



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

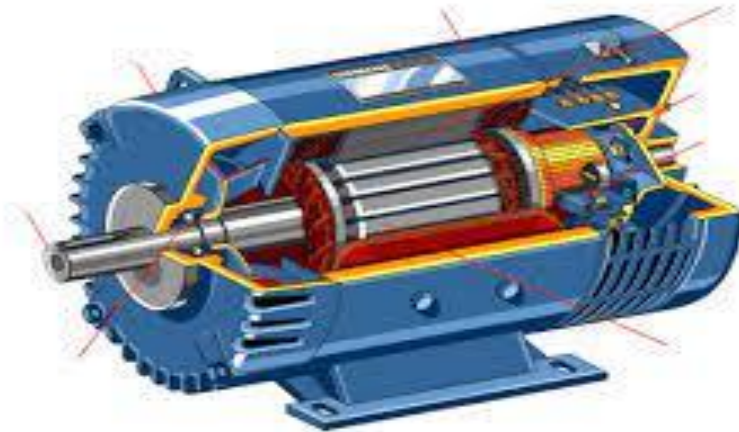
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ:**

**ΝΑΣΗΣ ΑΓΓΕΛΗΣ 7411**

**ΡΑΛΛΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ 7376**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ, 2022**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η τρέχουσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και στην σχεδίαση κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Αυτή η εργασία θα αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια από τα οποία το πρώτο , θα είναι μια εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος όπως τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Το δεύτερο κεφάλαιο θα αναφέρεται στις βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος όπως , στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης , διέγερσης σειράς , σύνθετης διέγερσης.

Το τρίτο κεφάλαιο θα αναφέρεται στη ροή ισχύος και στις απώλειες κινητήρων συνεχούς ρεύματος όπως απώλειες χαλκών , ψηκτρών , πυρήνα , μηχανικές και κατανεμημένες απώλειες κ.α

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη για την κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης με χαρακτηριστικά : τάση 440 V , ισχύς εισόδου 15 KW , ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm , αριθμός πόλων 4 , βαθμός απόδοσης 88%.

## Περιεχόμενα

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....  | <b>ii</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος</b> .....                | <b>1</b>  |
| <b>Εισαγωγή</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>1.1</b> Εισαγωγή για τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων.....                    | 2         |
| <b>1.2</b> Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.....                  | 4         |
| 1.2.1 Κατασκευή των πόλων και του πλαισίου.....  | 4         |
| 1.2.2 Κατασκευή δρομέα.....  | 6         |
| 1.2.3 Ο συλλέκτης και οι ψήκτρες.....  | 6         |
| 1.2.4 Οι μονώσεις των τυλιγμάτων.....  | 7         |
| 1.2.5 Τυλίγματα.....   | 8         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:Κινητήρα συνεχούς ρεύματος και οι κατηγορίες του</b> .....           | <b>10</b> |
| <b>2.1</b> Ισοδύναμο και καμπύλη μαγνήτισης κινητήρα συνεχούς ρεύματος.....                    | 10        |
| <b>2.2</b> Βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος.....                                 | 12        |
| 2.2.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος(ξένης διέγερσης).....  | 12        |
| 2.2.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος(παράλληλης διέγερσης).....                                   | 16        |
| 2.2.3 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος(διέγερσης σειράς).....                                       | 21        |
| 2.2.4 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος(σύνθετης διέγερσης).....                                     | 25        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: Ροή ισχύος και απώλειες κινητήρων συνεχούς ρεύματος</b> .....       | <b>31</b> |
| <b>3.1</b> Ανάλυση και κατασκευή για τις τέσσερις κατηγορίες κινητήρων.....                    | 31        |
| 3.1.1 Απώλειες Χαλκών.....   | 32        |
| 3.1.2 Απώλειες Ψηκτρών.....  | 32        |
| 3.1.3 Απώλειες Πυρήνα.....   | 32        |
| 3.1.4 Μηχανικές Απώλειες.....  | 33        |
| 3.1.5 Κατανεμημένες Απώλειες.....  | 33        |
| 3.1.6 Διάγραμμα Ροής.....  | 33        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: Κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης</b> ..... | <b>35</b> |
| <b>4.1</b> Υπλογισμός μεγεθών D(διάμετρος mm) και L(μήκος mm) οπλισμού.....                    | 35        |
| <b>4.2</b> Κατασκευή οπλισμού.....   | 36        |
| <b>4.3</b> Κατασκευή αυλακίου.....   | 37        |
| <b>4.4</b> Αντίσταση τυλίγματος οπλισμού.....  | 39        |
| <b>4.5</b> Σχεδιασμός συλλέκτη.....  | 40        |
| <b>4.6</b> Απώλειες συλλέκτη.....  | 41        |
| <b>4.7</b> Κατασκευή πόλου.....  | 41        |
| <b>4.8</b> Σχεδιασμός ζυγού.....   | 42        |
| <b>4.9</b> Πυρήνας οπλισμού.....   | 43        |
| <b>4.10</b> Αμπερελίγματα ανά πόλο.....  | 44        |

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>4.11</b>         | Βάρος χαλκού στον οπλισμό .....                         | 46        |
| <b>4.12</b>         | Σχεδιασμός τυλίγματος παράλληλης διέγερσης.....         | 46        |
| <b>4.13</b>         | Τύλιγμα αντιστάθμισης .....                             | 48        |
| <b>4.14</b>         | Σχεδίαση βοηθητικών πόλων .....                         | 48        |
| <b>4.15</b>         | Πυκνότητα μαγνητικής ροής στον βοηθητικό πόλο(Βερ)..... | 49        |
| <b>4.16</b>         | Απώλειες και βαθμός απόδοσης.....                       | 53        |
| <b>4.17</b>         | Περίληψη και κατασκευή λειτουργίας .....                | 53        |
| 4.17.1              | Προδιογραφές.....                                       | 53        |
| 4.17.2              | Τύλιγμα οπλισμού .....                                  | 54        |
| 4.17.3              | Συλλέκτης.....  | 55        |
| 4.17.4              | Πυκνότητες μαγνητικής ροής.....                         | 56        |
| 4.17.5              | Τύλιγμα παράλληλης διέγερσης.....                       | 56        |
| 4.17.6              | Τύλιγμα σειράς για αντιστάθμιση .....                   | 56        |
| 4.17.7              | Βοηθητικός πόλος .....                                  | 56        |
| 4.17.8              | Αντίσταση και απώλειες .....                            | 57        |
| 4.17.9              | Βαθμός απόδοσης.....                                    | 58        |
| <b>Βιβλιογραφία</b> | .....   | <b>59</b> |



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

### **Εισαγωγή**

Οι πρώτοι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για πολλά χρόνια στην βιομηχανία ήταν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος ή κινητήρες dc οι οποίοι ανακαλύφθηκαν το 1890 στις ΗΠΑ.

Τα δύο μέρη που υπάρχουν σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι ο στάτης και ο δρομέας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος προσφέρουν εξαιρετικές δυνατότητες ρύθμισης στροφών και πολύ καλή ροπή κατά την εκκίνηση, ακόμα και σε πολύ χαμηλές στροφές.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος και ο στάτης και ο δρομέας, φέρουν τυλίγματα τα οποία θα συνδεθούν σε συνεχή τάση. Επίσης στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος τα ισχυρά ρεύματα ρέουν στα τυλίγματα του δρομέα. Για την τροφοδοσία των τυλιγμάτων αυτών υπάρχει στον άξονα του κινητήρα ένας ειδικός δακτύλιος χαλκού ο οποίος ονομάζεται συλλέκτης. Ανάλογα με την συνδεσμολογία των τυλιγμάτων του στάτη, οι κινητήρες dc διακρίνονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, διέγερσης σειράς, σύνθετης διέγερσης ή ξένης διέγερσης.

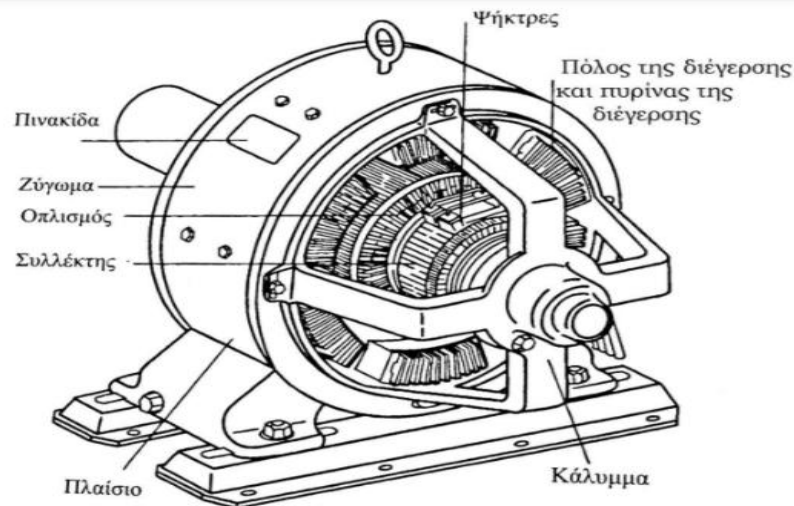
Συμπερασματικά, λοιπόν, μπορούμε να επισημάνουμε ότι μία μηχανή μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως γεννήτρια, όσο και ως κινητήρας με αποτέλεσμα αυτό να προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη φορά ροής της ισχύος. Η τροφοδοσία υψηλών ρευμάτων μέσω των ψηκτρών δημιουργεί πρόσθετες απαιτήσεις συντήρησης και επισκευών. Επιπλέον δεν είναι συνήθως διαθέσιμες πηγές τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος υψηλής ισχύος. Για τους λόγους αυτούς η χρήση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος περιορίζεται σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητοι λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών τους. Εκτός, από τις εναλλασσόμενες μηχανές οι οποίες κυριαρχούσαν εκείνη την εποχή, έχουμε τώρα τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιούνται σε επιβατικά φορτηγά και σε αεροπλάνα. Παρ' όλα αυτά, όταν ένα όχημα διαθέτει κάποιο σύστημα ισχύος το οποίο τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, προφανώς θα χρησιμοποιηθούν κινητήρες συνεχούς ρεύματος.



**Σχ.1.1: Παλιός κινητήρας Σ.Ρ.**

## 1.1 Εισαγωγή για τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος

- Τα κατασκευαστικά μέρη ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αποτελούνται από δύο μέρη: τον στάτη και τον δρομέα. Κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος αποτελείται από το ακίνητο μέρος το οποίο ονομάζεται στάτης και από το κινητό μέρος το οποίο ονομάζεται δρομέας.

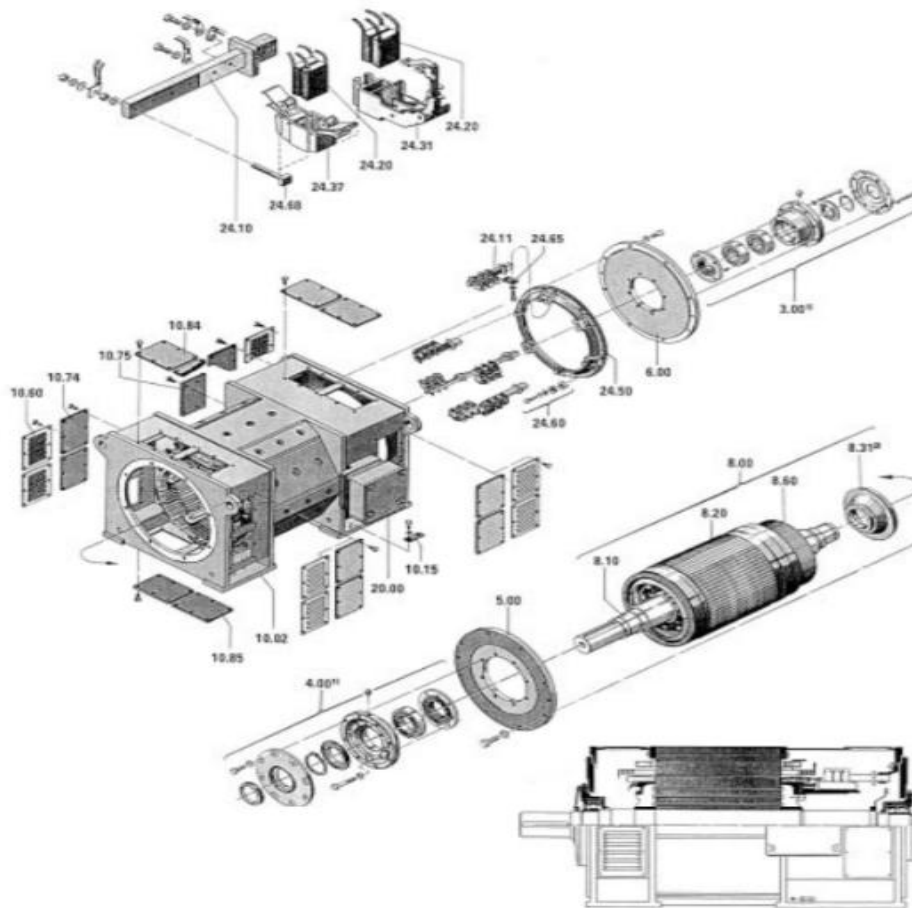


**Σχ.1.2: Σκαρίφημα μιας μηχανής Σ.Ρ.**

- Ο **στάτης** είναι το συγκρότημα των ακινήτων τμημάτων της μηχανής και έχει ως κύριο προορισμό του να δημιουργεί καθορισμένη ροή. Επίσης, το ακίνητο μέρος περιλαμβάνει το πλαίσιο-σασί πάνω στο οποίο στηρίζεται η μηχανή και τους πόλους που τοποθετούνται στο εσωτερικό του πλαισίου και παράγουν το μαγνητικό πεδίο μιας μηχανής.

### **Ο στάτης αποτελείται από:**

- Ζύγωμα
- Τους μαγνητικούς πόλους
- Τα πέδιλα των πόλων
- Τα τυλίγματα των πόλων
- Τα καλύμματα (καπάκια)
- Τους ψηκτροφορείς
- Τα σιδερένια δακτυλίδια
- Τους βραχίονες
- Τις ψηκτροθήκες
- Τις ψήκτρες
- Τα ελατήρια πίεσης των ψηκτρών



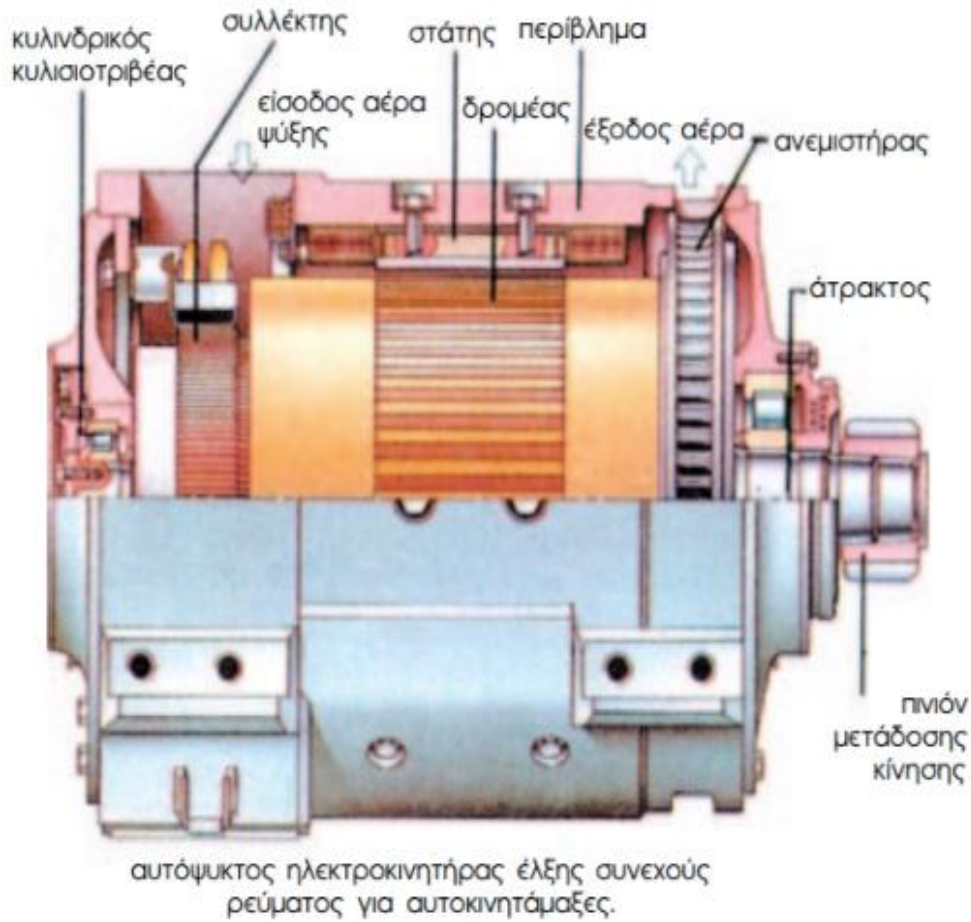
**Σχ.1.3: Αποσυναρμολογημένη μηχανή Σ.Ρ.**

- Ο **δρομέας** αποτελείται από τον άξονα, το επαγωγικό τύμπανο (πυρήνα και τύλιγμα), το συλλέκτη και τον ανεμιστήρα. Ο πυρήνας του επαγωγικού τυμπάνου καθώς και ο πυρήνας του στάτη, κατασκευάζονται από μονωμένα ελάσματα για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση των απωλειών από δινορεύματα.

**Ο δρομέας αποτελείται από:**

- Τον άξονα
- Τον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου
- Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου
- Τον συλλέκτη
- Τον ανεμιστήρα
- Την πλήμνη



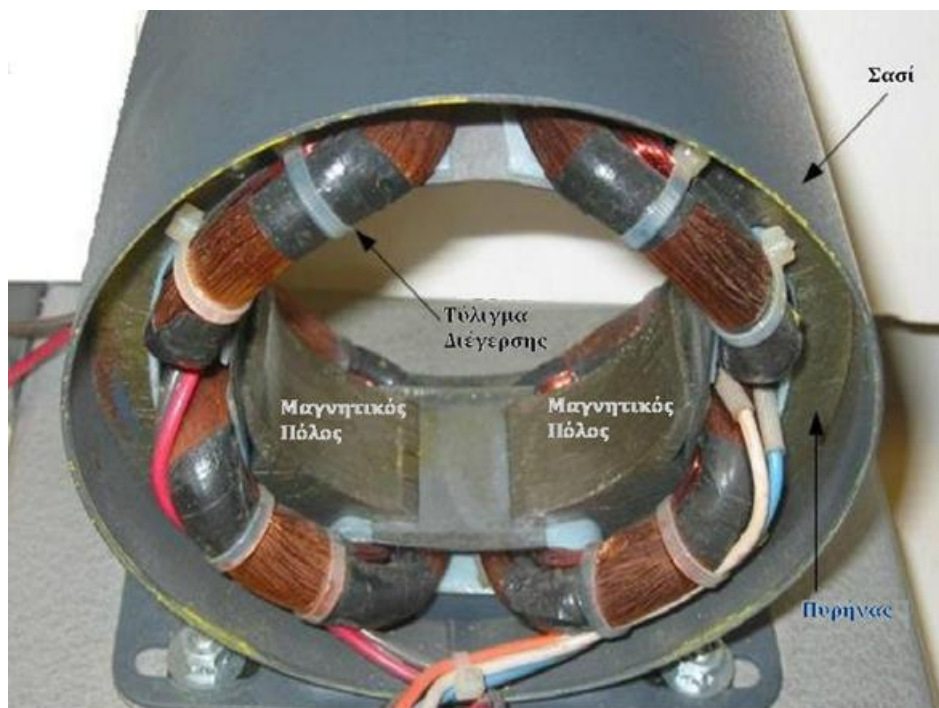


**Σχ.1.4: Τομή ηλεκτροκινητήρα Σ.Ρ ( χρησιμοποιείται σε αυτοκινητάμαξες).**

## **1.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος**

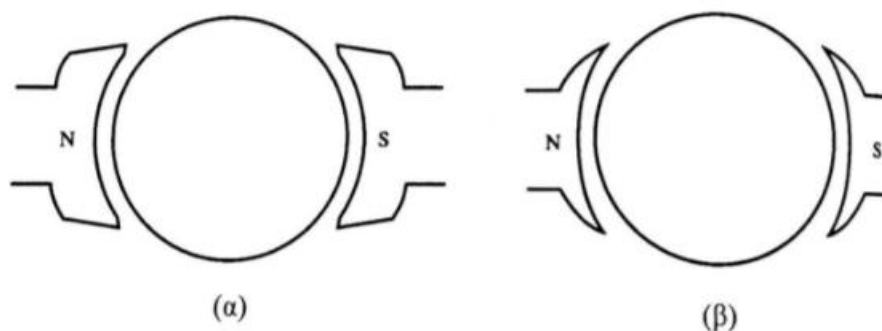
### **1.2.1 Κατασκευή των πόλων και του πλαισίου**

- Οι κύριοι πόλοι των μηχανών συνεχούς ρεύματος παλαιότερης τεχνολογίας κατασκευάζονται από απλά χυτά κομμάτια μετάλλου.



