλέκτη γίνεται με δύο τρόπους, του διασταυρωμένου και του μη διασταυρωμένου βρόχου.



61

Σε όλα τα τυλίγματα τύμπανου κάτω από τις ψήκτρες εμφανίζεται μία διακλάδωση ρεύματος, επειδή σε κάθε τομέα συνδέονται δύο πηνία.



Διακλάδωση ρεύματος σε βροχοειδές τύλιγμα

Το ρεύμα του τύμπανου διακλαδίζεται σε δύο κλάδους ρευμάτων. Ένα διπολικό τύμπανο έχει δύο κλάδους ρευμάτων τύμπανου. Οι αρχές και τα τέρματα των πηνίων βροχοτυλίγματος τοποθετούνται σε δύο τομείς συλλέκτη που βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την βραχυκύκλωση όλων των πηνίων κατά την περιστροφή του τύμπανου από τις ψήκτρες. Επομένως οι ψήκτρες πρέπει να εφάπτονται στο συλλέκτη έτσι ώστε οι πλευρές των πηνίων που βραχυκυκλώνονται κάθε φορά να μη βρίσκονται κάτω από τους πόλους, αλλά στην ουδέτερη ζώνη. Στο βροχοτύλιγμα μιας στρώσης ο αριθμός αυλακιών είναι άρτιος και ο συλλέκτης έχει αριθμό τομέων ίσο με τα πηνία του τυλίγματος, δηλαδή ο αριθμός των τομέων είναι το μισό των αυλακιών. Ο συλλέκτης στα τυλίγματα μιας στρώσης έχει λιγότερους τομείς. Η τάση μεταξύ των τομέων του συλλέκτη δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 V γιατί σε διαφορετική περίπτωση εμφανίζεται σπινθήρας στις ψήκτρες. Γι' αυτό και τα βροχοτυλίγματα χρησιμοποιούνται για μικρές τάσεις. Το βροχοειδές τύλιγμα ως τύλιγμα μιας στρώσης χρησιμοποιείται σε μικρά τύμπανα, π.χ. στους κινητήρες παιχνιδιών. Τα πηνία περιτυλίσσονται στα αυλάκια με το χέρι ή με αυτόματο μηχάνημα.

#### **6.4 Βροχοειδές τύλιγμα ως τύλιγμα δύο στρώσεων**

Στο βροχοειδές τύλιγμα δύο στρώσεων οι πλευρές των πηνίων, το λιγότερο δύο διαφορετικών πηνίων, βρίσκονται η μία πάνω στην άλλη σ' ένα αυλάκι.

Έτσι στον ίδιο αριθμό αυλακιών εισέρχονται περισσότερα πηνία από το τύλιγμα μιας στρώσης και παρέχεται η δυνατότητα χρησιμοποίησης συλλέκτη με μεγάλο αριθμό τομέων έτσι, ώστε το τύλιγμα να καθίσταται κατάλληλο για μια μεγαλύτερη τάση. Εκτός αυτού δεν είναι απαραίτητο ο αριθμός των αυλακών, να είναι άρτιος αριθμός.

*Το βροχοτύλιγμα δύο στρώσεων κατασκευάζεται ανεξάρτητα από τον αριθμό αυλακιών.*

Στις μικρές διπολικές μηχανές τα πηνία του τύμπανου τυλίγονται κατευθείαν στα αυλάκια οπότε αναφερόμαστε σε *τύλιγμα χεριού*.



Τύλιγμα με το χέρι για  $N = 9$ ,  $2\rho = 2$

Βέβαια το πρώτο πηνίο τοποθετείται με τις δύο πλευρές του στην κάτω στρώση, έπειτα τοποθετούνται μερικά πηνία με την μια πλευρά κάτω από την άλλη επάνω. Τα τελευταία πηνία τοποθετούνται και με τις δύο πλευρές πηνίου στην κάτω στρώση.

Τυλίγματα του είδους αυτού χρησιμοποιούνται σε μικρούς κινητήρες με συλλέκτη π.χ. σε κινητήρες Universal. Στις μεγαλύτερες μηχανές το τύλιγμα δύο στρώσεων περιελίσσεται χωρίς διακοπή, επειδή υπάρχουν διαφορετικές τάσεις στις πλευρές των πηνίων εξαιτίας της διαφορετικής τους θέσης στο αυλάκι.

Το έμμεσο αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης κατανομής του τυλίγματος είναι η εμφάνιση των προβλημάτων ζυγοστάθμισης.

Ευνοϊκά βρίσκονται οι σχέσεις αν στο κάθε πηνίο η μια πλευρά βρίσκεται στην επάνω στρώση και η άλλη στην κάτω. Συνήθως σε κάθε αυλάκι βρίσκονται δύο πλευρές πηνίων. Τέλος σε κάθε στρώση αυλακιού είναι δυνατόν να τοποθετηθούν τέσσερις και περισσότερες πλευρές πηνίων.



### *Διάταξη περισσότερων από μία πλευρών πηνίου σε κάθε στρώση*

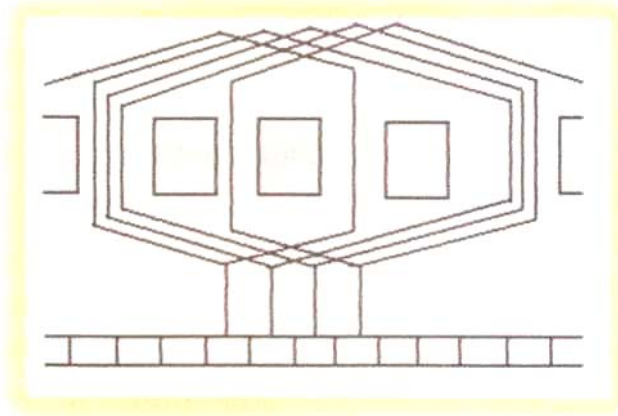
Στο τύλιγμα δύο στρώσεων πρέπει για το κάθε πηνίο η μία πλευρά να τοποθετείται στην πάνω και η άλλη στην κάτω στρώση.

Το τύλιγμα δύο στρώσεων κατασκευάζεται ως τύλιγμα τοπικού πηνίου στο οποίο οι αγωγοί ενός πηνίου μορφοποιούνται στα αυλάκια. Η φόρμα (μορφή) των κεφαλών των τυλιγμάτων φτιάχνεται με το χέρι. Η τεχνική του τυλίγματος αυτού χρησιμοποιείται στις μικρές μηχανές και στην περίπτωση που η ένταση του ρεύματος επιτρέπει μικρή διατομή αγωγού. Στο τύλιγμα τυπικού πηνίου τα πηνία του τύμπανου μορφοποιούνται πριν την τοποθέτηση. Κατά την εφαρμογή των πηνίων στα αυλάκια πρώτα τοποθετείται η κάτω πλευρά των πηνίων ενώ η πάνω πλευρά τους τοποθετείται σε τέτοια αυλάκια στα οποία η κάτω στρώση έχει ήδη τοποθετηθεί. Κατά την σχεδίαση ενός βροχοειδούς τυλίγματος ως τύλιγμα δύο στρώσεων πρώτα σχεδιάζεται στο σχέδιο αυλακών οι πάνω και οι κάτω πλευρές πηνίων τι μία δίπλα στην άλλη και μάλιστα οι πάνω πλευρές πηνίων αριστερά και οι κάτω δεξιά.

Κατόπιν υπολογίζεται το πρώτο μερικό βήμα  $y_1$ . Με αυτό ως βοήθεια είναι δυνατή η σύνδεση των πλευρών των πηνίων στο συλλέκτη. Το βήμα του συλλέκτη στο βροχοειδές τύλιγμα είναι ίσο με  $l$  οπότε η συνδεσμολογία γίνεται από την πλευρά του συλλέκτη. Στις σύνηθες παραστάσεις τυλιγμάτων για καλύτερη ευκρίνεια τα πηνία σχεδιάζονται με μια περιέλιξη. Κατά την παράσταση τυλιγμάτων τα πηνία συνήθως σχεδιάζονται έτσι, σαν να αποτελούν μια περιέλιξη. Στην περίπτωση που τοποθετηθούν περισσότερες



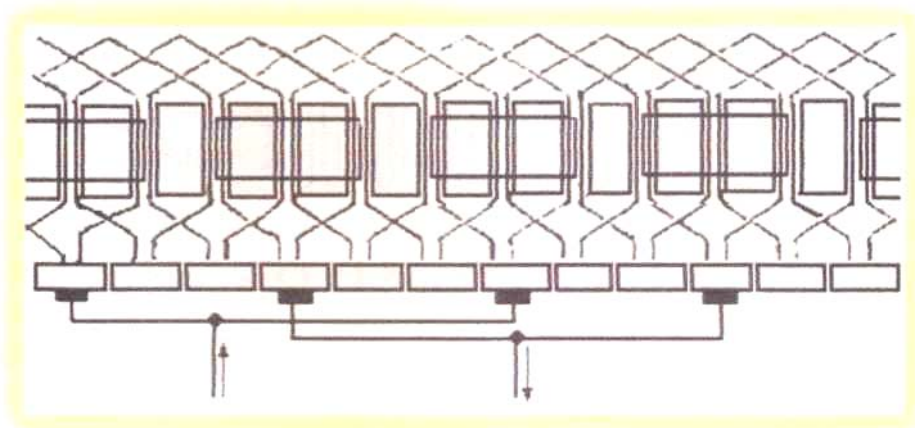
από δύο πλευρές πηνίων σε ένα αυλάκι, τότε τα πηνία της ίδιας στρώσης συνδέονται σε σειρά, Αν ο συλλέκτης έχει αριθμό τομών ίσο με το συνολικό πλήθος των πηνίων, τότε τα σημεία των συνδέσεων σειράς ενώνονται με τους τομείς του συλλέκτη.



*Συνδέσεις συλλέκτη κατά τη σύνδεση πηνίων σειράς*

Η αρχή και το τέλος των συνδεδεμένων σε σειρά πηνίων απέχουν κατά πολλούς τομείς μεταξύ τους. Με την κατανομή αυτή μειώνεται η τάση μεταξύ των τομών του συλλέκτη. Το βροχοειδές τύλιγμα κατασκευάζεται για όλα τα ζεύγη πόλων. Οι ψήκτρες που βρίσκονται κάτω από όμοιους πόλους συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα;

65



*Βροχοειδές τύλιγμα για  $N = 12$ .  $2p = 2$ ,  $y_1 = 3$*

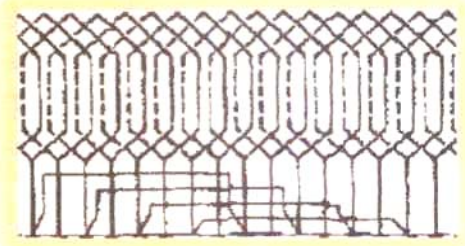
Αν τοποθετηθούν λιγότερες ψήκτρες τότε δεν ισχύει η φορά του ρεύματος και ο κινητήρας αναπτύσσει μικρή ροπή στρέψης ενώ η γεννήτρια παράγει μια μικρή τάση. Εξαιτίας της παράλληλης σύνδεσης των ψηκτρών εμφανίζεται διακλάδωση του ρεύματος στις ψήκτρες στον συλλέκτη. Αν π.χ. υπάρχουν 4 ψήκτρες, τότε διακλαδίζεται το ρεύμα του τύμπανου σε τέσσερις παράλληλους κλάδους.

*Στο βροχοειδές τύλιγμα, ο αριθμός των κλάδων τον ρεύματος του τύμπανου ισούται με τον αριθμό των πόλων.*

Το βροχοειδές τύλιγμα ονομάζεται *παράλληλο τύλιγμα* επειδή τα τμήματα του τυλίγματος του τύμπανου συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα μέσω των ψηκτρών. Σε διπολική μηχανή χρησιμοποιείται πάντα το παράλληλο τύλιγμα (βροχοτύλιγμα). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πόλων, τόσο μικρότερο είναι το ρεύμα τύμπανου στο παράλληλο τύλιγμα και τόσο μικρότερη είναι η τάση μεταξύ των συνδέσεων του τύμπανου στον ίδιο αριθμό σπειρών. Το πολύπλοκο βροχοειδές τύλιγμα (βροχοειδές τύλιγμα περισσοτέρων των δύο πόλων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μικρών τάσεων και μεγάλων εντάσεων ρεύματος.

Κατά τη λειτουργία το *πολύπλοκο βροχοειδές τύλιγμα* αποτελείται από μια παράλληλη συνδεσμολογία κλάδων ρεύματος του τύμπανου. Στους κλάδους των ρευμάτων αυτών η τάση που παράγεται δεν είναι ίση π.χ. με την μετατόπιση της μαγνητικής επαγωγής των πόλων, εξαιτίας των κατασκευαστικών αποκλίσεων, έτσι διαμέσου των ψηκτρών διέρχονται ρεύματα εξισορρόπησης. Τα ρεύματα αυτά καταπονούν τις ψήκτρες και οδηγούν στη δημιουργία σπινθήρων στις ψήκτρες. Η ροή ρευμάτων υποσκελισμού, διαμέσου των ψηκτρών εμποδίζεται με τις ισοδυναμικές συνδέσεις.

