

3.6. ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC MACHINES)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι *μηχανές συνεχούς ρεύματος* (ΣΡ) βρήκαν μεγάλο πεδίο εφαρμογής στη βιομηχανία, στην περίοδο μεταξύ 1870 και 1900. Ξεπεράστηκαν στις επόμενες χρονικές περιόδους με την ανάπτυξη της διανομής του εναλλασσόμενου ρεύματος, για να βρουν, πεδία εφαρμογής στις αρχές της δεκαετίας του '60 με την εισαγωγή των συστημάτων ανορθώσεως, τα οποία επιτρέπουν την μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, με οικονομία και ασφάλεια.

Γεννήτριες ΣΡ χρησιμοποιούνται σε κάποιους σταθμούς παραγωγής για την τροφοδότηση της διεγέρσεως των συγχρόνων γεννητριών. Και σ' αυτές τις χρήσεις η τάση είναι οι γεννήτριες ΣΡ να αντικαθίστανται από γεννήτριες ΕΡ απευθείας συνδεδεμένες με συστήματα ανορθώσεως.

Οι κινητήρες ΣΡ βρίσκουν μεγάλα πεδία επαγγελματικών εφαρμογών λόγω της δυνατότητας ρυθμίσεως της ροπής και της ταχύτητας με χαρακτηριστικές, οι οποίες δεν υπάρχουν στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος.

Σήμερα, κατασκευάζονται κινητήρες ΣΡ με ισχύ μεταξύ μερικών δεκάδων W και μερικών MW, με τάσεις μέχρι μερικά kV και ταχύτητα περιστροφής μεταξύ μερικών *Στροφών Ανά Λεπτό* (ΣΑΛ) και από 3.000 έως 4.000 ΣΑΛ.

2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Για τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών απαιτούνται τρία είδη υλικών:

α) ηλεκτρικοί αγωγοί, για τη δίοδο του ρεύματος (κατά κανόνα χάλκινοι, σπανιότερα από αλουμίνιο, ορείχαλκο ή μπρούντζο).

β) μονωτικά υλικά, για την παρεμπόδιση διαρροής του ηλεκτρικού ρεύματος από τους αγωγούς (ελαστικό, συνθετικά υλικά, χαρτί εμποτισμένο σε μονωτικό βερνίκι).

γ) σίδηρος, (σιδηροελάσματα) για την οδήγηση του μαγνητικού πεδίου.

Με άλλα λόγια για να λειτουργήσει μια γεννήτρια πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω βασικές συνθήκες:

1. Να υπάρχει **μαγνητικό πεδίο (B)**.
2. Να υπάρχει **αγωγός** (ή πλαίσιο) εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή, να υπάρχει τύλιγμα στη μηχανή.
3. Να υπάρχει σχετική **κίνηση του αγωγού** (ή πλαισίου) ως προς το μαγνητικό πεδίο ή **του πεδίου ως προς τον αγωγό**.

Αποτέλεσμα των παραπάνω συνθηκών είναι η ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) στα άκρα αυτού του αγωγού (ή πλαισίου).

Αυτή η ΗΕΔ προέρχεται από επαγωγή και είναι ανάλογη:

- της μαγνητικής επαγωγής (B) του ομογενούς μαγνητικού πεδίου,

(σε Tesla ή $1T = 1 \frac{V \cdot s}{m^2}$),

- του μήκους (l) του τμήματος του αγωγού το οποίο βρίσκεται υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου (ενεργό μήκος σε m),

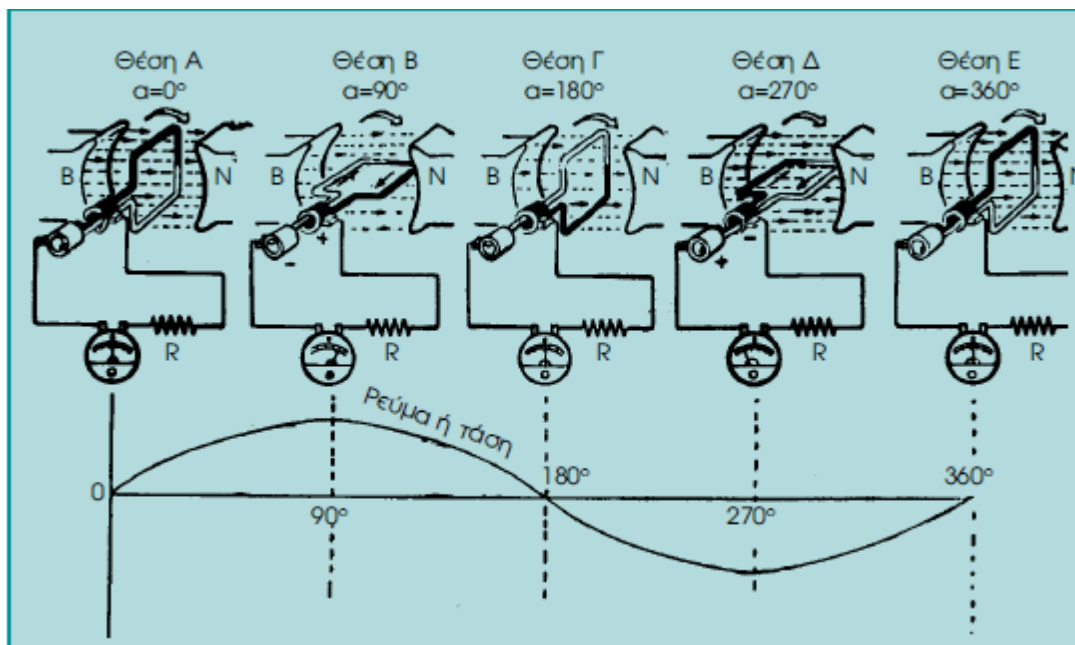
- της ταχύτητας ($v = 2\pi r \cdot n$, όπου n στρ/s) της μεταβολής της κίνησης του αγωγού (σε m/s),

- του ημίτονου της γωνίας (α), η οποία σχηματίζεται μεταξύ των κατευθύνσεων της κίνησης και του μαγνητικού πεδίου.

Η σχέση που δίνει την ΗΕΔ είναι:

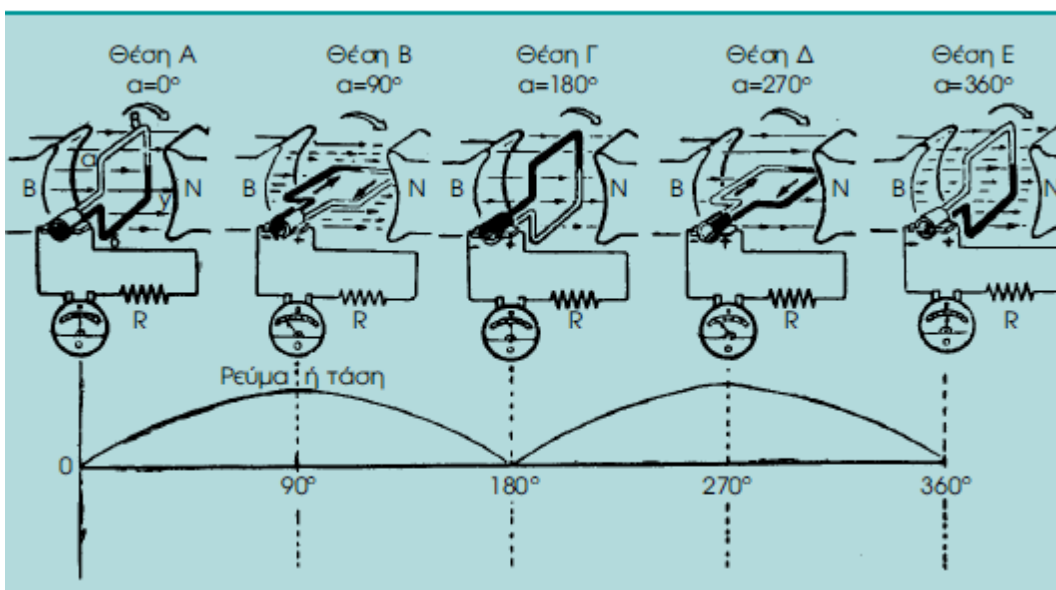
$$E = B \cdot \dot{\phi} \text{ (σε V)}$$

Στο σχήμα 3.6.1. φαίνεται η πορεία και τα στάδια της αναπτυσσόμενης από το πλαίσιο ΗΕΔ καθώς αυτό στρέφεται σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η εναλλασσόμενη μορφή του παραγόμενου ρεύματος.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.1: Πορεία της ανάπτυξης εναλλασσόμενης ΗΕΔ σε πλαίσιο στρεφόμενου μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο

Στο σχήμα 3.6.2. φαίνεται η πορεία και τα στάδια της ανόρθωσης, δηλαδή της μετατροπής του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ., η οποία εκτελείται από τον συλλέκτη.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.2: Ανορθωτική δράση του συλλέκτη

3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται σ' αυτόν από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον κινήσει προς ορισμένη κατεύθυνση.

Η δύναμη αυτή είναι η συνισταμένη των δυνάμεων Laplace, στις οποίες υπόκεινται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία κινούνται μέσα στον αγωγό.

Το μέγεθος της δύναμης αυτής είναι ανάλογο προς:

- α. τη μαγνητική επαγωγή (B) του πεδίου (σε T).
- β. την ένταση του ρεύματος (I), που διαρρέει τον αγωγό (σε A).
- γ. το μήκος του αγωγού (l), ο οποίος βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο (ενεργό μήκος σε m).
- δ. τη γωνία (α), την οποία σχηματίζουν οι διευθύνσεις του αγωγού και του πεδίου.

Το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \eta \mu \alpha \text{ (σε N)}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ:

1.

Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται σε αγωγό κινούμενο εντός ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου με ταχύτητα 20m/s είναι 10V. Να βρεθούν: **α)** Η ΗΕΔ, εάν η μαγνητική επαγωγή του πεδίου αυξηθεί κατά 20% και **β)** η ΗΕΔ, εάν η ταχύτητα του αγωγού μειωθεί κατά 10%.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το μέγεθος της ΗΕΔ, η οποία αναπτύσσεται σε αγωγό κινούμενο εντός ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου, δίνεται από τη σχέση **$E = B \cdot l \cdot u \cdot \eta \mu \alpha$ (σε V)**.

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η ΗΕΔ είναι ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής B του πεδίου, της ταχύτητας κίνησης του αγωγού u, καθώς και του μήκους του αγωγού l.

Έτσι για την αύξηση της B κατά 20% θα έχουμε και αύξηση της ΗΕΔ κατά 20%.

Για μείωση της ταχύτητας u κατά 10% θα έχουμε και μείωση της ΗΕΔ κατά 10%.

Επομένως:

$$\alpha) \frac{E_1}{E_2} = \frac{B_1}{B_2} \quad \text{ή} \quad \frac{10}{E_2} = \frac{B_1}{1,20B_1}, \quad E_2 B_1 = 10 \cdot 1,20B_1, \quad E_2 = 12V$$

$$\beta) \frac{E_1}{E_2} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{ή} \quad \frac{10}{E_2} = \frac{u_1}{0,90 \cdot u_1}, \quad E_2 \cdot u_1 = 10 \cdot 0,90 \cdot u_1, \quad E_2 = 9V$$

2.

Αγωγός μήκους 15cm κινείται με ταχύτητα 4m/s κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ομοιομόρφου μαγνητικού πεδίου επαγωγής 0,8T. Ο αγωγός αποτελεί τμήμα κλειστού κυκλώματος, του οποίου η ωμική αντίσταση είναι 0,6Ω. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται επί του αγωγού και αντιτίθεται στην κίνησή του.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η αναπτυσσόμενη εντός του αγωγού ΗΕΔ είναι: $E=B \cdot \ell \cdot u$ ημα

Εδώ είναι $\alpha=90^\circ$ ή $\eta\mu\alpha=1$ και $\ell=0,15\text{m}$

Άρα: $E=0,8 \cdot 0,15 \cdot 4=0,48\text{V}$

Συνεπώς η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0,48}{0,6} = 0,8\text{A}$$

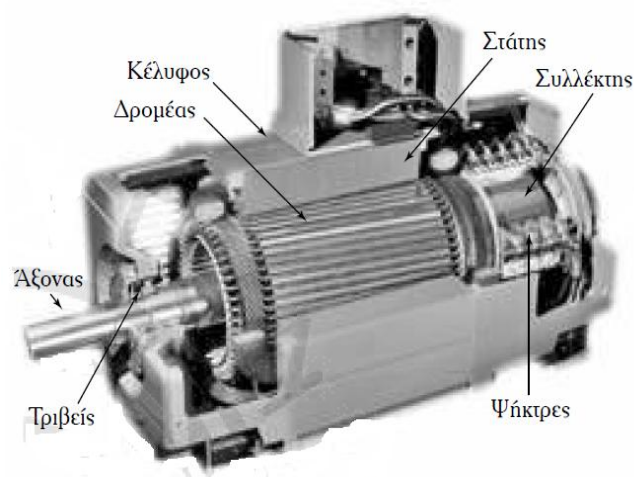
Η ασκούμενη δύναμη επί του αγωγού θα υπολογισθεί από τη σχέση:

$F=B \cdot \ell \cdot I$ ημα

$$F=0,8 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot \eta\mu 90^\circ=0,096\text{N}$$

4. ΔΟΜΗ ΜΗΧΑΝΩΝ Σ.Ρ.

Στο σχήμα 3.6.3 παρουσιάζεται μία μηχανή ΣΡ, τα κύρια μέρη της οποίας είναι ο στάτης, ο δρομέας, ο συλλέκτης και οι ψήκτρες. Αναλυτικότερα:



ΣΧΗΜΑ: 3.6.3: Δομή μηχανής ΣΡ

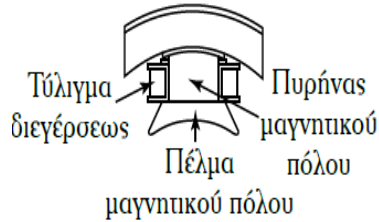
Στάτης.

Στον στάτη, που είναι το ακίνητο μέρος των μηχανών ΣΡ, τοποθετούνται οι κύριοι μαγνητικοί πόλοι, οι οποίοι είναι προεξέχοντες πόλοι (προεξέχουν από την επιφάνεια του στάτη).

Κάθε μαγνητικός πόλος αποτελείται από:

α. Τον **πυρήνα** (σχήμα 3.6.4), ο οποίος κατασκευάζεται από πολλά λεπτά, ειδικά σιδερένια ελάσματα. Στον πυρήνα τοποθετείται το τύλιγμα διεγέρσεως το οποίο διαρρέεται από

συνεχές ρεύμα, κατάλληλης φοράς, έτσι ώστε να παράγεται η διαδοχική μαγνητική πολικότητα: Βόρειος (N) και Νότιος (S) πόλος. Η ελασματοποίηση του σιδηρομαγνητικού υλικού του πυρήνα πραγματοποιείται για να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες από δινορρέυματα, τις οποίες προκαλούν και οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου που παρέχουν τάσεις με υψηλές αρμονικές.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.4: Μαγνητικός πόλος του στάτη

β. Το **πέλμα** (σχήμα 3.6.5), το οποίο είναι υπεύθυνο για την κατανομή του μαγνητικού πεδίου

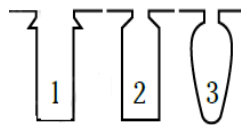
στον διάκενο χώρο της μηχανής. Ανάλογα με τον αριθμό των μαγνητικών πόλων, τους οποίους διαθέτει μια μηχανή ονομάζεται **διπολική, τετραπολική, εξαπολική** κ.λπ..

Οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν πάντοτε άρτιο αριθμό μαγνητικών πόλων.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.5: Πέλμα του κύριου μαγνητικού πόλου

Στα πέλματα εμφανίζονται δινορρέυματα λόγω των αυλακώσεων του δρομέα (σχήμα 3.6.6).

