



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

Θέμα : << Μελέτη για την κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης. >>

Subject : << Design for construction of a shunt dc motor >>

Σπουδαστής : Αθανάσιος Βέννης

Αριθμός μητρώου : 44867

Επιβλέπων καθηγητής : Ηρακλής Βυλλιώτης

Αιγάλεω 2018

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διαπραγματεύεται την μελέτη για την κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης ισχύος 15 kW . Η εργασία θα περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια από τα οποία το πρώτο, θα είναι μια γενική εισαγωγή και περιγραφή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος .

Το δεύτερο κεφαλαίο θα αναφέρεται στην ροή ισχύος και στις απώλειες των μηχανών συνεχούς ρεύματος όπως απώλειες χαλκού , ψηκτρών , πύρινα , μηχανικές απώλειες και κατανεμημένες απώλειες .

Το τρίτο κεφάλαιο θα αναφέρεται γενικά στις κατηγορίες των κινητήρων συνεχούς ρεύματος και θα γίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή στην κατηγορία κινητήρων συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης .

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνεται η μελέτη για την κατασκευή ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης με προδιαγραφές : τάση 440 V , ισχύς 15 kW , ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm , 4 πόλους και βαθμό απόδοσης 88%

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	6
1.1 Εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος	6
1.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.	7
1.2.1 Κατασκευή των πόλων και του πλαισίου.....	8
1.2.2 Κατασκευή του δρομέα (οπλισμού).....	9
1.2.3 Ο Συλλέκτης και οι Ψήκτρες.....	9
1.2.4 Μονώσεις των τυλιγμάτων	9
1.3 Τυλίγματα.....	10
1.4 Παραγωγή τάσης.....	12
1.5 Παραγωγή ροπής.....	14
1.6 Αντίδραση τυμπάνου.....	17
Κεφάλαιο 2 : Ροή ισχύος και απώλειες στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.	20
2.1 Απώλειες στις μηχανές συνεχούς ρεύματος.....	20
2.1.2 Απώλειες χαλκού.....	20
2.1.3 Απώλειες ψηκτρών	21
2.1.4 Απώλειες πυρήνα	21
2.1.5 Μηχανικές απώλειες	21
2.1.6 Κατανεμημένες απώλειες.....	21
2.2 Διάγραμμα ροής ισχύος.....	22
Κεφάλαιο 3: Κινητήρες συνεχούς ρεύματος και οι κατηγορίες τους.....	23
3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος.	23
3.2 Η καμπύλη μαγνήτισης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.	24
3.3 Βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος	26
3.3.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης (ξένης)διέγερσης	26
3.3.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης	26
3.3.3 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς	27
3.3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος σύνθετηςδιέγερσης.....	28
3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης (shunt dc motor).28	
3.4.1 Η χαρακτηριστική φορτίου ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.....	29
3.4.2 Δυναμική ανάλυση.....	32

3.4.3 Έλεγχος στροφών.	34
-----------------------------	----

Κεφάλαιο 4 : Κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης. 36

4.1 Υπολογισμός μεγεθών D (διάμετρος mm) και L (μήκος mm) οπλισμού.	36
4.2 Κατασκευή οπλισμού.	37
4.3 Κατασκευή σχισμής	39
4.4 Αντίσταση τυλίγματος οπλισμού.	42
4.5 Κατασκευή συλλέκτη – (μεταγωγέα).	42
4.6 Απώλειες συλλέκτη-(μεταγωγέα).	43
4.7 Κατασκευή πόλου.	44
4.8 Κατασκευή ζυγού.	45
4.9 Πυρήνας οπλισμού.	46
4.10 Αμπεροτυλίγματα ανά πόλο	47
4.11 Βάρος χαλκού στον οπλισμό.	49
4.12 Κατασκευή πεδίου παραλλήλου τυλίγματος	49
4.13 Τύλιγμα σειράς για σταθεροποίηση	51
4.14 Κατασκευή ενδοπόλου ή πόλου μεταγωγής	52
4.15 Πυκνότητα ροής στον πόλο μεταγωγής(<i>Bcp</i>).	53
4.16 Απώλειες και βαθμός απόδοσης	57
4.17 Περίληψη κατασκευής και λειτουργιάς	58
4.17.1 Προδιαγραφές	58
4.17.2 Τύλιγμα οπλισμού	58
4.17.3 Συλλέκτης – (μεταγωγέας).	60
4.17.4 Πυκνότητες μαγνητικής ροής	60
4.17.5 Τύλιγμα παράλληλου πεδίου.	60
4.17.6 Τύλιγμα σειράς για σταθεροποίηση	61
4.17.7 Ενδοπόλος ή πόλος μεταγωγής	61
4.17.8 Αντίσταση και απώλειες	62
4.17.9 Βαθμός απόδοσης	62

Βιβλιογραφία. 64

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος

1.1 Εισαγωγή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος .

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος που λειτουργούν ως κινητήρες ,ονομάζονται κινητήρες συνεχούς ρεύματος ,η ίδια μηχανή είναι δυνατό να λειτουργεί τόσο ως γεννήτρια όσο και ως κινητήρας ,πράγμα που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη φορά ροής της ισχύος .

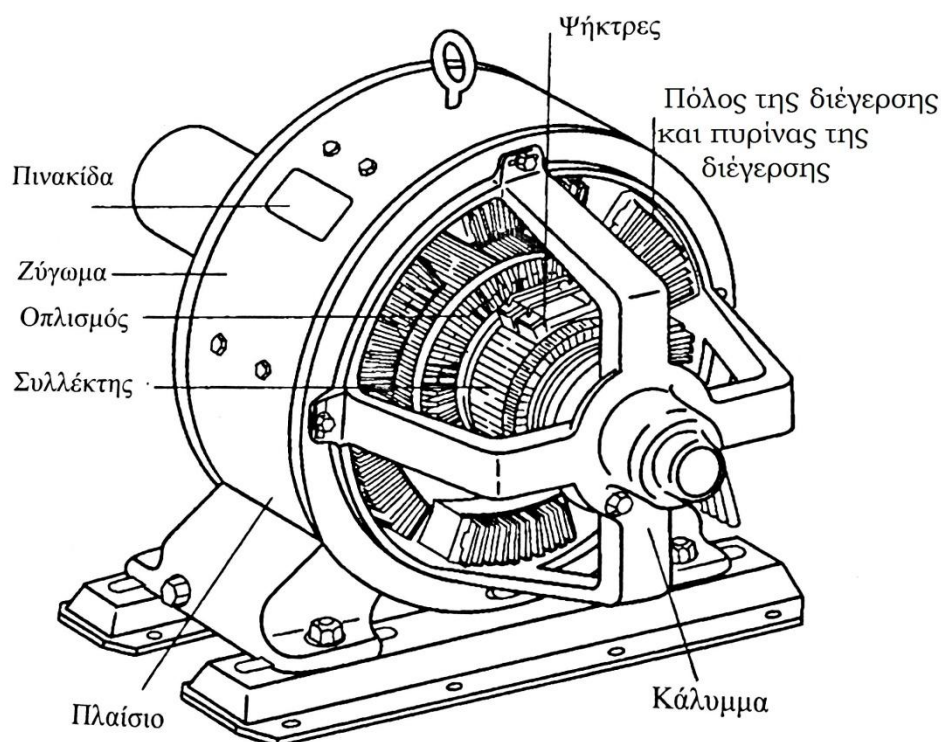
Τα πρώτα συστήματα ισχύος που ανατηχθήκαν στις ΗΠΑ ήταν συστήματα ισχύος ρεύματος αλλά ,από το 1890 ακόμη ,τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος ,ήταν αυτά που κυριάρχησαν στις εφαρμογές .Ανεξάρτητα από αυτό το γεγονός οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος συνέχισαν να κατέχουν μεγάλο ποσοστό των ετησίων πωλήσεων ηλεκτρικών μηχανών έως και τη δεκαετία 1960(το ποσοστό αυτό έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια).Όμως ,για πιο λόγο οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος ήταν τόσο διαδεδομένοι ,παρά το γεγονός ότι τα ίδια συστήματα συνεχούς ρεύματος συναντώνται σπάνια ;

Υπάρχουν μερικοί λόγοι που κάνουν αρκετά δημοφιλής στις μέρες μας τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος από αυτούς είναι το γεγονός ότι τα συστήματα συνεχούς ρεύματος είναι ακόμη αναντικατάστατα στα επιβατικά αυτοκινητιστή 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 έλεγχου της ταχύτητας οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι πραγματικά αξιόπεραστοι.

1.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Στο **Σχήμα 4** φαίνεται ένα απλουστευμένο σκαρίφημα για μηχανής συνεχούς ρεύματος ,ενώ στο **Σχήμα 1.1** παριστάνεται μια πιο λεπτομερή τομή της μηχανής .

Κατασκευαστικά η μηχανή αποτελείται από δυο μέρη :το στάτη , που είναι το ακίνητο μέρος της , και το δρομέα, το περιστρεφόμενο τμήμα .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 της μηχανής .Τα άκρα των πόλων προς το μέρος του δρομέα απλώνονται πάνω από την επιφάνεια του και διανέμουν ομοιόμορφα τη μαγνητική ροή σε όλο το πλάτος αυτής της επιφάνειας .Τα άκρα των πόλων ονομάζονται πέλματα (ή πέλδιλα ή μάγουλα)των πόλων .Η επιφάνεια του πέλματος ονομάζεται επιφάνεια του πώλου και η απόσταση μεταξύ πέλματος και δρομέα ονομάζεται διάκενο.



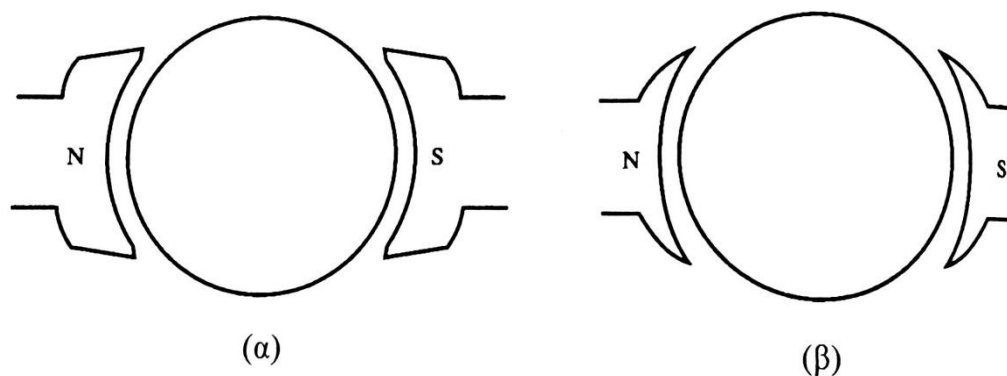
Σχήμα 1.1 : Σκαρίφημα μια μηχανής συνεχούς ρεύματος

Κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος διαθέτει δυο κύρια τυλίγματα το τύλιγμα του οπλισμού και το τύλιγμα διέγερσης . Το τύλιγμα του οπλισμού ορίζεται ως το τύλιγμα που επάγεται μια τάση ,ενώ το τύλιγμα διεγέρσεις ορίζεται ως το τύλιγμα που παράγει το κύριο μαγνητικό πεδίο μια μηχανής .Σε μια συνηθισμένη μηχανή συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται στο δρομέα και το τύλιγμα

διεγέρσεις τοποθετείται στο στήτη. Ακριβώς επειδή το τύλιγμα του οπλισμού τοποθετείται στο δρομέα, αυτός συνηθίζεται να ονομάζεται και οπλισμός της μηχανής.

1.2.1 Κατασκευή των πόλων και του πλαισίου

Οι κύριοι πόλοι των μηχανών συνεχούς ρεύματος παλαιότερης τεχνολογίας κατασκευάζονταν από απλά χυτά κομμάτια μέταλλου , γύρω από τα οποία περιελισσόταν το τύλιγμα του πεδίου . Συχνά για την ελάττωση των απολήτων πύρινα στους πόλους , οι άκρες κατασκευάζονταν από δυναμοελάσματα πάνω στα οποία τοποθετούνταν το τύλιγμα τούς . 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 έλεγχου τροφοδοτούν της μηχανές με τάσεις που περιέχουν αρκετά υψηλές αρμόνικες κι έτσι προκαλούνται μεγάλες απόλυες δινορευμάτων στο στάτη της μηχανής. Τα πέλματα των πόλων κατασκευάζονται με τους δυο τρόπους που φαίνονται στο **Σχήμα 1.2** λοξότεμνα ή έκκεντρα ,ώστε τα δυο άκρα του πέλματος να βρίσκονται λίγο πιο μακριά από την επιφάνεια του δρομέα από ότι βρίσκονται στο κέντρο τους . Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η μαγνητική αντίσταση στα άκρα των πελμάτων των πόλων πράγμα που μετριάζει το φαινόμενο συγκέντρωσης της μαγνητικής ροής που προκαλεί η αντίδραση οπλισμού.



Σχήμα 1.2 : Ειδική σχεδίαση των πελμάτων των πόλων για τον περιορισμό της αντίδρασης του οπλισμού.(α) Λοξότεμνη. (β) Έκκεντρη σχεδίαση.

Οι πόλοι των μηχανών συνεχούς ρεύματος συχνά ονομάζονται και προεξέχοντες πόλοι ,επειδή προεξέχουν από την επιφάνεια του στάτη .Οι βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται μεταξύ των κύριων πόλων .Όλο και πιο συχνά οι πόλοι αυτοί κατασκευάζονται επίσης από δυναμοελάσματα εξαιτίας του ιδίου προβλήματος απωλειών που εμφανίζεται στους κύριους πόλους .

1.2.2 Κατασκευή του δρομέα (οπλισμού)

Ο δρομέας ή οπλισμός μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από έναν χαλύβδινο άξονα πάνω στον οποίο τοποθετείτε ο πυρήνας .Ο πυρήνας αυτός κατασκευάζεται από πολλά χαλύβδινα ελάσματα ενωμένα μεταξύ τους και πάνω του είναι χαραγμένα τα αυλάκια στα οποία τοποθετείτε το τύλιγμα του δρομέα .Στο ένα άκρο του δρομέα και πάνω στον άξονα προσαρμόζεται ο συλλέκτης ,στους τομείς του οποίου καταλήγουν τα άκρα των συστάδων του τυλίγματος .

1.2.3 Ο Συλλέκτης και οι Ψήκτρες

Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος ο συλλέκτης κατασκευάζεται συνήθως από χαλύβδινες ράβδους που μονώνονται μεταξύ τους με κάποιο υλικό τύπου μίκας .Οι ράβδοι είναι αρκετά χοντρές , ώστε να αντέχουν στη φθορά κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής .Από την άλλη μεριά η μονωτική μίκα θα πρέπει να είναι πιο σκληρή και να σπάζει ευκολότερα από το υλικό του συλλέκτη , επειδή συχνά η μόνωση θα πρέπει να αυξάνεται , αφού με την πάροδο του χρόνου υπάρχει περίπτωση να προεξέχει από την επιφάνεια του συλλέκτη.

Οι ψήκτρες κατασκευάζονται από άνθρακα , από απλό ή μεταλλικό γραφίτη ή από μίγμα άνθρακα και γραφίτη .Διαθέτουν μεγάλη αγωγιμότητα για να αποφεύγεται η αύξηση των θερμικών απωλειών και μικρό συντελεστή τριβής για τη μείωση της υπερβολικής φθοράς που υφίστανται . Είναι σκόπιμα πολύ πιο μαλακές από τους τομείς του συλλέκτη ώστε αυτός να φθείρεται ελάχιστα .Τελικά ,η επιλογή του υλικού των ψηκτρών είναι προϊόν συμβιβασμού είναι πολύ μαλακιές θα πρέπει να αντικαθιστούνται πολύ συχνά , ενώ αν είναι πολύ σκληρές προκαλούν υπερβολική φθορά στην επιφάνεια του συλλέκτη κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής .

1.2.4 Μονώσεις των τυλιγμάτων

Το επόμενο πιο σημαντικό μέρος της σχεδίασης μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος, μετά το συλλέκτη , είναι οι μονώσεις των τυλιγμάτων της . Όταν καταστραφεί η μόνωση των τυλιγμάτων μιας μηχανής αυτή βραχυκυκλώνεται . Η επισκευή μια μηχανής μετά από ένα τέτοιο βραχυκύκλωμα , αν δεν είναι αδύνατη , είναι πολύ δαπανηρή . Για να προστατεύει μια μηχανή από την καταστροφή της μόνωσης των τυλιγμάτων της λόγω υπερθέρμανσης ,είναι απαραίτητος ο περιορισμός της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων . Αυτό μπορεί να γίνει με την εφαρμογή κυκλώματος ψυχρού αέρα στη μηχανή .Τελικά η μέγιστη θερμοκρασία των τυλιγμάτων είναι αυτή που περιορίζει τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσφέρει η μηχανή σε συνεχή λειτουργία.