*Οι ισοδυναμικές συνδέσεις, συνδέουν μεταξύ τους πλευρές πηνίων που βρίσκονται κάτω από όμοιους πόλους. Έτσι το ρεύμα εξισορρόπησης δεν διέρχεται διαμέσου των ψηκτρών, αλλά διαμέσου των ισοδυναμικών συνδέσεων. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις συνήθως κατασκευάζονται στο συλλέκτη.*



*Βροχειδές τύλιγμα με συνδέσεις εξισορροπημένες  $N = 16$ ,  $2\rho = 4$ ,  $\gamma_1 = 4$*

Αρκεί να πραγματοποιηθούν τόσες ισοδυναμικές συνδέσεις, όσοι και οι υπάρχοντες πόλοι. Σε ένα πολύπλοκο βροχειδές τύλιγμα οι ισοδυναμικές συνδέσεις είναι σκόπιμες.

## **6.5 Κυματοειδές τύλιγμα (κυματοτύλιγμα)**

Στο κυματοειδές τύλιγμα (κυματοτύλιγμα) οι αγωγοί σύνδεσης των πηνίων οδεύουν στην περιφέρεια του τύμπανου με κυματοειδή μορφή.

Το πρώτο (1) μερικό βήμα (βήμα αυλακών) είναι το ίδιο με το βροχοειδές τύλιγμα. Οι αρχές και τα τέρματα των πηνίων συνδέονται με διαφορετικό τρόπο στο συλλέκτη. *Στο κυματοειδές τύλιγμα το βήμα συλλέκτη είναι διαφορετικό από το βήμα συλλέκτη του βροχοειδούς τυλίγματος.*

Η κατασκευή ενός μονοδρομικού κυματοειδούς τυλίγματος είναι δυνατή στην περίπτωση που ο συλλέκτης έχει περιττό αριθμό τομέων. Σε άρτιο αριθμό τομέων π.χ. 44, ξανασυναντιέται κανείς μετά από μια περιφορά με τη λάμα εξόδου.

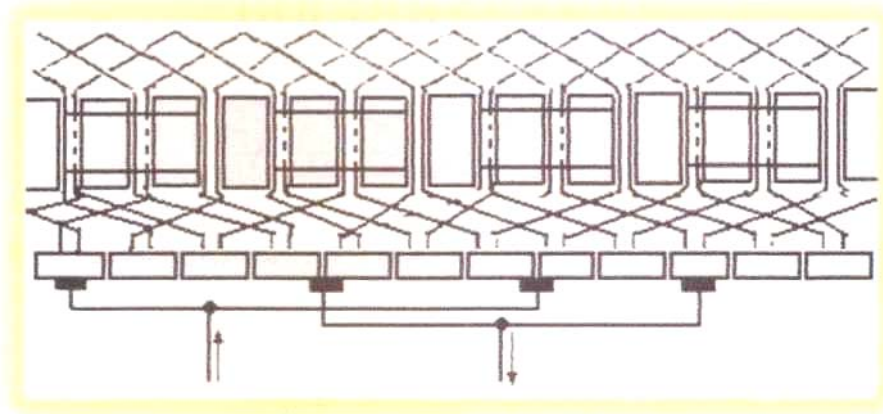
Στο μονοδρομικό κυματοειδές τύλιγμα πρέπει ο αριθμός των τομέων του συλλέκτη να είναι περιττός αριθμός.

Σε άρτιο αριθμό τομέων και με κατάλληλο αριθμό πόλων είναι δυνατή η κατασκευή κυματοειδούς τυλίγματος δύο δρόμων (διπλού δρόμου). Το βήμα συλλέκτη  $y_k$  υπολογίζεται αν διαιρεθεί ο αριθμός τομέων  $k$  με τον αριθμό πόλων  $p$ . Φυσικά δεν γίνεται η διαίρεση εξαιτίας των περιττών αριθμών λαμών. Πρέπει να γίνει στρογγυλοποίηση. Αν κανείς στρογγυλοποιήσει τον περιττό αριθμό των λαμών, έτσι παίρνει ένα ανοικτό (αδιασταύρωτο) τύλιγμα. Αν πάλι η στρογγυλοποίηση πραγματοποιηθεί σε άρτιο αριθμό λαμών τότε έχουμε ένα διασταυρωμένο κυματοειδές τύλιγμα.

$y_k$ : βήμα συλλέκτη

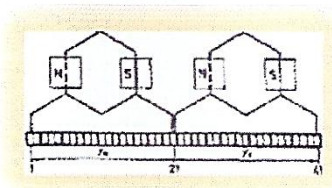
$k$ : αριθμός τομέων

$p$  : αριθμός ζευγών πόλων (μισό αριθμό πόλων)



Κυματοειδές τύλιγμα για  $N = 13$ ,  $2p = 4$ ,  $y_1 = 3$

Η αρχή της συνδεσμολογίας σειράς συνδέεται με ένα τομέα συλλέκτη και το τέλος με τον προηγούμενο ή τον επόμενο τομέα του συλλέκτη.



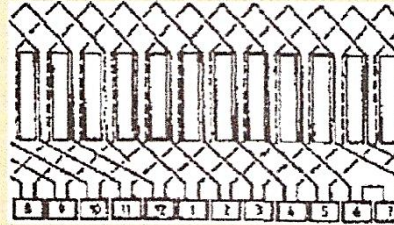
Συνδέσεις συλλέκτη σε κυματοειδές τύλιγμα

Η συνδεσμολογία σειράς των ξεχωριστών πηνίων του κυματοειδούς τυλίγματος γίνεται με τέτοιους τομείς που βρίσκονται ομοιόμορφα σ' όλη την περίμετρο του συλλέκτη μεταξύ του αρχικού και του τελευταίου τομέα. Στο κυματοειδές τύλιγμα το ρεύμα τύμπανου διακλαδίζεται πάντα μόνο σε δύο κυκλώματα αυτού. Αντίθετα προς το βροχοειδές τύλιγμα η φορά του ρεύματος στο κυματοειδές τύλιγμα, δεν αλλάζει αν απομακρυνθούν όλες οι άλλες ψήκτρες μέχρι τη μία θετική ψήκτρα και μια αρνητική ψήκτρα.

*Το κυματοειδές τύλιγμα έχει πάντα δύο κλάδους ρεύματος τύμπανου.*

Το κυματοειδές τύλιγμα ονομάζεται και *τύλιγμα σειράς* ή *σειριακό τύλιγμα*, επειδή τα πηνία του συνδέονται σε σειρά και οι ψήκτρες δεν έχουν παράλληλη συνδεσμολογία. Ένα τετραπολικό κυματοειδές τύλιγμα κατασκευάζεται και με

άρτιο αριθμό αυλακών ή αριθμό τομέων. Ο συλλέκτης τότε με τη βραχυκύκλωση δύο τομέων που βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλο μετατρέπεται τεχνικά σε περιττό αριθμό τομέων.



*Κυματοειδές τύλιγμα με πηνίο και συλλέκτη*

Στα αυλάκια τοποθετείται ένα μονωμένο άεργο πηνίο, που δε συνδέεται με το συλλέκτη. Το άεργο πηνίο είναι απαραίτητο, για να μην παρουσιάζονται προβλήματα ζυγοστάθμισης στο δρομέα. Το τετραπολικό κυματοειδές τύλιγμα είναι δυνατόν να κλείνει τεχνικά και με άρτιο αριθμό αυλακών και άρτιο αριθμό τομέων συλλέκτη. Κατά την τοποθέτηση των πηνίων πρέπει να συμφωνείται η αντιστοιχία όλων των πηνίων με τους τομείς του συλλέκτη. Το τέρμα των πηνίων χαρακτηρίζεται όπως επίσης συμφωνείται ο χαρακτηρισμός των δύο τελικών άκρων του πρώτου περιτυλίγματος

Τέλος ενώνονται με γέφυρες το ένα μετά το άλλο τα επόμενα τελικά άκρα των πηνίων πηνίων, δεν λαμβάνεται όμως υπόψη το χαρακτηρισμένο τέλος που συνδέεται με την γέφυρα που δεν έχει κανένα τέλος πηνίου.

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος με τέσσερις πόλους διαθέτουν συνήθως κυματοειδές τύλιγμα, επειδή δεν είναι απαραίτητη μία ισοδυναμική σύνδεση και ο αριθμός των σπειρών είναι μικρότερος από εκείνον του βροχοειδούς τυλίγματος.

Τα κυματοειδή τυλίγματα που έχουν περιγράψει μέχρι τώρα είναι μονά (μονοδρομικά). Υπάρχουν όμως και πολλαπλά (πολυδρομικά) κυματοειδή τυλίγματα. Στην περίπτωση που τα πηνία κυματοειδούς τυλίγματος συνδεθούν έτσι, ώστε μεταξύ της αρχής και του τέλους της συνδεσμολογίας σειράς να μένει ένας τομέας κενός, τότε δημιουργείται ένα διπλό (δυσδρομικό)

κυματοειδές τύλιγμα. Αν μεταξύ αρχής και τέλους βρίσκονται περισσότεροι τομείς, δημιουργείται κυματοειδές τύλιγμα με αριθμό δρόμων (μία πολλαπλότητα), που αντιστοιχεί στον αριθμό των τομέων του συλλέκτη. Οι ξεχωριστοί δρόμοι του κυματοειδούς τυλίγματος συνδέονται παράλληλα με τις ψήκτρες - όπως και στο βροχοειδές τύλιγμα - όπου κάθε δρόμος ως κυματοειδές τύλιγμα έχει δύο κλάδους τύμπανου.

Σε κάθε διπλό (δυοδρομικό) κυματοειδές τύλιγμα υπάρχουν τέσσερις κλάδοι ρευμάτων τύμπανου, στο τριπλό (τριοδρομικό) έξι κ.ο.κ.

Το πολλαπλό (πολυδρομικό) ονομάζεται και *παράλληλο τύλιγμα σειράς*, επειδή τα τυλίγματα ενός δρόμου (μονά) συνδέονται παράλληλα με τις ψήκτρες. Στα "παράλληλα τυλίγματα σειράς πρέπει ο αριθμός των ψηκτρών να είναι ίσος με τον αριθμό των κλάδων ρεύματος του τύμπανου. Συνήθως ο αριθμός των ψηκτρών που χρησιμοποιείται είναι ίσος με τον αριθμό των κυρίων πόλων. Στο συλλέκτη υπάρχουν ισοδυναμικές συνδέσεις για την κατάπνιξη των σπινθήρων στις ψήκτρες. Τα παράλληλα τυλίγματα σειράς χρησιμοποιούνται στις πολυπολικές μηχανές.

### **6.6 Σφάλματα στους κινητήρες με συλλέκτη**

Επειδή οι κινητήρες με συλλέκτη είναι σύνθετα κατασκευασμένοι ως τριφασικοί με βραχυκυκλωμένο δρομέα, ο αριθμός σφαλμάτων τους είναι μεγάλος. Περιοριζόμαστε παρακάτω στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Κατά την αναζήτηση σφαλμάτων στους κινητήρες με συλλέκτη για εναλλασσόμενο ρεύμα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία. Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος εμφανίζονται διάφορα είδη σφαλμάτων. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η διαπίστωση εμφάνισης ενός πολύ μεγάλου σπινθήρα στις ψήκτρες.

Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος επιτρέπεται η διαπίστωση μόνο μικρού σπινθήρα στις ψήκτρες. Στους κινητήρες με συλλέκτη για εναλλασσόμενο ρεύμα ο μεγάλος σπινθήρας στις ψήκτρες είναι αναπόφευκτος, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του σπινθήρα των ψηκτρών εμφανίζονται διάφορα αίτια. Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος δεν πρέπει να υπάρχει σπινθήρας στις ψήκτρες, ενώ στους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με συλλέκτη επιτρέπεται η εμφάνιση αρκετά ασθενών σπινθηριστών.