**Σχ.1.5: Σκίτσο των πόλων και του πλαισίου.**

Γύρω από τα απλά χυτά κομμάτια μετάλλου περιελισσόταν το τύλιγμα του πεδίου. Συχνά για την ελάττωση των απωλειών πυρήνα στους πόλους, οι άκρες κατασκευάζονταν από δυναμοελάσματα πάνω στα οποία τοποθετούνταν το τύλιγμα τους. Στις μέρες μας καθώς εισάγονται όλο και συχνότερα τα ηλεκτρονικά συστήματα οδήγησης των μηχανών, οι πόλοι κατασκευάζονται πάντα από δυναμοελάσματα. Αυτό συμβαίνει, επειδή οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου τροφοδοτούν τις μηχανές με τάσεις, που περιέχουν αρκετά υψηλές αρμονικές και έτσι προκαλούνται μεγάλες απώλειες δινορευμάτων στο στάτη της μηχανής. Τα πέλματα των πόλων κατασκευάζονται με τους δύο τρόπους που φαίνονται στο σχήμα 1.6 λοξότεμνα ή έκκεντρα, ώστε τα δύο άκρα του πέλματος να βρίσκονται λίγο πιο μακριά από την επιφάνεια του δρομέα από ότι βρίσκονται στο κέντρο τους. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η μαγνητική αντίσταση στα άκρα των πέλματων των πόλων πράγμα που μετριάζει το φαινόμενο συγκέντρωσης της μαγνητικής ροής που προκαλεί η αντίδραση οπλισμού.

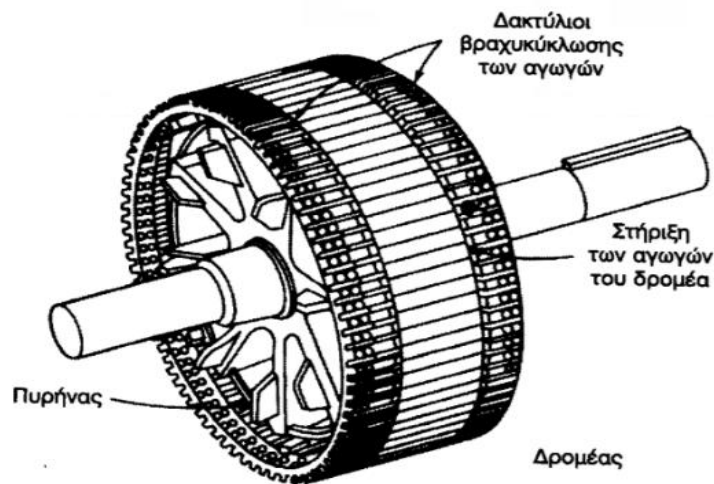


**Σχ.1.6: Ειδική σχεδίαση των πελμάτων και των έκτυπων πόλων για τον περιορισμό της αντίδρασης οπλισμού. α) λοξότεμνα, β) έκκεντρα σχεδίαση.**

Οι πόλοι των μηχανών συνεχούς ρεύματος συχνά ονομάζονται και βοηθητικοί πόλοι , επειδή προεξέχουν από την επιφάνεια του στάτη. Επίσης, οι πόλοι είναι κατασκευασμένοι από δυναμοελάσματα εξαιτίας του ίδιου προβλήματος απωλειών που εμφανίζονται στους κύριους πόλους.

### 1.2.2 Κατασκευή δρομέα

- Ο δρομέας μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από έναν χαλύβδινο άξονα όπου εκεί τοποθετείτε ο πυρήνας. Αυτός ο πυρήνας κατασκευάζεται από χαλύβδινα ελάσματα όπου πάνω σε αυτά τοποθετείτε το τύλιγμα του δρομέα.



**Σχ.1.7: Κατασκευαστικά μέρη ενός δρομέα.**

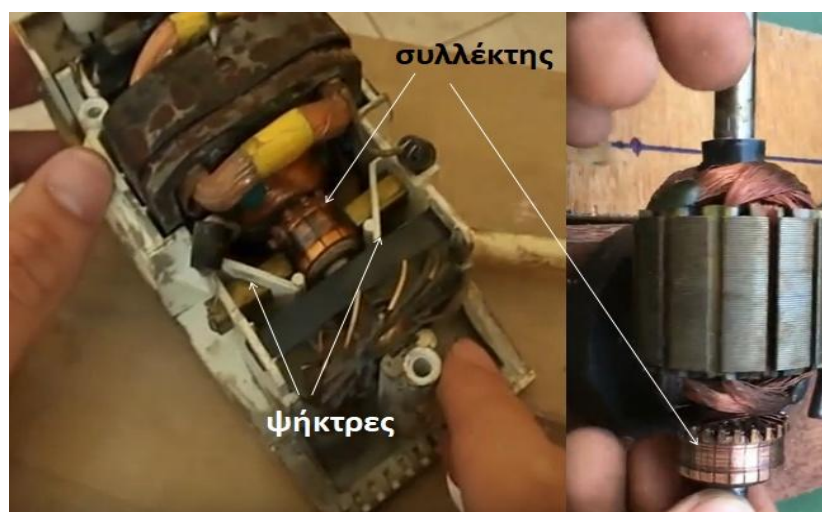
Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος τα ισχυρά ρεύματα ρέουν στα τυλίγματα του δρομέα. Κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος διαθέτει δύο κύρια τυλίγματα, το τύλιγμα του οπλισμού και το τύλιγμα διέγερσης. Το τύλιγμα του οπλισμού ορίζεται ως το τύλιγμα που επάγεται μία τάση, ενώ το τύλιγμα διέγερσης ορίζεται ως το τύλιγμα που παράγει το κύριο μαγνητικό πεδίο μιας μηχανής. Σε μια συνηθισμένη μηχανή συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται στον δρομέα.

### 1.2.3 Ο συλλέκτης και οι ψήκτρες

Ο συλλέκτης είναι ένας δακτύλιος συλλογής διαφόρων τμημάτων, χωρισμένος από ένα διηλεκτρικό υλικό, συνδεδεμένος με τις περιελίξεις του οπλισμού και τοποθετημένος απευθείας στον άξονα του κινητήρα. Ο ρόλος του συλλέκτη στις μηχανές συνεχούς ρεύματος στη λειτουργία του κινητήρα, είναι το ότι καθιστά το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος τυμπάνου σταθερό στο χώρο, παρόλο που οι αγωγοί του δρομέα περιστρέφονται. Επίσης, ο συλλέκτης για να αποφύγει οποιαδήποτε βραχυκύκλωση των τομών αυτών, τοποθετούνται μονώσεις μεταξύ τους και προς τις πλευρές των τεμαχίων συγκράτησης. Η μεταξύ τους

μόνωση γίνεται με μίκα και φίμπερ(θερμομονωτικό υλικό για μεγάλη αντοχή και διάρκεια). Παρ' όλα αυτά όμως, πιο συγκεκριμένα ο σκοπός του συλλέκτη είναι να παίρνει ή να μεταβιβάζει το ρεύμα(περίπτωση κινητήρα η γεννήτριας).

Για τις ψήκτρες κινητήρα συνεχούς ρεύματος που ανήκουν στον στάτη κατασκευάζονται από άνθρακα, από απλό ή μεταλλικό γραφίτη ή από μίγμα άνθρακα και γραφίτη. Τοποθετούνται μέσα στις ψηκτροθήκες και πιέζονται από ελατήριο, ώστε να επιτυγχάνεται καλή επαφή με την επιφάνεια του συλλέκτη. Τα ελατήρια αυτά ρυθμίζονται έτσι, ώστε η πίεση που ασκεί η ψήκτρα του συλλέκτη να μην είναι ούτε πολύ μεγάλη, ούτε πολύ μικρή. Αν η πίεση είναι μικρή, θα έχουμε κακή επαφή ψηκτρών και συλλέκτη, σπινθηρισμούς και κάψιμο του συλλέκτη. Αντίθετα, αν η πίεση είναι πολύ μεγάλη, θα έχουμε μεγάλη φθορά των ψηκτρών και υπερθέρμανση του συλλέκτη.



**Σχ.1.8: Συλλέκτης και Ψήκτρες.**

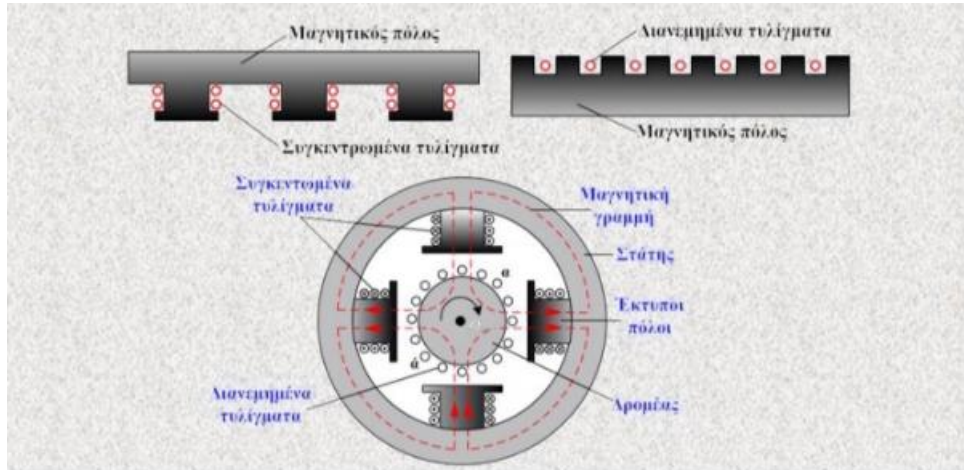
#### **1.2.4 Οι μονώσεις των τυλιγμάτων**

Οι μονώσεις των τυλιγμάτων είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη για να σχεδιαστεί μια μηχανή συνεχούς ρεύματος. Μια μηχανή βραχυκυκλώνεται όταν υπάρξει καταστροφή της μόνωσης των τυλιγμάτων. Για να γίνει επιδιόρθωση του προβλήματος λόγω του βραχυκυκλώματος που θα έχει προκληθεί είναι λίγο δύσκολο, διότι είναι πολύ δαπανηρή σαν κατασκευή. Επίσης είναι απαραίτητος ο περιορισμός της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων για τυχόν καταστροφή της μόνωσης των τυλιγμάτων.

Τέλος οι εν λόγω μονώσεις σπάνια καταστρέφονται όταν περαστεί το όριο μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη φθορά της μόνωσης και η καταστροφή της μπορεί να επέλθει και από άλλους παράγοντες, όπως με ένα δυνατό χτύπημα, λόγο ταλαντώσεων, ή κάποιου ηλεκτρικού προβλήματος που μπορεί να εμφανιστεί.

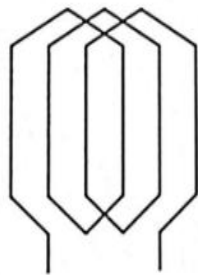
## 1.2.5 Τυλίγματα

Ένα βασικό στοιχείο των ηλεκτρικών μηχανών είναι τα τυλίγματα τα οποία τροφοδοτούνται με συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο σκοπός των τυλιγμάτων είναι η δημιουργία και η κατάλληλη διαμόρφωση (μορφή και μέγεθος) των μαγνητικών πεδίων.

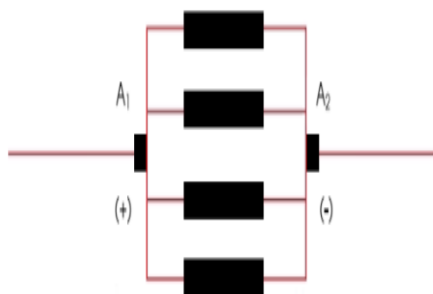


**Σχ.1.9: Αρχή λειτουργίας τυλιγμάτων.**

- Παρ' όλα αυτά με τον τρόπο που συνδέονται τα τυλίγματα έχουμε δύο κατηγορίες και διακρίνονται σε: 1) βροχοτυλίγματα και 2) κυματοτυλίγματα.
- Τα **βροχοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές χαμηλής τάσης και υψηλής έντασης ρεύματος. Η διατομή των αγωγών αυτών, λόγω της υψηλής έντασης που διαρρέονται είναι μεγάλη. Ακόμα, όσον αφορά τα βροχοτυλίγματα συνήθως δημιουργούνται τόσο παράλληλοι κλάδοι όσοι είναι οι πόλοι της μηχανής. Έτσι, και τα ζεύγη των ψηκτρών είναι όσα και τα ζεύγη των πόλων.  
Τέλος, τα βροχοτυλίγματα συνήθως τοποθετούνται σε δύο στρώσεις μέσα στα διάκενα των οδοντώσεων.



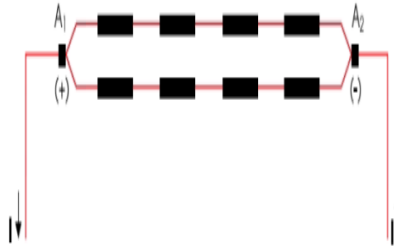
**Σχ.1.10: Βροχοειδή τύλιγμα.**



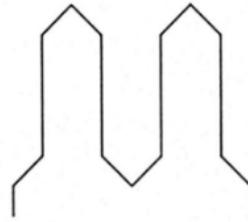
**Σχ.1.11: Παράλληλη σύνδεση περιέλιξης σε βροχοειδές τύλιγμα.**

- Τα **κυματοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές υψηλής τάσης και χαμηλής έντασης ρεύματος. Στα απλά κυματοτυλίγματα δημιουργούνται πάντοτε δύο

παράλληλοι κλάδοι τυλίγματος ανεξάρτητα από τους πόλους της μηχανής. Σε κάθε τύλιγμα χρειάζονται μόνο δύο ψήκτρες, μία αρνητική και μία θετική. Επίσης, οι περιέλιξεις των κυματοτυλιγμάτων συνδέονται σε σειρά, γιατί είναι γνωστό ότι οι τάσεις τους προστίθενται αλλά η ικανότητα παροχής ρεύματος παραμένει ίδια.



**Σχ.1.12: Σύνδεση περιέλιξης σε σειρά σε κυματοειδές τύλιγμα.**



**Σχ.1.13: Κυματοειδές τύλιγμα.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

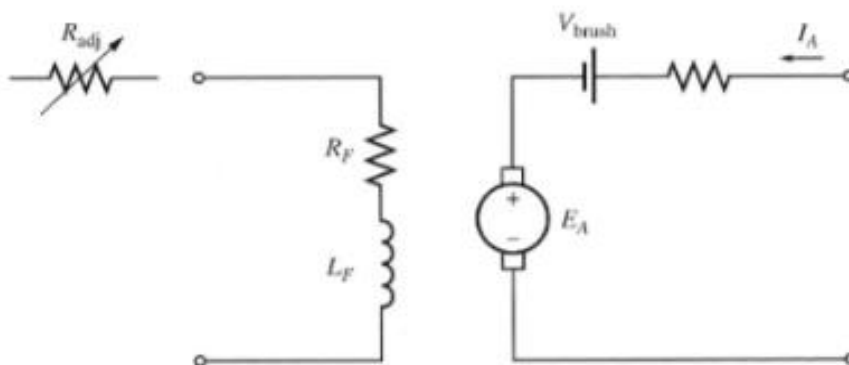
### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΥ

#### 2.1 Ισοδύναμο κύκλωμα και καμπύλη μαγνήτισης κινητήρα συνεχούς ρεύματος

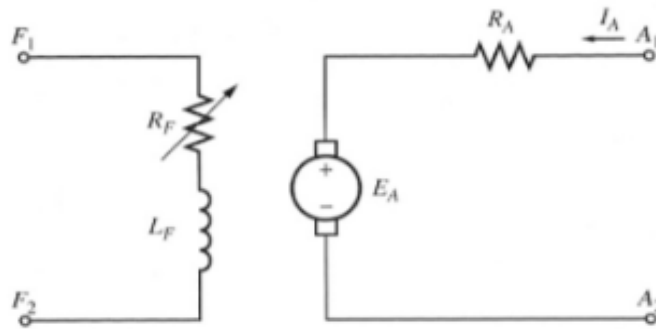
Ένας ηλεκτρικός κινητήρας παρέχει μηχανική ισχύ σε ένα φορτίο. Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται χωρίς να υπάρχει κάποιο φορτίο συνδεδεμένο, τότε η λειτουργία του χαρακτηρίζεται ως εν κενώ.

- Στους κινητήρες όπως και στις γεννήτριες, υπάρχουν κάποιες κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος και είναι οι εξής:
  - Ξένης διέγερσης
  - Παράλληλης διέγερσης
  - Διέγερσης σειράς
  - Σύνθετης διέγερσης

Για το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος στην ουσία, αφού υπάρξει αύξηση του φορτίου, η ροπή φορτίου γίνεται μεγαλύτερη από την ροπή του κινητήρα και ο κινητήρας επιβραδύνεται. Επιπλέον, η επαγόμενη τάση στο εσωτερικό του κινητήρα  $E_A$  μειώνεται και το ρεύμα οπισμού  $I_A$  αυξάνεται. Επίσης, η αύξηση του ρεύματος οπισμού προκαλεί την παραγωγή μεγαλύτερης ροπής στον κινητήρα και τελικά η ροπή του κινητήρα γίνεται με αυτή ίση με αυτή του φορτίου.



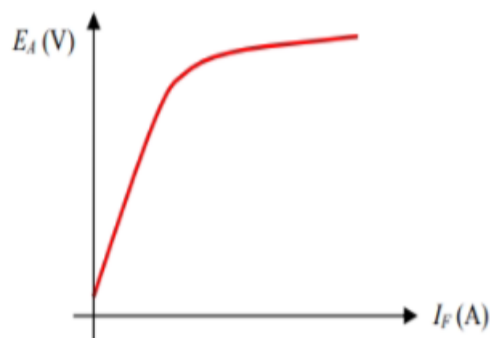
**Σχ.2.1: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.Ρ.**



**Σχ.2.2: Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα.**

Όσον αφορά για το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι παρόμοια με εκείνο που παρουσιάστηκε στην περίπτωση γεννητριών συνεχούς ρεύματος, με τη βασική διαφορά ότι η κατεύθυνση του ρεύματος του οπλισμού είναι πλέον η αντίστροφη.

Για τη καμπύλη μαγνήτισης(στατική χαρακτηριστική) ενός κινητήρα παριστάνει την μεταβολή της τάσης  $E_A$  ως προς το ρεύμα διέγερσης σε συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής. Αυτή, προκύπτει από τις σχέσεις  $E_A = K \cdot \phi \cdot \omega$  και  $N_f \cdot I_f$ , δεδομένου ότι η γραφική παράσταση της  $\phi = F(f)$  είναι η καμπύλη μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού. Για την παραγωγή όσο το δυνατό μεγαλύτερης ισχύος, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν κοντά στον κορεσμό.



**Σχ.2.3: Καμπύλη μαγνήτισης κινητήρα Σ.Ρ.**

Τέλος, οι κινητήρες αυτής της κατηγορίας τροφοδοτούνται από κάποια πηγή συνεχούς τάσης. Επίσης, κατασκευαστικά οι κινητήρες δεν έχουν μεγάλη διαφορά με τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Ένα βασικό πλεονέκτημα που υπάρχει είναι η ευκολία ελέγχου της ροπής και της ταχύτητας τους σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Αυτό που διαφέρει είναι το μέτρο σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος το οποίο είναι η διακύμανση ταχύτητας, που ορίζεται με τον τύπο:



$$SR = \frac{\omega_{nl} - \omega_{fl}}{\omega_{fl}} 100\%$$

με τους δείκτες  $n_L$  και  $f_L$  να υποδεικνύουν, αντίστοιχα, λειτουργία υπό μηδενικό και υπό πλήρες φορτίο. Θετική τιμή της SR σημαίνει μείωση της ταχύτητας του κινητήρα κατά την αύξηση του φορτίου, ενώ αρνητική τιμή της SR υποδεικνύει αύξηση της ταχύτητας κατά την αύξηση του φορτίου. Το μέγεθος αυτό εκφράζει προφανώς την ικανότητα ενός κινητήρα να διατηρεί την ταχύτητα του σταθερή, όταν θα μεταβάλλεται το εφαρμοζόμενο φορτίο.

## 2.2 Βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος

### 2.2.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (ξένης διέγερσης)

#### Εισαγωγή

Μια μηχανή συνεχούς ρεύματος μπορεί να λειτουργήσει είτε ως γεννήτρια, είτε ως κινητήρας χωρίς καμία κατασκευαστική μετατροπή. Επίσης, κατά την λειτουργία του κινητήρα μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Παρ' όλα αυτά, για να λειτουργήσει ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να του παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή παρέχεται μέσω της τροφοδοσίας του δρομέα με ρεύμα από μια πηγή συνεχούς τάσης.

Για την λειτουργία του κινητήρα απαραίτητο είναι και η ανάπτυξη της ροπής στον δρομέα. Η ροπή αυτή εμφανίζεται λόγω της δύναμης Laplace που ασκείται στους αγωγούς του δρομέα οι οποίοι διαρρέονται από ρεύμα, από το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το τύλιγμα διέγερσης του στάτη.