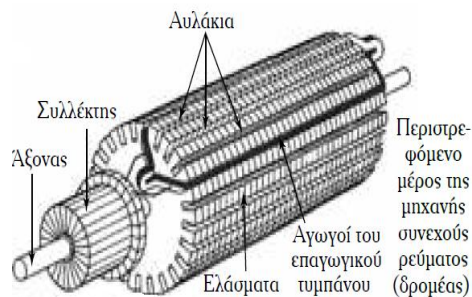


ΣΧΗΜΑ: 3.6.6: 1) Αυλάκι ανοικτού τύπου (παραλληλόγραμο)
2) Αυλάκι ημίκλειστο τύπου (παραλληλόγραμο)
3) Αυλάκι ημίκλειστο τραπεζοειδούς μορφής

Το διάκενο μεταξύ πέλματος και δρομέα δεν είναι σταθερό, αλλά παρουσιάζει μικρές κυματώσεις, οπότε η μαγνητική επαγωγή ακολουθεί τον ρυθμό αυτών των κυματώσεων. Η μεταβολή αυτής της μαγνητικής επαγωγής προκαλεί τάσεις από επαγωγή και συνεπώς δινορρέυματα στα πέλματα των μαγνητικών πόλων. Για να εμποδίσουμε την δημιουργία αυτών, κατασκευάζουμε τα πέλματα από λεπτά ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6.5.

Δρομέας.

Ο δρομέας, δηλαδή το περιστρεφόμενο μέρος της μηχανής ΣΡ, είναι κυλινδρικού τύπου και κατασκευάζεται από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα (σχήμα. 3.6.7).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.7: Δρομέας μηχανής Σ.Ρ.

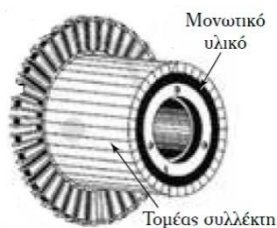
Οι οδοντώσεις του δρομέα, οι οποίες έχουν τα ελάσματα στην περιφέρειά τους (σχήμα 3.6.8), σχηματίζουν τα αυλάκια του πυρήνα (σχήμα 3.6.6, σχήμα 3.6.7) μέσα στα οποία τοποθετούνται τα τυλίγματα του δρομέα.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.8: Έλασμα του σιδηρομαγνητικού υλικού του δρομέα

Συλλέκτης.

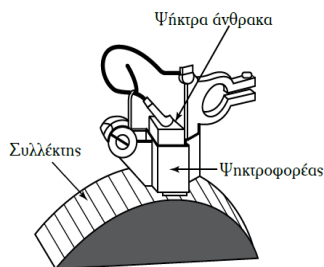
Ο συλλέκτης κατασκευάζεται από πολλά χάλκινα ελάσματα, τους **τομείς** (σχήμα 3.6.9.), οι οποίοι μονώνονται μεταξύ τους με μονωτικό υλικό τύπου μίκας. Οι τομείς στερεώνονται ανάμεσα σε δυο σιδερένιους δακτυλίους, ώστε να σχηματίζουν την κυλινδρική επιφάνεια. Ο συλλέκτης τοποθετείται στο περιστρεφόμενο μέρος της μηχανής ΣΡ (σχήμα 3.6.7).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.9.: Συλλέκτης μηχανής Σ.Ρ

Ψήκτρες.

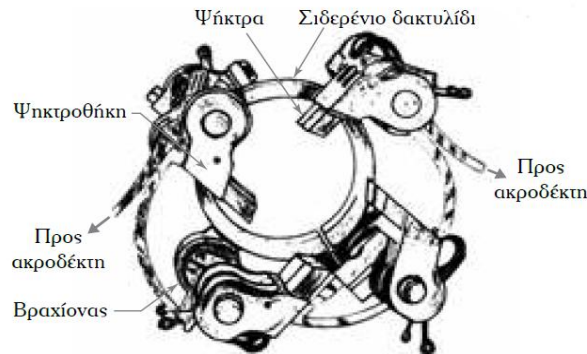
Οι ψήκτρες (σχήμα 3.6.10), κατασκευάζονται από άνθρακα ή μεταλλικό γραφίτη ή από μείγμα άνθρακα και γραφίτη.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.10.: Ψήκτρα μηχανής Σ.Ρ

Έχουν μεγάλη αγωγιμότητα και συνδέουν το επαγωγικό τύμπανο μ' ένα εξωτερικό κύκλωμα. Οι ψήκτρες τοποθετούνται στις ψηκτροθήκες του ψηκτροφορέα (σχήμα 3.6.11), ο οποίος στερεώνεται στο ακίνητο μέρος της μηχανής προς την πλευρά του συλλέκτη. Στους βραχίονες στερεώνονται οι ψηκτροθήκες, μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι ψήκτρες. Η επιλογή της πίεσεως μεταξύ των επιφανειών ψήκτρας και συλλέκτη πρέπει να είναι κατάλληλη, γιατί αν η πίεση των ψηκτρών στον συλλέκτη είναι πολύ υψηλή, τότε τα δύο μέρη φθείρονται πολύ.

Αν η πίεση μεταξύ τους είναι πολύ μικρή, τότε μεταξύ των ψηκτρών και της επιφάνειας του συλλέκτη δημιουργείται κενό, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σπινθήρες.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.11.:Ψηκτοφορέας

5. ΤΥΛΙΓΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Σ.Ρ.

Τα τυλίγματα επαγωγικού τυμπάνου είναι το σημαντικότερο μέρος των μηχανών ΣΡ γιατί μέσα σε αυτά αναπτύσσονται οι τάσεις και μέσω αυτών οδηγείται το κύριο ρεύμα της ηλεκτρικής μηχανής. Το επαγωγικό τύμπανο, στις μηχανές ΣΡ, τοποθετείται στον δρομέα, ο οποίος αποτελείται από δισκοειδή ελάσματα σιδηρομαγνητικού υλικού. Η περιφέρεια κάθε δίσκου διαμορφώνεται με οδοντώσεις. Όταν τα δισκοειδή ελάσματα (σχήμα 3.6.8) συγκροτούν τον πυρήνα του δρομέα σχηματίζονται τα αυλάκια, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα τυλίγματα

του επαγωγικού τυμπάνου. Το τύλιγμα τυμπάνου, συνήθως, αποτελείται από δυο στρώσεις αγωγών, σε κάθε αυλάκι: η πρώτη στρώση τοποθετείται κοντά στο διάκενο και η δεύτερη στο εσωτερικό μέρος του αυλακιού.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των τυλιγμάτων τυμπάνων είναι:

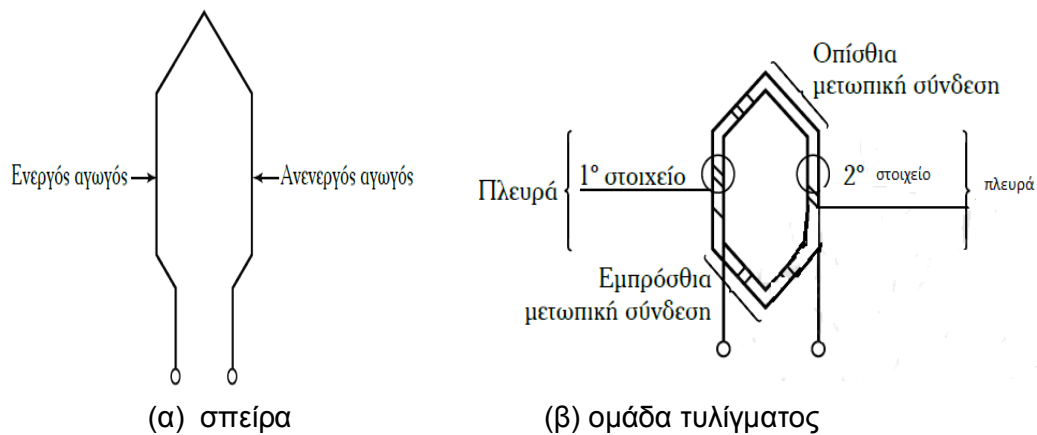
- α) Ο **αγωγός**, δηλαδή το στοιχειώδες μέρος του τυλιγματος, όπου το ενεργό τμήμα τοποθετείται στο εσωτερικό του αυλακιού, ενώ το υπόλοιπο είναι ο συνδετήριος αγωγός ο οποίος τοποθετείται στα μέτωπα των επιφανειών του δρομέα.
- β) Η **σπείρα** (πλαίσιο), δηλαδή το μέρος του τυλιγματος το οποίο αποτελείται από δύο (ενεργούς) αγωγούς συνδεδεμένους σε σειρά (σχήμα 3.6.12.α).
- γ) Η **ομάδα τυλιγματος**: Όταν το πλαίσιο αποτελείται από πολλούς αγωγούς συνδεδεμένους σε σειρά, τότε έχουμε την ομάδα τυλιγματος (σχήμα 3.6.12.β). Οι πλευρές της ομάδας ονομάζονται **στοιχεία**. Η σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους, προς την πλευρά του συλλέκτη ονομάζεται **εμπρόσθια μετωπική σύνδεση**, ενώ η αντίθετη ονομάζεται

οπίσθια

μετωπική σύνδεση (σχήμα 3.6.12.β). Οι ομάδες διαμορφώνονται έτσι, ώστε η απόσταση μεταξύ των δύο στοιχείων τους να είναι ίση περίπου με την απόσταση των αξόνων δύο γειτονικών πόλων, η οποία ονομάζεται **πολικό βήμα** (T_P).

- δ) Τα **στοιχεία**, δηλαδή οι πλευρές της ομάδας. Τα άκρα των ομάδων καταλήγουν σε διαφορετικούς τομείς του συλλέκτη. Κάθε στοιχείο μιας ομάδας βρίσκεται υπό την επίδραση

μαγνητικών πεδίων, τα οποία προέρχονται από ετερόνυμους μαγνητικούς πόλους. Δύο διαδοχικοί κύριοι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται σε απόσταση 180 ηλεκτρικών μοιρών.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.12: α) σπείρα β) ομάδα τυλίγματος

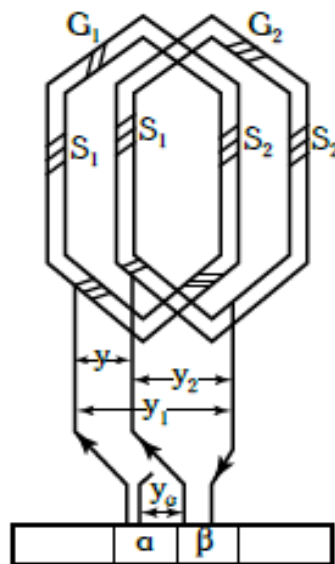
Είδη τυλιγμάτων.

Στις ηλεκτρικές μηχανές ΣΡ διακρίνουμε δυο είδη τυλιγμάτων επαγωγικού τυμπάνου, τα **βροχοτυλίγματα** ή παράλληλα τυλίγματα και **κυματοτυλίγματα** ή τυλίγματα σειράς. Στα βροχοτυλίγματα τα άκρα μιας ομάδας καταλήγουν σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη, ενώ στα **κυματοτυλίγματα** τα άκρα μιας ομάδας καταλήγουν σε απομακρυσμένους τομείς του συλλέκτη, οι οποίοι απέχουν περίπου ένα πλήρες ή διπλό πολικό βήμα, διότι δύο συνεχόμενα απλά πολικά βήματα αποτελούν ένα πλήρες ή διπλό πολικό βήμα.

Βροχοτυλίγματα.

Στα βροχοτυλίγματα δημιουργούνται τόσο παράλληλοι κλάδοι στοιχείων ομάδων, όσος είναι ο αριθμός των μαγνητικών πόλων. Με αυτά τα τυλίγματα παράγονται μεγάλες εντάσεις ρευμάτων στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο συνδέεται στη μηχανή ΣΡ.

Στο σχήμα 3.6.13, παρουσιάζεται ένα τυπικό βροχοτύλιγμα.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.13: Τυπικό βροχοτύλιγμα Σ.Ρ

Τα άκρα των ομάδων G_1 και G_2 καταλήγουν σε γειτονικούς τομείς, κάθε στοιχείο των ομάδων αποτελείται από περισσότερους του ενός αγωγούς. Έστω z ο αριθμός των αγωγών κάθε στοιχείου. Τα στοιχεία των ομάδων τοποθετούνται στα αυλάκια K (αριθμός αυλακιών), τα οποία διαμορφώνονται από τις οδοντώσεις των ελασμάτων του δρομέα. Τα στοιχεία S_1 και S_2 μιας ομάδας βρίσκονται κάτω από την επίδραση ετερονύμων πόλων. Τα στοιχεία κατανέμονται σε στρώσεις (σχήμα 3.6.14).

Η άνω στρώση αριθμείται με περιττούς αριθμούς, ενώ η κάτω στρώση με άρτιους αριθμούς.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.14: Κατανομή σε στρώσεις των στοιχείων των ομάδων.

Οι αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων ενός τυλίγματος μετρώνται, συνήθως, σε αριθμό οδοντώσεων ή αυλακιών (διαστήματα στοιχείων) των βροχοτυλιγμάτων. Στην περίπτωση των βροχοτυλιγμάτων διακρίνουμε τα ακόλουθα βήματα (σχήμα 3.6.13):

- 1) Το πρώτο μερικό βήμα (y_1), που είναι η απόσταση των στοιχείων της ίδιας ομάδας.
- 2) Το δεύτερο μερικό βήμα (y_2), που είναι η απόσταση του πρώτου στοιχείου μιας ομάδας και του δεύτερου στοιχείου της προηγούμενης ομάδας.
- 3) Το βήμα τυλίγματος (y) που είναι η απόσταση των πρώτων στοιχείων δύο διαδοχικών ομάδων. Είναι άρτιος αριθμός και ισχύει η σχέση:

$$y = y_1 - y_2 \quad (5.1)$$

- 4) Το βήμα συλλέκτη (y_σ) είναι ο αριθμός των τομέων που παρεμβάλλεται μεταξύ των άκρων των δύο στοιχείων της ομάδας. Η απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο κυρίων διαδοχικών μαγνητικών πόλων ονομάζεται **πολικό βήμα**.

Αν D η διάμετρος του δρομέα, το πολικό βήμα σε κάποιο τμήμα της περιφέρειας του επαγωγικού τυμπάνου είναι:

$$\tau_p = \frac{\pi D}{2P}$$

Όταν το πολικό βήμα εκφράζεται σε αριθμό στοιχείων τότε, έχουμε:

$$\tau_p = \frac{S}{2P}$$

όπου: S ο συνολικός αριθμός στοιχείων του τυλίγματος και
 P τα ζεύγη των κύριων μαγνητικών πόλων της μηχανής

Γενικά, για τα απλά βροχοτυλίγματα ισχύει ότι:

- 1) Ο αριθμός των τομέων του συλλέκτη είναι ίσος με τον αριθμό των ομάδων του τυλίγματος.
- 2) Ο αριθμός των ψηκτρών είναι ίσος με τον αριθμό των μαγνητικών πόλων.

Τα βροχοτυλίγματα χρησιμοποιούνται στις μηχανές ΣΡ μεγάλης εντάσεως ρεύματος και μικρής τάσης.