Πίνακας 1 : Σφάλματα με την εμφάνιση σπινθήρων στις ψήκτρες

ΣΦΑΛΜΑ	ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Ισχυρός σπινθήρας στις ψήκτρες.	Βρωμιές μεταξύ των λαμών	Καθαρισμός συλλέκτη Λιμάρισμα.
	Ακατάλληλες ψήκτρες	Ερώτηση στον Κατασκευαστή. Αντικατάσταση ψηκτρών
Ισχυροί σπινθηρισμοί στις ψήκτρες σε ασθενές φορτίο	Μη στρογγυλεμένος συλλέκτης	Τρόχισμα συλλέκτη, καθαρισμός μίκας
	Πόλοι αναστροφής λάθος συνδεδεμένοι	Έλεγχος πολικότητας (στον κινητήρα κατά την περιστροφή) ίδια πολικότητα κυρίων πόλων αναστροφής
Ισχυροί σπινθηριστές στις ψήκτρες σε μεγάλο φορτίο	Υπερφόρτιση	Έλεγχος φορτίου. Απομάκρυνση υπερφόρτισης. Αντικατάσταση με ισχυρότερο κινητήρα
Σπινθηρισμοί γενικώς	Ψήκτρες σε κακή κατάσταση	Έλεγχος ψηκτροφορέα. Τρόχισμα με καθαρίσμα ψηκτρών
	Λάθος τοποθέτηση γέφυρας ψηκτρών.	Ρύθμιση ψηκτρών στην ουδέτερη ζώνη
	Τοποθέτηση ψηκτροφορέα	Ψηκτροθήκη 1- 2 mm πριν τον συλλέκτη
	Πίεση ψηκτρών πολύ μικρή	Με το κόντυμα του ελατηρίου πίεσης στις ψήκτρες 1,6-2,4 N/cm <sup>2</sup>
	Προεξοχή χαλκού μεταξύ λαμών	Χρησιμοποίηση μαλακών ψηκτρών



Ξεχωριστοί σπινθήρες στις ψήκτρες	Επαφή μεταξύ ψήκτρας και στηρίγματος κακή	Έλεγχος επαφών, έλεγχος αν υπάρχει το ίδιο είδος ψηκτρών
Σπινθηρισμοί ψηκτρών μόνο σε 1 φορά περιστροφής	Λαθεμένη θέση ψηκτρών	Ρύθμιση ψηκτρών στην ουδέτερη ζώνη.
Ισχυροί σπινθήρες κατά την αλλαγή φοράς περιστροφής	Λαθεμένη σύνδεση πόλων αναστροφής	Έλεγχος της σύνδεσης των πόλων αναστροφής

Ένα ακόμα είδος σφάλματος είναι η μεγάλη θέρμανση. Στην περίπτωση αυτή πρέπει εξεταστούν διάφορα αίτια όπως μας δείχνει ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 2: Σφάλμα σε πολλή θέρμανση

ΣΦΑΛΜΑ	ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Όλη η μηχανή θερμαίνεται πολύ	Υπερφόρτιση. Πολύ μικρή τάση. Ψύξη πολύ ασθενής.	Απομάκρυνση, υπερφόρτιση, μέτρηση τάσης, έντασης ισχυρότερος αγωγός παροχής.
Ο συλλέκτης θερμαίνεται πολύ	Σπινθήρες ψηκτρών. Λάθος είδος ψηκτρών και πίεσης.	Δες προηγούμενο πίνακα
Κορδόνια ψηκτρών θερμαίνονται πολύ	Ανομοιόμορφη διανομή ρεύματος. Φαγωμένος συλλέκτης.	Έλεγχος συσκευής ψηκτρών - συλλέκτη.
Το επαγωγικό τύμπανο θερμαίνεται πολύ	Κακό κεντράρισμα του τύμπανου.	Νέο κεντράρισμα του τύμπανου. Κατεστραμένα έδρανα.

Η πολύ μεγάλη θέρμανση της μηχανής δεν επιτρέπεται διότι μετά από λίγο χρόνο στο τύλιγμα του τύμπανου εμφανίζεται ένα βραχυκύκλωμα. Έτσι όταν το βραχυκυκλωμένο πηνίο περιστρέφεται στο στρεφόμενο πεδίο του στάτη και κατά συνέπεια διέρχεται ένα ισχυρό ρεύμα από το πηνίο αυτό λόγω της

βλάβης με συνέπεια το τύμπανο να καθίσταται πλέον μη χρήσιμο. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα πρέπει να αντικαθίσταται και να τοποθετείται νέο τύλιγμα στο τύμπανο.

Η πολύ μεγάλη θέρμανση της μηχανής με συλλέκτη οδηγεί μετά από μικρό χρόνο σε καταστροφή του τυλίγματος του τύμπανου.

Τέλος στις μηχανές με συλλέκτη εμφανίζονται ακόμα και διαταραχές στροφών. Και εδώ υπάρχουν πολλά αίτια τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3: Διαταραχή στροφών στους κινητήρες με συλλέκτη

ΣΦΑΛΜΑ	ΠΙΘΑΝΑ ΑΙΤΙΑ	ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Ο κινητήρας δεν κινείται χωρίς φορτίο	Διακοπή στο κύκλωμα ρεύματος του τύμπανου	Αποκατάσταση της διακοπής
Το επαγωγικό τύμπανο στρέφεται με αναστροφή	Βραχυκύκλωμα στα πηνία του επαγωγικού τύμπανου	Μέτρηση τύμπανου. Νέο τύλιγμα
Μεγάλος αριθμός στροφών σε κινητήρα με παράλληλη και με σειράς διέγερση	Μικρό ρεύμα διέγερσης	Έλεγχος του ρεύματος διέγερσης αποκατάστασης
	Λαθεμένη θέση ψηκτρών	Ελέγξτε αν με την μετατόπιση σπειρών εμφανίζεται καλύτερευση
	Τύλιγμα σειράς λάθος συνδεδεμένο	Έλεγχος σύνδεσης, Αποκατάσταση
	Λαθεμένη σύνδεση των πηνίων διέγερσης	Έλεγχος και αποκατάσταση

Κατά τη διαταραχή στροφών πρέπει να αποφεύγεται η ανάπτυξη μεγάλων στροφών διότι ως συνέπεια των φυγοκεντρικών δυνάμεων είναι δυνατόν να προκληθεί αποσυναρμολόγηση τον τύμπανου και να εμφανιστούν προβλήματα ζυγοστάθμισης.

## **6.7 Είδη AMK με συλλέκτη**

### **Στάτης**

Τα μέρη που περιλαμβάνει ο στάτης των AMK είναι

- Το ζύγωμα

\*Οι μαγνητικοί πόλοι που περιλαμβάνουν :

- ❖ Τον πυρήνα
- ❖ Το τύλιγμα διέγερσης σειράς ( EF )
- ❖ Το τύλιγμα αντιστάθμισης ( HW - GW)
- ❖ Το τύλιγμα βοηθητικών πόλων ( G - H/B )
- Τον ψυκτροφορέα
- Τα καπάκια
- Το κιβώτιο ακροδεκτών

### **Δρομέας**

Τα μέρη που περιλαμβάνει ο δρομέας των AMK σειράς είναι

- Ο άξονας
- Το επαγωγικό τύμπανο που περιλαμβάνει:
- ❖ Τον πυρήνα
- ❖ Το τύλιγμα που συνήθως είναι βροχοτύλιγμα
  - Ο συλλέκτης που επάνω του εφάπτονται οι ψήκτρες
  - Ο ανεμιστήρας

## 7.Κινητήρας Universal

### 7.1 Εισαγωγή

Οι κινητήρες Universal είναι κινητήρες μεταγωγών. Τροφοδοτούνται από εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα, Η ταχύτητα περιστροφής τους περιορίζεται από τη μηχανική δύναμη του στροφέα, των ρουλεμάν και της χρήσιμης διάρκειας ζωής των ψηκτρών.

Οι κινητήρες Universal που οδηγούνται από μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα και περιστρέφονται με ταχύτητα από 3000 περιστροφή/λ. σε 25.000 περιστροφές/λ. και έχουν ισχύ μέχρι 1200\W. Οι λιγότερο ακριβές μηχανές επαγωγής περιορίζονται στην ταχύτητα από τις λειτουργούσες αρχές τους και τη συχνότητα παροχής. Στις ακόλουθες σελίδες αναπτύσσονται οι δυνατότητες κατασκευής, λειτουργίας, απόδοσης και εφαρμογής του κινητήρα Universal.



### 7.2 Κατασκευή

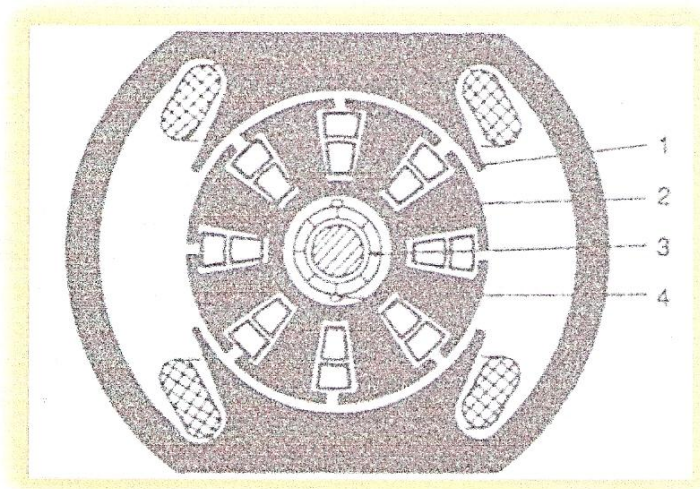
Ο στάτης και ο ρότορας είναι περιελιγμένοι στους σωρούς των σφραγίσεων, κάθε σφράγιση είναι 0.5 - 0.7 mm. πυκνοί Οι σπείρες περιέλιξης που αρχίζουν και τελειώνουν σε δύο παρακείμενους φραγμούς μεταγωγών συνδέονται στη σειρά και διανέμονται ομοιόμορφα γύρω από τον οπλισμό σε 8-18 μισάνοιχτες αυλακώσεις, συνήθως ως σπείρες σε δύο επίπεδα. Υπάρχει μια διανομή τάσης σε όλο τον οπλισμό πέρα από το μεταγωγό και τις σταθερές **ψήκτρες**. Για να μειώσουν την τάση μεταξύ των φραγμών μεταγωγών που πρόκειται να συνδεθούν προς στιγμήν με τις **ψήκτρες**, οι σπείρες κέντρο-τρυπιούνται και οι



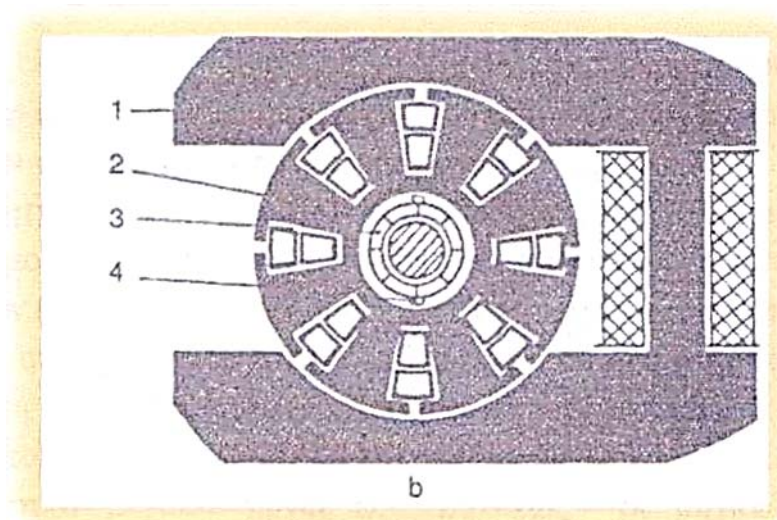
κεντρικοί **ελικοτόμοι εσωτερικών σπειρωμάτων** συνδέονται με τους ενδιάμεσους φραγμούς, έτσι ώστε ο αριθμός φραγμών να είναι δύο φορές ο αριθμός των σπειρών. Το πλάτος των ψηκτρών είναι περίπου 1.3 - 1.8 φορές από αυτό ενός φραγμού μεταγωγών. Κατανέμοντας τις αυλακώσεις κατά ένα βήμα αυλακώσεων η αντίσταση κενών αέρος (μαγνητική αντίσταση) γίνεται πάρα πολύ μικρότερη, ανάλογα με τη θέση του σπλισμού του στάτη.

Το τύλιγμα του στάτη περιβάλλει τους κεντρικούς πόλους του στάτη, οι οποίοι επεκτείνονται έξω στο 0.3 - 0.5 mm ευρύ κενό αέρος. Ο αριθμός πόλος - ζευγαριού είναι κανονικά  $p = 1$ . Το κενό αέρος είναι σταθερό πέρα από το μεγαλύτερο μέρος του τόξου του αλλά μπορεί να διπλασιαστεί σχεδόν προς τις άκρες των πόλων χάριν μιας βελτιωμένης διανομής ροής φορτίων και ενός μειωμένου θορύβου. Οι πόλοι του σπλισμού και το αντισταθμιστικό τύλιγμα, κανονικά στις μεγαλύτερες μηχανές σειράς, δεν σχεδιάζονται στις μικρότερες μηχανές. Στις εικόνες 7.1 και 7.2 παρουσιάζονται οι διατομές και οι λεπτομέρειες των Universal κινητήρων. Η αλληλεπίδραση του κενού αέρος στο σχέδιο β μεταξύ του στάτη και του σπλισμού, το οποίο είναι αναπτυγμένος από το τύλιγμα τομών, και το ρεύμα  $i$  στον τύλιγμα σπλισμού παράγει μια ροπή

$$m = lb \quad (\text{εξ 1.1})$$



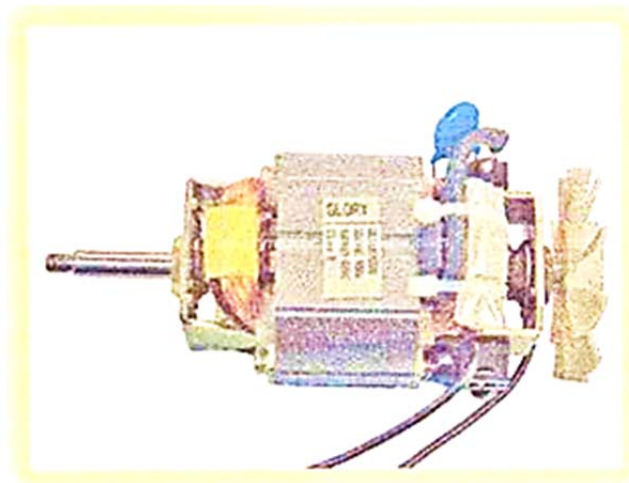
Εικόνα 7.1



Εικόνα 7.2 Εγκάρσια τομή μέσω (α) συμμετρικού ( $P > 200$  IV) και (β) ασύμμετρου

( $P < 200$  Ψ) κινητήρα Universal

1. Πόλος στάτη
2. Οπλισμός
3. Μεταγωγός
4. Ψήκτρες



Ειδικότερα, εάν το  $I$  και το  $B$  είναι ημιτονοειδή, κατόπιν η μέση τιμή της ροπής στρέψης είναι  **$M = IB \sin\varphi$  (εξ.1.2)**

Όπου το  $I$  και το  $B$  είναι οι RMS τιμές του ρεύματος και της ροής πυκνότητας στην ίδια συχνότητα και  $\varphi$  είναι η γωνία μεταξύ των εναλλασσόμενων ποσοτήτων. Εάν το  $I$  και το  $B$  δεν έχουν την ίδια συχνότητα το  $M$  είναι πάντα μηδέν.