Η μόνωση σπάνια καταστρέφεται αυτόματα μόλις ξεπεραστεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία . Αντίθετα , η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί βαθμιαία φθορά της μόνωσης και η καταστροφή της μπορεί να επέλθει με κάποιον άλλο τρόπο ,όπως με

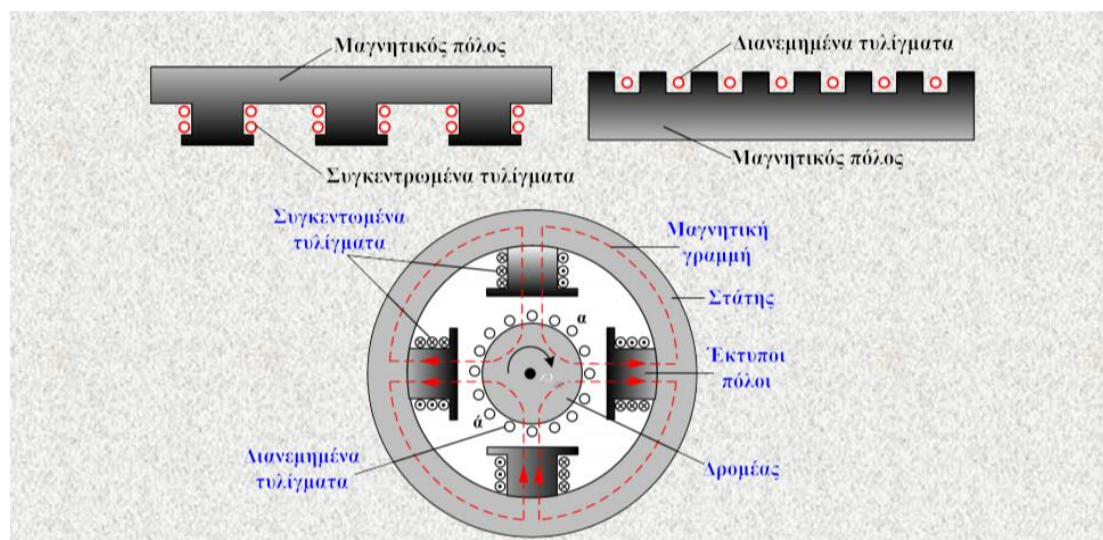
ένα δυνατό χτύπημα , λόγω ταλαντώσεων ή κάποιου Άλου ηλεκτρικού προβλήματος .Υπάρχει ένας παλιός κανόνας σύμφωνα με τον οποίο η διάρκεια της ζωής μιας μηχανής με δεδομένη μόνωση μειώνεται στο μισό κάθε φορά που η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 10%. Στις μέρες μας ισχύει αυτός ο κανόνας με κάποιες διορθώσεις .

Για να τυποποιηθούν κατά κάποιο τρόπο τα θερμοκρασιακά όρια των μονώσεων των μηχανών στις μηχανές , η Εθνική Ένωση Κατασκευαστών Ηλεκτρικών Συσκευών (National Electrical Manufacturers Association – NEMA) των ΗΠΑ έχει ορίσει μια σειρά από κλάσεις μόνωσης . Η κάθε κλάση ορίζει για όλους τους τύπους των μονώσεων τη μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας τους . Οι τέσσερις τυποποιημένες βαθμίδες μόνωσης της NEMA για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι οι **A,B,F** και **H**. Σε κάθε κλάση η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία του τυλίγματος είναι μεγαλύτερη από αυτή της προηγούμενης κλάσης . Για παράδειγμα , έστω ότι σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος έχει τοποθετηθεί ένα θερμόμετρο , ώστε να μετριέται η αύξηση της θερμοκρασίας του τυλίγματος του σπλισμού πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά τη λειτουργία του. Σύμφωνα με την παραπάνω τυποποίηση αυτή η αύξηση θα πρέπει να περιοριστεί στους 70 °C ,αν υπάρχει μόνωση κλάσης **A**, στους 100 °C ,αν υπάρχει μόνωση κλάσης **B**, στους 130 °C, αν υπάρχει μόνωση κλάσης **F** , στους 155, °C αν η μόνωση είναι κλάσης **H** .

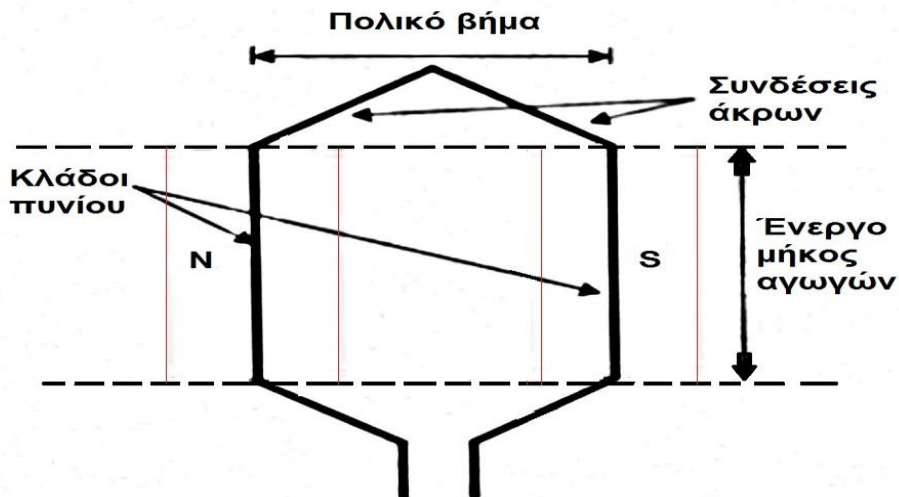
Η NEMA έχει ορίσει με μεγάλη ακρίβεια τέτοιου είδους θερμοκρασίες στην Τυποποίηση “Motors and Generators” (MGI - 1978).Παρόμοιες όμοιος τυποποιήσεις έχουν γίνει και από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή(International Electrotechnical Commission – IEC)και από μερικούς εθνικούς οργανισμούς σε άλλες χώρες .

1.3 Τυλίγματα

Ανάλογα με το είδος της ηλεκτρικής μηχανής , τα τυλίγματα τροφοδοτούνται με Συνεχές ή με Εναλλασσόμενο ρεύμα. Σκοπός των τυλιγμάτων είναι η δημιουργία και η κατάλληλη διαμόρφωση (μορφή και μέγεθος) των μαγνητικών πεδίων .

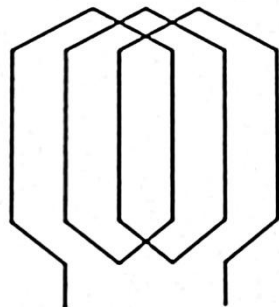


Οι πόλοι σε κάθε τύλιγμα , απέχουν μεταξύ τους ίσες αποστάσεις **πολικό βήμα** περί την περιφέρεια του διακένου. Ένα ζεύγος πόλων σε μια πολική μηχανή , καλύπτει ένα κύκλωμα διανομής της πυκνότητας μαγνητικής ροής γύρω από την περιφέρεια του διακένου και ισοδυναμεί με ηλεκτρικές μοίρες. Η συστατική μονάδα ενός τυλίγματος είναι το πηνίο το οποίο αποτελείται από N ελίγματα συνδεδεμένα σε σειρά.

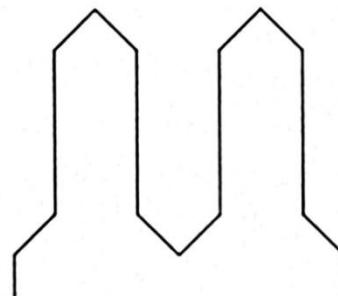


Σχήμα 1.3: Πηνίο τυλίγματος στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής .

Το ενεργό μήκος του πηνίου ,αντιστοιχεί στα μήκη των αγωγών των κλάδων που βρίσκονται υπό την επενέργεια του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου . Η απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών του πηνίου είναι ένα πολικό βήμα ή ηλεκτρικές μοίρες , αποτέλεσμα οι επαγόμενες τάσεις και ροπές στους δύο κλάδους του τυλίγματος να είναι ίσες σε μέγεθος και να δρουν αθροιστικά . Τα διανεμημένα τυλίγματα των ηλεκτρικών μηχανών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ,τα βροχοειδή (**Σχήμα 1.4**)και τα κυματοειδή (**Σχήμα 1.5**) τα οποία συνήθως είναι απλής ή διπλής στρώσης.



Σχήμα 1.4 : βροχοειδή τυλίγματα

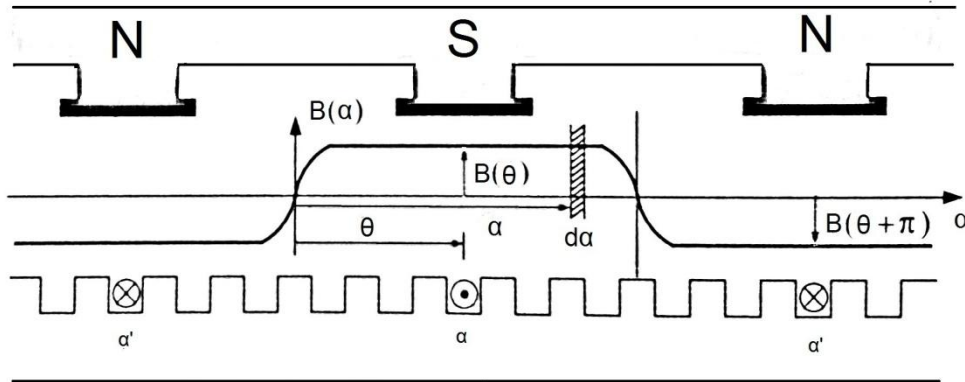


Σχήμα 1.5 : κυματοειδή τυλίγματα

1.4 Παραγωγή τάσης

Η παραγωγή της τάσης σε ένα τύλιγμα, σχετίζεται άμεσα με τη χρονική μεταβολή της πεπλεγμένης μαγνητικής ροής που δέχεται το ίδιο το τύλιγμα και η οποία σχετίζεται πάντα με τη μηχανική κίνηση.

Θεωρούμε ότι το στοιχειώδες τύλιγμα τύμπανου είναι πλήρους βήματος **Σχήμα 1.6**. Δηλαδή η απόσταση των πλευρών του ισούται με ένα πολικό βήμα.



Σχήμα 1.6: Τομή στάτη και δρομέα .

Η πεπλεγμένη ροή της στοιχειώδους επιφάνειας dA του πηνίου του δρομέα ,είναι:

$$d\lambda = NB(\alpha)dA = NB(\alpha)L\frac{D}{2} d\alpha$$

$$\lambda = \int_{\alpha=\theta}^{\alpha=\theta+\pi} d\lambda = \frac{NDL}{2} \int_{\alpha=\theta}^{\alpha=\theta+\pi} B(\alpha)d\alpha$$

- N:αριθμός σπείρων του πηνίου του δρομέα
- B:πυκνότητα μαγνητικής ροής στο διάκενο,(Wb/m²)
- L:ενεργό μήκος αγωγών,(m)
- D:διάμετρος δρομέα ,(m)
- λ:πεπλεγμενη ροη τυλίγματος τύμπανου,(Wb)

Επειδή η χωρική διανομή της πυκνότητας ροής είναι περάτη συνάρτηση, $B(-\alpha) = -B(\alpha)$,η σειρά Fourier θα περιέχει μόνο περιττούς όρους .Δηλαδή, θα είναι σειρά ημιτονίων ορών.

$$B(\alpha) = B_1 \sin \alpha + B_3 \sin 3\alpha + B_5 \sin 5\alpha + \dots + B_n \sin n\alpha$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις και ολοκληρώνοντας ως προς την πεπλεγμένη ροή, έχουμε

$$\lambda = NDL(B_1 \cos \theta + \frac{1}{3}B_3 \cos 3\theta + \dots + \frac{1}{n}B_n \cos n\theta)$$

Παρατηρούμε ότι ,οι οροί της πεπλεγμένης ροής του τυλίγματος τύμπανου μειώνονται ταχύτατα αυξανόμενου του n, πράγμα που σημαίνει ότι η πεπλεγμένη ροή καθώς και η αντίστοιχη χωρική κατανομή της πυκνότητας ροής ,μπορούν με μεγάλη ακρίβεια να παρασταθούν από τις αντίστοιχες θεμελιώδης συνιστώσες .Δηλαδή:

$$B = B_1 \cos \alpha \quad \text{και} \quad \lambda = NDLB_1 \cos \theta = \lambda_1 \cos \theta \quad (1)$$

Η επαγόμενη τάση στο τύλιγμα του τύμπανου είναι:

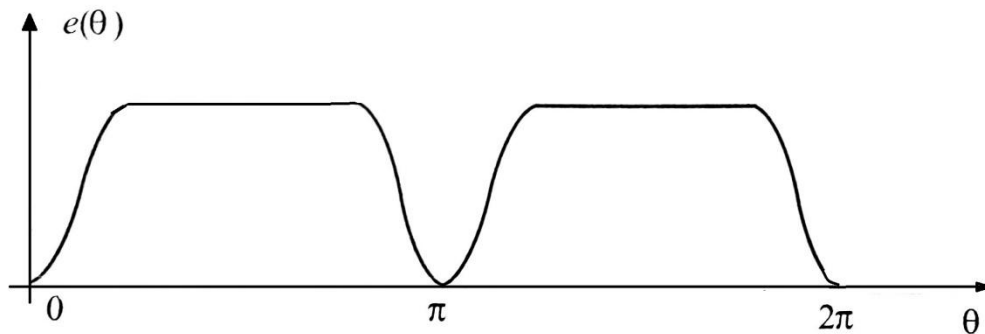
$$e = -\frac{d\lambda}{dt} = -\frac{d\lambda}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = -\omega \frac{d\lambda}{d\theta} \quad (2)$$

οπού $\omega =$ κυκλική συχνότητα των επαγόμενων τάσεων,(rad/s)

Από την αντικατάσταση της σχέσης (1) στην (2) προκύπτει ότι:

$$e = \omega NDL(B_1 \sin \theta + B_3 \sin 3\theta + \dots + B_n \sin n\theta) = \omega NB(\theta)DL$$

Λόγο της ανόρθωσης της τάσης που προκαλεί ο συλλέκτης ,η τάση στους ακροδέκτες των ψηκτρών λαμβάνεται ως συνεχής **Σχήμα 1.7**.



Σχήμα 1.7 : Επαγόμενη τάση στους ακροδέκτες των ψηκτρών.

Η μέση τιμή επαγόμενης τάσης στο πηνίο του δρομέα , είναι

$$E_{\alpha} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} e(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e(\theta) d\theta = \frac{\omega N}{\pi} \int_0^{\pi} B(\theta) \frac{D}{2} L d\theta$$

$$E_{\alpha} = \frac{\omega N}{\pi} \Phi$$

Όπου Φ : μαγνητική ροή ανά πόλο, (Wb)

Στη περίπτωση P-πολικής μηχανής, ισχύει ότι:

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{και} \quad \omega = \frac{P}{2} \omega_m = \frac{P\pi n}{60}$$

Επόμενος,

$$E_a = \frac{PN\Phi n}{60}$$

Όπου ω_m : μηχανική γωνιακή ταχύτητα σε (rad/s).

Σε μια τυχαία μηχανή, ο αριθμός των ζευγών των πόλων των στοιχείων του τυλίγματος τύμπανου, των αγωγών ανά στοιχείο, καθώς και ο αριθμός των παράλληλων κλάδων, είναι σταθερά μεγέθη. Αντίθετα, η μαγνητική ροή και οι στροφές, είναι μεταβλητά μεγέθη. Η μαγνητική ροή, εξαρτάται από τα αμπεροτυλίγματα της διέγερσης και οι στροφές από το μηχανικό φορτίο (για την λειτουργία κινητήρα). Συνεπώς η επαγόμενη τάση μπορεί να πάρει την μορφή:

$$E_a = \frac{Psw}{2\alpha 60} \Phi n = K_g \Phi n$$

Όπου: $K_g = \frac{Psw}{2\alpha 60} \cdot \frac{V}{Wb / rpm}$

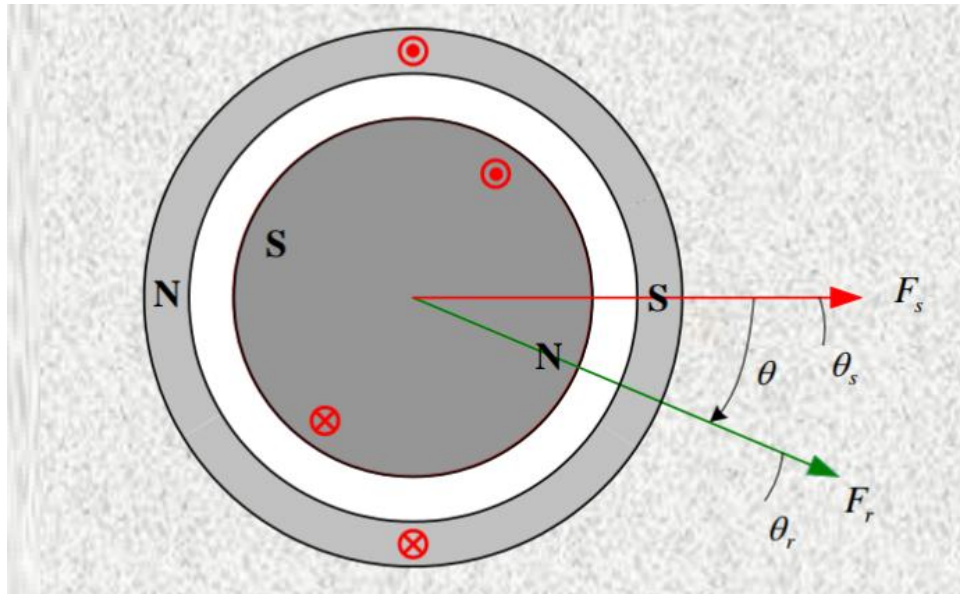
Κατασκευαστική σταθερά και

s = αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος.

w = αριθμός των αγωγών ανά στοιχείο.

