



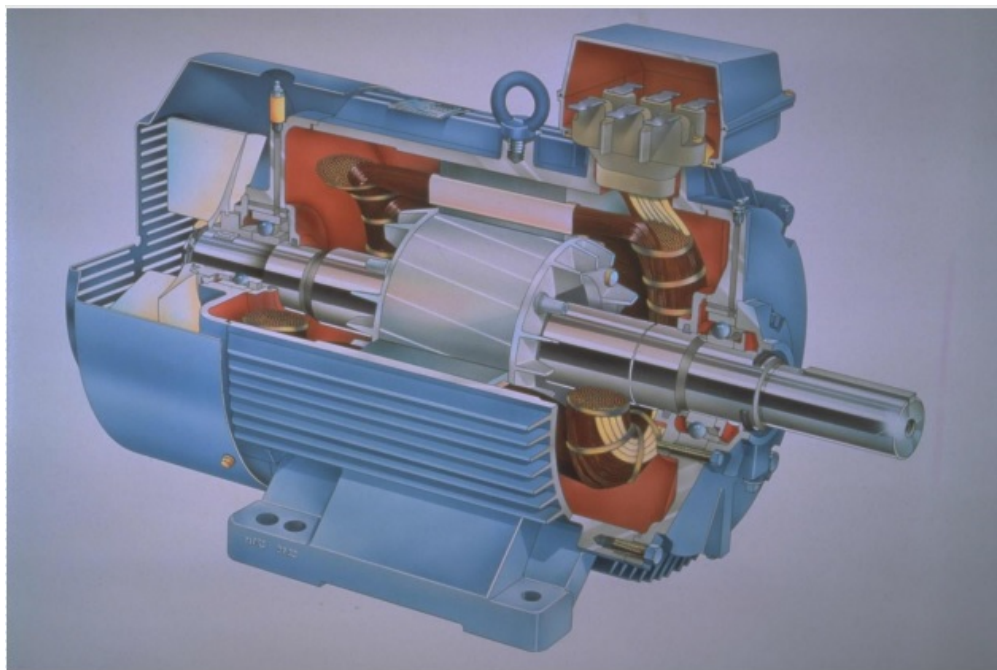
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Σύγχρονες Γεννήτριες Μόνιμου Μαγνήτη

Permanent Magnet Synchronous Generators



Πτυχιακή Εργασία: *Ιωάννης Ροζάκης (36501)*
Επιβλέπων : *Ηρακλής Βυλλιότης, Λέκτορας*

Αιγάλεω Νοέμβριος 2018

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος	3
Εισαγωγή	4
Κεφάλαιο 1	
Γεννήτριες	
1.1 Εισαγωγή στις Γεννήτριες.....	5
1.2 Γεννήτρια Συνεχούς Ρεύματος.....	5
1.2.1 Κατηγορίες Γεννητριών ανάλογα με τον τρόπο διέγερσης.....	7
1.3 Γεννήτρια Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	12
1.3.1 Ασύγχρονη Επαγωγική Γεννήτρια.....	13
1.3.2 Κατηγορίες Ασύγχρονων Γεννητριών.....	13
1.4 Σύγχρονες Γεννήτριες.....	16
1.4.1 Αρχή Λειτουργίας Σύγχρονων Γεννητριών.....	16
1.5 Κύματα Μ.Ε.Δ πυκνότητας μαγνητικής ροής και τάσης.....	22
1.6 Σύγχρονες Γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα.....	27
Κεφάλαιο 2	
Σύγχρονες Γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη	
2.1 Αρχή λειτουργίας Σύγχρονων Γεννητριών Μόνιμου Μαγνήτη.....	29
2.1.1 Γεννήτριες εσωτερικού μαγνήτη.....	35
2.1.2 Σύγχρονες γεννήτριες έκτυπων πόλων.....	37
2.2 Δομή Σύγχρονων Γεννητριών Μόνιμου Μαγνήτη.....	42
2.2.2 Σχεδιασμός Στάτη.....	44
2.2.3 Σχεδιασμός αυλακώσεων.....	52
2.3 Τροφοδοσία ηλεκτρικών διατάξεων ΣΓΜΜ.....	53
2.4 Τεχνολογία Μόνιμων Μαγνητών.....	59
Κεφάλαιο 3	
Υδραυλική Ενέργεια	
3.1 Εισαγωγή στην υδραυλική ενέργεια.....	64
3.2 Αρχή λειτουργίας μετατροπής υδραυλικής και αιολικής ενέργειας.....	65
3.2.1 Μια σύντομη ματιά σε διαθέσιμους πόρους.....	65
3.2.2 Κατηγορίες γεννητριών για χρήση στην υδραυλική και αιολική ενέργεια.....	67
3.3 Νέες μέθοδοι εκμετάλλευσης κυμάτων.....	68
3.3.1 Τυπικό πλάνο κατασκευής από Verdant Power.....	70
3.3.2 Σύστημα Lunar Energy (U.S – D.O.E).....	71
3.3.3 Κέντρο ερευνών Free Flow Technology.....	71
Κεφάλαιο 4	
Εξομίωση Μηχανής	
4.1 Καταργώντας το κιβώτιο ταχυτήτων.....	73
4.2 Εξομίωση Μηχανής.....	75
4.2.1 Εξομίωση στο RMXprt.....	76
4.3 Συναρμολόγηση Υλικών Μερών.....	83
4.3.1 Autocad και Solid Edge.....	84

Πρόλογος

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να κατανοήσουμε τις σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη οι οποίες βρίσκονται ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητά μας.

Η εξέλιξη τους θεωρείται τόσο βέβαιη όσο και αναγκαία για εμάς. Αποτελούν την πλειοψηφία πηγή τροφοδοσίας των ηλεκτρικών ενεργειών καθώς χρησιμοποιούνται κυρίως στην μετατροπή κάποιας μορφής μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική με τεράστια οφέλη και εφαρμογές στις μέρες μας με πιο γνωστές τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική, υδραυλική, ηλιακή κ.α.

Θα αναφερθούμε εκτενέστερα στις γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη με εφαρμογές στην υδραυλική ενέργεια ενώ θα περιγραφούν και κάποια υδραυλικά συστήματα.

Η αναφορά στις σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη θα γίνει όσο το δυνατόν πιο μεθοδικά και έτσι θα γνωρίσουμε κάποιες λεπτομέρειες για τις γεννήτριες και τα διάφορα είδη αυτών. Θα δούμε τα μηχανικά μέρη που τις απαρτίζουν και ως εκ τούτου θα γίνει αναφορά και στους μαγνήτες και τον τρόπο με τον οποίο οι κατασκευαστές εκμεταλλεύονται την ιδιότητά τους.

Εισαγωγή

Μια Σύγχρονη Γεννήτρια Μόνιμου Μαγνήτη [ΣΓΜΜ], αναφορικά με την λειτουργία της, είναι μια γεννήτρια, το πεδίο διέγερσης της οποίας επιτυγχάνεται από έναν μόνιμο μαγνήτη και όχι από κάποιο τύλιγμα-πηνίο. Ο όρος ‘σύγχρονη’ που χαρακτηρίζει αυτό τον τύπο γεννητριών αναφέρεται στο ότι ο ρότορας και το μαγνητικό πεδίο περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα καθώς το μαγνητικό πεδίο παράγεται μέσω ενός άξονα τοποθετημένο με μηχανισμό μόνιμου μαγνήτη και το ρεύμα παράγεται στο σταθερό στέλεχος. Στην πλειοψηφία των σχεδιασμών στο στρεφόμενο μέρος, τον ρότορα, βρίσκονται οι μαγνήτες και ο ‘στάτης’ είναι το σταθερό στέλεχος το οποίο συνδέεται ηλεκτρικά το φορτίο. Η τάση εξόδου αυτών των γεννητριών καθώς και η συχνότητα τους είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ρότορα. Σε χρήση που η ταχύτητα παραμένει σταθερή και έχοντας μια ιδανικά σχεδιασμένη γεννήτρια, μπορεί να αυτοδιατηρήσει την τάση μόνη της. Στην πραγματικότητα όμως στις περισσότερες εφαρμογές απαιτούνται αυξομειώσεις στην ταχύτητα, όποτε σε αυτή την περίπτωση η συνεχής τάση εξόδου είναι αντιστρόφως ανάλογη του φορτίου, ανεξαρτήτως αν η τροφοδοσία είναι DC ή AC. Επίσης το είδος του φορτίου καθορίζει την τάση. Θα δούμε παρακάτω την συμπεριφορά της γεννήτριας για φορτίο ωμικό, χωρητικό και επαγωγικό και τις περιπτώσεις υπερδιέγερσης ή υποδιέγερσης ανάλογα με το είδος του φορτίου που τροφοδοτεί.

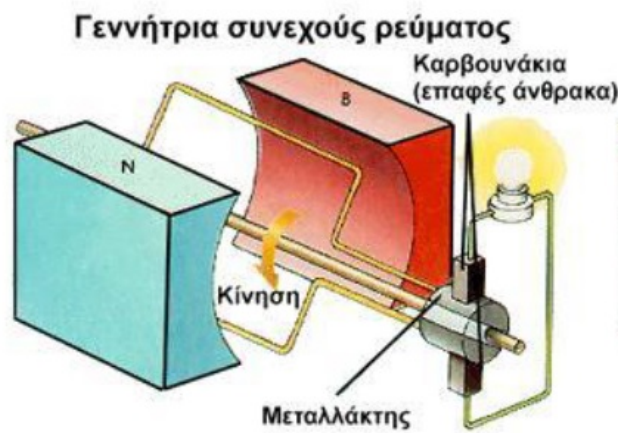
Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή στις γεννήτριες

Ξεκινώντας λοιπόν σκόπιμο είναι να αναφέρουμε ότι η γεννήτρια είναι ένας μηχανισμός ο οποίος αφορά την μετατροπή μιας μορφής ενέργειας (διέγερση) σε μια άλλη (συνήθως ηλεκτρική). Πιο συγκεκριμένα μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, διαδικασία που βασίζεται βεβαίως σε φαινόμενο της φυσικής κατά το οποίο όταν ένας αγωγός κινηθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε δημιουργείται μια ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) από επαγωγή. Αν στα άκρα αυτού του αγωγού ενωθεί ένα ηλεκτρικό φορτίο τότε θα αναπτυχθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Στην γεννήτρια υπάρχει λοιπόν μια χάλκινη συνήθως περιέλιξη (πηνίο) ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη και περιστρεφόμενη μέσα στο μαγνητικό πεδίο, στα άκρα της περιέλιξης αυτής αναπτύσσεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Ανάλογα με το είδος του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται μπορούν να προκύψουν δύο κατηγορίες γεννητριών.

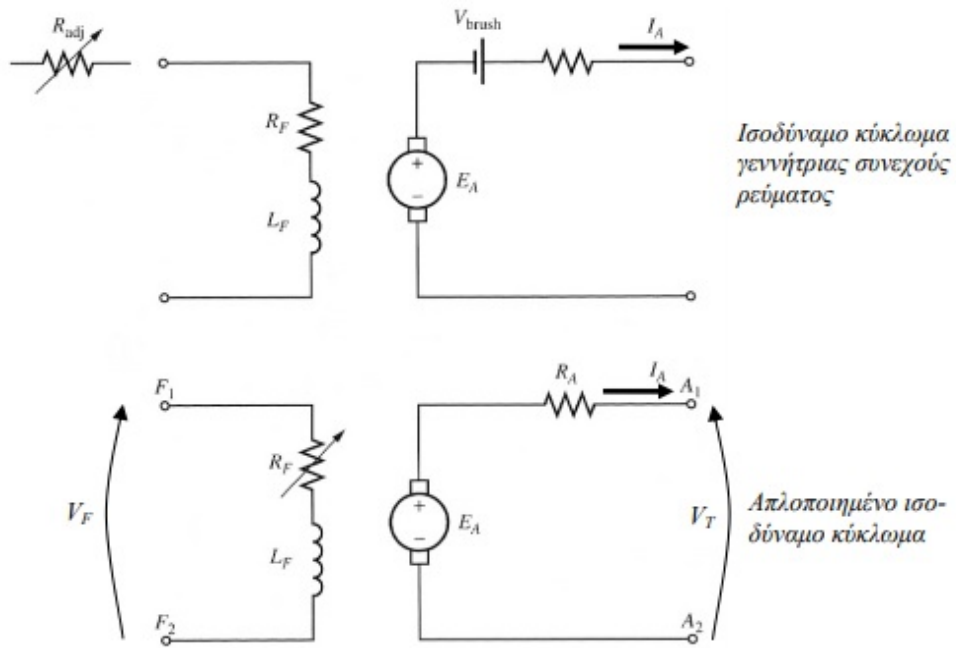
1.2 Γεννήτριες Συνεχούς Ρεύματος



Σχήμα 1.1: Δείγμα Γεννήτριας συνεχούς ρεύματος

Παρακάτω θα δείξουμε επίσης το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας όπου ο σπλισμός παριστάνεται με μια ιδανική πηγή τάσης E_A και μια αντίσταση R_A ενώ ως V_{brush} έχουμε την πτώση τάσης στις ψήκτρες. Το τύλιγμα διέγερσης παριστάνεται με την αυτεπαγωγή L_F και την αντίσταση R_F .

Επίσης θεωρούμε την ύπαρξη εξωτερικής μεταβλητής R_{adj} η οποία ρυθμίζει το ρεύμα διέγερσης.



Σχήμα 1.2: Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας συνεχούς ρεύματος

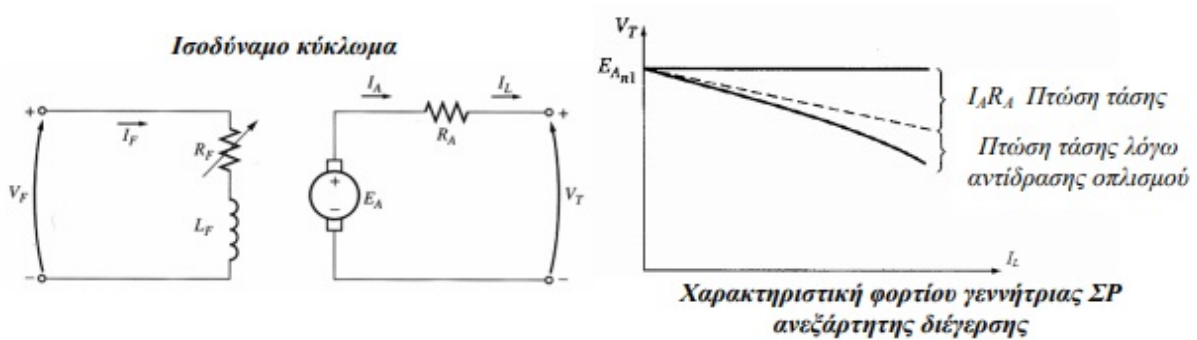
Αυτές οι γεννήτριες διακρίνονται με την σειρά τους σε κάποιες κατηγορίες με βάση τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσής τους.

1.2.1 Κατηγορίες Γεννητριών ανάλογα με τον τρόπο διέγερσης

Γεννήτριες ξένης διέγερσης

Σε αυτήν την περίπτωση το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από μια εξωτερική πηγή συνεχούς τάσης. Παρακάτω θα δείξουμε το ισοδύναμο κύκλωμα από το οποίο προκύπτουν εύκολα οι σχέσεις:

$$I_F = V_F / R_F, I_L = I_A \text{ και } V_T = E_A - I_A R_A \quad (1.1)$$



Σχήμα 1.3 Ισοδύναμο κύκλωμα και χαρακτηριστική φορτίου ξένης διέγερσης

Γεννήτριες παράλληλης διέγερσης

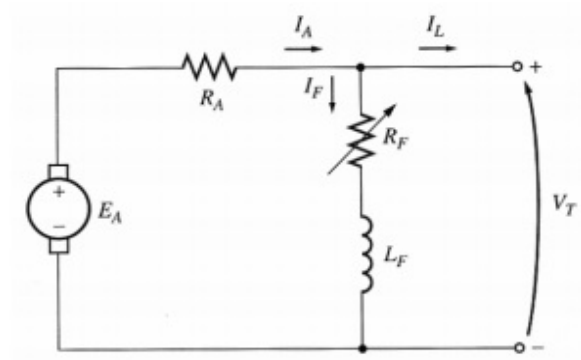
Αυτού του τύπου οι γεννήτριες χαρακτηρίζονται ως αυτοδιεγειρόμενες καθώς το κύκλωμα διέγερσης συνδέεται στα άκρα της γεννήτριας και τροφοδοτείται από την τάση εξόδου της μηχανής. Δηλαδή δεν απαιτείται εξωτερική πηγή για το κύκλωμα διέγερσης αφού το ρεύμα σπλισμού τροφοδοτεί τόσο το κύκλωμα διέγερσης, όσο και το φορτίο που συνδέεται στην έξοδο :

$$I_A = I_F + I_L \quad (1.2)$$

Και για το κύκλωμα σπλισμού προκύπτει:

$$V_T = E_A - I_A R_A = I_F R_F \quad (1.3)$$

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι το ρεύμα διέγερσης έχει σχετικά μικρή τιμή και γι' αυτό το κύκλωμα διέγερσης αποτελείται από μεγάλο αριθμό σπειρών, ώστε να παράγεται επαρκής μαγνητική ροή.



Σχήμα 1.4: Ισοδύναμο κύκλωμα παράλληλης διέγερσης

Η διαδικασία της αυτοδιέγερσης που αναφέραμε οφείλεται στον παραμένοντα μαγνητισμό των πόλων της μηχανής. Θεωρώντας λειτουργία εν κενώ, αν Φ_{res} είναι η παραμένουσα μαγνητική ροή, τότε όταν αρχίσει να περιστρέφεται η μηχανή θα αναπτυχθεί στο τύλιγμα του σπλισμού τάση

$$E_{A,r} = K \Phi_{res} \omega \tag{1.4}$$

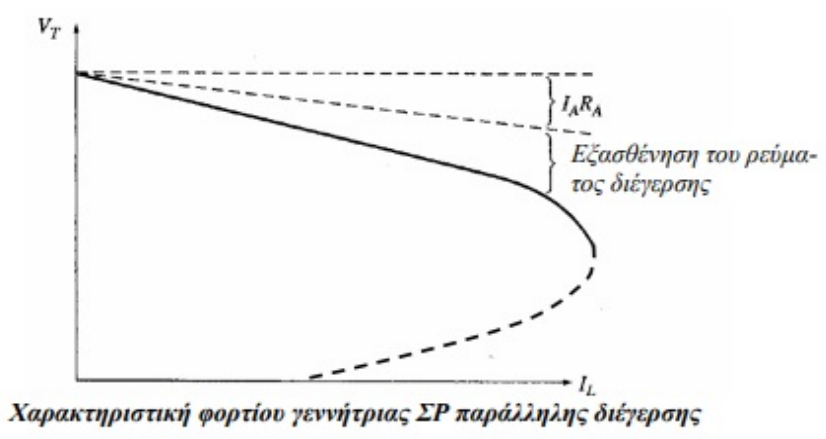
με σχετικά χαμηλή τιμή.

Η τάση αυτή θα προκαλέσει κάποιο ρεύμα στο κύκλωμα διέγερσης,

$$I_F = \frac{E_{A,r}}{R_A + R_F} \tag{1.5}$$

εξαιτίας του οποίου παράγεται ΜΕΔ στους πόλους, αυξάνοντας τη συνολική μαγνητική ροή.

Το διάγραμμα με την χαρακτηριστική του φορτίου στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης φαίνεται παρακάτω:



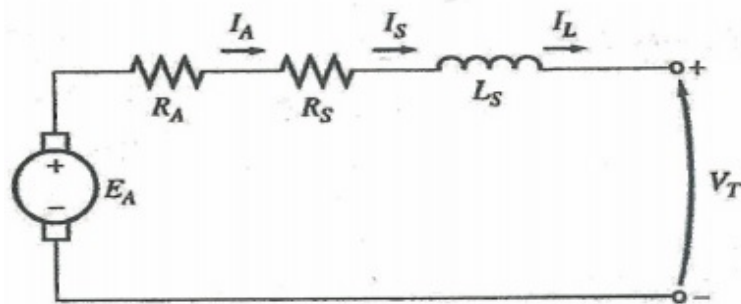
Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας ΣΡ παράλληλης διέγερσης

Γεννήτριες με διέγερση σειράς

Αυτού του τύπου οι γεννήτριες χαρακτηρίζονται και αυτές ως αυτοδιεγειρόμενες με το τύλιγμα διέγερσης να συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του σπλισμού. Γίνεται σαφές ότι το ρεύμα του κυκλώματος διέγερσης ταυτίζεται με αυτό του φορτίου και είναι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα διέγερσης στην περίπτωση των γεννητριών παράλληλης διέγερσης. Γι' αυτόν το λόγο το τύλιγμα του σπλισμού έχει μικρό αριθμό σπειρών και ο αγωγός έχει μεγάλη διατομή. Από το ισοδύναμο κύκλωμα εύκολα προκύπτει ότι :

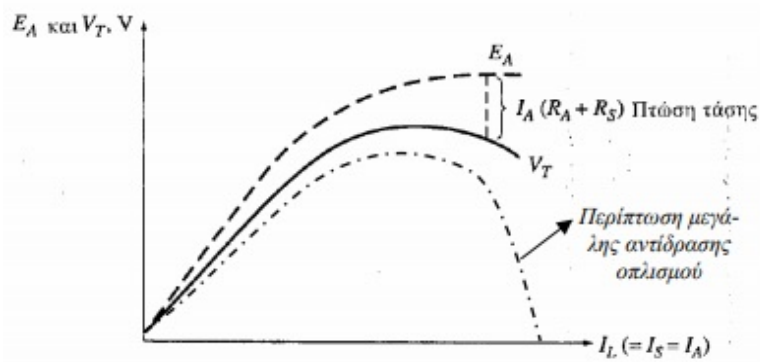
$$I_A = I_S = I_L \quad \text{και} \quad V_T = E_A - I_A (R_A + R_S) \quad (1.6)$$

Και εδώ η αυτοδιέγερση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με κλειστό κύκλωμα, αφού το ρεύμα είναι μηδενικό.



Σχήμα 1.6: Ισοδύναμο κύκλωμα γεννητριών διέγερσης σειράς.

Κατά την λειτουργία της γεννήτριας χωρίς φορτίο, το ρεύμα διέγερσης είναι μηδενικό και η τάση στα άκρα της γεννήτριας προέρχεται μόνο από τον παραμένοντα μαγνητισμό. Αυξάνοντας το ρεύμα του φορτίου, αντίστοιχα αυξάνει και το ρεύμα διέγερσης I_F όσο και η E_A . Η αύξηση αυτή είναι αρχικά μεγαλύτερη από την αύξηση της πτώσης τάσης $I_A (R_A + R_S)$, γεγονός που σημαίνει ότι συνολικά η τάση στα άκρα της γεννήτριας μεγαλώνει. Πλησιάζοντας το σημείο κορεσμού, η E_A γίνεται σχεδόν σταθερή, οπότε η πτώση τάσης αρχίζει να υπερिशύει και τελικά η τάση εξόδου μειώνεται.



Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας ΣΡ με διέγερση σειράς

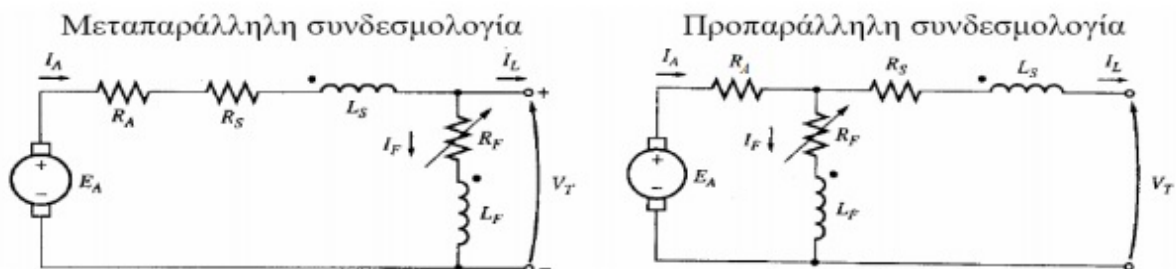
Γεννήτριες Σύνθετης διέγερσης.

Οι γεννήτριες αυτού του τύπου διαθέτουν ταυτόχρονα τύλιγμα διέγερσης σειράς και τύλιγμα παράλληλης διέγερσης. Ανάλογα με το αν η ΜΕΔ των δύο τυλιγμάτων προσθέτονται ή αφαιρούνται μεταξύ τους, κάνουμε το διαχωρισμό σε γεννήτριες αθροιστικής και διαφορικής σύνθετης διέγερσης. Επίσης με βάση τις θέσεις σύνδεσης των κυκλωμάτων διέγερσης μπορεί να γίνει ένας ακόμα διαχωρισμός. Στην περίπτωση της μεταπαράλληλης συνδεσμολογίας ισχύουν οι σχέσεις:

$$I_A = I_F + I_L, \quad V_T = E_A - I_A (R_A + R_S), \quad I_F = V_T / R_F \quad (1.7)$$

Από το κύκλωμα της προπαράλληλης συνδεσμολογίας προκύπτει ότι:

$$I_A = I_F + I_L, \quad V_T = E_A - I_A R_A - I_L R_S, \quad I_F R_F = E_A - I_A R_A \quad (1.8)$$



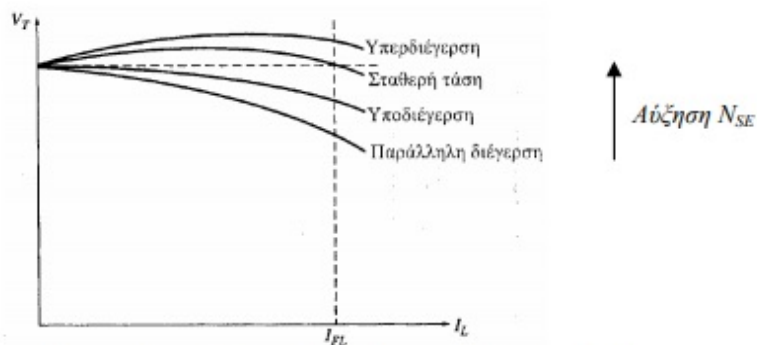
Σχήμα 1.8 : Ισοδύναμο κύκλωμα τύπου συνδεσμολογίας σύνθετης διέγερσης

Υποθέτοντας πως αυξάνεται το φορτίο, στη γεννήτρια λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα τα δύο ακόλουθα φαινόμενα:

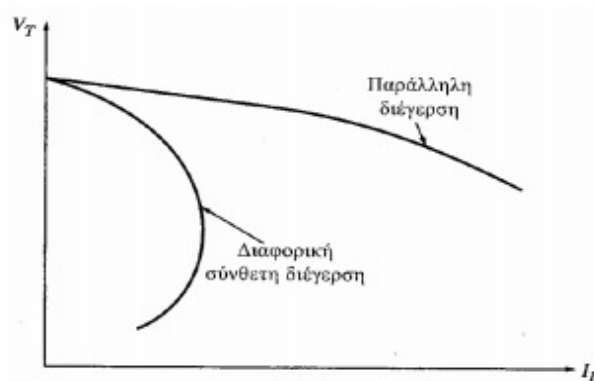
α) Η άνοδος του I_L συνεπάγεται αύξηση του ρεύματος $I_A (= I_F + I_L)$ με συνέπεια τη μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας.

β) Η αύξηση του I_A ενισχύει τη ΜΕΔ του τυλίγματος σειράς οπότε και τη συνολική ΜΕΔ. Άρα μεγαλώνει η μαγνητική ροή Φ , αυξάνει η E_A και μαζί και η τάση V_T .

Το ποιο από τα δύο φαινόμενα θα επικρατήσει εξαρτάται από το πλήθος των σπειρών του τυλίγματος σειράς. Έτσι στην περίπτωση της υποδιέγερσης, η καμπύλη φόρτισης είναι απλώς λιγότερο απότομη σε σχέση με αυτήν γεννήτριας παράλληλης διέγερσης. Χρησιμοποιώντας περισσότερες σπείρες στο τύλιγμα σειράς, η τάση V_T υπό πλήρες φορτίο μπορεί να γίνει ίση της αφόρτιστης λειτουργίας (υποδιέγερση). Στην περίπτωση της διαφορικής σύνθετης διέγερσης, τα δύο προαναφερθέντα έχουν το ίδιο αποτέλεσμα στην μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας, με συνέπεια τη μεγάλη μείωση της V_T με την αύξηση του φορτίου.

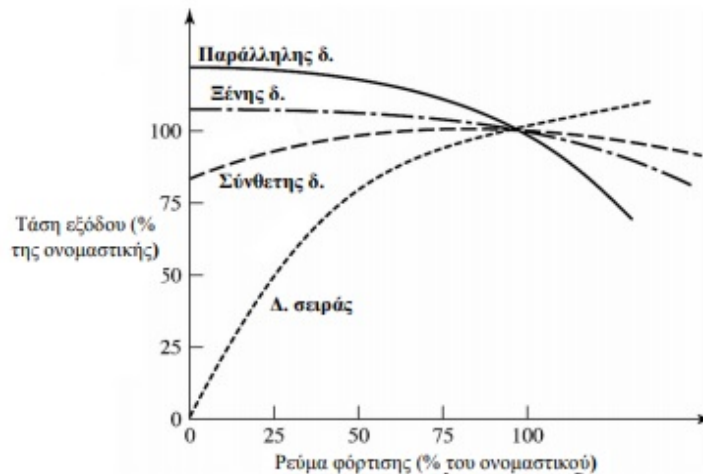


Σχήμα 1.9: Χαρακτηριστικές φορτίου γεννήτριας ΣΡ αθροιστικής σύνθετης διέγερσης



Σχήμα 1.10: Χαρακτηριστική φορτίου ΣΡ διαφορικής σύνθετης διέγερσης

Ανακεφαλαιώνοντας, διαπιστώθηκε πως η τάση εξόδου σε γεννήτριες ανεξάρτητης διέγερσης παρουσιάζει σχετικά μικρή μεταβολή με το ρεύμα φόρτισης, η οποία γίνεται σημαντικότερη στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης. Στις γεννήτριες με διέγερση σειράς η μεταβολή της V_t είναι πολύ μεγάλη ως προς το ρεύμα ΙL, ενώ σχεδόν σταθερή τάση μπορεί να επιτευχθεί από τις γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.



Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστικές γεννητριών ανάλογα με τον τύπο διέγερσης

1.3 Γεννήτριες Εναλλασσόμενου ρεύματος

Το τύλιγμα του στάτη είναι ένα τριφασικό τύλιγμα.

Όταν τροφοδοτήσουμε αυτό το τύλιγμα του στάτη με ένα τριφασικό συμμετρικό σύστημα τάσεων, τότε αναπτύσσεται στο διάκενο της μηχανής στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αντίστροφα, μπορεί να αναπτυχθεί τριφασικό σύστημα τάσεων επαγωγής στα τυλίγματα του στάτη, από στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Καθώς μια μηχανή λειτουργεί αναπτύσσονται δυο μαγνητικά πεδία, ένα από το κύκλωμα του δρομέα και άλλο ένα από το κύκλωμα του στάτη. Τα πεδία αυτά αλληλεπιδρούν και συντελούν στην ανάπτυξη μιας ροπής εξόδου. Έτσι μπορούμε πλέον να μιλήσουμε για άλλες δύο κατηγορίες γεννητριών.

- α) Στις ασύγχρονες γεννήτριες ή επαγωγικές.
- β) Στις σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτικές.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν Ε.Ρ., του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας. Το ρεύμα διέγερσης παράγεται επαγωγικά στα τυλίγματα διέγερσής τους, γιατί και ονομάζονται επαγωγικές.

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν Ε.Ρ και υπάρχει σταθερή σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα

περιστροφής της γεννήτριας και της συχνότητας του ρεύματος.

Ρεύμα το οποίο παράγεται από ανεξάρτητες πηγές συνεχούς ρεύματος.

Και των δυο τύπων οι μηχανές μπορούν να διατελέσουν και την αντίστροφη λειτουργία δηλαδή να δουλέψουν και ως κινητήρες.

1.3.1 Ασύγχρονη γεννήτρια (επαγωγική)

Οι ασύγχρονες γεννήτριες αποτελούνται από ένα απλό μηχανικό μέρος. Η λειτουργία τους δεν απαιτεί ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης και δεν χρειάζεται να στρέφεται συνεχώς με την ίδια ταχύτητα, χαρακτηριστικό το οποίο ευνοεί την χρήση αυτών των γεννητριών σε αιολικά συστήματα. Το κόστος παραγωγής τους δεν είναι μεγάλο και γιατί η κατασκευή τους είναι μαζική. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των γεννητριών είναι πως αδυνατεί να παράγει άεργη ισχύ ενώ αντιθέτως καταναλώνει άεργη ισχύ και γιατί τον λόγο απαιτείται κάποια εξωτερική πηγή άεργης ισχύος μόνιμα συνδεδεμένης. Αυτή η εξωτερική πηγή είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση της τάσεως στην έξοδο της γεννήτριας. Κατά συνέπεια οι εξωτερικοί πυκνωτές παράγουν το ρεύμα μαγνήτισης που αντιστοιχεί στην εκάστοτε γεννήτρια.

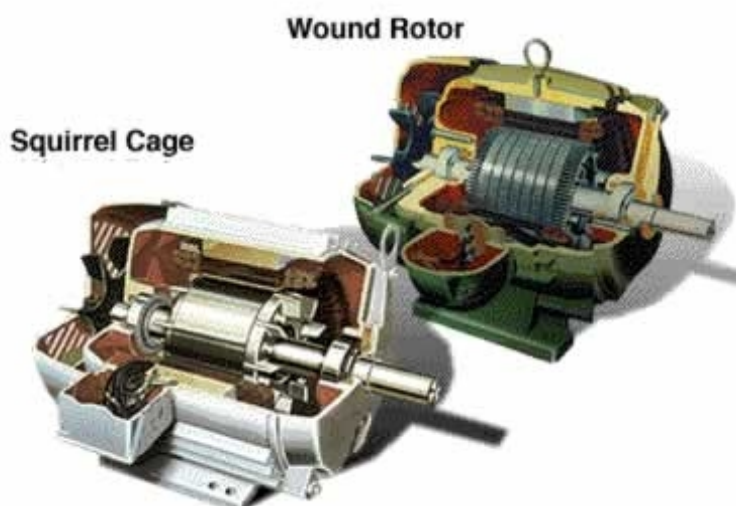
Από την άλλη πλευρά, σημαντικό πρόβλημα αποτελεί το γεγονός ότι η τάση στα άκρα έχει μεγάλη και άμεση εξάρτηση από το φορτίο και όποτε αυτό έχει ισχυρό επαγωγικό χαρακτήρα, είναι δυνατό να προκληθεί μεγάλη πτώση στα άκρα της γεννήτριας. Σε γενικές γραμμές η ασύγχρονη γεννήτρια επιδεινώνει τον συντελεστή ισχύος του δικτύου και προκαλεί μεγάλες πτώσεις τάσης.

1.3.2 Κατηγορίες ασύγχρονων γεννητριών

Οι ασύγχρονες γεννήτριες χωρίζονται επίσης σε δυο είδη με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους.

Ασύγχρονη (επαγωγική) γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel-cage rotor).

Ασύγχρονη (επαγωγική) γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (wound rotor).



Ας δούμε μερικά χαρακτηριστικά των δύο τύπων.

Το τύλιγμα των γεννητριών δακτυλιοφόρου δρομέα, παρόμοιας κατασκευής με το τύλιγμα με το τύλιγμα του στάτη. Είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στην επιφάνεια του στάτη με τρεις δακτυλίους να συνδέουν τα άκρα του. Η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων σε σειρά με το τύλιγμα του δρομέα πραγματοποιείται από τους περιστρεφόμενους δακτυλίους και τις σχετικές με τους αυτούς ψήκτρες. Οι αντιστάσεις χρησιμοποιούνται κατά την εκκίνηση, ενώ οι ψήκτρες βραχυκυκλώνονται υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας.

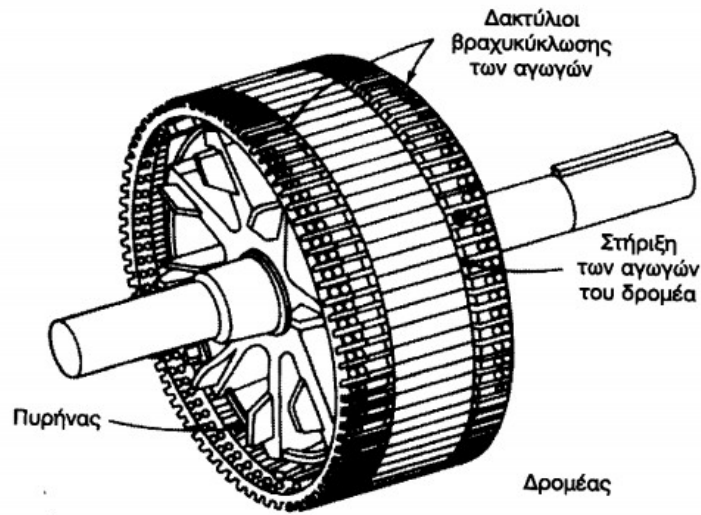


Σχήμα 1.12 : Δείγμα ασύγχρονης γεννήτριας δακτυλιοφόρο δρομέα

Στις **γεννήτριες τύπου κλωβού**, το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από χάλκινες ή αλουμιένιες μπάρες (ράβδοι), τοποθετημένες κατά μήκος των αυλακώσεων και οι οποίες βραχυκυκλώνονται περιμετρικά στα δύο άκρα μέσω κατάλληλων δακτυλίων.

Ένα πλεονέκτημα του δρομέα τύπου κλωβού είναι ότι, ο ίδιος ο δρομέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κινητήρα ή γεννήτρια με μονοφασικό τύλιγμα στάτη, καθώς ο αριθμός των επαγομένων πόλων καθορίζεται από το τύλιγμα του στάτη. Το τύλιγμα κλωβού μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα πολυφασικό τύλιγμα με αριθμό φάσεων ίσο με τον αριθμό των ράβδων του κλωβού, οι οποίες φάσεις μέσω του ενός από τους δύο δακτυλίους συνδέονται μεταξύ τους σε αστέρα και μέσω του άλλου δακτυλίου βραχυκυκλώνονται.

Στις γεννήτριες τυλιγμένου δρομέα, υπάρχει η δυνατότητα μέσω των ψηκτρών, παρεμβολής πρόσθετης εξωτερικής ωμικής αντίστασης σε σειρά σε κάθε φάση τυλίγματος του δρομέα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες απαιτήσεις ισχύος και σε περιπτώσεις υψηλών απαιτήσεων σε ροπή εκκίνησης.



Σχήμα 1.13: Δρομέας τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού

1.4 Σύγχρονες Γεννήτριες

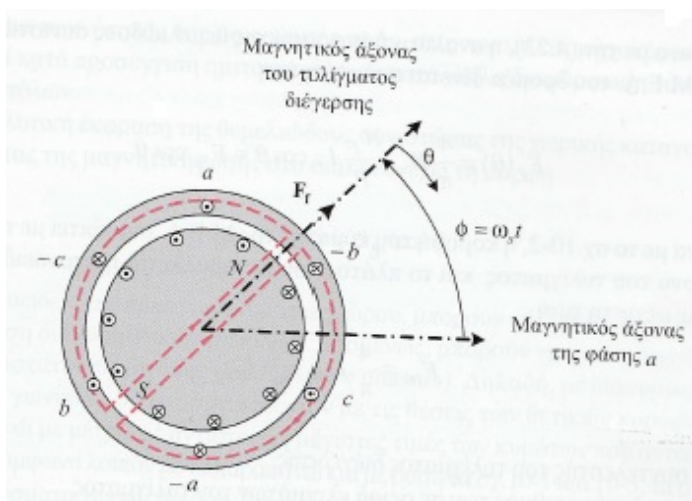
1.4.1 Αρχή λειτουργίας Σύγχρονων γεννητριών

Αρχικά σαν τύπο μηχανής μια σύγχρονου τύπου, είναι διπλής τροφοδότησης (double excited). Το τύλιγμα τυμπάνου είναι απόλυτα όμοιο με εκείνο των μηχανών επαγωγής, βρίσκεται συνήθως στο στάτη και είναι τριφασικό διανεμημένο τύλιγμα. Το τύλιγμα του δρομέα γνωστό και ως τύλιγμα διέγερσης ή τύλιγμα πεδίου, είναι τύλιγμα συνεχούς ρεύματος και ανάλογα του αριθμού των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο ή συγκεντρωμένο.

Σε σπάνιες περιπτώσεις είναι δυνατόν το τύλιγμα του τυμπάνου να βρίσκεται στον δρομέα και το τύλιγμα διέγερσης στο στάτη. Ανάλογα με τον αριθμό των πόλων οι σύγχρονες μηχανές κατατάσσονται σε δυο βασικές κατηγορίες, στις μηχανές κυλινδρικού δρομέα και στις μηχανές έκτυπων πόλων. Οι μηχανές κυλινδρικού δρομέα είναι πολύστροφες μηχανές και συνήθως είναι διπολικές ή τετραπολικές.

Αντίθετα οι αργόστροφες μηχανές είναι έκτυπων πόλων. Πρακτικά άνω των τεσσάρων πόλων οι σύγχρονες μηχανές κατασκευάζονται με έκτυπους πόλους.

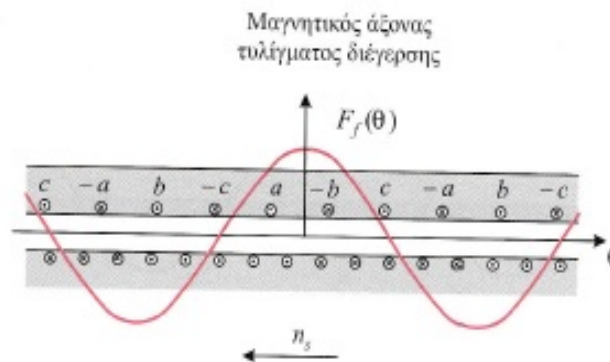
Οι μηχανές ομοιόμορφου διάκενου, εμφανίζουν καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις μηχανές έκτυπων πόλων. Για τον περιορισμό των φυγοκεντρικών δυνάμεων αλλά και την μείωση της ροπής αδράνειας των στρεφόμενων μαζών, οι δρομείς των μηχανών ομοιόμορφου διάκενου είναι μεγαλύτερου ενεργού μήκους και μικρότερης διαμέτρου από τους αντίστοιχους δρομείς των μηχανών με έκτυπους πόλους.



Στοιχειώδης σύγχρονη διπολική τριφασική γεννήτρια.

Σχήμα 1.14

Για λόγους απλότητας, το τύλιγμα τυμπάνου παριστάνεται στο σχήμα 1.14, με τρία όμοια συγκεντρωμένα τυλίγματα. Το τύλιγμα του πεδίου, τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσω ψηκτρών οι οποίες ολισθαίνουν σε δακτύλιους κατάλληλα τοποθετημένους στο δρομέα. Η διάταξη αυτή επιβάλλεται για κατασκευαστικούς λόγους, κυρίως γιατί το ρεύμα του πεδίου είναι σήνηθως πολύ μικρότερο από το ρεύμα του τυμπάνου και ως εκ τούτου είναι πλεονεκτικότερη η τοποθέτηση του τυλίγματος χαμηλής ισχύος στο δρομέα. Η χωρική κατανομή της μαγνητεργετικής δύναμης (Μ.Ε.Δ) του τυλίγματος του δρομέα, μπορεί με αρκετά καλή προσέγγιση να παρασταθεί από την αντίστοιχη θεμελιώδη συνιστώσα του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 1.15 : Θεμελιώδης συνιστώσα Μ.Ε.Δ του τυλίγματος του δρομέα

Η αναλυτική έκφραση της θεμελιώδους συνιστώσας χώρου της Μ.Ε.Δ του δρομέα δίνεται από τη σχέση:

$$F_f(\theta) = \frac{4}{\pi} K_{wf} \frac{N_f}{P} I_f \cos \theta = F_{fm} \cos \theta \quad (1.9)$$

Όπου :

K_{wf} = συντελεστής του τυλίγματος διέγερσης

N_f = συνολικός αριθμός των πόλων σε σειρά ελιγμάτων του τυλίγματος

P = αριθμός των πόλων

I_f = ρεύμα τυλίγματος διέγερσης, (A)

Ο δρομέας, κινείται με σύγχρονη ταχύτητα, από πηγή μηχανικής ισχύος συνδεδεμένης στον άξονα της μηχανής. Αγνοώντας φαινόμενα κορεσμού του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος και λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα της μαγνητικής αντίστασης περί την περιφέρεια του διακένου, η ακτινική διανομή της πυκνότητας μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής μπορεί και αυτή να παρασταθεί με σε αναλογία με το κύμα της Μ.Ε.Δ αφού είναι σε φάση με το κύμα χώρου της Μ.Ε.Δ

Γενικότερα σαν λειτουργία σύγχρονης μηχανής, ανάλογα με το είδος της λειτουργιάς της, η επαγόμενη Η.Ε.Δ διακένου και η τάση ακροδεκτών, συνδέονται μεταξύ τους με τις σχέσεις

$$E_R = V_a + (r_a + j x_{af}) I_a \quad (1.10)$$

για λειτουργία γεννήτριας και

$$E_R = V_a - (r_a + j x_{af}) I_a \quad (1.11)$$

για λειτουργία κινητήρα.

Όπου: E_R = επαγόμενη Η.Ε.Δ λόγω της Φ_R (τάση διακένου), (V)

Η επαγόμενη Η.Ε.Δ λόγω της αντίδρασης του τυλίγματος τυμπάνου, καθυστερεί κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες σε σχέση με το παραστατικό διάνυσμα χρόνου της μαγνητικής ροής Φ_A ή του ρεύματος τυμπάνου I_a . Εάν λοιπόν αμελήσουμε τα φαινόμενα κορεσμού του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος, μεταξύ των παραπάνω μεγεθών θα ισχύει ότι

$$E_A = j K_A \Phi_A = -j x_a I_a \quad (1.12)$$

Όπου : E_A = επαγόμενη Η.Ε.Δ λόγω της Φ_A , (V)

x_a = επαγωγική αντίδραση μαγνήτισης του τυλίγματος τυμπάνου, (Ω)

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (1.10), (1.11), (1.12) προκύπτει για την επαγόμενη τάση διέγερσης η σχέση:

$$E_f = E_R + j x_a I_a = V_a + X I_a (r_a + j x_s) \quad (1.13)$$

για λειτουργία γεννήτριας και

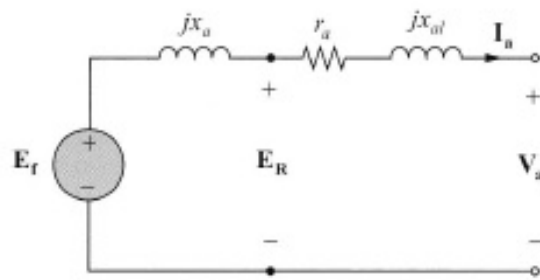
$$E_f = E_R - j x_a I_a = V_a - X I_a (r_a + j x_s) \quad (1.14)$$

για λειτουργία κινητήρα.

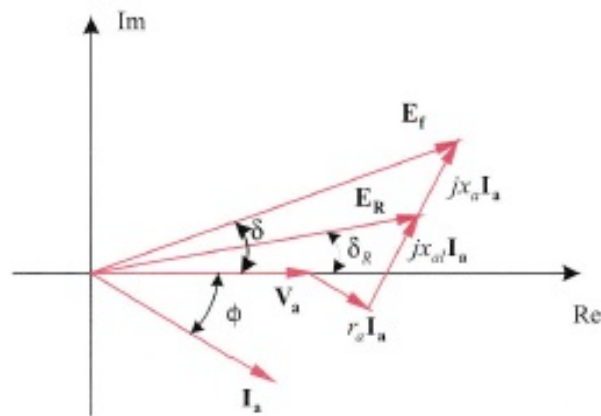
Επίσης σημειώνεται ότι : $x_s = x_a + x_{af}$ και $E_R = E_f + E_A$ (1.15)

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ανά φάση τις τριφασικής σύγχρονης μηχανής ομοιόμορφου διακένου για λειτουργία γεννήτριας και κινητήρα, καθώς επίσης και τα αντίστοιχα διανυσματικά διαγράμματα, δείχνονται στα ακόλουθα σχήματα.

Να διευκρινίσουμε ότι η σύγχρονη επαγωγική αντίδραση, λαμβάνει υπόψη της τη συνολική μαγνητική ροή μαγνήτισης και σκέδασης που οφείλεται στη συνδυασμένη δράση των ρευμάτων και των τριών φάσεων.



(α)



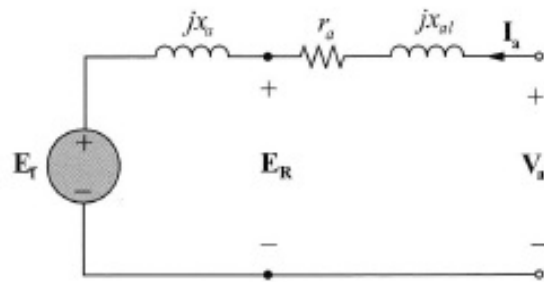
(β)

Σχήμα 1.16 : Τριφασική σύγχρονη γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα.
 (α) Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης
 (β) Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων

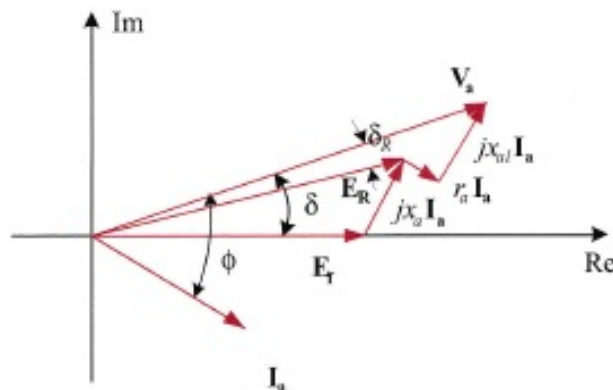
Στην προσπάθειά μας να διερευνήσουμε την αντίδραση του τυλίγματος τυμπάνου συμπεραίνουμε ότι κατέχει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία της σύγχρονης μηχανής. Για λειτουργία γεννήτριας, τα παραστατικά διανύσματα χρόνου της μαγνητικής ροής της αντίδρασης τυμπάνου και του ρεύματος τυμπάνου είναι σε φάση, ενώ στην περίπτωση του κινητήρα εμφανίζουν διαφορά φάσης 180 ηλεκτρικών μοιρών. Όπως θα δείξουμε στη συνέχεια, η επίδραση της αντίδρασης τυμπάνου σχετίζεται άμεσα με το συντελεστή ισχύος με τον οποίο λειτουργεί η μηχανή.

Για λόγους απλοποίησης θα αμελήσουμε την πτώση τάσης στην ωμική αντίσταση και στην αντίδραση σκέδασης του τυμπάνου. Δηλαδή θα θεωρήσουμε ότι

$$V_a = E_R \quad (1.16)$$



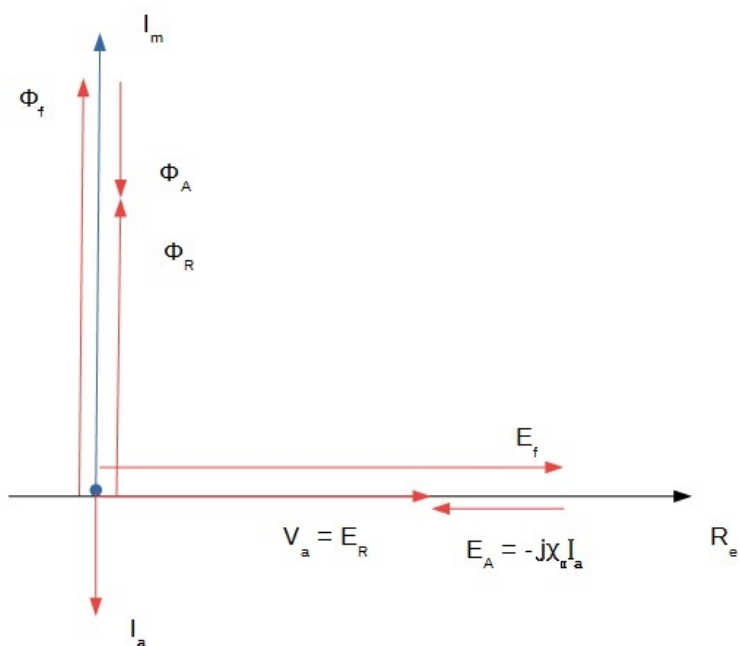
(α)



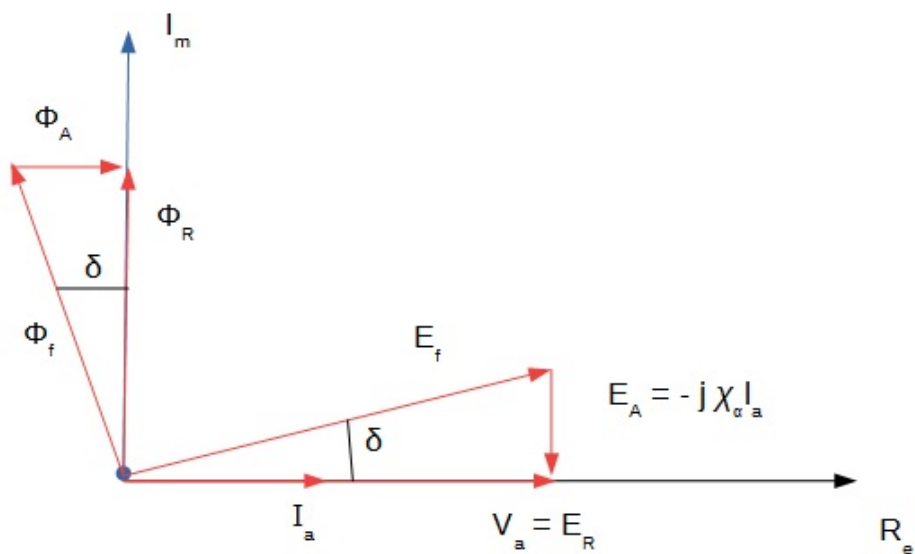
(β)

Σχήμα 1.17 : Τριφασικός σύγχρονος κινητήρας κυλινδρικού δρομέα.
 (α) Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης
 (β) Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων

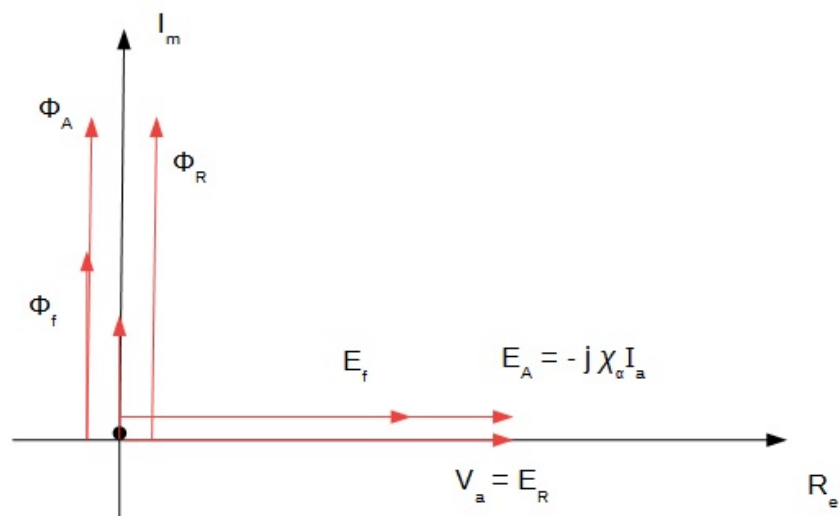
Παρακάτω θα δείξουμε τα παραστατικά διανύσματα των επιμέρους μαγνητικών ροών ανά πόλο και των αντίστοιχων επαγόμενων Η.Ε.Δ, για λειτουργία γεννήτριας και για τις τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις φόρτισης σε σχέση με το συντελεστή ισχύος (μηδενικό μεταφορείας, μοναδιαίο και μηδενικό προπορείας).



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 1.18 : Διανυσματικά διαγράμματα μαγνητικών ροών και Η.Ε.Δ για λειτουργία γεννήτριας.

(α) μηδενικός Σ.Ι μεταπορείας (επαγωγική φόρτιση),

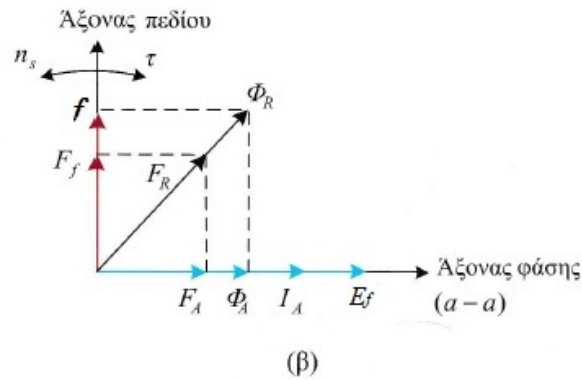
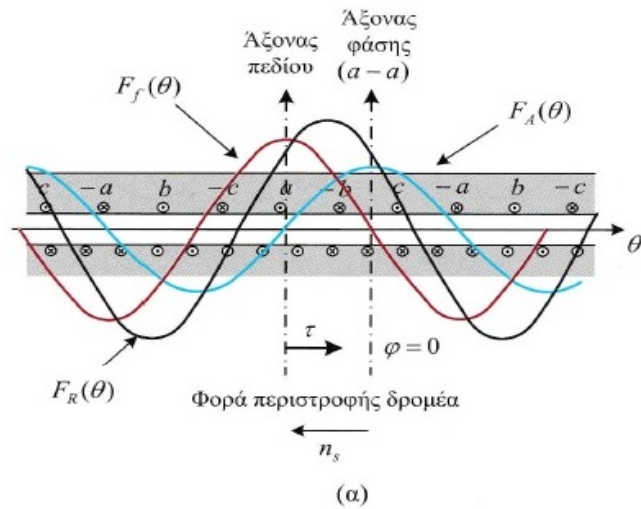
(β) μοναδιαίος Σ.Ι. (ωμική φόρτιση),

(γ) μηδενικός Σ.Ι. προπορείας (χωρητική φόρτιση)

1.5 Κύματα Μ.Ε.Δ πυκνότητας μαγνητικής ροής και τάσης.