Επομένως ένας κινητήρας που πρόκειται να συνδεθεί με εναλλασσόμενο ρεύμα δεν μπορεί να έχει μόνιμο μαγνητικό πεδίο. Η γωνία φάσης πρέπει να είναι κοντά στο  $\varphi = 0$  όσο το δυνατόν (βλ. εξισ. 1.2) να αποκτήσει τη μέση τιμή της ροπής στρέψης. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας το επαγωγικό τύλιγμα σε σειρά με τον οπλισμό. Η παράλληλη σύνδεση δύο τυλιγμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το απαραίτητως επαγωγικό τύλιγμα τομέων και το χαμηλό τύλιγμα αυτεπαγωγής του οπλισμού, μας οδηγεί σε μια σχετικά μεγάλη γωνία  $\varphi$ . Συνεπώς οι μηχανές μεταγωγών εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μόνο για τη λειτουργία σειράς. Επειδή η κατεύθυνση του ρεύματος ροής διαμέσου ενός αγωγού του οπλισμού πρέπει να αντιστραφεί μεταξύ της διάβασης κάθε πόλου **εναλλακτικά**, ένας μεταγωγός ή μια συσκευή μετατροπής ρεύματος είναι απαραίτητη μεταξύ του τυλιγματος του οπλισμού και της τροφοδοσίας. Η κατασκευή του κινητήρα είναι όπως και στις μηχανές DC σειράς. Επομένως, σε γενικές γραμμές, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η ίδια μηχανή όπως μία Universal μηχανή AC / DC.

Στην κύρια εκτίμηση της τρέχοντα απόδοσης, μόνο η Θεμελιώδης συνιστώσα των κυματομορφών των εναλλασσόμενων τάσεων, ρευμάτων και των μαγνητικών πεδίων αναλύονται. Η περιοδικά εξαρτώμενη ταχύτητα που αλλάζει το ρεύμα στην περιέλιξη του στροφέα δεν θα εξεταστεί. Οι κινητήρες σειράς θα εξεταστούν ως ειδική περίπτωση, με τη συχνότητα τροφοδοσίας  $F=0$

### 7.3 Αρχές λειτουργίας

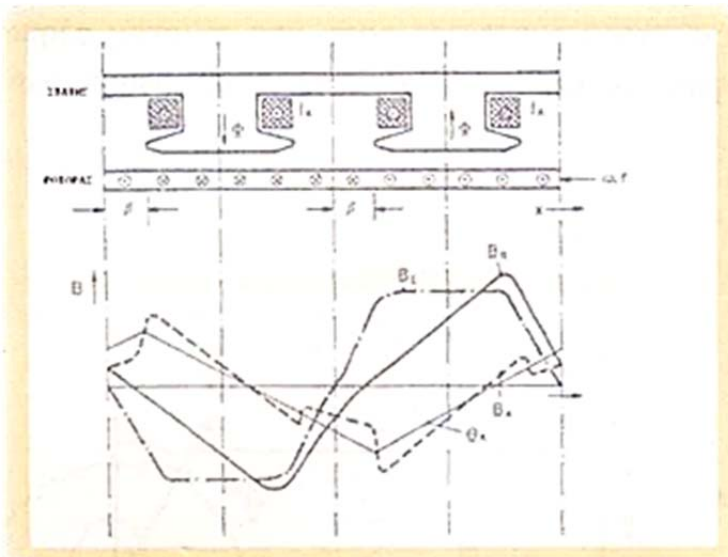
#### 7.3.1 Διανομή μαγνητικής ροής

Η εικόνα 7.3 παρουσιάζει τη γραμμική ανάπτυξη ενός κινητήρα όπως στην εικόνα 7.1, και τις διανομές κενών αέρος:

- οπλισμός MMF  $\Theta_A$  ως αποτέλεσμα από το ρεύμα οπλισμού  $I_A$
- πυκνότητα ροής  $B_A$  που αντιστοιχεί σε MMF  $\Theta_A$
- πυκνότητα ροής  $B_E$  ως αποτέλεσμα της διέγερσης του ρεύματος στον στάτη  $I_E$  (=ρεύμα οπλισμού  $I_A$ )

Ο άξονας των ψηκτρών γυρίζουν διαμέσου μια γωνία  $\beta$  από το μαγνητικό ουδέτερο άξονα ( $B_E = 0$ ) υπό την αντίθετη φορά περιστροφής του οπλισμού για να βοηθήσει τη μετατροπή. Το  $B_A$  και το  $B_E$  επιβάλλονται για να δώσουν το  $B_R$  τη διανομή πυκνότητας ροής σε μια φορτωμένη μηχανή. Η επιρροή του οπλισμού MMF στη διανομή τομέων καλείται αντίδραση οπλισμού. Προκαλεί

- μια διαστρέβλωση του τομέα διέγερσης προς την άκρη των πόλων
- μια μείωση της ροής πόλων εξ αιτίας της μη γραμμικής χαρακτηριστικής της μαγνήτισης του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος (κορεσμός των ελασματοποιήσεων σιδήρου)
- μετατόπιση της ουδέτερης ζώνης, στην οποία το  $B_R$  είναι μηδέν



Εικόνα 7.3 Διανομή της μαγνητικής επαγωγής στο κενό αέρος μιας μηχανής 2-πόλων



Το ισοδύναμο κύκλωμα της μηχανής σειράς, με σκοπό τον καθορισμό το αποτέλεσμα των ροών, παρουσιάζεται στην εικόνα 7.4. Οι συστατικές ροές, η ροή του οπλισμού  $\Phi_A$  στην κατεύθυνση τού άξονα των ψηκτρών και η ροή στον στάτη  $\Phi_E$  στην κατεύθυνση της σύνδεσης άξονα τομέων της μηχανής  $N_A$  και  $N_E$  γυρνάει αντίστοιχα.

Η μηχανή οδηγείται από την τάση  $V$ . Το ρεύμα τού οπλισμού  $I_A$  δημιουργεί την ροή τυλίγματος  $\Phi_A$  και το τύλιγμα διέγερσης στο στάτη δημιουργεί το  $\Phi_E$  τα όποια, όταν κάπως μειώνεται από τα ποσά των αποκομμένων ροών  $\Phi_{A\sigma}$  και  $\Phi_{E\sigma}$  αποτελεί την επακόλουθη ροή στο κενό αέρος. Αυτή η ροή είναι η  $\Phi_{ih}$  επιλυμένη σε δύο συστατικές ροές, αμοιβαία κάθετα ,όπως απεικονίζεται στον διαμήκη άξονα και η  $\Phi_{qw}$  στον άξονα τετραγωνισμού της μηχανής.

Συμπεραίνοντας ότι οι συστατικές ροές μπορούν να προστεθούν σε μία ακόρεστη μηχανή,

$$\Phi_h = \Phi_A - \Phi_{\epsilon\sigma} - (\Phi_A - \Phi_{A\sigma})\eta\mu\beta \quad (\text{εξ. 1.3})$$

Και

$$\Phi_{qh} = (\Phi_A - \Phi_{A\sigma})\sigma\upsilon\upsilon\beta \quad (\text{εξ. 1.4})$$

όπου  $\Phi_{ih}$ , δημιουργείται από  $IEN_E - IANA \eta\mu\beta$  και η  $\Phi_{qw}$  δημιουργείται από  $I_A N_A \sigma\upsilon\upsilon\beta$ . Στις μικρές μηχανές υπό τους τρέχοντας όρους ο άμεσος (διαμήκης) άξονας είναι υψηλά κορεσμένος έτσι ώστε στο ρεύμα τροφοδοσίας η  $\Phi_{ih}$  να αλλάζει ελαφρώς.



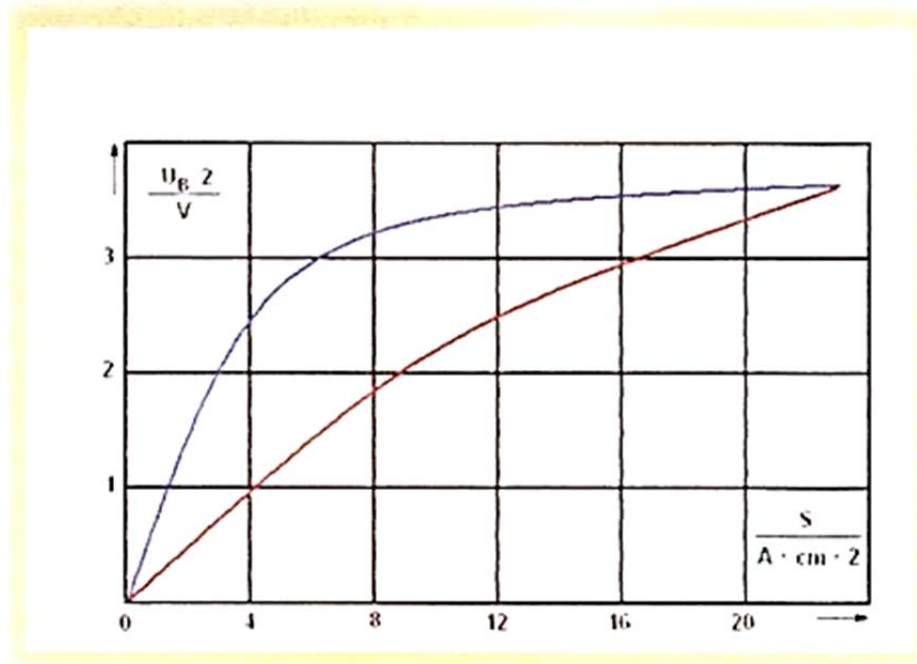
τροφοδοσίας, είναι:

$$U_{qt} = \frac{1}{\sqrt{2}} j\omega N_A (\Phi_{qh} \sigma \nu \nu \beta - \Phi_{ih} \eta \mu \beta) \quad (\text{εξ. 1.6})$$

Παίρνοντας τις λειτουργούσες αντιστάσεις του τυλίγματος οπλισμού και αυτό του τυλίγματος του πεδίου  $R_A$  και  $R_E$ , αντίστοιχα, και την πτώση τάσης στις ψήκτρες  $U_B$  κατ' εκτίμηση, η τελική τάση γίνεται:

$$\begin{aligned} U &= I_A R_E + \frac{1}{\sqrt{2}} j\omega N_E (\Phi_{E\sigma} + \Phi_{ih}) + I_A R_A \\ &+ \frac{1}{\sqrt{2}} j\omega N_A (\Phi_{A\sigma} + \Phi_{qh} \sigma \nu \nu \beta - \Phi_{ih} \eta \mu \beta) \\ &+ \frac{1}{\sqrt{2}} c_R n \Phi_{ih} + U_\beta \end{aligned}$$

(εξ. 1.7)



Εικόνα 7.5 Πτώση τάσης  $U_B$  στις ψήκτρες ως λειτουργία της πυκνότητας ρεύματος  $s$

- Στατικά χαρακτηριστικά
- Δυναμικά χαρακτηριστικά

Η πτώση τάσης στις ψήκτρες, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.5 δείχνει ότι είναι μια μη γραμμική λειτουργία του ρεύματος και εξαρτάται από το υλικό στις ψήκτρες. Μια καλύτερη επισκόπηση της σχέσης της τάσης δίνονται στον τύπο 1.6, στον οποίο οι τάσεις  $U_B$  ήταν παραμελημένες.