1.5 Παραγωγή ροπής,

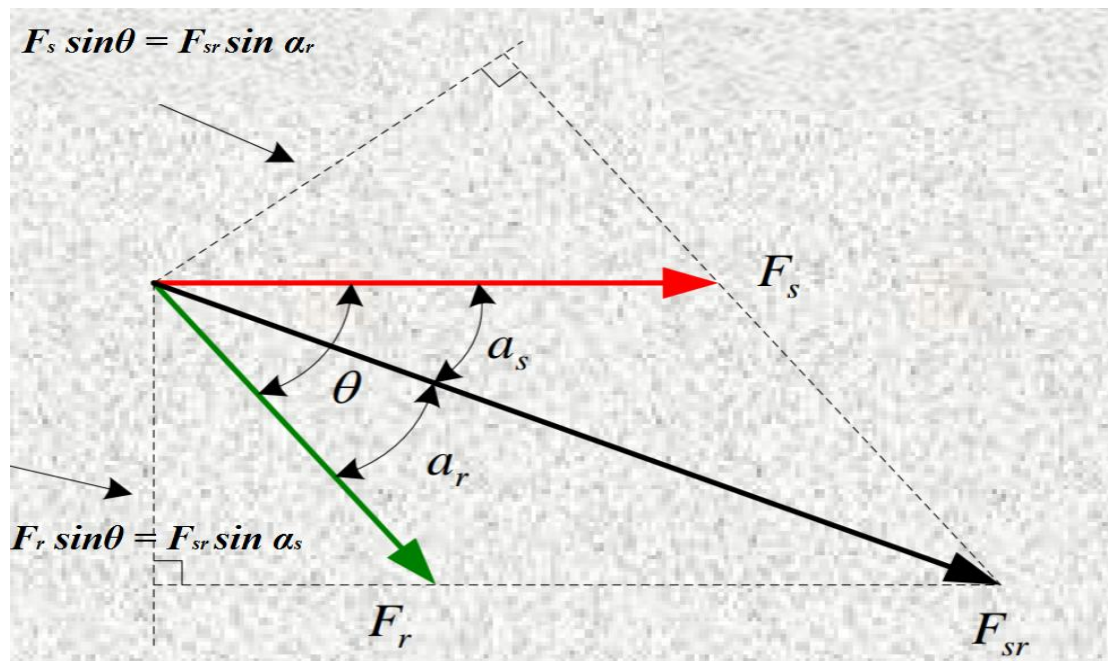
Η παραγωγή ροπής, οφείλεται στην προσπάθεια ευθυγράμμισης των δύο μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα. Για λειτουργία κινητήρα, ανεξάρτητα του είδους της μηχανής, το μαγνητικό πεδίο του στάτη **προηγείται** πάντα του πεδίου του δρομέα.



Σχήμα 1.8 : Διπολική μηχανή ομοιομόρφου διακένου.

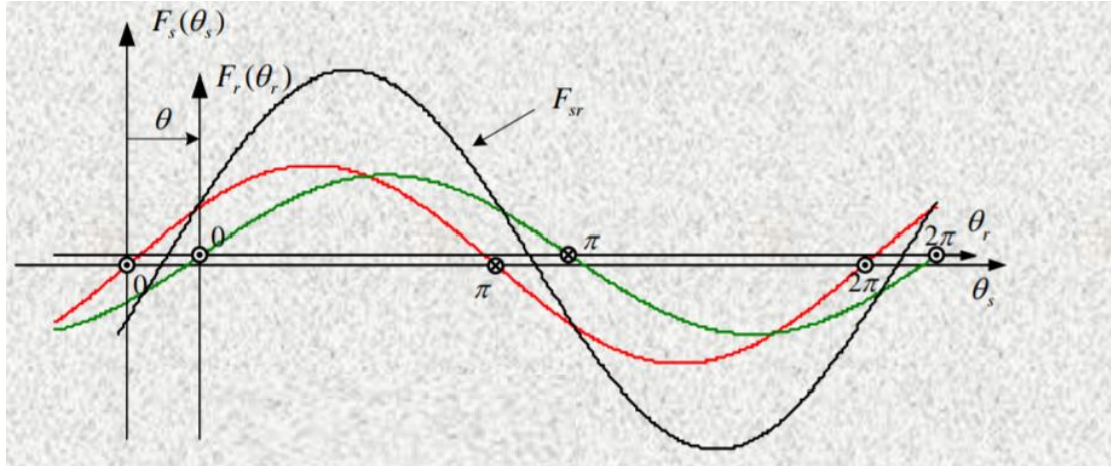
Για να έχουμε κίνηση, δηλαδή μέση παραγόμενη ροπή διάφορη από το μηδέν, θα πρέπει να μην υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ των δύο πεδίων στάτη και δρομέα. Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος και τα δύο πεδία να είναι ακίνητα στο χώρο. Η παραγόμενη ροπή, είναι ανάλογη του γινόμενου των ρευμάτων των δύο πεδίων και της σχηματιζόμενης μεταξύ τους γωνίας.

Η ροή των ρευμάτων στα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μαγνητικών πεδίων στο διάκενο της μηχανής. Οι παραγόμενες μαγνητεγερτικές δυνάμεις δείχνονται το **Σχήμα 1.9**.



Σχήμα 1.9 : Κύματα μαγνητεγερτικών δυνάμεων τυλιγμάτων στάτη και δρομέα

Όπου, F_{sr} το συνιστάμενο κύμα χώρου της μαγνητεγερτικής δύναμης, το οποίο ενεργεί στο διάκενο της μηχανής. Μιας και οι χωρητικές κατανομές των μαγνητεγερτικών δυνάμεων είναι καθαρά ημιτονοειδείς, μπορεί να γίνει χρήση των αντιστοιχών παραστατικών διανυσμάτων, με μετρά τις μέγιστες τιμές και γωνίες τις γωνίες των χωρικών κατανομών που αντιστοιχούν στις μέγιστες θετικές τιμές, **Σχήμα 1.10**.



Σχήμα 1.10 : Διανυσματική παράσταση μαγνητοθερμικών δυνάμεων τυλιγμάτων στάτη και δρομέα.

Οι εκφράσεις για την παραγόμενη ροπή είναι:

$$\tau = -\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi_{sr,av} F_{r,m} \sin \alpha_r \quad \text{και} \quad \tau = -\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi_{sr,av} F_{s,m} \sin \alpha_s$$

Αγνοώντας την αντίσταση του τυλιγματος τύμπανου, η μαγνητική ροή ανά πόλο στο διάκενο της μηχανής είναι ώση με εκείνη του πεδίου διέγερσης. Όποτε η παραπάνω σχέση παίρνει την μορφή:

$$\tau = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi_{sr,av} F_{1,m}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι : $F_1(\theta) = F_1 \sin \theta = \frac{8F_m}{\pi^2} \sin \theta$ γίνεται

$$\tau = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi \frac{8F_m}{\pi^2} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2}\right)^2 \Phi \frac{8}{\pi^2} \frac{1}{2} \left(\frac{l_\alpha}{2\alpha}\right) \left(\frac{sw}{P}\right) = \frac{Psw}{4\alpha\pi} \Phi l_\alpha = K_m \Phi l_\alpha$$

Όπου : $K_m = \frac{60}{2\pi} K_g = \frac{Psw}{4\alpha\pi}$ είναι η κατασκευαστική σταθερά της μηχανής.

Η έκφραση της παραγόμενης ροπής, θα μπορούσε ισοδύναμα να προκύψει αθροίζοντας τις επιμέρους ροπές που ασκούνται από το πεδίο, στους κινούμενους

αγωγούς του τυλίγματος τυπώνουμε την υπόθεση ότι οι αγωγοί του τυλίγματος τύμπανου τέμνουν κάθετα τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ,η ροπή που επάγεται σε ένα αγωγό του τυλίγματος τύμπανου δίνεται από την σχέση :

$$\tau_c = B_{\alpha\nu} L I_c R = B_{\alpha\nu} L \left(\frac{I_a}{2a} \right) R$$

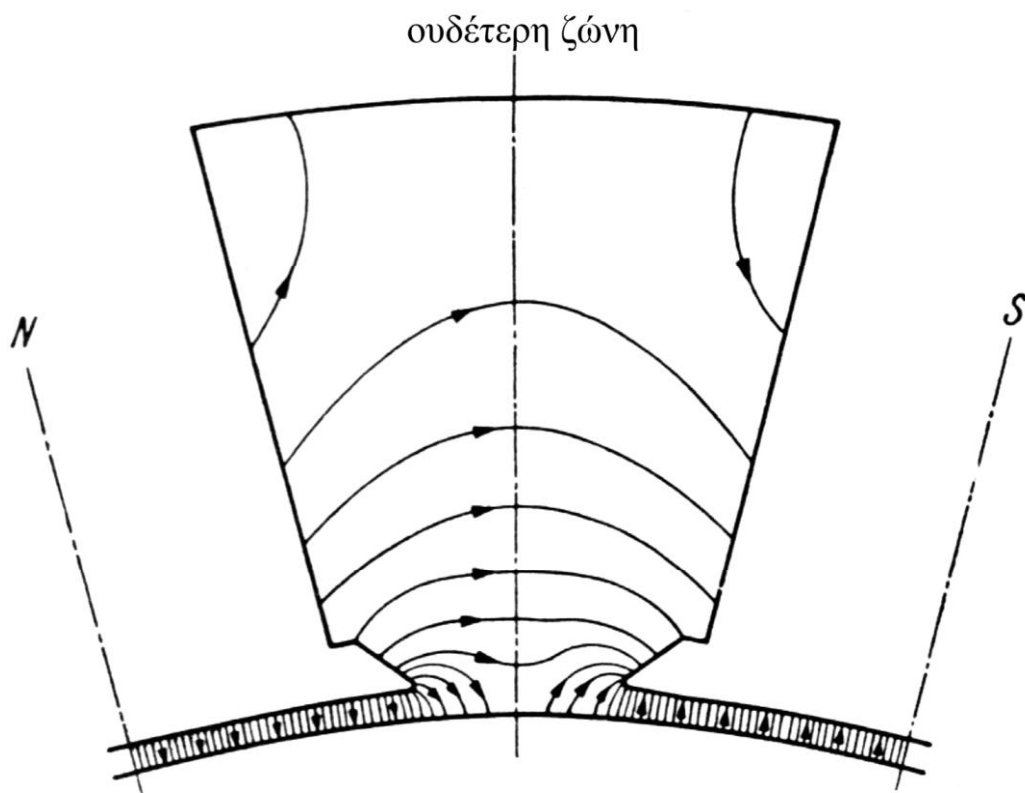
Και η συνολική ροπή του τυλίγματος τύμπανου

$$\tau = sw\tau_c = sw \left(\frac{I_a}{2a} \right) B_{\alpha\nu} LR$$

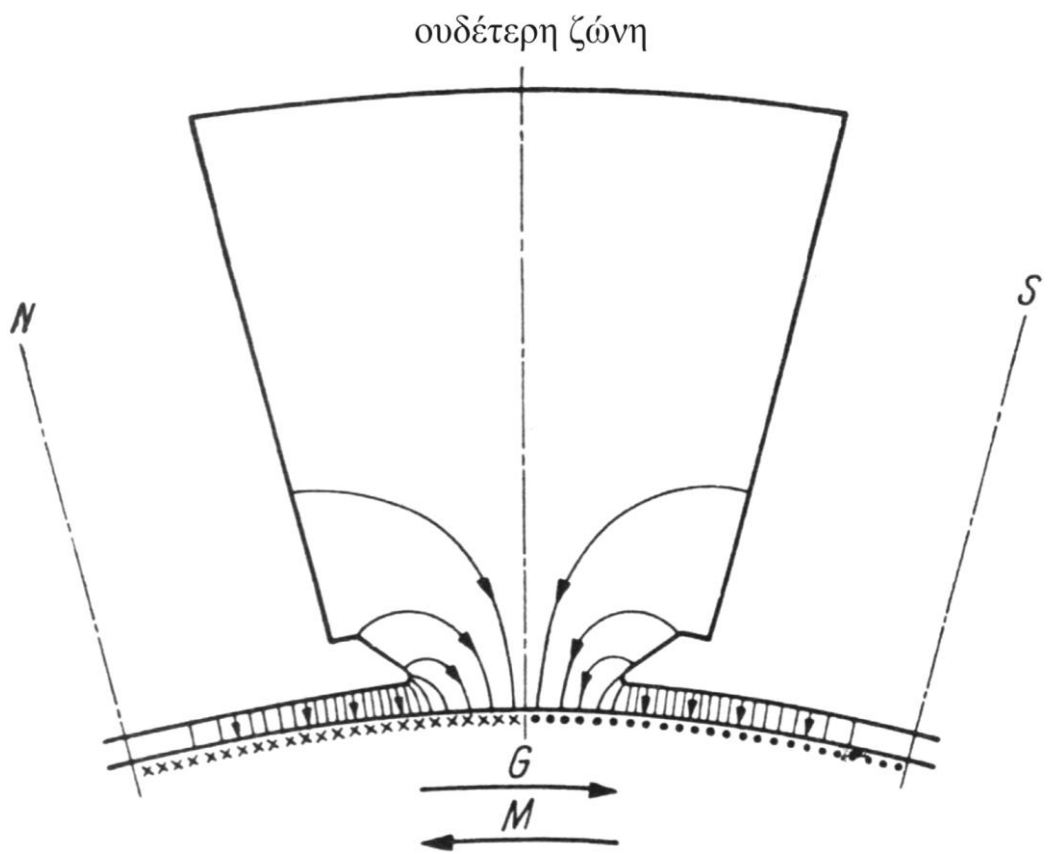
1.6 Αντίδραση τυμπάνου

Αντίδραση τυμπάνου λέγεται η επίδραση του ρεύματος του τυμπάνου επί του μαγνητικού πεδίου των κύριων πόλων.

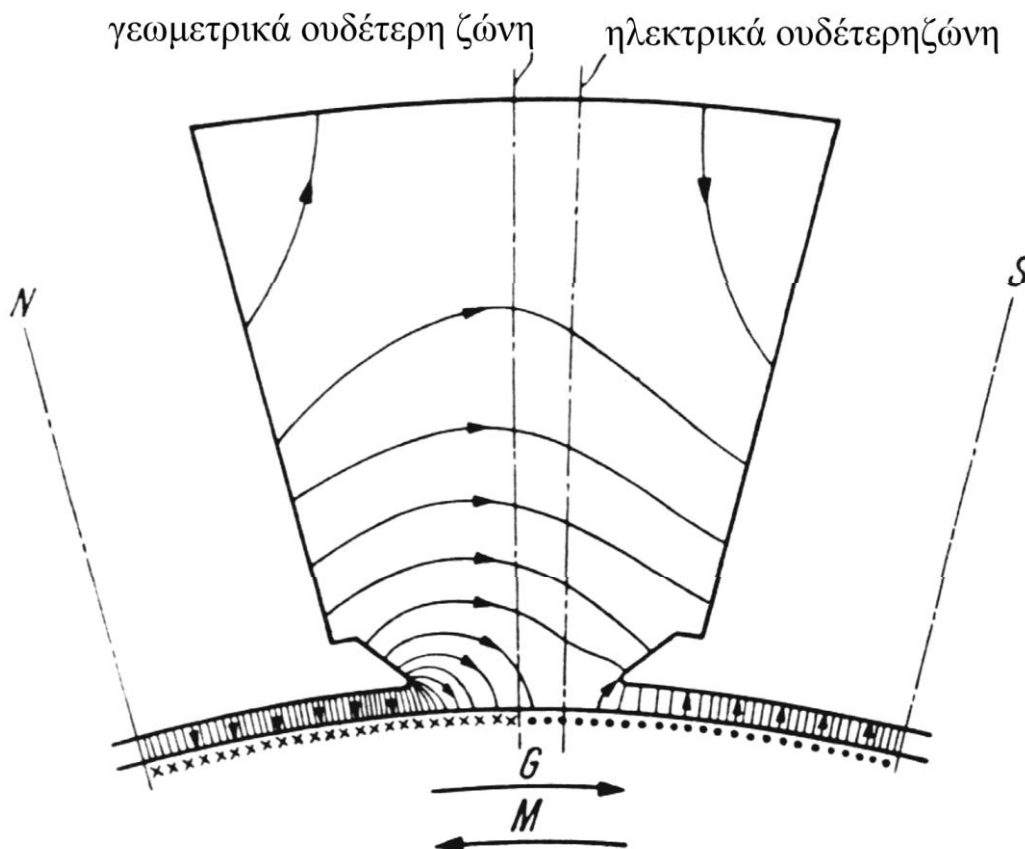
Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο, το οποίο προστίθεται διανυσματικά στο ήδη υπάρχον από τη διέγερση. Για να διασαφηνίσουμε την μορφή του μαγνητικού πεδίου σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος παρατηρούμε τα **Σχήματα (1.11),(1.12)** και **(1.13)**. Στο **Σχήμα 1.12** σχεδιάστηκε το μαγνητικό πεδίο, όταν δεν υπάρχει διέγερση. Το **Σχήμα 1.13** παρουσιάζει το ολικό μαγνητικό πεδίο όταν υπάρχει διέγερση και ο δρομέας διαρρέεται από ρεύμα, δηλαδή η μηχανή βρίσκεται υπό φορτίο.



Σχήμα 1.11: Πεδίο διεγέρσεως χωρίς φορτίο



Σχήμα 1.12: Πεδίο τυμπάνου χωρίς διέγερση.



Σχήμα 1.13: Ολικό μαγνητικό πεδίο μίας μηχανής χωρίς βοηθητικούς πόλους.

Από αυτά τα σχήματα διαπιστώνουμε τα εξής:

Το πεδίο των πόλων προστίθεται στο πεδίο του τυμπάνου και το ολικό πεδίο παρουσιάζεται παραμορφωμένο όσον αφορά τη συμμετρία στην περιοχή μεταξύ των αξόνων N και S. Ειδικά εάν πρόκειται περί γεννήτριας G, το μαγνητικό πεδίο υφίσταται ενίσχυση (συμπύκνωση των δυναμικών γραμμών) στο πέλμα που ακολουθεί, ενώ μειώνεται το πέλμα που προπορεύεται.