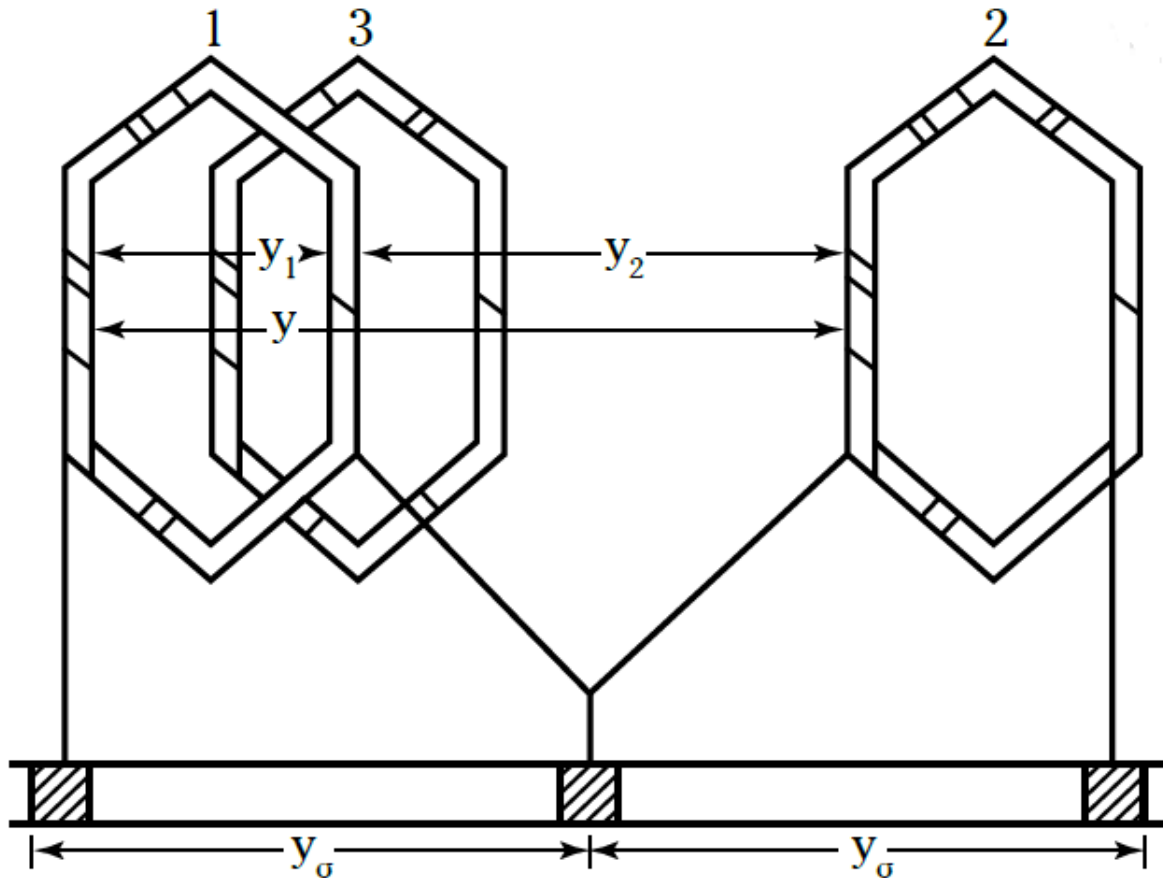
Κυματοτυλίγματα.

Στα κυματοτυλίγματα (τυλίγματα σειράς) οι παράλληλοι κλάδοι είναι πάντοτε δύο, ανεξάρτητα από τον αριθμό μαγνητικών πόλων της μηχανής (σχήμα 3.6.15). Τα κυματοτυλίγματα παρέχουν στο εξωτερικό κύκλωμα της μηχανής μικρές τιμές εντάσεως ρεύματος.

Σε κάθε τομέα ενώνεται το τέλος μίας ομάδας με την αρχή της επόμενης, οπότε ο αριθμός των τομέων (T), είναι ίδιος με τον αριθμό των ομάδων του τυλίγματος και το $\frac{1}{2}$ του αριθμού των στοιχείων του τυλίγματος:

$$T = G = \frac{S}{2}$$

όπου: G ο αριθμός ομάδων του τυλίγματος και
 S ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος



ΣΧΗΜΑ: 3.6.15: Ομάδες από κυματοτυλίγματα:

Τα στοιχεία μιας ομάδας βρίσκονται υπό την επίδραση ετερωνύμων πόλων. Στα κυματοτυλίγματα ο αριθμός των ψηκτρών αρκεί να ισούται με τον αριθμό των παραλλήλων κλάδων. Όμως, συνηθίζεται στην πράξη ο αριθμός των ψηκτρών των κυματοτυλιγμάτων να ισούται με τον αριθμό των μαγνητικών πόλων. Αυτό γίνεται για να επιτυγχάνεται μείωση της ροής του ρεύματος που διαρρέει κάθε ψήκτρα.

Τα βήματα σε ένα κυματοτύλιγμα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Το πρώτο μερικό βήμα (y_1) είναι η απόσταση των στοιχείων της ίδιας ομάδας, ανά αριθμό στοιχείων. Είναι περιττός αριθμός και ισούται με το πολικό βήμα (τ_p) της μηχανής.
- 2) Το δεύτερο μερικό βήμα (y_2) είναι η απόσταση του πρώτου στοιχείου μίας ομάδας και του Δεύτερου στοιχείου της προηγούμενης ομάδας.
- 3) Το βήμα κυματοτυλίγματος (y) είναι η απόσταση, ανά αριθμό στοιχείων, μεταξύ του πρώτου στοιχείου δύο διαδοχικών συνδεδεμένων ομάδων. Το βήμα του κυματοτυλίγματος

y , είναι άρτιος αριθμός και ίσος, περίπου, μ' ένα διπλό πολικό βήμα $2 \tau_p$.

Τα κυματοτυλίγματα χρησιμοποιούνται στις μηχανές ΣΡ χαμηλής εντάσης ρεύματος και υψηλής τάσης.

ΤΥΛΙΓΜΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

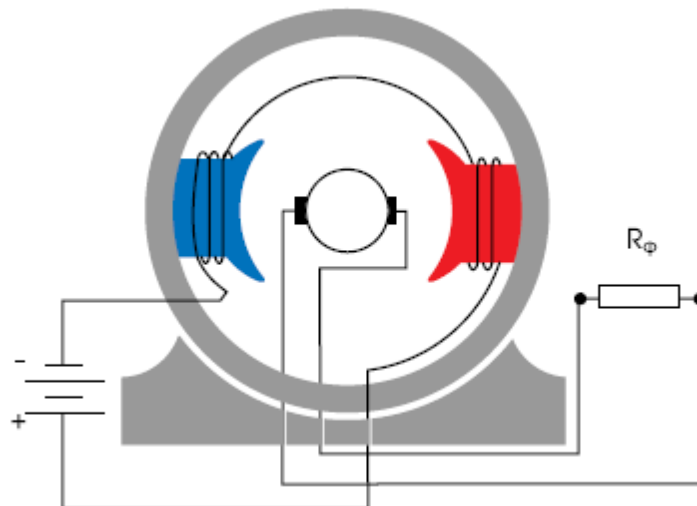
Το μαγνητικό πεδίο της γεννήτριας, μέσα στο οποίο θα κινηθούν οι αγωγοί του τυμπάνου, δημιουργείται από την τροφοδότηση του τυλίγματος των πόλων με συνεχές ρεύμα.

Το ρεύμα το οποίο διαρρέει το πηνίο κάθε πόλου, καλείται ρεύμα **διέγερσης**. Γενικά, η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου μιας δυναμομηχανής από ηλεκτρικό ρεύμα, ονομάζεται **διέγερση**. Τα τυλίγματα των πόλων ονομάζονται **τυλίγματα της διέγερσης** της μηχανής.

Το ρεύμα διέγερσης στους πόλους είναι δυνατόν να παρέχεται με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους:

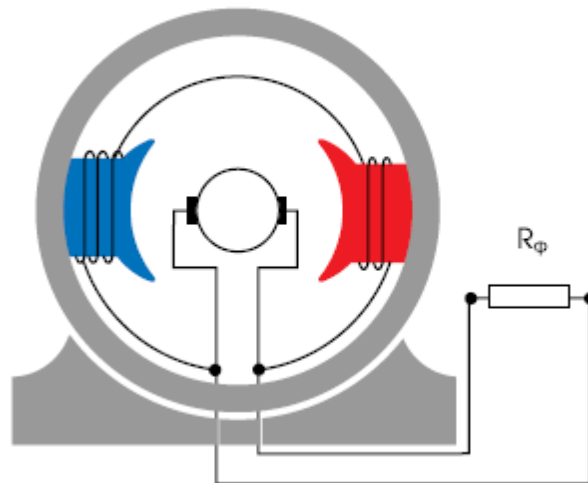
1. Από μια συστοιχία ή άλλη μικρή γεννήτρια Σ.Ρ. (διεγέρτρια). Στην περίπτωση αυτή η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια ανεξάρτητης (ή ξένης) διέγερσης

(σχήμα 3.6.16)



ΣΧΗΜΑ: 3.6.16.: Διπολική μηχανή ανεξάρτητης διέγερσης.

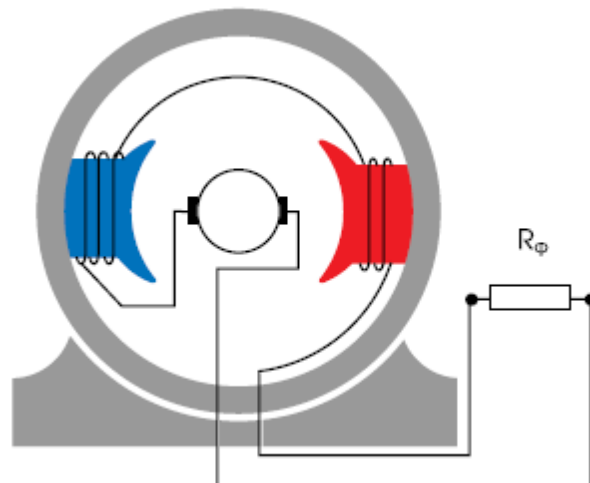
2. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής οπότε τα πηνία των πόλων, είναι συνδεδεμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να τροφοδοτούνται παράλληλα με το κύκλωμα του τυμπάνου και το εξωτερικό κύκλωμα. Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια **παράλληλης διέγερσης** (σχήμα 3.6.17)



ΣΧΗΜΑ: 3.6.17.: Διπολική μηχανή παράλληλης διέγερσης.

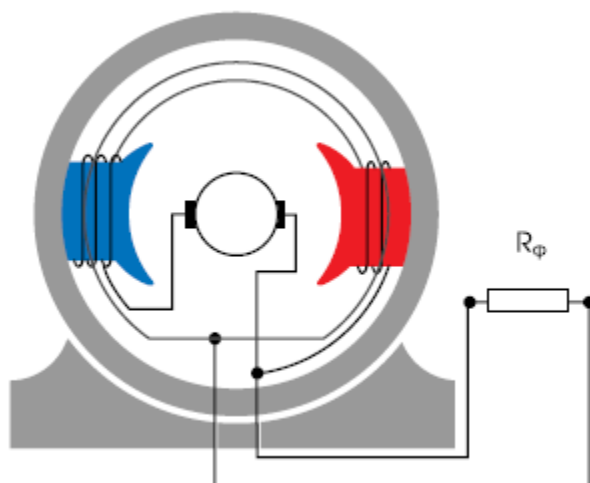
3. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής οπότε τα πηνία των πόλων τροφοδοτούνται σε σειρά με το κύκλωμα του τυμπάνου και με το εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο R_ϕ). Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως γεννήτρια **με διέγερση σειράς** (σχήμα 3.6.18)

Γεννήτριες διέγερσης σειράς χρησιμοποιούνται σπάνια γιατί η παραγόμενη τάση μεταβάλλεται με τη μεταβολή του φορτίου.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.18.: Διπολική μηχανή διέγερσης σειράς.

4. Από το παραγόμενο ρεύμα της μηχανής όταν τα πηνία των πόλων αποτελούνται από δυο τυλίγματα, από τα οποία το ένα συνδέεται σε σειρά προς το τύλιγμα του τυμπάνου και το φορτίο, ενώ το άλλο παράλληλα προς αυτά. Τότε η γεννήτρια χαρακτηρίζεται ως **γεννήτρια σύνθετης διέγερσης** . (σχήμα 3.6.19)



ΣΧΗΜΑ: 3.6.19.: Διπολική μηχανή σύνθετης διέγερσης

Διευκρινίζεται ότι, το τύλιγμα σειράς αποτελείται από πηγίο μικρού αριθμού σπειρών και σύρματος μεγάλης διατομής που παρουσιάζει μικρή ωμική αντίσταση, κατάλληλο ώστε να περνάει ολόκληρο το ρεύμα της μηχανής χωρίς δυσκολία. Το παράλληλο τύλιγμα αποτελείται από πηγίο μεγάλου αριθμού σπειρών και σύρματος μικρής διατομής, που παρουσιάζει πολύ υψηλότερη ωμική αντίσταση από το τύλιγμα σειράς, κατάλληλο ώστε να περνάει ακίνδυνα τα ρεύμα διέγερσης.

Τέλος αναφέρουμε ότι, ορισμένες γεννήτριες ΣΡ, δεν έχουν για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου ηλεκτρομαγνήτες, αλλά μόνιμους μαγνήτες. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται **μαγνητογεννήτριες** (μανιατό ή δυναμό) και χρησιμοποιούνται για μικρές ισχύεις μέχρι ενός ίππου (HP) ή και λιγότερο.

6. ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΟΙ

Είναι μικροί μαγνητικοί πόλοι, οι οποίοι τοποθετούνται στις ουδέτερες ζώνες της γεννήτριας.

Οι πόλοι αυτοί αποτελούνται από πυρήνα και τύλιγμα, όπως και οι κύριοι πόλοι της γεννήτριας. Τα τυλίγματά τους συνδέονται σε σειρά με το τύλιγμα του τυμπάνου, και για το λόγο αυτό, αποτελούνται από λίγες σπείρες χοντρού μονωμένου σύρματος. Τα τυλίγματά τους στις γεννήτριες συνδέονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κατά τη φορά περιστροφής του τυμπάνου, μετά από κάθε βόρειο κύριο πόλο να υπάρχει ένας νότιος βοηθητικός πόλος και μετά από κάθε νότιο κύριο πόλο να ακολουθεί ένας βόρειος βοηθητικός. Στους κινητήρες ισχύει ότι, μετά από βόρειο κύριο μαγνητικό πόλο πρέπει να υπάρχει βόρειος βοηθητικός κ.ο.κ.

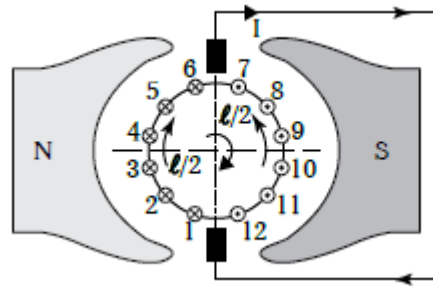
Ο σκοπός που τοποθετούμε βοηθητικούς πόλους στις ηλεκτρικές μηχανές είναι η δημιουργία ενός άλλου μαγνητικού πεδίου αντιστάθμισης, ώστε να αποφεύγονται οι σπινθηρισμοί μεταξύ των ψηκτρών και των τομέων του συλλέκτη.

Οι βοηθητικοί πόλοι χρησιμοποιούνται στις περισσότερες μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος.

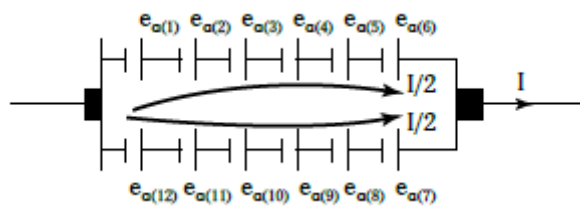
7. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ Σ.Ρ.

Στο σχήμα 3.6.20.α, παρουσιάζεται η τομή στοιχειώδους γεννήτριας ΣΡ με επαγωγικό τύμπανο, το οποίο αποτελείται από 12 αγωγούς. Ο ουδέτερος άξονας είναι ο νοητός άξονας συμμετρίας μεταξύ των κύριων μαγνητικών πόλων (N, S), ο οποίος χωρίζει το κύκλωμα του επαγωγικού τυμπάνου σε δύο παράλληλους κλάδους. Όταν ο δρομέας περιστρέφεται σε κάθε αγωγό του επαγωγικού τυμπάνου επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ, e_0).

Στο σχήμα 3.6.20.β, παρουσιάζεται η ηλεκτρική συμπεριφορά του επαγωγικού τυμπάνου. Οι ψήκτρες τοποθετούνται κατά μήκος του ουδέτερου άξονα, οπότε απάγεται το μεγαλύτερο δυνατό ρεύμα.