Η επαγόμενη ή εσωτερική ροπή ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται από την σχέση:  
 $T = K \cdot \Phi \cdot I_A$

T: επαγόμενη ή εσωτερική ροπή

Φ: Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα

K: Μια σταθερή τιμή

Εκτός της ανάπτυξης της ροπής, έχουμε και μια ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_A$  που αναπτύσσεται, λόγω της περιστροφής του μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Η σχέση που δίνεται είναι :  $E_A = K \cdot \Phi \cdot n$ .

$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

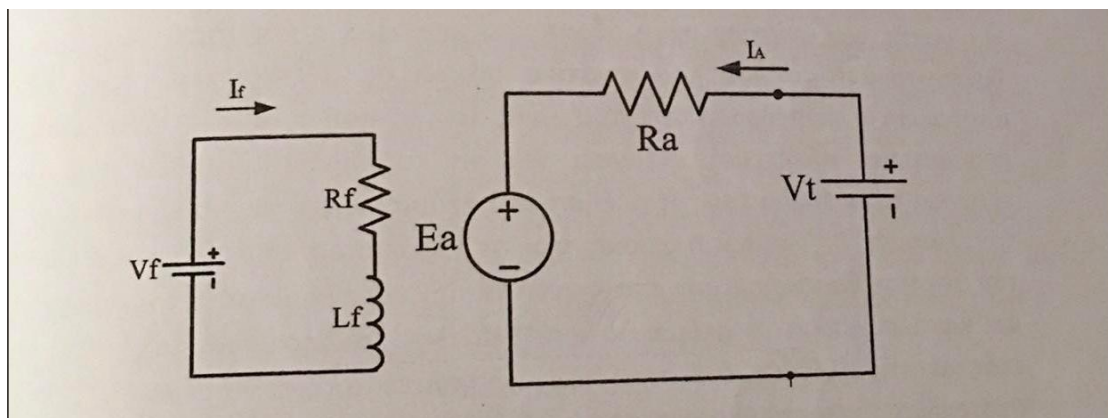
$K$ : Μια σταθερή τιμή

$\Phi$ : Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

$n$ : Ταχύτητα περιστροφής του δρομέα

### Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης είναι κατά βάση το ίδιο με αυτό της γεννήτριας Σ.Ρ. ξένης διέγερσης. Οι αλλαγές εντοπίζονται στο γεγονός ότι στους ακροδέκτες του δρομέα συνδέουμε μια πηγή συνεχούς τάσης αντί για φορτίο καθώς και στην φορά του ρεύματος του δρομέα. Το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 2.4.



**Σχ.2.4: Το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης.**

Από το ισοδύναμο κύκλωμα βγαίνει μια σχέση από τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff η οποία είναι:  
 $V_T = E_A + I_A \cdot R_a$ .

$V_T$ : Τάσης της πηγής

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα (ρεύμα του κινητήρα)

$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

$R_a$ : Η αντίσταση του δρομέα Γενικά, από την ώρα που ξεκινάει ο κινητήρας να δουλεύει θα απορροφά ένα μεγάλο ρεύμα σε σχέση με το ονομαστικό. Για τον λόγο αυτό ορίζεται με από την σχέση:  $I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}$ .

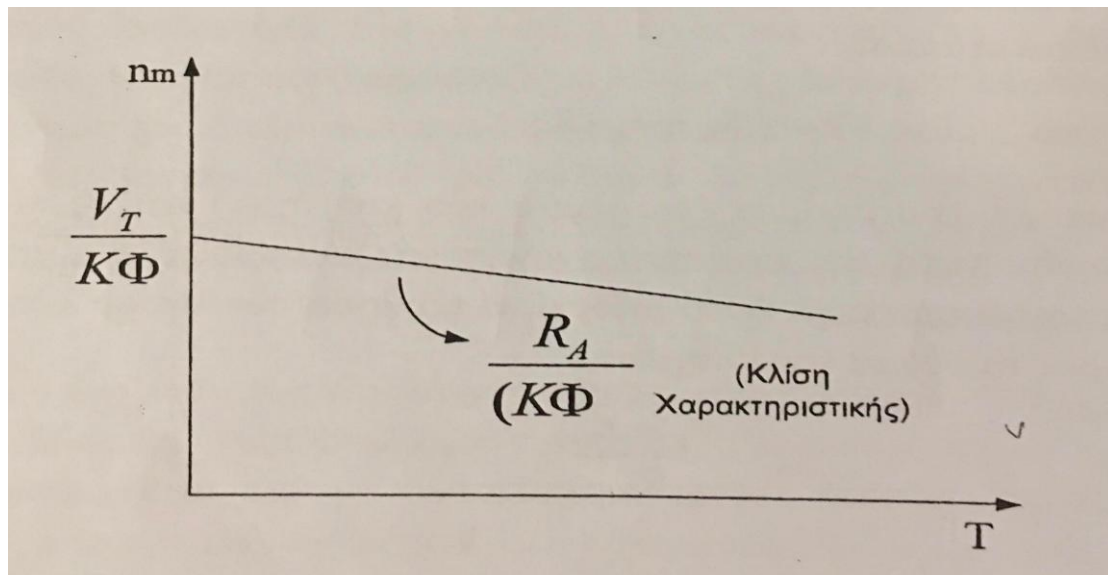
Επίσης, όταν ο κινητήρας ξεκινήσει η ηλεκτρεγερτική δύναμη ΕΑ είναι μηδέν καθώς ο δρομέας δεν περιστρέφεται. Έτσι, το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα ορίζεται:  $I_A = \frac{V_T}{R_A}$ .

### Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής

Για την χαρακτηριστική ταχύτητας και ροπής ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης, όταν το φορτίο (ροπή) στον άξονα του κινητήρα μεταβληθεί, τότε μεταβάλλονται και οι στροφές του. Με βάση τις προηγούμενες σχέσεις και λύνοντας ως προς την ταχύτητα προκύπτει:

$$n = \frac{V_T - I_A \cdot R_A}{K \cdot \Phi} \leftrightarrow n = \frac{V_T}{K \cdot \Phi} - \frac{R_A}{(K \cdot \Phi)^2} \cdot T.$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι μια ευθεία με αρνητική κλίση. Δηλαδή, με την αύξηση της ροπής του φορτίου στον άξονα του κινητήρα η ταχύτητα του μειώνεται.



**Σχ.2.5: Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής ξένης διέγερσης.**

### Ρύθμιση Ταχύτητας Κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης

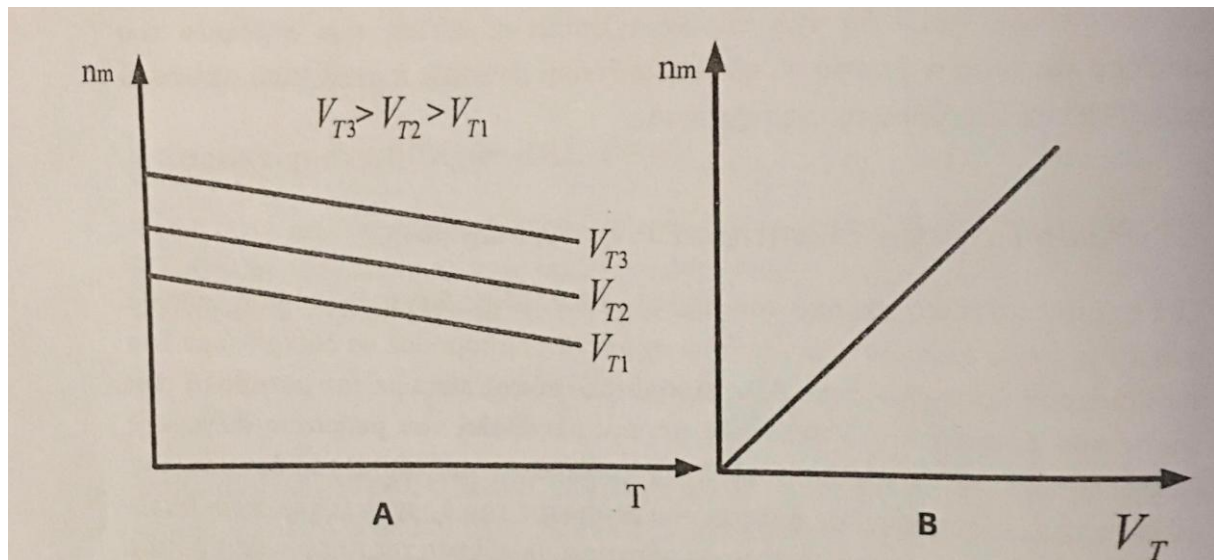
Ένα πλεονέκτημα του κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι η ευκολία ρύθμισης των στροφών. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο τρόπους ρύθμισης στροφών:

- Ο πρώτος τρόπος είναι με την μεταβολή της τάσης του δρομέα
- Ο δεύτερος τρόπος με την μεταβολή του ρεύματος διέγερσης

Στον πρώτο τρόπο έλεγχο ρύθμισης ταχύτητας η περίπτωση της τάσης του δρομέα είναι μία αύξησή της που θα οδηγήσει σε αύξηση του ρεύματος του δρομέα και στην αύξηση της

επαγόμενης ροπής του κινητήρα με αποτέλεσμα σε αύξηση των στροφών. Αντίθετα, η μείωση της τάσης θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των στροφών του κινητήρα.

Στον δεύτερο τρόπο έλεγχο ρύθμισης ταχύτητας η περίπτωση της αύξησης του ρεύματος διέγερσης θα προκαλέσει αύξηση της επαγόμενης τάσης ΕΑ και κατά συνέπεια μείωση της ταχύτητας του. Δηλαδή, η αύξηση του ρεύματος διέγερσης οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας του κινητήρα, ενώ η μείωση του ρεύματος διέγερσης οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα.



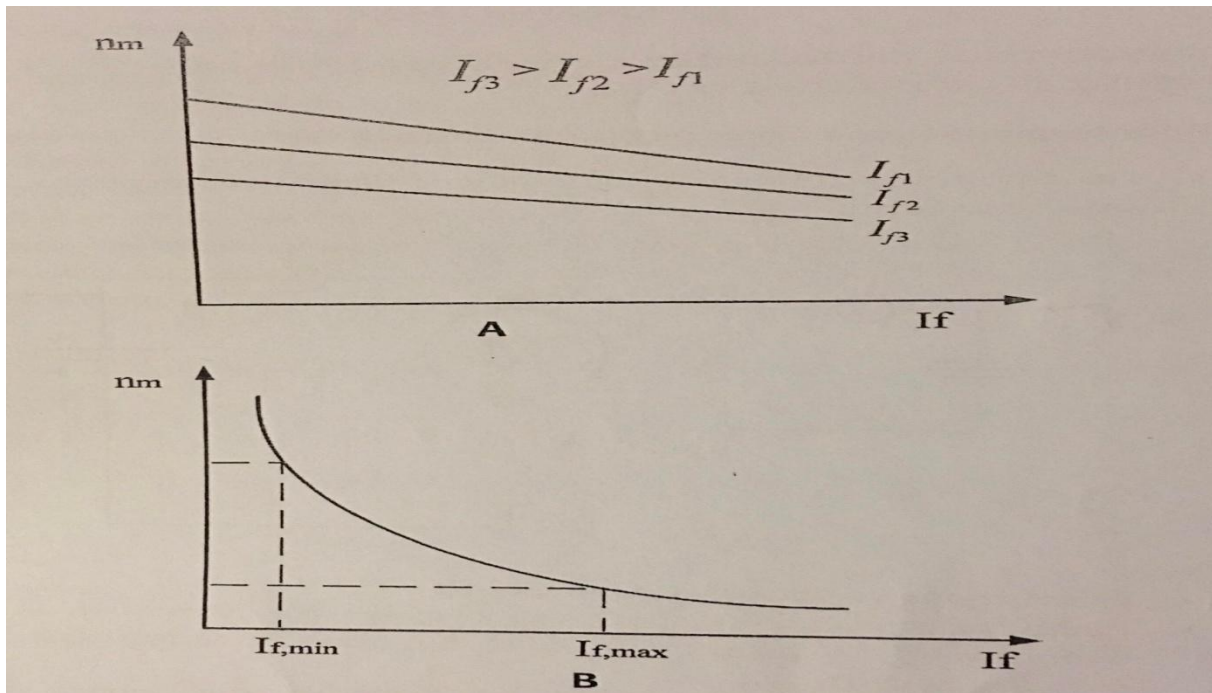
**Σχ2.6: A)Επίδραση της μεταβολής της τάσης του δρομέα στην χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής, B)Επίδραση της τάσης του δρομέα στην ταχύτητα του κινητήρα.**

### **Αλλαγή φοράς περιστροφής**

Αλλαγή φοράς περιστροφής στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης μπορεί να γίνει είτε με εναλλαγή των ακροδεκτών του τυλίγματος τυμπάνου, είτε με αλλαγή των ακροδεκτών του τυλίγματος διέγερσης.

- Αλλαγή στην κατεύθυνση του ρεύματος δρομέα(πρώτη περίπτωση)
- Αλλαγή στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου(δεύτερη περίπτωση)

έχουν σαν αποτέλεσμα την αντιστροφή της επαγόμενης ροπής στον δρομέα και κατά συνέπεια στην αλλαγή φοράς περιστροφής. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πέδηση στον κινητήρα.



**Σχ.2.7: Α) Επίδραση της μεταβολής του ρεύματος διέγερσης στη χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής, Β) Μεταβολή ταχύτητας χωρίς φορτίο συναρτήσει του ρεύματος διέγερσης.**

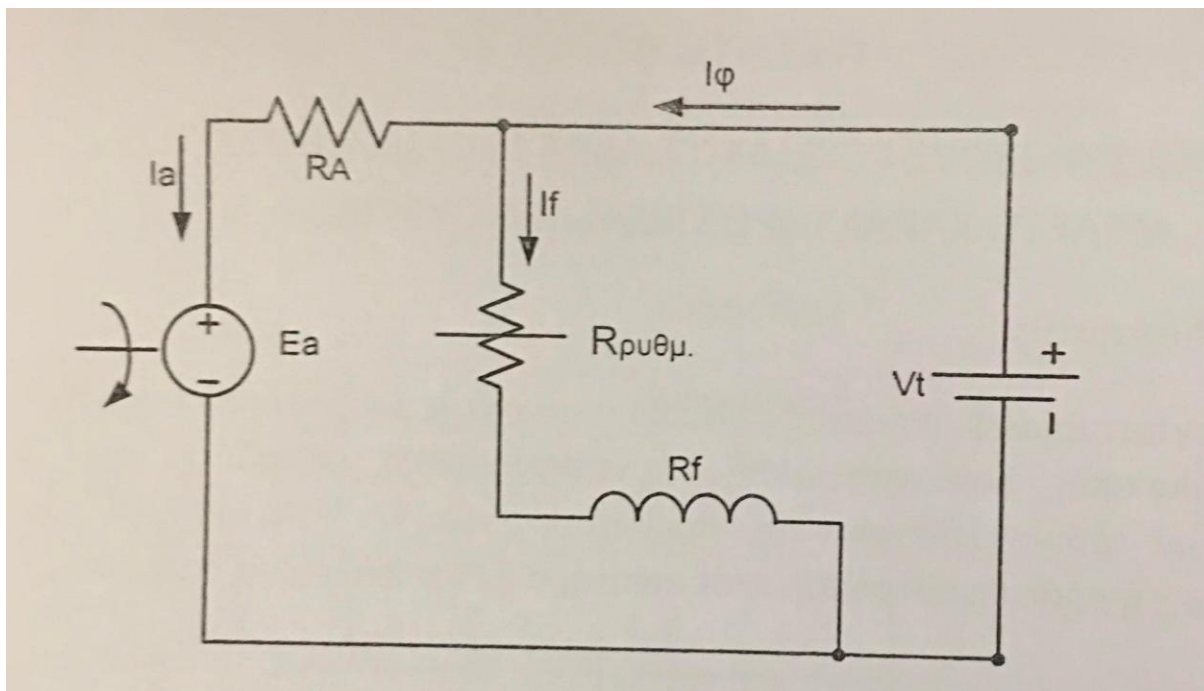
## 2.2.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (παράλληλης διέγερσης)

### Εισαγωγή

Ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης αποτελείται από το τύλιγμα διέγερσης ( $E_1-E_2$ ) και από το τύλιγμα του δρομέα ( $A_1-A_2$ ), όπου αυτά συνδέονται παράλληλα και έχουν μια πηγή τάσης ως τροφοδοσία. Το τύλιγμα διέγερσης ελέγχεται από έναν ροοστάτη, ο οποίος συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα διέγερσης. Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης πρακτικά στην μόνιμη κατάσταση συμπεριφέρεται όπως ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης.

### Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης είναι παρόμοιο με αυτό της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, με την διαφορά ότι η αλλαγή εντοπίζεται στην αναστροφή της ροπής μέσω της ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο προς την μηχανή, η οποία εκφράζεται με την αναστροφή του ρεύματος του δρομέα.



**Σχ.2.8: Το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης.**

Από το ισοδύναμο κύκλωμα και από τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff προκύπτει ότι:

$$V_T = E_A + I_A \cdot R_A.$$

$V_T$ : Τάσης της πηγής

$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα (ρεύμα του κινητήρα)

$R_a$ : Η αντίσταση του δρομέα

Επίσης ως ρεύμα φορτίου ονομάζουμε το ρεύμα που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο, γιατί καθορίζεται από το φορτίο του κινητήρα και δίνεται από την παρακάτω σχέση:  $I_\phi = I_A + I_F$ .

$I_\phi$ : Το Ρεύμα του φορτίου

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα(ρεύμα του κινητήρα)

$I_F$ : Το ρεύμα διέγερσης

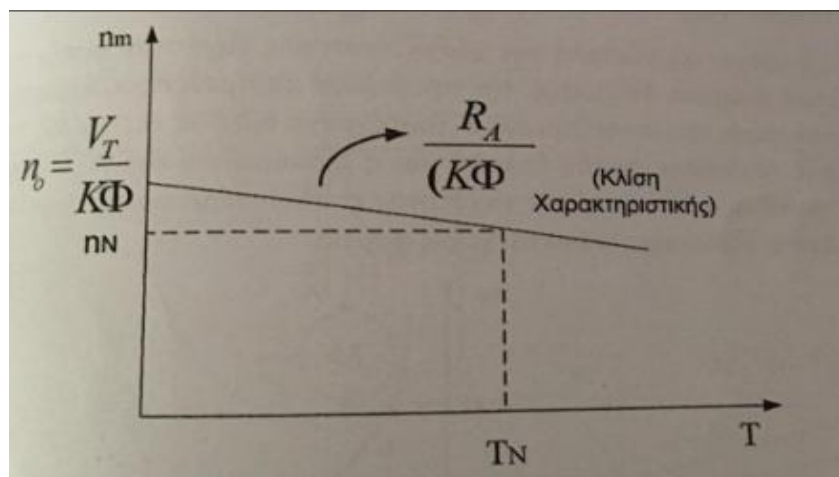
Το ρεύμα του δρομέα δίνεται από τον τύπο:  $I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A}$ , ενώ το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα όταν δεν περιστρέφεται ο δρομέας θα είναι:  $I_{AEK} = \frac{V_T}{R_A}$ .

Τέλος αν γίνει εκκίνηση με χαμηλή τάση τροφοδοσίας ή η προσθήκη εκκινητή είναι δύο τρόποι περιορισμού του ρεύματος εκκίνησης. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις ο ροοστάτης της διέγερσης πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα.

### **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ-ΡΟΠΗΣ**

Σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής δίνεται από τον παρακάτω τύπο:  $n = \frac{V_T}{K \cdot \Phi} - \frac{R_A}{(K \cdot \Phi)^2} \cdot T$

Από την παραπάνω εξίσωση  $n=f(T)$  παριστάνει μια ευθεία με αρνητική κλίση όταν έχουμε σταθερή τάση τροφοδοσίας  $V_T$  και σταθερό  $I_F$ . Η αύξηση του φορτίου οδηγεί σε αύξηση του ρεύματος  $I_\phi$  που απορροφά ο κινητήρας, κάτι που είναι δεδομένο, γιατί θα χρειαστεί περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια στην είσοδό του, ώστε να έχει μεγαλύτερη μηχανική ενέργεια στην έξοδό του. Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης προκύπτει από την παραπάνω σχέση και είναι της μορφής  $n=n_0 \cdot aT$ , για σταθερή τάση τροφοδοσίας  $V_T$ , σταθερό ρεύμα διέγερσης  $I_F$  και χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου όπου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



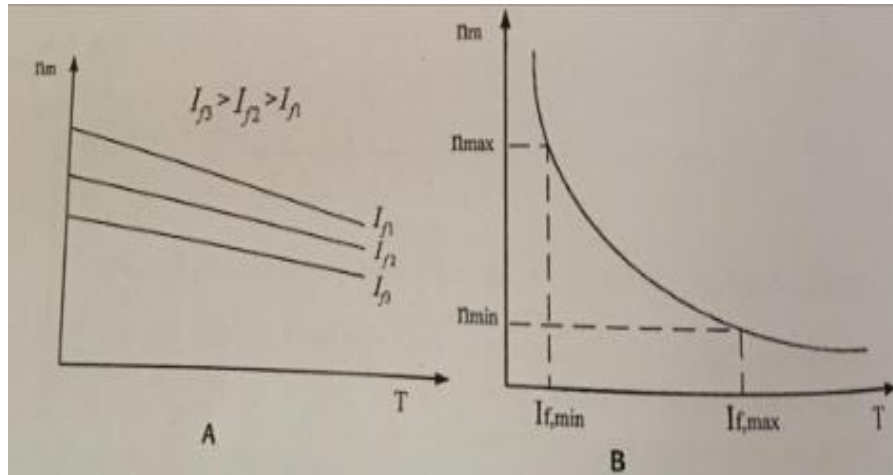
**Σχ.2.9: Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής παράλληλης διέγερσης.**

### **Ρύθμιση Ταχύτητας κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης**

Σε κάθε κινητήρα συνεχούς ρεύματος υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης των στροφών με μεταβολή:

- Της τάσης τροφοδοσίας  $V_T$  του επαγωγικού τυμπάνου
- Του ρεύματος διέγερσης

Στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης μπορούμε να εφαρμόσουμε και τους δύο τρόπους ελέγχου της ταχύτητας, αλλά συνήθως πρακτικά χρησιμοποιούμε τον έλεγχο μέσω του  $I_f$  με σταθερή την τάση τροφοδοσίας μεταβάλλοντας τόσο το ρεύμα του δρομέα όσο και αυτό της διέγερσης, τα οποία έχουν αντίθετη δράση στη διαμόρφωση των στροφών του κινητήρα.