Εάν η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας M, τότε συμβαίνει το αντίθετο. Έτσι η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται και μάλιστα για τη γεννήτρια κατά τη φορά περιστροφής, ενώ για τον κινητήρα κατά την αντίθετη φορά προς την περιστροφή. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο, όπου το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν, μετατοπίζεται σε σχέση με το σημείο που έχουμε όταν ο δρομέας δεν διαρρέεται από ρεύμα.

Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα, όταν η διέγερση είναι σταθερή, δηλαδή εξαρτάται από το φορτίο. Λέγοντας φορτίο εννοούμε μηχανική φόρτιση του άξονα, η οποία συνοδεύεται από ηλεκτρική φόρτιση δηλαδή από ρεύμα στο τύμπανο.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πεδίο του τυμπάνου προκαλεί κάποια παραμόρφωση του αρχικού πεδίου των πόλων, το οποίο αποτελεί το κύριο μαγνητικό πεδίο για τη λειτουργία της μηχανής. Οι ψήκτρες πρέπει να βρίσκονται διαρκώς σε περιοχή στην οποία το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν. Έτσι για να αποφύγουμε τις συνέπειες τις οποίες έχει το πεδίο για τις ψήκτρες, πρέπει αυτές να μετακινηθούν στην περίπτωση της γεννήτριας κατά τη φορά περιστροφής ή κατά την αντίθετη φορά εάν πρόκειται για κινητήρα.

Κεφάλαιο 2

Ροη ισχύος και απώλειες στις μηχανές συνεχούς ρεύματος

Οι κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική. Η ισχύς εξόδου δε μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε χρήσιμη μορφή ισχύος στην έξοδο της μηχανής. Πάντα κατά την διαδικασία μετατροπής της ισχύος εμφανίζονται κόπιες απώλειες .

Ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος ορίζεται ως εξής

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Η διάφορα μεταξύ της ισχύος εισόδου και της ισχύος εξόδου είναι ακριβώς οι απώλειες της μηχανής . Όποτε

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\%$$

2.1 Απώλειες στις μηχανές συνεχούς ρεύματος

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

1. Απώλειες χαλκού ($I^2 R$ απώλειες)
2. Απώλειες ψηκτρών
3. Απώλειες πυρήνα
4. Μηχανικές απώλειες
5. Κατανεμημένες απώλειες

2.1.2 Απώλειες χαλκού

Εμφανίζονται στα τυλίγματα του σπλισμού και της διέγερσης .Οι απώλειες αυτές δίνονται για τον σπλισμό και τα τυλίγματα πεδίου και τις εξισώσεις :

$$\text{Απώλειες τυλίγματος σπλισμού: } P_A = I_A^2 R_A$$

$$\text{Απώλειες τυλίγματα διέγερσης : } P_F = I_F^2 R_F$$

Οπού : P_A = Οι απώλειες σπλισμού , P_F = Οι απώλειες διέγερσης , I_A = Το ρεύμα σπλισμού

I_F = Το ρεύμα διέγερσης , R_A =Η αντίσταση σπλισμού, R_F = Η αντίσταση διέγερσης

2.1.3 Απώλειες ψηκτρών

Πρόκειται για τις απώλειες που οφείλονται στην τάση επαφής των ψηκτρών της μηχανής και δίνονται από την εξίσωση:

$$P_{BD} = V_{BD} I_A$$

Όπου: P_{BD} = οι απώλειες ψηκτρών , V_{BD} = η πτώση τάσης στις ψήκτρες ,

I_A = το ρεύμα οπλισμού

Οι απώλειες ψηκτρών υπολογίζονται με τον παραπάνω τρόπο , επειδή ακριβώς η πτώση τάσης στην επαφή τους είναι σχετικά σταθερή για μεγάλο εύρος τιμών του ρεύματος οπλισμού.

2.1.4 Απώλειες πυρήνα

Πρόκειται για την κατηγορία που περιλαμβάνει τις απώλειες υστέρησης και δινορευμάτων του μετάλλου της μηχανής . Μεταβάλλονται με το τετράγωνο της μαγνητικής επαγωγής (B^2) και για το δρομέα θεωρούνται ότι είναι ανάλογες της τιμής ($\eta^{1.5}$) , όπου η η ταχύτητα περιστροφής του.

2.1.5 Μηχανικές απώλειες

Είναι αυτές που σχετίζονται με τα μηχανικά φαινόμενα . Οι δυο βασικοί τύποι μηχανικών απωλειών είναι οι : α) οι απώλειες τριβών και β) οι απώλειες εξαερισμού . Οι απώλειες τριβών οφείλονται στα ρουλεμάν της μηχανής , ενώ οι απώλειες εξαερισμού οφείλονται στην τριβή των κινητών μερών της μηχανής με τον αέρα. Οι απώλειες αυτές μεταβάλλονται με τον κύβο της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής.

2.1.6 Κατανεμημένες απώλειες

Εδώ περιλαμβάνονται οι απώλειες που δεν είναι δυνατόν να ενταχθούν σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες .Όσο προσεκτικά και αν υπολογιστούν οι απώλειες της μηχανής , ένα ποσοστό ξεφεύγει από τους υπολογισμούς , που γίνονται σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις . Αυτό το ποσοστό αντιπροσωπεύεται στους υπολογισμούς με τις κατανεμημένες απώλειες , οι οποίες στις περισσότερες μηχανές θεωρείται ότι είναι το 1% της ισχύς εξόδου κατά τη λειτουργία με πλήρες φορτίο.

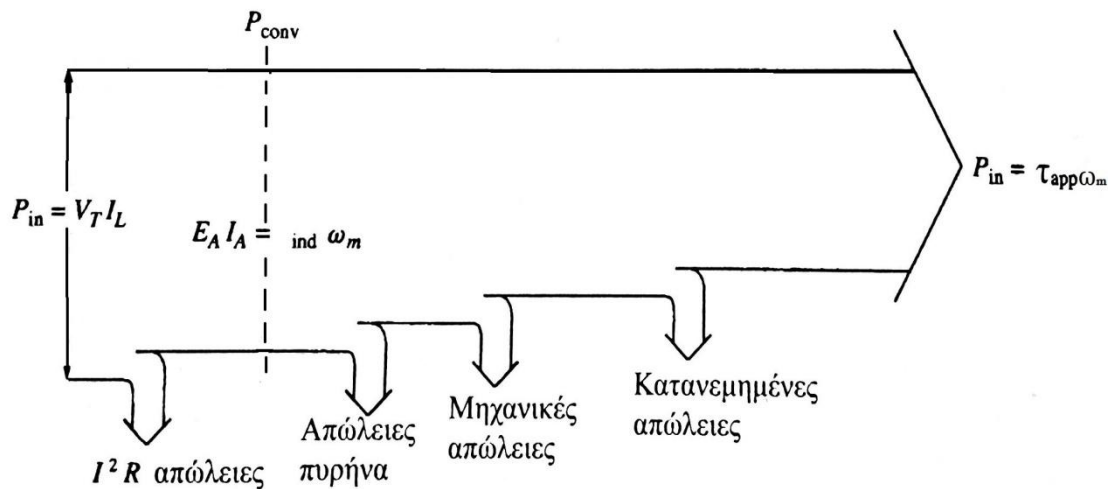
2.2 Διάγραμμα ροής ισχύος

Μια από τις πιο εύχρηστες παράστασης των απωλειών ισχύος στις μηχανές είναι το διάγραμμα ροής ισχύος . Ένα τέτοιο διάγραμμα , για έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος, φαίνεται στο **Σχήμα 2.1** . Σε αυτό εμφανίζεται η μηχανική ισχύς εισόδου από τη όποια αφαιρούνται διαδοχικά οι απώλειες πυρήνα , οι μηχανικές απώλειες και τέλος οι κατανεμημένες απώλειες . Το ποσοστό της ισχύος που απομένει θεωρείτε ότι μετατρέπεται από μηχανική σε ηλεκτρική ισχύ (P_{conv}) . Η μηχανική ισχύς που μετατρέπεται είναι :

$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega_m$$

Και η ηλεκτρική ισχύς που προκύπτει δίνεται από τη σχέση :

$$P_{conv} = E_A I_A$$



Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα ροής ισχύος κινητήρα συνεχούς ρεύματος .

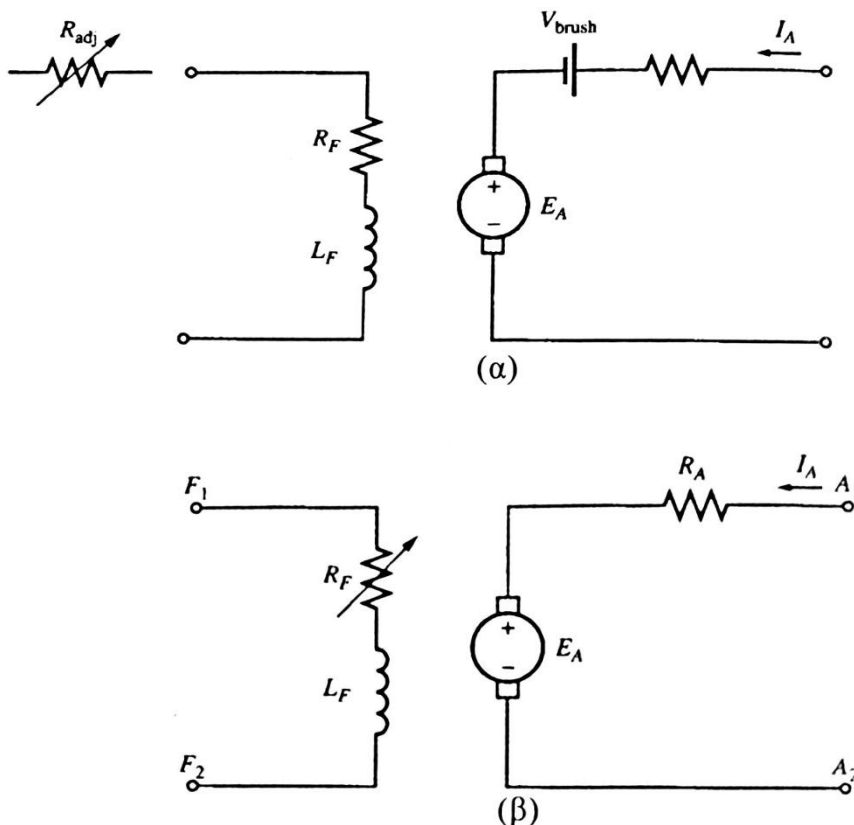
Όμως , αυτή δεν είναι η ισχύς που εμφανίζεται στα άκρα της μηχανής . Πρέπει πρώτα να αφαιρεθούν οι απώλειες χαλκού και ψηκτρών .

Κεφάλαιο 3

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος και οι κατηγορίες τους .

3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος φαίνεται στο **Σχήμα 3.1**. Το κύκλωμα οπλισμού παριστάνεται με μια ιδανική πηγή τάσης E_A και με μια αντίσταση R_A . Στην ουσία πρόκειται για το ισοδύναμο Thevenin της συνολικής δομής του δρομέα, που περιλαμβάνει τους αγωγούς του δρομαίους βοηθητικούς πόλους και το τύλιγμα αντιστάθμισης, αν υπάρχει. Η πτώση τάσης V_ψ στις ψήκτρες παρουσιάζεται με μια μικρή πηγή συνεχούς ρεύματος τάσης που έχει πολικότητα αντίθετη προς το ρεύμα του δρομέα της μηχανής. Τα τυλίγματα της διέγερσης, που παράγουν την κυρία μαγνητική ροή του κινητήρα παρουσιάζονται με την αυτεπαγωγή L_F και τη αντίσταση R_F . Η αντίσταση R_{adj} παρουσιάζει την εξωτερική μεταβλητή αντίσταση που χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της ποσότητας του ρεύματος διέγερσης .



Σχήμα 3.1: (α) το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος.(β) το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα . Εδώ η πτώση τάσης στις ψήκτρες δεν λαμβάνεται υπόψη και η R_{adj} υπολογίζεται με την αντίσταση διέγερσης

Σε αυτό το κύκλωμα μπορούν να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις. Η πτώση τάσης στις ψήκτρες είναι παρά πολύ μικρό κλάσμα της παραγμένης τάσης στα άκρα του κινητήρα έτσι ,σε περιπτώσεις που δεν είναι σημαντική μπορεί να παραλειφτεί ή να περιελήφθη προσεγγιστικά στην τιμή της R_A . Η εσωτερική αντίσταση των αγωγών διέγερσης μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί στην τιμή της μεταβλητής αντίστασης R_M , όποτε η συνολική τιμή των δυο αντιστάσεων συμβολίζεται με R_F (**Σχήμα 3.1 β**).

Η τάση εξ επαγωγής που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής δίνεται από την εξίσωση:

$$E_A = K\phi \omega$$

Ενώ η επαγομένη τάση ροπή στον άξονα της δίνεται από την:

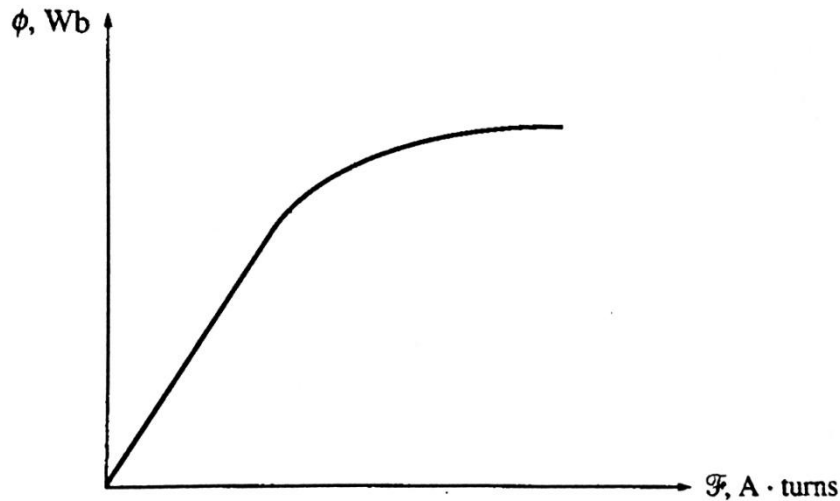
$$T_{ind} = K\phi \omega$$

Οι δυο παραπάνω εξισώσεις ,ο νομός τάσεων του Kirchhoff για το κύκλωμα οπλισμού και η καμπύλη μαγνήτισης της μηχανής αποτελούν τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάλυση της συμπεριφοράς ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

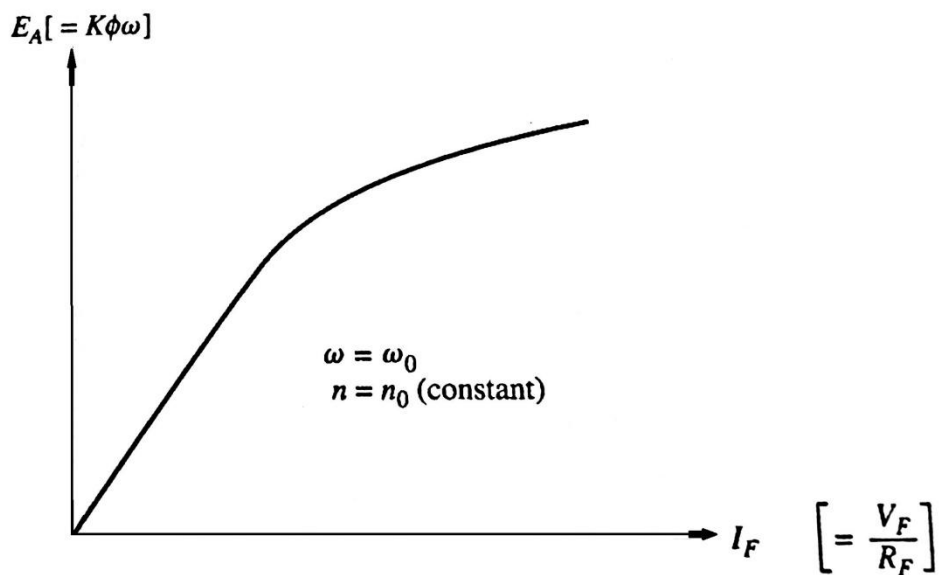
3.2 Η καμπύλη μαγνήτισης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Η τάση εξ επαγωγής E_A ,είναι ανάλογη της ροής που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής και της ταχύτητας περιστροφής της .

Το ρεύμα διέγερσης παράγει τη μαγνητεγερτική δύναμη του πεδίου της μηχανής που δίνεται από τον τύπο: $F=N_F \cdot I_F$. Αυτή η μαγνητεγερτική δύναμη αντιστοιχίζεται στη μαγνητική ροή διέγερσης μέσω της καμπύλης μαγνήτισης του μέταλλου των πόλων(**Σχήμα 3.2**). Επειδή το ρεύμα διέγερσης είναι ανάλογο της μαγνητεγερτικής δύναμης , και η τάση E_A είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής η καμπύλη μαγνήτισης ενός κινητήρα παρουσιάζει την E_A ως προς το ρεύμα διέγερσης σε κάποια σταθερή ταχύτητα ω_0 περιστροφής (**Σχήμα 3.3**)



Σχήμα 3.2: Η καμπύλη μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού [ϕ (wb) συναρτήσει της F (A)]



Σχήμα 3.3: Η καμπύλη μαγνήτισης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος .Πρόκυπτε για την γραφική παράσταση της E_A συναρτήσει του I_F , σε μια σταθερή ταχύτητα ω_0

Οι περισσότεροι κινητήρες σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης (στο << γόνατο >> της καμπύλης)με σκοπό να παράγεται η μέγιστη δυνατή ισχύς. Αυτό σημαίνει ότι συχνά μια αρκετά μεγάλη αύξηση στο ρεύμα διέγερσης μιας μηχανής προκαλεί μικρή αύξηση στην τάση E_A ,κατά την λειτουργία με πλήρες φορτίο.