Η συνολική ενεργός ισχύς στη μηχανή είναι

(εξ. 1.8)

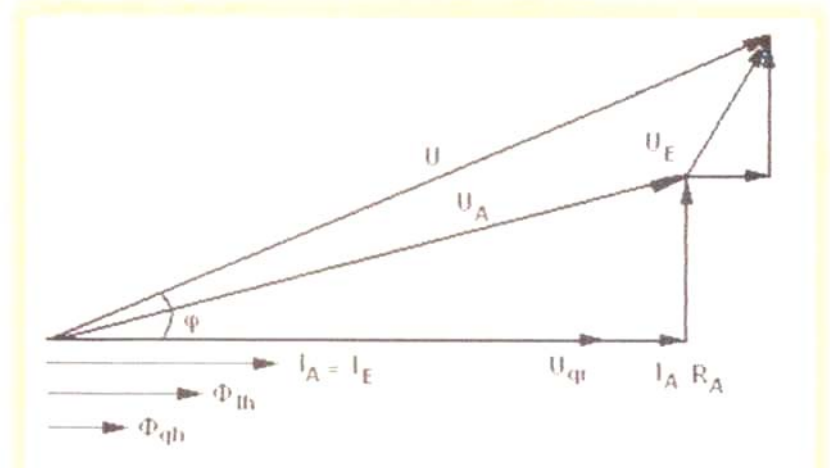
$$P_W = |I_A| |U_{gr}| + |I_A|^2 (R_A + R_E)$$

Ο πρώτος όρος είναι η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται και ο δεύτερος είναι οι απώλειες χαλκού του τυλίγματος. Καμία προσοχή δεν έχει δοθεί στις απώλειες σιδήρου, απώλειες που έχουν σαν αποτέλεσμα με τις στροφές να βραχυκυκλώνεται ο σπλισμός με τις ψήκτρες. Καμία προσοχή επίσης δεν έχει δοθεί στις επιρροές των αρμονικών ροής.

Όταν η τροφοδοσία είναι συνεχές τάση,  $f = 0$ , οι RMS τιμές του ρεύματος και

της τάσης αντικαθίστανται από τις σταθερές τιμές  $I$  και  $U$ , και η RMS ροή  $\phi/\sqrt{2}$  αντικαθίσταται από τη σταθερή ροή  $\phi$ .

Εικόνα 7.6 Διάγραμμα, φάσεων ενός κινητήρα Universal στην έναρξη



Οι εξισώσεις 1.5 και 1.7 για την μείωση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε

85

$$U_{gr} = c_R n \Phi_{fh} \quad (\text{εξ. 1.9})$$

και

$$U = I_A (R_A + R_E) + c_R n \Phi_{fh} + U_\beta \quad (\text{εξ. 1.10})$$

### 7.3.3 Δύναμη και ροπή

Από την εξίσωση 1.8 η εσωτερικά αναπτυσσόμενη μηχανική δύναμη είναι

$$P_W = |I_A| |U_\phi| \quad (\text{εξ. 1.11})$$

Από την εξίσωση 1.5 και τη δεδομένη ταχύτητα  $n$ , η εσωτερική μέση ροπή είναι

$$M_i = \frac{P_{mi}}{2\pi n} = \frac{|I_A| |U_{gr}|}{2\pi n} = \frac{c_R}{2\pi\sqrt{2}} |\Phi_{lh}| |I_A| \quad (\text{εξ. 1.12})$$

Επειδή, σε μια μαγνητικά ακόρεστη μηχανή,  $|I_A| \propto |\Phi_{lh}|$  και, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες  $k_1$  και  $k_2$ ,

$$M_i = \frac{c_R}{2\pi\sqrt{2}} k_1 |I_A|^2 = \frac{c_R}{2\pi\sqrt{2}} k_2 |\Phi_{lh}|^2 \quad (\text{εξ. 1.13})$$

Επομένως το ρεύμα οπλισμού εξαρτάται μόνο από τη ροπή φορτίων και όχι από την τάση τροφοδοσίας, Επειδή το  $I_A$  είναι ένα εναλλασσόμενο ρεύμα, η ροπή κυμαίνεται σε διπλάσια επίπεδα από τη συχνότητα τροφοδοσίας με τη μέση τιμή  $M$  και μεταξύ των ακραίων τιμών μηδέν και  $2M$  (εικόνα 7.7). Σε μια μαγνητικά κορεσμένη μηχανή, το  $|\Phi_{lh}|$  μένει περίπου σταθερό και  $M_i \propto |I_A|$ .

Από την εξίσωση 1.12 σε μια μαγνητικά ακόρεστη μηχανή η μηχανική ισχύς είναι

$$P_i = 2\pi n M$$

$$P_i = \frac{c_R n}{\sqrt{2}} |\Phi_{lh}| |I_A|$$

και από την εξίσωση 1.13

$$P_i = \frac{c_R n k_1}{\sqrt{2}} |I_A|^2 \quad (\text{εξ. 1.14})$$

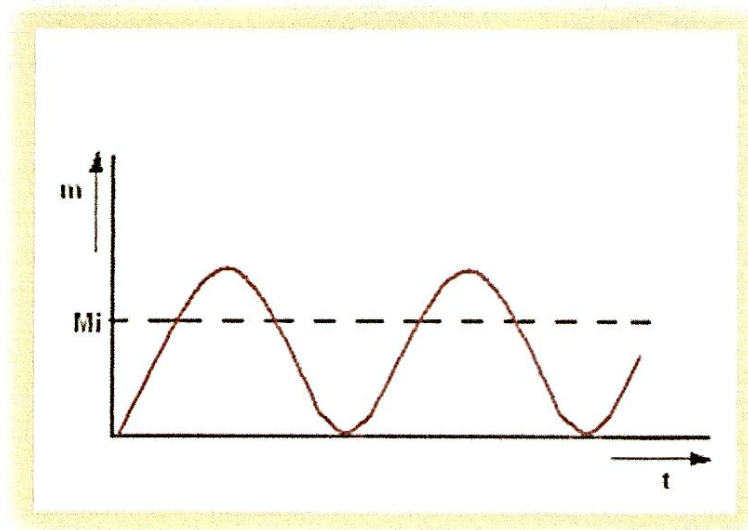
Η μηχανική ισχύς  $P_m$  και η ροπή  $M$  στον άξονα παραγωγής είναι μικρότερες εξ αιτίας των απωλειών τριβής των ανεμιστήρων.

Λαμβάνοντας υπόψη την ροπή τριβής  $M_R$

$$M = M_i - M_R$$

Η απόδοση  $\eta$  υπολογίζεται από την ισχύ  $P_{\alpha\beta}$  εξόδου και την  $P_{zu}$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P}{|I_A||U_A|\cos\varphi} = \frac{2\pi nM}{|I_A||U_A|\cos\varphi} \quad (\text{εξ. 1.15})$$



Εικόνα 7.7 Χαρακτηριστική  $m(t)$  ενός *Universal* κινητήρα  
Όταν ο κινητήρας δουλεύει ως DC κινητήρας, με τούς παράγοντες  $I_A$  και  $\Phi_{lh}$

$$M_i = \frac{c_R n k_1}{2\pi} I_A^2 \quad (\text{εξ. 1.16})$$

καί η μηχανική ισχύς

$$P_i = c_R k_1 n I_A^2 \quad (\text{εξ. 1.17})$$

### 7.3.4 Μεταγωγή

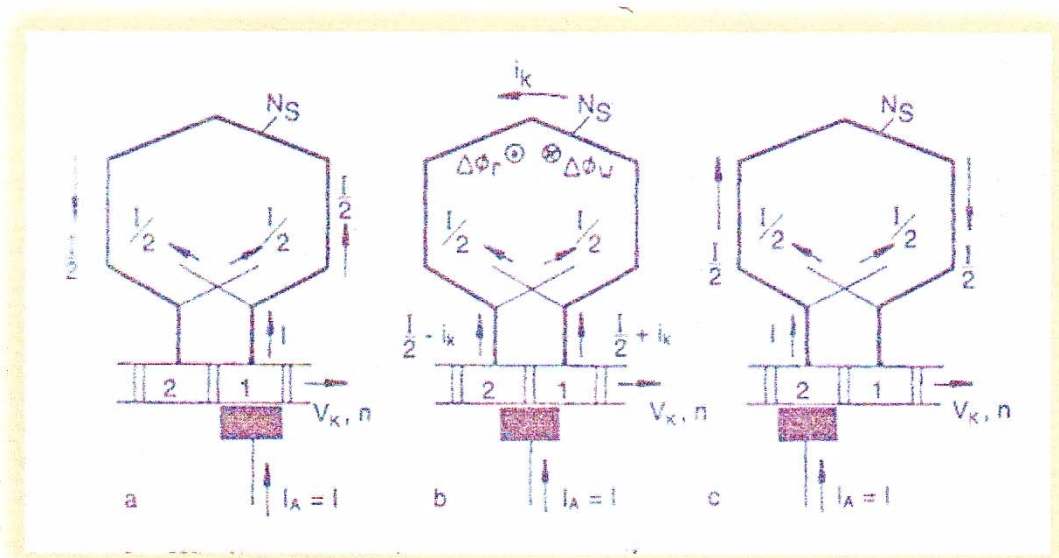
Ο μεταγωγός και οι ψήκτρες διαμορφώνουν μια κινητή επαφή και διαμορφώνουν έναν μηχανικό διακόπτη του οποίου οι επαφές, ιδιαίτερα στις συρόμενες άκρες, η ανάφλεξη εμφανίζεται.

Οι αιτίες της ανάφλεξης είναι, ανάλογα με τις περιστάσεις, η θερμότητα στο σημείο της επαφής εξ' αιτίας της τριβής, το υπερβολικό και ακανόνιστο ρεύμα που υπάρχει στις ψήκτρες, η μηχανική δόνηση των ψηκτρών, για παράδειγμα, ο ακανόνιστος μεταγωγός, ή το πολύ παιχνίδι στα κολάρα των ψηκτρών και, σε κάθε περίπτωση, κάθε ελλειπής μετατροπή που οφείλεται στις παραγόμενες ηλεκτρικές τάσεις στα τυλίγματα του μετατροπέα.

Αυτή η διαδικασία μετατροπής θα εξηγηθεί πρώτα για μια DC μηχανή. Στην εικόνα 7.8 παρουσιάζεται η διανομή του ρεύματος πριν, κατά την διάρκεια και μετά την μετατροπή των σπειρών. Το ρεύμα μετατροπής  $I_K$  αλλάζει σε ένα πλάτος  $b_K$  φραγμών μεταγωγών και με την περιφερειακή ταχύτητα  $U_K$  μεταγωγών, και κατά τη διάρκεια της περιόδου μετατροπής

$$I_K = \frac{b_K}{u_K} \quad (\text{εξ. 1.18})$$

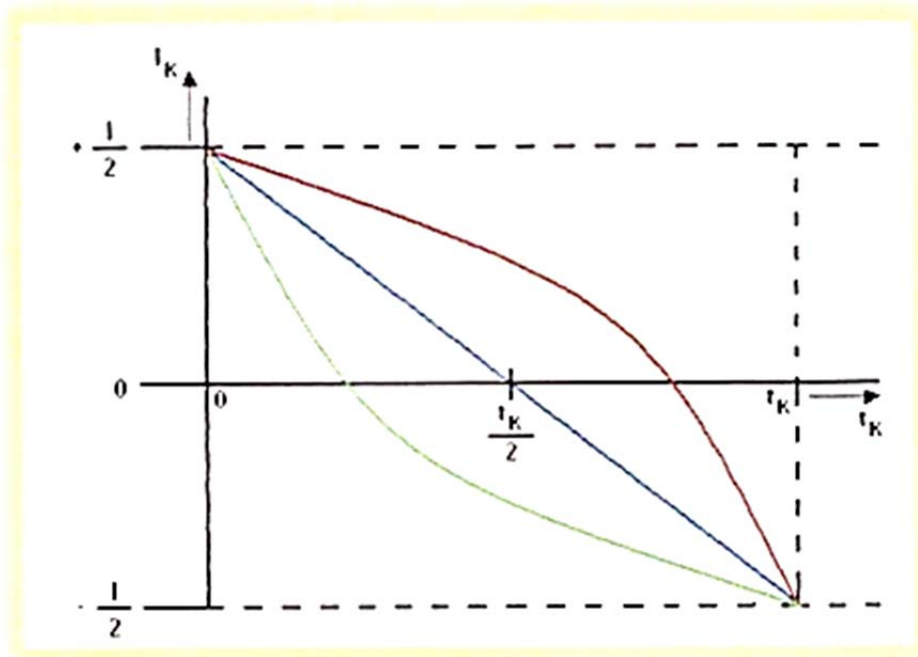
από  $+ \frac{1}{2}$  έως  $- \frac{1}{2}$ .