**Σχ.2.10: Α) Επίδραση της μεταβολής του ρεύματος διέγερσης στην χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής ( $V_T = \text{σταθ.}$ ), Β) Μεταβολή της ταχύτητας χωρίς φορτίο συναρτήσει του ρεύματος διέγερσης.**

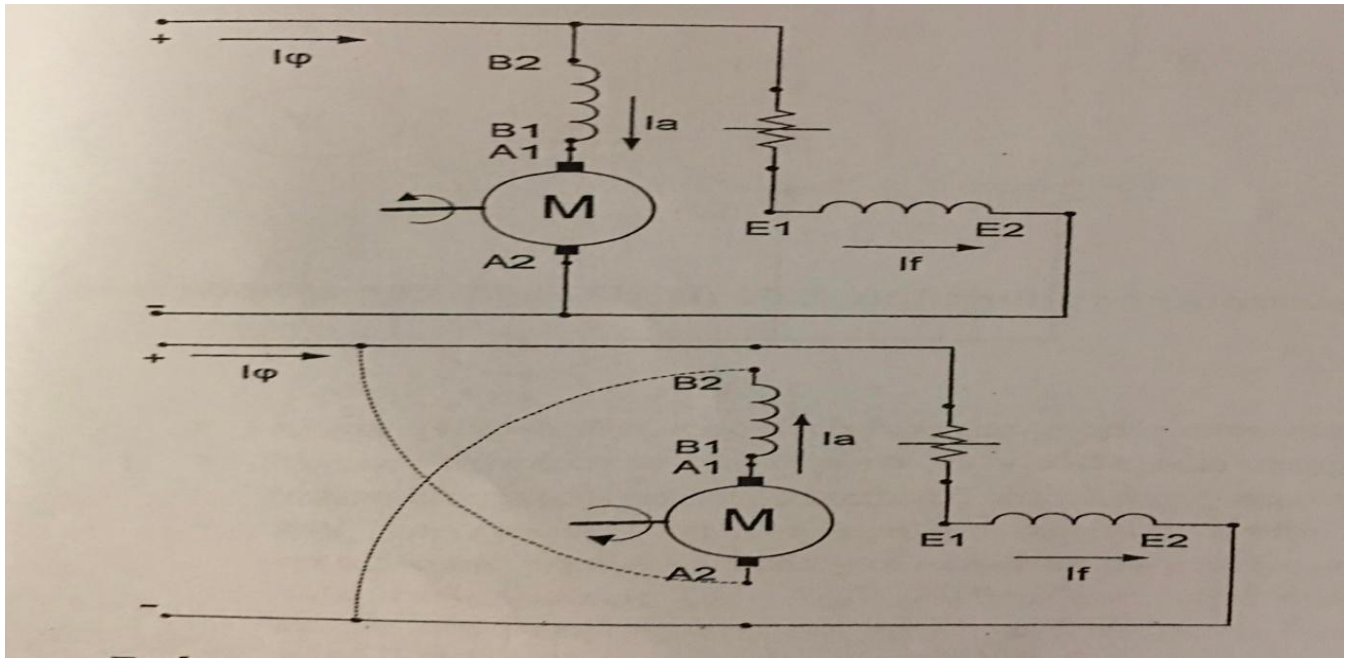
### **Αλλαγή φορά περιστροφής**

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης η αλλαγή φορά περιστροφής γίνεται είτε με:

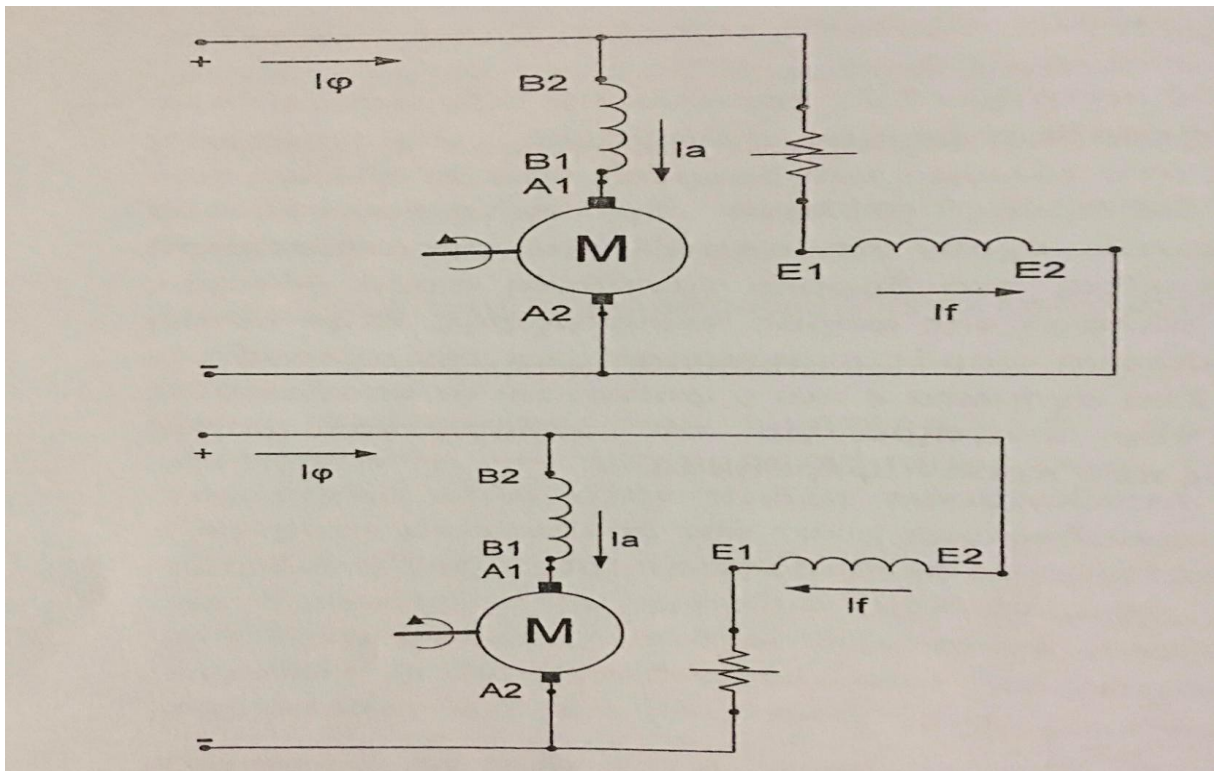
- Την αλλαγή των ακροδεκτών του τυμπάνου
- Την αλλαγή των ακροδεκτών του τυλίγματος διέγερσης

Τέλος οι αλλαγές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την αναστροφή της φοράς της ροπής που ασκείται στο δρομέα και κατά συνέπεια στην αλλαγή της φοράς περιστροφής. Πρακτικά είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη περίπτωση, δηλαδή την αλλαγή των ακροδεκτών του τυλίγματος διέγερσης για να γίνει η αλλαγή φορά περιστροφής.





**Σχ.2.11: Αλλαγή φορά περιστροφής κινητήρα Σ.Ρ. με αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου.**



**Σχ.2.12: Αλλαγή φορά περιστροφής κινητήρα Σ.Ρ. με αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης.**

### 2.2.3 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ( διέγερσης σειράς)

#### Εισαγωγή

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος εκτός από το τύλιγμα παράλληλης διέγερσης μπορεί να διαθέτουν και ένα ακόμη τύλιγμα διέγερσης( $D_1-D_2-D_3-...$ ), το οποίο συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα του δρομέα( $A_1-A_2$  και  $B_1-B_2$  και  $C_1-C_2$ ) του κινητήρα και διαρρέεται από το ρεύμα το φορτίου. Στην περίπτωση του κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα:  $\Phi = C \cdot I_A$

$\Phi$ : Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

C: Μια σταθερή τιμή

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα(ρεύμα του κινητήρα)

Η παραγόμενη ροπή στον άξονα του κινητήρα είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα καθώς και της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του κινητήρα:  $T = K \cdot \Phi \cdot I_A$

T: Επαγόμενη ή εσωτερική ροπή

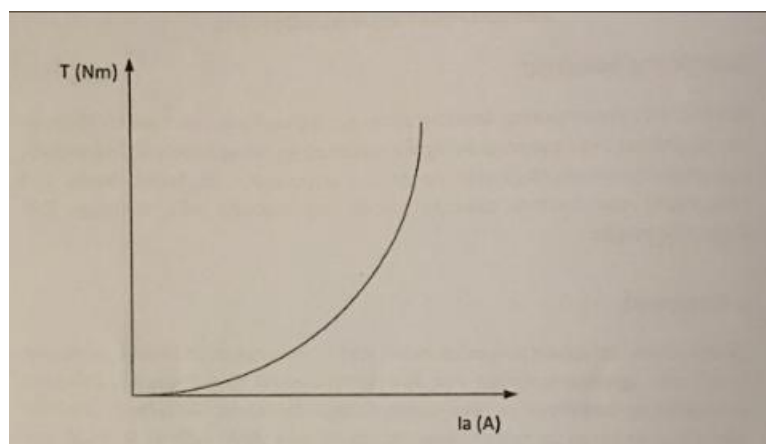
K: Μια σταθερή τιμή

$\Phi$ : Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα(ρεύμα του κινητήρα)

Από τις παραπάνω σχέσεις έχουμε ως αποτέλεσμα ότι η αναπτυσσόμενη ροπή σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος δρομέα:  $T = K \cdot C \cdot I_A^2 \leftrightarrow K_C \cdot I_A^2$ .

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς αναπτύσσει μεγαλύτερη ροπή για το ίδιο ρεύμα δρομέα σε σχέση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης ή παράλληλης διέγερσης. Τέλος από την προηγούμενη σχέση προκύπτει ότι η χαρακτηριστική ροπής-ρεύματος δρομέα  $T=f(I_A)$  δεν θα είναι ευθεία, αλλά μια καμπύλη.



**Σχ.2.13: Η χαρακτηριστική ροπής-ρεύματος φορτίου του κινητήρα**

### Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Από το σχήμα και από τον 2<sup>ο</sup> κανόνα του Kirchhoff έχουμε ότι:

$$V_T = E_A + I_A \cdot (R_a + R_S).$$

$V_T$ : Τάσης της πηγής

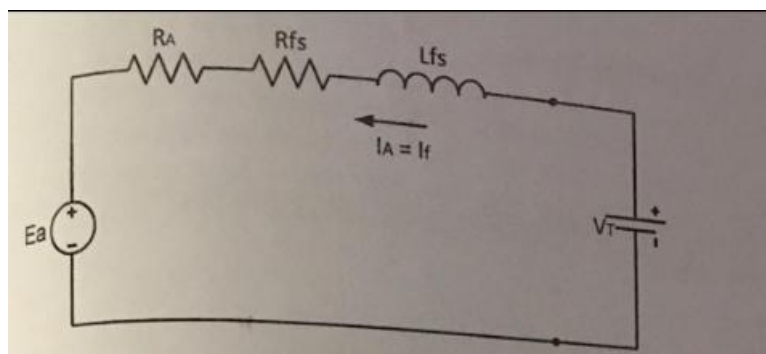
$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα (ρεύμα του κινητήρα)

$R_a$ : Η αντίσταση του δρομέα

$R_S$ : Η αντίσταση του τυλιγματος διέγερσης σειράς

Το ρεύμα του φορτίου είναι ίσο με το ρεύμα της διέγερσης:  $I_\phi = I_A = I_S$ .

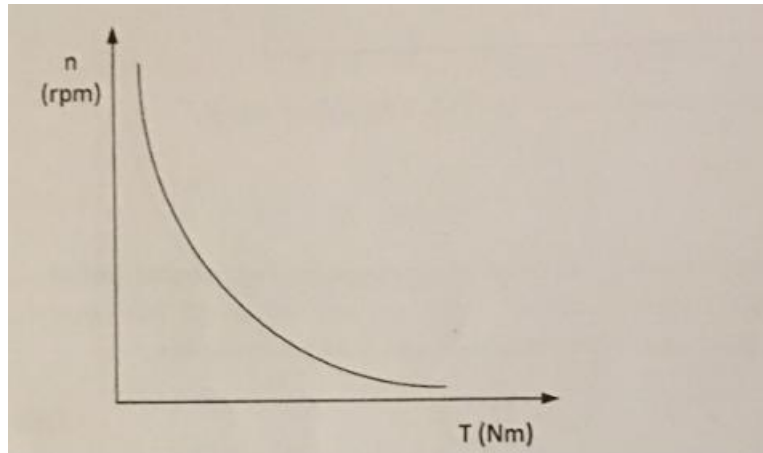


**Σχ.2.14: Το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.Ρ. διέγερσης σειράς.**

Το ρεύμα του δρομέα ισούται με:  $I_A = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_S}$ , ενώ όταν ο δρομέας του κινητήρα δεν περιστρέφεται το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα θα ισούται με:  $I_{AEK} = \frac{V_T}{R_A + R_S}$ . Τέλος ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς έχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης το οποίο είναι, ότι απορροφά λιγότερο ρεύμα κατά την εκκίνηση, γιατί ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς έχει χαμηλότερες στροφές και μεγαλύτερη ροπή σε σχέση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ-ΡΟΠΗΣ

Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής ενός κινητήρα διέγερσης σειράς προκύπτει από την σχέση:  $E_A = K_m \cdot \Phi \cdot n \leftrightarrow n = \frac{E_A}{K_m \cdot \Phi}$ .



**Σχ.2.15: Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής κινητήρα διέγερσης σειράς.**

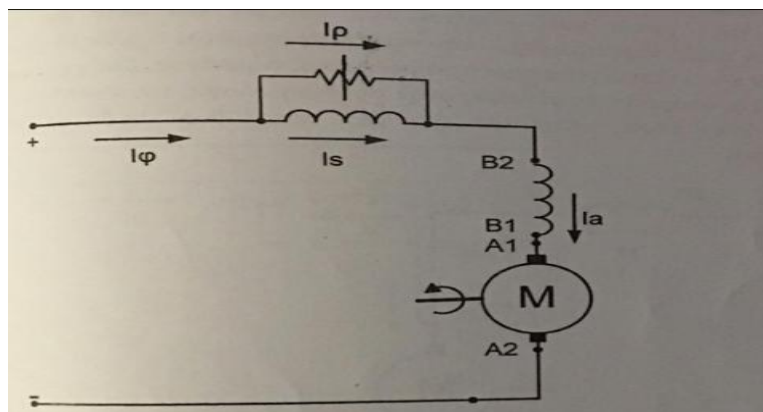
Παρατηρούμε ότι ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς πρέπει πάντα να δουλεύει με φορτίο στον άξονά του. Στην περίπτωση που έχουμε εκκίνηση χωρίς φορτίο υπάρχει κίνδυνος καταστροφής από την υπερβολική αύξηση των στροφών. Τέλος χωρίς φορτίο έχουμε αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα, γιατί ο κινητήρας απορροφά μικρό ρεύμα το οποίο διαρρέει και το τύλιγμα διέγερσης σειράς μια μικρή μαγνητική ροή.

### **Ρύθμιση Ταχύτητας κινητήρα Σ.Ρ. διέγερσης σειράς**

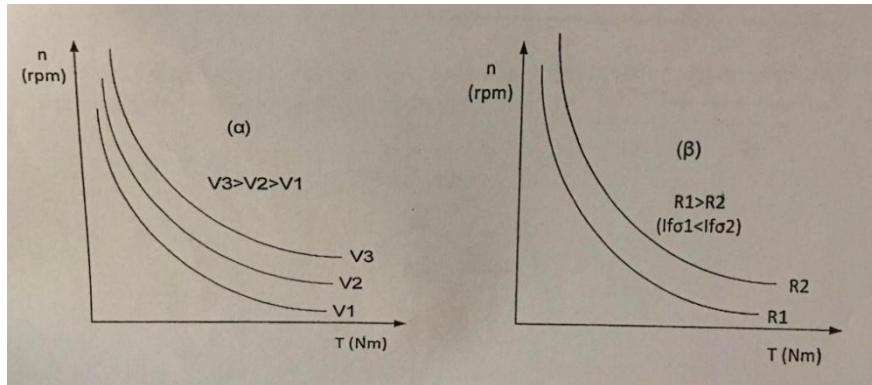
Η ρύθμιση ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς μπορεί να γίνει είτε με:

- Την μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα( 1<sup>η</sup> περίπτωση )
- Την μεταβολή του ρεύματος διέγερσης( 2<sup>η</sup> περίπτωση )

Στην πρώτη περίπτωση η αύξηση της τάσης θα μας οδηγήσει σε αύξηση των στροφών του κινητήρα. Επίσης για να ρυθμίσουμε το ρεύμα διέγερσης θα τοποθετήσουμε παράλληλα στο τύλιγμα διέγερσης έναν ροοστάτη. Τέλος αν αυξήσουμε την αντίσταση του ροοστάτη θα μας οδηγήσει σε αύξηση του ρεύματος διέγερσης του κινητήρα.



**Σχ.2.16: Σύνδεση ροοστάτη στο τύλιγμα διέγερσης του κινητήρα για τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης.**



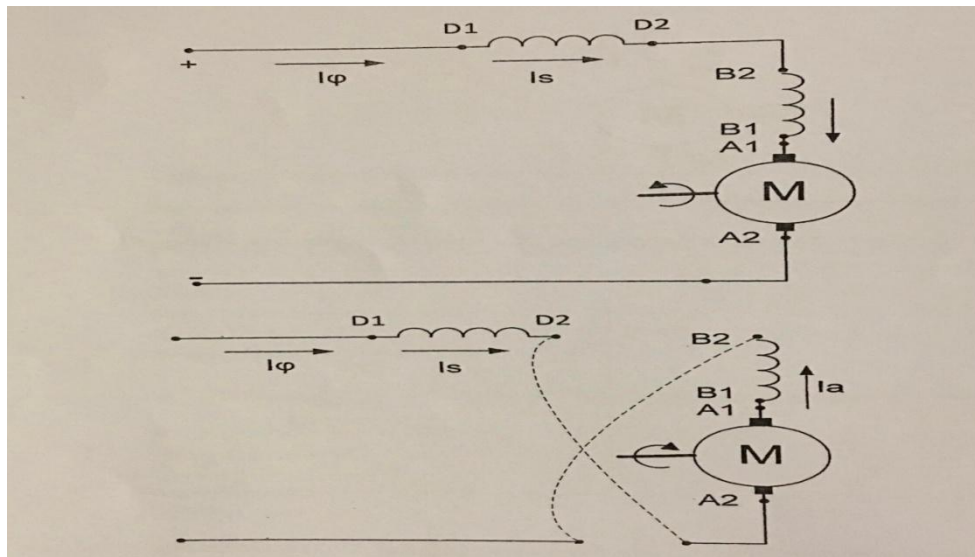
**Σχ.2.17: Επίδραση της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα (α) και της αντίστασης του ροοστάτη, (β) στην χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.**

### Αλλαγή φορά περιστροφής

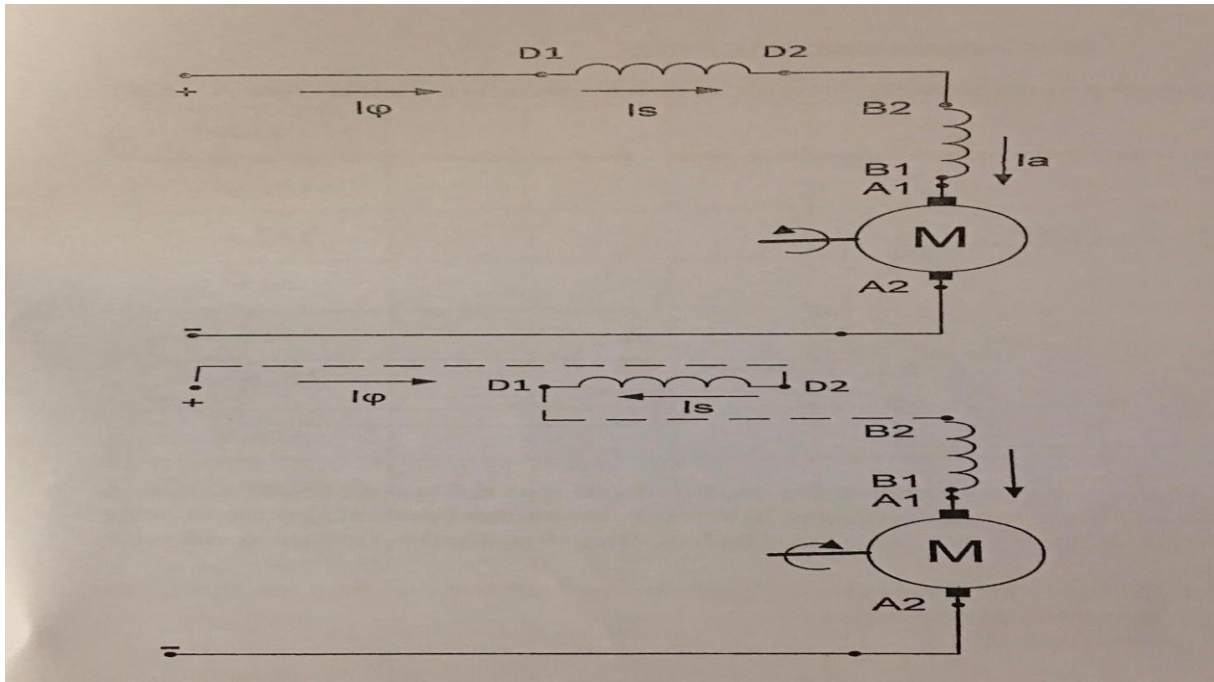
Σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς η αλλαγή φορά περιστροφής μπορεί να γίνει είτε με:

- Την αλλαγή της φοράς ρεύματος διέγερσης
- Την αλλαγή της φοράς του ρεύματος του τυλίγματος του δρομέα

Όταν έχουμε αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα την αντιστροφή της φοράς της δύναμης Laplace και η φορά της ροπής που ασκείται στο δρομέα και κατά συνέπεια αντιστρέφεται η φορά περιστροφής. Τέλος πρακτικά συνήθως για να γίνει η αλλαγή φορά περιστροφής προτιμάται να γίνει με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου.