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ:3.6.20.: α) Τομή στοιχειώδους γεννήτριας ΣΡ με επαγωγικό τύμπανο 12 αγωγών.
β) Σχηματική παράσταση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς του επαγωγικού τυμπάνου 12 αγωγών

Ανάπτυξη τάσεως σε μια γεννήτρια ΣΡ.

Όταν η γεννήτρια ΣΡ του σχήματος 3.6.20.α, λειτουργεί χωρίς φορτίο, ενώ ο δρομέας περιστρέφεται, σε κάθε αγωγό του επαγωγικού τυμπάνου ενεργού μήκους l , επάγεται μια ΗΕΔ η οποία είναι: $e = \mathbf{B}v\mathbf{l}$

όπου: \mathbf{B} η μαγνητική επαγωγή (πυκνότητα μαγνητικής ροής) των μαγνητικών πόλων του στάτη και

v η περιφερειακή ταχύτητα των αγωγών του επαγωγικού τυμπάνου, που δίδεται από

$$\text{την ακόλουθη εξίσωση: } v = \omega \frac{D}{2}$$

όπου: ω η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και

D η διάμετρος του δρομέα.

Έστω N ο συνολικός αριθμός των ενεργών αγωγών του επαγωγικού τυμπάνου. Αν 2α είναι ο αριθμός των παραλλήλων κλάδων, τότε $\frac{N}{2\alpha}$ είναι ο αριθμός των ενεργών αγωγών, οι

οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά. Η τάση τυμπάνου E_a , δίδεται από την σχέση:

$$E_a = \omega \frac{D}{2} B \frac{N}{2\alpha} l$$

Όπου l το αξονικό μήκος του δρομέα.

Η μαγνητική ροή Φ ανά πόλο δίδεται απ' τη σχέση: $\Phi = \frac{\pi D l}{2P} B$

όπου $2P$ ο αριθμός των μαγνητικών πόλων.

Η τάση του τυμπάνου είναι: $E_a = \frac{2PN}{2\alpha 2n} \Phi \omega$

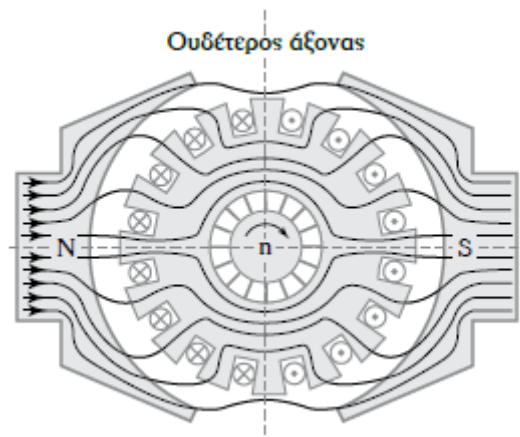
Εάν τώρα $K = \frac{2PN}{2\alpha 2n}$ (κατασκευαστική σταθερά της μηχανής) και $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$ τότε ισχύει:

$$E_a = K \Phi n$$

όπου n ο αριθμός των στροφών της γεννήτριας σε ΣΑΛ.

Αντίδραση τυμπάνου

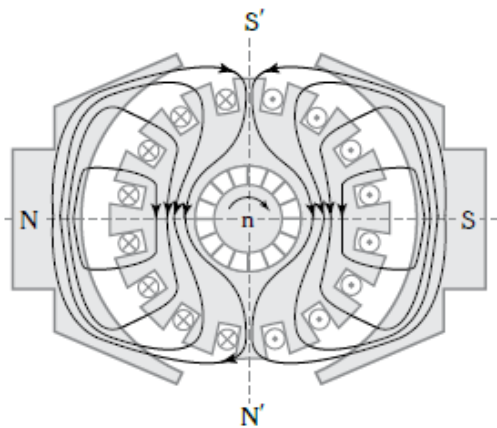
Όταν μια μηχανή ΣΡ λειτουργεί χωρίς φορτίο, στον διάκενο χώρο της υπάρχει μόνο το μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τους κύριους μαγνητικούς πόλους του στάτη. Στο σχήμα 3.6.21.α., παρουσιάζεται η κατανομή της μαγνητικής ροής του μαγνητικού πεδίου των κυρίων μαγνητικών πόλων στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Όταν η μηχανή λειτουργεί με φορτίο, τότε το επαγωγικό τύμπανο διαρρέεται από ρεύμα, οπότε δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο του δρομέα ($N' - S'$) κάθετα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη (σχήμα 3.6.21.β).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.21.α.: Κατανομή της μαγνητικής ροής του μαγνητικού πεδίου των κύριων μαγνητικών πόλων του στάτη στη λειτουργία χωρίς φορτίο

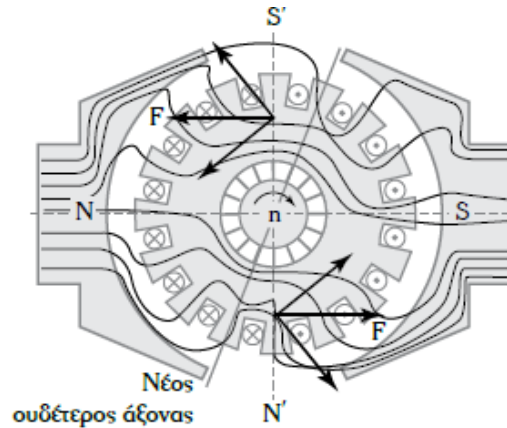
Η υπέρθεση των δύο μαγνητικών πεδίων προκαλεί το φαινόμενο αντίδρασης τυμπάνου. Το φαινόμενο αυτό συνίσταται στην δημιουργία ενός συνολικού παραμορφωμένου μαγνητικού πεδίου, το οποίο προκαλεί μετατόπιση του ουδέτερου άξονα (νέος ουδέτερος άξονας) (σχήμα 3.6.21.γ) στην φορά περιστροφής του δρομέα για γεννήτριες και σε αντίθετη φορά για κινητήρες. Το φαινόμενο αντίδρασης τυμπάνου προκαλεί τα ακόλουθα προβλήματα σε μια μηχανή ΣΡ.

- 1) Μετατοπίζει τον ουδέτερο άξονα (σχήμα 3.6.21.γ).
- 2) Μειώνει το συνολικό μαγνητικό πεδίο.
- 3) Δημιουργεί μηχανικά προβλήματα.
- 4) Παραμορφώνει το μαγνητικό πεδίο των κύριων πόλων (βλ. σχήματα 3.6.21.β και γ).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.21.β

Κατανομή του μαγνητικού πεδίου του δρομέα.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.21.γ

Συνολικό μαγνητικό πεδίο μηχανής ΣΡ στη λειτουργία με φορτίο.

Στον ουδέτερο άξονα των μηχανών ΣΡ η επαγόμενη τάση στο επαγωγικό τύμπανο μηδενίζεται. Η συνολική μαγνητική ροή στην λειτουργία με φορτίο μηδενίζεται σε διαφορετική θέση από εκείνη στην λειτουργία της μηχανής χωρίς φορτίο.

Ο ουδέτερος άξονας έχει μετατοπισθεί σε σχέση με την αρχική του θέση. Ο ουδέτερος άξονας μετατοπίζεται προς την φορά περιστροφής στις γεννήτριες ΣΡ και αντίθετα της φοράς περιστροφής στους κινητήρες ΣΡ. Η μετατόπιση του ουδέτερου άξονα είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα τυμπάνου. Το αποτέλεσμα της μετατόπισης της ουδέτερης γραμμής είναι η εμφάνιση σπινθηρισμών στον συλλέκτη, οι οποίοι προκαλούν βλάβες τόσο στον συλλέκτη όσο και στις ψήκτρες.

Το δεύτερο πρόβλημα, το οποίο προκαλεί το φαινόμενο αντιδράσεως τυμπάνου είναι η μείωση της συνολικής μαγνητικής ροής σε σχέση με τη μαγνητική ροή, η οποία παράγεται απ' τους κύριους μαγνητικούς πόλους του στάτη. Η συνολική μαγνητική ροή εξασθενίζει στην είσοδο των κύριων μαγνητικών πόλων και ενισχύεται στην έξοδό τους. Αυτό συμβαίνει διότι η μηχανή λειτουργεί κοντά στον μαγνητικό κορεσμό. Η μείωση της συνολικής μαγνητικής ροής προκαλεί στις γεννήτριες ΣΡ μείωση της παραγόμενης τάσεως και στους κινητήρες ΣΡ αύξηση της ταχύτητας περιστροφής τους. Τα αποτελέσματα του φαινομένου αντιδράσεως τυμπάνου θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με την μετακίνηση των ψηκτρών στη θέση του ουδέτερου

άξονα. Η θέση του ουδέτερου άξονα εξαρτάται από το φορτίο. Κάθε φορά που αλλάζει η θέση του ουδέτερου άξονα πρέπει να μετακινούνται οι ψήκτρες. Η μετακίνηση των ψηκτρών δεν είναι πρακτικά εύκολη και επί πλέον δεν λύνει το πρόβλημα της μείωσης της συνολικής μαγνητικής ροής. Πράγματι αν τοποθετηθούν οι ψήκτρες στην νέα θέση του ουδέτερου άξονα, η μείωση του συνολικού μαγνητικού πεδίου επιδεινώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι:

- 1) Το μαγνητικό πεδίο του δρομέα αποκτά μια συνιστώσα, η οποία αντιτίθεται στο μαγνητικό πεδίο των κύριων μαγνητικών πόλων.
- 2) Μεταβάλλεται η κατανομή του ρεύματος τυμπάνου, οπότε προκαλείται έντονη συγκέντρωση μαγνητικής ροής στα κορεσμένα μέρη των πελμάτων των μαγνητικών πόλων.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα αποτελέσματα αντιδράσεως τυμπάνου χρησιμοποιούνται στις μηχανές ΣΡ οι βοηθητικοί μαγνητικοί πόλοι και τα τυλίγματα αντισταθμίσεως.

Είδη γεννητριών ΣΡ

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διεγέρσεως με το επαγωγικό τύμπανο, οι μηχανές ΣΡ διακρίνονται σε τέσσερα είδη:

- 1) Με ανεξάρτητη ή ξένη διέγερση.

- 2) Με παράλληλη διέγερση.
- 3) Με διέγερση σειράς.
- 4) Με σύνθετη διέγερση.

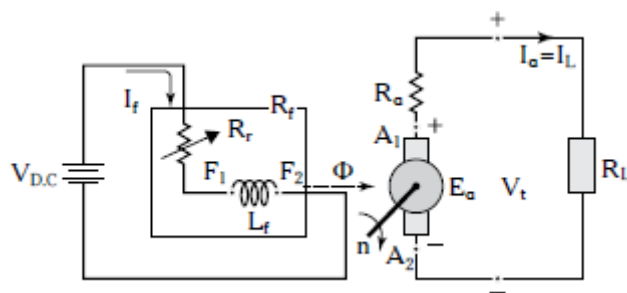
Εκτός από τις μηχανές ξένης διεγέρσεως, οι υπόλοιπες είναι αυτοδιεγειρόμενες μηχανές, γιατί το ρεύμα διεγέρσεως προέρχεται από το ρεύμα αυτών των μηχανών.

Γεννήτρια ΣΡ ξένης ή ανεξάρτητης διεγέρσεως.

Σε αυτήν τη γεννήτρια το τύλιγμα διεγέρσεως τροφοδοτείται με τάση, η οποία παρέχεται ανεξάρτητα από την πηγή.

Στο σχήμα 3.6.22.α, παρουσιάζεται το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση. Το τύλιγμα διεγέρσεως $F_1 - F_2$, τροφοδοτείται από μία πηγή συνεχούς τάσεως $V_{D.C.}$. I_f είναι το ρεύμα διεγέρσεως, το οποίο κυκλοφορεί στο κύκλωμα διεγέρσεως της γεννήτριας. Σε σειρά με το τύλιγμα διεγέρσεως τοποθετούμε μια μεταβλητή ωμική αντίσταση R_r . Θεωρούμε R_f τη συνολική ωμική αντίσταση του κυκλώματος διεγέρσεως. Με E_a και R_a συμβολίζουμε την τάση τυμπάνου και την αντίσταση τυμπάνου, αντίστοιχα της γεννήτριας. Στους ακροδέκτες της γεννήτριας συνδέουμε ωμικό φορτίο R_L , το οποίο τροφοδοτείται με την τερματική της τάση V_t . Το ρεύμα τυμπάνου I_a ισούται με το ρεύμα φορτίου I_L , με το οποίο τροφοδοτείται το φορτίο R_L . Η μελέτη της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση πραγματοποιείται με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις:

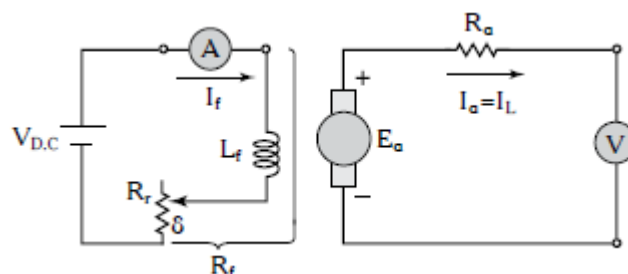
$$E_a = K\Phi n, \quad I_L = I_a, \quad V_t = E_a - I_a R_a, \quad I_f = \frac{V_{D.C.}}{R_f}$$



ΣΧΗΜΑ: 3.6.22.α.: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας γεννήτριας ΣΡ με ανεξάρτητη διέγερση.

Στατική χαρακτηριστική.

Για την χάραξη της στατικής χαρακτηριστικής, απαιτείται η συνδεσμολογία που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6.22.β.



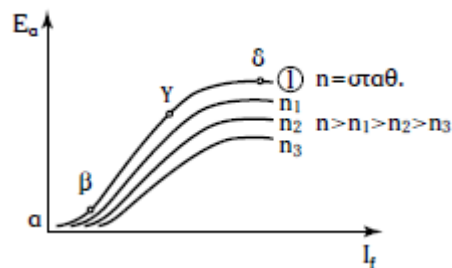
ΣΧΗΜΑ: 3.6.22.β.: Συνδεσμολογία μιας γεννήτριας με ξένη διέγερση για τη χάραξη της στατικής χαρακτηριστικής.

Αν ο αριθμός στροφών n της γεννήτριας είναι σταθερός μεταβάλλοντας τη θέση του δρομέα δ της μεταβλητής αντιστάσεως R_r στο κύκλωμα διεγέρσεως, προκύπτουν διάφορες τιμές του

Ιf και αντίστοιχες τιμές της Eα στους ακροδέκτες της μηχανής. Σ' αυτήν την περίπτωση κατασκευάζεται πίνακας τιμών, σύμφωνα με τις οποίες κατασκευάζεται η στατική χαρακτηριστική της γεννήτριας για n = σταθ. (σχήμα 3.6.22.γ). Μεταβάλλοντας τον αριθμό στροφών n, λαμβάνουμε σμήνος στατικών χαρακτηριστικών της γεννήτριας. Από το σχήμα 3.6.22.γ προκύπτει ότι το τμήμα αβ της καμπύλης δεν είναι γραμμικό. Αυτό συμβαίνει διότι η ΜΕΔ του διακένου είναι το άθροισμα της σταθερής ΜΕΔ της παραμένουσας μαγνητίσεως και της μεταβλητής ΜΕΔ NIf.

Το τμήμα βγ είναι γραμμικό διότι η επίδραση της παραμένουσας μαγνητίσεως είναι μικρή ως προς εκείνη της ΜΕΔ NIf, ώστε να θεωρείται αμελητέα.

Στο τμήμα γδ η επίδραση της ΜΕΔ NIf, μειώνεται διότι η μηχανή λειτουργεί στην περιοχή του μαγνητικού κόρου.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.22.γ.: Στατική χαρακτηριστική γεννήτριας με ξένη διέγερση. Σμήνος χαρακτηριστικών για διαφορετικό αριθμό στροφών

Χαρακτηριστική φορτίου.