Εικόνα 7.8 Ρεύμα περιέλιξης σε μία σπείρα του οπλισμού

1. πριν
  2. κατά την διάρκεια
  3. μετά την μετατροπή
- και η αλλαγή  $\Delta\Phi$  μέσα στην μετατρεπόμενη σπείρα με  $N$  στρόφες



Εικόνα 7.9 Το ρεύμα  $I_K$  στη μετατρεπόμενη σπείρα

- γραμμική μετατροπή
- κάτω υπό-μετατροπή
- πέρα από-μετατροπή

Σε μια υποτιθέμενη σπείρα χωρίς αντίσταση της οποίας μεγάλες πλευρές βρίσκονται στη μαγνητική ουδέτερη ζώνη, αυτό είναι μια γραμμική διαδικασία (γραμμική μετατροπή) όπως φαίνεται στην εικόνα 7.9. Στην πραγματικότητα υπάρχουν περιπλανώμενες αυτεπαγωγές στις σπείρες που βρίσκονται σε ένα σιδηρομαγνητικό κύκλωμα και που δεν είναι αμελητέες, έτσι ώστε μια αλλαγή ροής  $\Delta\Phi$  εμφανίζεται μέσα στη σπείρα, η οποία προκαλεί μια τάση  $U_{qw}$  έτσι

ώστε το ρεύμα που προκαλείται μικραίνει από τις ψήκτρες και καθυστερεί την αλλαγή σε  $I_k$ . Η κάτω από μετατροπή εμφανίζεται, κατά τη διάρκεια της οποίας η πυκνότητα ρεύματος στη συρόμενη άκρη της ψήκτρας αυξάνεται και η ανάφλεξη εμφανίζεται στη στιγμή του σπασίματος της επαφής μεταξύ της ψήκτρας και του φραγμού μεταγωγών .

Αυτή η επίδραση επιδεινώνεται όταν, εξ αιτίας της ανεπανόρθωτης αντίδρασης στον οπλισμό, μετατοπίζεται ο εξαρτώμενος από το φορτίο μαγνητικός άξονας που είναι σχετικός με το γεωμετρικό ουδέτερο άξονα σε μια κατεύθυνση ενάντια στη περιστροφή. Ένα μέσο αντιμετώπισης είναι δυνατόν εάν ο άξονας των ψηκτρών μετατοπίζεται για να συμπέσει με τον ουδέτερο μαγνητικό άξονα φορτίων της μηχανής (εικόνα 7.4). Η γωνία  $\beta$  είναι περίπου  $15-30^\circ$  και στην κατεύθυνση ενάντια στην περιστροφή. Αυτή η μετατόπιση παράγει μια αλλαγή  $\Delta\Phi$  ροής στο τύλιγμα που ακυρώνει την  $\Delta\Phi_w$  ή, με άλλα λόγια, μια περιστροφική παραγμένη τάση  $U_{qr}$  προκαλείται σε αντίθεση με την τάση αεργής αντίστασης μετατροπής  $U_{q_{rw}}$ . Εάν η  $U_{qr}$  έχει σχεδιαστεί να είναι μεγαλύτερη από τη  $U_{q_{rw}}$ , η επακόλουθη τάση που προκαλείται στη σπείρα μεταγωγής, αυτή εμφανίζεται μεταξύ των φραγμών μεταγωγών όπου η επαφή των ψηκτρών γίνεται,

90

**Εξ.1.19**

$$U_K = U_{q_{rw}} + U_{qr}$$

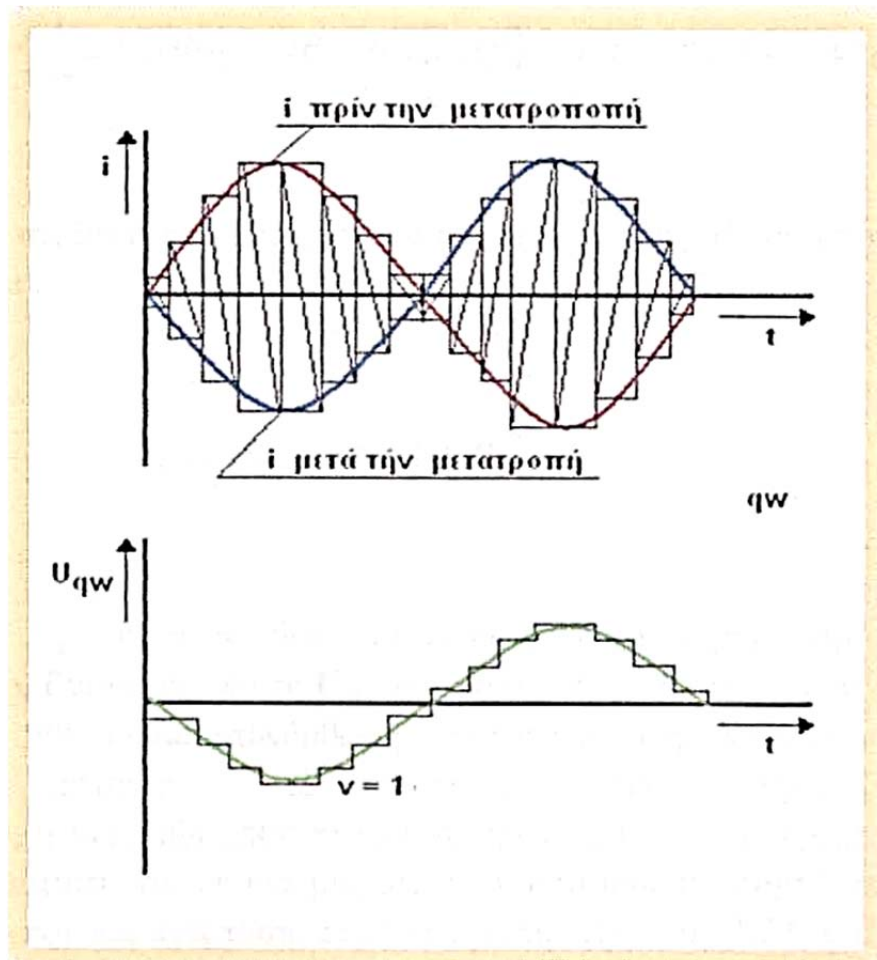
εμφανίζεται και έτσι κατευθύνεται ότι υποστηρίζει (βοηθά) τη μετατροπή. Αποτελέσματα πέρα από-μετατροπής (εικόνα 7.9). Η ψήκτρα γίνεται φορτωμένη σταυροειδώς μεταξύ των φραγμών μεταγωγών από το ρεύμα που παράγεται από την τάση επαφών.

Εάν η μηχανή οδηγείται από εναλλασσόμενο ρεύματος στη συχνότητα τροφοδοσίας, κατόπιν, ανάλογα με την ταχύτητα της περιστροφής, μπορεί να υπάρξει μέχρι μερικές εκατοντάδες μετατροπών ανά δευτερόλεπτο. Αφήνοντας την ημιτονοειδές κυματομορφή του ρεύματος να προσεγγιστεί από μια σειρά βημάτων επιπέδων και να απεικονιστεί στον οριζόντιο άξονα όπως στο σχήμα 7.10α. Οι κεκλιμένες γραμμές στο σχήμα 7.10α απεικονίζουν την ροή του

ρεύματος κατευθείαν διαδοχικά στα μετατρεπόμενα στοιχεία του τυλίγματος του οπισμού. Έπειτα το σχήμα 7.10β απεικονίζει τη  $U_{qw}$  οι τάσεις που προκαλούνται σε αυτά τα στοιχεία λόγω της διαρροής αυτεπαγωγής. Το θεμελιώδες συστατικό ( $v = 1$ ) της μετατροπής σχετικά με την τάση της άεργης αντίστασης που εμφανίζεται μεταξύ των σημείων επαφής των ψηκτρών είναι:

$$U_{qw} = -2N_s l u \zeta A = -const_1 n l \quad (\text{εξ. 1.20})$$

όπου  $N$ , είναι ο αριθμός στροφών ανά τύλιγμα, το  $l$  είναι το μήκος οπλισμού και το  $u$  είναι η περιφερειακή ταχύτητα,  $A$  είναι οι RMS στροφές αμπέρ του οπλισμού και  $\zeta = 4 - 9 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$  είναι ο παράγοντας μετατροπής Pichelmayer's.



Εικόνα. 7.10 Επαγωγή της τάσης  $U_{qw}$  της άεργης αντίστασης μετατροπής δεδομένου ενός ρεύματος που ποικίλλει ημιτονοειδές με το χρόνο.

Επίσης, στη μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος και σύμφωνα με την <sup>78</sup>

εξίσωση 1.6, η τάση που προκλήθηκε στο τύλιγμα εξ' αιτίας της δράσης μετασχηματιστών είναι:

$$U_{qrs} = \frac{1}{\sqrt{2}} C_{RS} N_S b \Phi_1(\beta) = -const_2 n l \quad (\text{εξ. 1.21})$$

Αυτή η τάση είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα της περιστροφής. Η τάση των επαφών των ψηκτρών είναι στο σύνολο:

$$U_{qts} = \frac{j}{\sqrt{2}} \omega N_S (\Phi_{ih} \sigma \nu \nu \beta + \Phi_{qw} \eta \mu \beta) = j(const_3 + const_4) \quad (\text{εξ. 1.22})$$

Η τάση είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας της περιστροφής. Η τάση των επαφών των ψηκτρών είναι:

$$U_K = U_{qw} + U_{qrs} + U_{qts} \quad (\text{εξ. 1.23})$$

Η  $U_{qw}$  και  $U_{qts}$ , είναι σε θέση να εξουδετερώσει η μία την άλλη, όπως παρουσιάζεται. Εντούτοις, για τη  $U_{qts}$  η όποια μετατοπίζεται από τις άλλες από μια γωνία φάσης  $90^\circ$ , καμία επανόρθωση δεν είναι πιθανή. Αυτό σημαίνει ότι στις Universal μηχανές, οι οποίες δεν εξοπλίζονται με παρεμβολές, η τάση των επαφών των ψηκτρών καθορίζεται κυρίως από τη δράση του μετασχηματιστή και σε μια μικρότερη έκταση από τη εξαρτώμενος αντίδραση στον οπλισμό που παράγει τάση. Σύμφωνα με την εξίσωση 1.22, η  $U_{qts}$  μπορεί να επηρεάζεται από τον αριθμό από τις στροφές ανά το τύλιγμα του στοιχείου  $N_s$  και της ροής διέγερσης. Ένα χαμηλότερο  $N_s$  απαιτεί έναν υψηλότερο αριθμό δοντιών και αυλακώσεων, η χαμηλότερη ροή σημαίνει φτωχότερο χρησιμοποίηση του όγκου μηχανών.

Επομένως είναι απαραίτητο για οικονομικούς λόγους να γίνει αποδεκτή μια σχετικά υψηλή τάση  $U_k$  επαφών, και να περιοριστεί το ρεύμα στο τύλιγμα, τους φραγμούς και το βρόχο των ψηκτρών με τη βοήθεια της αντίστασης. Ανάλογα με την ποιότητα των ψηκτρών, επιλέγεται μία τιμή του  $U_k$  από 3 V έως 6 V.

Είναι μόνο όταν η  $U_k < 1 \text{ V}$  που ψήχει την ανάφλεξη δεν είναι πλέον ορατό. Οι Universal μηχανές εκθέτουν πάντα την ανάφλεξη. Η ανάφλεξη είναι ανώμαλη εξ αιτίας της εναλλασσόμενης μετατρεπόμενης τάσης που αλλάζει για τα διαδοχικά μετατρεπόμενα στοιχεία της περιέλιξης.

### **7.3.5 Ψήκτρες**

Οι ψήκτρες που χρησιμοποιούνται στις Universal μηχανές πρέπει να παρουσιάσουν, σε μια αρκετά υψηλή επιτρεπόμενη πυκνότητα ρεύματος, μια σχετικά υψηλή συγκεκριμένη αντίσταση επαφών σε και μεταξύ των επιφανειών επαφών, και πρέπει να είναι σχετικά σκληρές έτσι ώστε τα προϊόντα της ανάφλεξης στο μεταγωγό να καθαρίζονται.

Για να ανεβάσει την αντίσταση στο ρεύμα βραχυκυκλώματος μέσω των ψηκτρών, μια κατασκευή δύο στρωμάτων με μια μονωτική ταινία μεταξύ τους χρησιμοποιείται. Οι μηχανές σειράς που τροφοδοτούνται από DC μπορούν να εγκατασταθούν με μαλακότερες ψήκτρες με τις χαμηλότερες τιμές της συγκεκριμένης αντίστασης. Αυτό είναι ιδιαίτερα η περίπτωση για τα ναυτιλιακά ηλεκτρικά συστήματα, όπου η τάση είναι χαμηλότερη.

Οι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ζωή των ψηκτρών φορτώνονται εξ αιτίας της πυκνότητας ρεύματος, της ανάφλεξης και της τριβής στις επιφάνειες επαφών, η οποία γίνεται χειρότερης από τη σκόνη και τη χαμηλή υγρασία.

Όπως το σχήμα 7.11 παρουσιάζει, η σχετική μηχανική ένδυση αυξάνεται με την πίεση των ψηκτρών στο μεταγωγό, ενώ η σχετική ηλεκτρικά ένδυση πυκνότητας ρεύματος μειώνεται. Υπάρχει επομένως ένα βέλτιστο ζευγάρι των παραμέτρων - μέγιστη πυκνότητα ρεύματος και η αντίστοιχη πίεση των ψηκτρών - δηλωμένων από τον κατασκευαστή. Ο πίνακας 1.1 δίνει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας για τους διάφορους τύπους ψηκτρών.