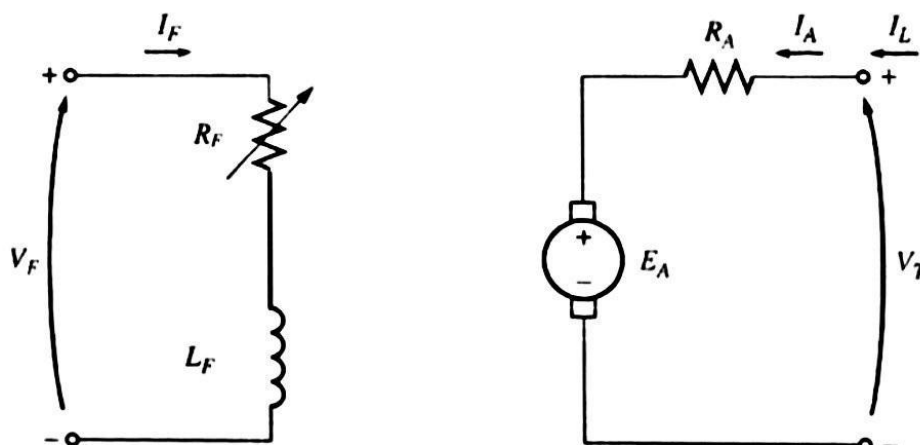
3.3 Βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος .

1. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης (ξένης)διέγερσης
2. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης
3. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς
4. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης

3.3.1Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης (ξένης)διέγερσης .

Σε αυτήν την κατηγορία το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή συνεχούς ρεύματος και οι εξισώσεις που προκύπτουν από ισοδύναμο κύκλωμα (Σχήμα 3.4) είναι :

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



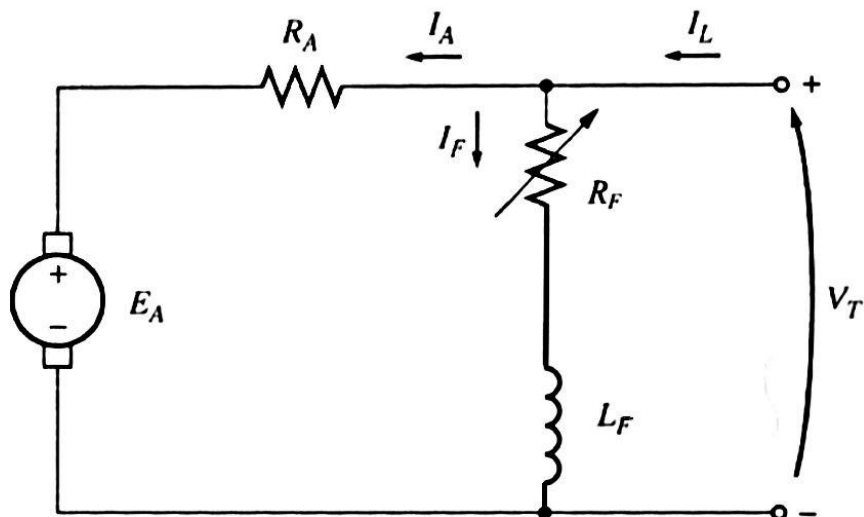
Σχήμα 3.4:Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης (ξένης)διέγερσης.

3.3.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

Σε αυτήν την κατηγορία το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του οπλισμού του κινητήρα και οι εξισώσεις που προκύπτουν από ισοδύναμο κύκλωμα (Σχήμα 3.5) είναι :

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

Συνεπώς ,ένα θεωρηθεί σταθερή η τάση τροφοδοσίας V_T του κινητήρα , η ανάλυση που ακολουθεί θα είναι παρόμοια με την ανάλυση ενός κινητήρα ανεξάρτητης (ξένης) διέγερσης .



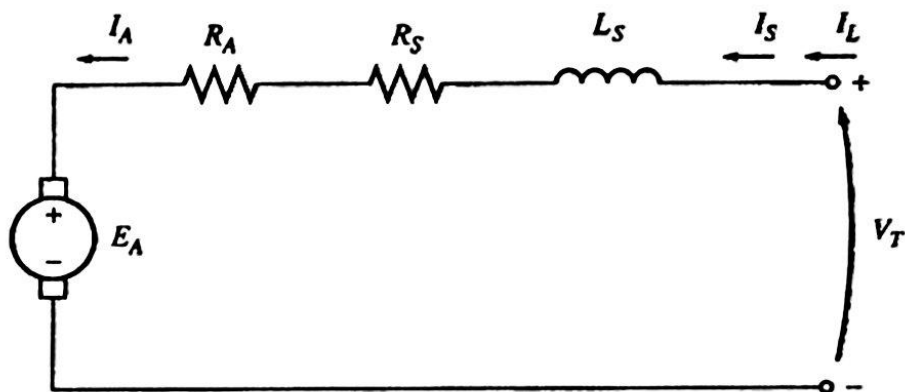
Σχήμα 3.5 : Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

3.3.3 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς.

Σε αυτήν την κατηγορία τα τυλίγματα διέγερσης των κινητήρων αυτής της κατηγορίας διαθέτουν σχετικά λίγες σπείρες και είναι συνδεδεμένα σε σειρά με το κύκλωμα του οπλισμού. Συνεπώς τα ρεύματα του οπλισμού, διέγερσης και εισόδου σε ένα τέτοιο κινητήρα έχουν την ίδια τιμή. Από το ισοδύναμο κύκλωμα (**Σχήμα 3.6**) προκύπτουν :

$$I_A = I_S = I_L \quad \text{και} \quad V_T = E_A + I_A(R_A + R_S)$$

Χαρακτηριστική ιδιότητα των κινητήρων διέγερσης σειράς είναι η μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής μεταξύ εξαιρετικά διαφορετικών τιμών, κατά τη μεταβολή φορτίου.



Σχήμα3.6: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος διέγερσης σειράς.

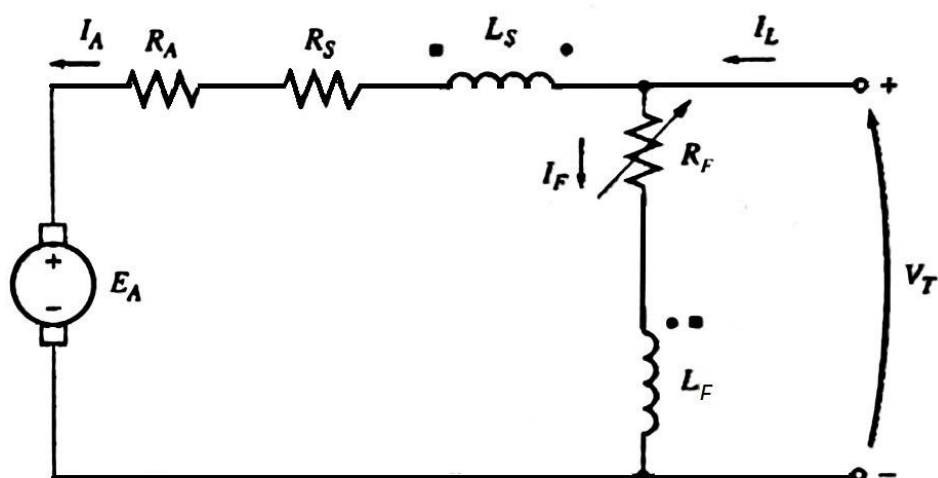
3.3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης

Σε αυτήν την κατηγορία οι κινητήρες χρησιμοποιούν ένα τύλιγμα σειράς και ένα παράλληλο τύλιγμα . Στο (Σχήμα 3.7) φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα στην περίπτωση της μεταπαράλληλης συνδεσμολογίας , όπου από το νόμο τάσεων Kirchhoff έχουμε:

$$V_T = E_A + I_A(R_A + R_S)$$

ενώ στο εσωτερικό του κινητήρα τα ρεύματα ικανοποιούν τις σχέσεις :

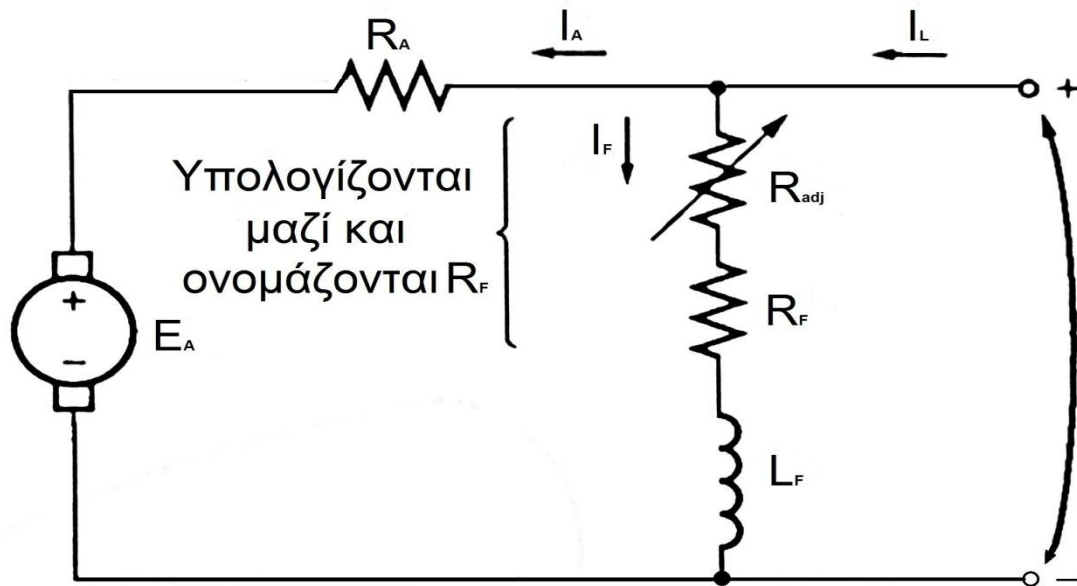
$$I_A = I_L - I_F \quad \text{και} \quad I_F = \frac{V_T}{R_F}$$



Σχήμα 3.7: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης.

3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης (shunt dc motor).

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης , φαίνεται στο Σχήμα 3.8 . Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του οπλισμού του.



Σχήμα 3.8 : Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A + I_F$$

Ο νόμος των τάσεων Kirchhoff για το κύκλωμα δρομέα παίρνει την εξής μορφή:

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

3.4.1 Η χαρακτηριστική φορτίου ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

Χαρακτηριστική φορτίου μιας μηχανής ονομάζεται η γραφική παράσταση μεταξύ των ποσοτήτων εξόδου της μηχανής αυτής. Επειδή τα μεγέθη ενός κινητήρα είναι η ροπή στον άξονα και η ταχύτητα περιστροφής του, η χαρακτηριστική φορτίου του κινητήρα είναι το διάγραμμα της ροπής εξόδου ως προς την ταχύτητα του.

Στη μεταβολή φορτίου η απόκριση του κινητήρα είναι διαφορετική. Αν το φορτίο που αθετείτε στον άξονα του κινητήρα αυξάνεται, τότε η ροπή του φορτίου (τ_{load}) θα ξεπεράσει σε μέγεθος τη ροπή που παράγει η μηχανή (τ_{ind}) και η ταχύτητα περιστροφής θα αρχίσει να ελαττώνεται. Όταν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ελαττώνεται, η τάση που παράγει στο εσωτερικό του μειώνεται ($E_A = K\phi\omega \downarrow$) και έτσι το ρεύμα του οπλισμού του $I_A = (V_T - E_A) / R_A$ αυξάνεται. Η αύξηση του ρεύματος του οπλισμού προκαλεί την παράγωγη μεγαλύτερης ροπής από τον κινητήρα ($\tau_{ind} = K\phi I_A \uparrow$) και τελικά, η ροπή του κινητήρα γίνεται ίση με τη ροπή που εφαρμόζει σε αυτόν το φορτίο. Αυτό συμβαίνει σε μια ταχύτητα περιστροφής μικρότερη από την αρχική.

Η χαρακτηριστική εξόδου ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης εξάγεται από τις εξισώσεις της επαγόμενης τάσης Καίτης ροπής στον κινητήρα, καθώς και από τον νόμο των τάσεων του Kirchhoff. Η εξίσωση του νόμου των τάσεων Kirchhoff έχει την εξής μορφή:

$$V_T = E + I_A R_A$$

Ακόμη ισχύει η $E_A = K\phi\omega$, οπότε

$$V_T = K\phi\omega + I_A R_A$$

Λόγο της $\tau_{ind} = K\phi I_A$, το I_A εκφράζεται ως εξής

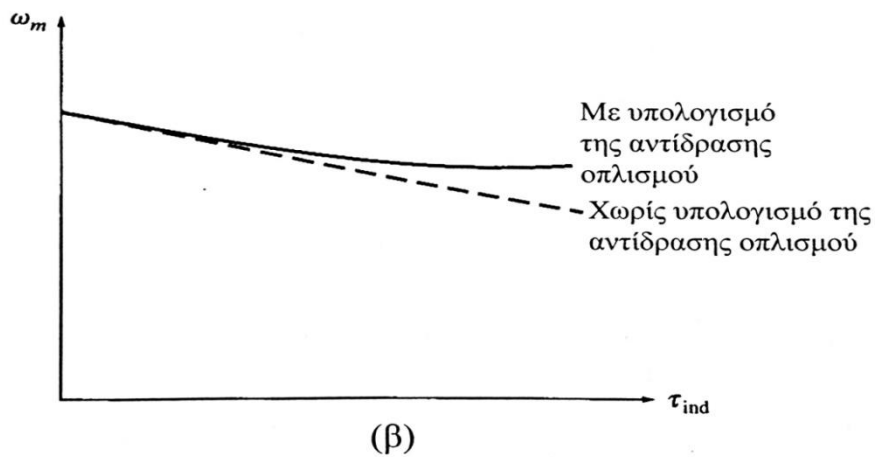
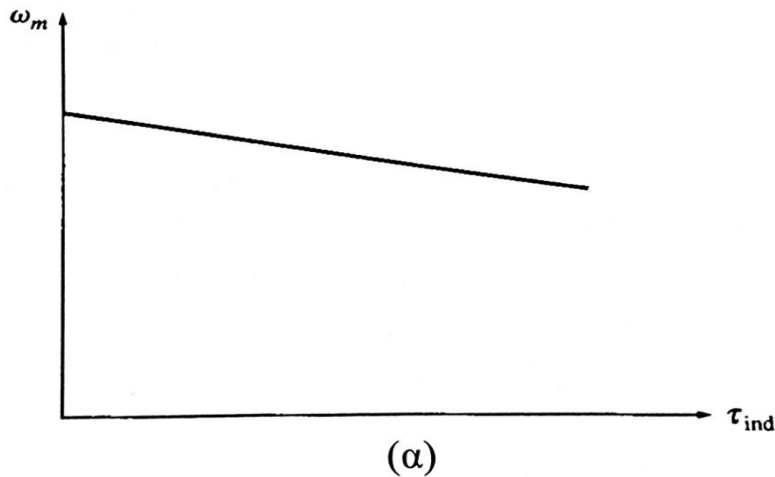
$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\phi}$$

Ο συνδυασμός των παραπάνω εξισώσεων δίνει την

$$V_T = K\phi\omega + \frac{\tau_{ind}}{K\phi} R_A$$

Αν τελικά η εξίσωση λυθεί ως προς την ταχύτητα ω του κινητήρα, δίνει

$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind}$$



Σχήμα 3.9 : (α) Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης όποιος διαθέτει τύλιγμα αντιστάθμισης για την απαλοιφή της αντίδρασης του οπλισμού. (β) Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας του κινητήρα που παρουσιάζει αντίδραση οπλισμού.

Να τονίσουμε ότι για να ισχύει παραπάνω γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της ροπής ενός κινητήρα, καθώς το φορτίο μεταβάλλεται, όλοι οι άλλοι παράγοντες της έκφρασης θα πρέπει να παραμένουν σταθεροί. Η πηγή εισόδου θεωρείτε ότι τροφοδοτεί τον κινητήρα με σταθερή τάση. Στην αντίθετη περίπτωση οι μεταβολές της τάσης επηρεάζουν τη μορφή της καμπύλης ροπής – ταχύτητας του κινητήρα.

Επίσης, το φαινόμενο της αντίδρασης οπλισμού, που μπορεί να εμφανίζεται στο εσωτερικό του κινητήρα, επηρεάζει την καμπύλη ροπής – ταχύτητας. Αν ένας κινητήρας παρουσιάζει αντίδραση οπλισμού, με την αύξηση του φορτίου του τα φαινόμενα εξασθένησης της μαγνητικής ροής προκαλούν μείωση της ροής στο

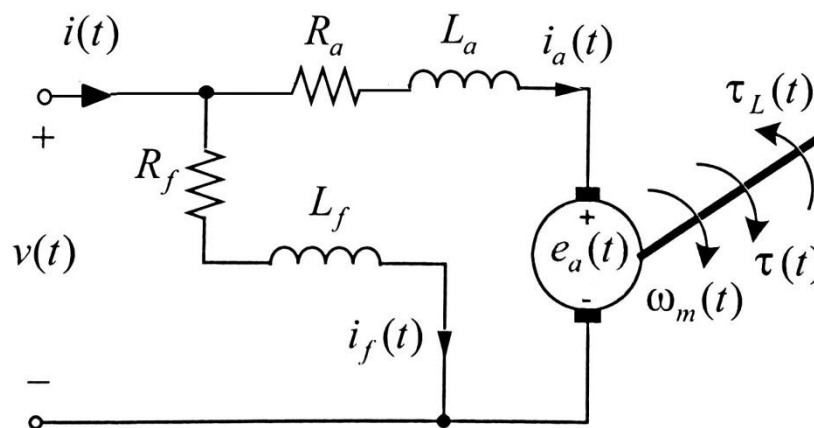
εσωτερικό του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας χωρίς αντίδραση οπλισμού. Η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα στον οποίο υπολογίζεται και η αντίδραση οπλισμού φαίνεται στο ΣΧΗΜΑ (β). Αν ο κινητήρας διαθέτει τύλιγμα αντιστάθμισης δεν εμφανίζεται εξασθένηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικά του, αλλά αντίθετα αυτή η ροη διατηρείται σταθερή.