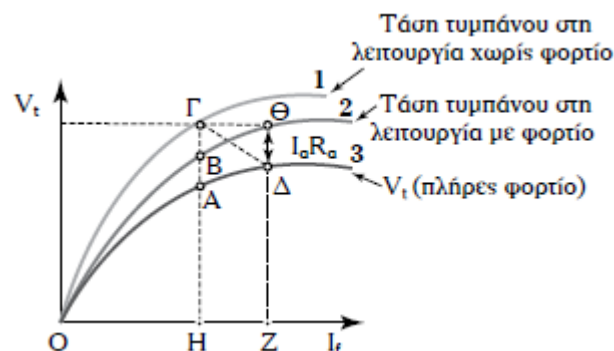
Αν στους ακροδέκτες της γεννήτριας που δίδεται στο σχήμα 3.6.22.α, συνδεθεί φορτίο R_L, τότε η τερματική τάση V_t, δεν θα είναι ίση με την ΗΕΔ E_α, της γεννήτριας. Η τάση V_t παρουσιάζεται μειωμένη λόγω του φαινομένου της αντιδράσεως τυμπάνου και των διαφόρων πτώσεων τάσεως στα διάφορα σημεία, από τα οποία περνάει το ρεύμα τυμπάνου. Στο σχήμα 3.6.22.δ, παρουσιάζεται η χαρακτηριστική φορτίου (καμπύλη 3) μίας γεννήτριας με ξένη διέγερση.

Η καμπύλη 1 είναι στατική χαρακτηριστική.

Η καμπύλη 2 προκύπτει αν προστεθούν στην χαρακτηριστική φορτίου οι ηλεκτρικές πτώσεις τάσεως στα διάφορα μέρη της γεννήτριας, οι οποίες εκφράζονται από το τμήμα ΑΒ της χαρακτηριστικής του σχήματος 3.6.22.δ .

Το τμήμα ΒΓ εκφράζει τις πτώσεις τάσεως λόγω του φαινομένου της αντιδράσεως τυμπάνου.

Προκειμένου να έχουμε την ίδια τάση, όταν η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο και με φορτίο, θα πρέπει να αυξηθεί το ρεύμα If από την τιμή ΟΗ (χωρίς φορτίο) στην τιμή ΟΖ (με φορτίο).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.22.δ.: Γραφική παράσταση της V_t = f (I_f) με I_a και n = σταθερά (καμπύλη 3).

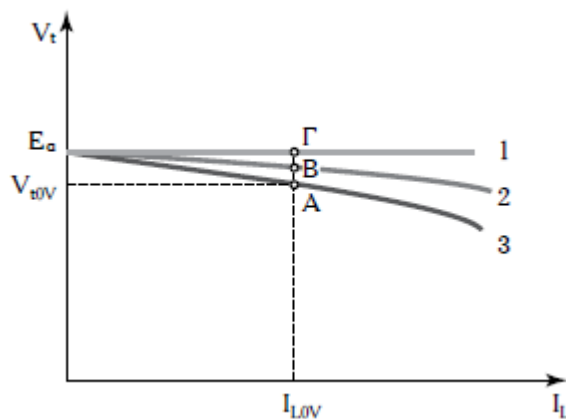
Εξωτερική χαρακτηριστική.

Στο σχήμα 3.6.22.ε, παρουσιάζεται η εξωτερική χαρακτηριστική (καμπύλη 3) μίας γεννήτριας ΣΡ με ξένη διέγερση. Από το σχήμα 3.6.22.ε, προκύπτει ότι όσο το ρεύμα I_L αυξάνεται, τόσο αυξάνονται οι πτώσεις τάσεως και η επίδραση του φαινομένου της αντίδρασεως τυμπάνου.

Το τμήμα ΓΒ εκφράζει τις πτώσεις τάσεως λόγω του φαινομένου της αντίδρασεως τυμπάνου.

Το τμήμα ΑΒ εκφράζει τις πτώσεις τάσεως στο ηλεκτρικό κύκλωμα τυμπάνου.

Η γεννήτρια ΣΡ με ξένη διέγερση χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα τάσεως, επειδή η διέγερση μπορεί να διατηρηθεί εντελώς σταθερή με την βοήθεια της πηγής V_{DC} και της R_f . Αν βραχυκυκλωθούν οι ακροδέκτες της γεννήτριας, το ρεύμα τυμπάνου αποκτά πολύ μεγάλη τιμή, επειδή η τάση τυμπάνου E_a παραμένει μεγάλη και η αντίσταση τυμπάνου είναι πολύ μικρή. Η γεννήτρια αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για λειτουργία σε δίκτυο σταθερής τάσεως.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.22.ε.: Γραφική παράσταση της $V_t = f(I_L)$, όταν I_f και n διατηρούνται σταθερά.

Γεννήτρια ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Σ' αυτήν τη γεννήτρια το τύλιγμα διεγέρσεως συνδέεται παράλληλα με το επαγωγικό τύμπανο. Στο σχήμα 3.6.23.α, παρουσιάζεται το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μίας γεννήτριας ΣΡ με παράλληλη διέγερση. R_f είναι η συνολική ωμική αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως, που συνδέεται παράλληλα στο επαγωγικό τύμπανο της γεννήτριας.

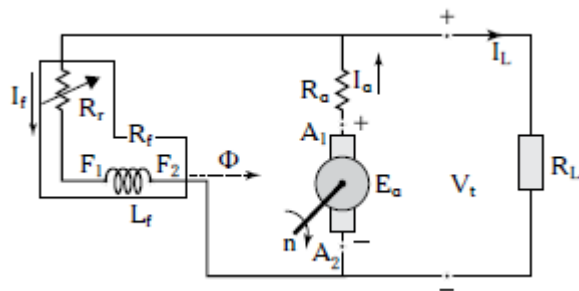
Η μελέτη των γεννητριών ΣΡ με παράλληλη διέγερση πραγματοποιείται με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$E_a = K\Phi n \quad I_a = I_L + I_f \quad V_t = E_a - I_a R_a \quad I_f = \frac{V_t (\equiv E_a)}{R_f}.$$

Οι γεννήτριες ΣΡ με παράλληλη διέγερση είναι αυτοδιεγειρόμενες μηχανές. Ο **μηχανισμός αυτοδιεγέρσεως** λειτουργεί ως εξής:

Υποθέτουμε ότι η γεννήτρια ΣΡ με παράλληλη διέγερση περιστρέφεται με τον ονομαστικό αριθμό στροφών και στους ακροδέκτες της δεν είναι συνδεδεμένο φορτίο (λειτουργία χωρίς φορτίο). Το ρεύμα $I_a = I_f$ είναι πολύ μικρό. Τότε έχουμε: $V_t = E_a = f(I_f)$.

Σε σειρά με το τύλιγμα διεγέρσεως συνδέεται μια μεταβλητή αντίσταση R_f . Οπότε η R_f (σχήμα 3.6.23.α.) εκπροσωπεί τη συνολική ωμική αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως.



ΣΧΗΜΑ 3.6.23.α: Ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Λόγω του **παραμένουτος μαγνητισμού** υπάρχει μαγνητική ροή και όταν το ρεύμα διεγέρσεως ισούται με μηδέν:

$$\Phi (I_f = 0) = \Phi_0 = \Phi_{\text{ΠΑΡ.ΜΑΓ.}}$$

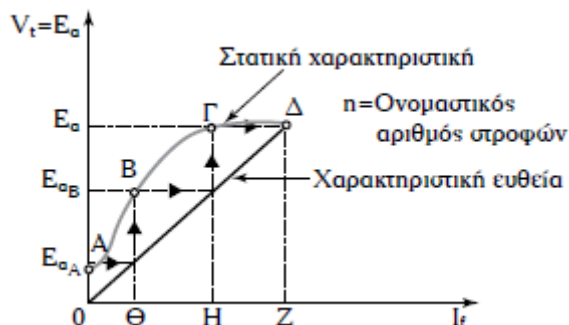
Όταν η γεννήτρια περιστρέφεται με τον ονομαστικό αριθμό στροφών εμφανίζεται, αρχικά, η τάση τυμπάνου $E_{a0} = E_{aA}$ (σημείο Α στο σχήμα 3.6.23.β)

$$\text{Είναι: } E_{aA} = E_{a0} = K\Phi_0 n..$$

Τότε στο κύκλωμα του σχήματος 3.6.23.α, ρέει ρεύμα:

$$I_{a0} = I_{f0} = \frac{E_{aA} \equiv E_{a0}}{R_a + R_f}.$$

Η ανωτέρω εξίσωση αντιστοιχεί στην χαρακτηριστική ευθεία του κυκλώματος του σχήματος 3.6.23.β. Αυτό το ρεύμα αντιστοιχεί στο τμήμα ΟΘ.



ΣΧΗΜΑ 3.6.23.β: Μηχανισμός αυτοδιεγέρσεως μιας γεννήτριας ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Στο ρεύμα $I_f = O\Theta$ αντιστοιχεί μια νέα μαγνητική ροή:

$$\Phi (I_f = O\Theta) > \Phi_0$$

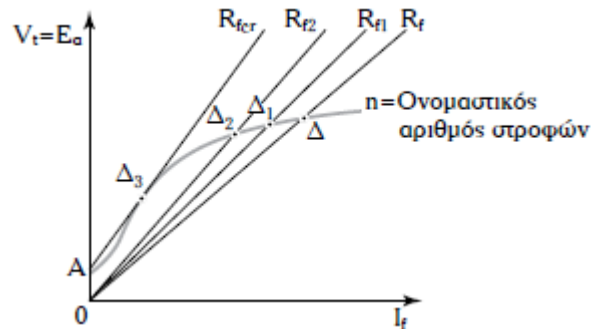
Αρκεί το ρεύμα διεγέρσεως I_f , να έχει στο τύλιγμα διεγέρσεως, τέτοια διεύθυνση, ώστε να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο του παραμένουτος μαγνητισμού. Στην αντίθετη περίπτωση ο παραμένουτος μαγνητισμός εξουδετερώνεται και η γεννήτρια δεν δίδει τάση.

Στο ρεύμα διεγέρσεως $I_f = O\Theta$ αντιστοιχεί η τάση $E_{aB} = K\Phi n$ ($I_f = O\Theta$) το σημείο Β στην στατική χαρακτηριστική στο σχήμα 3.6.23.β.

Η διαδικασία αύξησεως του ρεύματος διεγέρσεως I_f και της τάσεως E_a συνεχίζεται μέχρι το σημείο Δ, το οποίο είναι η τομή της στατικής χαρακτηριστικής και της χαρακτηριστικής ευθείας $V_t = E_a = I_f R_f$.

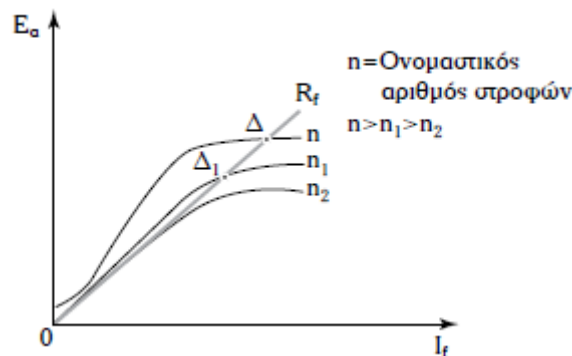
Το σημείο Δ είναι σημείο σταθερής ισορροπίας (κανονική λειτουργία της γεννήτριας) και ονομάζεται **σημείο λειτουργίας της γεννήτριας**. Το σημείο Δ δίδει την τάση της γεννήτριας όταν αυτή λειτουργεί χωρίς φορτίο. Η θέση του σημείου λειτουργίας εξαρτάται από την κλίση

της χαρακτηριστικής ευθείας ή από την τιμή της R_f . Όταν η συνολική αντίσταση R_f αυξάνεται, τότε ελαττώνεται η παραγόμενη τάση. Για μια μεγάλη τιμή της R_f η χαρακτηριστική ευθεία συμπίπτει με το ευθύγραμμο τμήμα της στατικής χαρακτηριστικής. Τότε το σημείο λειτουργίας θα πλησιάσει το σημείο Α της καμπύλης του σχήματος 3.6.23.γ., το οποίο αντιστοιχεί στην ΗΕΔ ΕαΑ του παραμένουτος μαγνητισμού. Η τιμή αυτή της αντιστάσεως R_f ονομάζεται **κρίσιμη τιμή** (R_{fcr}). Όταν $R_f > R_{fcr}$, η γεννήτρια χάνει τον παραμένοντα μαγνητισμό.



ΣΧΗΜΑ 3.6.23.γ: Σμήνος των χαρακτηριστικών ευθειών. Κρίσιμη αντίσταση R_{fcr} .

Έστω ότι η τιμή της αντιστάσεως του τυλίγματος διεγέρσεως R_f , η οποία περνάει από το σημείο Δ της χαρακτηριστικής χωρίς φορτίο του σχήματος 3.6.23.δ., παραμένει αμετάβλητη. Όταν ο αριθμός στροφών της γεννήτριας μειώνεται διαδοχικά, κάποια στιγμή το γραμμικό τμήμα της στατικής χαρακτηριστικής θα συμπίπτει με την χαρακτηριστική ευθεία R_f . Ο αντίστοιχος αριθμός στροφών ονομάζεται **κρίσιμος αριθμός στροφών** (n_{cr}), $n_{cr} \equiv n_2$ (σχήμα 3.6.23δ). Για $n < n_{cr}$ η γεννήτρια χάνει τον παραμένοντα μαγνητισμό.



ΣΧΗΜΑ 3.6.23.δ: Κρίσιμος αριθμός στροφών

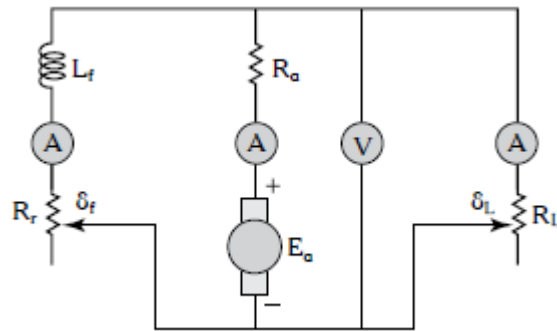
Χαρακτηριστική φορτίου.

Η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση είναι ίδια με τη χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας με ξένη διέγερση.

Εξωτερική χαρακτηριστική.

Για την χάραξη της εξωτερικής χαρακτηριστικής χρησιμοποιείται η συνδεσμολογία του σχήματος 3.6.23.ε. Θεωρούμε ότι ισχύει $R_f = \text{σταθ.}$ και $n = \text{σταθ.}$. Το ρεύμα φορτίου μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση δL του δρομέα του μεταβλητού φορτίου RL. Στο σχήμα 3.6.23.στ., δίδεται η εξωτερική χαρακτηριστική (καμπύλη) της γεννήτριας. Το τμήμα ΕαZ της εξωτερικής χαρακτηριστικής δεν διαφέρει από το αντίστοιχο της γεννήτριας ΣΡ με ανεξάρτητη διέγερση. Όμως η κλίση της είναι μεγαλύτερη διότι η τερματική τάση μειώνεται όταν το ρεύμα φορτίου αυξάνεται, οπότε εκτός από την παρουσία του φαινομένου αντιδράσεως τυμπάνου (τμήμα ΔΓ, εκφράζει την πτώση τάσεως για το φαινόμενο

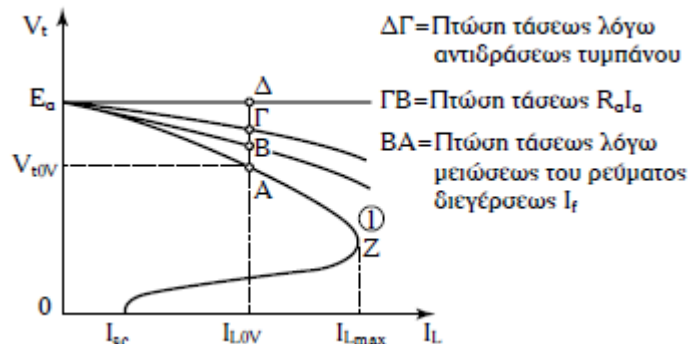
αντιδράσεως τυμπάνου), την πτώση τάσεως στην αντίσταση τυμπάνου R_a (τμήμα ΒΓ στη χαρακτηριστική του), προστίθεται και η



ΣΧΗΜΑ 3.6.23.ε: Συνδεσμολογία για την χάραξη της εξωτερικής χαρακτηριστικής μιας γεννήτριας παράλληλης διεγέρσεως

μείωση του ρεύματος διεγέρσεως (τμήμα ΑΒ στη χαρακτηριστική του), με αποτέλεσμα να προκαλείται μια πλέον μείωση της μαγνητικής ροής Φ . Αυτό το φαινόμενο αυξάνεται με την αύξηση του ρεύματος φορτίου μέχρι να λάβει την τιμή I_{Lmax} . Όταν το ρεύμα φορτίου λάβει μεγαλύτερη τιμή από την I_{Lmax} , τότε η τερματική τάση δεν αυξάνεται, αλλά μειώνεται δραματικά, οπότε η γεννήτρια χάνει τον παραμένοντα μαγνητισμό της. Αυτό συμβαίνει γιατί το ρεύμα διεγέρσεως λαμβάνει μικρές τιμές κι αυτό διότι μειώθηκε η τερματική τάση. Το σημείο Ζ, εκφράζει το όριο ευσταθούς λειτουργίας της γεννήτριας. Όταν η τερματική τάση μηδενίζεται,

η γεννήτρια βρίσκεται στην κατάσταση βραχυκυκλώσεως. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως I_{SC} , είναι μικρότερο απ' το αντίστοιχο της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση και αποτελεί πλεονέκτημα της γεννήτριας ΣΡ με παράλληλη διέγερση.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.23.στ: Εξωτερική χαρακτηριστική μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

Γεννήτρια ΣΡ με διέγερση σειράς.