**Σχ.2.18: Αλλαγή φορά περιστροφής κινητήρα Σ.Ρ. διέγερσης σειράς με αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου.**



**Σχ.2.19: Αλλαγή φορά περιστροφής κινητήρα Σ.Ρ. διέγερσης σειράς με αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης.**

#### 2.2.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ( σύνθετης διέγερσης )

##### Εισαγωγή

Όπως αναφερθήκαμε πιο πάνω χρησιμοποιήσαμε το ένα από τα δύο τυλίγματα διέγερσης(παράλληλο και σειράς) που διαθέτει ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος, προκειμένου να δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Επίσης, υπάρχει μια δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης και των δύο τυλιγμάτων, οπότε η περίπτωση αυτή ονομάζεται σύνθετης διέγερσης κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς, δηλαδή την υψηλή ροπή εκκίνησης (διέγερσης σειράς) και την δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας του κινητήρα (τύλιγμα παράλληλης διέγερσης).

Παρ' όλα αυτά ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης, η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του είναι ίση με το άθροισμα των μαγνητικών ροών που δημιουργούνται από τα δύο τυλίγματα διέγερσης:  $\Phi = \Phi_{\pi} \pm \Phi_{\sigma}$ .

$\Phi$ : Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

$\Phi_{\pi}$ : Μαγνητική ροή που προκαλείται από το τύλιγμα παράλληλης διέγερσης

$\Phi_{\sigma}$ : Μαγνητική ροή που προκαλείται από το τύλιγμα διέγερσης σειράς

Ανάλογα, με τις συνδέσεις των τυλιγμάτων οι μαγνητικές ροές τους μπορεί να είναι αθροιστική σύνθετη διέγερση ή διαφορική-αφαιρετική σύνθετη διέγερση. Στην πραγματικότητα πιο πολύ χρησιμοποιείται ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.

Για την επαγόμενη ροπή(εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική) στον άξονα του κινητήρα δίνεται από την σχέση:  $T = K \cdot \Phi \cdot I_A = K \cdot \Phi_{\Pi} \cdot I_A + K \cdot \Phi_{\sigma} \cdot I_A$ .

T: Επαγόμενη ροπή

K: Μια σταθερή τιμή

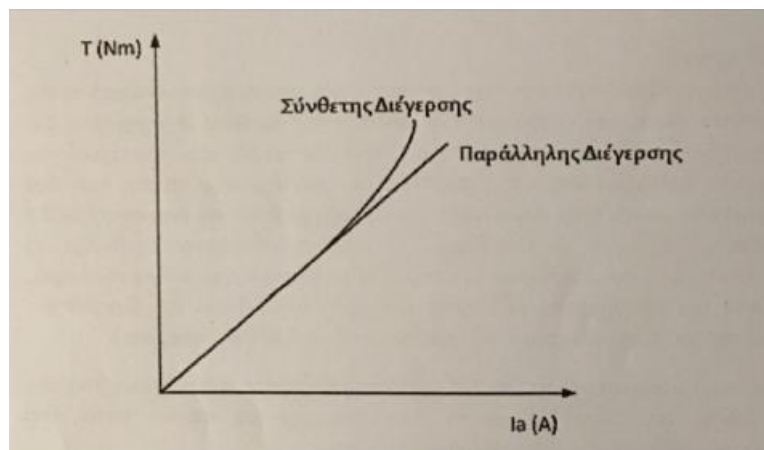
$\Phi$ : Μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα

$\Phi_{\Pi}$ : Μαγνητική ροή που προκαλείται από το τύλιγμα παράλληλης διέγερσης

$\Phi_{\sigma}$ : Μαγνητική ροή που προκαλείται από το τύλιγμα διέγερσης σειράς

Αν θεωρήσουμε ότι η  $\Phi_{\Pi} = K_f \cdot I_f$ . (  $I_f$  το ρεύμα του τυλιγματος παράλληλης διέγερσης) και η  $\Phi_{\sigma} = K_{\sigma} \cdot I_A$ , και απλά κάνουμε αντικατάσταση στην πάνω σχέση και προκύπτει η σχέση:  $T = K \cdot K_f \cdot I_A + K \cdot K_{\sigma} \cdot I_A \cdot I_A = K \cdot K_f \cdot I_A + K \cdot K_{\sigma} \cdot I_A^2$ .



**Σχ.2.20: Η χαρακτηριστική ροπής-ρεύματος φορτίου του κινητήρα  $T=f(I_A)$ .**

### **Κινητήρας Σ.Ρ. διέγερσης σειράς-Ισοδύναμο Κύκλωμα**

Για το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης σειράς βάση με τον 2ο κανόνα του Kirchhoff προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$V_T = E_A + I_A \cdot (R_A + R_{\sigma}).$$

$V_T$ : Τάση της πηγής

$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα

$R_A$ : Η αντίσταση των τυλιγμάτων

$R_S$ : Η αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης σειράς

Το ρεύμα φορτίου του κινητήρα είναι:  $I_\phi = I_A + I_f$

$I_\phi$ : Το ρεύμα του φορτίου

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα

$I_f$ : Το ρεύμα του τυλίγματος διέγερσης σειράς

Κατά την εκκίνηση του κινητήρα ( $n=0+$ ) απορροφά ένα μεγάλο ρεύμα  $I_{\phi EK}$  πολλαπλάσιο του ονομαστικού  $I_{\phi N}$ . Υπολογιστικά το ρεύμα εκκίνησης  $I_{\phi EK}$  προκύπτει από την σχέση:

$$I_\phi = I_A + I_f = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_S} + I_f \approx \frac{V_T - E_A}{R_A + R_S}$$

$I_\phi$ : Το ρεύμα του φορτίου

$I_A$ : Το ρεύμα του δρομέα

$I_f$ : Το ρεύμα του τυλίγματος διέγερσης σειράς

$V_T$ : Τάση της πηγής

$E_A$ : Ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση επαγωγής τυλιγμάτων κινητήρα)

$R_A$ : Η αντίσταση των τυλιγμάτων

$R_S$ : Η αντίσταση του ροοστάτη

Αν θέσουμε  $E_A=0$  ο δρομέας του κινητήρα δεν περιστρέφεται ( $n=0$ ). Οπότε, το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα είναι:  $I_{\phi EK} = \frac{V_T}{R_A + R_S}$

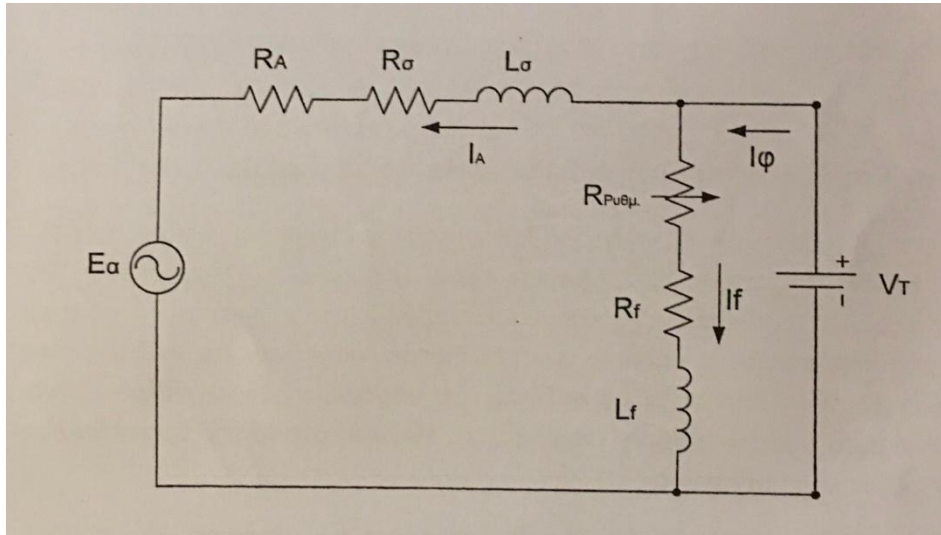
$I_{\phi EK}$ : Το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα

$V_T$ : Τάση της πηγής



$R_a$ : Η αντίσταση του δρομέα

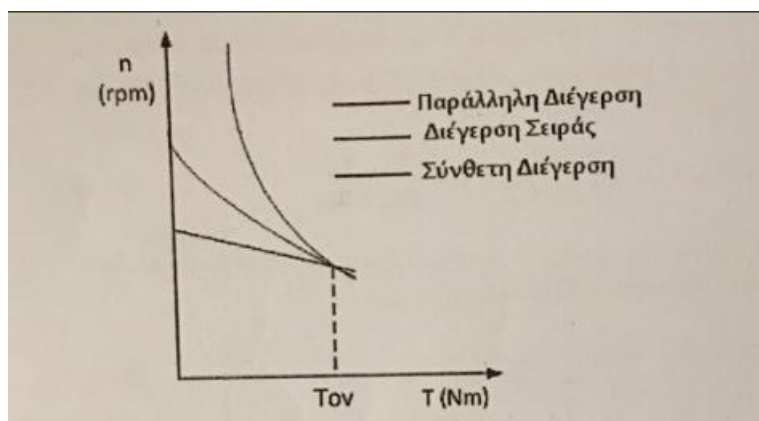
$R_s$ : Η αντίσταση του ροοστάτη



**Σχ.2.21: Το ισοδύναμο κύκλωμα Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης.**

### **Χαρακτηριστική Ταχύτητας-Ροπής**

Η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αθροιστικής σύνθετης διέγερσης είναι συνδυασμός των αντίστοιχων χαρακτηριστικών των κινητήρων παράλληλης και διέγερσης σειράς. Στην περίπτωση του κινητήρα αυτού εξαλείφεται το πρόβλημα της υπερβολικής αύξησης των στροφών έλλειψη φορτίου, που συναντάμε στον κινητήρα διέγερσης σειράς.

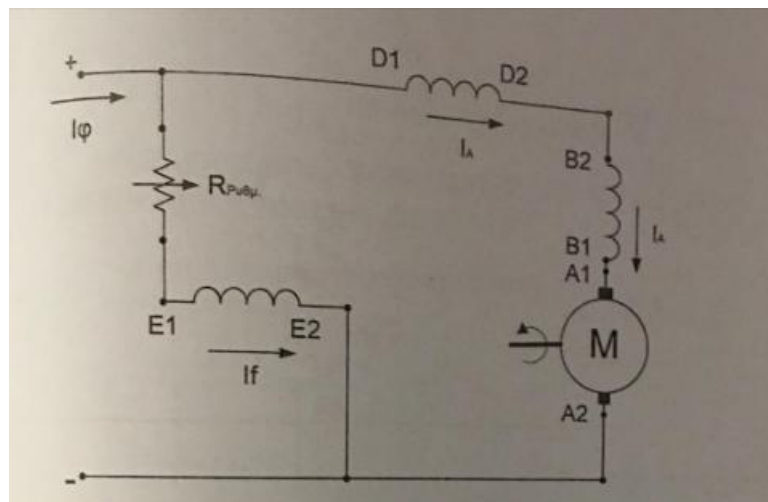


**Σχ.2.22: Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής κινητήρα σύνθετης διέγερσης.**

## Ρύθμιση Ταχύτητας Κινητήρα Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης

Για την ρύθμιση της ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης μπορεί να γίνει είτε με την μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα, είτε με την μεταβολή του ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

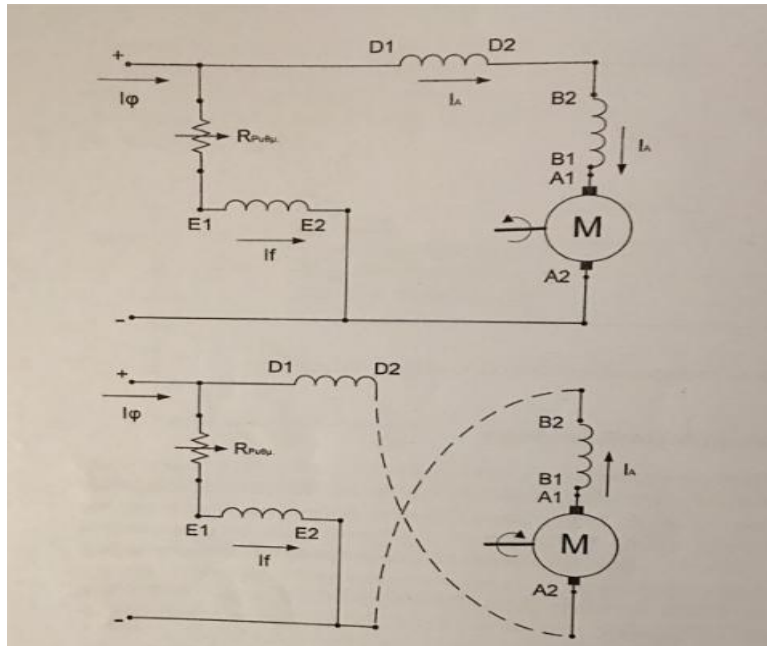
- Στην πρώτη περίπτωση η αύξηση της τάσης θα οδηγήσει σε αύξηση του ρεύματος  $I_A$  κατά συνέπεια σε αύξηση στροφών του κινητήρα. Μείωση της τάσης τροφοδοσίας οδηγεί σε μείωση ταχύτητας.
- Στην δεύτερη περίπτωση η αύξηση της αντίστασης του ροοστάτη οδηγεί σε μείωση του ρεύματος παράλληλης διέγερσης. Με την μείωση του ρεύματος παράλληλης διέγερσης μειώνεται η συνολική μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα, άρα η ταχύτητα αυξάνεται με την μείωση της αντίστασης του ροοστάτη συμβαίνει το αντίθετο.



**Σχ.2.23: Συνδεσμολογία κινητήρα Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης.**

## Αλλαγή Φορά Περιστροφής

Η αλλαγή φορά περιστροφής ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης μπορεί να γίνει είτε με αλλαγή της φοράς του ρεύματος στο τύλιγμα του δρομέα, είτε με αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης. Οι αλλαγές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την αντιστροφή της φοράς της ροπής που ασκείται στο δρομέα και κατά συνέπεια την αλλαγή της φοράς περιστροφής. Στην πράξη προτιμάται η αλλαγή φοράς περιστροφής με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου.



**Σχ.2.24: Αλλαγή φοράς περιστροφής κινητήρα Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης με αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

### ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

#### 3.1 Ανάλυση και κατασκευή αποκλειστικά μόνο για τις τέσσερις κατηγορίες κινητήρων

Οι απώλειες ισχύος στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε ηλεκτρικές απώλειες, σε μηχανικές απώλειες και σε μαγνητικές απώλειες. Επίσης, οι κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική. Η ισχύς εξόδου δεν μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε χρήσιμη μορφή ισχύος στην έξοδο της μηχανής. Πάντα κατά την διαδικασία μετατροπής της ισχύος εμφανίζονται κάποιες απώλειες.

- Η διαφορά μεταξύ της ισχύος εισόδου και της ισχύος εξόδου είναι ακριβώς οι απώλειες της μηχανής. Οπότε, η σχέση είναι:  $n = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \cdot 100\%$

- Ο συντελεστής απόδοσης μια μηχανής συνεχούς ρεύματος ορίζεται ως εξής:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$



**Σχ.3.1: Διάγραμμα ροής ισχύος κινητήρα συνεχούς ρεύματος, α) Γεννήτρια και β) Κινητήρας.**

Οι απώλειες που εμφανίζονται στις μηχανές συνεχούς ρεύματος χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες:

- Απώλειες χαλκού
- Απώλειες ψηκτρών
- Απώλειες πυρήνα
- Μηχανικές απώλειες
- Κατανεμημένες απώλειες

### 3.1.1 Απώλειες χαλκού

Οι ηλεκτρικές απώλειες είναι κατά κύριο λόγο απώλειες χαλκού, δηλαδή απώλειες στις ωμικές αντιστάσεις των διαφόρων τυλιγμάτων της μηχανής (διέγερσης διακλάδωσης, διέγερσης σειράς, τυμπάνου, βοηθητικών πόλων, αντιστάθμισης). Οι απώλειες αυτές δίνονται για τον οπλισμό και τα τυλίγματα πεδίου και τις εξισώσεις:

- Απώλειες τυλιγματος οπλισμού:  $P_A = I_A^2 \cdot R_A$
- Απώλειες τυλίγματα διέγερσης:  $P_F = I_F^2 \cdot R_F$ .

$P_A$ : Οι απώλειες οπλισμού

$P_F$ : Οι απώλειες διέγερσης

$I_A$ : Το ρεύμα οπλισμού

$I_F$ : Το ρεύμα διέγερσης

$R_A$ : Η αντίσταση οπλισμού

$R_F$ : Η αντίσταση διέγερσης

### 3.1.2 Απώλειες ψηκτρών

Για τις απώλειες ψηκτρών, είναι ένα μικρό ποσοστό των ηλεκτρικών μηχανών, αντιστοιχεί στις απώλειες των ψηκτρών. Οι απώλειες αυτές, είναι ίσες με το γινόμενο του τετραγώνου της ενεργού τιμής του ρεύματος που διαρρέει το τυλίγμα της ωμικής αντίστασης. Επίσης, οι απώλειες αυτές οφείλονται και στην τάση επαφής των ψηκτρών της μηχανής και δίνεται από την εξίσωση:  $P_{BD} = V_{BD} \cdot I_A$ .

$P_{BD}$ : Οι απώλειες ψηκτρών

$V_{BD}$ : Η πτώση τάση στις ψήκτρες

$I_A$ : Το ρεύμα οπλισμού

Οι απώλειες ψηκτρών υπολογίζονται έτσι, επειδή η πτώση τάσης στην επαφή τους είναι σχετικά σταθερή για μεγάλο εύρος τιμών του ρεύματος οπλισμού.

### 3.1.3 Απώλειες πυρήνα

Για τις απώλειες του πυρήνα η αλλιώς μαγνητικές απώλειες διακρίνονται στις απώλειες λόγω μαγνητικής υστέρησης και στις απώλειες λόγω των δινορευμάτων. Το άθροισμα αυτών των δύο αποτελεί τις λεγόμενες απώλειες του πυρήνα. Σε ανάλυση των ηλεκτρικών μηχανών, αποτελεί κοινή πρακτική, η θεώρηση των μηχανικών απωλειών και των απωλειών πυρήνα σε

έναν κοινό όρο, γνωστό ως απώλειες περιστροφής. Τέλος, οι απώλειες του πυρήνα μεταβάλλονται:

- Με το τετράγωνο της μαγνητικής επαγωγής ( $B^2$ )
- Με το δρομέα να θεωρούνται ότι είναι ανάλογες της τιμής ( $n^{1.5}$ ), όπου η ταχύτητα περιστροφής του.

### 3.1.4 Μηχανικές απώλειες

Οι μηχανικές απώλειες διακρίνονται σε απώλειες τριβών και σε απώλειες ανεμισμού.