3.4.2 Δυναμική ανάλυση.

Οι εξισώσεις των κινητήρων συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης είναι όμοιες με εκείνες των ανεξάρτητης (ξένης) διέγερσης, με τη μονή διάφορα ότι η τάση του τυλίγματος τύμπανου είναι ίδια με εκείνη του τυλίγματος διέγερσης. Δηλαδή :

$$v(t) = v_a(t) = v_f(t)$$

Το ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης δίνεται στο **Σχήμα 3.10**.



Σχήμα 3.10 : Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης:

Της κύριας διέγερσης: v_f : τάση ,(V) i_f : ρεύμα, (A) R_f : αντίσταση,(Ω)**Του τυλίγματος τύμπανου:** v_a : τάση ,(V) i_a : ρεύμα, (A) R_a : αντίσταση,(Ω)**Αυτεπαγωγή:** L_f : του τυλίγματος διέγερσης,(H) L_a : του τυλίγματος τυμπάνου,(H) $L_{a,f}$: τυλιγμάτων τύμπανου και διέγερσης,(H)*m:Για τον κινητήρα , D : διαφορικός τελεστής = $\frac{d}{dt}$

Οι διαφορικές εξισώσεις του ηλεκτρικού μέρους του κινητήρα είναι:

$$v(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + L_{m,af} i_f(t) \omega_m(t)$$

$$v(t) = R_f i_f(t) + L_f \frac{di_f(t)}{dt}$$

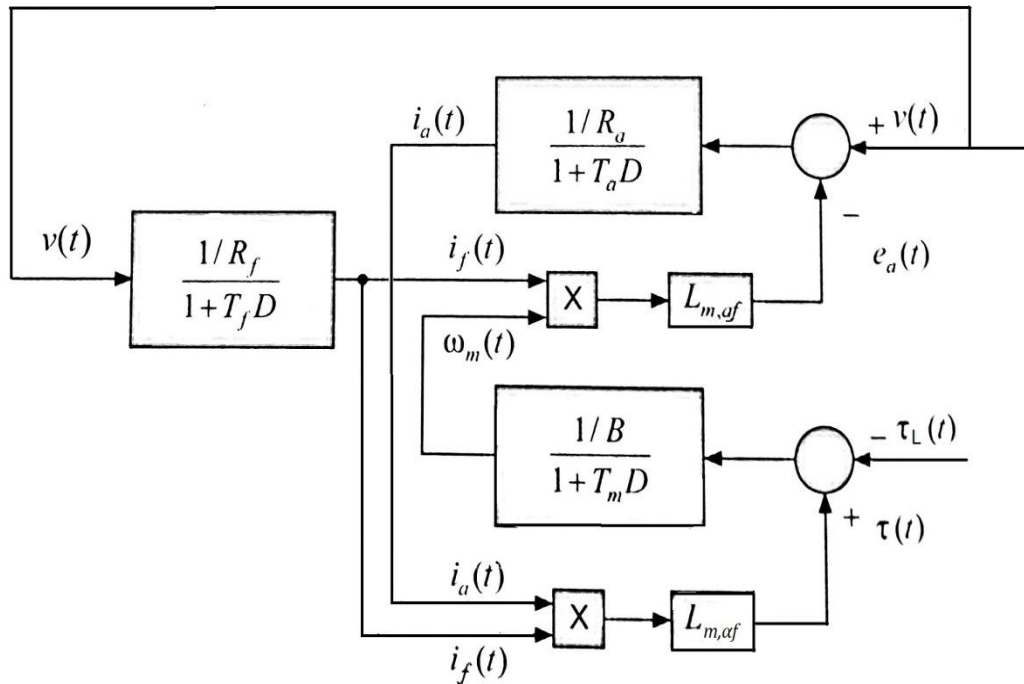
όπου $e_a(t) = K_m \varphi(t) \omega_m(t) = L_{m,af} i_f(t) \omega_m(t)$

Οι διαφορικές εξισώσεις του μηχανικού μέρους του κινητήρα είναι :

$$i_a(t) = \frac{[v(t) - L_{m,af} i_f(t) \omega_m(t)] / R_a}{1 + T_a D}$$

$$i_f(t) = \frac{v(t) / R_f}{1 + T_f D} \quad \text{και} \quad \omega_m(t) = \frac{[\tau(t) - \tau_l(t)] / B}{1 + T_m D}$$

Με βάση τα παραπάνω, το διάγραμμα βαθμίδων του κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, παίρνει την μορφή του **Σχήματος 3.11**.



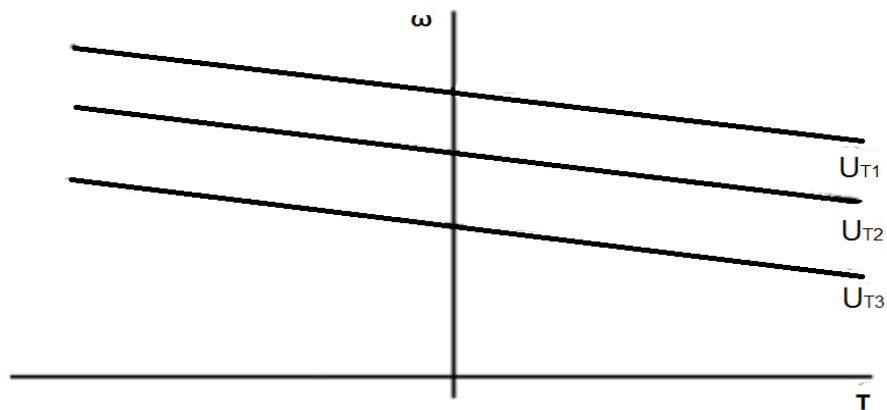
Σχήμα 3.11 :Διάγραμμα βαθμίδων του κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

3.4.3 Έλεγχος στροφών.

Υπάρχουν τρεις τρόποι έλεγχου των στροφών κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Μέσω της τάσης τύμπανου U_T , με την μεταβολή της ροής Φ και τέλος με την ρύθμιση της αντίστασης τύμπανου R_T .

Με ρύθμιση τάσης τύμπανου U_T :

Ρυθμίζοντας την τάση των ακροδεκτών U_T μπορούμε να ρυθμίσουμε τον αριθμό των στροφών όπως φάνετε στο **Σχήμα 3.12** .



Σχήμα 3.12

Με την μεταβολή της ροής Φ :

Η σχέση που συνδέει την ροπή με την ταχύτητα είναι:

$$\omega = \frac{U_T}{C\Phi} - \frac{R}{(C\Phi)^2} T$$

Παρατηρούμε ότι μειώνοντας τη ροή Φ αυξάνεται η ταχύτητα ω .

Με την ρύθμιση της αντίστασης τύμπανου R_T .

Με την μέθοδο αυτή μπορούμε να επιτύχουμε μόνο μείωση των στροφών της μηχανής . Συνδέουμε σε σειρά με το τύλιγμα τύμπανου μια μεταβλητή αντίσταση και ρυθμίζουμε ανάλογα με την μείωση των στροφών.

Κεφάλαιο 4

Κατασκευή κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

Χαρακτηριστικά: ισχύς 15 kW, τάση 440 V, ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm, αριθμός πόλων 4, βαθμός απόδοσης 88% .

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

$$\text{Είσοδος στη μηχανή : } \frac{\text{ισχύς}}{\text{βαθμός απόδοσης}} = \frac{15}{0,88} = 17 \text{ kW}$$

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

Στο συνεχές ρεύμα η μέση πυκνότητα της μαγνητικής ροής B_{au} παίρνει τιμές από 0,65 έως 0,75 Εμείς την παίρνουμε $B_{au} = 0,5 \text{ wb/m}^2$.

Το ηλεκτρικό φορτίο q παίρνει τιμές από 30.000 έως 45.000.

Εμείς σε αυτήν την περίπτωση το παίρνουμε $q = 25.000$.

$$\begin{aligned} P &= \pi^2 * \frac{qN}{60} * D^2L * B_{au} = 3,14^2 * \frac{25.000 * 1500}{60} * D^2L * 0,5 * 10^{-3} = \\ &= 3,14^2 * 625000 * D^2L * 0,5 * 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D^2L &= \frac{P}{\pi^2 * \frac{qN}{60} * B_{au} * 10^{-3}} = \frac{17000}{3,14^2 * 625000 * 0,5 * 10^{-3}} = 0,00551 \\ &= 5.51 * 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$L = \frac{2}{3}P = \frac{2}{3} * \frac{\pi D}{4} = \frac{\pi D}{6}$$

$$D^2L = D^2 * \frac{\pi D}{6} = \frac{\pi D^3}{6} = 5.51 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Οπότε: $D^3 = \frac{6 * 5.51 * 10^6}{\pi} = 10528662,42$

$$\text{Άρα } D = \sqrt[3]{10528662,42} = 219,17 \text{ mm}$$

Επίσης για τον ίδιο λόγο παίρνουμε την διάμετρο D λίγο μικρότερη $D = 190 \text{ mm}$

$$\text{Και } L = \frac{D^2 L}{D^2} = \frac{5.51 \cdot 10^6}{190^2} = \frac{5.51 \cdot 10^6}{36100} = 153 = 155 \text{ mm}$$

Άρα $L = 155 \text{ mm}$

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

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

Ο σπλισμός είναι φτιαγμένος από πυκνό σφυριλατιμένο μέταλλο (special lohys) με βαθμό σκληρότητας 0,95 .

$$\text{Περιφερική ταχύτητα: } v = \pi D * \frac{N}{60} = 3,14 * 0,190 * \frac{1500}{60} = 14,92 \text{ m/s}$$

$$\text{Τάση ανά στροφή : } B_{au} * L * v = 0,6 * 0,155 * 14,92 = 1.15 \text{ V}$$

$$\text{Τάση } 440 \text{ V, } 2 \text{ περιελίξεις οπότε ο αριθμός αγωγών } Z_c = \frac{V}{v} = \frac{440}{1,15} = 382 \text{ αγωγοί}$$

$$\text{Και οι αγωγοί του σπλισμού είναι } Z = 382 * 2 = 764 \text{ αγωγοί}$$

4.2 Κατασκευή σπλισμού.

$$\text{Βήμα πόλου : } \frac{\pi D}{P} = \frac{3,14 * 0,190}{4} = 0,1492 \text{ ή } 149,2 \text{ cm}$$

$$\text{Ροη ανά πόλο : } \varphi = \text{βήμα πόλου} * B_{au} * L = 0,1492 * 0,155 * 0,5 = 11,56 \text{ mW}$$

Βρίσκουμε τον αριθμό των αγωγών από τον τύπο :

$$E = \varphi * Z * \frac{N}{60} * \frac{p}{\alpha}$$

$\alpha = 2$ αριθμός τυλιγμάτων

E: Ηλεκτρεγερτική δύναμη χωρίς φορτίο

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

$$Z = 761 \text{ αγωγοί}$$

Επιλεγούμε 6 αγωγούς με 3 περιστροφές . Άρα έχουμε $3 * 6 = 18$ αγωγούς ανά αυλάκι.

$$\text{Αριθμός αυλακιών} : \frac{Z}{\text{αγωγούς ανα σχισμή}} = \frac{761}{18} = 42 \text{ αυλάκια}$$

* Ο αριθμός των αυλακίων πρέπει να είναι περιττός αριθμός .

$$Z = 41 * 18 = 738 \text{ αγωγοί}$$

Διορθώνουμε τη ροή

$$\varphi = v * \frac{761}{738} = 11,56 * 1,031 = 11,9 \text{mW}$$

αριθμός αυλακίων = 41 , αγωγοί Z = 738 , μαγνητική ροή $\varphi = 11,9 \text{ mW}$

Κάνουμε 3 στροφές στο πηνίο. Άρα ο αριθμός των τμημάτων του συλλέκτη είναι αριθμός αυλακίων * στροφές στο πηνίο = $41 * 3 = 123$

$$\text{Συμφώνα με την έκφραση} \quad \frac{p}{a} y_c \pm 1 = C = 123$$

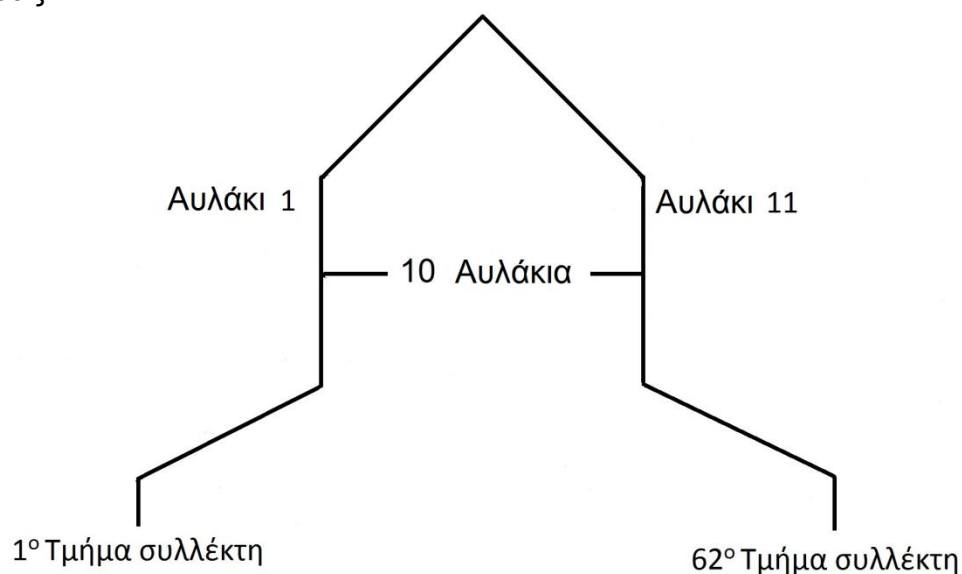
Το βήμα του συλλέκτη είναι $y_c = \frac{123-1}{2} = \frac{122}{2} = 61$ ή οι συνδέσεις είναι από 1 έως 62.

Η απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου είναι :

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

Και η απόσταση αυτή είναι 1 έως 11.

Στο **Σχήμα 4.2.1** φαίνονται η απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου και οι συνδέσεις.



Σχήμα 4.2.1 : Απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου και οι συνδέσεις.

Μέγεθος αγωγού του οπλισμού :

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

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 : $\frac{19,32}{6,5} = 2,97 \text{ mm}^2 = 3 \text{ mm}^2$

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

4.3 Κατασκευή αυλακίου .

Ο χώρος που απαιτείται για τους αγωγούς σε ένα αυλάκι είναι : $18 * 3,08 = 55 \text{ mm}^2$. Το διάστημα μεταξύ του αγωγού και της σχισμής είναι $0,45 \text{ mm}^2$ περίπου.

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.

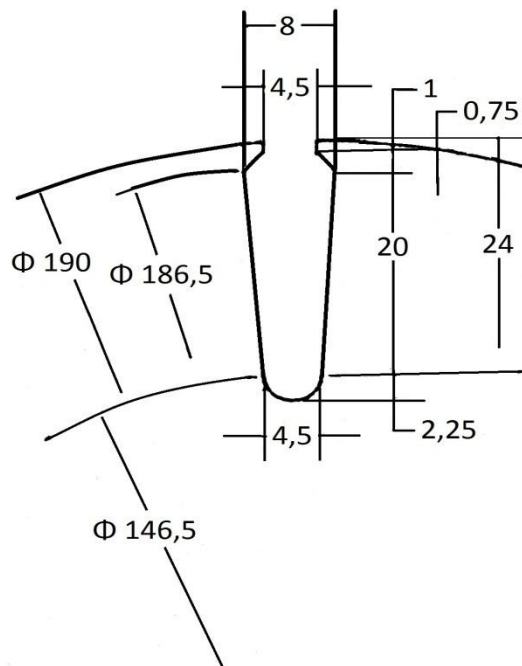
Ύψος σφήνας = 1 mm , πλάτος του αυλακίου στη σφήνα =8mm

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

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

Το συνολικό βάθος του αυλακίου είναι 24 mm.

Στο **Σχήμα 4.3.1** φαίνεται το αυλάκι.



Σχήμα 4.3.1 : Μέγεθος και διαστάσεις αυλακίου του σπλισμού.

Χώρος του αυλακίου για την υποδοχή αγωγών :

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

Αυτό είναι παραπάνω από 122 mm^2 και επομένως αποδεκτό.

Είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε την πυκνότητα ροής στο δόντι και να σιγουρευτούμε ότι είναι το επιτρεπτό όριο ώστε να μην υπερβαίνει ή να δίνει μεγάλη απώλεια σιδήρου.