Σ' αυτήν τη γεννήτρια το τύλιγμα διεγέρσεως συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού

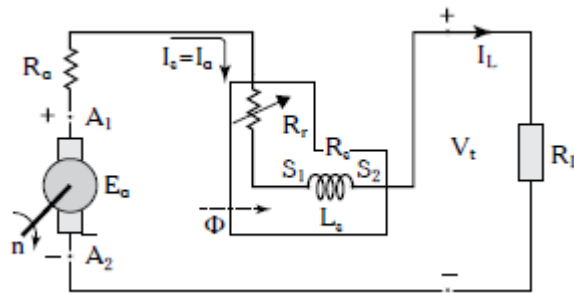
τυμπάνου. Στο σχήμα 3.6.24.α., παρουσιάζεται το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας γεννήτριας ΣΡ με διέγερση σειράς. R_s είναι η συνολική ωμική αντίσταση του κλάδου διεγέρσεως, η οποία περιλαμβάνει την μεταβλητή ωμική αντίσταση R_r και την αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως, το οποίο αποτελείται από λίγες σπείρες μεγάλης διατομής.

Οι εξισώσεις με βάση τις οποίες πραγματοποιείται η μελέτη των γεννητριών ΣΡ με διέγερση σειράς είναι οι εξής:

$$E_a = K\Phi n$$

$$I_a = I_s = I_L$$

$$V_t = E_a - I_a(R_a + R_s).$$



ΣΧΗΜΑ: 3.6.24.α.: Ισοδύναμο κύκλωμα μίας γεννήτριας ΣΡ με διέγερση σειράς.

Στατική χαρακτηριστική.

Προκειμένου να χαραχθεί η στατική χαρακτηριστική, η γεννήτρια πρέπει να λειτουργεί χωρίς φορτίο. Από το σχήμα 3.6.24.α., προκύπτει ότι όταν η μηχανή λειτουργεί χωρίς φορτίο ισχύει: $I_a = I_s = I_L = 0$. Στη λειτουργία χωρίς φορτίο δεν υπάρχει ρεύμα διεγέρσεως, οπότε η τάση στους ακροδέκτες της μηχανής είναι πολύ μικρή ($V_t = E_a0$), και προέρχεται από τη μεταβολή της μαγνητικής ροής της παραμένουσας μαγνητίσεως. **Τελικά, στατική χαρακτηριστική δεν υφίσταται, γιατί η γεννήτρια σειράς δεν λειτουργεί εν κενώ.**

Εξωτερική χαρακτηριστική.

Όταν στους ακροδέκτες της γεννήτριας συνδεθεί ένα φορτίο R_L , τότε διαρρέεται με ρεύμα I_L , ενώ το τυλίγμα σειράς διαρρέεται με ρεύμα I_s . Η ΜΕΔ NsI_s δημιουργεί μεγαλύτερη μαγνητική ροή, με αποτέλεσμα να προκύψει μια μεγαλύτερη τάση $E_a > E_a0$. Αν οι μαγνητικοί πόλοι έχουν παραμένουσα μαγνήτιση και συνδεθεί το φορτίο R_L στους ακροδέκτες της γεννήτριας, η τάση V_t θα αυξηθεί από μόνη της και ταυτόχρονα θα αυξηθούν τα ρεύματα I_a και I_s .

Στην γεννήτρια σειράς υπάρχουν οι ακόλουθες πτώσεις τάσεως:

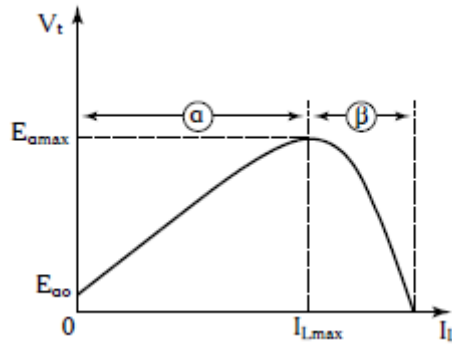
$I_a R_a$: στα τυλίγματα τυμπάνου, $I_s R_s$: στα τυλίγματα σειράς, και οι πτώσεις τάσεως, οι οποίες οφείλονται στο φαινόμενο της αντιδράσεως τυμπάνου. Η τάση V_t είναι αποτέλεσμα των ακόλουθων δύο αντιθέτων επιδράσεων:

- 1) Εκείνων που μειώνουν την τάση και το ρεύμα I_L (πτώσεις τάσεως σε όλα τα μέρη της μηχανής και αντίδραση τυμπάνου) και
- 2) εκείνων που αυξάνουν την τάση και το ρεύμα και προκαλούν την αυτοδιέγερση της μηχανής.

Από το σχήμα 3.6.24.β., έχουμε δύο περιοχές λειτουργίας μιας γεννήτριας σειράς.

Η περιοχή (α) ονομάζεται **περιοχή αυξανόμενης τάσεως**. Αν η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι σταθερή, τότε υπάρχει μια μέγιστη κρίσιμη τάση E_{Amax} . Πέρα από την τάση αυτή η γεννήτρια δεν παράγει μεγαλύτερη τάση (περιοχή β). Η τάση αυτή αντιστοιχεί σε ένα

ρεύμα φορτίου I_{Lmax} . Από εδώ και πέρα κάθε αύξηση ρεύματος I_L , προκαλείται με μείωση της αντιστάσεως φορτίου R_L , οπότε εμφανίζεται ραγδαία πτώση τάσεως στο φορτίο R_L . Η περιοχή (β) ονομάζεται **περιοχή σταθερού ρεύματος**. **Οι γεννήτριες ΣΡ διεγέρσεως σειράς, λόγω της μεγάλης μεταβολής της τερματικής τάσεως V_t με το ρεύμα φορτίου χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές, όπως οι ηλεκτροσυγκολλήσεις.**



ΣΧΗΜΑ: 3.6.24.α.: Εξωτερική χαρακτηριστική μιας γεννήτριας

Γεννήτρια ΣΡ σύνθετης διεγέρσεως.

Όταν το κύκλωμα διεγέρσεως είναι αποτέλεσμα συνδυασμού του κυκλώματος παράλληλης διεγέρσεως και του κυκλώματος διεγέρσεως σειράς, τότε η γεννήτρια ονομάζεται **γεννήτρια με σύνθετη διέγερση**. Το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με σύνθετη διέγερση μπορεί να λάβει τις ακόλουθες δύο μορφές: το **κύκλωμα μακρινής διακλαδώσεως** (σχήμα 3.6.25.α) και το **κύκλωμα βραχείας διακλαδώσεως** (σχήμα 3.6.25.β).

Οι εξισώσεις για το κύκλωμα μακρινής διακλαδώσεως είναι:

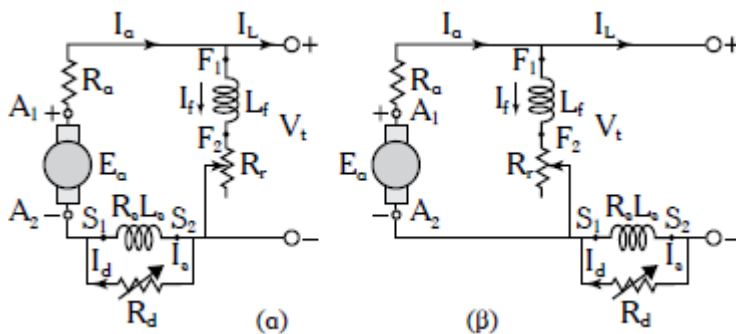
$$E_a = K\Phi n$$

$$I_a = I_f + I_L = I_s + I_d.$$

Για το κύκλωμα βραχείας διακλαδώσεως ισχύει:

$$I_a = I_f + I_L$$

$$I_L = I_s + I_d.$$



ΣΧΗΜΑ: 3.6.25.: Ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας σύνθετης διεγέρσεως (α) μακρινής διακλαδώσεως και (β) βραχείας διακλαδώσεως.

Η εξίσωση τάσεως και στις δύο διακλαδώσεις ισχύει:

$$V_t = E_a - (I_s R_s + I_a R_a).$$

Η ΜΕΔ, η οποία παράγει την ΗΕΔ E_a είναι το άθροισμα της ΜΕΔ του τυλίγματος σειράς N_{s1s} και της ΜΕΔ του παράλληλου τυλίγματος N_{f1f} . Στην περίπτωση κατά την οποία ισχύει $N_{f1f} + N_{s1s}$, η σύνθετη διέγερση ονομάζεται **αθροιστική ή ολοκληρωτική**.

Στην περίπτωση κατά την οποία ισχύει $N_{f1f} - N_{s1s}$, η σύνθετη διέγερση ονομάζεται **αφαιρετική ή διαφορική**.

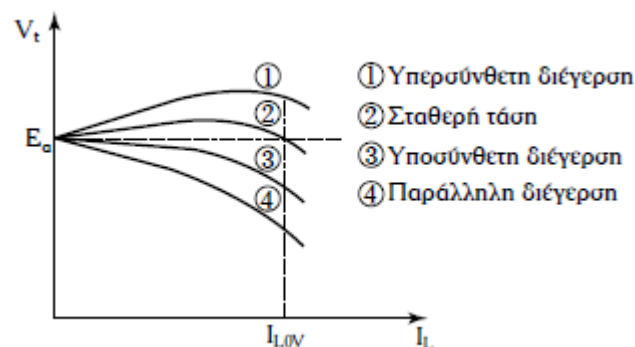
Γεννήτρια με αθροιστική ή ολοκληρωτική σύνθετη διέγερση.

Στις γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διεγέρσεως υπάρχουν δύο τυλίγματα διεγέρσεως, το ένα συνδέεται σε σειρά και το άλλο παράλληλα στο επαγωγικό τύμπανο. Η φορά συνδέσεως των δύο τυλιγμάτων είναι τέτοια, ώστε οι ΜΕΔ N_{s1s} και N_{f1f} να προστίθενται. Στο σχήμα 3.6.25.(α), το τύλιγμα σειράς διαρρέεται από το ρεύμα τυμπάνου (γεννήτρια μακρινής διακλαδώσεως), ενώ στο σχήμα 3.6.25.(β), το τύλιγμα σειράς διαρρέεται από το ρεύμα φορτίου I_L (γεννήτρια βραχείας διακλαδώσεως). Η διαφορά αυτών των γεννητριών δεν είναι μεγάλη γιατί το ρεύμα διεγέρσεως είναι πολύ μικρό απ' ό,τι το ρεύμα τυμπάνου.

Εξωτερική χαρακτηριστική.

Η εξωτερική χαρακτηριστική της γεννήτριας αθροιστικής σύνθετης διεγέρσεως (σχήμα 3.6.25.γ), εξαρτάται από την επίδραση του τυλίγματος σειράς. Αν βραχυκυκλωθεί η αντίσταση R_d , τότε η εξωτερική χαρακτηριστική της γεννήτριας είναι αντίστοιχη της γεννήτριας με παράλληλη διέγερση (καμπύλη 4). Όταν η τιμή της αντιστάσεως R_d είναι μικρή, το τύλιγμα σειράς διαρρέεται από μικρή τιμή ρεύμα φορτίου. Όταν το ρεύμα φορτίου έχει μικρή τιμή, προκαλείται αύξηση της ΜΕΔ N_{s1s} της συνολικής μαγνητικής ροής, της τάσεως τυμπάνου και της τερματικής τάσεως. Όταν το ρεύμα φορτίου παρουσιάζει μικρή αύξηση, λαμβάνομε την καμπύλη 3, στην οποία η μείωση της τερματικής τάσεως σε συνάρτηση με το

ρεύμα φορτίου, είναι μικρότερη συγκριτικά με την παράλληλη διέγερση. Η καμπύλη 3 αντιστοιχεί στη λειτουργία της γεννήτριας με υποσύνθετη διέγερση (εξασθένιση του συνολικού μαγνητικού πεδίου της γεννήτριας). Για μια συγκεκριμένη τιμή της R_d η εξωτερική χαρακτηριστική δίδεται από την καμπύλη 2, η οποία ονομάζεται **καμπύλη σταθερής τάσεως**. Σε αυτήν την περίπτωση η τερματική τάση ισούται με την τάση τυμπάνου. Αυξάνοντας, στη συνέχεια, την τιμή της R_d , ενισχύεται ο ρόλος του τυλίγματος σειράς στο συνολικό μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Οπότε, η τερματική τάση, για το **ονομαστικό ρεύμα φορτίου**, αυξάνεται σε σχέση με την τάση χωρίς φορτίο (καμπύλη 1). Η γεννήτρια λειτουργεί με υπερσύνθετη διέγερση (αύξηση του συνολικού μαγνητικού πεδίου της γεννήτριας). Τελικά, με τις ρυθμιστικές αντιστάσεις R_r και R_d μπορούμε να ρυθμίζομε την τερματική τάση της γεννήτριας.

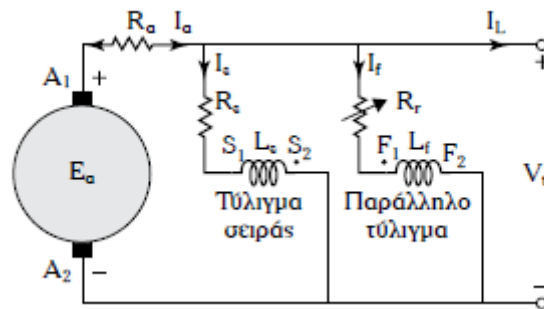


ΣΧΗΜΑ: 3.6.25.γ.: Εξωτερική χαρακτηριστική της γεννήτριας αθροιστικής σύνθετης διεγέρσεως.

Γεννήτριες ΣΡ αφαιρετικής ή διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως.