- Οι απώλειες τριβών οφείλονται στα έδρανα(ρουλεμάν) του άξονα, καθώς επίσης και σε ένα μικρό ποσοστό στις τριβές μεταξύ του συστήματος συλλέκτη-ψηκτρών.
- Οι απώλειες ανεμισμού οφείλονται στην βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα για την ψύξη της μηχανής, που προκαλείται από μια ειδική πτερωτή προσαρμοσμένη στο άξονα της μηχανής.

Τόσο οι απώλειες τριβών όσο και οι απώλειες ανεμισμού είναι ανάλογες της ταχύτητας του άξονα περιστροφής.

### 3.1.5 Κατανεμημένες απώλειες

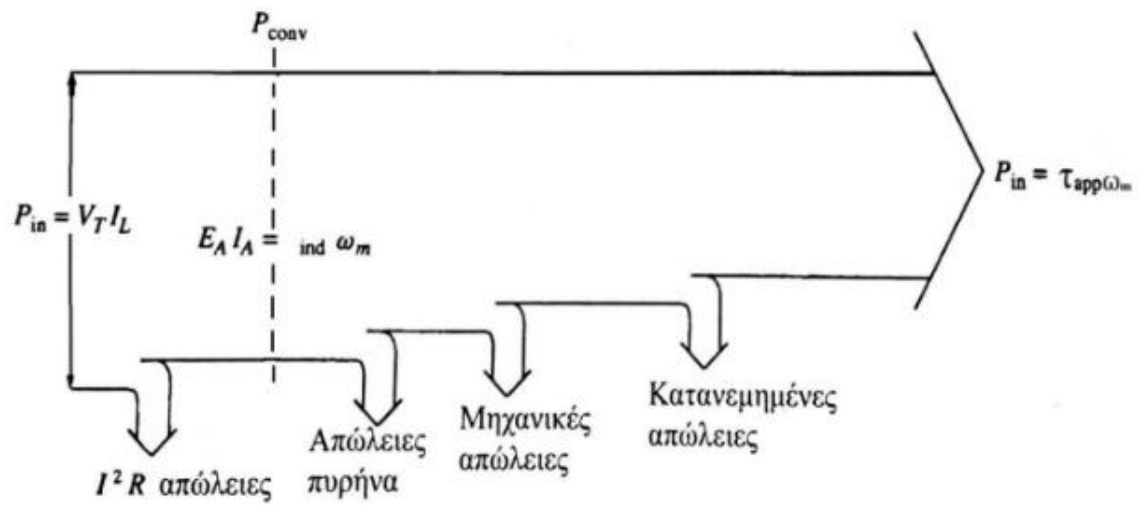
Όσον αφορά για τις κατανεμημένες απώλειες δεν μπορούν να ενταχθούν με κάποιες από τις παραπάνω κατηγορίες. Όσο και να υπολογίζουμε προσεκτικά τις απώλειες μηχανής, ένα ποσοστό ξεφεύγει από τους υπολογισμούς, σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις. Αυτό το ποσοστό αντιπροσωπεύει τους υπολογισμούς με τις κατανεμημένες απώλειες, οι οποίες στις περισσότερες μηχανικές θεωρείται ένα μικρό ποσοστό περίπου στο 1% της ισχύς εξόδου κατά την λειτουργία με πλήρες φορτίο.

### 3.1.6 Διάγραμμα ροής

Ένα από τα πιο σημαντικά σχεδιαγράμματα των ηλεκτρικών μηχανών είναι το διάγραμμα ροής ισχύος, το οποίο μπορούμε να καταλάβουμε σχεδιαστικά τις απώλειες ισχύος αναλυτικά.

- **Απώλειες χαλκού (τυλίγματος οπλισμού και πεδίου):**  $P=I^2 \cdot R$
- **Απώλειες ψηκτρών:**  $P=V_{BD} \cdot I_A$
- **Απώλειες πυρήνα:** Περιλαμβάνονται οι απώλειες υστέρησης και δινορρευμάτων. Εξαρτώνται από την μαγνητική επαγωγή και την ταχύτητα περιστροφής.
- **Μηχανικές απώλειες:** Περιλαμβάνονται οι απώλειες τριβών και οι απώλειες εξαερισμού. Αυξάνονται με την ταχύτητα περιστροφής.
- **Κατανεμημένες απώλειες:** Περιλαμβάνονται όσες απώλειες δεν μπορούν να ενταχθούν στις παραπάνω κατηγορίες.

Γενικά, όμως αυτή δεν είναι η ισχύς που εμφανίζεται στα άκρα της μηχανής. Πρέπει πρώτα να αφαιρεθούν οι απώλειες χαλκού και ψηκτρών.



**Σχ.3.2: Διαγράμματα ροής ισχύος κινητήρα συνεχούς ρεύματος.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Χαρακτηριστικά: Ισχύς =15 KW

Ονομαστική Τάση=440 V

Ονομαστική Ταχύτητα=1500 στρ/λ

Βαθμός απόδοσης=88% ή 0,88

Πόλοι=4

#### **4.1 Υπολογισμός μεγεθών D(διάμετρος mm) και L(μήκος mm) οπλισμού.**

$$\text{Είσοδος στην μηχανή} = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{βαθμός απόδοσης}} \leftrightarrow \text{Είσοδος στην μηχανή} = \frac{15}{0,88} \leftrightarrow$$

$\leftrightarrow \text{Είσοδος στην μηχανή} = 17 \text{ KW}.$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{17000}{440} = 38,63 \text{ A}$$

Στο συνεχές ρεύμα η μέση πυκνότητα της μαγνητικής ροής  $B_{av}$  παίρνει τιμές από 0,65 έως 0,75. Εάν τροφοδοτείται μέσω θυρίστορ είναι χαμηλότερη. Εμείς την παίρνουμε  $B_{av}=0,5 \text{ Wb/m}^2$ .

Το ειδικό ηλεκτρικό φορτίο  $q$  παίρνει τιμές από 30.000 έως 45.000. Εάν τροφοδοτείται μέσω θυρίστορ συνήθως είναι συνήθως χαμηλότερη για αυτό εμείς σε αυτή την περίπτωση θα το πάρουμε  $q:25.000$ .

$$P = \pi^2 \cdot D^2 \cdot L \cdot B_{av} \cdot \frac{q \cdot N}{60} \cdot 10^{-3} = 3,14^2 \cdot D^2 \cdot L \cdot 0,5 \cdot \frac{25000 \cdot 1500}{60} \cdot 10^{-3} =$$
$$= 3,14^2 \cdot D^2 \cdot L \cdot 0,5 \cdot 625000 \cdot 10^{-3} \text{ KW}$$

$$D^2 \cdot L = \frac{P}{\pi^2 \cdot ((q \cdot N)/60) \cdot B_{av} \cdot 10^{-3}} = \frac{17000}{3,14^2 \cdot 625000 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 0,00551 = 5,51 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$D=190 \text{ mm}$$

$$\text{Οπότε } L = \frac{D^2 \cdot L}{D^2} = \frac{5,51 \cdot 10^6}{190^2} = 153 \approx 155 \text{ mm}$$

Άρα  $L=155 \text{ mm}$



Παίρνουμε άνοιγμα εξαερισμού πλάτους 10mm. Έτσι το μήκος του οπλισμού είναι:

$$L = 155 - 10 = 145 \text{ mm}$$

Ο οπλισμός είναι φτιαγμένος από πυκνό σφυρηλατημένο μέταλλο με βαθμό σκληρότητας 0,95.

$$\text{Περιφερειακή Ταχύτητα: } v = \pi \cdot D \cdot \frac{N}{60} = 3,14 \cdot 0,190 \cdot \frac{1500}{60} = 14,92 \text{ m/s}$$

$$\text{Τάση ανά σπείρα: } B_{av} \cdot L \cdot v = 0,5 \cdot 0,155 \cdot 14,92 = 1,15 \text{ V}$$

$$\text{Τάση 220V, διπλό τυλίγμα, οπότε ο αριθμός αγωγών } Z_c = \frac{V}{1,15} = \frac{440}{1,15} = 382 \text{ αγωγοί}$$

$$\text{Και οι αγωγοί του οπλισμού είναι: } Z = 382 \cdot 2 = 764 \text{ αγωγοί}$$

#### 4.2 Κατασκευή οπλισμού

$$\text{Βήμα πόλου: } \frac{\pi \cdot D}{p} = \frac{3,14 \cdot 0,190}{4} = 0,1492 \text{ ή } 149,2 \text{ mm}$$

$$\text{Ροή ανά πόλο: } \varphi = \text{βήμα πόλου} \cdot B_{av} \cdot L = 0,1492 \cdot 0,5 \cdot 0,155 = 11,56 \text{ mW}$$

$$\text{Βρίσκουμε τον αριθμό των αγωγών με αυτόν τον τύπο: } E = \varphi \cdot Z \cdot \frac{N}{60} \cdot \frac{p}{a}$$

$a=2$  αριθμός των τυλιγμάτων

E: Ηλεκτρεγερτική δύναμη χωρίς φορτίο

$$440 = 11,56 \cdot 10^{-3} \cdot Z \cdot \frac{1500}{60} \cdot \frac{4}{2}$$

$$Z = 761 \text{ αγωγοί}$$

Επιλέγουμε 3 αγωγούς με 3 περιστροφές. Άρα έχουμε  $3 \cdot 6 = 18$  αγωγούς ανά αυλάκι.

$$\text{Αριθμός αυλακίων} = \frac{Z}{\text{αγωγούς ανά αυλάκι}} = \frac{761}{18} = 42$$

Ο αριθμός των αυλακίων πρέπει να είναι περιττός αριθμός:

$$Z = 41 \cdot 18 = 737 \text{ αγωγοί}$$

$$\text{Διορθώνουμε την ροή: } \varphi = v \cdot \frac{761}{737} = 11,56 \cdot 1,032 = 11,9 \text{ mwb}$$

αριθμός αυλακίων=41, αγωγοί Z=737, μαγνητική ροή  $\varphi=11,9 \text{ mWb}$

Κάνουμε 3 στροφές το πηνίο. Άρα ο αριθμός των τμημάτων του συλλέκτη είναι:

$$\text{αριθμός αυλακίων} \cdot \text{στροφές στο πηνίο} = 41 \cdot 3 = 123$$

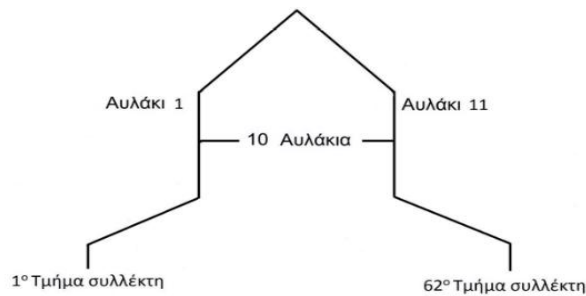
$$\text{Για απλό κυματούλιγμα ισχύει: } \frac{p}{2} \cdot y_c \pm 1 = C$$

Το βήμα του συλλέκτη είναι  $y_c = \frac{123-1}{2} = 61$  ή οι συνδέσεις είναι από 1 έως 62.

Η απόσταση μεταξύ των πλευρών του τυλίγματος είναι:

$$\frac{\text{Βήμα συλλέκτη}}{p} = \frac{41}{4} = 10,25 = 10 \text{ αυλάκια}$$

Και η απόσταση αυτή είναι 1 έως 11.



**Σχ.4.1: Απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου και οι συνδέσεις.**

Μέγεθος αγωγού του οπλισμού(κυματούλιγμα):

$$I = \frac{P}{V} = \frac{17000}{440} = 38,63 \text{ A}$$

$$\text{Ρεύμα σε κάθε αγωγό: } \frac{38,63}{2} = 19,32 \text{ A}$$

Η πυκνότητα του ρεύματος είναι  $\delta=6,5 \text{ A/mm}^2$ . Ο χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός είναι:  
 $\frac{19,32}{6,5} = 2,97 \text{ mm}^2 \approx 3 \text{ mm}^2$

Επιλέγουμε 2 αγωγούς παράλληλα από 1,4 mm ο καθένας και ο χώρος που καταλαμβάνουν είναι:  
 $\frac{\pi}{4} \cdot 1,4^2 \cdot 2 = 1,54 \cdot 2 = 3,08 \text{ mm}^2$

### 4.3 Κατασκευή αυλακίου

Ο χώρος που απαιτείται για τους αγωγούς σε ένα αυλάκι είναι:  $18 \cdot 3,08 = 55 \text{ mm}^2$

Ο χώρος αυτός προσαυξάνεται κατά ένα συντελεστή 0,45 (space factor):

Ο χώρος που απαιτείται για το αυλάκι είναι:  $\frac{55}{0,45} = 122 \text{ mm}^2$

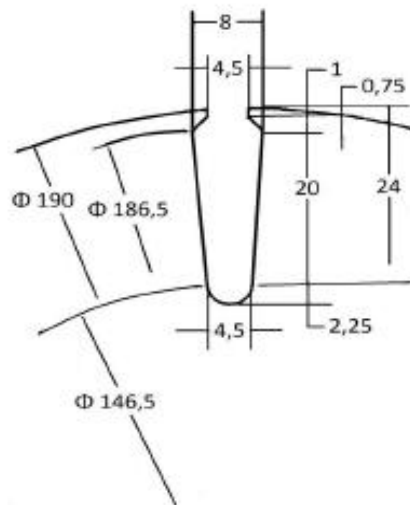
Εμπειρικά οι διαστάσεις του αυλακίου επιλέγονται: άνοιγμα=4,5 mm, χείλος=0,75 mm

Ύψος σφήνας: 1 mm, πλάτος του αυλακίου στη σφήνα=8 mm

Ύψος του αυλακίου: χαμηλότερο πλάτος κώνου σε βάθος 20 mm=4,5 mm

Το χαμηλότερο κομμάτι που είναι το ημικύκλιο έχει 4,5 mm διάμετρο.

Το συνολικό βάθος του αυλακίου είναι 24 mm.



**Σχ.4.2: Μέγεθος και διαστάσεις αυλακίου του οπλισμού.**

Χώρος του αυλακίου για την υποδοχή αγωγών:

$$= \frac{8 + 4,5}{2} \cdot 20 + \frac{\pi}{4} \cdot 4,5^2 \cdot \frac{1}{2} = 125 + 8 = 133 \text{ mm}^2$$

Αυτό είναι παραπάνω από  $122 \text{ mm}^2$  και επομένως αποδεκτό.

Είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε την πυκνότητα ροής στο δόντι και να σιγουρευτούμε ότι είναι επιτρεπτό όριο ώστε να μην έχουμε κορεσμό ή μεγάλες απώλειες σιδήρου.

$$\text{Βήμα σχισμής: } \frac{(190 - 2 \cdot 1,75) \cdot \pi}{41} = 14,3 \text{ mm}$$

Βήμα σχισμής σε 20 mm βάθος από αυτό το σημείο.

$$\text{Διάμετρος: } 186,5 - 2 \cdot 20 = 146,5 \text{ mm}$$

$$\text{Βήμα σχισμής σε 20 mm βάθος: } \frac{146,5 \cdot \pi}{41} = 11,22 \text{ mm}$$

Πλάτος δοντιού σύμφωνα με τα παραπάνω:  $14,3 - 0,8 = 6,3 \text{ m}$  και  $11,22 - 4,5 = 6,72 \text{ m}$

Μέσο πλάτος δοντιού:  $\frac{6,3+6,72}{2} = \frac{13,02}{2} = 6,51 \text{ mm}$

Χώρος δοντιού:  $6,51 \text{ mm} \cdot 145 \text{ mm}$  (μήκος πυρήνα οπλισμού:  $155 - 10 \text{ mm}$  κενό =  $145 \text{ cm}$ )

Μέγιστη πυκνότητα ροής στο δόντι

$$\text{Πυκνότητα ροής στο δόντι: } B_t = \sqrt{2} \cdot \frac{\varphi \cdot 10^{-3} \cdot p}{\text{σχισμές}} \cdot \frac{1}{\frac{\text{μέσο πλάτος δοντιού}}{1000} \cdot \frac{\text{μήκος οπλισμού πυρήνα} \cdot \text{βαθμός σκληρότητας}}{1000}} =$$
$$= \sqrt{2} \cdot \frac{11,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{41} \cdot \frac{1}{\frac{6,51}{1000} \cdot \frac{145 \cdot 0,95}{1000}} = 1,8 \text{ wb/m}^2$$

Άρα το  $B_t = 1,8 \text{ wb/m}^2$

Ελέγχουμε την τάση μεταξύ των γειτονικών τμημάτων του συλλέκτη. Χρησιμοποιούνται 4 ψήκτρες στον συλλέκτη.

Η τάση μεταξύ των γειτονικών τμημάτων του συλλέκτη είναι:

$$\frac{V \cdot \Psi \eta \kappa \tau \rho \epsilon \varsigma}{\text{αριθμός τμημάτων του συλλέκτη}} = \frac{440 \cdot 4}{123} = 14,3 \text{ V}$$

Η οποία είναι μικρότερη από  $15 \text{ V}$  και μέσα στα επιτρεπτά όρια.

#### 4.4 Αντίσταση τυλίγματος οπλισμού

Βήμα πόλου:  $149,2 \text{ mm}$

Το τόξο του πόλου:  $\text{Βήμα πόλου} \cdot 0,65 = 149,2 \cdot 0,65 = 97 \text{ mm}$

Το μέγιστο μήκος του αγωγού του οπλισμού είναι:

$$I_{fr} = 50 + 1,15 \cdot 149,2 = 222,4 \text{ mm} \approx 225 \text{ mm}$$

Το μέσο μήκος του αγωγού είναι:  $L + I_f = 155 + 225 = 380 \text{ mm}$

Για το μέγεθος του αγωγού επιλέγουμε αντίσταση στους  $20^\circ\text{C}$  :  $R = 0,01120 \ \Omega$

Έχουμε ένα πλαίσιο με δύο αγωγούς παράλληλους μεταξύ τους, οπότε η αντίσταση είναι:

$$R = \frac{0,001120}{2} = 5,6 \cdot 10^{-3} \ \Omega$$

Η αντίσταση του οπλισμού υπολογίζεται από τον τύπο:  $R_a = p \cdot \frac{L_a}{A_a} \cdot \frac{Z}{a^2}$

$$\text{Αντίσταση: } R_{75} = \frac{R \cdot \text{μέσο μήκος αγωγού} \cdot Z \cdot 1,215}{(2)^2} = \frac{0,0056 \cdot 0,38 \cdot 737 \cdot 1,215}{(2)^2} = 0,475 \ \Omega$$

#### 4.5 Σχεδιασμός Συλλέκτη

Ο αριθμός των τμημάτων του συλλέκτη είναι:  $c = 41 \cdot 3 = 123$ .

Θεωρούμε ότι το βήμα της μπάρας του συλλέκτη (commutator bar) είναι  $= 4 \text{ mm}$ .

Η διάμετρος του συλλέκτη είναι:  $\frac{\text{περίμετρος}}{\pi} = \frac{4 \cdot 123}{3,14} = 156 \text{ mm} \approx 155 \text{ mm}$

Παίρνουμε διάμετρο συλλέκτη  $D_C = 155 \text{ m}$

Η διάμετρος οπλισμού είναι:  $190 \text{ mm}$

Η διάμετρος του συλλέκτη είναι περίπου το 75% με 80% της διαμέτρου του οπλισμού.

$$D_C = 190 \cdot 0,8 = 152 \text{ mm} \approx 155 \text{ mm}$$

Περιφερειακή ταχύτητα συλλέκτη:  $\pi \cdot D_C \cdot \frac{N}{60} = 3,14 \cdot 0,155 \cdot \frac{1500}{60} = 12,17 \text{ m/s}$

Αυτή είναι μικρότερη από  $15 \text{ m/s}$

Το βήμα του συλλέκτη είναι:  $\frac{\pi \cdot D_C}{\text{αριθμός τμημάτων συλλέκτη}} = \frac{3,14 \cdot 0,155}{123} = 4 \text{ mm}$

Ένταση ανά ψήκτρα:  $\frac{I}{2} = \frac{38,63}{2} = 19,3 \text{ A}$

Παίρνουμε πυκνότητα μαγνητικής ροής για την ψήκτρα:  $0,06 \text{ A/mm}^2$

Διατομή της ψήκτρας:  $\frac{\text{Ένταση της ψήκτρας}}{\text{πυκνότητα ροής ψήκτρας}} = \frac{19,3}{0,06} = 323 \text{ mm}^2$

Χώρος που καταλαμβάνει η ψήκτρα:  $12,5 \text{ mm} \cdot 25 \text{ mm}$

Αριθμός ψηκτρών = 4

Τάση μεταξύ των τμημάτων του συλλέκτη =  $\frac{V}{123/2} = \frac{440}{123/4} = 14,3 \text{ V}$

Πάχος ψήκτρας:  $12,5 \text{ mm}$

Αριθμός τμημάτων που καλύπτεται:  $\frac{\text{πάχος της ψήκτρας}}{\text{αριθμός ψήκτρας}} = \frac{12,5}{4} \approx 3$

Μήκος ψήκτρας =  $25 \text{ mm}$

Το μήκος του συλλέκτη είναι =  $25 + 6 + \text{μη καλυπτόμενο μήκος } 50 = 81 \text{ mm}$

Οπότε το μήκος του συλλέκτη είναι =  $81 \text{ mm}$

## 4.6 Απώλειες Συλλέκτη

### Απώλειες τριβών ψηκτρών:

Πίεση από ελατήριο ανά ψήκτρα:  $1200 \text{ kg/m}^2 \leftrightarrow 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mm}^2$

Επιφάνεια της ψήκτρας:  $312,5 \cdot 4 \text{ mm}^2$  για 4 ψήκτρες.