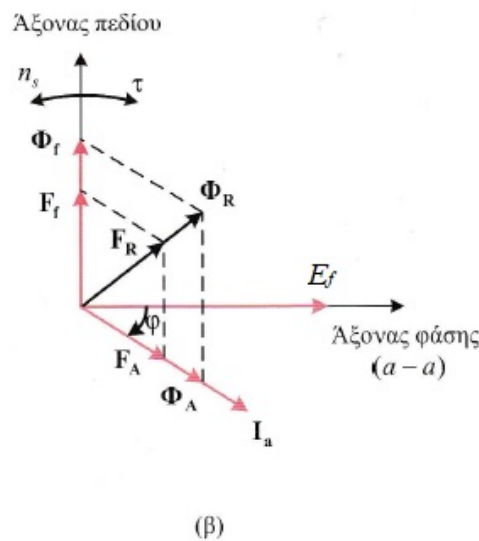
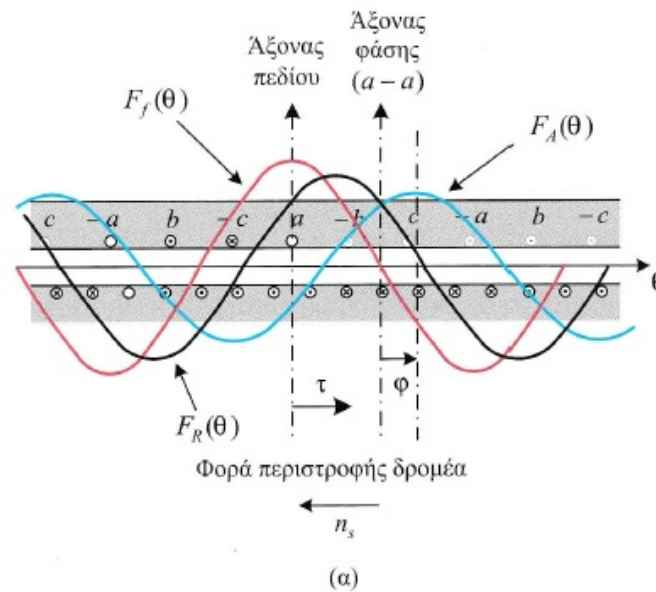
Για λειτουργία μιας μηχανής σαν γεννήτρια, η επαγόμενη τάση διέγερσης και το ρεύμα τυμπάνου στη φάση, έχουν την ίδια θετική κατεύθυνση. Δηλαδή στην περίπτωση ωμικού συντελεστή ισχύος, όπου η φασική απόκλιση μεταξύ της τάσης διέγερσης και του ρεύματος τυμπάνου σε κάθε φάση είναι μηδενική, το ρεύμα τυμπάνου εμφανίζει τη μέγιστη τιμή του την ίδια χρονική στιγμή που και η επαγόμενη τάση εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της. Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, το κύμα Μ.Ε.Δ του δρομέα προηγείται χρονικά της τάσης διέγερσης κατά 90 ηλεκτρικές μοίρες.

Οι χωρικές κατανομές των θεμελιωδών συνιστωσών των Μ.Ε.Δ και τα αντίστοιχα παραστατικά διανύσματα χώρου και χρόνου για ωμική φόρτιση δείχνονται στα παρακάτω σχήματα.



Εικόνα 1.19: Σύγχρονη γεννήτρια – ωμική φόρτιση. (α) Θεμελιώδεις συνιστώσες κυμάτων χώρου Μ.Ε.Δ (β) Παραστατικά διανύσματα χώρου και χρόνου

Στην περίπτωση επαγωγικού συντελεστή ισχύος, το ρεύμα τυμπάνου καθυστερεί ως προς την τάση διέγερσης κατά μια γωνία φ . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το κύμα Μ.Ε.Δ του δρομέα προηγείται από το αντίστοιχο κύμα της Μ.Ε.Δ του τυλίγματος τυμπάνου κατά γωνία $90+\varphi$ ηλεκτρικές μοίρες. Ας δούμε τα αντίστοιχα σχήματα.



Σχήμα 1.20 : Σύγχρονη γεννήτρια – επαγωγική φόρτιση. (α) Θεμελιώδεις συνιστώσες κυμάτων χώρου Μ.Ε.Δ (β) Παραστατικά διανύσματα χώρου και χρόνου

Παρατηρούμε λοιπόν ότι, για λειτουργία γεννήτριας και ανεξάρτητα από τις συνθήκες φόρτισης, το μαγνητικό πεδίο του δρομέα προηγείται από το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος τυμπάνου. Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή και στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις αντιτίθεται στην κίνηση, με αποτέλεσμα την ανάγκη απορρόφησης μηχανικής ισχύος για τη συντήρηση της κίνησης.

Συμπερασματικά αναφέρουμε ότι η τάση διέγερσης που αντιστοιχεί σε ωμική φόρτιση της σύγχρονης μηχανής (με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος), χαρακτηρίζεται σαν **κανονική διέγερση** (normal-excitation) δηλαδή όταν το **φορτίο είναι ωμικό**.

Στις περιπτώσεις εκείνες που η τάση διέγερσης έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη της κανονικής διέγερσης, η μηχανή λέγεται ότι λειτουργεί σε **υπερδιέγερση** (over-excitation) δηλαδή με **φορτίο επαγωγικό**.

Εντελώς ανάλογα όταν η τάση διέγερσης έχει μικρότερη τιμή από εκείνη που αντιστοιχεί στην κανονική διέγερση, η μηχανή λειτουργεί σε **υποδιέγερση** (under-excitation) λειτουργώντας με **φορτίο χωρητικό**.

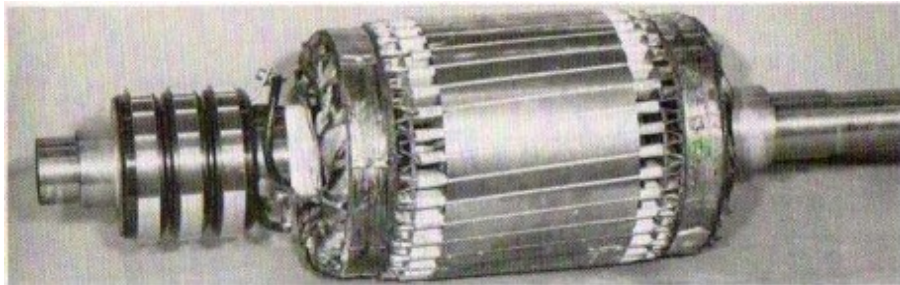
Οι σύγχρονες γεννήτριες διακρίνονται και σε δύο ακόμα σημαντικές κατηγορίες που είναι οι εξής:

Σύγχρονες γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (Wound Rotor Synchronous Generator-WSRG)

Σύγχρονες γεννήτριες μονίμου μαγνήτη (Permanent Magnet Synchronous Generator-PMSG)

1.6 Σύγχρονες γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα

Το τύλιγμα των γεννητριών δακτυλιοφόρου δρομέα, είναι και αυτό ένα διανεμημένο τριφασικό τύλιγμα, χωρίς σημαντικές διαφορές σε σύγκριση με μια επαγωγική γεννήτρια. Σαν δομή ο εν λόγω δρομέας μπορεί να αποτελείται από έκτυπους πόλους, είτε από πόλους κυλινδρικής μορφής με κατανεμημένο τύλιγμα. Πάνω στον δρομέα είναι τοποθετημένο κατάλληλο σύστημα που τροφοδοτεί το τύλιγμα με συνεχές ρεύμα ώστε να αναπτύσσεται το απαιτούμενο πεδίο διέγερσης που στρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα. Παρέχεται λοιπόν η δυνατότητα ελέγχου της διέγερσης και κατ'επέκταση της ροής προκειμένου να μετριάζονται οι απώλειες ανάλογα με τα επίπεδα ισχύος.

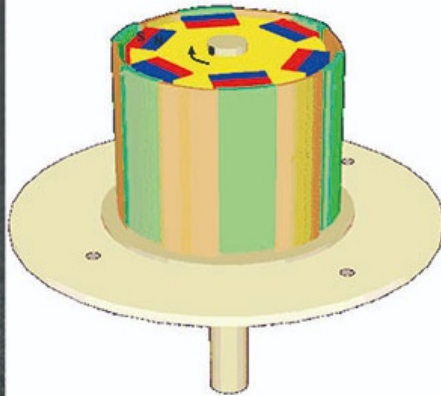


Σχήμα 1.22 : Δείγμα δρομέα σύγχρονης γεννήτριας με δακτυλίους ολίσθησης.

Κεφάλαιο 2

Σύγχρονες Γεννήτριες Μόνιμου Μαγνήτη

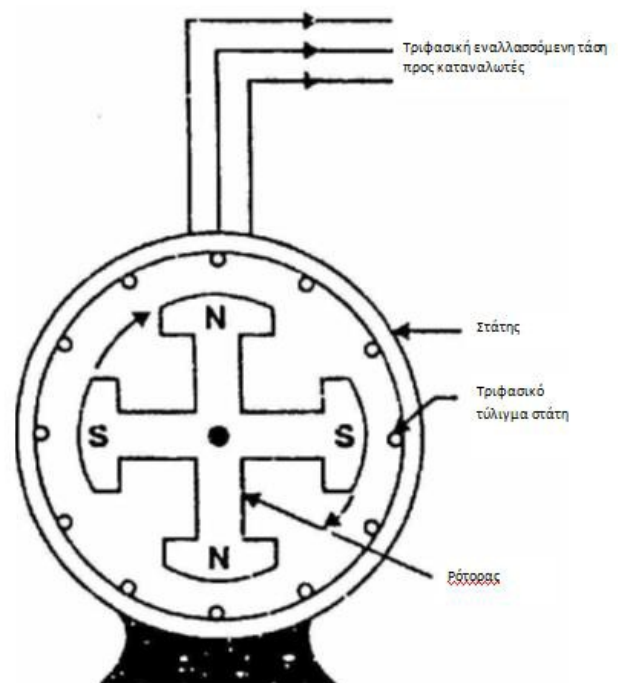
(Permanent Magnet Synchronous Generator – PMSG)



2.1 Αρχή Λειτουργίας Σύγχρονων Γεννητριών Μόνιμου Μαγνήτη

Αρχικά με τον όρο ΣΓΜΜ εννοούμε γεννήτριες ακτινικού ή αξονικού τύπου, οι οποίες τροφοδοτούνται από έναν ημιτονοειδή παλμό και ανήκουν στην κατηγορία των αυτοδιεγειρόμενων μηχανών. Ο ρόλος αυτών των τύπων γεννητριών δεν διαφέρει σε κάτι από των άλλων γεννητριών, αφού εδώ ο σκοπός χρησιμοποίησής τους είναι η μετατροπή μηχανικής/κινητικής ενέργειας που δέχεται σαν είσοδο, σε ηλεκτρική με την τάση που παράγει στην έξοδο. Η τάση εξόδου αυτών των γεννητριών καθώς και η συχνότητά τους είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ρότορα. Όταν δουλεύει σε εφαρμογές όπου η ταχύτητα παραμένει σταθερή και έχοντας σχεδιαστεί σωστά η γεννήτρια, μπορεί να αυτοδιατηρήσει την τάση μόνη της.

Αυτό συνεπάγεται με ότι δεν χρειάζεται επιπλέον παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την διέγερση της μηχανής, οπότε εξαλείφονται και οι απώλειες στο τύλιγμα διέγερσης. Συνεπώς εμφανίζει υψηλό βαθμό απόδοσης. Επιπλέον, η ύπαρξη μαγνητών συνοδεύεται από υψηλή πυκνότητα ροής με αποτέλεσμα να προκύπτει μικρότερο βάρος και όγκος για μια μηχανή δεδομένης ισχύος. Ο στάτης αυτής της κατηγορίας γεννητριών αποτελείται από συμβατικό τριφασικό τύλιγμα. Ο δρομέας εν συνεχεία αποτελείται από ένα σύστημα πόλων μαγνήτη, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε κυλινδρικοί, είτε έκτυποι.



Στην πραγματικότητα όμως οι περισσότερες εφαρμογές που εκτελεί έχουν αυξομειώσεις στην ταχύτητα, οπότε σε αυτή την περίπτωση η συνεχής τάση εξόδου βρίσκεται σε αντιπαράθεση με το φορτίο, ανεξαρτήτως αν η τροφοδοσία είναι DC ή AC και χρειάζεται κοντινός έλεγχος.

Μια ευέλικτη φορητή γεννήτρια ορίζει χρήση μεταβλητής ταχύτητας για την εξοικονόμηση καυσίμου και η ΣΓΜΜ με πλήρη ισχύ και χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ελέγχου, μπορεί να παρέχει υψηλή ροπή, χαμηλές απώλειες και πολλαπλές εξόδους (DC και AC σε 60/ 50 Hz ή 400 Hz, μονοφασική ή τρεις φάσεις).

Συνεπώς έχοντας υψηλή αποδοτικότητα με πλήρη αξιοποίηση της ισχύος χωρίς απώλειες, αντισταθμίζετε το μεγάλο αρχικό κόστος αγοράς που μπορεί να έχει η ΣΓΜΜ.

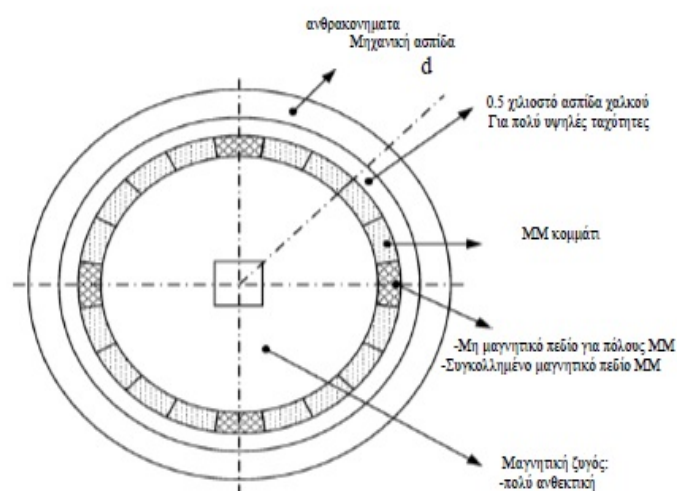
Η χρήση γεννητριών μόνιμου μαγνήτη αυξάνεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται σταδιακά στις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας. Πραγματοποιούνται πολλές προσπάθειες προώθησής της χρήσης αυτής της κατηγορίας γεννητριών, λόγω της ιδιότητάς του να αυτό-διεγείρονται, η οποία τους επιτρέπει να λειτουργούν με υψηλό συντελεστή ισχύος και υψηλή απόδοση.

Ωστόσο, η ιδέα κατασκευής μιας μηχανής με μόνιμους μαγνήτες δεν προέκυψε τα τελευταία χρόνια.

Οι πρώτες εφαρμογές μηχανών μόνιμου μαγνήτη μπορούν να χρονολογηθούν από τα μέσα του 19ου αιώνα. Όμως, η χρήση χαμηλής ποιότητας μαγνητικών υλικών αλλά και η ύπαρξη τεχνολογιών ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης τις κατέστησε μη εμπορικά βιώσιμες και αποθάρρυνε την ανάπτυξη και χρήση τους για πολλά χρόνια.

Η ανάπτυξη μόνιμων μαγνητών υψηλής ενέργειας αλλά και η ραγδαία πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος και ελέγχου, κατέστησε τις μηχανές μόνιμου μαγνήτη ως μια ελκυστικότερη εναλλακτική από τις μηχανές με ηλεκτρομαγνητική διέγερση και σε πολλές εφαρμογές τις αντικατέστησε εξ ολοκλήρου.

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες έχουν γίνει πλέον μια ώριμη τεχνολογία με παγκόσμιο εύρος αγοράς. Μια τυπική απεικόνιση ενός κυλινδρικού ρότορα φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.

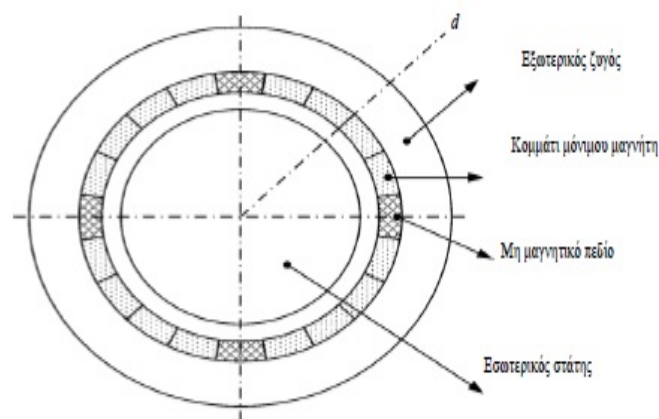


Σχήμα 2.1α: Τετραπολική επιφάνεια μόνιμου μαγνήτη με εσωτερικό ρότορα και με ασπίδα άνθρακα

κατά των φυγοκεντρικών δυνάμεων.

Ο d άξονας εμπίπτει κατά μήκος στον άξονα του πεδίου με το διάκενο. Ο ρότορας μπορεί να είναι εσωτερικός (εικόνα 2.1) ή εξωτερικός (εικόνα 2.2) για τον στάτη, με κυλινδρικές ρυθμίσεις παραμέτρων.

Εσωτερικοί ρότορες απαιτούν μια μηχανική ασπίδα άνθρακα κατά των φυγοκεντρικών δυνάμεων, για μεγάλης ταχύτητας εφαρμογές (πάνω από 50 έως 80 m/sec περιφερειακή ταχύτητα). Αντίθετα, οι εξωτερικοί ρότορες δεν χρειάζονται μια τέτοια διατήρηση, γιατί έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να αντέχουν υψηλές φυγόκεντρες δυνάμεις.



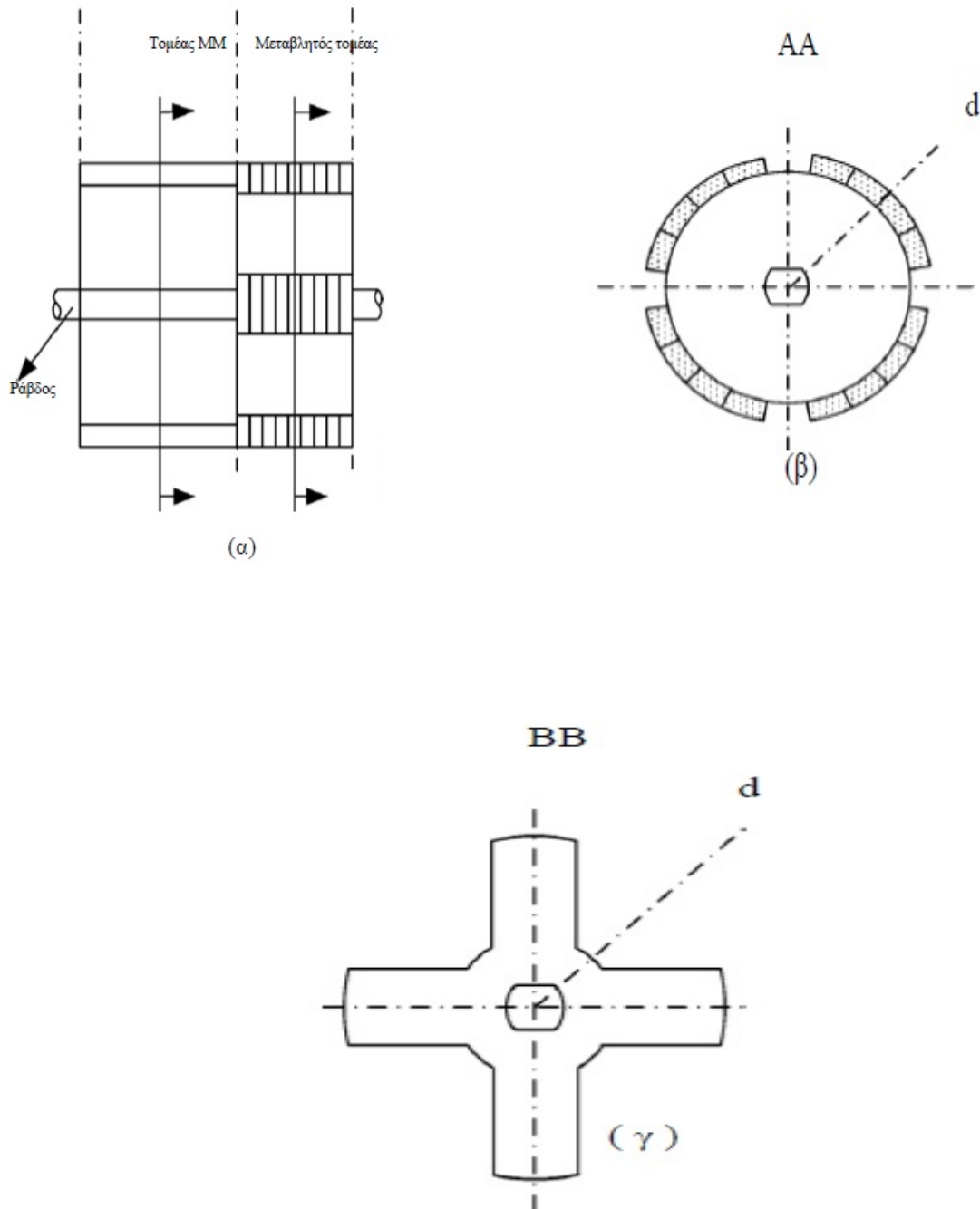
Σχήμα 2.1β: Εξωτερικός τετραπολικός κυλινδρικός ρότορας

Στις μεγάλων ταχυτήτων ΣΓΜΜ με κυλινδρικούς ρότορες, οι οποίες είναι χαρακτηριζόμενες από μία περιοχή ταχυτήτων ευρείας σταθερής δύναμης ($\omega_{\max} / \omega_b > 4$), μια υβριδική επιφάνεια στους πόλους του μόνιμου μαγνήτη καθώς και ένας ποικιλόμορφος ρότορας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί (σχ.2.2α -2.2γ).

Η επιφάνεια του ρότορα στις γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη έχει αποδειχθεί ικανή για να αντέχει ελαφρά περισσότερη δύναμη σε σχέση με την εξωτερική του διάμετρο, μήκος και το βάρος.

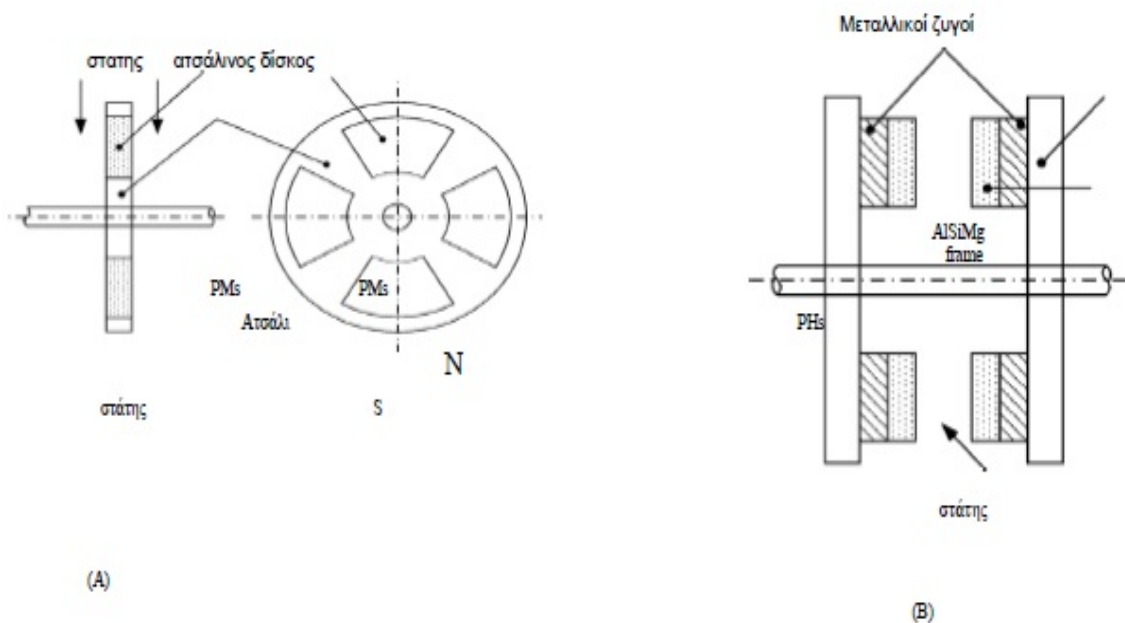
Για τις γεννήτριες, που έχουν μικρές επαγωγές ($I_d = I_q$) στο ανά μονάδα (P.U.) θα πρέπει να έχουν χαμηλότερη τάσης ρύθμισης. Ωστόσο, ο εσωτερικός πόλος μπορεί να παράγει μηδέν τάσης ρύθμισης σε ορισμένα φορτία το οποία καθορίζονται από τη σχεδίαση. Στις αυτορρυθμιζόμενες ΣΓΜΜ, που οδηγούνται με σταθερή ταχύτητα, μια σχεδίαση τέτοιου είδους μπορεί να αποδειχθεί πρακτική.

Στις υπερβολικά υψηλών στροφών ΣΓΜΜ με θεμελιώδη συχνότητα πάνω από 1 kHz, οι απώλειες στον πυρήνα και οι απώλειες ρότορα είναι η κύρια ανησυχία. Για τη μείωση των απωλειών του ρότορα, οι επιφανειακοί ρότορες μόνιμου μαγνήτη, είναι η καλύτερη επιλογή.



Σχήμα 2.2: Τετραπολικός επιφανειακός κυλινδρικός ρότορας μόνιμου μαγνήτη
 α) με επιφανειακό πόλο
 β) A-A διπλού τεμέα μόνιμου μαγνήτη
 γ) B-B διπλού μεταβλητού τομέα

Στις εν λόγω εφαρμογές, ασπίδες χαλκού γύρω από τους πόλους των μόνιμων μαγνητών χρησιμοποιούνται για τη μείωση των απωλειών και επιπλέον στερεός σίδηρος μέσα στο ρότορα, είναι μια αποδεκτή λύση. Αυτό, με τη σειρά του οδηγεί σε καλύτερη μηχανική ακεραιότητα του ρότορα. Σχήμα τύπου-δίσκος για τους ροτορες μόνιμων μαγνητών προτάθηκε επίσης ώστε να αυξηθεί ο όγκος/ροπή σε σχέδια αξονικής επιμήκυνσης. Ένας τυπικός ρότορας έχει ενσωματωμένο ένα ανοξείδωτο δίσκο, καθώς και ένας μαγνητικός δίσκος υπάρχει πίσω από το ρότορα αυτό, μιας και μειώνει τις αρμονικές απώλειες (σχήμα 2.3α – 2.3β)



Σχήμα 2.3: Τετραπολικός ατσάλινος ρότορας μόνιμου μαγνήτη σχήμα-δίσκου:
 α) με εσωτερικό ρότορα β) με εξωτερικό διπλής όψεως ρότορα

Σαν συνέχεια της αναφοράς μας στις ΣΓΜΜ σκόπιμο είναι να αναφέρουμε ότι οι σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες, οι οποίες προκύπτουν με βάση:

Τη μορφή της επαγόμενης τάσης στο στάτη.

Την κατανομή του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής.

Την τοποθέτηση των μαγνητών στον δρομέα.

Σχετικά με την κατανομή του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τρεις κατηγορίες ακόμα:

Τις σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη **ακτινικής ροής** των οποίων χαρακτηριστικό είναι ότι ανάμεσα στον δρομέα και στον στάτη οι δυναμικές γραμμές είναι ακτινικές. Αυτή η κατηγορία γεννητριών ανήκει στις μηχανές άμεσης οδήγησης, μια τεχνική κατασκευής μηχανών για την οποία θα αναφερθούμε και στην συνέχεια.

Οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη **αξονικής ροής** με σχήμα δισκοειδές των οποίων οι αναπτυσσόμενες ροπές είναι χαμηλότερου βαθμού με πιο κοντό άξονα από αυτών αξονικής ροής. Όπως παραπέμπει και η ονομασία των μηχανών αυτών το τύλιγμα και το μαγνητικό έχουν μια πορεία αξονικής διεύθυνσης. Το τύλιγμα τους είναι πιο απλό και μικρότερο σε όγκο και γιατί κυρίως τον λόγο παρουσιάζουν μεγάλες ελκτικές δυνάμεις στον δίσκο του του στάτη και του δρομέα με αποτέλεσμα να στερείται ισορροπίας. Σε γενικές γραμμές λοιπόν είναι μηχανές για χρήση χαμηλών ταχυτήτων και έτσι είναι εξοπλισμένες με μεγάλο αριθμό πόλων.

Επίσης, οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη **εγκάρσιας ροής**, αναπτύσσουν μαγνητική ροή με διεύθυνση κάθετη στην περιστροφή του δρομέα. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των μηχανών είναι ότι κατασκευαστικά υπάρχει χώρος για μετατροπή των τυλιγμάτων γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τις διάφορες εφαρμογές που προορίζεται αυτό το είδος. Αποτελούν μηχανές με αρκετά υψηλή ροπή, χαμηλές απώλειες χαλκού και συμπαγή κατασκευή.

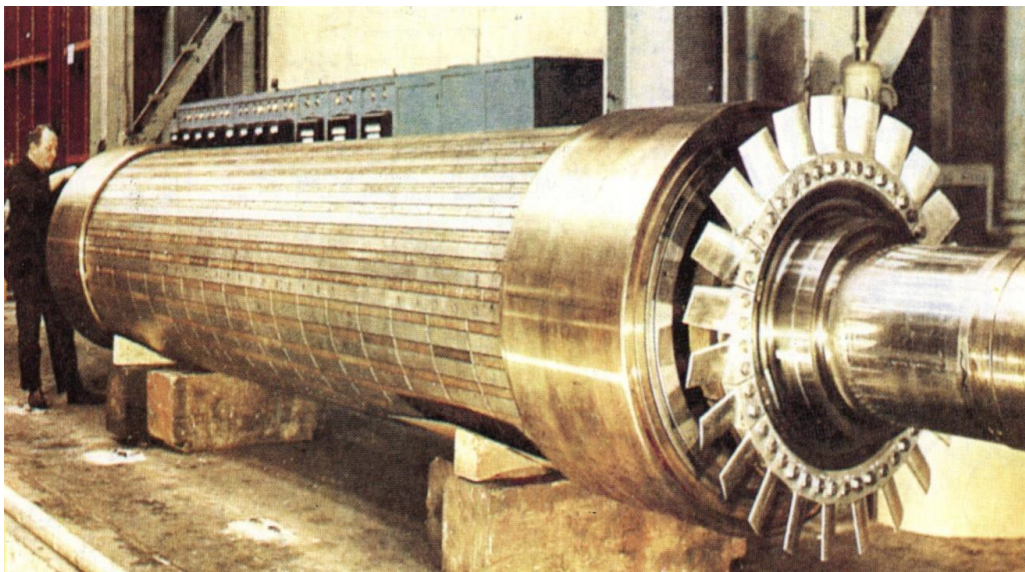
Συνεχίζοντας θα αναφέρουμε δύο τύπους γεννητριών ακόμα με βάση την τοποθέτηση των μαγνητών στον δρομέα.