Στις γεννήτριες ΣΡ διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως οι ΜΕΔ N_{s1s} και N_{f1f} αφαιρούνται. Αυτό συμβαίνει γιατί ισχύει η σύμβαση της τελείας, δηλαδή όταν δοθεί η φορά των ρευμάτων σε δύο πηνία, τότε με βάση τις τελείες καθορίζεται και η φορά των παραγομένων ΜΕΔ (οπότε

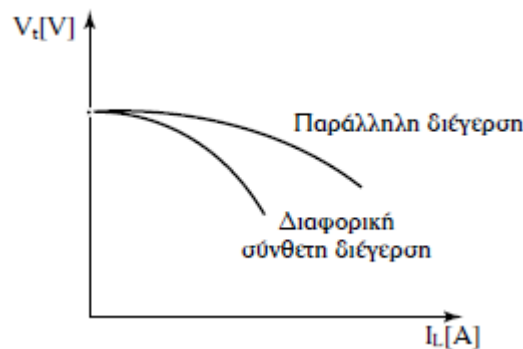
και των παραγομένων ροών). Αν τα βέλη δείχνουν ότι τα ρεύματα εισέρχονται ή εξέρχονται από τα άκρα των τελειών, τότε οι ΜΕΔ στα πηνία αντίστοιχα, ενεργούν με την ίδια φορά. Αντιστρόφως, αν σε ένα πηνίο εισέρχεται το ρεύμα στην τελεία και στο άλλο πηνίο εξέρχεται, τότε οι ΜΕΔ ενεργούν σε αντίθετη φορά. Στο σχήμα 3.6.25.δ., δίδεται το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως. Το ρεύμα τυμπάνου έχει φορά προς το άκρο της αυτεπαγωγής του τυλίγματος, το οποίο θα σημειώνεται με τελεία (.), ενώ το ρεύμα διεγέρσεως I_f , στο παράλληλο τύλιγμα έχει φορά προς την τελεία στο άκρο της αντίστοιχης παράλληλης αυτεπαγωγής. Με R_f συμβολίζουμε τη συνολική ωμική αντίσταση του τυλίγματος παράλληλης διεγέρσεως, το οποίο περιλαμβάνει και τη μεταβλητή αντίσταση R_r .



ΣΧΗΜΑ: 3.6.25.δ.: Ισοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας ΣΡ διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως.

Εξωτερική χαρακτηριστική.

Στο σχήμα 3.6.25.ε., παρουσιάζεται η εξωτερική χαρακτηριστική μιας γεννήτριας διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως. Όταν αυξάνεται το ρεύμα τυμπάνου, τότε αυξάνεται η πτώση τάσεως $I_a (R_a + R_s)$, οπότε μειώνεται η τερματική τάση. Μια αύξηση του ρεύματος τυμπάνου προκαλεί επίσης αύξηση της ΜΕΔ του τυλίγματος σειράς, η οποία στη συνέχεια μειώνει τη συνολική ΜΕΔ της γεννήτριας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνολική μαγνητική ροή της γεννήτριας $E_a = K\Phi\omega$, με ταυτόχρονη μείωση της τερματικής τάσεως της μηχανής



ΣΧΗΜΑ: 3.6.25.ε.: Εξωτερική χαρακτηριστική γεννήτριας διαφορικής σύνθετης διεγέρσεως.

8. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

α) Ισχύς των γεννητριών Σ.Ρ.

Η ισχύς που λαμβάνεται από μια γεννήτρια Σ.Ρ. ισούται προς το γινόμενο της τάσης U επί την ένταση I .

$$P=UI \text{ (σε watt) ή } P = \frac{U \cdot I}{1000} \text{ (σε kW)}$$

Όπου **U**: η τάση που επικρατεί στους ακροδέκτες της γεννήτριας κατά τη στιγμή των μετρήσεων (σε V)

I: η ένταση του παραγόμενου ρεύματος (σε A).

Ονομαστική ισχύς γεννήτριας καλείται η μεγαλύτερη τιμή ισχύος που μπορεί να προσφέρει συνεχώς η γεννήτρια, όταν εργάζεται με την **ονομαστική τάση και ταχύτητα** χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη η μηχανή από υπερφόρτιση.

β) Απώλειες γεννήτριας

Είναι το συνολικό ποσό της κινητικής ενέργειας, το οποίο δε μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια αλλά σε θερμότητα και θερμαίνει τα μέρη της μηχανής.

Οι απώλειες των γεννητριών Σ.Ρ., οι οποίες λειτουργούν με σταθερή περίπου τάση και με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, διακρίνονται σε:

- **απώλειες σταθερές**, δηλαδή ανεξάρτητες του φορτίου της γεννήτριας και
- **απώλειες μεταβλητές**, δηλαδή μεταβαλλόμενες με το φορτίο.

➤ **Σταθερές απώλειες** είναι οι μηχανικές απώλειες και οι μαγνητικές απώλειες, που διακρίνονται σε απώλειες υστέρησης και σε απώλειες δινορρευμάτων.

α. Μηχανικές απώλειες είναι οι απώλειες τριβής του άξονα του δρομέα στα έδρανα του στάτη, των ψηκτρών με το συλλέκτη, του αέρα με τον περιστρεφόμενο δρομέα και του μηχανικού έργου που απορροφάται από τον ανεμιστήρα της γεννήτριας.

Οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες προς την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της γεννήτριας και, επειδή κατά κανόνα οι στροφές είναι σταθερές, είναι και οι μηχανικές απώλειες σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου της γεννήτριας.

β. Μαγνητικές απώλειες.

1. Απώλειες υστέρησης: είναι ανάλογες προς τις στροφές της γεννήτριας και προς τη ροή των μαγνητικών πόλων της. Επομένως για σταθερές στροφές και για σταθερή ένταση διέγερσης είναι ίδιες άσχετα του αν έχουν ή όχι φορτίο.

Οι απώλειες υστέρησης οφείλονται στις διαδοχικές μεταβολές της μαγνήτισης του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου, όταν αυτό περιστρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι.

2. Απώλειες δινορρευμάτων: οφείλονται στα ρεύματα που κυκλοφορούν στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου λόγω της περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Οι απώλειες δινορρευμάτων είναι απώλειες θερμότητας και είναι ανάλογες του τετραγώνου της έντασης αυτών.

Επομένως, εφόσον η ένταση που κυκλοφορεί στον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι ανάλογη προς την τάση η οποία τα προκαλεί και η τάση είναι ανάλογη προς τη ροή και τις στροφές, οι απώλειες είναι ανάλογες προς το τετράγωνο των στροφών και της ροής. Άρα, για σταθερές στροφές και για σταθερή ένταση διέγερσης οι απώλειες είναι σταθερές και ανεξάρτητες του φορτίου.

Μεταβλητές απώλειες είναι οι ηλεκτρικές απώλειες και οφείλονται στη θερμότητα που παράγεται στα διάφορα κυκλώματα της γεννήτριας, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, γι' αυτό και ονομάζονται **ηλεκτρικές απώλειες**.

Το μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ενέργειας που παραλαμβάνει μια γεννήτρια από κάποια κινητήρια μηχανή, με σκοπό να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική, μετατρέπεται πράγματι σε ηλεκτρική, ενώ ένα μικρό μέρος της χάνεται, επειδή εμφανίζονται απώλειες στο σύστημα.

Η τιμή της ισχύος εισόδου $P_{\text{εισ}}$, που παίρνει η γεννήτρια, είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την τιμή της ισχύος P που δίνει. Η διαφορά αυτών είναι η ισχύς των απωλειών $P_{\text{αν}}$.

$$P_{\text{αν}} = P_{\text{εσ}} - P$$

Οι ηλεκτρικές απώλειες της μηχανής είναι ίσες προς το άθροισμα των γινομένων $R I^2$ των επιμέρους κυκλωμάτων της, δηλαδή:

$$\text{Ηλεκτρικές απώλειες} = R_T \cdot I_T^2 + R_\sigma \cdot I_\sigma^2 + R_\delta \cdot I_\delta^2$$

όπου R_T : η αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου της γεννήτριας, στην οποία περιλαμβάνονται η αντίσταση των ψηκτρών και η αντίσταση του τυλίγματος των βοηθητικών πόλων

R_σ : η ωμική αντίσταση του τυλίγματος σειράς

R_δ : η ωμική αντίσταση του παράλληλου τυλίγματος μαζί με τη ρυθμιστική αντίσταση.

Από τις απώλειες αυτές, μόνο εκείνες που οφείλονται στο παράλληλο τύλιγμα διέγερσης ($R_\delta \cdot I_\delta^2$) παραμένουν σταθερές κατά τις διακυμάνσεις του φορτίου της γεννήτριας, (εφόσον βέβαια δε μεταβάλλεται η ρυθμιστική αντίσταση διέγερσης), αφού η ένταση μέσα από αυτό παραμένει πρακτικά σταθερή.

γ) Βαθμός απόδοσης (η)

Βαθμός απόδοσης μιας γεννήτριας καλείται ο λόγος της ισχύος, την οποία αποδίδει η γεννήτρια, προς την απαιτούμενη κινητική ισχύ που προσδίδεται στον άξονά της από την κινητήρια μηχανή.

Ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα και δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}} = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}} < 1$$

Ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο τους.

Αποδεικνύεται ότι γίνεται μέγιστος, όταν οι **σταθερές απώλειες** εξισωθούν προς τις **μεταβλητές απώλειες** της γεννήτριας.

Οι περισσότερες γεννήτριες έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης, όταν αποδίδουν ισχύ λίγο μικρότερη της ονομαστικής τους ή ίση με αυτήν.

9. ΚΙΝΗΤΗΤΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ένας κινητήρας ΣΡ συμπεριφέρεται σαν μετατροπέας τάσεως-ροπής. Μετατρέπει ένα ηλεκτρικό μέγεθος σε ένα αντίστοιχο μηχανικό, δημιουργώντας κίνηση. Ο κινητήρας ΣΡ αποτελείται από ένα σταθερό μέρος (στάτης), στο οποίο τοποθετούνται οι μαγνητικοί πόλοι και από ένα περιστρεφόμενο μέρος (δρομέας), στο οποίο τοποθετούνται τα τυλίγματα (κυκλώματα) του επαγωγικού τυμπάνου. Στο περιστρεφόμενο μέρος του κινητήρα τοποθετείται ο συλλέκτης.

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Όπως έχουμε αναφέρει και ανωτέρω το μέτρο της δύναμης (F_0 που ασκείται στον αγωγό δίνεται από την σχέση:

$$F = B \cdot l \cdot I \text{ ημα (σε N)}$$

ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1. Λειτουργία σε κενό (χωρίς φορτίο)

Ένας κινητήρας λειτουργεί σε κενό, όταν στον άξονά του δεν συνδέεται κανένα φορτίο. Στην περίπτωση αυτή, η συνισταμένη των δυνάμεων, που ασκούνται στους αγωγούς του επαγωγισμού, έχει να υπερνικήσει μόνο την αντίσταση των τριβών του κινητήρα. Επομένως, η ένταση I_r που απορροφά ο κινητήρας από την πηγή κατά τη λειτουργία του σε κενό είναι πολύ μικρή, σε σύγκριση με την ένταση που απορροφά ο κινητήρας, όταν εργάζεται με φορτίο.

2. Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ)

Όταν το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα τροφοδοτηθεί με ρεύμα, αρχίζει και στρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων. Όμως, καθώς αυτό στρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο, γεννιέται στους αγωγούς του Ηλεκτρεγερτική Δύναμη (ΗΕΔ). Αυτή η ΗΕΔ είναι επαγωγικό δημιούργημα και σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz (Λεντς) αντιτίθεται προς την τάση της πηγής και αποτελεί μια ΑΗΕΔ. Για να διατηρηθεί το ρεύμα στο επαγωγισμό και να συνεχισθεί η κίνηση πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα, δηλαδή η τάση της πηγής U , να έχει την ικανότητα να υπερνικήσει αυτή την ΑΗΕΔ, καθώς και την πτώση τάσης που οφείλεται στις ωμικές αντιστάσεις των αγωγών, των επαφών και των ψηκτρών.

Η σχέση που επαληθεύει τα παραπάνω είναι:

$$U = E_g + I_r \cdot R_r$$

όπου **U**: τάση της πηγής (σε V)

E_ο: αναπτυσσόμενη ΑΗΕΔ (σε V)

I_τ: ένταση του ρεύματος του επαγωγίμου (σε A)

R_τ: σύνολο των αντιστάσεων του επαγωγίμου (σε Ω).

Στους πραγματικούς κινητήρες ΣΡ, που το επαγωγικό τους τύμπανο έχει πολλές σπείρες συνδεδεμένες σε σειρά, οι ΑΗΕΔ όλων των σπειρών προστίθενται και αποτελούν την ΑΗΕΔ E_ο του κινητήρα. Το μέγεθος της υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_o = \kappa \cdot \Phi \cdot n \text{ (σε V)}$$

όπου **κ**: σταθερό μέγεθος που θα εξηγηθεί παρακάτω

Φ: μαγνητική ροή (σε Vs) κάθε μαγνητικού πόλου

n: ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (σε στρ/min).

3. Εκκίνηση των κινητήρων Σ.Ρ.

Κατά τη στιγμή της εκκίνησης, ο δρομέας δεν περιστρέφεται και επομένως δεν αναπτύσσεται ΑΗΕΔ E_ο μέσα στους αγωγούς. Έτσι το μόνο εμπόδιο στην αύξηση του ρεύματος είναι η αντίσταση του τυλίγματος η οποία όμως είναι πολύ μικρή, συνήθως μικρότερη του 1 Ω. Το ρεύμα, κατά τη στιγμή της εκκίνησης, είναι μέγιστο, αφού ισχύει η σχέση:

$$I_\epsilon = \frac{U - 0}{R_\tau} = \frac{U}{R_\tau}$$

Το ρεύμα αυτό είναι ικανό να προκαλέσει βλάβη, όχι μόνο στην εγκατάσταση αλλά και στον κινητήρα.

Για να αποφύγουμε το πρόβλημα αυτό τοποθετούμε σε σειρά προς το επαγωγικό τύλιγμα μια μεταβλητή αντίσταση (ροοστάτης) R_ε (ή εκκινητής). Ο ρόλος του εκκινητή είναι να μειώνει προσωρινά την εφαρμοσμένη τάση στους ακροδέκτες του κινητήρα. Το ρεύμα εκκίνησης δεν λαμβάνει επικίνδυνες εντάσεις και η εκκίνηση γίνεται ομαλά και με διαρκώς αυξανόμενη ταχύτητα του κινητήρα. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα αυξάνει, τόσο η αντίσταση του εκκινητή μειώνεται, μέχρις να τεθεί εκτός κυκλώματος, όταν πλέον ο κινητήρας θα έχει φτάσει στην κανονική ταχύτητα περιστροφής.

Κατά το στάδιο της εκκίνησης ισχύει η σχέση:

$$I_{\epsilon} = \frac{U}{R_T + R_{\epsilon}}$$

Είναι προφανές ότι ο εκκινητής R_{ϵ} έχει τη μέγιστη τιμή.

4. Ροπή στρέψης των κινητήρων

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας των κινητήρων, οι αναπτυσσόμενες στους αγωγούς δυνάμεις σχηματίζουν ζεύγος δυνάμεων, το οποίο ασκεί ροπή στρέψης, με αποτέλεσμα το πλαίσιο να στραφεί. Ειδικότερα, ροπή δύναμης (F) ως προς άξονα καλείται το γινόμενο της δύναμης επί την απόστασή αυτής από τον άξονα (βραχίων), δίνεται δε από τη σχέση:

$$T = F \cdot r$$

όπου **T**: ροπή (σε Nm)
r: απόσταση δύναμης από τον άξονα (σε m)
F: δύναμη (σε N).

Η ροπή (T) που ασκείται σε ένα πραγματικό κινητήρα Σ.Ρ. δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot \alpha} \cdot \Phi \cdot I_T$$

όπου **P**: αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής
S: αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος
W: αριθμός των αγωγών του στοιχείου
α: αριθμός των ζευγών των παράλληλων κλάδων
Φ: μαγνητική ροή (σε Vs) κάθε μαγνητικού πόλου και
I_T: ένταση (σε A) του ρεύματος του τυμπάνου.

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να τη γράψουμε και ως εξής:

$$T = \kappa_1 \cdot \Phi \cdot I_T$$

όπου $\kappa_1 = \frac{P \cdot S \cdot W}{2 \pi \cdot \alpha}$ είναι σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή.