Όταν οι ψήκτρες αντικαθίστανται, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι οι ακτίνες της κυρτότητας της επιφάνειας της ψήκτρας και ο μεταγωγός είναι ίσος,

δηλ. ότι οι ψήκτρες είναι θεμελιωμένες.

**Πίνακας 1.1**

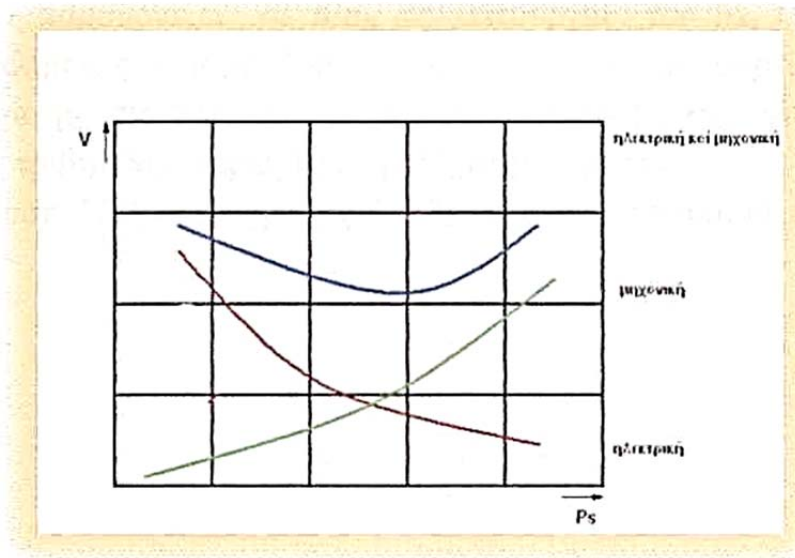
Τύπος	Πυκνότητα ρεύματος A/cm <sup>2</sup>	Πίεση cN/cm <sup>2</sup>	Σχετική αντίσταση Ω mm <sup>2</sup> /m	Ταχύτητα m/s	Πτώση τάσης ανα ψήκτρα V	
Σκληρές ψήκτρες άνθρακα	6 - 8	150 - 300	50 - 350	15 - 25	> 1.5	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ AC
Ψήκτρες ρητίνης γραφίτη	6 - 12	200 - 300	60 - 350	15 - 35	> 1.5	
Ψήκτρες απο ηλεκτρογραφίτη	10 - 16	160 - 300	15 - 100	40 - 60	0.75 - 1.5	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ DC
Ψήκτρες από γραφίτη μετάλλων	15 - 25	200 - 600	0.2 - 20	< 30	0.75 - 1.5	

## 7.4 Απόδοση λειτουργίας

### 7.4.1 Χαρακτηριστικά λειτουργίας

Η χαρακτηριστική ροπή-ταχύτητας μπορεί να συναχθεί από την εξίσωση 1.7 και 1.11. Επειδή όλες οι ροές είναι ανάλογες προς το ρεύμα οπλισμού  $I_A$  σε μια μαγνητικά ακόρεστη μηχανή, οι σταθερές **k3** και **k6** **ι)μπορούν να καθοριστούν**





Εικόνα 7.11 Ποσοστό ένδυσσης ψηκτρών ως λειτουργία της πίεσης των επαφών Pb

$$\begin{aligned} |\Phi_{lR}| &= k_3 |I_A| \\ |\Phi_{EG}| &= k_4 |I_A| \\ |\Phi_{EG}| &= k_4 |I_A| \\ |\Phi_{EG}| &= k_4 |I_A| \end{aligned}$$

95

και

(εξ. 1.24)

$$n = \frac{\sqrt{2}}{c_R k_3} \left[ \sqrt{\frac{|U|^2 - c_R k_1}{2\sqrt{2\pi M_i}} - \left[ \frac{\omega}{2\sqrt{2}} (N_E (k_3 + k_4) + N_A (k_5 + k_6 \sigma \nu \beta - k_3 \eta \mu \beta)) \right]} - (R_A + R_E) - \frac{|U_B| \sqrt{c_R k_1}}{\sqrt{2\sqrt{2\pi M_i}}}] \right]$$

(εξ. 1.25)

ii) μπορούν να παραχθούν.

Η ταχύτητα  $n$  επομένως, εξαρτάται από  $1/\sqrt{M}$ . Έναντι της μηχανής DC σειράς, η μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος τρέχει πιο αργά εξ αιτίας του όρου που περιλαμβάνει το  $\omega$  στην εξίσωση 1.25. Εάν η μηχανή πρόκειται να τροφοδοτηθεί από DC ρεύμα, ο αριθμός στροφών της περιέλιξης τομέων πρέπει να αυξηθεί με ένα συμπληρωματικό τύλιγμα.

Η εικόνα 7.12 παρουσιάζει σε  $n/n_N$  ως λειτουργία του  $M_i / M_N$  επάνω σε ενοποιημένες κλίμακες ανά μονάδα. Ελλείψει της ροπής φορτίων, η ταχύτητα μπορεί, ανάλογα με τις περιστάσεις, να γίνει απαράδεκτα υψηλή. Στις μικρές μηχανές η ροπή τριβής  $M_R$  περιορίζει την ταχύτητα αρκετά.

Από την εξίσωση 1.13, παράγραφος 7.3.3, το ρεύμα οπλισμού σε μια ακόρεστη μηχανή είναι:

$$|I_A| = \sqrt{\frac{2\sqrt{2}\pi}{c_R k_1}} \sqrt{M_i} \quad (\text{εξ. 1.26})$$

Επειδή ο κορεσμός σιδήρου κατά μήκος του άμεσου άξονα του μαγνητικού κυκλώματος αυξάνεται σταδιακά με το φορτίο, το ρεύμα οπλισμού για μια απαραίτητη ροπή είναι μεγαλύτερο από ότι η εξίσωση 1.26 θα πρόβλεπε.

Εξ' αιτίας της σχετικά υψηλής αυτεπαγωγής του τυλίγματος τομέων, το αρχικό ρεύμα και η αρχική ροπή, τρεις έως πέντε φορές στις τιμές πλήρης-φορτίων, είναι συγκριτικά μικρή, έτσι ώστε η άμεση μετατροπή είναι δυνατή.

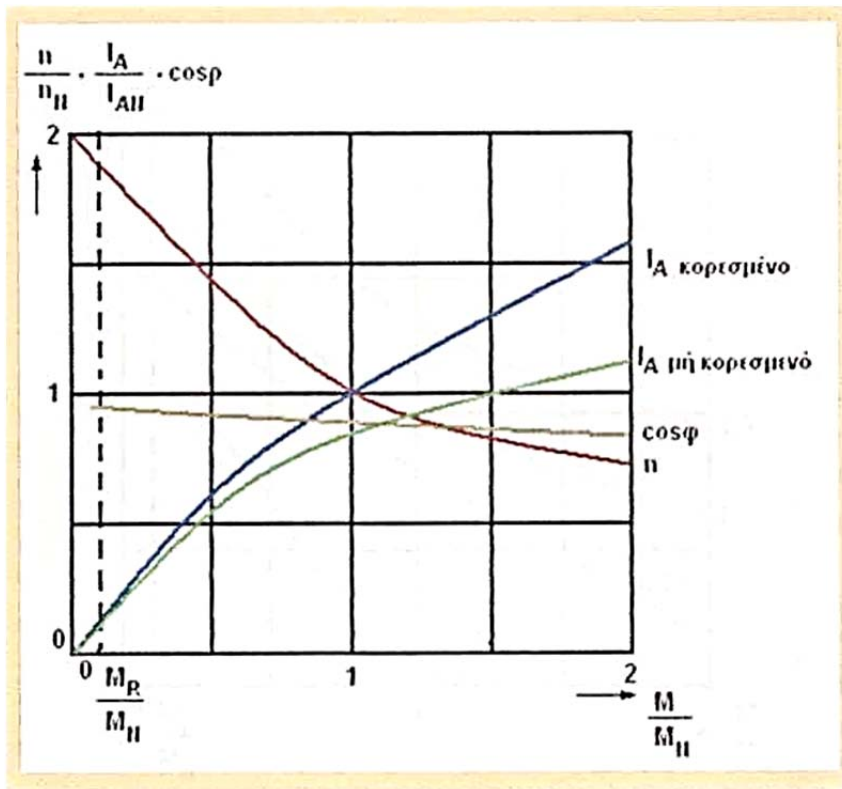
Ο παράγοντας ισχύος  $\cos\phi$  εξαρτάται από το φορτίο. Σε χαμηλή ταχύτητα, η  $U_{qr}$  είναι μικρή και το  $1A$ , και η πτώση τάσης που πηγαίνει με αυτό, είναι αντίστοιχα μεγάλη, έτσι ώστε η γωνία φάσης μεταξύ του  $U$  και του  $I$  είναι σχετικά μεγάλη. Σε υψηλή ταχύτητα, το  $U_{qr}$  είναι επίσης μεγάλο και η πτώση του ρεύματος και η πτώση τάσης γίνονται μικρότερες, έτσι ώστε το  $\phi$  γίνεται επίσης μικρότερο (σχήμα 7.12). Όταν η μηχανή τροφοδοτείται με συνεχή τάση (ως εκ τούτου  $\omega = 0$ ) και τα φασικά  $I_a, U, U_B$  και  $\phi/\sqrt{2}$  μπορούν να αντικατασταθούν στις εξισώσεις 1.25 και 1.26 με τις DC ισοδύναμες τιμές τους, αποκομίζουμε ταχύτητα:

$$n = (U - U_B) \sqrt{\frac{k_1}{k_3^2 2\pi c_R} \frac{1}{\sqrt{M_i}}} - \frac{R_A + R_B}{c_R k_3} \quad (\text{εξ. 1.27})$$

και ρεύμα οπλισμού:

$$I_A = \sqrt{\frac{2\pi}{c_R k_1}} \sqrt{M_i} \quad (\text{εξ. 1.28})$$





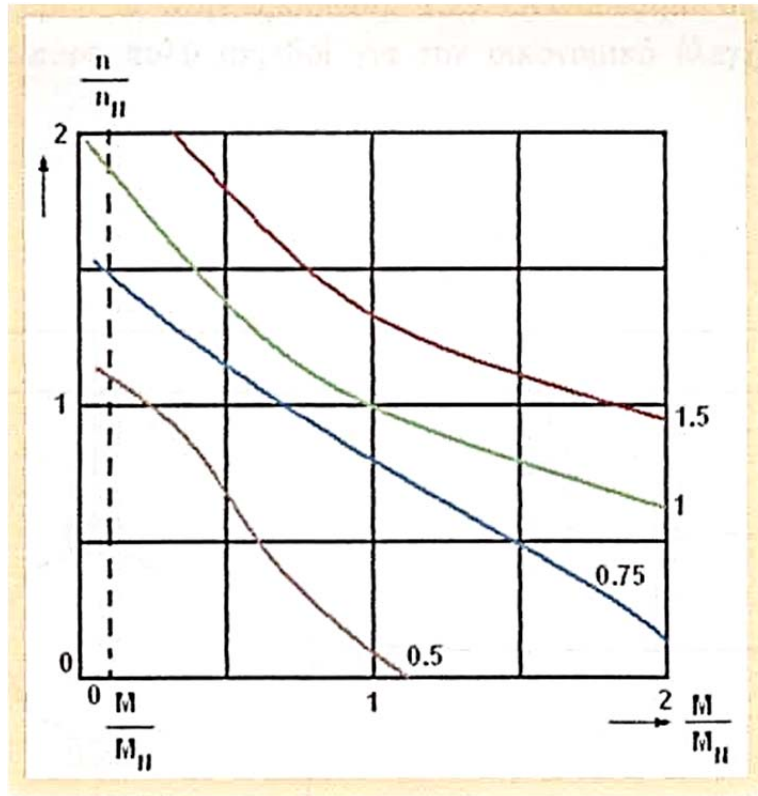
Εικόνα 7.12 Χαρακτηριστικές λειτουργίας ενός Universal κινητήρα που τροφοδοτείται από 50Hz

### 7.4.2 Έλεγχος ταχύτητας

Η εξίσωση 1.25 δείχνει ότι η αλλαγή ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί με τη ρύθμιση της τάσης τροφοδοσίας  $U$ , της συχνότητας τροφοδοσίας  $f$ , του αριθμού των στροφών του τυλίγματος τομέων  $N_E$  ή των αντιστάσεων  $R_E$  και  $R_A$

#### 7.4.2.1 Παραλλαγή της τελικής τάσης $U$

Οι χαρακτηριστικές  $\eta(M_i)$  για εύρος των τελικών τάσεων είναι σύμφωνα με την εξίσωση 1.13. Το εύρος λειτουργίας περιορίζεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα και το μέγιστο επιτρεπόμενο παραγόμενο ρεύμα διεγέρσεως που θερμαίνει κατά τη διάρκεια της συνεχούς περιστροφής. Αυτό το ρεύμα διεγέρσεως εξαρτάται από την αρχική ροπή φορτίων όχι στην τελική τάση (βλ. εξίσ. 1.26).