Πίεση από ελατήρια στην ψήκτρα:  $1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 312,5 \cdot 4 = 1,5 \text{ kg}$

Ο συντελεστής τριβής είναι 0,22 για ψήκτρα κατασκευασμένα από ανθρακώδη μέση σκληρότητας.

### Απώλειες ισχύος ψήκτρας λόγω τριβής:

Συντελεστής τριβής  $\cdot$  πίεση στην ψήκτρα  $\cdot$  περιφερειακή ταχύτητα συλλέκτη  $\cdot 981 \cdot 10^{-3}$   
 $= 0,22 \cdot 1,5 \cdot 6,51 \cdot 12,17 \cdot 981 \cdot 10^{-2} = 40 \text{ W}$

Απώλειες επαφής της ψήκτρας:  $2 \text{ volts} \cdot I = 2 \cdot 38,63 = 77,26 \text{ W}$

### Απώλειες Συλλέκτη:

Απώλειες επαφής της ψήκτρας + απώλειες ισχύος ψήκτρας λόγω τριβής =  $77,26 + 40$   
 $= 117,26 \text{ W}$

Επιφάνεια συλλέκτη:  $\pi \cdot L \cdot \text{μήκος του συλλέκτη} = 3,14 \cdot 155 \cdot 81 = 39442 \text{ mm}^2$ .

Απώλεια ανά επιφάνεια  $\text{cm}^2$ :  $\frac{\text{Απώλειες συλλέκτη}}{\text{Επιφάνεια συλλέκτη}} = \frac{117,26}{394,42} = 0,297 \text{ W/cm}^2$

Απώλειες τριβών και ανεμισμού = 1%. για έξοδο =  $0,15 \text{ KW}$

Απώλειες χαλκού οπλισμού:  $I_a^2 \cdot r_a = 38,63^2 \cdot 0,475 = 709 \text{ W}$ .

## 4.7 Κατασκευή πόλου

Το μήκος του πόλου το παίρνουμε ελαφρώς μικρότερο από το μήκος του πυρήνα του οπλισμού και ίσο με 145 mm.

Ροή ανά πόλο:  $\lambda \cdot \varphi = 1,2 \cdot 11,9 \cdot 10^{-3} = 14,28 \cdot 10^{-3} \text{ wb}$ .

Θεωρούμε πυκνότητα μαγνητικής ροής ανά πόλο =  $B_p = 1,6 \text{ wb/m}^2$ .

Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο μαγνητικός πόλος:

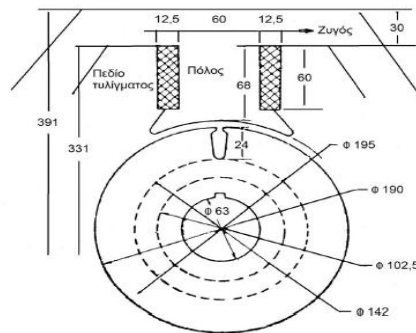
$$\frac{\text{ροή στον πόλο}}{B_p} = \frac{14,28 \cdot 10^{-3}}{1,6} = 0,0089 \text{ mm}^2$$

$$\text{Μήκος} = 0,145 \text{ m}, \text{ πλάτος} = \frac{\text{Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο πόλος}}{\text{μήκος}} = \frac{0,0089}{0,145} = 0,061 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$$

Ο πόλος είναι κατασκευασμένος από CRCA ελάσματα, όπου το κάθε ένα έχει πάχος 1,25 mm

$$\text{Τόξο πόλου: } 0,65 \cdot 149,1 = 97 \text{ mm}$$

Παίρνουμε διάκενο με επένδυση 2,5 mm. Χωρίς επένδυση ένα 1 mm. Το μέσο μήκος διακένου είναι 1,75 mm. Παίρνουμε ύψος μαγνητικού πόλου = 60 mm. Η προβολή του πόλου σε κάθε πλευρά είναι 12,5 mm.



**Σχ.4.3: Διαστάσεις πόλου και ζυγού κινητήρα Σ.Ρ.**

#### 4.8 Σχεδιασμός ζυγού

Ο ζυγός επίσης είναι κατασκευασμένος από ελάσματα CIRCA πάχους 1,25 mm. Φτιάχνεται οκταγωνικός αντί για κυκλικός ζυγός για να έχει περισσότερο σίδηρο καθώς και χώρο για το τύλιγμα πεδίου.

$$\text{Ροή στον ζυγό: } \frac{\lambda \cdot \varphi}{2} = \frac{18,28 \cdot 10^{-3}}{2} = 7,14 \cdot 10^{-3} \text{ wb}$$

$$\text{Θεωρούμε πυκνότητα μαγνητικής ροής για τον ζυγό} = 1,2 \text{ wb/m}^2$$

Χώρος που καταλαμβάνει ο ζυγός:

$$\frac{\text{Ροή στον ζυγό}}{\text{πυκνότητα ροής στον ζυγό}} \cdot 10^6 = \frac{7,14 \cdot 10^{-3}}{1,2} \cdot 10^6 = 6000 \text{ mm}^2$$

Παίρνουμε το μήκος του ζυγού μεγαλύτερο από το μήκος του πόλου περίπου 55 mm

$$\text{Το συνολικό μήκος του ζυγού είναι: } 145 + 55 = 200 \text{ mm}$$

Το πάχος του ζυγού είναι:  $\frac{\text{Χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός}}{\text{μήκος του ζυγού}} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm}$

Η διάμετρος στο κέντρο του πόλου είναι:  $D + (2 \cdot 2,5) = 190 + (2 \cdot 2,5) = 195 \text{ mm}$

όπου 2,5mm είναι το διάκενο.

#### Η διάμετρος στην κορυφή του πόλου:

διάμετρος στο κέντρο του πόλου +  $(2 \cdot 68) = 195 + (2 \cdot 68) = 331 \text{ mm}$

**Εξωτερική διάμετρος ζυγού:** διάμετρος στην κορυφή του πόλου +  $(2 \cdot 68) = 331 + (30 + 2) = 331 + (30 \cdot 2) = 391 \text{ mm}$

#### 4.9 Πυρήνας οπλισμού

Η διάμετρος του άξονα:  $63 \text{ mm}$

Η διάμετρος στη βάση των αυλακίων του πυρήνα:

$$D - (24 \cdot 2) = 190 - (24 \cdot 2) = 142 \text{ mm}$$

Βάθος πυρήνα οπλισμού:

$$\frac{\text{διάμετρος στη βάση αυλακίων} - \text{διάμετρος του άξονα}}{2} = \frac{142 - 63}{2} = 39,5 \text{ mm}$$

Μήκος πυρήνα οπλισμού:  $L - \text{άνοιγμα εξαερισμού} = 155 - 10 = 145 \text{ mm}$

Πυκνότητα μαγνητικής ροής στον πυρήνα:

$$B_C = \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{1}{\text{βάθος πυρήνα οπλισμού} \cdot \text{διάμετρος στη βάση αυλακίων} \cdot \text{βαθμός σκληρότητας}} = \frac{11,9 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{1}{0,0395 \cdot 0,145 \cdot 0,95} = 1,09 \text{ Wb/m}^2$$

Μέση διάμετρος πυρήνα:

$$\frac{\text{διάμετρος στη βάση αυλακίων} + \text{διάμετρος του άξονα}}{2} = \frac{142 + 63}{2} = 102,5 \text{ mm}$$



Μέσο μήκος διαδρομής μαγνητικού πεδίου:  $\frac{\pi \cdot \text{μέση διάμετρος πυρήνα}}{4} = \frac{3,14 \cdot 102,5}{4} = 80,5W$

Μέσο μήκος διαδρομής μαγνητικού πεδίου στον πόλο:  $68 \text{ mm}$

Μέση διάμετρος ζυγού:  $\text{διάμετρος στην κορυφή του πόλου} + 30 = 331 + 30 = 361 \text{ mm}$

Μέσο μήκος διαδρομής μαγνητικού πεδίου στο ζυγό:

$$\frac{\pi \cdot \text{μέση διάμετρο ζυγού}}{4} = \frac{3,14 \cdot 361}{4} = 285 \text{ mm}$$

#### 4.10 Αμπερελίγματα ανά πόλο

Διάκενο αέρα:  $\frac{\text{άνοιγμα}}{\text{διάκενο}} = \frac{4,5}{2,5} = 1,8$

Από καμπύλη:  $K_0 = 0,3$

$$y'_s = y_s - K_0 \cdot w_0 = 14,56 - 0,3 \cdot 4,5 = 13,21 \text{ mm}$$

Αριθμός δοντιών κάτω από το τόξο πόλου:  $\frac{\text{Τόξο πόλου}}{y_s} = \frac{97}{14,56} = 6,66$

Αποτελεσματικό τόξο πόλου:

$$y'_s \cdot \text{Αριθμός δοντιών κάτω από το τόξο πόλου} = 13,21 \cdot 6,66 = 88 \text{ mm}$$

$\frac{W_d}{I_g} = \frac{10}{2,5} = 4$ , από καμπύλη  $K_d = 0,53$ , πλάτος αγωγού =  $10 \text{ mm}$

Ενεργό μήκος πυρήνα:

$$L' = L - (K_d \cdot \text{πλάτος αγωγού}) = 155 - (0,53 \cdot 10) = 149,7 \text{ mm}$$

Ενεργός περιοχή διακένου:

$$\begin{aligned} \text{Αποτελεσματικό τόξο πόλου} \cdot \text{Αποτελεσματικό μήκος πυρήνα} &= 0,088 \cdot 0,1497 \\ &= 0,0132 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Πικνότητα μαγνητικής ροής διακένου:

$$B_g = \frac{\varphi}{\text{αποτελεσματικό διάκενο}} = \frac{11,9 \cdot 10^{-3}}{0,0132} = 0,9 \text{ wb/m}^2$$

$$AT_{air} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot \text{πυκνότητα ροής διακένου} \cdot 0,0025 = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,0025 = 1800$$

για διάκενο 2,5 mm και

$$AT_{air} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot \text{πυκνότητα ροής διακένου} \cdot 0,0001 = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,0001 = 720$$

για διάκενο 1 mm

Εάν είναι 2 mm το παίρνουμε  $AT_{air} = 1440$

Οι πυκνότητες μαγνητικής ροής και τα μέσα μήκη της μαγνητικής διαδρομής υπολογίζονται για το μαγνητικό κύκλωμα, δηλαδή, δόντια, πυρήνα οπλισμού και πόλο του ζυγού. Τα αμπερελίγματα ανά πόλο συνολικά υπολογίζονται από τα αμπερελίγματα για κάθε κομμάτι.

| Μέρος            | Ροή(mWb) | Πυκνότητα ροής(Wb/m <sup>2</sup> ) | Μήκος(mm) | at/m | AT   | Απώλειες(w/kg) |
|------------------|----------|------------------------------------|-----------|------|------|----------------|
| Δόντια οπλισμού  | 11.9     | 1.8                                | 24.00     | 3600 | 87   | 12             |
| Πυρήνας οπλισμού | 11.9/2   | 1.09                               | 80.05     | 160  | 13   | 3.4            |
| Διάκενο          | 11.9     | 0.9                                | 2.00      | -    | 1400 |                |
| Πόλος            | 14.28    | 1.6                                | 68        | 5000 | 340  |                |
| Ζυγός            | 14.28/2  | 1.2                                | 285       | 1000 | 285  |                |

**Πίνακας 4.10.1: Υπολογισμός μαγνητικού κυκλώματος για αμπερελίγματα ανά πόλο.**

\*AT ανά πόλο=2165

Παίρνουμε κατά προσέγγιση 2200 αμπερελίγματα ανά πόλο.

$$\text{Αμπερελίγματα ανά πόλο: } \frac{I_a \cdot Z_a}{2 \cdot p \cdot a} = \frac{38,63 \cdot 737}{2 \cdot 4 \cdot 2} = 1782$$

Αναλογία αμπερελίγματα ανά πόλο στο πεδίο στο τύλιγμα πεδίου προς τα αμπερελίγματα

$$\text{ανά πόλο: } \frac{\text{κατά προσέγγιση αμπερελίγματα ανά πόλο}}{\text{αμπερελίγματα ανά πόλο}} = \frac{2200}{1782} = 1,23$$

### **Βάρος σιδήρου των δοντιών του οπλισμού:**

$$\text{μήκος} \cdot 0,0065 \cdot \text{μήκος πυρήνα οπλισμού} \cdot \text{βαθμός σκληρότητας} \cdot \text{αριθμός αυλακίων} \cdot 7,78 \cdot 1000 \\ = 0,024 \cdot 0,0065 \cdot 0,145 \cdot 0,95 \cdot 41 \cdot 7,78 \cdot 1000 = 6,9 \text{ kg}$$

### **Βάρος σιδηροπυρήνα:**

$$\frac{\pi}{4} \cdot \{(142/1000)^2 - (63/1000)^2\} \cdot 0,145 \cdot 0,95 \cdot 7,78 \cdot 1000 = 12,65 \text{ kg}$$

### **Απώλειες σιδήρου στα δόντια του οπλισμού:**

*Βάρος σιδήρου των δοντιών οπλισμού • απώλειες δοντιών οπλισμού = 6,9 • 12 = 83 W*

### **Απώλειες σιδήρου στον πυρήνα οπλισμού:**

*Βάρος σιδήρου πυρήνα • απώλειες πυρήνα οπλισμού = 12,65 • 3,4 = 43 W*

### **Συνολικές απώλειες σιδήρου στην βασική συχνότητα:**

Απώλειες σιδήρου στα δόντια του οπλισμού+απώλειες σιδήρου στον πυρήνα οπλισμού=  
83 + 43 = 126 W

**Απώλειες σιδήρου:** Οι απώλειες σιδήρου που υπολογίστηκαν παραπάνω πολλαπλασιάζονται επί 2 για να λάβουμε υπόψη τις επιπρόσθετες απώλειες που δημιουργούνται από την διακύμανση της μαγνητικής ροής στα δόντια του οπλισμού: 2 • 126 = 252 W

### **4.11 Βάρος χαλκού στον οπλισμό**

Βάρος χαλκού στον οπλισμό:

*Μέσο μήκος αγωγού • χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός • αριθμό αγωγών οπλισμού • 1000 • 8,89  
= 0,380 • (2 • 1,53) • 10<sup>-6</sup> • 737 • 1000 • 8,89 = 7,63 kg*

### **4.12 Σχεδιασμός τυλίγματος παράλληλης διέγερσης**

Αμπερελίγματα ανά πόλο: 2200

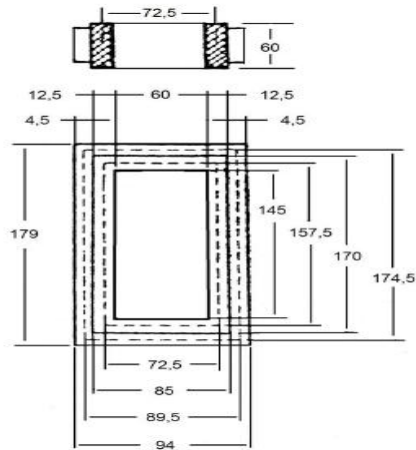
Εάν πάρουμε το ρεύμα του παράλληλου πεδίου 2A, ο αριθμός των τυλιγμάτων ανά πόλο για το πεδίο του παράλληλου τυλίγματος είναι:

$$\frac{\text{Αμπερελίγματα ανά πόλο}}{2} = \frac{2200}{2} = 1100$$

Παίρνουμε πυκνότητα ρεύματος για το πεδίο τυλίγματος: 4 A/mm<sup>2</sup>

Μέγεθος αγωγού για το πεδίο τυλίγματος:  $\frac{2}{4} = 0,5 \text{ mm}^2$

Επιλέγουμε εμαγιέ (στρογγυλά χάλκινα σύρματα) αγωγό με μεσαίο κάλυμμα διαμέτρου 0,8 mm



**Σχ.4.4: Τύλιγμα παράλληλης διέγερσης, τύλιγμα αντιστάθμισης.**

Περιοχή κάλυψης αγωγού:  $\frac{\pi}{4} \cdot 0,8^2 = 0,5025 \text{ mm}^2$

Το μέσο μήκος του τυλίγματος του παράλληλου πεδίου μπορεί να βρεθεί από τις παρακάτω διαστάσεις

Στο σχήμα 4.4 του βασικού πόλου είναι ορθογώνιο με πλάτος = 60 mm και μήκος = 145 mm

Το πλάτος του παράλληλου τυλίγματος πεδίου είναι 12,5mm. Έτσι οι εξωτερικές διαστάσεις του πεδίου του παράλληλου τυλίγματος είναι: 85mm • 170mm

Και το μέσο μήκος του τυλίγματος είναι:  $2 \cdot (145 + 12,5 + 60 + 12,5) = 460 \text{ mm}$

Επιφάνεια που καταλαμβάνει το παράλληλο τύλιγμα:  $12,5 \cdot 60 = 750 \text{ mm}^2$

Επιφάνεια που καταλαμβάνει οι αγωγοί:  $1100 \cdot 0,5 = 550 \text{ mm}^2$

Εάν πάρουμε συντελεστή χώρου για το τύλιγμα 0,8 ο καθαρός διαθέσιμος χώρος είναι:  $750 \cdot 0,8 = 600 \text{ mm}^2$

Επομένως, είναι δυνατόν ο χώρος αυτός να χωρέσει 1100 στροφές σύρματος διαμέτρου 0,8mm<sup>2</sup>

Αντίσταση ανά μέτρο συρμάτινου αγωγού διαμέτρου 0,8 mm: 0,03430 στους 20°C.

Αντίσταση του πεδίου του παράλληλου τυλίγματος στους 75°C. Δίνεται από τον τύπο:

$$R_f = \text{τυλίγματα} \cdot M.L.T \cdot 0,03430 \cdot 1,215 \cdot \text{αριθμός σπειρών} =$$

$$1100 \cdot 460 \cdot 0,03430 \cdot 1,215 \cdot 4 = 84,35 \Omega$$

Απώλειες χαλκού πεδίου:  $I_f^2 \cdot R_f = 2^2 \cdot 84,35 = 338 \text{ W}$

Οπότε η τάση διέγερσης είναι:  $I_f \cdot R_f = 2 \cdot 84,35 = 170V$

#### 4.13 Τύλιγμα αντιστάθμισης

Αυτό το τύλιγμα τοποθετείται σε σειρά με τον οπλισμό για να προστατέψει από την πτώση τάσης στον οπλισμό λόγο του φορτίου. Τα τυλίγματα είναι σε σειρά και τοποθετούνται πάνω από το παράλληλο τύλιγμα. Το τύλιγμα έχει λίγες σπείρες και είναι ικανό να μεταφέρει το ρεύμα του οπλισμού.

Για τον υπολογισμό των αμπερελιγμάτων του τυλίγματος αντιστάθμισης παίρνουμε τυπικά το 8% των συνολικών αμπερελιγμάτων οπότε:  $2200 \cdot 8\% = 176$  αμπερελίγματα ανά πόλο.

Ρεύμα =  $I_f = 38,63 A$

Επομένως τα τυλίγματα είναι:  $\frac{\text{αμπερελίγματα ανά πόλο}}{I_f} = \frac{176}{38,63} = 4,56 \approx 5$

Παίρνουμε πυκνότητα ρεύματος  $\delta = 4 A/mm^2$

Η επιφάνεια του αγωγού:  $\frac{38,63}{4} = 9,65 A/mm^2$

Παίρνουμε: ορθογώνιο αγωγό διαστάσεων:  $4mm \cdot 2,5mm$ , επιφάνεια που καταλαμβάνει:  $9,451 m^2$

Συνολικά αμπερελίγματα για το τύλιγμα αντιστάθμισης:

$I_f \cdot \text{τυλίγματα} \cdot 4 = 38,63 \cdot 5 \cdot 4 = 772$

Το μέσο μήκος του τυλίγματος αντιστάθμισης μπορούμε να το δούμε από το Σχήμα 4.4. Το τύλιγμα βρίσκεται πάνω από το πεδίου του παράλληλου τυλίγματος.

Το μέσο μήκος του τυλίγματος:  $(170 + 5,5 + 85 + 5,5) \cdot 2 = 532 mm$

Αντίσταση:  $\frac{(\text{Αντίσταση ανά μέτρο συρμάτινου αγωγού}/2) \cdot \text{μέσο μήκος του τυλίγματος}}{\text{χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός}} = \frac{0,017421 \cdot 0,532}{9,451} = 0,236 \Omega$

#### 4.14 Σχεδίαση βοηθητικών πόλων

Το μέγεθος του αγωγού των βοηθητικών πόλων είναι το ίδιο με αυτό του πεδίου του τυλίγματος αντιστάθμισης.