- **Γεννήτριες εσωτερικού μαγνήτη**
- **Γεννήτριες έκτυπων πόλων**

2.1.1 Γεννήτριες εσωτερικού μαγνήτη

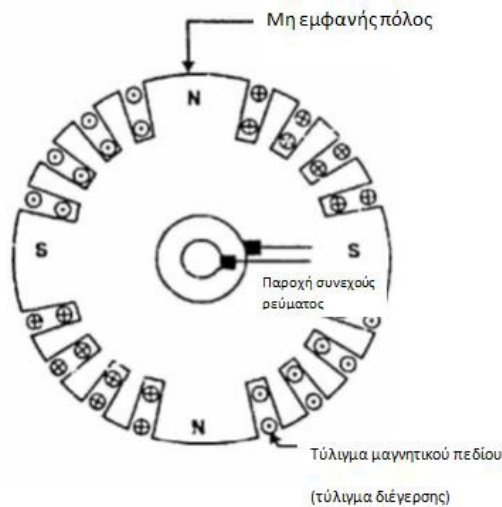
Οι μαγνήτες αυτού του τύπου γεννητριών βρίσκονται μέσα στον δρομέα. Το μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται δεν παρουσιάζει ομογένεια, πράγμα που εντοπίζεται στην μικρότερη επαγωγή του d-άξονα σε σύγκριση με αυτή του q-άξονα ($L_d \neq L_q$).

Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή και αυτό οφείλεται στην λειτουργία του εσωτερικού δρομέα, ο οποίος παρέχει ευκολία στην απομάκρυνση της θερμότητας με την τοποθέτηση των τυλιγμάτων στο εξωτερικό και τον περιορισμό του κινητού μέρους στο εσωτερικό της μηχανής.



*Σχήμα 2.4:
Σύγχρονη
γεννήτρια
κυλινδρικού
ρότορα με
εσωτερικούς
μαγνήτες*

Το τύλιγμα του μαγνητικού πεδίου ενσωματώνεται σε αυτές τις αυλακώσεις και συνδέεται σε σειρά με τους δακτυλίους ολίσθησης μέσω των οποίων ενεργοποιείται από την D.C. διεγέρτρια. Οι περιοχές που αποτελούν τους πόλους αφήνονται συνήθως χωρίς αυλακώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω. Είναι σαφές ότι οι πόλοι που σχηματίζονται είναι μη-εμφανείς δηλαδή, δεν προεξέχουν έξω από την επιφάνεια του ρότορα.



Σχήμα 2.5: Δείγμα διάταξης εσωτερικών πόλων στον ρότορα.

Οι γεννήτριες υψηλής ταχύτητας (1500- 3000 rpm) οδηγούνται από τουρμπίνες ατμού και χρησιμοποιούν ρότορες κυλινδρικούς (μη εμφανών πόλων) και αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

(α) Αυτός ο τύπος κατασκευής έχει μηχανική αντοχή και δίνει αθόρυβη λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες.

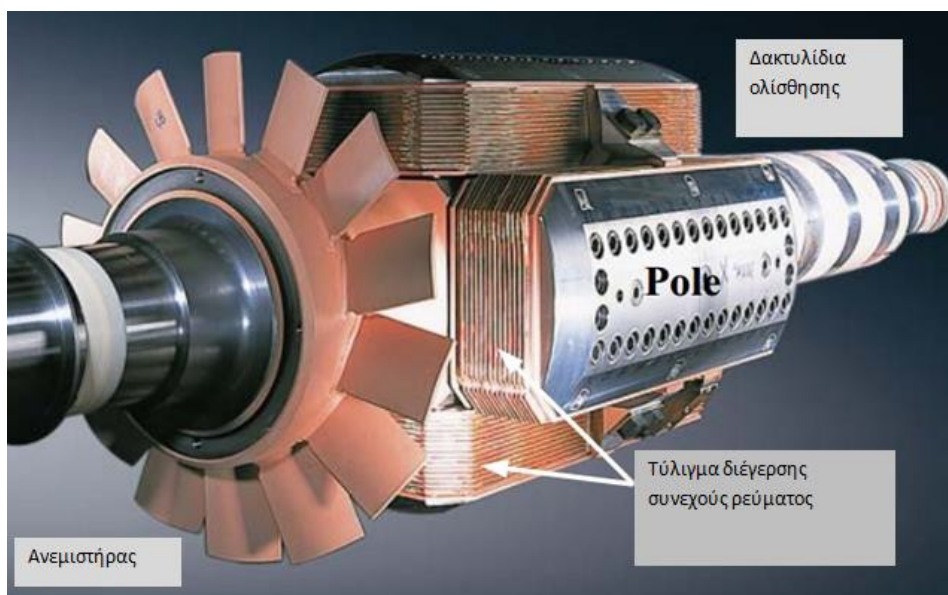
(β) Η κατανομή μαγνητικής ροής γύρω από την περιφέρεια είναι σχεδόν ένα ημιτονοειδές κύμα και συνεπώς λαμβάνεται μια Η.Ε.Δ. καλύτερης κυματομορφής, απ' ό,τι στην περίπτωση του ρότορα με εμφανείς πόλους.

Δεδομένου ότι οι τουρμπίνες ατμού λειτουργούν σε υψηλή ταχύτητα και απαιτείται συχνότητα 50-60 Hz, θα χρειάζονται ένα μικρό αριθμό πόλων στον ρότορα των γεννητριών υψηλής ταχύτητας (ονομάζονται στροβιλοεναλλακτήρες).

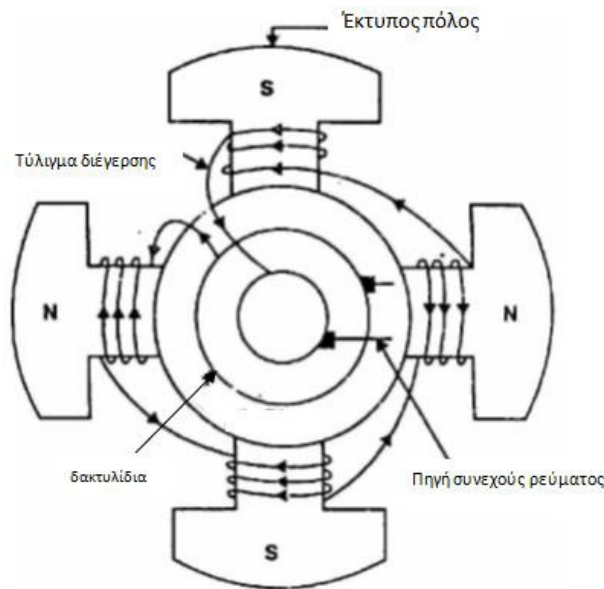
2.1.2 Σύγχρονες Γεννήτριες Έκτυπων πόλων

Σε αυτή την κατηγορία οι μόνιμοι μαγνήτες τοποθετούνται στην επιφάνεια του δρομέα (έκτυπων πόλων). Σε αυτόν τον τύπο, οι προεξέχοντες πόλοι τοποθετούνται σε ένα μεγάλο κυκλικό χαλύβδινο πλαίσιο το οποίο είναι στερεωμένο στην άτρακτο του εναλλακτήρα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Τα επιμέρους τυλίγματα των πόλων συνδέονται σε σειρά κατά τέτοιο τρόπο ώστε όταν το ολικό τύλιγμα του μαγνητικού πεδίου ενεργοποιείται από την D.C. διεγέρτρια, οι διπλανοί πόλοι να έχουν αντίθετη πολικότητα.



Σχήμα 2.6: Σύγχρονη γεννήτρια έκτυπων πόλων

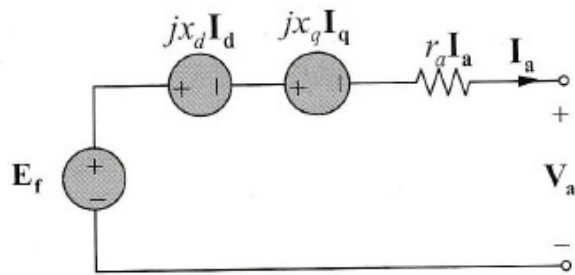


Σχήμα 2.7: Εσωτερική διάταξη γεννητριών έκτυπων πόλων

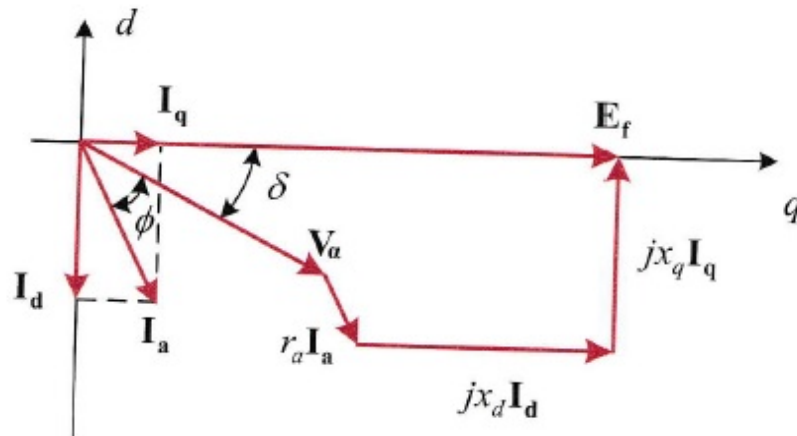
Εναλλακτήρες χαμηλής και μέσης ταχύτητας (120-400 rpm), όπως αυτοί που οδηγούνται από κινητήρες ντίζελ ή υδροστροβίλους, έχουν κυρίως δρομείς έκτυπων πόλων, λόγω των παρακάτω λόγων:

- (α) Οι ρότορες με προεξέχοντες πόλους θα προκαλούσαν, αν οδηγούνται σε υψηλή ταχύτητα, υπερβολική απώλεια μηχανικής ισχύος λόγω αντίστασης του αέρα και θα είχαν την τάση να παράγουν θόρυβο.
- (β) Οι ρότορες έκτυπων πόλων δεν μπορούν να καταστούν αρκετά ισχυροί για να αντέξουν τις μηχανικές καταπονήσεις στις οποίες ενδέχεται να υποβληθούν σε υψηλότερες ταχύτητες.

Δεδομένου ότι μία συχνότητα 50- 60 Hz απαιτείται, θα πρέπει να χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό πόλων και να έχουν αργή ταχύτητα. Ρότορες χαμηλής ταχύτητας πάντα διαθέτει μια μεγάλη διάμετρο ώστε να παρέχουν τον αναγκαίο χώρο για την τοποθέτηση των πόλων. Κατά συνέπεια, οι δρομείς με κατανεμημένους πόλους έχουν μεγάλη διάμετρο και μικρά αξονικά μεγέθη.



Σχήμα 2.8 : Μονοφασικό Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης σύγχρονης γεννήτριας με έκτυπους πόλους



Σχήμα 2.9: Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων μηχανής με έκτυπους πόλους, για λειτουργία γεννήτριας

Συνήθως για λειτουργία γεννήτριας, είναι γνωστή η τάση ακροδεκτών και από τις συνθήκες φόρτισης, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος του φορτίου. Αυτό που δεν είναι γνωστό για την παραπέρα ανάλυση της μηχανής, είναι η γωνία ροπής ή γωνία φορτίου δ .

Λαμβάνοντας υπόψη την ωμική αντίσταση του τυλίγματος τυμπάνου, στην περίπτωση που η μηχανή λειτουργεί σαν γεννήτρια, θα ισχύει ότι

$$V_a = E_f + E_d + E_q - r_a I_a = E_f - j x_d I_d - j x_q I_q - r_a I_a \quad (2.1)$$

ή ισοδύναμα

$$E_f = V_a + r_a I_a + j x_d I_d + j x_q I_q \quad (2.2)$$

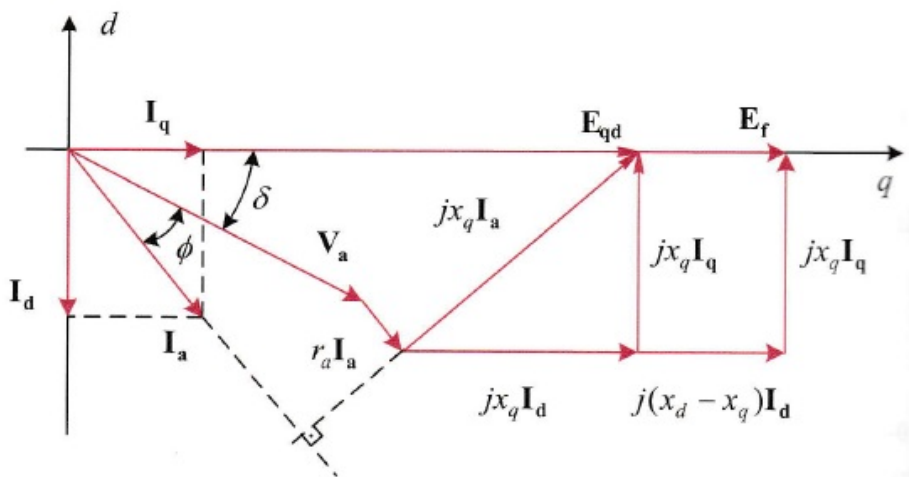
Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω σχέση (2.2) μπορούμε να πούμε ότι ισχύει

$$E_f = V_a + r_a I_a + j (x_d - x_q) I_d + j x_q I_d + j x_q I_q = E_{qd} + j (x_d - x_q) I_d \quad (2.3)$$

όπου:
$$E_{qd} = V_a + r_a I_a + j x_q I_q \quad (2.4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, το διάνυσμα E_{qd} είναι συγγραμικό με την τάση διέγερσης E_f , από την (2.3) προκύπτει το συμπέρασμα ότι και το διάνυσμα E_{qd} θα βρίσκεται επίσης στον οριζόντιο άξονα, δηλαδή θα είναι συμφασικό με την τάση διέγερσης.

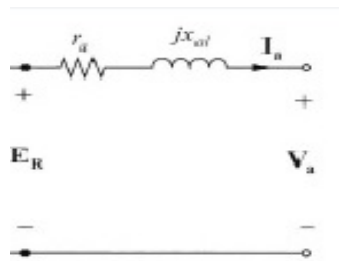
Έχοντας γνωστή την τάση ακροδεκτών του τυλίγματος τυμπάνου της γεννήτριας και τα χαρακτηριστικά του φορτίου, η (2.4) μας παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της γωνίας φορτίου δ από το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 2.10: Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων – ρευμάτων για τον υπολογισμό της E_{qd}

Για λειτουργία της γεννήτριας με σταθερό ρεύμα διέγερσης, αλλά με αργά μεταβαλλόμενο φορτίο (σε μέγεθος ή σε συντελεστή ισχύος), το μέγεθος της τάσης διέγερσης E_f παραμένει σταθερό, ενώ το μέγεθος της E_{qd} σύμφωνα με την (2.4) μεταβάλλεται. Ανεξάρτητα από τη μεταβολή της E_{qd} , η φασική απόκλιση των E_f και E_{qd} , εξακολουθεί να παραμένει μηδενική.

Η φάση των διανυσμάτων E_f και E_{qd} , είναι ενδεικτική της θέσης του εγκάρσιου άξονα και κατ'επέκταση της μηχανικής θέσης του δρομέα. Στις περιπτώσεις διερεύνησης της στατικής ευστάθειας σύγχρονης γεννήτριας με έκτυπους πόλους, εάν αμελήσουμε φαινόμενα κορεσμού, η σύγχρονη μηχανή μπορεί να παρασταθεί σύμφωνα με την (2.4), με μια ρυθμιζόμενη Η.Ε.Δ E_{qd} σε σειρά με την σύγχρονη αντίδραση του κατακόρυφου άξονα και την ωμική αντίσταση του τυλίγματος τυμπάνου.



Σχήμα 2.11: Δείγμα κυκλώματος μηχανής με έκτυπους πόλους

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση αυτή η παράσταση της μηχανής με έκτυπους πόλους, είναι όμοια με την αντίστοιχη της μηχανής κυλινδρικού δρομέα. Βέβαια για λόγους που προαναφέραμε, η χρήση του μοντέλου αυτού απαιτεί την από καιρό ρύθμιση της τιμής της E_{qd} , ώστε σύμφωνα με το Σχ.2.11 να ισχύει η σχέση

$$E_{qd} = E_f - (x_d - x_q) I_d \quad (2.4.1)$$

Τέλος, στην περίπτωση όπου

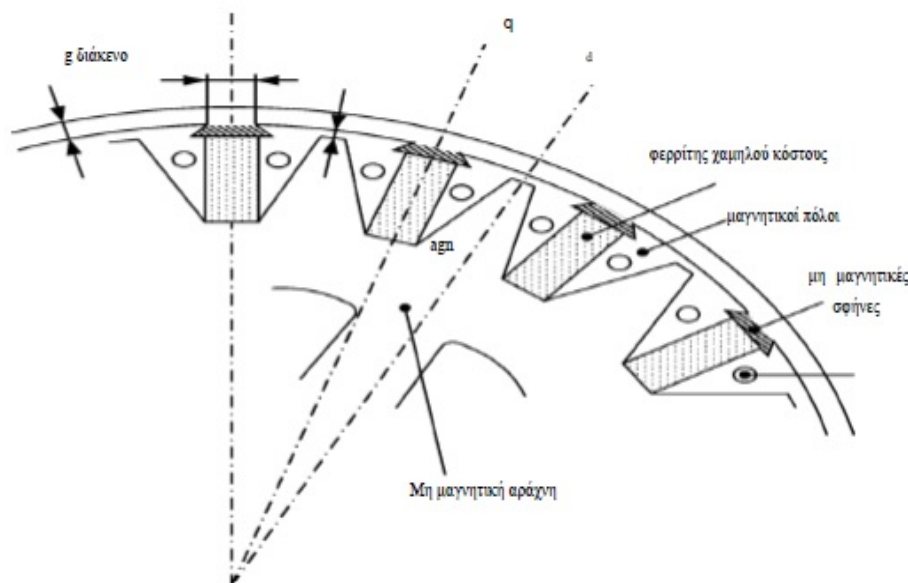
$$x_d \approx x_q$$

(μηχανή κυλινδρικού δρομέα), τότε σύμφωνα με την (2.4.1) θα ισχύει $E_{qd} = E_f$.

2.2 Δομή Σύγχρονων Γεννητριών Μόνιμου Μαγνήτη

2.2.1 Σχεδιασμός Πόλων και Ρότορα

Κατασκευάζοντας μια σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη, ο κατασκευαστής καλείται να επιλέξει κατάλληλο μαγνήτη. Η επιλογή αυτή του μόνιμου μαγνήτη πρέπει να κατέχει επαρκή υπολειπόμενη μαγνητική ροή καθώς και κατάλληλης έντασης μαγνητικό πεδίο. Η επιλογή επίσης εξαρτάται από το χαμηλότερο κόστος αλλά και από την θερμική, μαγνητική και χημική σταθερότητα του μαγνητικού υλικού που είναι διαθέσιμο στο επιθυμητό μέγεθος.



Σχήμα 2.11β: Ρότορας κατασκευασμένος από φερρίτη για χαμηλό κόστος για εφαρμογή σε γεννήτριες χαμηλών ταχυτήτων (αιολική γεννήτρια) αλλά υψηλών ροπών

Ερευνητές παρολαυτά έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα μετά από δοκιμές ότι οι μαγνήτες Νεοδυμίου ικανοποιούν τα περισσότερα από αυτά τα κριτήρια.

Η εσωτερική διάμετρος και το μήκος του τόξου του μαγνήτη, καθορίζει την εξωτερική διάμετρο στο κέλυφος του ρότορα. Επίσης ο αριθμός των πόλων πρέπει να καθορισθεί προηγουμένως για τους μαγνήτες. Χαμηλής ταχύτητας και ισχύος σύγχρονες γεννήτριες συνήθως έχουν 8 με 12 πόλους.

Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής μιας τέτοιας υδραυλικής τούρμπο-γεννήτριας περιορίζεται στις 240 σ.α.λ Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην ύπαρξη ενός σύγχρονου πεδίου περιστροφής συχνότητας 24 hz χρησιμοποιώντας την βασική σχέση :

$$f = \frac{P \times N}{120} \quad (2.5)$$

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση μιας P – πολικής μηχανής, η ηλεκτρική κυκλική συχνότητα των τάσεων και των ρευμάτων του τυλίγματος τυμπάνου και η σύγχρονη μηχανική γωνιακή ταχύτητα του δρομέα, συνδέονται από την σχέση

$$\omega = \frac{P}{2} \omega_s \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad n_s = \frac{120 f}{P} \quad (2.6) - (2.7)$$

με $\omega = 2\pi f$ = ηλεκτρική κυκλική συχνότητα τυλίγματος τυμπάνου (rad/s)

Το μέγεθος της επιφανειακής περιοχής του ρότορα που καλύπτεται από τους Βόρειους και Νότιους πόλους ονομάζεται ‘embrace’ (αγκαλιά). Συνήθως το μέγεθος αυτής της περιοχής κυμαίνεται στο 65% με 80%. Η περιοχή αυτή των πόλων επηρεάζει την κυματοδομή της τάσης την ροπή αλλά και τον παράγοντα απώλειας ροής. Το πλάτος του μετάλλου (ατσάλι) του ρότορα από τους μαγνήτες ως τον άξονα είναι ίσο με το πίσω μέρος σιδήρου του στάτη πράγμα το οποίο εξηγείται στα στοιχεία κατασκευής του στάτη.

Υπέμετρη ροπή γρاناζιών δημιουργείται εξαιτίας της συμμετρικής γεωμετρικής δομής του στάτη και του ρότορα. Υπάρχει τρόπος να μειωθεί αυτή η ροπή κάνοντας τον στάτη ή τον ρότορα ασύμμετρους αλλά πάλι η ροπή αυτή παραμένει σε υπολογίσιμο βαθμό. Κάνοντας πιο μεγάλο το κενό αέρα είναι η επόμενη πιο απλή προσέγγιση. Συνήθως γεννήτριες μέτριας περιστροφής επιτρέπουν περίπου 2 χιλιοστά κενό αέρα.

Άλλες κατασκευαστικές λύσεις όπως στρεβλώνοντας τους μαγνήτες του ρότορα ή τους πόλους του στάτη αποτελούν προσπάθειες μείωσης εναλλαγής του κενού αέρα, διαδικασίες που δεν είναι σκόπιμο να αναφερθούν στα πλαίσια αυτής της εργασίας.



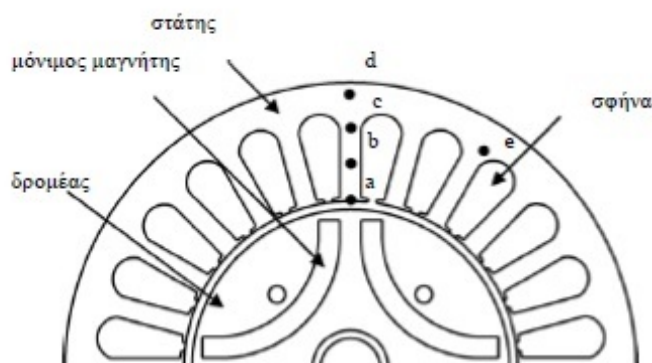
Κάθε σπείρα καταλαμβάνει 10 'δόντια'
Winding Pitch (κούρδισμα) = 10/12

Σχήμα 2.12: Έκταση μαγνητικών πόλων σε σχέση με τις αυλακώσεις

Στο σημειωμένο πεδίο φαίνεται η περιοχή ενός πόλου μιας τετραπολικής γεννήτριας, στην οποία γίνονται κατασκευαστικές αλλαγές από ειδικούς μηχανικούς για την επίτευξη ανάλογων αποτελεσμάτων. Το Winding Pitch είναι μια διαδικασία αρκετά γνωστή για τους μηχανικούς στα πλαίσια επέμβασης σε ορισμένα χαρακτηριστικά της γεννήτριας. Μπορεί να αλλάξει την συμπεριφορά όλου του συστήματος σε μικρό βαθμό αλλά χωρίς αλλαγές εξαρτημάτων.

2.2.2. Σχεδιασμός του Στάτη.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η κατασκευή των γεννητριών εν μέρει μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί. Η κατασκευή ενός στάτη μιας γεννήτριας μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες. Αυλακώσεις, 'δόντια' στάτη και το πίσω πλαίσιο σιδήρου. Υπάρχει ένας σύνδεσμος μαγνητικής ροής ανάμεσα στους μαγνήτες και τον στάτη και αυτή η ροή χρειάζεται έναν δρόμο να ρεύσει από τον έναν πόλο στον άλλο.



Σχήμα 2.13: Εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψύκτρες

Το πίσω πλαίσιο σιδήρου παρέχει αυτό τον δρόμο και επίσης χρειάζεται να είναι αρκετά πλατύ ώστε να διατηρεί τον μαγνητικό κορεσμό. Συνήθως το ατσάλι έρχεται σε κορεσμό στο 1.5T και η πυκνότητα ροής περιθωριοποιείται από 1.1T ως 1.3T στην πραγματικότητα.

Από την στιγμή που ο αριθμός των πόλων είναι καθορισμένος και μιλάμε για τριφασικό σύστημα, η μόνη παράμετρος που καθορίζει τον αριθμό των αυλακώσεων είναι N_{spp} (number of slots per pole per phase).

Κάθε αυλάκι περικλείει ένα ρεύμα μίας από τις τρεις φάσεις και καταλήγει στους μαγνητικούς πόλους. Αν κάποια ροή από κάθε μαγνήτη πρέπει να αλληλεπιδράσει με ένα αυλάκι από κάθε φάση αυτό εκφράζεται ως εξής $N_{spp} = 1$ και αποφασίζεται στην φάση κατασκευής. Ο αριθμός των αυλακώσεων N_{spp} μπορεί να αλλάξει αλλά εξαρτάται από την γεωμετρία των αυλακώσεων και του στάτη που επιθυμείται και κατόπιν συνεπειών. Συνέπειες σε λειτουργική συμπεριφορά και απόδοση της μηχανής αφού μιλώντας ρεαλιστικά οι απώλειες τις γεννήτρια στον στάτη παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Απώλειες

Υπάρχουν 2 τρόποι να εξετάσουμε το πρόβλημα των απωλειών του στάτη στις ΣΓΜΜ.

Η πρώτη προσέγγιση ξεκινά με μια απλοποιημένη μέτρηση πυκνότητας ροής και με μια φόρμουλα για τις απώλειες πυρήνα και στο τέλος καταλήγει στην χρησιμοποίηση του fem για την τροποποίηση προς βελτίωση. Fem είναι η μέθοδος βελτιστοποίησης των απωλειών.

Στην άλλη προσέγγιση καθώς το σύστημα fem έχει υποστεί εξέλιξη με τον χρόνο παίρνετε υπόψη κάθε στοιχείο από τον πυρήνα ο οποίος δίνει στο στάτη στιγμιαίες κυματομορφές. Στο τέλος προστίθενται όλες μαζί και έτσι καταλήγουμε στις συνολικές απώλειες πυρήνα στις οποίες πάλι χρησιμοποιούνται τεχνικές βελτιστοποίησης των απωλειών πυρήνα. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι όχι μόνο η πυκνότητα ροής είναι ημιτονοειδές σε κάποια σημεία του χρόνου αλλά έχει και πολλές κάθετες αλλαγές διεύθυνσης στα σημεία του χρόνου και μάλιστα περισσότερο στο ζυγό παρά σταδόντια. Με αυτό τον τρόπο αποδεικνύετε πως το συστατικό της πυκνότητας ροής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις απώλειες του πυρήνα. Οι απώλειες πυρήνα τείνουν να διαφέρουν όταν η γεννήτρια βρίσκεται με ή χωρίς φορτίο. Ωστόσο οι τεχνικές βελτιστοποίησης πρέπει να χρησιμοποιούνται σε πολύ πρώιμο στάδιο. (στα αρχικά στάδια σχεδίασης της μηχανής).

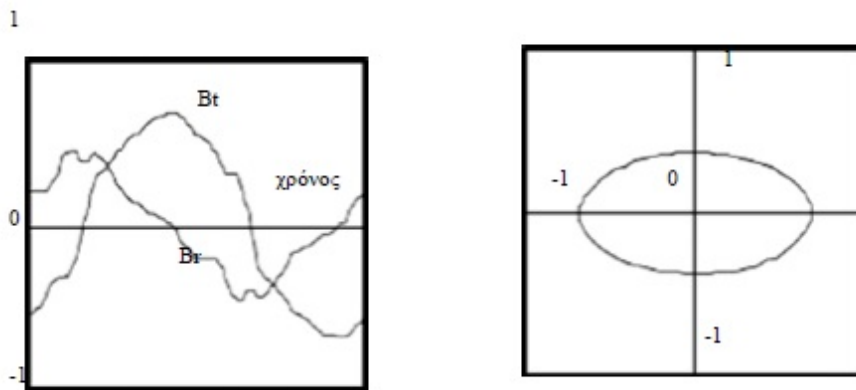
Τελικώς, οι απώλειες πυρήνα τείνουν να διαφέρουν ανάμεσα σε συμπυκνωμένες και σε διανεμημένες περιελίξεις.

Όλες αυτές οι απόψεις αποδεικνύουν ότι μια ρεαλιστική προσέγγιση πρέπει να ξεκινά με την αξιολόγηση απωλειών πυρήνα βάση FEM και ύστερα να γίνονται οι κατάλληλες διαδικασίες ώστε να βρεθεί η ιδανική λύση για την αντιμετώπιση αυτών των απωλειών.