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

Βήμα σχισμής σε 20 mm βάθος από αυτό το σημείο,

Διάμετρος : $186,5 - 2 * 20 = 146,5$

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

$$\text{Πλάτος δοντιού σύμφωνα με τα παραπάνω} : 14,3 - 0,8 = 6,3 \text{ mm}$$

$$11,22 - 4,5 = 6,72 \text{ mm}$$

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

$$\text{Χώρος δοντιού} : 6,51 \times 145 = \text{mm}$$

$$(\text{μήκος πυρήνα οπλισμού} : 155 - 10 \text{mm κενό} = 145 \text{ cm})$$

Μέγιστη πυκνότητα ροής στο δόντι

Πυκνότητα ροής στο δόντι :

$$B_i = \sqrt{2} * \frac{\varphi * 10^{-3} * p}{\text{σχισμές}} * \frac{1}{\frac{\text{μέσο πλάτος δοντιού}}{1000} * \frac{\text{μήκος οπλισμού πυρήνα} * 0,95}{1000}}$$

$$B_i = \sqrt{2} * \frac{11,9 * 10^{-3} * 4}{41} * \frac{1}{\frac{6,51}{1000} * \frac{145 * 0,95}{1000}}$$

$$B_i = \sqrt{2} * 1,16 * \frac{1}{0,00651 * 0,137} = \sqrt{2} * 1,16 * \frac{1}{0,000891} = \sqrt{2} * 1,16 * 1122,33$$

$$B_i = 1,8 \text{ Wb/m}^2$$

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

Η τάση μεταξύ των γειτονικών τμημάτων του συλλέκτη είναι:

$$\frac{V * \psi \text{ύκτρες}}{\text{αριθμός τμημάτων του συλλέκτη}} = \frac{440 * 4}{123} = 14,3 \text{ V}$$

Η όποια είναι μικρότερη από 15 V και μέσα στα επιτρεπτά όρια.

4.4 Αντίσταση τυλίγματος οπλισμού.

Βήμα πόλου : 149,2 mm

Το πολικό τόξο : βήμα πόλου * 0,65 = 149,2 * 0,65 = 97 mm

Το μέγιστο μήκος του αγωγού του οπλισμού είναι :

$$I_{fr} = 50 + 1,15 * \text{βήμα πόλου} = 50 + 1,15 * 149,2 = 222,4 \text{ mm} \cong 225 \text{ mm}$$

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

Για το μέγεθος του αγωγού επιλεγούμε αντίσταση στους 20 °C : $R = 0,01120 \Omega$

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

$$R = \frac{0,01120}{2} = 5,6 * 10^{-3} \Omega$$

Η αντίσταση του οπλισμού υπολογίζεται από τον τύπο :

$$R_a = \rho \frac{L_a}{A_a} * \frac{Z}{a^2}$$

Αντίσταση : $R_{75} = \frac{R * \text{μέσο μήκος αγωγού} * Z * 1,215}{2^2}$

$$R_{75} = \frac{0,0056 * 0,38 * 738 * 1,215}{2^2} = 0,475 \Omega$$

4.5 Κατασκευή συλλέκτη.

Ο αριθμός των τμημάτων του συλλέκτη είναι : $c = 41 * 3 = 123$

Παίρνουμε ότι το βήμα της μπάρας του συλλέκτη είναι = 4 mm

Η διάμετρος του συλλέκτη είναι : $\frac{\text{βήμα μπάρας} * \text{αριθμός τμημ άτων συλλέκτη}}{\pi} = \frac{4 * 123}{3,14} = 156 \text{ mm} \cong 155 \text{ mm}$

Παίρνουμε διάμετρο συλλέκτη $D_c = 155 \text{ mm}$

Η διάμετρος του οπλισμού είναι : 190 mm

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

$$D_c = 190 * 0,8 = 152 \text{ mm} \cong 155 \text{ mm}$$

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

Αυτή είναι μικρότερη από 15 m/s

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

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

Παίρνουμε πυκνότητα μαγνητικής ροής για την ψήκτρα : 0,06 A/mm²

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

Σταθερό μέγεθος για την ψήκτρα : 12,5mm × 25mm

Χώρος που καταλαμβάνει η ψήκτρα : 12,5mm * 25mm = 312,5 mm²

Αριθμός ψηκτρών = 4

Τάση μεταξύ των τμημάτων του συλλέκτη = $\frac{V}{\text{τμήματα συλλέκτη} / 4} = \frac{440}{123/4} = 14.3 \text{ v}$

Πάχος ψήκτρας : 12,5 mm

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

Μήκος ψήκτρας = 25 mm

Το μήκος του συλλέκτη είναι = 25+6+ μη καλυπτόμενο μήκος 50 = 81 mm

Όποτε το μήκος του συλλέκτη είναι = 81 mm

4.6 Απώλειες συλλέκτη:

Απώλειες τριβών ψηκτρών:

Πίεση από ελατήριο ανά ψήκτρα: 1200 kg/m² ή 1,2 * 10⁻³ kg/mm²

Επιφάνεια της ψήκτρας: 312,5 * 4 mm² για 4 ψήκτρες

Πίεση από ελατήρια στη ψήκτρα: 1,2 * 10⁻³ * 312,5 * 4 = 1,5 kg

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

Απώλειες ισχύος ψήκτρας λόγω τριβής:

$$\text{συντελεστής τριβής} * \text{πίεση στην ψήκτρα} * \text{περιφερική ταχύτητα συλλέκτη} * 981 * 10^{-3} = 0,22 * 1,5 * 12,17 * 981 * 10^{-2} = 39,39 = 40 \text{ W}$$

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

Απώλειες συλλέκτη:

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

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

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

Απώλειες τριβών και ανεμισμού = 1% για έξοδο = 0,15 kW

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

4.7 Κατασκευή πόλου.

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

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

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

$$\text{Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο μαγνητικός πόλος} : \frac{\text{Ροή στον πόλο}}{B_p} = \frac{14,28 * 10^{-3}}{1,6} = 0,0089 \text{ m}^2$$

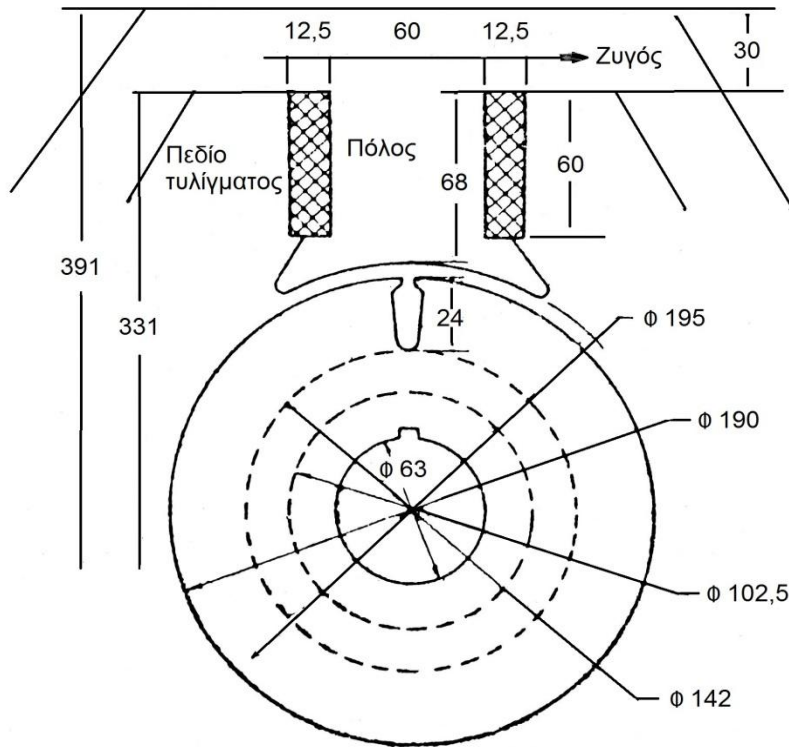
$$\text{Μήκος} = 0,145 \text{ m} , \text{ πλάτος} = \frac{\text{Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο πόλος}}{\text{μήκος}} = \frac{0,0089}{0,145} = 0,061 \cong 60 \text{ mm}$$

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

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

Παίρνουμε διάκενο με επένδυση 2,5 mm. Χωρίς επένδυση είναι 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 .

Στο Σχήμα 4.7.1 φαίνονται οι διαστάσεις του πόλου .



Σχήμα 4.7.1 : Διαστάσεις πόλου και ζυγού κινητήρα συνεχούς ρεύματος .

4.8 Κατασκευή 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 πεδίο τυλίγματος .

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

Παίρνουμε πυκνότητα μαγνητικής ροής για τον ζυγό = 1,2 wb/m²

Χώρος που καταλαμβάνει ο ζυγός :

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

Παίρνουμε το μήκος του ζυγού μακρύτερο από το μήκος του πόλου περίπου 55 mm,

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

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

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

Όπου $2,5 \text{ mm}$ είναι το διάκενο .

Η διάμετρος στην κορυφή του πόλου είναι:

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

Εξωτερική διάμετρος ζυγού :

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

4.9 Πυρήνας σπλισμού.

Η διάμετρος του άξονα : 63 mm

Η διάμετρος στη βάση των αυλακίων του πυρήνα :

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

Βάθος πυρήνα σπλισμού :

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

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

Πυκνότητα μαγνητικής ροής στον πυρήνα :

$$B_c = \frac{\varphi}{2} * \frac{1}{\text{Βάθος πυρήνα σπλισμού} * \text{διάμετρος στη βάση των αυλακίων} * 0,95} = \frac{11,9 * 10^{-3}}{2} * \frac{1}{0,0395 * 0,145 * 0,95} = 1,09 \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}$$

Μέση διάμετρος πυρήνα :

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

Μέσο μήκος μαγνητικού διαδρόμου : $\frac{\pi * \text{Μέση διάμετρο πυρήνα}}{4} = \frac{3,14 * 102,5}{4} = 80,5 \text{ mm}$

Μέσο μήκος μαγνητικού διαδρόμου στον πόλο : 68 mm

Μέση διάμετρος ζυγού :

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

Μέσο μήκος μαγνητικού διαδρόμου στο ζυγού :

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

4.10 Αμπεροτυλίγματα ανά πόλο .

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

Από καμπύλη : $K_0 = 0,3$

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

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

Αποτελεσματικό τόξο πόλου :

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

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

Ενεργό μήκος πυρήνα :

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

Ενεργό διάκενο :

$$\text{Αποτελεσματικό τόξο πόλου} * \text{Αποτελεσματικό μήκος πυρήνα} = 0,088 * 0,1497 = 0,0132 \text{ m}^2$$

Πυκνότητα μαγνητικής ροής διακένου :

$$B_g = \frac{\varphi}{\text{Αποτελεσματικό διάκενο}} = \frac{11,9 * 10^{-3}}{0,132} = 0,9 \text{ wb/m}^2$$

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

για διάκενο 2,5 mm

και

$$AT_{\text{air}} = 0,8 * 10^6 * \text{Πυκνότητα ροής διάκενου} * 0,0001 = 0,8 * 10^6 * 0,9 * 0,0001 = 720$$

για διάκενο 1 mm

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

Οι πυκνότητες μαγνητικής ροής και τα μέσα μήκη της μαγνητικής διαδρομής υπολογίζονται για το μαγνητικό κύκλωμα, δηλαδή, δόντια, πυρήνας σπλισμού και πόλο του ζυγού. Τα αμπεροτυλίγματα ανά πόλο συνολικά υπολογίζονται από τα αμπεροτυλίγματα για κάθε κομμάτι όπως φαίνεται στον **Πίνακα 4.11.1**.

Πίνακας 4.10.1: Υπολογισμός μαγνητικού κυκλώματος για αμπεροτυλίγματα ανά πόλο.

Μέρος	Ροή (mWb)	Πυκνότητα ροής (Wb/m ²)	Μήκος (mm)	at/m	AT	Απώλειες (w/kg)
Δόντια σπλισμού	11,9	1,08	24	3600	87	12
Πυρήνας σπλισμού	11,9	1,09	80,05	160	13	3,4
	2					
Διάκενο	11,9	0,09	2		1400	
Πόλος	14,28	1,06	68	5000	340	
Ζυγός	14,28	1,02	285	1000	285	
	2					

*AT ανά πόλο = 2165

Παίρνουμε κατά προσέγγιση 2200 αμπεροτυλίγματα ανά πόλο,

$$\text{Αμπεροτυλίγματα σπλισμού ανά πόλο} : \frac{I_{\alpha} * Z_{\alpha}}{2 * \rho * a} = \frac{38,63 * 738}{2 * 4 * 2} = 1782$$

Αναλογία αμπεροτυλιγμάτων ανά πόλο στο πεδίο των αμπεροτυλιγμάτων σπλισμού ανά πόλο :

$$\frac{\text{κατά προσέγγιση αμπεροτυλιγματα ανά πόλο}}{\text{Αμπεροτυλίγματα σπλισμού ανά πόλο}} = \frac{2200}{1782} = 1,23$$

Βάρος σιδηρού των δοντιών του σπλισμού :

$$0,024 * 0,065 * 0,145 * 0,95 * 41 * 7,78 * 1000 = 6,9 \text{ kg}$$

$$\text{Βάρος σιδηροπυρήνα} : \frac{\pi}{4} \left\{ \left(\frac{142}{1000} \right)^2 - \left(\frac{63}{1000} \right)^2 \right\} * 0,145 * 0,95 * 7,78 * 1000 = 12,65 \text{ kg}$$

Απώλειες σιδήρου στα δόντια του σπλισμού :

$$\text{Βάρος σιδηρού των δοντιών σπλισμού} * \text{Απώλειες δοντιών σπλισμού} = 6,9 * 12 = 83 \text{ w}$$

Απώλειες σιδήρου στον πυρήνα του οπλισμού :

$$\text{Βάρος σιδήρου πυρήνα} * \text{Απώλειες πυρήνα οπλισμού} = 12,65 * 3,4 = 43 \text{ w}$$

Συνολικές απώλειες σιδήρου στην βασική συχνότητα :

$$\text{Απώλειες σιδήρου στα δόντια του οπλισμού} + \text{Απώλειες σιδήρου στον πυρήνα του οπλισμού} = 83 + 43 = 126 \text{ w}$$

4.11 Βάρος χαλκού στον οπλισμό.

Βάρος χαλκού στον οπλισμό :

$$\begin{aligned} & \text{μέσο μήκος αγωγού} * \text{χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός} * \text{αριθμό αγωγών οπλισμού} * \\ & * 1000 * 8,89 = 0,380 * (2 * 1,53) * 10^{-6} * 738 * 1000 * 8,89 = 7,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.12 Κατασκευή πεδίου παράλληλου τυλίγματος .

αμπεροτυλίγματα ανά πόλο : 2200

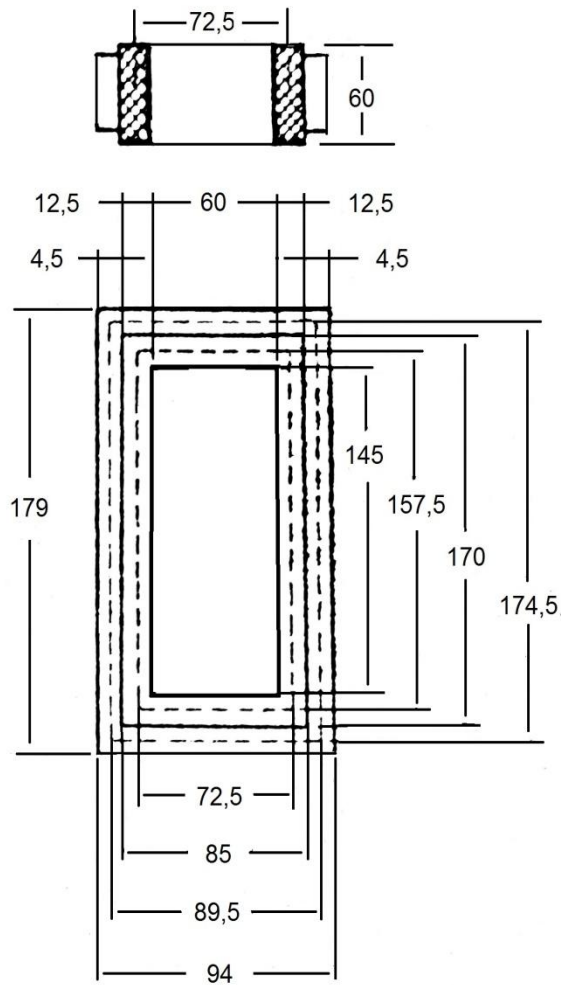
Εάν πάρουμε το ρεύμα του παράλληλου πεδίου 2A , ο αριθμός των τυλιγμάτων ανά πόλο για το πεδίο του παράλληλου τυλίγματος είναι :

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

Παίρνουμε πυκνότητα ρεύματος για το πεδίο τυλίγματος : 4A/mm²

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

Επιλεγούμε εμαγιέ αγωγό με μεσαίο κάλυμμα διαμέτρου 0,8 mm.



Σχήμα 4.12.1 : Πεδίο παράλληλου τυλίγματος , Πεδίο τυλίγματος αντιστάθμισης

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

Στο **Σχήμα 4.12.1** φαίνονται τα τμήματα του πόλου και οι διατάξεις του παράλληλου πεδίου τυλίγματος .

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

Το σχήμα του βασικού πόλου είναι ορθογώνιο με πλάτος = 60 mm και μήκος = 145 mm . Το πλάτος του τυλίγματος του παράλληλου πεδίου είναι 12,5 mm . Έτσι οι εξωτερικές διαστάσεις του πεδίου του παράλληλου τυλίγματος είναι :

$$85 \text{ mm} \times 170 \text{ mm}$$

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

Επιφάνεια που καταλαμβάνει το πεδίο παράλληλου τυλίγματος : $12,5 \times 60 = 750 \text{ mm}^2$

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

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

Επομένως είναι δυνατών ο χώρος αυτός να χωρέσει 1100 στροφές σύρματος διαμέτρου 0.8 mm .