Εικόνα 7.13 Ρύθμιση ταχύτητας μέσω της παραλλαγής τάσης τροφοδοσίας

Η τελική τάση μπορεί να ελεγχθεί απλά από το ηλεκτρονικό κύκλωμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 7.14.

Ένα Triac τοποθετείται μεταξύ της μηχανής και τροφοδοσίας και ελέγχεται από ένα απλό κύκλωμα πυροδότησης. Ο χρόνος φόρτωσης ενός κυκλώματος RC μπορεί να ρυθμιστεί με τη βοήθεια ενός μεταβλητού αντιστάτη R.

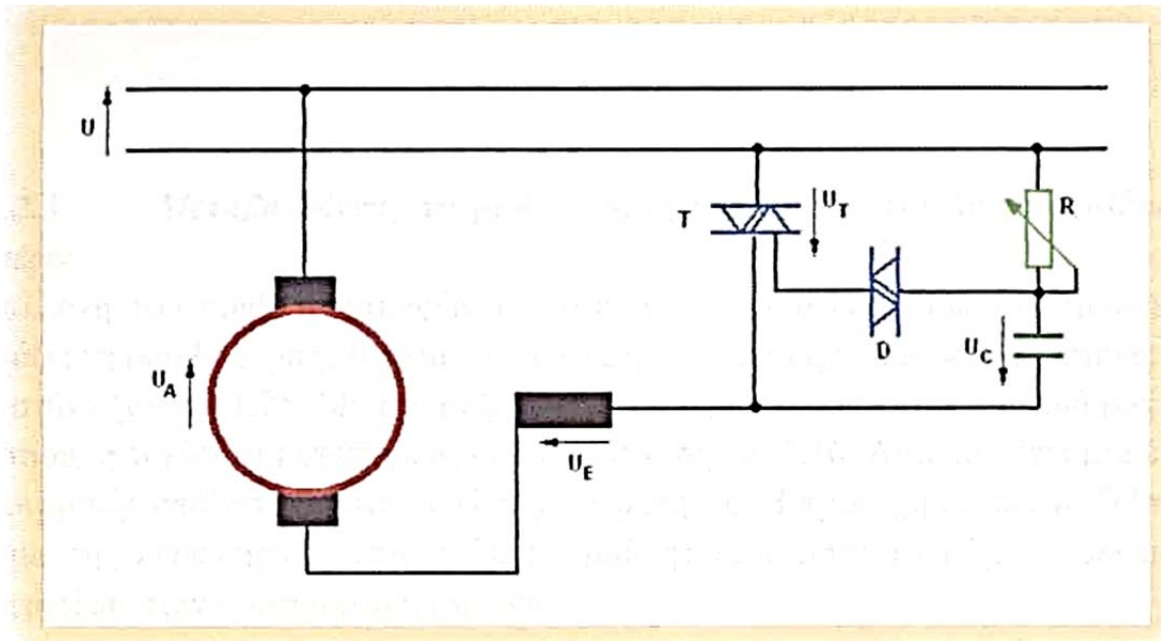
Όταν η τάση πυκνωτών  $U_c$  γίνεται αυτό της τάσης ανάφλεξης  $U_D$  του diac D, ο πυκνωτής C ξεφορτίζει μέσω του κυκλώματος πυλών του triac. Το Triac διεγείρεται και διευθύνει έτσι ώστε η τάση τροφοδοσίας που συνδέεται με τη μηχανή από αυτήν την στιγμή έως ότου το ρεύμα της περιέλιξης γίνει πάλι μηδέν, όπου Triac γίνεται ανοιχτό κύκλωμα πάλι.

Αυτή η ακολουθία επαναλαμβάνεται για το κάθε μισή περίοδο της τροφοδοσίας. Με τη ρύθμιση της στιγμιαίας πυροδότησης (με R) το ολοκλήρωμα τάση - χρόνος της εφαρμοσμένης τάσης, και ως εκ τούτου η τιμή RMS της, ελέγχεται.

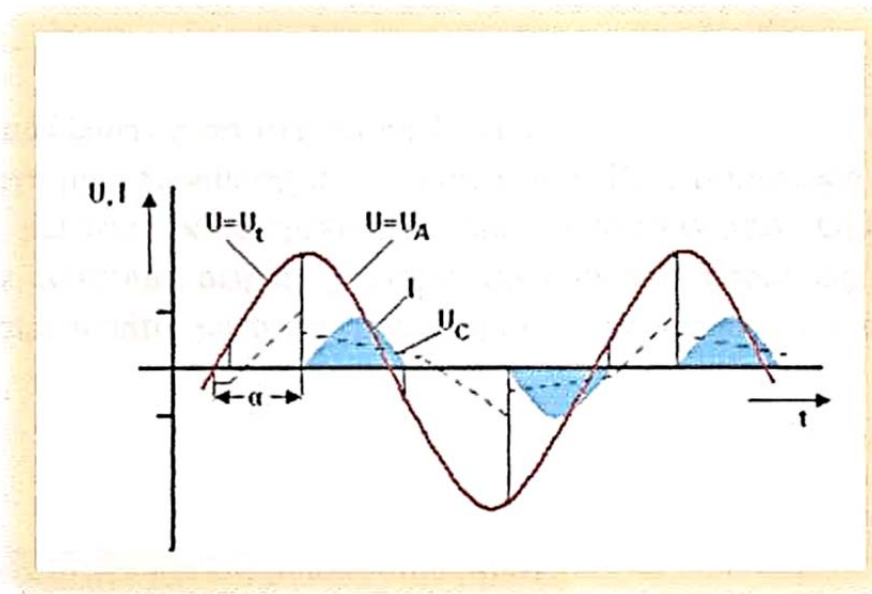
### 7.4.2.2 Αλλαγή της συχνότητας $f$ τροφοδοσίας

Όπως το σχήμα 7.15 παρουσιάζει, η αύξηση της συχνότητας ανεφοδιασμού ελαττώνει τη χαρακτηριστική ροπή-ταχύτητας. Αυτή η επίδραση είναι προβλέψιμη από την ανάμειξη του όρου  $\omega$  στην εξίσωση 1.25. Οι διαθέσιμοι σήμερα μετατροπείς συχνότητας είναι πάρα πολύ ακριβοί για τον οικονομικό έλεγχο ταχύτητας των μηχανών.

Εικόνα 7.14



99



Εικόνα 7.15 Κύκλωμα ενός ελεγκτή εναλλασσόμενου ρεύματος και οι χρονικά εξαρτημένες λειτουργίες της τάσης και του ρεύματος τυλίγματος

$U_i$  = τάση στο triac

$U_A$  = τάση στη μηχανή

$U_C$  = τάση στον πυκνωτή.

$a$  = γωνία πυροδότησης

$i$  = ρεύμα μηχανής

#### **7.4.2.3 Μεταβαλλόντας τη ροή διέγερσης $\Phi_{lh}$ μέσω ταπών του τυλίγματος τομέων.**

Η αλλαγή του αριθμού στροφών σπειρών τού πηνίου  $N_e$  μέσω του τρυπήματος αλλάζει τη ροή διέγερσης  $\Phi_e$  και επομένως η,  $\Phi_{lh}$  καθώς επίσης και τις σταθερές  $k_1$   $k_2$  στην εξίσωση 1.25. Με την αυξανόμενη διέγερση η ροή και η σταθερή ροπή του φορτίου, η ταχύτητα πέφτει όπως φαίνεται στο σχήμα 1.16. Αυτό παρέχει μία έννοια οικονομικής απόδοσης βηματικού ελέγχου ταχύτητας. Η προσοχή πρέπει να δοθεί στο ρεύμα της περιέλιξης στην αλλαγή κρούσης έτσι ώστε το μέγιστο ρεύμα δεν ξεπερνιέται όταν φορτώνεται η μηχανή.

#### **7.4.2.4 Μεταβάλλοντας την αντίσταση $R_A + R_E$**

Με την αλλαγή μιας πρόσθετης αντίστασης σειράς  $R_s$  στο κύκλωμα η τελική τάση της μηχανής μειώνεται κατά τρόπο εξαρτώμενο από το φορτίο. Οι απώλειες  $I_A^2 R_s$  σε αυτήν την αντίσταση σειράς μειώνουν την απόδοση. Επομένως, αυτή η μορφή ελέγχου χρησιμοποιείται μόνο για μικρές χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια της έναρξης.

### **7.5 Τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές παρεμβολές**

Το ρεύμα μεταφέρεται στη διάταξη ψήκτρα - μεταγωγός - φραγμούς που συμβαίνει ως αποτέλεσμα των διακινούμενων παλμών τού ρεύματος που διαπερνούν μέσω της επιφάνειας όρφνωσης και της μονωτικής ταινίας στην επιφάνεια της επαφής. Συνεπώς η τάση επαφών έχει ένα υψηλό εύρος ζώνης αρμονικών. Επίσης, το εύρος ζώνης υψηλών συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που προκαλούνται από την επαφή των ψηκτρών που σπινθηρίζουν.

Η έγχυση τάσης στους κεντρικούς αγωγούς πρέπει να περιοριστεί στα αποδεκτά επίπεδα με χαμηλής διέλευσης φίλτρα που συνδέονται μεταξύ της μηχανής και της τροφοδοσίας σε ένα φάσμα συχνοτήτων 0,15-0,30 MHz σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα των προδιαγραφών. Όπως και την έγχυση της τροφοδοσίας ,υπάρχει ακτινοβολία από την ανάφλεξη στο φάσμα συχνοτήτων 30-300 MHz που ελέγχεται. Αυτό είναι μόνο δυνατό από τον προσεκτικό σχεδιασμό των συστημάτων μετατροπής και όπου είναι απαραίτητο , από μεταλλική διάταξη.

## **7.6 Εφαρμογές**

Οι Κινητήρες Universal χρησιμοποιούνται, πρώτιστα, ως άμεση οδήγηση για τις γρήγορα περιστρεφόμενες χαμηλής ισχύος συσκευές όπως οι μύλοι καφέ, ηλεκτρικές σκούπες, ανεμιστήρες ή ως φυγοκεντρικές. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μηχανικά γρανάζια υποπολλαπλασιασμού όπου η υψηλή ισχύς μαζί με τη μικρή ποσότητα απαιτείται, όπως στα ηλεκτρικά εργαλεία, τα πλυντήρια ρούχων και στις οικιακές συσκευές. Όχι μόνο έχουν το πλεονέκτημα του μικρού όγκου, αλλά και της ικανότητας παραλλαγής ταχύτητας πέρα από ένα ευρύ φάσμα και σχετικά υψηλή αρχική ροπή. Οι μικρές μηχανές σειράς συνεχούς τάσης βρίσκουν εφαρμογή στα μηχανοκίνητα οχήματα ως μηχανές εκκινήτων. *Σημείωση:* ουσιαστικά όλοι μικροί κινητήρες στα οχήματα είναι τώρα DC μηχανές μόνιμου-μαγνήτη . Περίπου το 50% των εκκινήτων χρησιμοποιούν τομείς σειράς.

Το σχέδιο της *μηχανής προσαρμόζεται* συνήθως στην *εφαρμογή* κίνησης. Μία σημαντική εκτίμηση με τις Universal μηχανές είναι το service για πάντα και η σχέση του στη μετατροπή. Η ένδυση των ψηκτρών περιορίζει το συνεχή τρέχοντα χρόνο από οποιοσδήποτε συσκευή που οδηγούνται από μια *Universal μηχανή*. Ο πίνακας 1.2 δείχνει τη διάρκεια ζωής της ψήκτρας σε ορισμένα είδη συσκευών. Ανάλογα με τις περιστάσεις, ο μεταγωγός απαιτεί μια ακριβή ρουτίνα συντήρησης για μια μηχανή.

πίνακας 1.2

Συσκευή	Διάρκεια ζωής ψυκτρών σε ώρες
Τυλέτυπος	2000 – 3000
Ηλεκτρικές σκούπες	700 – 1500
Ηλεκτρικά μίξερ χειρός	250 – 500
Μύλος καφέ	5 - 100

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Ηλεκτρικές Μηχανές»  
Νικόλαου Ι. Νικολαΐδη
- «Ηλεκτρικές Μηχανές»  
Αντώνη Τσακίρη
- «Ηλεκτρικές Μηχανές  
Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος»  
Ίδρυμα Ευγενίδη
- «Ηλεκτρικές Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος»  
Βαγγέλη Στεργίου — Στέφανου Τουλόγλου
- «Ηλεκτρικές Μηχανές Εναλλασσόμενου Ρεύματος»  
Βαγγέλη Στεργίου — Στέφανου Τουλόγλου
- «*AC-DC Electric Motors*»  
*Stephen Chapman*
- «*Electrical Transformers and Rotating Machines*»  
Stephen L Herman
- «*Small Electric Engines*»  
Jurgen Dreger