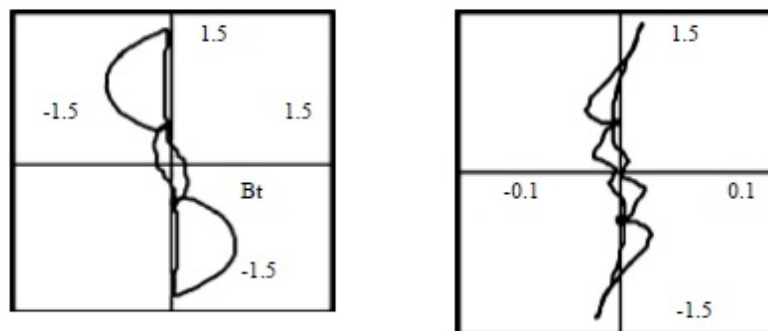
Είναι γνωστό εδώ και παρά πολύ καιρό ότι οι συνδυασμένοι εναλλακτικοί και μετακινούμενοι τομείς παράγουν περισσότερες απώλειες πυρήνα σε σχέση με άλλους εναλλακτικούς τομείς ίδιας συχνότητας.

Το FEM έφερε στην επιφάνεια την πιθανότητα να ελεγχθούν οι επιφανειακές απώλειες του ρότορα οι οποίες θα περιλαμβάνονται στις απώλειες του πυρήνα των μηχανών δίχως ψήκτρες. (σχ 2.13)

Εξεταζόμενο σε διαφορετικά σημεία όπως τα σχήματα παρακάτω η πυκνότητα ροής στους μετακινούμενους τομείς έχει διάφορες διακρίσεις, οι οποίες εξαρτώνται από την θέση τους μέσα στο στάτη, τα δόντια και το ζυγό.



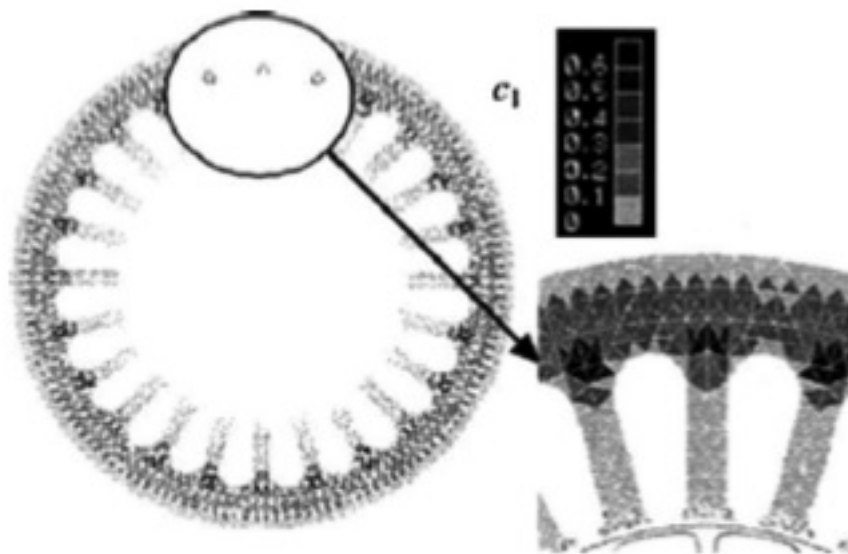
(β) χρονοδιάγραμμα της πυκνότητας ροής στο σημείο α



(γ) ελλειπτική παραλλαγή για κάθε αρμονική

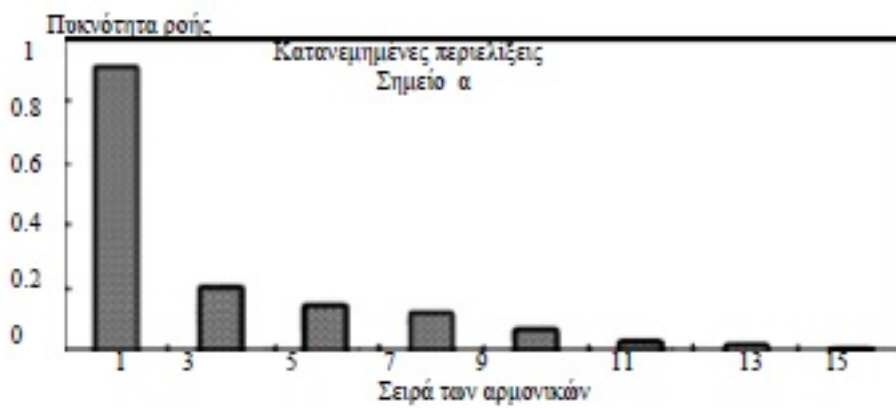
Σχήμα 2.14 β: Διάγραμμα πυκνότητας ροής συναστίση του χρόνου σε συγκεκριμένο σημείο.

γ: Ελλειπτική απεικόνιση κάθε αρμονικής



(δ)

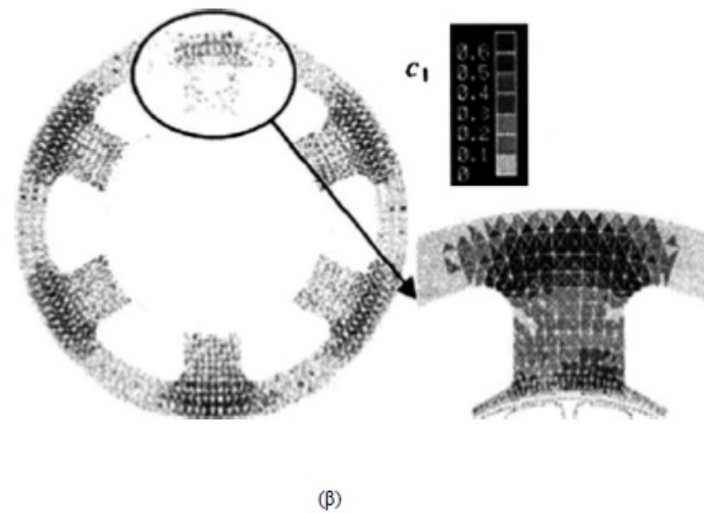
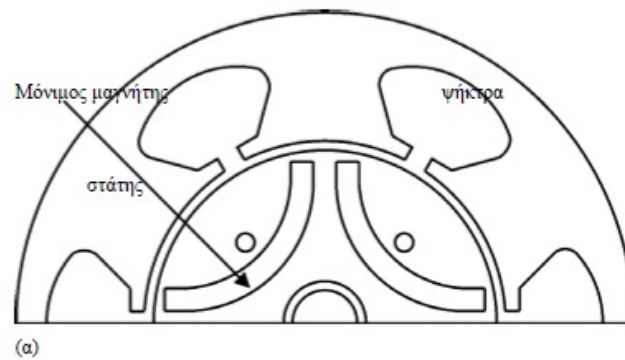
(δ)



(ε)

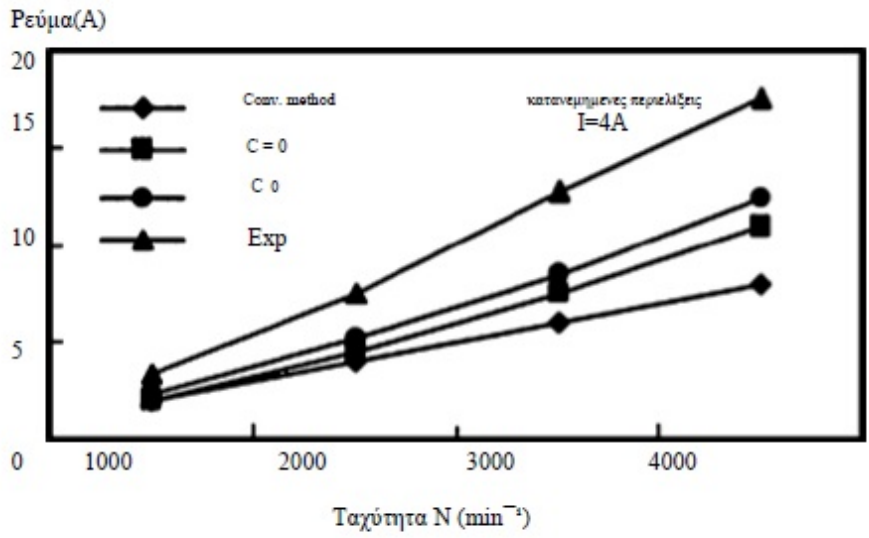
Σχήμα 2.15: Στοιχεία γεννητριών με συμπυκνωμένες περιελίξεις και με μετρούμενη ποκνότητα ροής.
(ε) φάσμα των αρμονικών της ποκνότητας ροής.

Εξετάζοντας με την ίδια μέθοδο μηχανή με ψήκτρες η κατάσταση είναι διαφορετική σε συγκεκριμένα σημεία.

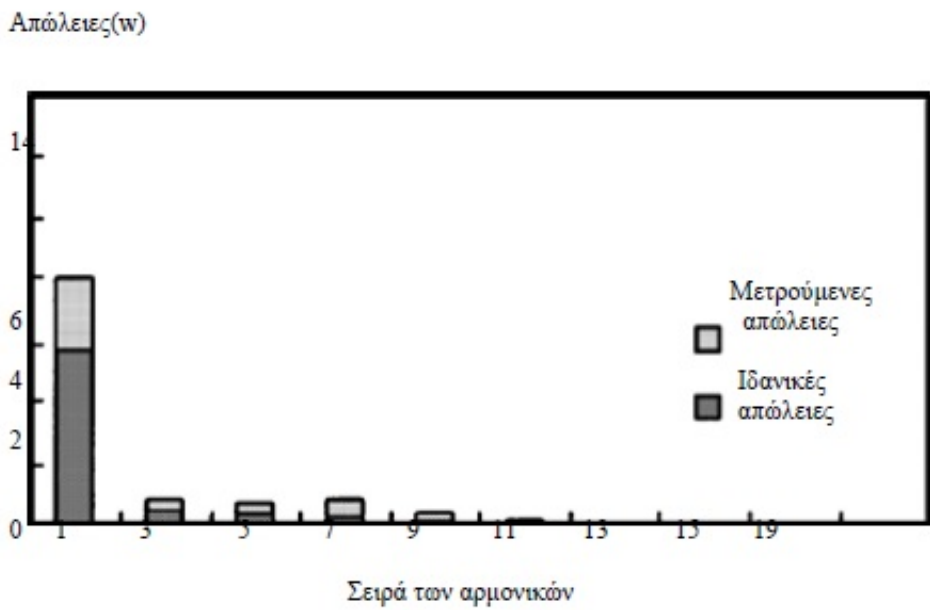


Σχήμα 2.16: (α) σταυρωτός τομέας σε γεννήτρια με ψήκτρες
(β) κατανομή από την κοντή ως τη μακριά ακτίνα

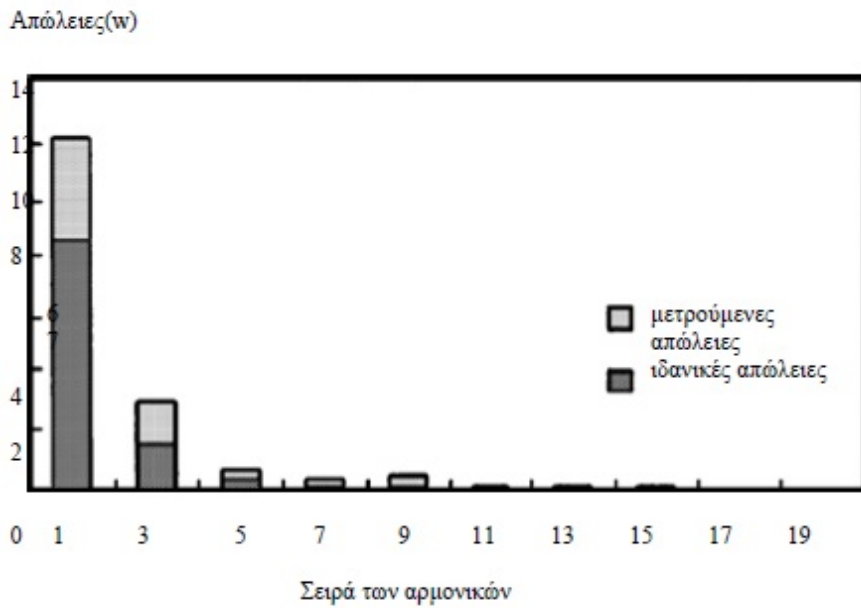
Η ίδια μέθοδος εφαρμόζεται για κάθε αρμονική συχνότητα. Μια μελέτη σε απώλειες πραγματικές σε σύγκριση με τις ιδανικές που υπολογίζονται σε εργαστήριο παρουσιάζονται παρακάτω στα σχήματα.



Σχήμα 2.17: Απώλειες πυρήνα για διανεμημένες περιελίξεις με φορτίο



Σχήμα 2.18: Πυκνότητα ροής και η συνάρτηση με τις απώλειες.



Σχήμα 2.19: Απώλειες πυρήνα για κατανομημένες περιελίξεις.

Ένας απλός τρόπος για τον υπολογισμό των απωλειών χωρίς φορτία είναι χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

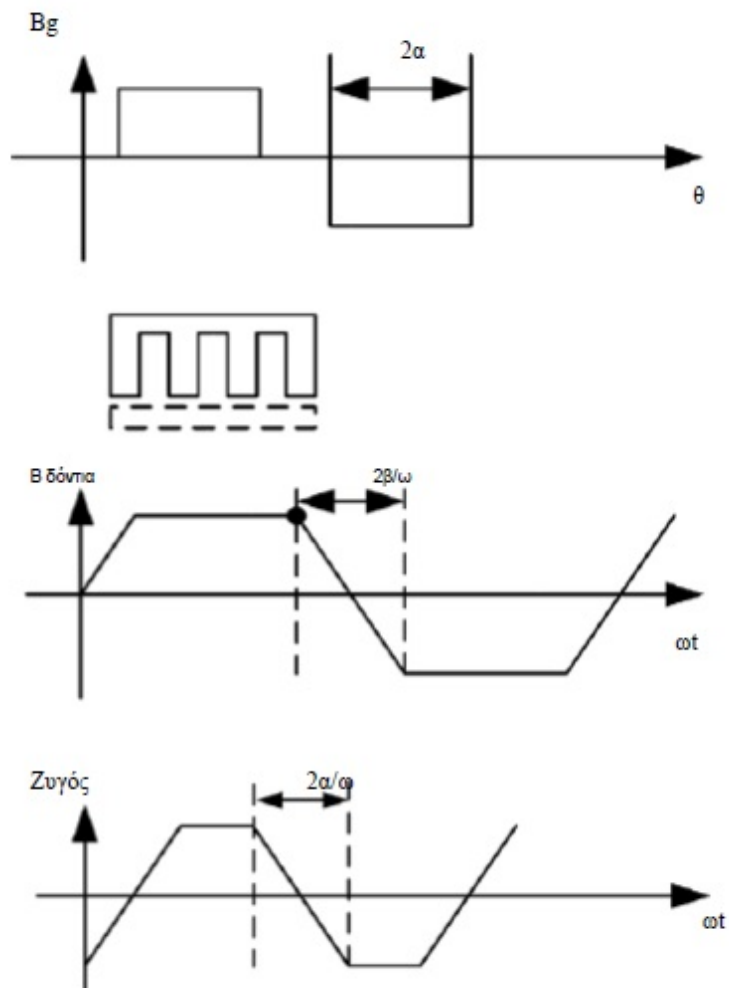
$$P / Kg = 2.8 \cdot Ke \cdot w^2 \cdot Bg^2 \quad (2.8)$$

Το Bg^2 παριστάνει την κορυφή (peak) στην πυκνότητα ροής στο διάκενο.

Παρολαυτά είναι άξιο λόγου πως αυτός ο τύπος δεν ενδείκνυται για υπολογισμούς λόγω των διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ ελαφριών και βαριών κατασκευών στα δόντια και στους ζυγούς.

Για απώλειες πυρήνα μικρότερες από τις απώλειες χαλκού, δεν παρουσιάζονται καταστροφικά λάθη στο σχεδιασμό.

Αυτό όμως δεν ισχύει και στις υψηλών ταχυτήτων ΣΓΜΜ. Για $\phi=1$ στις διανεμημένες περιελίξεις και για ορθογώνιο ρεύμα η πυκνότητα ροής του μόνιμου μαγνήτη δίνει πολλές διακυμάνσεις στα δόντια και στο ζυγό του στάτη.



Σχήμα: 2.20: Ιδανική πυκνότητα ροής για τα δόντια και το ζυγό της σύγχρονης γεννήτριας μόνιμου μαγνήτη

Εξειδικευμένα άρθρα όπως "Effect of the Number of Slots per Pole on Performance of Permanent Magnet Generator Direct-Driven by Wind-Hydro Turbine," presented at 2011 International Conference on Electrical

Machines and Systems (ICEMS), αναφέρουν πειραματικά τις επιδράσεις διαλέγοντας έναν N_{sp} για καλύτερη απόδοση αλλά δεν μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτή την εργασία λόγω μηχανικών περιορισμών. Αυξάνοντας τον αριθμό των αυλακώσεων μειώνει την απώλεια αντίδρασης και τον αριθμό των κυμάτων ανά δόντι. Υπάρχουν όμως πολλά μειονεκτήματα στην ύπαρξη πολλών αυλακώσεων. Αυξάνει το κόστος παραγωγής, καθιστά το δόντι πιο ευάλωτο πιο ευαίσθητο και οδηγεί στην συσσώρευση μεγαλύτερης ροής πυκνότητας στο δόντι. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν τον περιορισμό στο μήκος των αυλακώσεων, έχει αποφασιστεί ότι για μια μηχανή χαμηλής τάσης 36 αυλακώσεις είναι ιδανική περίπτωση. Απο την στιγμή που βρεθεί ο αριθμός των αυλακώσεων θα σχεδιαστεί το σχήμα αυτών και οι οι διαστάσεις. Οι αυλακώσεις βοηθούν στην όδευση των τριών φάσεων μέσα στον στάτη.

Σε εφαρμογές πολύ υψηλών ταχυτήτων, οι απώλειες στα δόντια του πυρήνα μπορεί να είναι τόσο μεγάλες όπου η εξάλειψη τους μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη παρά την μείωση τις πυκνότητας ροής του μόνιμου μαγνήτη, μέσω αύξησης του μαγνητικού διάκενου.

2.2.3 Σχεδιασμός αυλακώσεων

Υπάρχουν τέσσερις πτυχές στον σχεδιασμό των αυλακώσεων. Το πλάτος των δοντιών και το ύψος των αυλακώσεων, το άνοιγμα των αυλακιών, οι διαστάσεις του χείλους και το σχήμα αυτών. Το συνηθισμένο σχήμα ενός αυλακιού είναι τύπου U πλατιάς βάσης εγκατεστημένο στις περισσότερες συμβατικές γεννήτριες και μοτέρ.

Ένα νέο σχήμα παρολαυτά ερευνάται και αναπτύσσεται το οποίο τείνει να έχει κωνικό σχήμα ένα σχήμα με πολλά πλεονεκτήματα. Αυτός ο νέος σχεδιασμός κρατά τα ρεύματα κοντά στους μαγνήτες του ρότορα και επίσης συνεισφέρει στην καλύτερη εκμετάλλευση χώρου στο αυλάκι. Λόγω του κωνικού σχήματος δεν είναι εφικτή η υλική επεξεργασία, το σχήμα είναι αντί αυτού ένα ανάποδο τραπέζιο.

Το πλάτος του δοντιού υπολογίζεται βάση την κατασκευή του πίσω μέρους του σιδήρου που απαιτείται για να λάβει την ροή που παράγει κάθε πόλος. Δίνεται από:

$$\omega_{ib} = \frac{2 \omega_{bi}}{N_{sm}} \quad (2.8)$$

Όπου

$$N_{sm} = \frac{N_s}{N_m} \quad (2.9)$$

Αρχικά το πλάτος του αυλακιού στην βάση θεωρείται ίσο με το πλάτος του δοντιού για να ξεκινήσει ο σχεδιασμός και αργότερα αξιολογείται με τον βέλτιστο τρόπο με βάση τις απαιτήσεις των ρευμάτων και των δοντιών του πίσω σιδήρου στο πλαίσιο καθώς το αυλάκι παίρνει σχήμα. Αυτή η βελτιστοποίηση γίνεται στο RMXprt όπως περιγράφεται σε άλλες ενότητες. Η κατασκευή του βάθους του αυλακιού, a_{sd} κυμαίνεται από 0.4 – 0.5 χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι διαστάσεις του χείλους. Η ιδέα του να παρέχεται ένα χείλος στο δόντι είναι για να αυξηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η επιφανειακή περιοχή για την όδευση ροής στο δόντι του στάτη.

Στις συμβατικές γεννήτριες αυτό το χείλος αποτελείται από δύο βήματα σχεδιασμού για τον κυλινδρικό τύπου αυλακιού. Η ιδέα του σχήματος ανάποδου τραπεζίου περιορίζει αυτή την προσέγγιση από την στιγμή που εισβάλλει στο σχήμα του ρεύματος ροής μέσα στο αυλάκι. Και έτσι ένα μόνο βήμα απαιτείται.

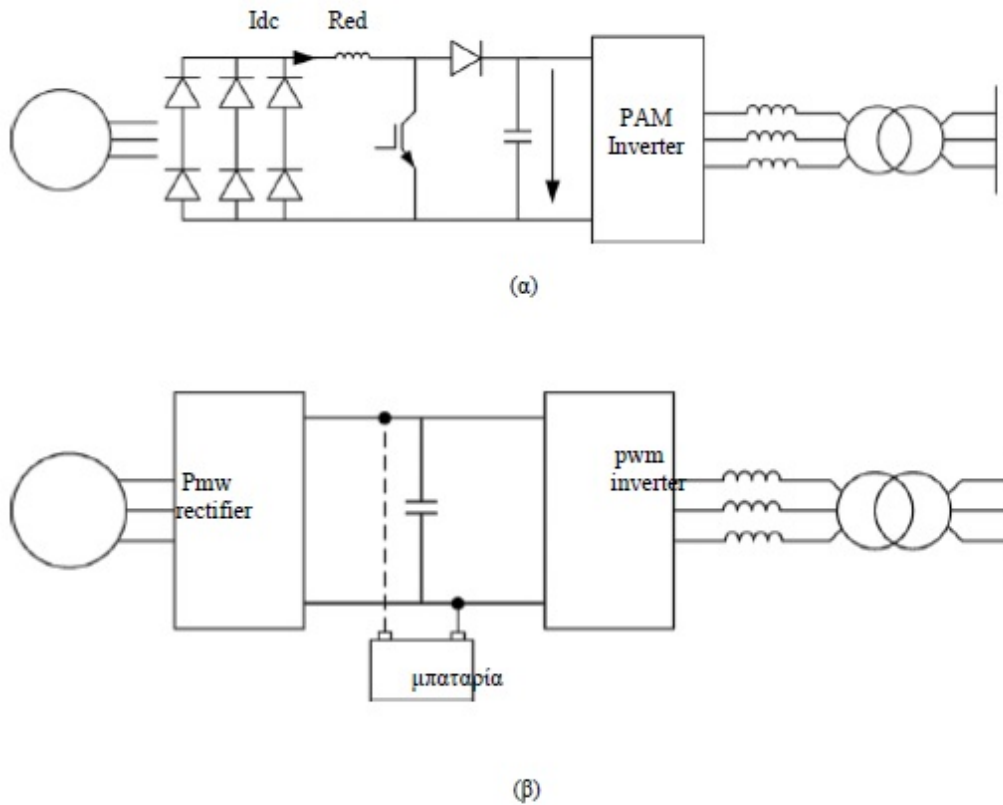
Η βελτιστοποιημένο ύψος του αυλακιού αποφασίζεται βασισμένο στον αριθμό περιστροφών που απαιτείται και την περιοχή επικοινωνίας που απαιτείται. Βασισμένοι στο βάθος/ύψος καταλήγοντας, προσθέτοντας το πλάτος του πίσω σιδήρου του πλαισίου έχουμε μια προσέγγιση για την τελική εξωτερική διάμετρο του στάτη. Αυτή η διάμετρος και διαστάσεις μπορούν να κλιμακωθούν προς τα πάνω ούτως ώστε να καλυφθούν ανάγκες για μεγαλύτερη παροχή ισχύος.

2.3 Τροφοδοσία ηλεκτρικών διατάξεων ΣΓΜΜ

Η δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου στις στροφές καθιστά τις ΣΓΜΜ ιδανικές για χρήση σε αιολικά συστήματα και να παρέχουν υψηλή αποτελεσματικότητα στον κύριο ρότορα, αφού η ταχύτητα επηρεάζει άμεσα και την ισχύ. Ο έλεγχος των στροφών είναι το πλέον καινοτόμο επίτευγμα στις γεννήτριες.

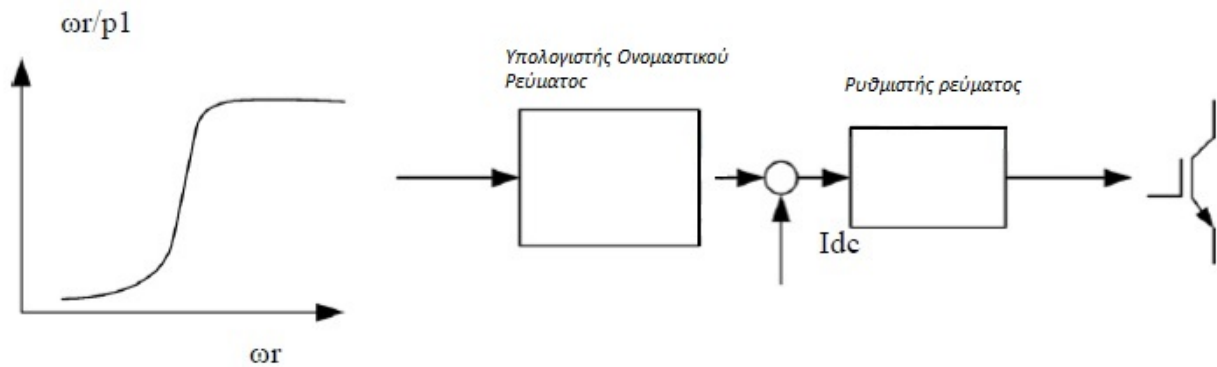
Για τις τουρμπίνες των πτερυγίων χρησιμοποιείται μια μπαταρία για την αποθήκευση της επιπλέον ενέργειας που απαιτείται για τα υπάρχοντα φορτία.

Υπάρχουν 2 τρόποι για να χειριστεί κανείς την αναγκαιότητα για σταθερή (συνεχή) DC τάση στις ποικιλόμορφες ταχύτητες όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 2.21: Μεταβαλλόμενης ταχύτητας σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη με σταθερή έξοδο και α) με δίοδο ενισχυτή συνεχούς ρεύματος β) με παλμό διαμορφωτή πλάτους (PMW)

Για την περίπτωση της διόδου, η γεννήτρια έχει σχεδιαστεί με τερματική τάση στην μέγιστη ταχύτητα για να επιτρέπει μια μικρή τάση ώθησης DC- DC σε όλες τις καταστάσεις. Πλήρης ώθηση χρειάζεται στη μίνιμουμ ταχύτητα και αυτό αναπαρίσταται παρακάτω:



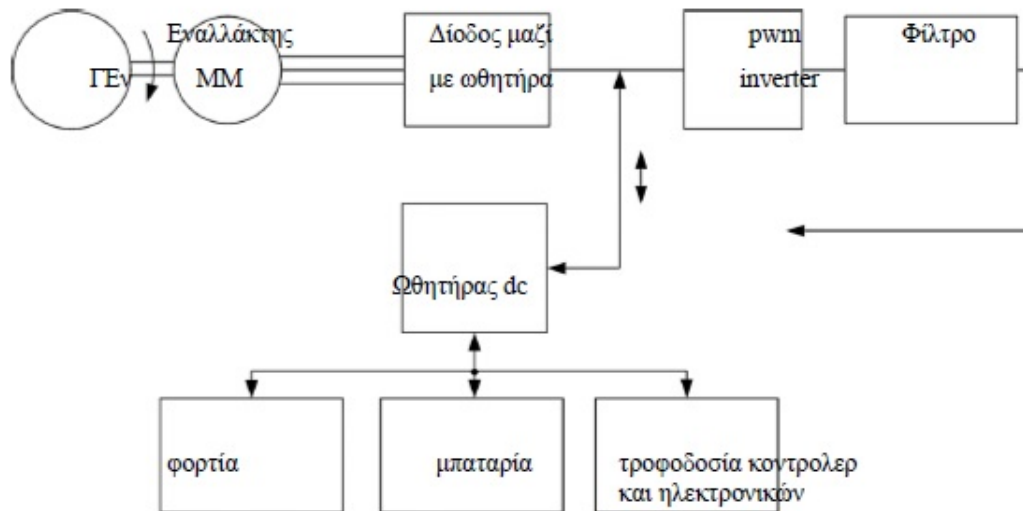
Σχήμα 2.22: Ενισχυτής συνεχούς ρεύματος για μια ΣΓΜΜ σε εφαρμογή μιας ανεμογεννήτριας.

Για αυτόνομα φορτία ένα L-C δυναμικό φίλτρο υπάρχει μεταξύ της πλευράς του PWM μετατροπέα και των φορτίων. Η τάση εξόδου είναι ρυθμισμένη κατασκευαστικά σε μια σταθερή τιμή, ενώ η AC τάση εξόδου μετά το εξωτερικό φίλτρο, ελέγχεται από ένα DC χειριστήριο που υπάρχει στην πλευρά των φορτίων.