Πυκνότητα ρεύματος:  $\delta = 4 A/mm^2$

Επιφάνεια αγωγού:  $\frac{38,63}{4} = 9,65 A/mm^2$

Παίρνουμε τετράγωνο αγωγό διαστάσεων:  $4mm \cdot 2,5mm$ , επιφάνεια που καταλαμβάνει:  $9,451 mm^2$

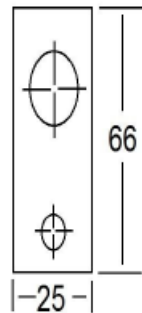
Πλάτος βοηθητικού πόλου:

$$W_i = \{ \text{πάχος της ψήκτρας} + (\text{αριθμός σπειρών ανά στρώση} - 1) \cdot \text{βήμα συλλέκτη} \} \cdot \frac{D_a}{D_c} =$$

$$= \{ 12,5 + (3 - 1) \cdot 4 \} \cdot \frac{190}{155} = 25mm$$

Το διάκενο κάτω από τον βοηθητικό πόλο είναι μεγαλύτερο από το διάκενο των κύριων πόλων.

Παίρνουμε το μικρότερο =  $3mm$  και προσαρμόζουμε 8 επενδύσεις πάχους  $0,375mm$  η κάθε μία. Φτιάχνεται μέγιστο διάκενο  $6mm$ . Παίρνουμε το μέσο  $4,5mm$ .



**Σχ.4.5: Βοηθητικός πόλος.**

Ύψος βοηθητικού πόλου:  $\frac{331 - (190 + 4,5 \cdot 2)}{2} = 66 mm$

Ο βοηθητικός πόλος είναι φτιαγμένος από CRCA ελάσματα πάχους  $1,25mm$ .

#### **4.15 Πυκνότητα μαγνητικής ροής στον βοηθητικό πόλο ( $B_{cp}$ ).**

Για να βρούμε την πυκνότητα μαγνητικής ροής στον βοηθητικό πόλο είναι απαραίτητο να βρούμε τη μαγνητική διαπερατότητα λόγω του αυλακίου, του άκρου του δοντιού και της διαρροής.

Από το σχήμα 4.2 παίρνουμε τις διαστάσεις και τις καμπύλες του αυλακίου για να υπολογίσουμε την μαγνητική διαπερατότητα.

$$\frac{W_{S1}}{W_{S2}} = \frac{8}{4,5} = 1,77, \frac{h_1}{W_{S2}} = \frac{20}{4,5}, F = 0,75$$

Η διαπερατότητα για την σχισμή του σχήματος 4.2:

$$\lambda_{s1} = \frac{F}{W_{S2}} + \frac{2 \cdot 1}{W_{S2} + W_{S1}} + F = \frac{0,75}{4,5} + \frac{2 \cdot 1}{4,5 + 8} + 0,75 = 0,166 + 0,16 + 0,75 \leftrightarrow \leftrightarrow \lambda_{s1} = 1,076$$

$$\lambda_S = 0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot \lambda_{s1} = 0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot 1,076 = 1,35 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{tt} = 0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot \frac{b_{cp}}{6 \cdot l_{gcp}}$$

$b_{cp}$ : πλάτος πόλου συλλέκτη

$l_{gcp}$ : μήκος διακένου στον συλλέκτη

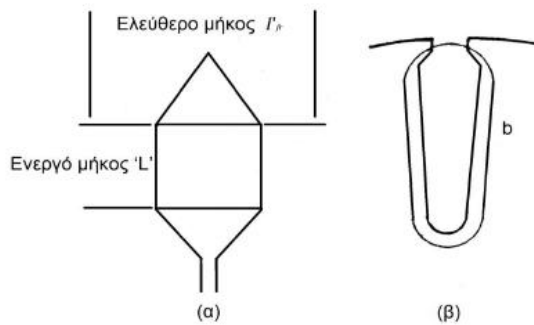
$$\lambda_{tt} = 0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot \frac{25}{6 \cdot 4,5} = 1,16 \cdot 10^{-6}$$

Στο σχήμα 4.6 α) φαίνονται το ενεργό και το ελεύθερο μήκος του αγωγού του οπλισμού και στο σχήμα 4.6 β) φαίνεται το μήκος των συνδέσεων της μαγνητικής τοής γύρω από το τμήμα του αγωγού στη σχισμή. Αυτό το συμβολίζουμε με 'b', το ενεργό μήκος με 'L' και το ελεύθερο μήκος με 'l<sub>fr</sub>'.

Από το σχήμα φαίνεται ότι το  $L = 155 \text{ mm}$ ,  $l'_{fr} = 255 \text{ mm}$  και  $b = (8 + 4,5 + 20 + 20) \cong 54 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$

$$\lambda_0 = \frac{l'_{fr}}{L} \cdot (0,23 \cdot \log \frac{l'_{fr}}{b} + 0,07) \cdot 10^{-6} = \frac{255}{155} \cdot (0,23 \cdot \log \frac{255}{60} + 0,07) \cdot 10^{-6} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \lambda_0 = 0,293 \cdot 10^{-6}$$



**Σχ.4.6: α) το ενεργό μήκος 'L' και ελεύθερο μήκος  $l_{fr}$  προεξοχής του αγωγού οπλισμού, β) μήκος συνδέσεων της ροής 'b' γύρω από το τμήμα του αγωγού στο αυλάκι.**

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_{tt} + \lambda_0 = (1,35 + 1,16 + 0,293) \cdot 10^{-6} = 2,803 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Αμπεροαγωγοί ανά αυλάκι: } I_a \cdot Z_a = 38,63 \cdot 18 = 695$$

$$\text{Και } B_{cp} = \frac{L}{L_{cp}} \cdot \frac{2 \cdot I_a \cdot Z_s \cdot \lambda}{W_i} = \frac{1}{0,6} \cdot \frac{2 \cdot 695 \cdot 2,803 \cdot 10^{-6}}{0,025} = 0,26 \text{ Wb/m}^2$$

$L_{cp}$ : μήκος του βοηθητικού πόλου το οποίο παίρνουμε 0,6 φορές το μήκος του κυρίως πόλου.  
( $0,6 \cdot 145 = 87 \text{ mm}$ )

Για να βρούμε τα αμπερελίγματα ανά πόλο για τον βοηθητικό πόλο προσθέτουμε τα αμπερελίγματα τα αντίδρασης του επαγωγικού τυμπάνου  $F_a$  με τα αμπερελίγματα του διακένου του βοηθητικού πόλου.

$$\text{Αμπερελίγματα της αντίδρασης του οπλισμού: } F_a = \frac{I_a \cdot Z_a}{2 \cdot p \cdot a} = \frac{38,63 \cdot 737}{2 \cdot 4 \cdot 2} = 1782$$

Συντελεστής του Κάρτερ για το διάκενο του βοηθητικού πόλου:

$$\frac{\text{άνοιγμα σχισμής}}{\text{διάκενο}} = \frac{4,5}{4,5} = 1$$

$$\text{Από καμπύλη: } K_0 = 0,15$$

$$y'_s = y_s - K_0 \cdot w_0 = 14,56 - 0,15 \cdot 4,5 = 13,885 \text{ mm}$$

$$\text{Συντελεστής του Κάρτερ: } K_g = \frac{y_s}{y'_s} = \frac{14,56}{13,885} = 1,05$$

Αμπερελίγματα για το διάκενο του βοηθητικού πόλου:

$$0,8 \cdot K_g \cdot B_{cp} \cdot L_{cp} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 1,05 \cdot 0,26 \cdot 0,0045 \cdot 10^6 = 983$$



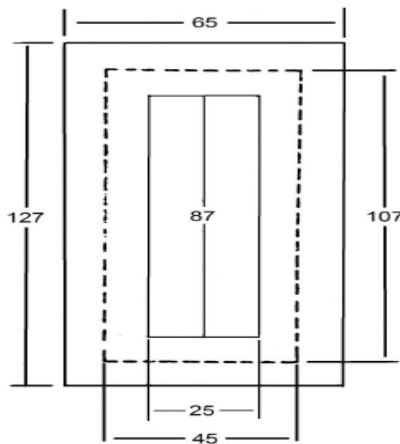
Συνολικά αμπερελίγματα ανά πόλο για τον βοηθητικό πόλο:

$$F_a + \text{Αμπερελίγματα για το διάκενο του πόλου μεταγωγής} = 1782 + 983 = 2765$$

$I = 38,63A$  , Τυλίγματα ανά πόλο μεταγωγής:

$$\frac{\text{Συνολικά αμπερελίγματα ανά πόλο}}{I} = \frac{2765}{38,63} = 71$$

Το τύλιγμα του βοηθητικού πόλου μπορεί να χωριστεί σε 4 με 5 στρώσεις. Το πλάτος του είναι περίπου 20 mm. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η γενική συμπεριφορά του τυλίγματος για να βρούμε το μέσο μήκος κάθε τυλίγματος.



**Σχ.4.7: Πεδίου του τυλίγματος του βοηθητικού πόλου.**

$$\text{Μέσο μήκος τυλίγματος: } (25 + 20 + 87 + 20) \cdot 2 = 304 \text{ mm}$$

$$\text{Επιφάνεια που καταλαμβάνει: } 9,451 \text{ mm}^2$$

Αντίσταση 4 τυλιγμάτων του βοηθητικού πόλου:

$$\frac{0,017241}{9,451} \cdot 1,215 \cdot 71 \cdot 4 \cdot 0,304 = 0,192 \Omega$$

$$\text{Απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης: } I_a^2 \cdot \text{αντίσταση} = 38,63^2 \cdot 0,0236 = 35 \text{ W}$$

Απώλειες στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου:

$$I_a^2 \cdot \text{αντίσταση} = 10,22^2 \cdot 0,192 = 287 \text{ W}$$

Απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης και στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου:

$$35 + 287 = 322 \text{ W}$$

## 4.16 Απώλειες και βαθμός απόδοσης

Οι διάφοροι τύποι απωλειών στον κινητήρα είναι: απώλειες χαλκού οπλισμού, απώλειες συλλέκτη, απώλειες σιδήρου, απώλειες τριβής και ανεμισμού, απώλειες δινορευμάτων και φορτίου, απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης σειράς και απώλειες τυλίγματος βοηθητικού πόλου.

$$\text{Βαθμός απόδοσης: } \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εξόδου} + \text{απώλειες}} \cdot 100\% = \frac{15000}{15000 + 1888} \cdot 100\% = 88\%$$

Ισχύς εξόδου κινητήρα: 15 KW

Οι απώλειες υπολογίζονται παρακάτω:

|  |        |
|--|--------|
| Απώλειες χαλκού οπλισμού:  | 709 W  |
| Απώλειες συλλέκτη:   | 117 W  |
| Απώλειες σιδήρου:  | 252 W  |
| Απώλειες τριβής και ανεμισμού:   | 150 W  |
| Απώλειες χαλκού παράλληλου πεδίου:                                       | 338 W  |
| Απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης και στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου: | 322 W  |
| Σύνολο:  | 1888 W |

## 4.17 Περιλήψη κατασκευής και λειτουργίας

### 4.17.1 Προδιαγραφές:

Ισχύς 15 KW, Τάση 440 V, Ταχύτητα περιστροφής 1500rpm, Αριθμός πόλων 4, Βαθμός απόδοσης 88%

Συγκεκριμένο ηλεκτρικό φορτίο (specific electric load) : 25.000 A ανά μέτρο αγωγών

Συγκεκριμένο μαγνητικό φορτίο (specific magnetic load) : 0,5 wb/m<sup>2</sup>

### Οπλισμός

#### Πυρήνας

|  |        |
|--|--------|
| Υλικό κατασκευής special lohys πάχους: | 0,5 mm |
| Εξωτερική διάμετρος:                   | 190 mm |
| Μήκος:                                 | 155 mm |

|  |         |
|--|---------|
| Κενό εξαερισμού:   | 10 mm   |
| Διάμετρος άξονα:   | 63 mm   |
| Αριθμός αυλακίων: 41, είδος αυλακίου:ανοιχτού βάθους 24mm και απεικονίζονται στο Σχήμα 4.2 |         |
| Βήμα σχισμής:  | 14,6 mm |
| Μέσο πλάτος δοντιού:   | 6,51 mm |

#### **4.17.2 Τύλιγμα οπλισμού**

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Γωνιακή ταχύτητα:  | 14,92 m/s             |
| Τάση ανά στροφή:   | 1,15 V                |
| Βήμα πόλου:  | 149,2 mm              |
| Ροή ανά πόλο:  | 11,9 mWb              |
| Αριθμός πόλων:   | 4                     |
| Αριθμός αγωγών:  | 737                   |
| Απλό κυματοειδές τύλιγμα 6 αγωγοί ανά σχισμή με 3 στροφές στο πηνίο. |                       |
| Αριθμός αγωγών ανά αυλάκι:   | 18                    |
| Η απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου είναι:                          |                       |
| 2 αγωγοί εν παράλληλω μεγέθους 1,4mm ο κανένας.                      |                       |
| Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο αγωγός:                                 | 3,08 mm <sup>2</sup>  |
| Πυκνότητα ρεύματος:  | 6,5 A/mm <sup>2</sup> |
| Ρεύμα οπλισμού:  | 38,63 A               |
| Μέσο μήκος αγωγού:   | 380 mm                |

#### **Πόλος**

Φτιαγμένος από ελάσματα υλικού CRCA πάχους 1,25mm το κάθε ένα.

|               |        |
|---------------|--------|
| Πλάτος πόλου: | 60 mm  |
| Μήκος πόλου:  | 146 mm |

Ύψος πόλου:60mm, μαζί με το πέλμα του πόλου 68mm

|   |          |
|---|----------|
| Τόξο πόλου:                                       | 97 mm    |
| Ροή ανά πόλο:                                     | 14,8 mWb |
| Διάκενο: 1mm+4επενδύσεις 0,375mm πάχος η κάθε μία |          |
| Άρα μέγιστο διάκενο:                              | 2,5 mm   |

### **Ζυγός**

Φτιαγμένος από ελάσματα υλικού CRCA πάχους 1,25 το κάθε ένα.

Σχήμα: οκταγωνικό, 391mm το τετράγωνο

|               |          |
|---------------|----------|
| Ροή στο ζυγό: | 7,14 mWb |
| Μήκος ζυγού:  | 200 mm   |
| Πάχος ζυγού:  | 30 mm    |

### **4.17.3 Συλλέκτης**

|  |                        |
|--|------------------------|
| Αριθμός των τομέων συλλέκτη:           | 123                    |
| Βήμα μπάρας συλλέκτη:                  | 4 mm                   |
| Διάμετρος συλλέκτη:                    | 155 mm                 |
| Γωνιακή ταχύτητα συλλέκτη:             | 12,17 m/s              |
| Τάση μεταξύ των τμημάτων του συλλέκτη: | 14,3 V                 |
| Αριθμός ψηκτρών:                       | 4                      |
| Ένταση ανά ψήκτρα:                     | 19,3 A                 |
| Πυκνότητα ροής για την ψήκτρα:         | 0,06 A/mm <sup>2</sup> |
| Μέγεθος ψήκτρας:                       | 12,5 mm x 25mm         |
| Μήκος συλλέκτη:                        | 84 mm                  |
| Το βήμα του συλλέκτη είναι:            | $Y_c=61$               |
| Οι συνδέσεις είναι από 1 έως 62        |                        |

#### 4.17.4 Πυκνότητες μαγνητικής ροής

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| Δόντια οπλισμού:         | 1,8 Wb/m <sup>2</sup>  |
| Πυρήνας οπλισμού:        | 1,09 Wb/m <sup>2</sup> |
| Πόλος:                   | 1,6 Wb/m <sup>2</sup>  |
| Ζυγός:                   | 1,2 Wb/m <sup>2</sup>  |
| Διάκενο B <sub>g</sub> : | 0,9 Wb/m <sup>2</sup>  |

#### 4.17.5 Τύλιγμα παράλληλης διέγερσης

|   |                     |
|---|---------------------|
| Αμπερελίγματα ανά πόλο:                         | 2200                |
| Ρεύμα τυλίγματος παράλληλης διέγερσης:          | 2 A                 |
| Αριθμός τυλιγμάτων ανά πόλο:                    | 1100                |
| Πυκνότητα ρεύματος:                             | 4 A/mm <sup>2</sup> |
| Εμαγιέ αγωγός με μεσαίο κάλυμμα διαμέτρου 0,8mm |                     |
| Μέσο μήκος τυλίγματος:                          | 460 mm              |
| Αριθμός πηνίων πεδίου:                          | 4                   |

#### 4.17.6 Τύλιγμα σειράς για αντιστάθμιση

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Αμπερελίγματα για τύλιγμα σειράς: | 772                     |
| Ρεύμα:                            | 38,63 A                 |
| Πυκνότητα ρεύματος:               | 4 A/mm <sup>2</sup>     |
| Μέγεθος αγωγού:                   | ορθογώνιος, 4mm x 2,5mm |
| Μέσο μήκος τυλίγματος:            | 532 mm                  |
| Τυλίγματα ανά πόλο:               | 5                       |

#### 4.17.7 Βοηθητικός πόλος

Φτιαγμένος από ελάσματα υλικού CRCA πάχους 1,25 το κάθε ένα.

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Πλάτος βοηθητικού πόλου: | 25 mm  |
| Μήκος βοηθητικού πόλου:  | 114 mm |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Ύψος βοηθητικού πόλου:   | 66 mm                   |
| Πυκνότητα ροής:  | 0,26 Wb/m <sup>2</sup>  |
| Αμπερελίγματα ανά βοηθητικό πόλο:  | 2765                    |
| Ρεύμα:   | 38,63 A                 |
| Πυκνότητα ρεύματος:  | 4 A/mm <sup>2</sup>     |
| Τύλιγμα ανά πόλο:  | 71                      |
| Μέγεθος αγωγού:  | ορθογώνιος, 4mm x 2,5mm |
| Διάκενο κάτω από τον βοηθητικό πόλο: 3mm+8 επενδύσεις 0,375 mm η κάθε μία. |                         |
| Άρα μέγιστο διάκενο:   | 6 mm                    |
| Μέσο διάκενο:  | 4,5 mm                  |
| Μέσο μήκος τυλίγματος:   | 304 mm                  |

#### **4.17.8 Αντίσταση και απώλειες**

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Η αντίσταση του οπλισμού στους 75°C:                                     | $R_{75}=0,475 \Omega$ |
| Απώλειες ισχύος ψήκτρας λόγω τριβής:                                     | 40 W                  |
| Απώλειες επαφής της ψήκτρας:   | 77,26 W               |
| Βάρος χαλκού στον οπλισμό:   | 7,63 kg               |
| Βάρος σιδήρου των δοντιών του οπλισμού:                                  | 6,9 kg                |
| Βάρος σιδήρου πυρήνα:  | 12,65 kg              |
| Απώλειες σιδήρου:  | 252 W                 |
| Αντίσταση του πεδίου παράλληλου τυλίγματος στους 75°C:                   | 84,35 $\Omega$        |
| Απώλειες χαλκού παράλληλου πεδίου:                                       | 338 W                 |
| Αντίσταση τυλίγματος σειράς για αντιστάθμιση:                            | 0,236 $\Omega$        |
| Αντίσταση 4 τυλιγμάτων του πόλου μεταγωγής:                              | 0,192 $\Omega$        |
| Απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης και στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου: | 322 W                 |
| Απώλειες χαλκού οπλισμού:  | 709 W                 |
| Απώλειες τριβής και ανεμισμού:   | 150 W                 |

Συνολικές απώλειες: 1888 W

#### **4.17.9 Βαθμός απόδοσης**

##### **Λειτουργία**

Πραγματική ισχύς κινητήρα: 15000 W

Σύνολο απωλειών: 1888 W

Βαθμός απόδοσης: 88%

Ταχύτητα περιστροφής: 1500rpm

Τροφοδοσία διέγερσης: 170 V, 2 A

Ψύξη σε ανεμιστήρα

Θερμοκρασία περιβάλλοντος: 40°C, κλάσης B αύξησης θερμοκρασίας, για το παράλληλο πεδίο και τον πόλο μεταγωγής καθώς και για τον συλλέκτη.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Βιβλία**

#### **Ελληνική**

1. Παντελής Β.Μαλατέστας , Ηλεκτρικές Μηχανές , 3<sup>η</sup> Έκδοση Εκδόσεις Τζιόλα
2. Φυλλάδιο Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Μηχανών Ι , Μέρος Β (Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος )

#### **Διεθνή**

1. M.V. Desphande , Design And Testing of Electrical Manchine

#### **Διαδίκτυο**

1. [https://blogs.sch.gr/mlagoudakos/files/2013/01/P075\\_164.pdf](https://blogs.sch.gr/mlagoudakos/files/2013/01/P075_164.pdf)
2. [https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BSMM111/%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%91/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B4%CF%8C%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82\\_%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AD%CF%82\\_%CE%99%CE%99%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%BF.doc](https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BSMM111/%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%91/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B4%CF%8C%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%89%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82_%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AD%CF%82_%CE%99%CE%99%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%BF.doc)
3. [https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE687/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8E%CE%BD%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD/%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE\\_%CE%A3%CF%8D%CE%B3%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B7.pdf](https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE687/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8E%CE%BD%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD/%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE_%CE%A3%CF%8D%CE%B3%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B7.pdf)
4. <http://ikee.lib.auth.gr/record/291478/files/motor.pdf>
5. [http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix\\_hm\\_05\\_DC\\_MOTORS.pdf](http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix_hm_05_DC_MOTORS.pdf)
6. ΕΙΚΟΝΕΣ που βρήκαμε είναι από το google