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

Η αντίσταση του πεδίου του παράλληλου τυλίγματος στους 75 °C Δίνεται από τον τύπο :

$$R_f = \text{τυλίγματα} * M. L. T. * 0,03430 * 1,215 * \text{αριθμό σπειρών} \\ = 1100 * 460 * 0,03430 * 1,215 * 4 = 84,35 \Omega$$

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

4.13 Τύλιγμα αντιστάθμισης .

Αυτό το τύλιγμα τοποθετείται σε σειρά με τον οπλισμό για να προστατέψει από την πτώση τάσης στον οπλισμό λόγω του φορτίου. Τα τυλίγματα είναι τυλιγμένα σε σειρά και τοποθετούνται πάνω από το παράλληλο πεδίο , αυτά είναι αρκετά και μεταφέρουν το ρεύμα του οπλισμού.

Το παίρνουμε περίπου 8% όποτε : $2200 * 8\% = 176$ αμπεροτυλίγματα ανά πόλο.

Ρεύμα = $I_f = 38,63 \text{ A}$

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

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

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

Παίρνουμε : ορθογώνιο αγωγό διαστάσεων : $4 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$, επιφάνεια που καταλαμβάνει : $9,451 \text{ mm}^2$

Συνολικά αμπεροτυλίγματα για το τύλιγμα αντιστάθμισης :

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

Το μέσο μήκος του τυλίγματος αντιστάθμισης μπορούμε να το δούμε στο **Σχήμα 4.12.1**. Το τύλιγμα βρίσκεται πάνω από το πεδίο του παράλληλου τυλίγματος .

Το μέσο μήκος του τυλίγματος : $(170 + 5,5 + 85 + 5,5) * 2 = 532 \text{ mm}$

Αντίσταση :

$$\frac{(\text{Αντίσταση ανά μέτρο συρμάτινου αγωγού}/2) * \text{μέσο μήκος του τυλίγματος}}{\text{χώρος που καταλαμβάνει ο αγωγός}} = \frac{0,017241 * 0,532}{9,451} = 0,236 \Omega$$

Οπότε η τάση διέγερσης είναι : $I_f * R_f = 2 * 84,35 = 168,7 = 170 \text{ V}$

4.14 Κατασκευή βοηθητικών πόλων .

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

Πυκνότητα ρέματος : $\delta = 4 \text{ A/mm}^2$,

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

Παίρνουμε τετράγωνο αγωγό διαστάσεων : $4 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$, επιφάνεια που καταλαμβάνει : $9,451 \text{ mm}^2$

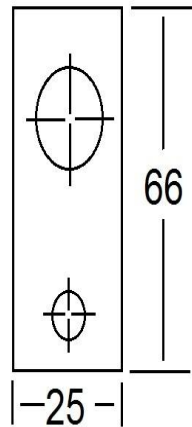
Πλάτος πόλου μεταγωγής :

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

$$\{12,5 + 3 - 1 * 4 * 190155\} = 25 \text{ mm}$$

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

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



Σχήμα 4.14.1: Βοηθητικός πόλος .

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

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

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 4.3.1** περνούμε τις διαστάσεις και τις καμπύλες του αυλακίου για την μαγνητική διαπερατότητα.

$$\frac{W_{s1}}{W_{s2}} = \frac{8}{4,5} = 1,77 \quad , \quad \frac{h_s}{W_{s2}} = \frac{20}{4,5} \quad , \quad F = 0,75$$

Η διαπερατότητα για την σχισμή του **Σχήματος 4.3.1** :

$$\lambda_{s1} = \frac{F}{W_{s2}} + \frac{2 * 1}{W_{s2} + W_{s1}} + F = \frac{0,75}{4,5} + \frac{2 * 1}{4,5 + 8} + 0,75$$

$$\lambda_{s1} = 0,166 + 0,16 + 0,75 = 1,076$$

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

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

* b_{cp} : πλάτος πόλου συλλέκτη.

l_{gcp} : μήκος διάκενου στον συλλέκτη .

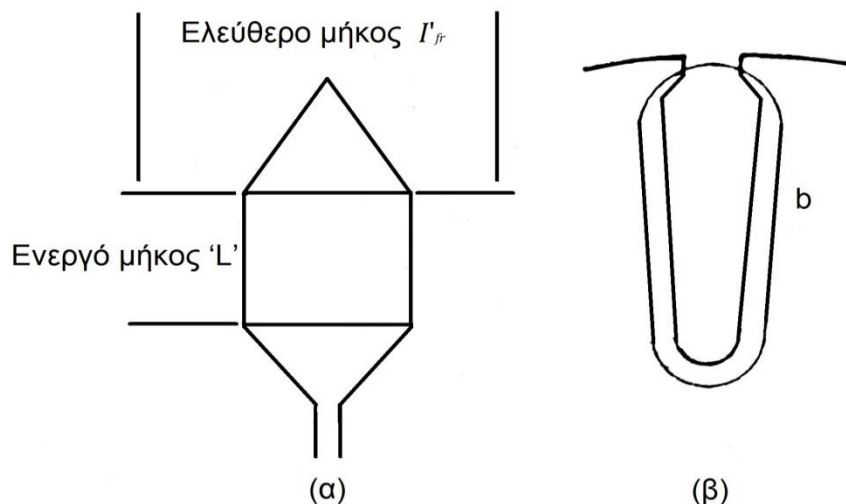
$$\lambda_{tt} = 0,4 * \pi * 10^{-6} * \frac{25}{6 * 4,5} = 1,16 * 10^{-6}$$

Στο **Σχήμα 4.15.1** (α) φαίνονται το ενεργό και το ελεύθερο μήκος του αγωγού του οπλισμού και στο **Σχήμα 4.15.1** (β) φαίνεται το μήκος των συνδέσεων της μαγνητικής ροής γύρω από το τμήμα του αγωγού στη σχισμή .Αυτό το συμβολίζουμε με 'b' , το ενεργό μήκος με 'L' και το ελεύθερο μήκος με l'_{fr} .

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

$$\lambda_0 = \frac{l'_{fr}}{L} \left(0,23 \log \frac{l'_{fr}}{b} + 0,07 \right) * 10^{-6}$$

$$\lambda_0 = \frac{255}{155} \left(0,23 \log \frac{255}{60} + 0,07 \right) * 10^{-6}$$



Σχήμα 4.15.1 : (α) το ενεργό μήκος 'L' και ελεύθερο μήκος l'_{fr} προεξοχής του αγωγού του οπλισμού, (β) μήκος συνδέσεων της ροής 'b' γύρω από το τμήμα του αγωγού στο αυλάκι.

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

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_{tt} + \lambda_0$$

$$\lambda = (1,35 + 1,16 + 0,293) * 10^{-6} = 2,803 * 10^{-6}$$

Αμπεροαγωγοί ανά αυλάκι : $I_a * Z_s = 38,63 * 18 = 695$

$$\text{Και } B_{cp} = \frac{L}{L_{cp}} * \frac{2 * I_a * Z_s * \lambda}{W_i} = \frac{1}{87} * \frac{2 * 695 * 2,803 * 10^{-6}}{0,025} = 0,0115 * 155846,8 * 10^{-6}$$

$$B_{cp} = 1,8 * 10^{-3} \text{Wb/m}^2$$

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

Για να βαρούμε τα αμπεροτυλίγματα ανά πόλο για τον βοηθητικό πόλο προσθέτουμε την αντίδραση αμπεροτυλιγμάτων του επαγωγικού τυμπάνου F_a με τα αμπεροτυλίγματα του διακένου του βοηθητικού πόλου,

Αντίδραση αμπεροτυλιγμάτων του σπλισμού :

$$F_a = \frac{I_a * Z_a}{2 * p * a} = \frac{38,63 * 738}{2 * 4 * 2} = 1782$$

Συντελεστής του Κάρτερ για το διάκενο του βοηθητικού πόλου:

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

Από καμπύλη : $K_s = 0,15$

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

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

Αμπεροτυλίγματα για το διάκενο του βοηθητικού πόλου:

$$0,8 * K_g * B_{cp} * L_{cp} * 0,0045 * 10^6 = 0,8 * 1,05 * 1,8 * 10^{-3} * 87 * 0,0045 * 10^6 = 592$$

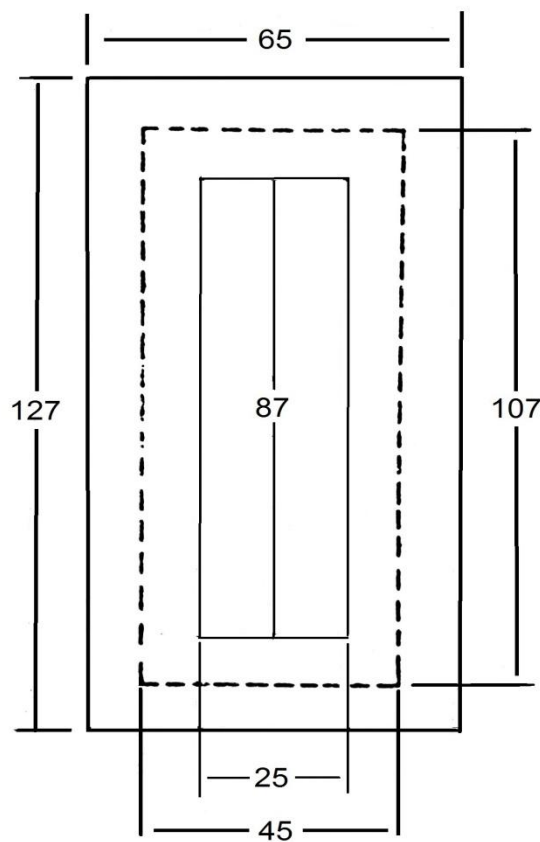
Συνολικά αμπεροτυλίγματα ανά πόλο για τον βοηθητικό πόλο:

$$F_a + \text{Αμπεροτυλίγματα για το διάκενο του πόλου μεταγωγής} = 1782 + 592 = 2374$$

$I = 38,63 \text{ A}$, Τυλίγματα ανά πόλο μεταγωγής :

$$\frac{\text{Συνολικά αμπεροτυλίγματα ανά πόλο για τον πόλο μεταγωγής}}{I} = \frac{2374}{38,63} = 61,45 \cong 61$$

Το τύλιγμα του βοηθητικού πόλου μπορεί να χωριστεί σε 4 με 5 στρώσεις .Το πλάτος του είναι περίπου 20 mm. Στο **Σχήμα 4.15.2** φαίνεται η γενική συμπεριφορά του τυλίγματος για να βαρούμε το μέσο μήκος κάθε τυλίγματος .



Σχήμα 4.15.2 : Πεδίο του τυλίγματος του βοηθητικού πόλου.

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

$$\text{Επιφάνεια που καταλαμβάνει : } 0,9451 \text{ mm}^2$$

$$\text{Αντίσταση 4 τυλιγμάτων του βοηθητικού πόλου: } \frac{0,017241}{9,451} * 1,215 * 71 * 4 * 0,304 = 0,192 \Omega$$

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

Απώλειες στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου: $I_a^2 * αντίσταση = 38,63 * 0,192 = 287 \text{ W}$

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.

Βαθμός απόδοσης : $\frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εξόδου} + \text{απώλειες}} * 100\%$

Οι απώλειες υπολογίζονται παρακάτω :

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

Σύνολο : 2038 W

Ισχύς εξόδου κινητήρα : 15.000 W

Βαθμός απόδοσης : $\frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εξόδου} + \text{απώλειες}} * 100\% = \frac{15000}{15000 + 2038} * 100\% = 88\%$

4.17 Περίληψη κατασκευής και λειτουργιάς .

4.17.1 Προδιαγραφές:

15 kW, τάση 440 V, ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm, αριθμός πόλων 4, βαθμός απόδοσης 88% .

Συγκεκριμένο ηλεκτρικό φορτίο : 25000 A ανά μετρό αγωγών

Συγκεκριμένο μαγνητικό φορτίο : 0,5 Wb/m²

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 αυλακιών : 41 , είδος αυλακιού : ανοικτό βάθους 24 mm και απεικονίζεται στο **Σχήμα 4.3.1** .

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

Ροη ανά πόλο : 11,9 mWb

Αριθμός πόλων : 4

Αριθμός αγωγών : 738

Απλό κυματοειδές τύλιγμα 6 αγωγοί ανά σχισμή με 3 στροφές στο πηνίο.

Αριθμός αγωγών ανά αυλάκι : 18

Η απόσταση μεταξύ πλευρών του πηνίου είναι : 10 αυλάκια

2 αγωγοί εν παραλλήλω μεγέθους 1,4 mm ο καθένας.

Επιφάνεια που καταλαμβάνει ο αγωγός : 3,08 mm

Πυκνότητα ρέματος : 6,5 A/mm²

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 : 60 mm , μαζί με το παπούτσι του πόλου 68 mm

Τόξο πόλου : 97 mm

Ροή ανά πόλο : 14,8 mWb

Διάκενο : 1 mm + 4 επενδύσεις 0,375 mm πάχους η κάθε μια .

Άρα μέγιστο διάκενο : 2,5 mm

Ζυγός :

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

Σχήμα : οκταγωνικό , 391 m 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:	12,17m/s
Τάση μεταξύ των τμημάτων του συλλέκτη :	14.3 v
Αριθμός ψηκτρών :	4
Ένταση ανά ψήκτρα :	19,3
Πυκνότητα ροής για την ψήκτρα :	0,06 A/mm ²
Μέγεθος ψήκτρας :	12,5 mm × 25 mm
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 ²
Πυρήνας οπλισμού :	1,09 wb/m ²
Πόλος :	1,6 wb/m ²
Ζυγός :	1,2 wb/m ²
Διάκενο B_g :	0,9 wb/m ²

4.17.5 Τύλιγμα παράλληλου πεδίου.

Αμπεροτυλίγματα ανά πόλο :	2200
Ρεύμα παράλληλου πεδίου :	2 A
Αριθμός τυλιγμάτων ανά πόλο :	1100
Πυκνότητα ρέματος :	4 A/mm ²

Εμαγιά αγωγός με μεσαίο κάλυμμα διαμέτρου 0,8 mm

Μέσο μήκος τυλίγματος : 460 mm

Αριθμός πηνίων πεδίου : 4

4.17.6 Τύλιγμα σειράς για αντιστάθμιση .

Αμπεροτυλίγματα για το τύλιγμα σειράς : 772

Ρεύμα : 38,63 A

Πυκνότητα ρέματος : 4 A/mm²

Μέγεθος αγωγού : ορθογώνιος , 4 mm × 2,5 mm

Μέσο μήκος τυλίγματος : 532 mm

Τυλίγματα ανά πόλο : 5

4.17.7 Βοηθητικός πόλος .

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

Πλάτος βοηθητικού πόλου: 25 mm

Μήκος βοηθητικού πόλου: 87 mm

Ύψος βοηθητικού πόλου: 66 mm

Πυκνότητα ροής : 0,26 wb/m²

Αμπεροτυλίγματα ανά βοηθητικό πόλο: 2765

Ρεύμα : 38,63 A

Πυκνότητα ρέματος : 4 A/mm²

Τυλίγματα ανά πόλο : 71

Μέγεθος αγωγού : ορθογώνιος , 4 mm × 2,5 mm

Διάκενο κάτω από τον βοηθητικό πόλο: 3 mm + 8 επενδύσεις 0,375 mm πάχους η κάθε μια .

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 75c° :	$R_{75} = 0,475 \ \Omega$
Απώλειες ισχύος ψήκτρας λόγω τριβής :	40 W
Απώλειες επαφής της ψήκτρας :	77,26 W
Βάρος χαλκού στον οπλισμό :	7,63 kg
Βάρος σιδηρού των δοντιών του οπλισμού :	6,9 kg
Βάρος σιδηρού πυρήνα :	12,65 kg
Απώλειες σιδήρου :	252 W
Αντίσταση του πεδίου του παράλληλου τυλίγματος στους 75 °C :	84,35 Ω
Απώλειες χαλκού παράλληλου πεδίου :	338 W
Αντίσταση τυλίγματος σειράς για αντιστάθμιση :	0,236 Ω
Αντίσταση 4 τυλιγμάτων του πόλου μεταγωγής :	0,192 Ω
Απώλειες στο τύλιγμα αντιστάθμισης και στο τύλιγμα του βοηθητικού πόλου:	322 W
Απώλειες χαλκού οπλισμού :	709 W
Απώλειες τριβής και ανεμισμού :	150 W
Απώλειες δινορευμάτων και φορτίου :	150 W
Σύνολο απωλειών :	2038 W

4.17.9 Βαθμός απόδοσης .

Λειτουργιά :

Πραγματική Ισχύς κινητήρα :	15000 W
Σύνολο απωλειών :	2038 W
Βαθμός απόδοσης :	88 %
Ταχύτητα περιστροφής :	1500 rpm

Τροφοδοσία διέγερσης :

170 V, 2 A

Ψύξη με ανεμιστήρα

Θερμοκρασία περιβάλλοντος : 40c⁰ , *κλάση B αύξησης
θερμοκρασίας ,για το παράλληλο πεδίο και τον πόλο μεταγωγής καθώς και για τον συλλέκτη .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

1. Παντελής Β. Μαλατέστας , Ηλεκτρικές Μηχανές , 3η Έκδοση Εκδόσεις Τζιόλα
2. English of electrical engineering , Panayotis I. Tsatsaros , Εκδόσεις Δήρος ΑΕ

Διεθνή

1. Stephen J. Charman : Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC , 4η Έκδοση Εκδόσεις Τζιόλα.
2. M. V. Deshpande , Design And Testing Of Electrical Machines.....

Διαδυσκτιακές πηγές

ΤΕΙ κεντρικής Μακεδονίας σημειώσεις ηλεκτρικών μηχανών

http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix_hm_05_DC_MOTORS.pdf.....