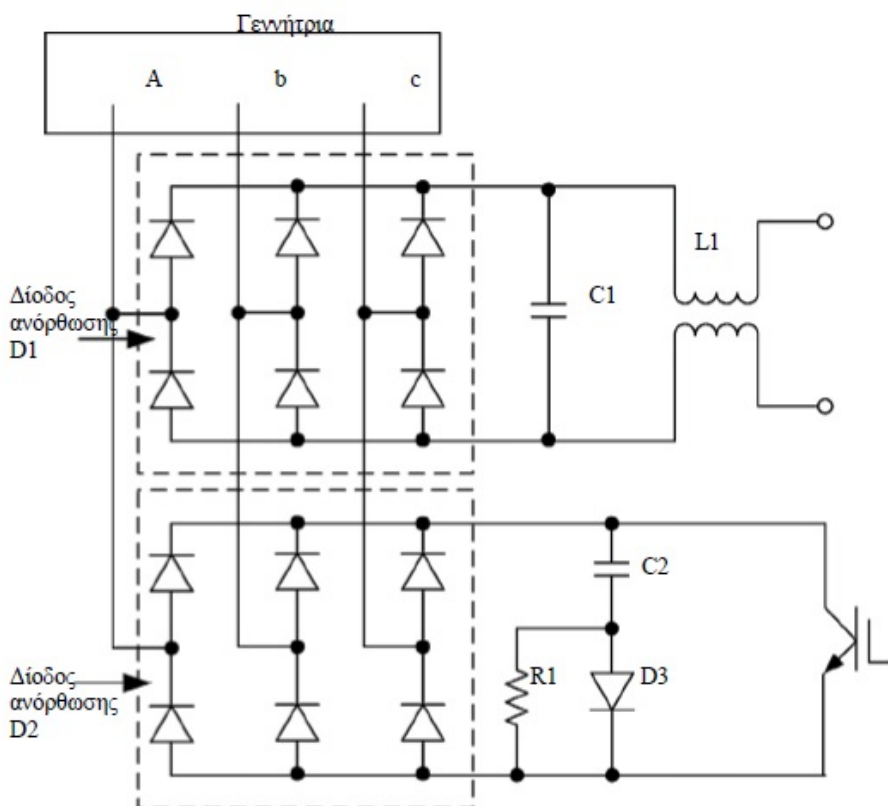
Η γεννήτρια μέσης ισχύος ήταν παραδοσιακά κατασκευασμένη ώστε να είναι ανθεκτική και οικονομική για ειδικές εφαρμογές. Στην ουσία η ταχύτητα τους όταν οδηγούνται από μηχανές πετρελαίου διαμορφώνεται από τις 1800-3600 σ.α.λ. ενώ για βενζίνη μπορεί να είναι δεκάδες σε χιλιάδες στροφές ανά λεπτό.

Οι γεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εφαρμογές σαν πηγή δύναμης στο έδαφος (για το σέρβις των αεροσκαφών) σαν πηγές ενέργειας εν αναμονή πάνω στο ντεπόζιτο των αεροσκαφών και σαν πηγή μέσης ισχύος.

Οι ποικιλόμορφες εξοδοί που παρέχει, δίνει την ικανότητα στον PWM inverter, στην πλευρά του φορτιού να ελέγχεται από διαφορές τάσεις ,συχνότητες και από φάσεις εξόδου.

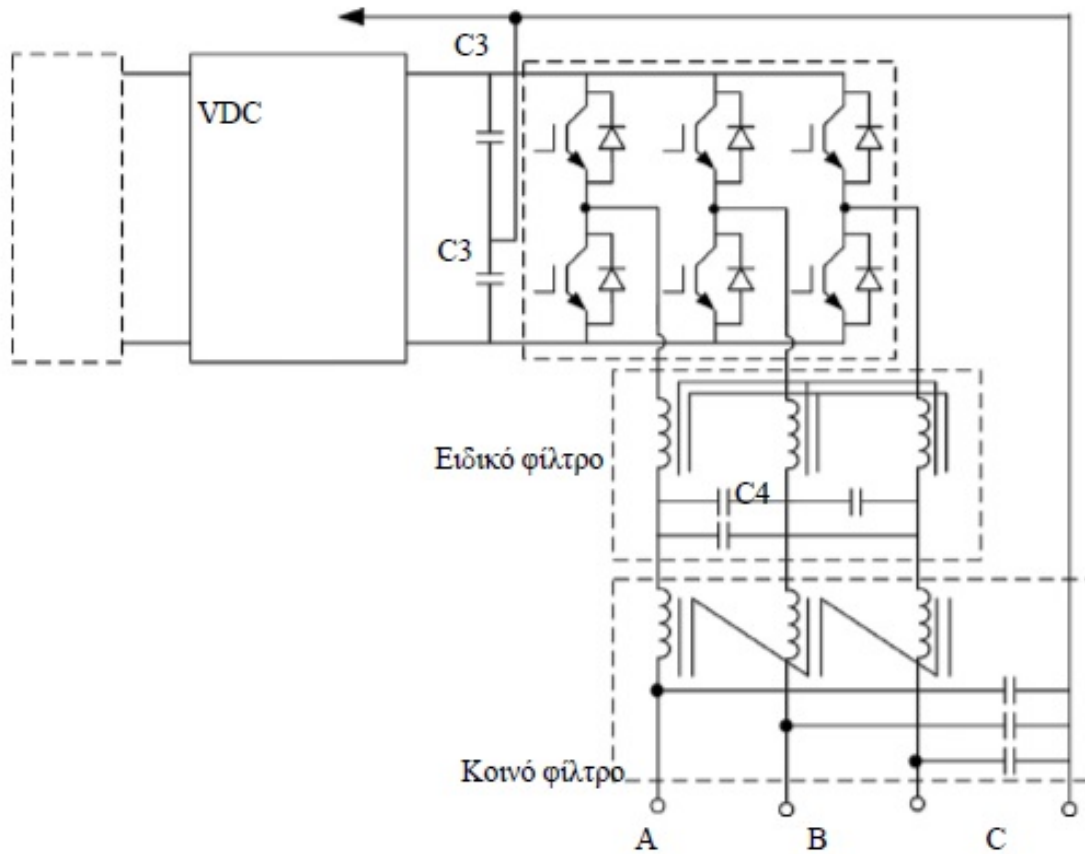


Σχήμα 2.23: Σύγχρονη γεννήτρια με πολλαπλές εξόδους.

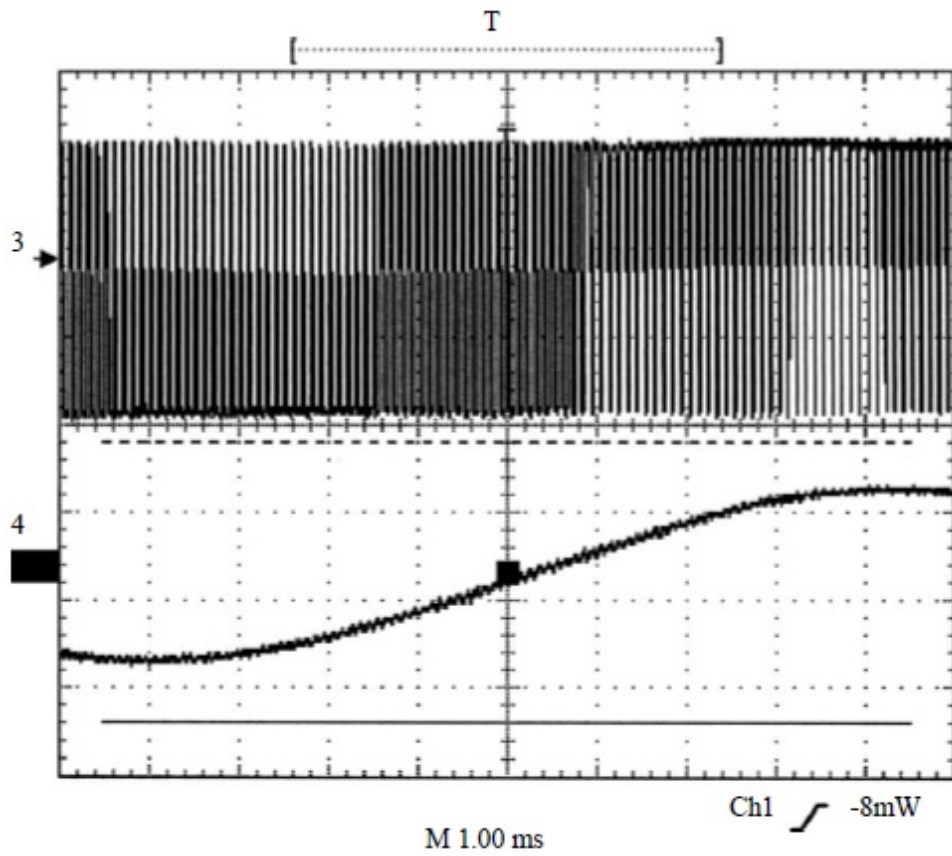


Σχήμα 2.24α: Κύκλωμα ανορθωτικής διάταξης γεννήτριας για αύξηση ρεύματος.

Ειδικά εξαρτήματα όπως δίοδοι και ωθητήρες χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η αύξηση της τιμής του ρεύματος. Αντίστοιχης λογικής με την διάταξη του inverter που θα δούμε παρακάτω.



Σχήμα 2.24β: Σχεδιάγραμμα σύγχρονης γεννήτριας με inverter και φίλτρα για καλύτερη απόδοση



Σχήμα 2.25: Διαφορές που προκύπτουν στην συχνότητα για ένα απλό φορτίο
 (3) χωρίς φίλτρα
 (4) με φίλτρα

2.4 Τεχνολογία Μόνιμων Μαγνητών

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των μόνιμων μαγνητών στις γεννήτριες βασίζεται στην ιδιότητά τους να διατηρούν αποθηκευμένη μαγνητική ενέργεια αν δεν του επιβληθεί κάποιο άλλο ισχυρότερο ώστε να τον απομαγνητίσει. Παίζουν τον ρόλο μιας εναλλακτικής μορφής πηγής διέγερσης για τις ηλεκτρικές μηχανές αφού αντικαθιστούν το τύλιγμα του πεδίου. Η Ένταση μαγνητικού πεδίου συμβολίζεται με H και μετριέται σε Βέμπερ (W).

Η μονάδα W έχει διαστάσεις έντασης ηλεκτρικού ρεύματος ανά μονάδα μήκους (A/m).

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου γύρω από ρευματοφόρο αγωγό δίνεται από **τον νόμο των Biot και Savart** και ισούται με:

$$H = \int \frac{1}{4\pi} \frac{Idl \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad H = \int \frac{1}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (3.1)$$

$$\hat{r} = \frac{\mathbf{r}}{r} \text{ είναι το μοναδιαίο διάνυσμα στη διεύθυνση του } \mathbf{r}$$

Όπου :

(I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, r η απόσταση από τον αγωγό, l το μήκος του αγωγού)

Πιο συγκεκριμένα, εάν ορίσουμε ένα απειροστό στοιχείο ρεύματος

$$Idl$$

τότε το αντίστοιχο διαφορικό στοιχείο του μαγνητικού πεδίου είναι

$$dB = K_m \frac{Idl \times \hat{r}}{r^2} \quad (3.2)$$

Όπου :

$$K_m = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad \text{με } \mu_0 \text{ η μαγνητική σταθερά}$$

I = ρεύμα σε Ampere

dl = το διαφορικό διάνυσμα μήκους του στοιχείου ρεύματος

\hat{r} = το μοναδιαίο διάνυσμα με διεύθυνση από το στοιχείο ρεύματος στο σημείο που υπολογίζεται το πεδίο B

r = η απόσταση από το στοιχείο ρεύματος στο σημείο του πεδίου B.

Η τιμή μαγνήτισης παραμένει σταθερή και αυτό το γεγονός ίσως αποτελεί ένα μειονέκτημα αφού δεν μπορεί να επιτευχθεί κάποια αυξομείωση στην διέγερσή που παρέχουν. Παρολαυτά συντελούν στην ανάπτυξη ροπής της γεννήτριας καθώς διαθέτοντας ψήκτρες βελτιώνουν τις απώλειες αφού δεν έχουν ανάγκη για παροχή ρεύματος στον δρομέα.

Η χρήση μόνιμων μαγνητών στον ρότορα λοιπόν μειώνει την πολυπλοκότητα και τις απώλειες έχοντας σαν αποτέλεσμα να απλοποιούν σε μεγάλο βαθμό την κατασκευή και να αυξάνουν την απόδοσή της γεννήτριας. Ο αριθμός των μαγνητών που χρησιμοποιείται είναι ίδιος με τον αριθμό των πόλων. Ο αριθμός των πόλων αυξάνεται όταν η σύγχρονη γεννήτρια προορίζεται για λειτουργία σε χαμηλές στροφές όπως είναι αυτή ενός καραβιού. Το κόστος μιας ηλεκτρικής μηχανής τέτοιου τύπου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η γραμμή παραγωγής αυτών, η ποσότητα χαλκού που χρησιμοποιείται καθώς επίσης και ο αριθμός που πρέπει να παραχθεί.

Τα περισσότερα συστήματα ανανεώσιμων πηγών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούν μαγνήτες. Το κόστος των εξαρτημάτων είναι ένας μεγάλος τομέας ενασχόλησης διότι οι μαγνήτες κοστίζουν ακριβά. Οι μαγνήτες κατασκευάζονται από σπάνια πετρώματα όπως Νεοδύμιο, φερρίτη, βόριο, σίδηρος, Κοβάλτιο.

Οι φυσικές και μαγνητικές τους ιδιότητες είναι άριστες παρέχοντας υψηλή διατήρηση της μαγνητικής τους ιδιότητας καθώς και υψηλή αντίσταση, άριστη θερμική σταθερότητα και μεγάλη ανοχή στην διάβρωση.



Το ποσοστό ύπαρξης συγκεκριμένης ενέργειας (V_2SE) του μαγνητικού υλικού είναι ένα σημαντικό στοιχείο για την δυναμικότητα του μαγνήτη. Μόλις μια δεκαετία πιο πριν ο φερρίτης ήταν η πιο κοινή επιλογή.

Πρόσφατα μαγνήτες Νεοδυμίου έχουν κερδίσει την προσοχή αφού έχουν 10 φορές περισσότερο ποσοστό ενέργειας και αναπτυσσόμενης μαγνητικής ροής από αυτή που παρέχει ο φερρίτης, του οποίου το κόστος πλέον βρίσκεται σε καθοδική πορεία, αλλά παρολαυτά το Νεοδύμιο αποτελεί συντριπτική επιλογή στην κατασκευή μαγνητών πλέον.

Μιλώντας για την μαγνητική ροή, ή μαγνητικό ρεύμα που συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα Φ , είναι ένα ποσοτικό μέτρο του μαγνητισμού, λαμβάνοντας υπ' όψιν την ένταση και την εμβέλεια ενός μαγνητικού πεδίου. Η μαγνητική ροή ορίζεται ως το επιφανειακό ολοκλήρωμα του μαγνητικού πεδίου πανώ σε μια περιοχή:

$$\Phi_m = \iint B \cdot dS \quad (3.2.1)$$

Όπου: Φ_m είναι η μαγνητική ροή

B είναι η πυκνότητα της μαγνητικής ροής

S είναι η επιφάνεια

Γνωρίζουμε από το νόμο του Γκάους για το μαγνητισμό ότι

$$\vec{\nabla} \cdot B = 0 \quad (3.2.2)$$

δηλαδή η απόκλιση της έντασης του του μαγνητικού πεδίου μηδενίζεται παντού. Ένα σημείο μη μηδενικής απόκλισης θα ισοδυναμούσε με ένα απομονωμένο μαγνητικό φορτίο (πόλο),

δηλ. μια "πηγή" από όπου θα ξεκινούσαν ακτινικά προς τα έξω μαγνητικές δυναμικές γραμμές.

Το ολοκλήρωμα όγκου αυτής της εξίσωσης, σε συνδυασμό με το θεώρημα απόκλισης, δίνει το παρακάτω αποτέλεσμα:

$$\iiint_V \vec{\nabla} \cdot B dr = \oiint_{\partial V} B \cdot dS = 0 \quad (3.2.3)$$

Με άλλα λόγια, η μαγνητική ροή διαμέσου οποιασδήποτε κλειστής επιφάνειας πρέπει να είναι μηδενική: δεν υπάρχουν απομονωμένα μαγνητικά φορτία - οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι κλειστές καμπύλες χωρίς άκρα.

Συνεχίζοντας την αναφορά μας για το Νεοδύμιο λοιπόν, είναι ακριβό και αρκετά δυσεύρετο αφού δεν είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες. Χώρες τις Ευρώπης ξοδεύουν πολλά χρήματα για την εξόρυξη του και έτσι το καθιστούν εξαιρετικά ακριβό στην εξαγωγή του σε άλλες χώρες. Παράλληλα μεγάλες έρευνες γίνονται για να βρεθούν τα καλύτερα πετρώματα αλλά και για λύσεις όσων αφορά την ηλεκτροχημική κατασκευή και δομή.

Το Σαμάριο κάποτε στοίχιζε τρεις με τέσσερεις φορές περισσότερο από το Νεοδύμιο κόστος μου μετράται σε ετήσια ζήτηση υλικού. Οι μαγνήτες σαμαρίου-κοβαλτίου είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί στην οξείδωση, με υψηλή μαγνητική ικανότητα και μεγαλύτερη αντοχή στην θερμοκρασία από τους αντίστοιχους alnico μαγνήτες ή μαγνήτες κεραμικών υλικών. Ημιτετηγμένοι μαγνήτες

σαμαρίου - κοβαλτίου είναι εύθραυστοι και επιρρεπείς σε ραγίσματα και σπασίματα και μπορεί να σπάσουν αν υποβληθούν σε απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Πρόσφατες μελέτες παρέχουν σημαντικά στοιχεία στην εύρεση περισσότερων κερδοφόρων υλικών με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Αυτά τα καινούργια υλικά επεξεργάζονται σε επίπεδα νανοτεχνολογίας καθορίζοντας την περιεκτικότητά τους αλλά και την δομή κατασκευής των μαγνητών. Αυτές οι βελτιώσεις έχουν οδηγήσει στην κατασκευή διάφορων νέων υβριδικών μαγνητών με υλικά που είναι περισσότερο διαθέσιμα ανά περιοχή.

Επίσης με βάση αυτές τις έρευνες υπάρχει μεγάλη πεποίθηση στην κατασκευή μηχανών χαμηλής ταχύτητας και ισχύος όπως αυτή που προαναφέραμε καθώς επίσης και μαγνήτες υπέρ-υψηλής θερμοκρασίας (UHT). Μαγνήτες μεγάλης αποδοτικότητας αναπτύσσονται λοιπόν για κλίμακες Mw-Gw μηχανές οι οποίες προσφέρουν πολλά οφέλη.

Η γενική εικόνα είναι ότι μπορούν να επιτευχθούν τάσεις υψηλών τιμών αυξάνοντας την πυκνότητα και κατ'επέκταση το μέγεθος του μαγνήτη. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν σε αυτό το σημείο ότι η επιλογή κατάλληλου τύπου μαγνήτη είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό του τύπου της γεννήτριας.

Κεφάλαιο 3

Υδραυλική Ενέργεια



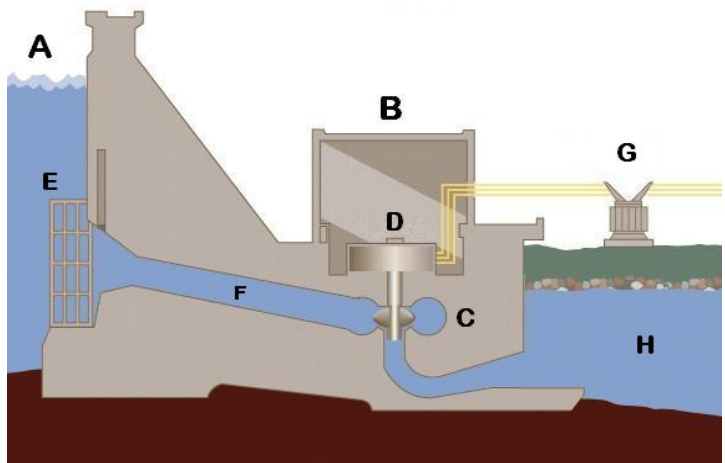
3.1 Εισαγωγή στην υδραυλική Ενέργεια

Οι τεχνικές εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος με την πάροδο του χρόνου με τις μεγαλύτερες επενδύσεις να γίνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πολλές χώρες επενδύουν στην έρευνα και ανάπτυξη τεχνικών και μεθόδων για όλο και μεγαλύτερη εκμετάλλευση πηγών ενέργειας με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Αυτή η τάση έχει άμεση επίδραση στην μείωση ζήτησης του πετρελαίου παγκοσμίως αφού ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αξιοποιούνται όλο και περισσότερο. Για μια από αυτές τις ενέργειες θα γίνει λόγος παρακάτω και αυτή δεν είναι άλλη από την υδραυλική. Θα περιγράψουμε αρχικά εν συντομία το πλάνο που σε γενικές γραμμές ακολουθούν εταιρίες και οργανισμοί που αποφασίζουν να επενδύσουν στην εκμετάλλευση υδάτινων πόρων.

Γίνεται κατασκευή ενός φράγματος, το οποίο θα συγκρατεί το νερό σε μια τεχνητή λίμνη *A* τον λεγόμενο (ταμιευτήρα). Παρόλο που η κατασκευαστές φροντίζουν από την αρχή να υπάρχουν φυσικές απότομες κλίσεις, για την καλύτερη καθοδήγηση του νερού γίνονται μεθοδικές επεμβάσεις στην μορφολογία της πλαγιάς καθώς και υπόγειοι υδαταγωγοί *F* για



μεγαλύτερο έλεγχο πιέσεων προς τις κοίτες των ποταμών. Με την επιδιωκόμενη αυτή αυξημένη ροή η δυναμική ενέργεια των υδάτων του ταμιευτήρα μετατρέπεται σε κινητική.

Σε κατάλληλα σημεία της κατασκευής τοποθετούνται υδατοφράκτες *E*.

Με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται η ποσότητα ροής του νερού από τον ταμιευτήρα προς την τουρμπίνα μέσω του υδαταγωγού.

Γεννήτριες *B* άμεσα συνδεδεμένες στον άξονα της τουρμπίνας η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική η οποία πλέον με κατάλληλους καταναλωτές ισχύος διανέμεται στους τόπους κατανάλωσης *G*.

Συνεχίζοντας την αναφορά στις υδρογεννήτριες αναφέρουμε επίσης ότι λειτουργικά παρέχουν χαμηλότερη αξονική ταχύτητα σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες. Παρακάτω θα αναφερθούν όροι όπως 'υδραυλική τουρμπογεννήτρια, υδροκίνητη γεννήτρια' στην προσπάθεια μου να περιγράψω το σύστημα της υδρογεννήτριας εννοώντας πάντα ουσιαστικά τον ίδιο μηχανισμό.

Ως εκ τούτου μια υδρογεννήτρια θα πρέπει να λειτουργεί σε ταχύτητες μόνο 150-600 σ.α.λ. Αυτό χαρακτηρίζει μια σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη που σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε να τροφοδοτεί χαμηλής ταχύτητας υδραυλικό κινητήρα στα πλαίσια δοκιμών. Η μέθοδος σχεδίασης είναι συγκεκριμένη αφού σχεδιάζοντας μια γεννήτρια για εξειδικευμένη εφαρμογή παρουσιάζονται διάφορα μηχανικά και κατασκευαστικά θέματα. Τέτοια είναι η ροπή, ταχύτητα, ισχύς και απαιτήσεις εκκίνησης. Μια τέτοια γεννήτρια κατασκευάστηκε να λειτουργεί χωρίς κάποιο σύστημα εκκίνησης με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αρκετά χαμηλές ταχύτητες. Οι δοκιμές στα μηχανικά μέρη έχουν σκοπό να εξασφαλίζεται η βέλτιστη ικανοποιητική απόδοση της γεννήτριας ελαττώνοντας τις στροφές.

3.2 Αρχές λειτουργίας μετατροπής υδραυλικής και αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια ουσιαστικά περιγράφεται σαν μια μορφή ηλιακής ενέργειας αφού θερμαινόμενος αέρας παράγει άνεμο – ρεύματα αέρα. Αυτή η ενέργεια του ανέμου λοιπόν μπορεί να αξιοποιηθεί στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Μια ανεμογεννήτρια μπορεί να θεωρηθεί ότι εκτελεί τον αντίθετο ρόλο που εκτελεί ένας ανεμιστήρας σπιτιού. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε ψηλά σημεία όπου παρατηρούνται ισχυροί άνεμοι και μέσα σε όλη την κατασκευή τοποθετούνται και όλα τα απαραίτητα μέλη μετατροπής και ελέγχου. Τα πιο σημαντικά στοιχεία του συστήματος είναι οι τεράστιες λεπίδες στρέψης οι οποίες με ταχύτητες 30-60 σ.α.λ. μετατρέπουν μέσω ειδικών διατάξεων αυτή την ταχύτητα σε 1000 – 3000 σ.α.λ. και έτσι έχουμε την ζητούμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίστοιχα τεράστιες υδρογεννήτριες (Kaplan – Francis τουρμπίνες) παράγουν ηλεκτρισμό από τον τεράστιο όγκο νερού που εφοδιάζονται με τεράστια ροή. Αυτή η ροή καθορίζει και τον σχεδιασμό των κινούμενων πτερυγίων αφού τριβές και ασκούμενες πιέσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Γιαυτό και η προσδόκιμη ροή υδάτων καθορίζει και διαφορετικού τύπου πτερύγια, γρανάζια και άλλα μηχανικά μέρη για την κίνηση αυτών. Το κύριο μηχανικό μέρος όμως είναι ίδιο αφού ένας μηχανικός ρότορας ο οποίος περιστρέφεται με σχετικά χαμηλή ταχύτητα λόγω ανέμου ή ροής υδάτων δίνει κίνηση σε άλλο ρότορα ο οποίος περιστρέφεται ταχύτερα μετατρέποντας κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική είναι η αρχή λειτουργίας και στους δυο τύπους μετατροπής ενέργειας.

3.2.1 Μια σύντομη ματιά σε διαθέσιμους πόρους.

Η ανάγκη για ανανεώσιμη ενέργεια έχει θέσει τις βάσεις για τάχιστα ανάπτυξη την επόμενη δεκαετία. Παρολαυτά εξετάζοντας πιθανές τοποθεσίες και τεχνικές ανάπτυξης είναι το κλειδί. Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές τοποθεσίες με ορμητικά ύδατα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν τοποθεσίες για εγκατάσταση υδροηλεκτρικών τουρμπίνων. Οι όποιες τοποθετημένες εγκαταστάσεις

δεν μπορούν να προσάψουν σημαντικά οφέλη στατιστικής μορφής από αυτού του είδους ανανεώσιμης ενέργειας. Διαθέσιμοι πόροι στην χώρα μας σαφώς και υπάρχουν με σημαντική προοπτική αποδοτικότητας μάλιστα αλλά η οικονομική αβεβαιότητα της χώρας δεν ενθαρρύνει τις επενδυτικές κινήσεις για την υλοποίησή τους.

Η αδράνεια στην τοποθέτηση υδροηλεκτρικών τουρμπίνων σίγουρα δεν βασίζεται στην έλλειψη πόρων ή τοποθεσιών.

Σε παγκόσμια κλίμακα πάντως οι Ηνωμένες πολιτείες βρίσκονται στην δεύτερη θέση περιέργως, πίσω από την Αγγλία στην εκμετάλλευση πηγών ενέργειας ενώ νέες μέθοδοι και αξιοποιήσιμες πηγές ερευνώνται συνεχώς. Πολλοί παράγοντες όπως η ορμή των υδάτων, το βάθος στο οποίο μπορεί να εγκατασταθεί το σύστημα και ο βαθμός φραγής της ροής των υδάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο για το αν σε μια περιοχή μπορεί να εγκατασταθεί σύστημα υδροκίνησης. Ο βαθμός αποκατάστασης της ισχύος όπου θεωρητικά υπάρχει διαθέσιμη για διάφορες εφαρμογές υδροκίνησης παρέχει μια καλύτερη και πρακτική ιδέα. Μέρος του Mississippi παρέχει την μεγαλύτερη ανακτήσιμη ετήσια ενέργεια με 57,5 Terra Watt hour per year ακολουθώντας η Νέα Υόρκη και το Οχάιο. Πολλές άλλες χώρες επίσης στην Αμερική εγκαθιστούν επενδύουν σε συστήματα υδροκίνησης σε ποτάμια και σε μέρη της θάλασσας προς εκμετάλλευση των κυμάτων για παραγωγή ηλεκτρισμού. Αυτή η κίνηση γίνεται ολοένα και πιο συχνή και οπωσδήποτε αποτελεί μια τεράστια κερδοφόρα επένδυση και η περισσότερο υποσχόμενη από θέμα απόδοσης από οποιαδήποτε άλλη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας σε αυτά τα μέρη. Για παράδειγμα το 2011 μόνο παρήχθησαν 320.000 Gwh υδροηλεκτρικής ισχύος ενώ 120.000 Gwh αιολικής ενέργειας. Το πρόβλημα με την υδροηλεκτρική ισχύ είναι ότι διαφέρει από χρόνο σε χρόνο και αυτή η διακύμανση καθιστά δύσκολη την εκτίμηση ετήσιας παραγωγής και συνεισφοράς και των δύο τρόπων. Ακόμα και με τεράστια υψηλούς ρυθμούς να παραχθεί υδροηλεκτρική ενέργεια αν συγκριθεί με την παραγωγή με καύσιμη ύλη το κάρβουνο, το πετρέλαιο ή πυρηνική ενέργεια σίγουρα υστερεί κατά πολύ αλλά το τεράστιο όφελος είναι ότι με τον υδροηλεκτρισμό δεν υπάρχει κόστος καύσιμης ύλης.

Τα οφέλη είναι τεράστια αν αναλογιστεί κανείς ότι υλικά όπως πετρέλαιο και κάρβουνο αγοράζονται ή εισάγονται με αρκετά υψηλό κόστος.

Η πόλη της Ουάσινγκτον αυτή την στιγμή ηγείται της παραγωγής υδροηλεκτρισμού και ακολουθεί το Όρεγκον και η Καλιφόρνια. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι υδροηλεκτρικά συστήματα που έχουν τοποθετηθεί στο Μισούρι και το Τενεσί έχουν δείξει αρκετά καλά δείγματα παραγωγής. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αποτελεί απλά μόνο ένα στοιχείο προκειμένου να εξελιχθεί εμπορικά η υδροκίνηση. Επίσης αυτές οι νέες τεχνολογικές καινοτομίες θα πρέπει να υπακούν διάφορους κυβερνητικούς και περιβαλλοντικούς κανόνες προκειμένου να γίνουν ευρέως εγκεκριμένοι τρόποι

παραγωγής ενέργειας. Διάφοροι νομικοί τομείς όπως 'Jobs and Economic Development Impact (JEDI) model , ή 'Energy Policy Act (EPA ct) είναι μεγάλοι υποστηρικτές καινοτομιών πάνω στην υδροκίνηση παρέχοντας οικονομική αλλά και ερευνητική ενίσχυση. Ευχής έργον είναι να γίνει μαζική μαζική παραγωγή υδροηλεκτρικού εξοπλισμού με αποτελεσματικές και κερδοφόρες εγκαταστάσεις προς εκμετάλλευση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων σε θάλασσες και ποτάμια. Η αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σίγουρα δείχνει σημάδια ανάπτυξης όπως δείχνουν και πρόσφατες κυβερνητικές έρευνες υδροκίνησης και το πρόγραμμα Ρούσβελτ, το πρώτο πρόγραμμα υδάτινων πόρων στην Νέα Υόρκη το 2012. Μερικά στοιχεία αυτού του προγράμματος με αξιόλογες πληροφορίες παρουσιάζονται παρακάτω.

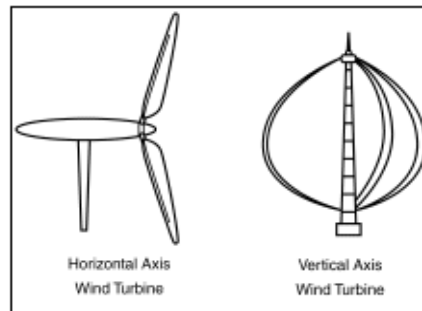
3.2.2 Κατηγορίες γεννητριών για χρήση στην υδραυλική και αιολική ενέργεια.

Οι ανεμογεννήτριες κατηγοριοποιούνται σε δυο κατηγορίες :

1. Γεννήτριες οριζόντιου άξονα
2. Γεννήτριες κάθετου άξονα (γνωστές ως Μοντέλο του Δαρείου)

Η βασική διαφορά αυτών των δυο τύπων γεννητριών είναι η διάταξη των πτερυγίων. Στα πτερύγια αυτά ασκείται δύναμη από ρεύματα αέρα και περιστρέφονται ανάλογα με την έντασή τους. Οι γεννήτριες οριζόντιας διάταξης χρησιμοποιούνται στους ψηλούς πυλώνες των ανεμογεννητριών ώστε να μπορούν να αποδώσουν σε κατευθύνσεις του ανέμου με φορέα κάθετο στην επιφάνεια των πτερυγίων. Παράγουν μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και πιο αποτελεσματικά από τις γεννήτριες κάθετης διάταξης. Αυτό συμβαίνει διότι η ένταση του ανέμου είναι χαμηλότερη στα χαμηλά στρώματα και οι γεννήτριες κάθετου άξονα χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερα ύψη. Επίσης οι γεννήτριες οριζόντιας διάταξης αποδίδουν σε ταχύτητες ανέμου 16 με 18 mph (μιλίων την ώρα) με μεγαλύτερη αυτή των 55 mph. Εντάσεις ανέμων που υπερβαίνουν αυτή την τιμή προκαλούν μεγάλες καταπονήσεις στις γεννήτριες. Γεννήτριες κάθετης διάταξης μπορούν να αντέξουν αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμων αλλά παρολαυτά σπάνια χρησιμοποιούνται σε τέτοια χρήση. Βασικό πλεονέκτημα στην ουσία των γεννητριών κάθετου άξονα παραμένει η απόδοση αυτών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση ανέμου. Παρολαυτά προτιμούνται γεννήτριες οριζόντιας διάταξης διότι αποδίδουν μεγαλύτερη ισχύ με μικρότερο κόστος και συντήρηση. Μια άλλη σημαντική κατάταξη βασίζεται στον τρόπο παραγωγής αλλά και τον τύπο σύζευξης που χρησιμοποιείται όπως θα αναφερθεί παρακάτω.

Επιπλέον παράγοντες κατηγοριοποίησης ανεμογεννητριών θα απεικονισθούν και στην συνέχεια.



Σχήμα 4.1 : Κατασκευαστική σύγκριση γεννητριών οριζόντιας και κάθετης διάταξης.

Τα συστήματα υδραυλικής κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια στο νερό. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Συστήματα μετατροπής ενέργειας κυμάτων (Wave Energy Conversion Systems, WESC) –

Βασίζεται σε υψηλές ταραχές υδάτων, κύματα με τις εξής υποκατηγορίες:

- Ταλαντευόμενα ρεύματα νερού
- Σημειακές απορροφήσεις
- Εξασθενήσεις υδάτων
- Συσκευή υψηλών ταραχών

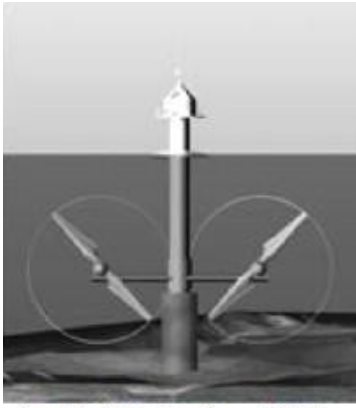
2. Συσκευές στροβιλισμού – Βασίζεται σε ένα συνεχές ρεύμα υδάτων όπως στα ποτάμια.

3.3 Νέες μέθοδοι εκμετάλλευσης κυμάτων.

Πρόσφατες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην τροποποίηση αλλά και στον καινούργιο σχεδιασμό συστημάτων υδραυλικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από αυτές τις μελέτες, γεννήτριες οριζόντιας διάταξης έχουν εφευρεθεί. Έχουν εκ νέου καταταχθεί σε γεννήτριες δύο – τριών ή και περισσότερων πτερυγίων. Έρευνες πανεπιστημιακού επιπέδου γίνονται συνεχώς σε πολλά κράτη.

Στο πανεπιστήμιο Επιστημών και Τεχνολογίας του Μισούρι, μια υδρογεννήτρια οριζόντιας διάταξης έχει βελτιωθεί με σύνθετη τεχνολογία υλικών για τρία πτερύγια.

Κατασκευές πολλαπλών πτερυγίων και αγωγών υδάτων επίσης μελετώνται για βελτιστοποίηση απόδοσης. Αυτού του τύπου οι γεννήτριες θα αναφερθούν στην συνέχεια και έχουν υιοθετηθεί σαν πρότυπο τουρμποκίνητων συστημάτων υδραυλικής ενέργειας, τύποι των οποίων προβάλλονται παρακάτω.



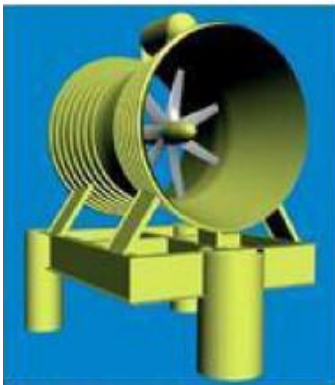
Δύο πτερυγίων υποβρύχια τουρμπογεννήτρια



Τριών πτερυγίων απο το Verdant Power



Τριών πτερυγίων απο το Hammerfest



Πολλαπλών πτερυγίων απο το Lunar Energy



Πολλαπλών πτερυγίων απο το UEK



Πολλαπλών πτερυγίων απο το Free-Flow-Power Tech



Πολλαπλών πτερυγίων απο το Orehydro



Πολλαπλών πτερυγίων απο το Πανεπ. Southampton



Η-Δαρρείος απο το Alternative Hydro



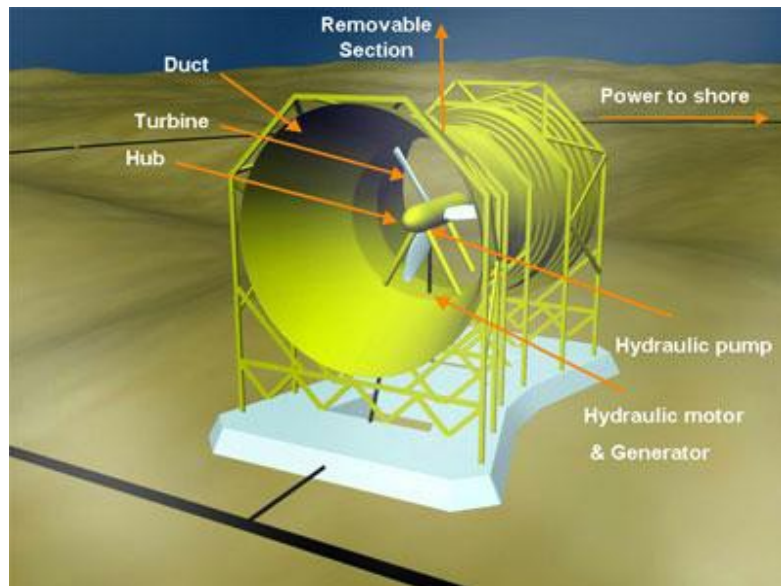
Ελικοειδή πτερύγιο Gorlon απο το Lucid Energy



Περιστροφικό απο το Πανεπ. Washington

Σχήμα 4.2 : Δείγμα διαφορετικών τύπων και δομών λειτουργίας υδροκίνητων γεννητριών από διάφορους φορείς και κέντρα ερευνών-δοκιμών.

Επίσης σκόπιμο είναι να δούμε και μια εικόνα από το κέντρο ερευνών Lunar Energy σχετικά με την μετατροπή κινητικής ενέργειας υδάτων σε ηλεκτρική :



Εικόνα 4.1.1

Αυτό που στην ουσία μας βοηθά αυτή η εικόνα είναι στο να κατανοήσουμε τα στάδια μετατροπής μιας μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Δειγματίζεται μια υδροκίνητη τουρμπίνα που εκμεταλλεύεται βίαια κινούμενα ρεύματα νερού, παράγει ηλεκτρική ισχύ την οποία στέλνει στην επιφάνεια.

Πολλές καινοτόμες κατασκευές σε υδρογεννήτριες οριζόντιας διάταξης άξονα έχουν προταθεί και εφαρμοστεί, με κάθε μια κατασκευή να αντιδρά διαφορετικά με την ροή των υδάτων. Το μέγεθος παραγωγής ισχύος κυμαίνεται από 100Kw – 1Mw.

Οι κατασκευές αυτές για τεχνικούς λόγους είναι στιβαρές και αρκετά ογκώδεις αλλά παρολαυτά ιδιαίτερα αποτελεσματικές με την συντήρησή τους να έχει απλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό.

Αναφορικά με τους διάφορους τύπος υδροκίνητων γεννητριών ας δούμε κάποιους από αυτούς παρακάτω.

3.3.1 Τυπικό πλάνο κατασκευής από Verdant Power.

Γνωστό και ως σύστημα ‘Free Flow’ αυτή η κατασκευή εκμεταλλεύεται την ενέργεια ορμητικών ρευμάτων νερού στην περιοχή East River, NY. Ανήκει στην κατηγορία οριζόντιου άξονα 3 πτερυγίων υδροκίνητης τουρμπογεννήτριας με διάμετρο ρότορα 5μ και παθητικό περιστροφικό μηχανισμό.

Τα πτερύγια περιστρέφονται με έναν αργό αλλά σταθερό ρυθμό 40 (rpm), με ταχύτητα 35ft/sec (12m/s) .

Η εκτιμώμενη παραγωγή ισχύος αυτής της κατασκευής είναι 100-500 MW. Το σύστημα αυτό έχει βαθμό απόδοσης 38% - 44% με ταχύτητα νερού 7 ft/s. Συνδέεται με ένα υπόγειο σύστημα χαμηλής τάσης τροφοδοσίας που παρέχει ισχύ σε κοντινή απόσταση κέντρο ελέγχου. Το συγκεκριμένο αυτό Σύστημα υδρογεννήτριας βρίσκεται σε διαδικασία έγκρισης από τον οργανισμό FERC για ελεύθερη

νόμιμη παραγωγή. Ακόμα περισσότερες κατασκευές από το Verdant Power αλλά και το NYSERDA έχουν υιοθετήσει αυτό το πλάνο στο ανατολικό κανάλι του East River της Νέας Υόρκης. Προτεραιότητά τους είναι να συνεχίσουν τις δοκιμές αυτής της τεχνολογίας για την καλύτερη εξασφάλιση αξιοπιστίας, χαμηλού κόστους και περιβαλλοντικό όφελος.

3.3.2 Σύστημα Lunar Energy (U.S – D.O.E).

Το σύστημα αυτό δομείται από πολλαπλά πτερύγια, οριζόντιας διάταξης άξονα και χαρακτηρίζεται ως υδροκίνητη τούρμπο-γεννήτρια. Είναι γνωστό ως Περιστροφική Υδραυλική Τουρμπίνα (Rotate Tidal Turbine RTT). Η τουρμπίνα αυτή έχει έναν αγωγό περιμετρικά των πτερυγίων που με μία πλήρως εσωτερική διάταξη συγκεντρώνει όλη την ενέργεια που παράγεται. Η μονωμένη κατασκευή αυτή συντελεί να πραγματοποιηθεί η επίδραση ‘Venturi’ αυξάνοντας την ενέργεια που παρέχεται στην τουρμπίνα. Το σύστημα έχει μια έξοδο ισχύος 1Mw. Το σύστημα προτείνεται για χρήση σε περιοχές όπου η ορμή των υδάτων είναι προβλέψιμη ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη δυνατή ροή.

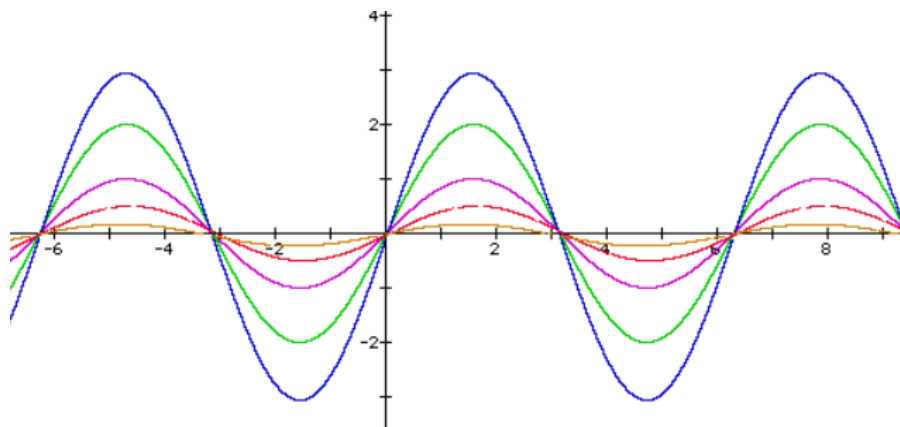
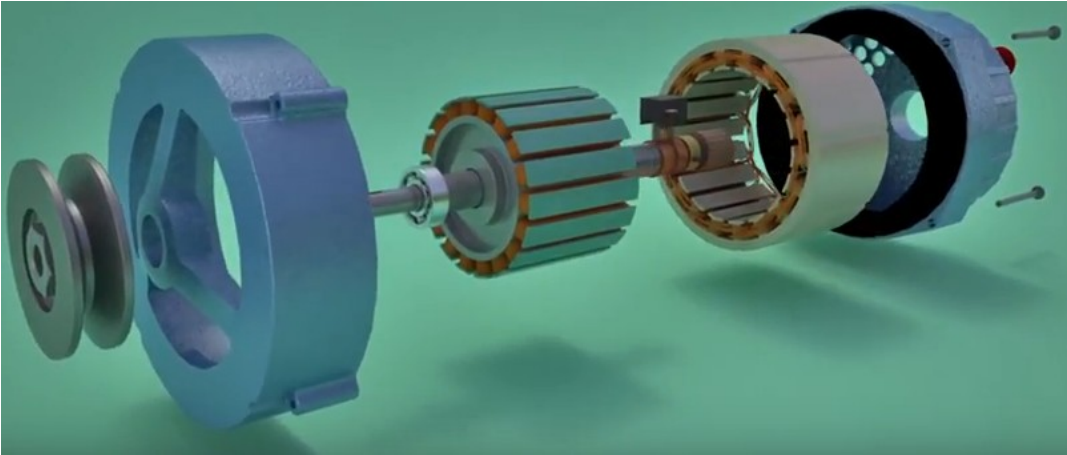
3.3.3 Κέντρο ερευνών Free Flow Technology (FFPT).

Αυτή η εταιρία αναπτύσσει ένα μονωμένο και ολοκληρωμένο σύστημα τούρμπο-γεννήτριας με όνομα Smart Turbine Generator. Το πιο πρόσφατο έργο της εγκαταστάθηκε στον ποταμό Μισισσιπή. Αποτελεί μια κατασκευή γεννήτρια άμεσης κίνησης μόνιμου μαγνήτη, σχεδιασμένη να λειτουργεί σε ένα μεγάλο εύρος έντασης υδάτων. Τα πτερύγια έχουν διάμετρο 3μ ενώ πτερύγια με 1,4μ διάμετρο βρίσκονται υπό δοκιμές. Εικοσιπέντε κατασκευές αυτού του τύπου έχουν εγκατασταθεί στον μισισσιπή μέχρι στιγμής μετρώντας 3.303Mw και 43 κατασκευές ακόμα εν αναμονή τοποθέτησης οι οποίες υπολογίζεται ότι θα προσθέσουν 5371Mw επιπλέον.

Σε αυτό το σημείο σκόπιμο είναι να αναφέρουμε ότι η μέση κατανάλωση ρεύματος ενός νοικοκυριού είναι 14Mw **ετησίως**.

Κεφάλαιο 4

Εξομοίωση Μηχανής



4.1 Καταργώντας το κιβώτιο ταχυτήτων

Μηχανική δύναμη από την τουρμπίνα μεταφέρεται στην ηλεκτρική γεννήτρια μέσω κινητήρα. Αυτός ο κινητήρας αποτελείται από έναν χαμηλής ταχύτητας άξονα, ένα κιβώτιο ταχυτήτων, και ένα υψηλής ταχύτητας άξονα. Η γεννήτρια συνδέεται με τον άξονα υψηλής ταχύτητας στρέψης. Το κιβώτιο ταχυτήτων έχει σαν λειτουργία να ρυθμίζει την ταχύτητα μέχρι και 10 φορές χαμηλότερα ή υψηλότερα ώστε η γεννήτρια να λειτουργεί στον ρυθμό που πρέπει. Πολλοί παράγοντες συντελούν στον πότε θα χρησιμοποιείται το κιβώτιο ταχυτήτων όπως είναι αξιοπιστία, απώλειες, ο τύπος της γεννήτριας (άμεσης κίνησης ή όχι), διαθέσιμος χώρος, ποσοστό συνολικού προϋπολογισμού (που διατίθεται για το κιβώτιο ταχυτήτων) και άλλοι ακόμα.

Τα κιβώτια ταχυτήτων για τις τούρμπο-γεννήτριες κλάσης Kw αλλά και Mw είναι συνήθως ογκώδη και υψηλού κόστους. Επίσης συχνά βρίσκονται να αποτελούν το πιο ευαίσθητο εξάρτημα του κινητήρα και επιπλέον όταν το μέγεθος ισχύος του συστήματος κινείται κάτω από την κλάση των Kw, το κιβώτιο ταχυτήτων καταργείται και την θέση του παίρνει άμεση ζεύξη.

Οι σημερινές τουρμπίνες (με ταχύτητες) είναι σχεδιασμένες με ένα μονό σφαιρικό σύστημα ταχυτήτων και δύο παράλληλους άξονες ελικοειδών ταχυτήτων. Τα προηγούμενα μοντέλα αποτελούνταν από ταχύτητες σπιρουινών, ταχύτητες γραναζιών υπό κλίση καθώς και αποσπώμενων ταχυτήτων. Αυτοί οι τύποι ταχυτήτων αναφέρονται με φθίνουσα σειρά προτίμησης βάση του ρόλου και των τριβών κατά την λειτουργία τους.

Διάφοροι τύποι λίπανσης χρησιμοποιούνται ώστε να εξασφαλίζεται ομαλότερη λειτουργία και λιγότερες απώλειες εξαρτημάτων. Η **Continuously Variable Transmissions (CVT)**) και η **Magnetic Bearings** είναι οι ενεργοί ανταγωνιστές συμβατικών ταχυτήτων. Κάθε μια εταιρία από αυτές παρέχει εκπληκτική ευελιξία στις αναλογίες ταχυτήτων. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος έχουν επιτύχει μαζική παραγωγή τα τελευταία χρόνια και ενώ και οι δύο αποτελούν εξελισσόμενες τεχνολογίες και πολλά υποσχόμενες μελλοντικά, η CVT δεν μπορεί να χειριστεί υψηλές ταχύτητες στρέψης και η Magnetic bearings δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις υψηλές απαιτήσεις της μαγνητικής τεχνολογίας. Επίσης και οι δύο στερούνται μεθόδων άμεσης κίνησης και διαχωρισμού ροπής που παρέχουν υψηλότερες επιδόσεις και αξιοπιστία.

Οι βλάβες στις ταχύτητες δεν συμβαίνουν πάντα εξαιτίας κάποιου ανθρώπινου λάθους ή στον σχεδιασμό κάποιου ‘δοντιού’ σε γρανάτζι.



Εικόνα 4.1: Ρήγμα σε δόντια γραναζιού από κιβώτιο ταχυτήτων γεννήτριας

Επίσης δεν σχεδιάζονται ούτε κατασκευάζονται από συγκεκριμένη εταιρία. Οι βλάβες εξαιτίας αυτών των παραγόντων εξάλλου αποτελούν μόνο το 10% των συνολικών βλαβών. Η πλειοψηφία των βλαβών συμβαίνει λόγω αστοχίας των ρουλεμάν. Τα ρουλεμάν αποτελούν μεγάλο πρόβλημα στις εταιρίες κατασκευαστών. Καταπονούνται περισσότερο από κάθε άλλο εξάρτημα, βρίσκονται υπό συνεχή κίνηση και καταπόνηση από τις τουρμπίνες. Αυτές οι συνθήκες έχουν σαν συνέπεια την ρήξη αυτών και κατ'επέκταση την δυσλειτουργία-βλάβη κάποιου μηχανισμού.

Εκτεταμένες προτάσεις για την αποφυγή τέτοιων βλαβών έχουν προταθεί. Ενδεχομένως μέρος αυτών των μηχανικών βλαβών να είναι αναπόφευκτο να συμβεί, ακόμα και οι αποδοτικότερες κατασκευές έχουν κάποιο χρόνο ζωής. Επιπρόσθετα η ανάγκη για εύκολη συντήρηση θα συνεχίσει να προσδοκάται αφού τόσο το μέγεθος των πτερυγίων όσο και των κιβωτίων ταχυτήτων αυξάνεται αφού όσο μεγαλύτερη ροπή αναπτύσσεται τόσο μεγαλύτερο κιβώτιο απαιτείται. Επίσης το κιβώτιο θα έπρεπε να αφαιρεθεί ολοκληρωτικά από το σύστημα. Κάνοντας κάτι τέτοιο θα μειωνόταν σημαντικά το βάρος της τουρμπίνας. Το κόστος αγοράς αλλά και συντήρησης θα ήταν μακράν μικρότερο. Στις μέρες μας ανεμογεννήτριες άμεσης κίνησης χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων είναι διαθέσιμες στο εμπόριο σε πολλές χώρες της Ευρώπης. Αυτές οι γεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλές στροφές μεταξύ 12 – 30 σ.α.λ (rpm).

Χαμηλής ισχύος γεννήτριες αποφέρει μικρότερες απώλειες σε ηλεκτρικά-μηχανικά μέρη ή στο στο κιβώτιο ταχυτήτων κατά την διάρκεια μετατροπής ενεργειών. Η ισχύς που παρέχεται σαν είσοδο στην γεννήτρια υπολογίζεται εξαλείφοντας τις μηχανικές απώλειες της τούρμπο-γεννήτριας από την ισχύ της εισόδου της. Η σχέση για να βρούμε τις απώλειες σε ένα κιβώτιο ταχυτήτων για μια γεννήτρια αιολικής ή υδραυλικής χρήσης είναι η εξής :

$$P_{gear} = \frac{P_{gear_m}}{N} N_{actual} \quad (4.1)$$

Οι απώλειες των ταχυτήτων κυμαίνονται περίπου 3% - 5% της ισχύος της γεννήτριας. Απώλεια της τάξεως 500 watt θεωρείται υψηλή για μια γεννήτρια ισχύος των 10 KW για παράδειγμα. Επίσης αυτό το στάδιο πρέπει να εξαλειφθεί αποτελεσματικά. Παράλληλα τα καινούργια συστήματα πρέπει να βελτιωθούν στην άμεση ζεύξη γεννήτριας και πτερυγίων. Κάνοντας κάτι τέτοιο θα μειωνόταν ο αριθμός των ενεργών αλλά και των κινούμενων εξαρτημάτων, εξαλείφοντας έτσι τις απώλειες και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα μέχρι και κατά 96% σε μηχανές κλάσης kw. Τα μεγέθη αποτελεσματικότητας μπορούν να συγκριθούν με αυτά μίας συμβατικής γεννήτριας (τεχνολογίας με κιβώτιο ταχυτήτων) όταν αποφασίζεται αν θα χρησιμοποιηθεί κιβώτιο ή όχι. Αυτό το σύστημα χωρίς κιβώτιο μερικές φορές ονομάζεται άμεσης κίνησης PMSG (direct drive PMSG) και αποδίδει την μέγιστη ισχύ στην έξοδο. Η μέθοδος άμεσης ζεύξης παρολαυτά κοστίζει καθιστώντας το συνολικό σύστημα σχετικά ακριβό. Το ουσιαστικό όφελος λοιπόν μη χρήσης κιβωτίου ταχυτήτων δεν είναι άμεσα οικονομικό αλλά έμμεσα αφού μια γεννήτρια άμεσης κίνησης έχει λιγότερες απώλειες, μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, χαμηλότερο κόστος συντήρησης, λιγότερες βλάβες και μικρότερο βάρος.

4.2 Εξομοίωση Μηχανής

Από την στιγμή που θα σχεδιαστεί η μηχανή και πριν συναρμολογηθεί, πρέπει να δοκιμαστεί και να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση καθώς και να ερευνηθεί ο θερμικός και μαγνητικός κορεσμός αυτής. Αυτές οι δοκιμές επιτυγχάνονται με την βοήθεια του λογισμικού ANSYS – RMXprt και Maxwell 2D. Συνεπώς η επεξεργασία του σχεδιασμού της μηχανής είναι επαναλαμβανόμενη. Τα πλεονεκτήματα χρήσης των προαναφερθέντων λογισμικών και μεθόδων δοκιμών αναφέρονται στην παρακάτω ενότητα.

4.2.1 Εξομοίωση στο RMXprt

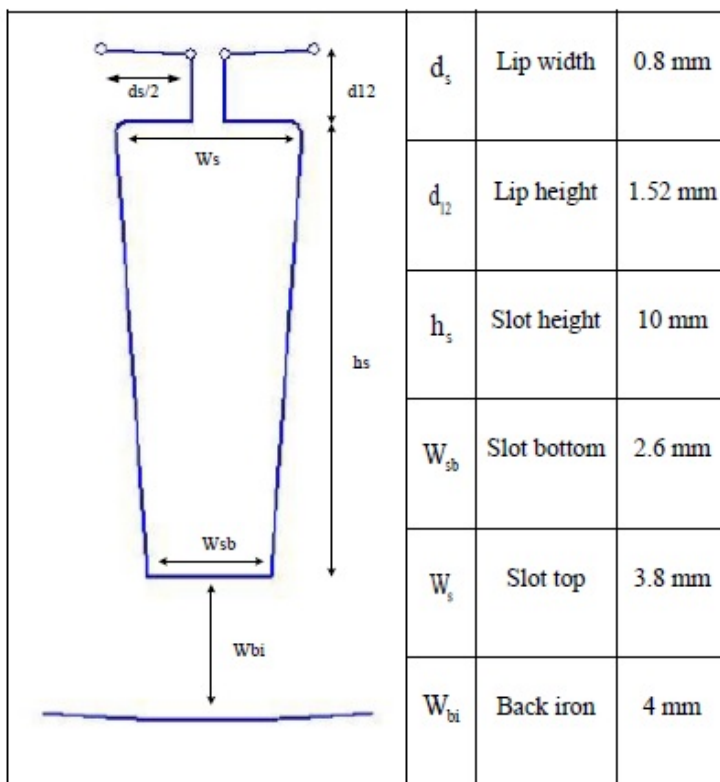
Αρχικά το RMXprt (Rotation Machine Expert) είναι ένα διαδραστικό λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση ηλεκτρικών μηχανών. Αποτελεί έναν πρακτικό τρόπο για υλοποιηθεί γρηγορότερα ο σχεδιασμός της μηχανής και να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση περιστροφής κάθε κατασκευής. Διαθέτει μια πλατφόρμα επεξεργασίας και εξομοίωσης και είναι εύκολο να δομηθεί η μηχανή γρήγορα. Η πλατφόρμα γραφημάτων (GUI) μπορεί να χειριστεί εύκολα, παρέχει δυνατότητα αλλαγών στις μηχανικές παραμέτρους και προβολή των αντίστοιχων επιδράσεων άμεσα. Αυτό παρέχει την δυνατότητα για αλληπάλληλες εξομοιώσεις και είναι πολύ χρήσιμο στο να καθοριστεί το μέγεθος και η διάρκεια υψηλής απόδοσης της μηχανής.

Η βιβλιοθήκη του RMX περιέχει πολλούς τύπους περιστροφικών μηχανών εγκατεστημένους διαθέσιμους για εξομοίωση. Δεν αναφέρει μόνο τα μοντέλα μηχανών αλλά περιλαμβάνει ηλεκτρική ισχύ και κυκλώματα ελέγχου που ενδεχομένως να τις συνοδεύουν. Αυτό επίσης δίνει την δυνατότητα στην προσθήκη άλλων επιθυμητών κυκλωμάτων και επεξεργασίας αυτών. Από την στιγμή που τα γραφήματα απόδοσης εγκριθούν για ικανοποιητική απόδοση, ο ίδιος σχεδιασμός μπορεί να φορτωθεί στο Maxwell 2D για αναλυθούν τα ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας Finite Element Analysis (FEA). Το RMX καθιστά τόσο απλό το περιβάλλον εξομοίωσης που έχει επιλεγεί να εξομοιώνει τις μηχανές DC χωρίς ψήκτρες που σχεδιάζονται σε αυτό το πλάνο. Το περιβάλλον του RMX παρέχει πολλές δυνατότητες και παρέχει πληθώρα επιλογών. Ένα παράδειγμα χρήσης αυτού θα αναφερθεί παρακάτω με σκοπό την κατανόηση των λειτουργιών του. Επιλεγμένη σχεδίαση είναι μια γεννήτρια 12 πόλων dc χωρίς ψύκτρες με ταχύτητα λειτουργίας 240 rpm, ταχύτητα περιστροφής του άξονα υδρογεννήτριας. Ένα κύκλωμα σύνδεσης Αστέρα Υ με μία τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα χρειάζεται για μετατροπή AC σε DC. Επίσης επιλέγεται ένα DC κύκλωμα ελέγχου. Όλα τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται και η προσέγγιση ελέγχου ορίζεται ως 0 μοίρες γωνίας και 120 μοίρες διέγερση παλμού. Κατόπιν στα στοιχεία του στάτη ορίζονται οι μηχανικές διαστάσεις και ο αριθμός των πόλων. Επιλέγεται ο τύπος του υλικού με χαρακτηριστικά ποιότητας ατσαλιού και άλλα χαρακτηριστικά. Το M19 ατσάλι είναι ένας τύπος υψηλής ποιότητας μετάλλου με διαμέτρημα πάχους 24. Γνωστό και ως ηλεκτρικό ατσάλι αποτελεί τον τύπου ατσαλιού με την μεγαλύτερη χρήση σε κινητά μέρη ελέγχου.

Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι σε αυτό τιο σημείο είναι η επιλογή του τύπου των αυλακώσεων.

Μπορεί να επιλεγεί κάποιος τύπος έτοιμος ή σχεδιασμός νέου τύπου με εισαγόμενες διαστάσεις, κλίσεις γωνιών και όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν για τις αυλακώσεις σε προηγούμενο μέρος.

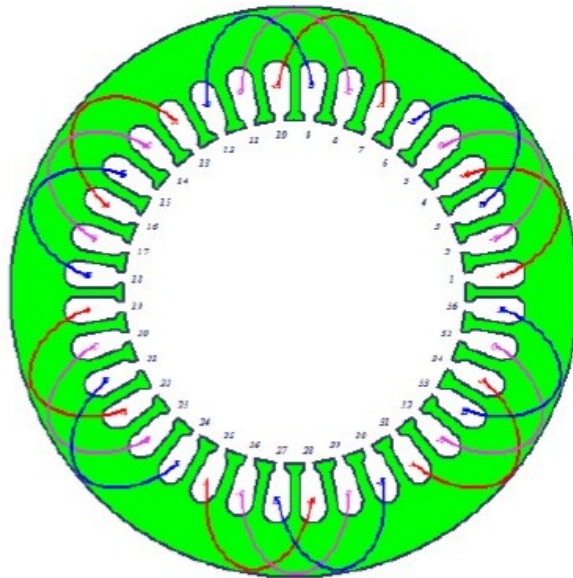
Μέχρι στιγμής το RMX θα είχε εκπληρώσει τον σχεδιασμό του στάτη βασισμένο στα χαρακτηριστικά που του δώσαμε. Απαραίτητη είναι μια χειροκίνητη σύνδεση όλων των πηνίων και κατόπιν μπορούμε να δείξουμε το διάγραμμα που θα προβληθεί.



Σχήμα 4.1.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυλακώσεων και ονοματολογία

Στην καρτέλα για τον σχεδιασμό του ρότορα οι αντίστοιχες διαστάσεις εισάγονται. Το υλικό κατασκευής για τον ρότορα είναι το ίδιο ασάλι. Οι πόλοι του ρότορα καθορίζουν τους μαγνήτες στον ρότορα. Υπάρχουν πολλών ειδών σχημάτων για τους πόλους βασισμένα στον τύπο εφαρμογής της γεννήτριας. Ένας απλός ακτινικός πόλος θα εξυπηρετούσε ιδανικά τις μηχανές dc χωρίς ψήκτρες.

Στην συνέχεια καλό θα ήταν να δούμε και τον σχεδιασμό του ρότορα και του στάτη όπως απεικονίζεται στην πλατφόρμα κατασκευής.

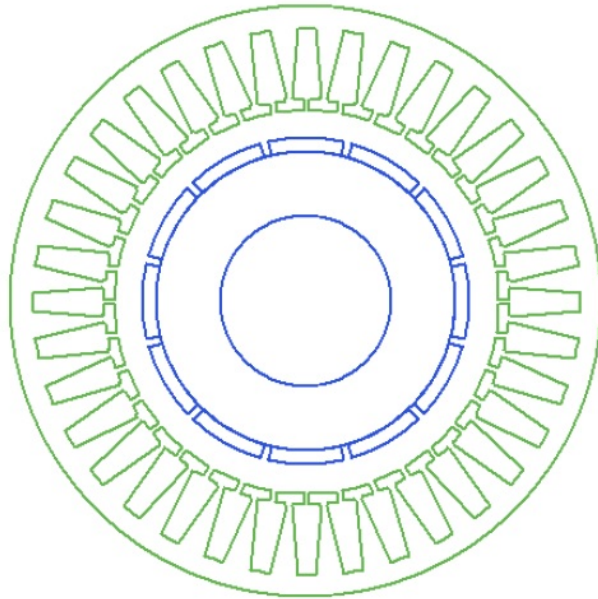


Σχήμα 4.2: 3 φασικού τύπου στάτης με σχεδίαση και των χάλκινων σπειρών.

Η αρχική ανάλυση εισάγεται για χαρακτηριστικά που φαίνονται παρακάτω.

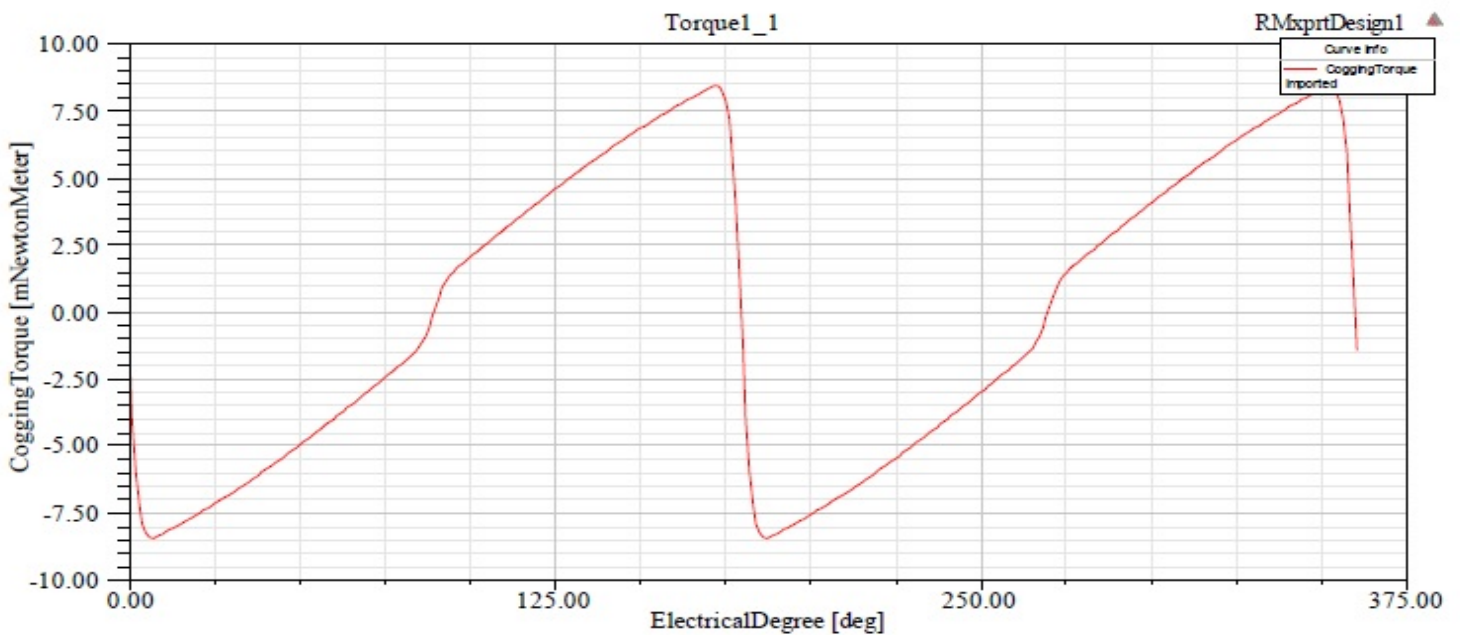
Rated Output	10 W
Rated Voltage	24 V
Rated Speed	240 rpm
Operating Temperature	75° C
Load type	Constant Speed

Πίνακας 4.1.1 : Χαρακτηριστικά ισχύος μηχανής



Σχήμα 4.3 : Απεικόνιση του σχεδιασμού του στάτη και του ρότορα μέσω RMXprt.

Παρακάτω θα δείξουμε και την καμπύλη ροπής που παρατηρείται εξομοιώνοντας την σχεδιασμένη BLDC.



Σχήμα 4.4 : Καμπύλη παραγόμενης ροπής ρότορα.

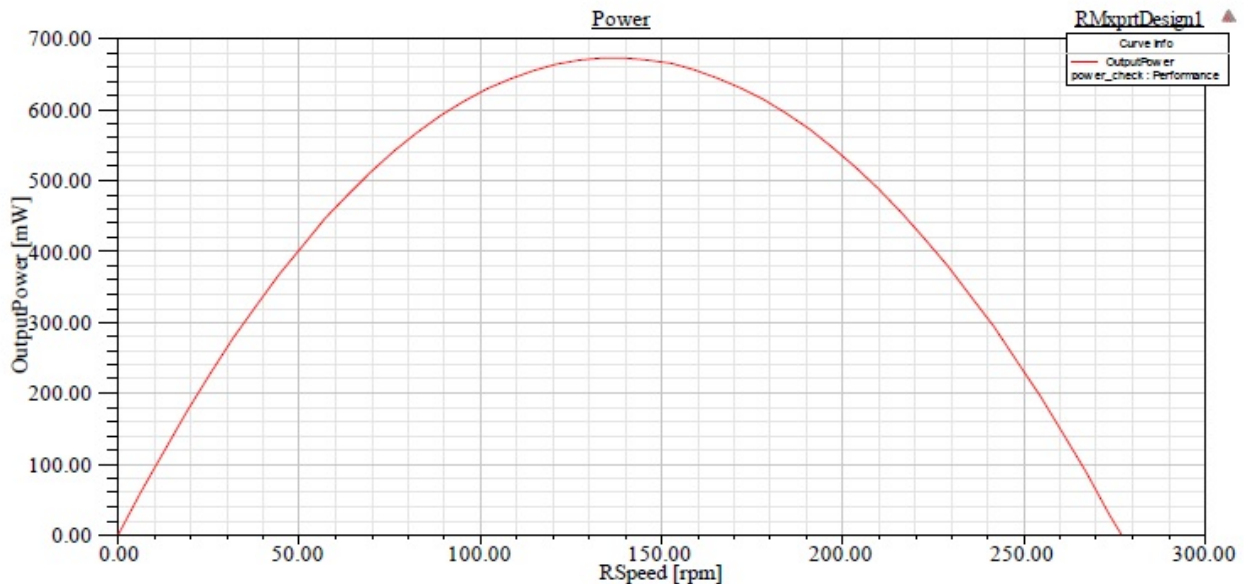
Σε αυτό το σημείο δεν θα γίνει πιο λεπτομερή αναφορά στις πλατφόρμες σχεδιασμού, καθώς εκτιμώ ότι αναφέρθηκαν επαρκώς τα σημαντικά μέρη της διαδικασίας αυτής. Σκοπός αυτής της αναφοράς ήταν να κατανοήσουμε την θεμέλια γεωμετρική βάση όλων αυτών των μερών μιας

μηχανής-γεννήτριας που αποτελούν τον πυρήνα όλων αυτών των μηχανών που ακούμε για χρόνια στην καθημερινότητά μας αλλά και στα πανεπιστημιακά πλαίσια αναφοράς αυτών.

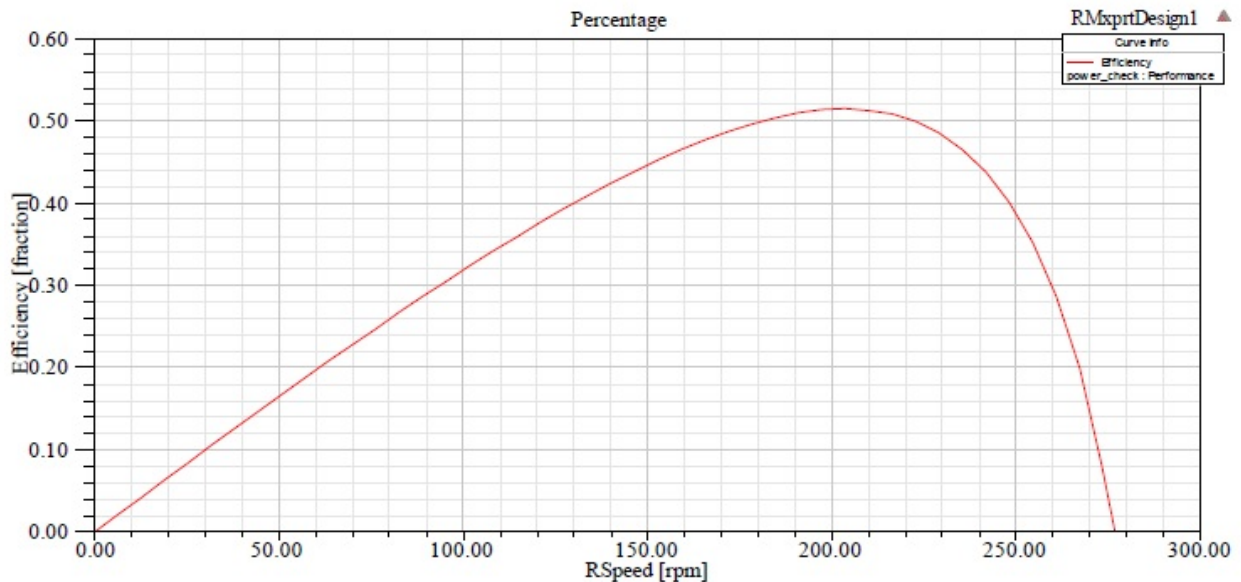
Συνεχίζοντας την αναφορά μας στο κομμάτι σχεδιασμού των πόλων παραπάνω 3.2.1, η ροπή γραναζιών προκαλεί τεράστια προβλήματα αν παραμεληθεί. Για να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης σε τιμές, η ροπή που παράγεται από την τουρμπίνα δίνεται από την σχέση:

$$\tau = F \times r = 0.12 Nm \quad (4.2)$$

Η ροπή γραναζιών θα πρέπει να βρίσκεται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από αυτή την τιμή σε μία γεννήτρια ώστε να περιστρέφεται ομαλά και χωρίς δυσλειτουργίες. Παρακάτω θα δείξουμε κάποια γραφήματα απόδοσης για τις γεννήτριες χαμηλών στροφών από πραγματικές μετρήσεις σε εργαστήρια δοκιμών.



Σχήμα 4.5: Παραγόμενη καμπύλη ισχύος μιας BLDC (brushless dc) μηχανής-γεννήτριας

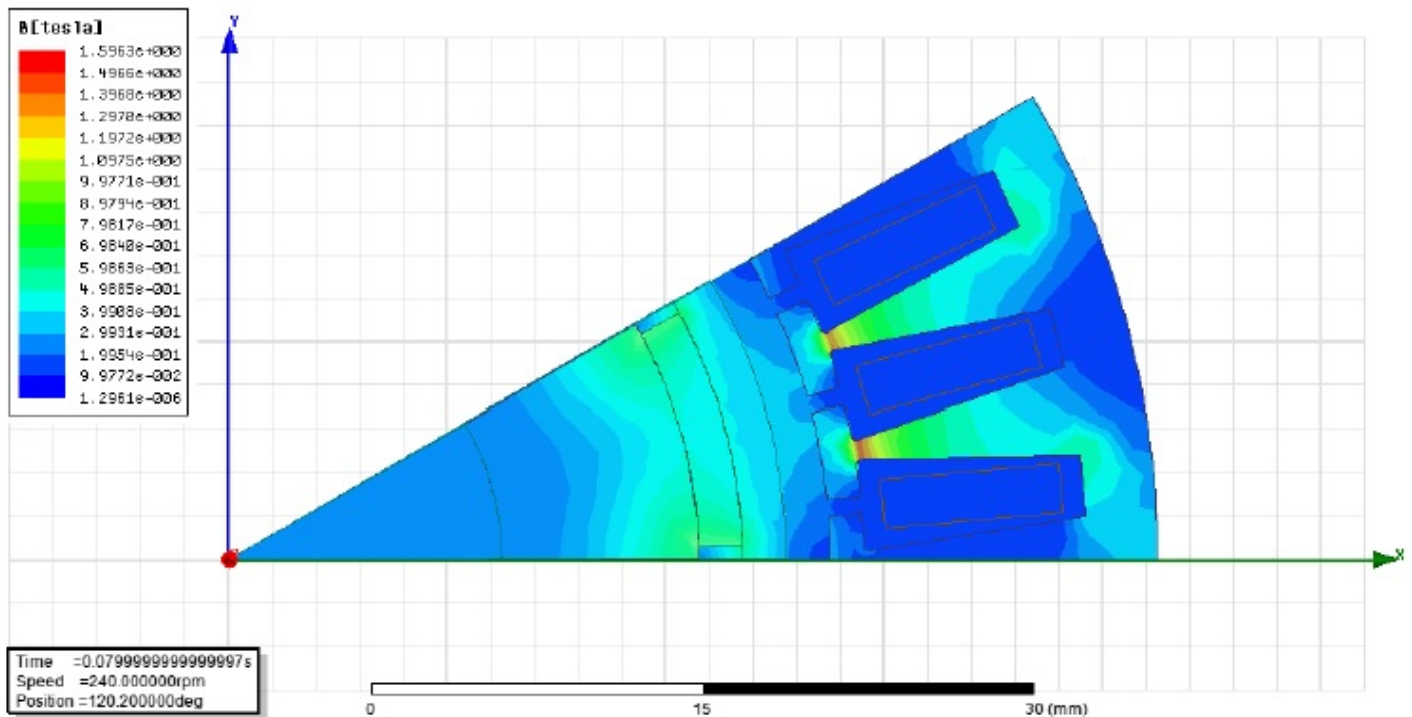


Σχήμα 4.6: Παραγόμενη καμπύλη απόδοσης για την BLDC μηχανή.

Σκοπός αυτών των γραφημάτων είναι να παρατηρήσουμε ότι σαν μέγιστη τιμή το ποσοστό του βαθμού απόδοσης φτάνει μόνο το 50% και αυτό οφείλεται σαφώς στις χαμηλές στροφές λειτουργίας της εξεταζόμενης γεννήτριας. Πλέον δεν υπάρχουν πολλές εταιρίες που να παράγουν τέτοιες γεννήτριες συστηματικά.

Καθώς η κυματομορφή της τάσης και του ρεύματος παρατηρηθούν και η μηχανή είναι έτοιμη να δουλέψει απο ηλεκτρικής άποψης, απο μαγνητικής άποψης πρέπει να αποδειχθεί έτοιμη. Για αυτό τον λόγο το μοντέλο υπόκειται στην μελέτη του Maxwell 2D το οποίο έχει αρκετά εργαλεία επίλυσης θεμάτων λειτουργίας όπως ‘ηλεκτροστατική’ και ‘μαγνητοστατική’. Η ηλεκτροστατική χρησιμοποιείται για να αντιληφθούμε στατικά ηλεκτρικά πεδία και η μαγνητοστατική χρησιμοποιείται για να παρατηρήσουμε στατικά μαγνητικά πεδία μέσα στην μηχανή. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να παρατηρήσουμε και να αναλύσουμε τα μαγνητικά πεδία, την ενέργεια, την ροή και πολλές άλλες παραμέτρους της μηχανής σε διάφορα βήματα. Αυτή η δυνατότητα ονομάζεται ‘μεταβατικότητα’.

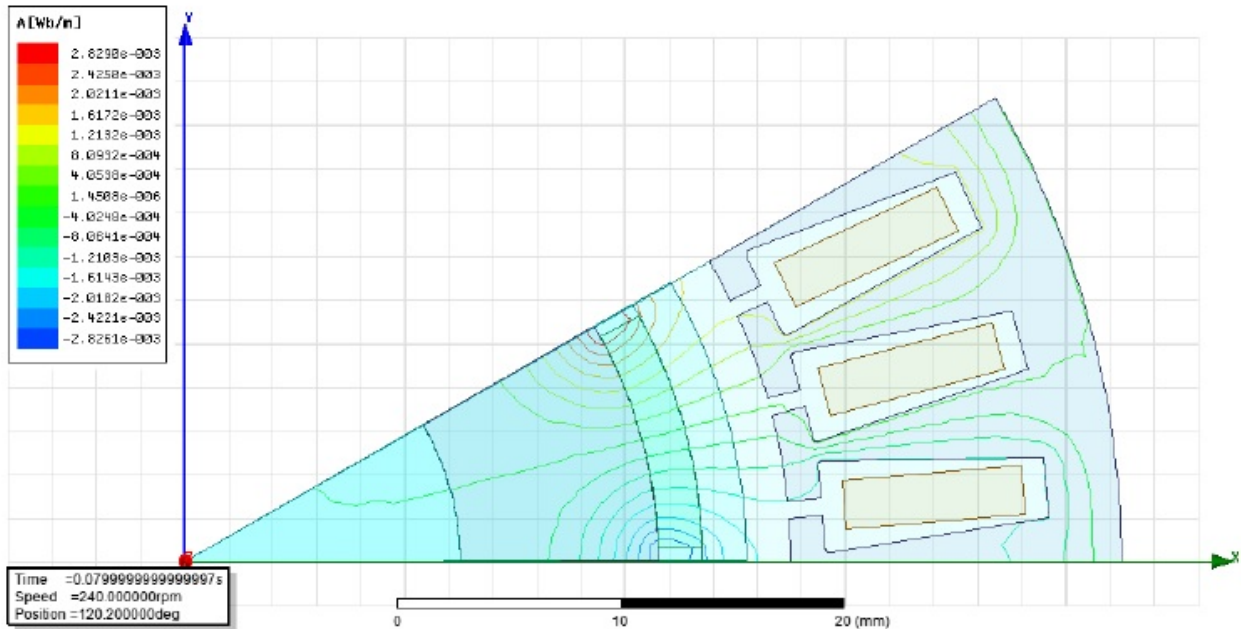
Σε αυτή την εργασία εκτός από το να γνωρίσουμε την γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη ενδιαφέρομαι και να παρουσιάσω και την συμπεριφορά αυτής σε πραγματικό χρόνο κάτω από συνθήκες λειτουργίας. Όπως αναφέρθηκε και και στο κεφάλαιο 2.2, αν το πίσω μέρος του σιδήρου σχεδιαστεί σωστά, παρέχει επαρκή διαδρομή για την ροή που παράγεται από τους μαγνήτες για να μεταδοθεί στα γρανάζια και να ρεύσει μέσω του πίσω μέρος σιδήρου γύρω από τις αυλακώσεις. Διαφορετικά η ροή θα συγκεντρωθεί μέσα στο αυλάκι και θα προκαλέσει φθορά. Αξίζει να παρατηρήσουμε παρακάτω.



Σχήμα 4.7: Αναπτυσσόμενη μαγνητική ροή (πυκνότητα) ενός πόλου της γεννήτριας

Βλέπουμε την συσσώρευση μέσα στις αυλακώσεις και πόσο σημαντική είναι η παρατήρηση της. Σε προηγούμενα σημεία αυτή η συσσώρευση αναφέρθηκε και ως κορεσμός ή φθορά. Έχοντας υπόψιν την πολυπλοκότητα της δομής και την λεπτομέρεια για μια μακρά εξομοίωση, εξετάζεται μόνο για 80ms με 0.4ms βήμα. Επίσης εκμεταλλευόμενοι την συμμετρία της περιστρεφόμενης μηχανής, η ανάλυση και τα αποτελέσματα ενός πόλου της μηχανής μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά για όλη την μηχανή. Παρατηρείται ότι η περιοχή κάθε δοντιού περιέχει μια ροή της τάξεως 1.3T. Αυτό μπορεί να είναι εξαιρετικά επιβλαβές για τον πυρήνα του στάτη. Αλλά αυτό είναι μόνο ένα στιγμιότυπο ενός βήματος. Μπορεί να παρατηρηθεί στο γράφημα ‘μεταβατικότητας’ ότι η ροή κατανέμεται ομοιόμορφα και ο πυρήνας του στάτη δεν καταπονείται.

Στην παρακάτω εικόνα θα δούμε την κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου ενός πόλου της μηχανής και πάλι. Σημειώνεται ότι η τιμή είναι λίγο υψηλότερη στα 1.2×10^{-3} Wb/m αλλά είναι αποδεκτή.



Σχήμα 4.8 : Καμπύλες ηλεκτρικού πεδίου για έναν πόλο της Σύγχρονης γεννήτριας μόνιμου μαγνήτη

4.3 Συναρμολόγηση Υλικών Μερών

Το κατασκευαστικό γνώρισμα των ΣΓΜΜ είναι ένα μεγάλης διαμέτρου πρόσοψη και μεγάλου μήκους. Το μήκος μιας ΣΓΜΜ εξαρτάται στην ισχύ που απαιτείται να παραχθεί αφού αυξάνοντας τον αριθμό των μαγνητών στον ρότορα οδηγεί σε υψηλότερη ροή μετάδοσης και έτσι προκαλείται μεγαλύτερη τάση. Στην παρούσα κατασκευή μελέτης η προσθήκη μαγνητών δεν οδηγεί σε σημαντική αύξηση ισχύος όπως φαίνεται στην εξομοίωση του RMXprt, το μήκος περιορίζεται στις παραπάνω τιμές.

Σύγκριση επαγωγικού κινητήρα και σύγχρονης γεννήτριας μόνιμου μαγνήτη.

Ένα σύστημα μετατροπής αιολικής ενέργειας έχει την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σαν πηγή ενέργειας. Πολλές τεχνικές και μέθοδοι έχουν βελτιωθεί στην υδραυλική βασιζόμενες στις αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην αιολική. Αυτό συμβαίνει διότι και στις δυο περιπτώσεις το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι το ίδιο και η λογική μετατροπής μίας ενέργειας σε ηλεκτρική είναι παρόμοια. Πολλές βελτιώσεις ή καινοτομίες σε ηλεκτρικές συσκευές κυρίως γεννήτριες μπορούν να εξυπηρετήσουν και τις δυο περιπτώσεις. Οι πιο συχνές επιλογές για την αξιοποίηση της υδραυλικής και την αιολικής ενέργειας είναι οι επαγωγικές γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας, οι επαγωγικές γεννήτριες κλωβού και οι σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη.

Οι επαγωγικές γεννήτριες πιο συχνά χρησιμοποιούνται στην υδραυλική ενέργεια καθώς αποτελούν την πιο στιβαρή και σχετικά οικονομική λύση μετατροπής ενέργειας. Οι γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας είναι επίσης ικανές να παρέχουν ισχύ με σταθερή τιμή τάσης αλλά και συχνότητας. Ταυτόχρονα η ταχύτητα του ρότορα μπορεί να αλλάξει καθιστώντας τις κατάλληλες για τόσο για αιολική όσο και για υδραυλική μετατροπή ενέργειας. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα υψηλής ισχύος για βέλτιστη εκμετάλλευση αυτών των πλεονεκτημάτων. Παρομοίως μετατροπές σε σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για υψηλής αλλά και για χαμηλής ισχύς εφαρμογές.

Είναι απαραίτητη η σύγκριση των δύο τύπων γεννητριών ώστε να γίνει μια μοναδική επιλογή. Επίσης αποτελεσματικότητα και απόδοση μεταξύ επαγωγικών γεννητριών και σ.γ.μ.μ θα αναφερθεί παρακάτω. Επίσης διάφορα χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν υπόψιν (πτώσεις τάσης, σταθερότητα λειτουργίας και απώλειες ισχύος) συγκρίνοντας τους δύο τύπους. Οι Σ.γ.μ.μ κυρίως χρησιμοποιούνται και για μικρής κλίμακας υδραυλικής ενέργειας και για τουρμπίνες αιολικής εφαρμογής λόγω της υψηλής αξιοπιστίας, απλής κατασκευής και χαμηλής στάθμης παραγόμενου ήχου. Παρολαυτά είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η μέθοδος μετατροπής αιολικής και υδραυλικής ενέργειας είναι η ίδια και εξαιρετικά χρήσιμο να καταλάβουμε το γιατί.

Βιβλιογραφία

- [1] Παντελής Μαλατέστας , ‘Ηλεκτρικές Μηχανές’, Εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, 2013
- [2] S.Benelghali, M.E.H Benbouzid, and J.F Charpentier, ‘Comparison of PMSG and DFIG for Marine Current Turbine Applications,’ presentes at International Conference on Electical Macines – ICEM, October 2010.
- [3] X. Yang, J. Hudgins and D. Patterson, ‘ Permanent magnet generator design and control for large water turbines’ presented at Power Electronics and Machines in Water Applications, July 2012
- [4] ‘Marine energy more than a drop in the ocean’ accesed on <http://www.lunarenergy.co.uk/>
- [5] Εξειδικευμένα άρθρα μετατροπής μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ‘<http://www.perkins.com>’
- [6] Διαδουκτιακές ενημερώσεις και έρευνες εταιριών <http://www.abb.com>