5. Λειτουργία κινητήρων με φορτίο

Όταν στον άξονα του κινητήρα είναι συνδεδεμένο μηχάνημα ή συσκευή, τότε λέμε ότι ο κινητήρας εργάζεται με φορτίο. Σε αυτήν την περίπτωση η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από το φορτίο και μεταβάλλεται αυτόματα, ανάλογα με τις μεταβολές του φορτίου. Δηλαδή, όταν το φορτίο μεγαλώνει, μεγαλώνει και η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας και όταν το φορτίο μικραίνει, μικραίνει και η ηλεκτρική ισχύς.

Αυτό είναι εύκολο να φανεί από τους παρακάτω συλλογισμούς. Η ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

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

Όταν ο κινητήρας φορτιστεί, δηλαδή όταν αρχίσει να παρέχει μηχανική ισχύ σε κάποιο μηχάνημα, η ταχύτητα περιστροφής του θα ελαττωθεί λίγο. Με την ελάττωση της ταχύτητας θα ελαττωθεί και η ΑΗΕΔ του κινητήρα, όπως φαίνεται από τη σχέση:

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n$$

Ελάττωση όμως της E_a σημαίνει αύξηση της έντασης (I_T) όπως προκύπτει από τη σχέση:

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

Όταν αυξηθεί η ένταση, η ροπή (T) του κινητήρα αυξάνεται αφού:

$$T = k_1 \cdot \Phi \cdot I_T$$

Δηλαδή με τη μικρή ελάττωση της ταχύτητας (n), έχουμε αύξηση της κινητήριας ροπής (T). Η ελάττωση της ταχύτητας θα σταματήσει, μόλις η ροπή (T) γίνει ίση με τη ροπή του φορτίου και τις απώλειες του κινητήρα.

Κάθε μεταβολή του μηχανικού φορτίου θα συνεπάγεται, όπως προκύπτει από τα παραπάνω, αντίστοιχη αυτόματη μεταβολή της έντασης (I_T) και συνεπώς και στην ισχύ που ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο.

6. Ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής

Σημαντικό πλεονέκτημα των κινητήρων Σ.Ρ. σε σύγκριση με τους κινητήρες Ε.Ρ. είναι το γεγονός της εύκολης ρύθμισης των στροφών.

Ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) στους κινητήρες Σ.Ρ. μπορεί να μεταβάλλεται με δυο βασικούς τρόπους:

- Ο **πρώτος τρόπος** είναι να διατηρήσουμε σταθερή την τάση (U) που εφαρμόζουμε στο επαγωγικό τύμπανο και να μεταβάλλουμε, με τη βοήθεια ενός ροοστάτη, το ρεύμα διέγερσης. Όταν το ρεύμα διέγερσης ελαττώνεται, τότε ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) του κινητήρα αυξάνεται, ενώ όταν το ρεύμα διέγερσης αυξηθεί, τότε ο αριθμός στροφών ελαττώνεται.

- Ο **δεύτερος τρόπος** είναι να διατηρήσουμε την ένταση διέγερσης σταθερή και να μεταβάλλουμε την τάση (U) του επαγωγικού τυμπάνου.

Όταν η τάση (U) του τυμπάνου αυξάνεται, τότε αυξάνεται και ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (n) του επαγωγικού τυμπάνου, δηλαδή μεγαλώνει η ταχύτητα περιστροφής.

Τα παραπάνω δικαιολογούνται εύκολα από τις γνωστές σχέσεις:

$$E_{\sigma} = U - I_T R_T \text{ και } E_{\sigma} = k \cdot \Phi \cdot n$$

Από τις δυο αυτές σχέσεις προκύπτει για την ταχύτητα περιστροφής (n) του κινητήρα η σχέση:

$$n = \frac{U - I_T R_T}{k \cdot \Phi}$$

Σημειώνουμε ότι, αν (U) και (Φ) είναι σταθερά μεγέθη και αυξηθεί η ένταση (I_T) του κινητήρα, λόγω αύξησης του φορτίου θα έχουμε μικρή μείωση της ταχύτητας του κινητήρα και αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει γιατί το γινόμενο ($I_T \cdot R_T$) είναι μικρό ποσοστό της (U) και συνεπώς οι μεταβολές του λίγο επηρεάζουν την ταχύτητα (n).

Διευκρινίζεται ότι η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ. γίνεται σήμερα μέσω ανορθωτικών γεφυρών με θυρίστορ.

Περισσότερα για την ρύθμιση ταχύτητας περιστροφής θα αναφερθούμε κατωτέρω

7. Μηχανική ισχύς

Είναι ήδη γνωστό, ότι ο κινητήρας, με τη βοήθεια της τάσης εφαρμογής (τάση πηγής), η οποία υπερνικά την ΑΗΕΔ και προσφέρει ενέργεια, ώστε να συνεχιστεί η κίνηση του επαγωγίμου, επιτυγχάνει τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανικό έργο.

Το μηχανικό αυτό έργο, καταναλώνεται στον άξονα του κινητήρα για την υπερνίκηση του φορτίου.

Η ισχύς (P_m) που απορροφά ο κινητήρας με μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή που τον τροφοδοτεί με Σ.Ρ. δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = U \cdot I \text{ (σε W)}$$

Η ισχύς (P) που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{T_a \cdot n}{9,55} \text{ (σε W)}$$

όπου T_a : είναι η ροπή (σε Nm) που αναπτύσσει ο κινητήρας στον άξονά του και

n : είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (σε στρ/min).

Ονομαστική ισχύς, που δίνεται σε kW ή HP (1HP=0,736kW), είναι η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να δίνει στον άξονά του ο κινητήρας συνεχώς εργαζόμενος με την ονομαστική του τάση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη από υπερθέρμανση.

8. Απώλειες

Η ισχύς (P) που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του με μορφή μηχανικής ενέργειας είναι πάντοτε μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ (P_1) που απορροφά από το δίκτυο.

Η διαφορά $P_1 - P = P_{αν}$ καταναλώνεται σε απώλειες μέσα στη μηχανή. Οι απώλειες αυτές είναι ίδιες με αυτές που περιγράψαμε στις γεννήτριες Σ.Ρ.

9. Βαθμός απόδοσης

Ως βαθμός απόδοσης του κινητήρα Σ.Ρ. λαμβάνεται ο λόγος της μηχανικής ισχύος στον άξονά του (ισχύς εξόδου) προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφάται (ισχύς εισόδου) από το δίκτυο:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P + P_{αν}} < 1$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα και κυμαίνεται από 75% για τους μικρότερους κινητήρες έως 90% για τους μεγαλύτερους.

Διευκρινίζεται ότι, ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων αναφέρεται πάντοτε σε πλήρη φόρτιση.

10. ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

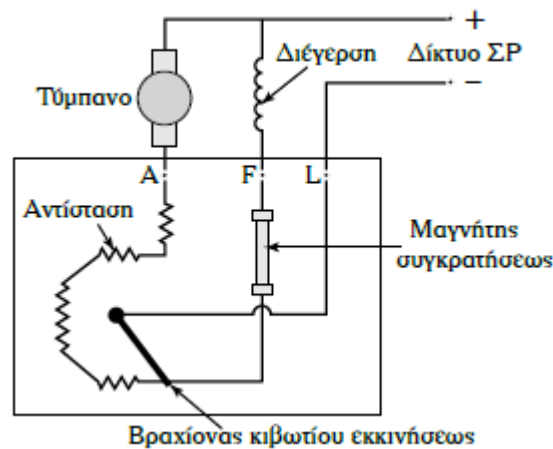
Τα κυκλωματικά στοιχεία ενός κινητήρα ΣΡ δεν διαφέρουν απ' τα αντίστοιχα των γεννητριών ΣΡ, γιατί πρόκειται για την ίδια περιστροφική μηχανή ΣΡ. Ανάλογα με τον τρόπο συνδέσεως των τυλιγμάτων διεγέρσεως του κινητήρα με το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού του τυμπάνου διακρίνονται τα ακόλουθα είδη των κινητήρων ΣΡ.

1) Κινητήρες ΣΡ με **ανεξάρτητη διέγερση**, όταν το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

- διεγέρσεως δεν συνδέεται με το αντίστοιχο του επαγωγικού τυμπάνου.
- 2) Κινητήρες ΣΡ με **παράλληλη διέγερση**, όταν το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα διεγέρσεως συνδέεται παράλληλα με το αντίστοιχο του επαγωγικού τυμπάνου.
 - 3) Κινητήρες ΣΡ με **διέγερση σειράς**, όταν το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα διεγέρσεως συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο.
 - 4) Κινητήρες ΣΡ με **σύνθετη διέγερση**, όταν ένα μέρος του τυλίγματος διεγέρσεως συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο και το υπόλοιπο παράλληλα.

11. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Την χρονική στιγμή της εκκινήσεως ο κινητήρας ΣΡ απορροφά ρεύμα, η τιμή του οποίου είναι 30 φορές μεγαλύτερη του ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας του κινητήρα. Η αναπτυσσόμενη ροπή του κινητήρα λαμβάνει μεγάλες τιμές, με αποτέλεσμα να επιταχύνεται επικίνδυνα. Στον άξονά του δημιουργούνται ισχυρές φυγοκεντρικές δυνάμεις με καταστροφικές συνέπειες για τον κινητήρα. Η τιμή του ρεύματος εκκινήσεως μειώνεται συνδέοντας σε σειρά έναν εκκινητή με το επαγωγικό τύμπανο (σύστημα αντιστάσεων χειροκίνητης εκκινήσεως) (σχήμα 3.6.26.α.). Η αντίσταση εκκινήσεως μειώνεται βαθμιαία, καθώς ο βραχίονας του κιβωτίου στρέφεται προς τα δεξιά. Τέλος, κρατείται στη θέση λειτουργίας από τον μαγνήτη συγκρατήσεως. Ο μαγνήτης συγκρατήσεως τροφοδοτείται από το ρεύμα του κυκλώματος διεγέρσεως και ενεργεί σαν διακόπτης στην περίπτωση κατά την οποία μηδενίζεται το ρεύμα διεγέρσεως. Αν το κύκλωμα διεγέρσεως διακοπεί, ο μαγνήτης συγκρατήσεως απελευθερώνει τον βραχίονα, ο οποίος επιστρέφει στη θέση εκκινήσεως. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται ο κινητήρας γιατί όταν διακοπεί το κύκλωμα διεγέρσεως αναπτύσσεται υπερβολικός αριθμός στροφών με καταστρεπτικά αποτελέσματα για τον κινητήρα.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.26.α.: Σύστημα αντιστάσεως χειροκίνητης εκκινήσεως (εκκινήτης).

Κινητήρες ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Στο σχήμα 3.6.26.β., παρουσιάζεται το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση. Σε αυτό το ισοδύναμο κύκλωμα αντιστοιχούν οι ακόλουθες εξισώσεις λειτουργίας του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση:

$$E_a = K\Phi n, \quad V_t = E_a + I_a R_a, \quad I_L = I_a + I_f, \quad T \equiv T_e = K_1 (\equiv K) \Phi I_a, \quad \Phi = \lambda I_f$$

όπου: E_a η αντι-ΗΕΔ του κινητήρα,

K η κατασκευαστική σταθερή του κινητήρα,

Φ η ωφέλιμη ροή ανά πόλο,

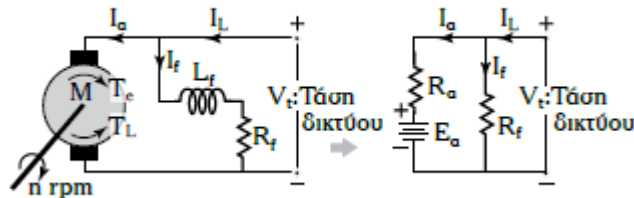
n η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα,

V_t η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα,

I_a το ρεύμα τυμπάνου του κινητήρα,

R_a η ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων,

I_L το ρεύμα γραμμής,
 I_f το ρεύμα διεγέρσεως,
 T η αναπτυσσόμενη ροπή του κινητήρα,
 $K_1 \equiv K$ σταθερή και
 T_e , η ηλεκτρομαγνητική ροπή του κινητήρα.
 Ισχύει $\Phi = \lambda I_f$ όταν ο κινητήρας λειτουργεί στο γραμμικό τμήμα της μαγνητικής χαρακτηριστικής του, εκεί όπου η μαγνητική ροή είναι ευθέως ανάλογη του ρεύματος διεγέρσεως. Το λ είναι ένας συντελεστής αναλογίας.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.26.β.: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

Η συμπεριφορά του κινητήρα σε παράλληλη διέγερση αναλύεται μελετώντας τις ακόλουθες χαρακτηριστικές καμπύλες.

1) Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής – ρεύματος τυμπάνου:

$T = f(I_a)$

όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Από τις εξισώσεις $T \equiv T_e = K_1 (\equiv K) \Phi I_a$ και $\Phi = \lambda I_f$ προκύπτει:

$T = K (\equiv K_1) \Phi I_a$.

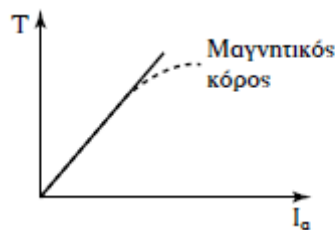
Αν ληφθούν υπόψη οι περιοριστικές συνθήκες $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$ η ανωτέρω εξίσωση, γράφεται ως εξής:

$T = \mu I_a$

όταν $\mu = K \lambda I_f = \text{σταθ.}$

Η γραφική παράσταση της εξισώσεως **$T = \mu I_a$** είναι μια ευθεία γραμμή, η οποία διέρχεται από την αρχή των αξόνων (σχήμα 3.6.26.γ.).

Για μεγάλες τιμές του I_a η ευθεία εκφυλίζεται σε καμπύλη (διακεκομμένες γραμμές) γιατί ενεργοποιείται ο κορεσμός του σιδηρομαγνητικού υλικού του δρομέα.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.26.γ.: Γραφική παράσταση της συνάρτησεως $T = f(I_a)$, όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

2) Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής – ταχύτητας περιστροφής:

$T = f(n)$

όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Από τις εξισώσεις $E_a = K \Phi n$, $V_t = E_a + I_a R_a$ και την $\Phi = \lambda I_f$ προκύπτει:

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} = \frac{V_t - K \Phi n}{R_a} = \frac{V_t - K \lambda I_f n}{R_a}$$

Η εξίσωση $T \equiv T_e = K_1 (\equiv K) \Phi_{l\alpha}$ με βάση τις εξισώσεις $\Phi = \lambda I_f$ και

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} = \frac{V_t - K\Phi n}{R_a} = \frac{V_t - K\lambda I_f n}{R_a}.$$

με $K = K_1$ γίνεται:

$$T = K\lambda I_f \left(\frac{V_t - K\lambda I_f n}{R_a} \right)$$

ή

$$T = \frac{K\lambda I_f V_t}{R_a} - \frac{K^2 \lambda^2 I_f^2}{R_a} n.$$

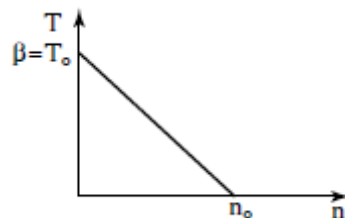
Η εξίσωση αυτή είναι μία ευθεία γραμμή

$$T = \beta - \alpha n \text{ με } \beta \equiv T_o = \frac{K\lambda I_f V_t}{R_a}$$

$$\alpha = \frac{K^2 \lambda^2 I_f^2}{R_a}.$$

,

Στο σχήμα 3.6.26.δ., φαίνεται η γραφική παράσταση της συναρτήσεως $T = f(n)$ όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$



ΣΧΗΜΑ: 3.6.26.δ.: Γραφική παράσταση της $T = f(n)$ με $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Στην περίπτωση κατά την οποία η ροπή $T = 0$ (λειτουργία χωρίς φορτίο) από την εξίσωση

$$T = \frac{K\lambda I_f V_t}{R_a} - \frac{K^2 \lambda^2 I_f^2}{R_a} n.$$

προκύπτει η ταχύτητα περιστροφής κατά τη λειτουργία του κινητήρα χωρίς φορτίο:

$$n_o = \frac{V_t}{K\lambda I_f}.$$

Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο είναι ευθέως ανάλογη της τάσεως τροφοδοσίας του και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος διεγέρσεως (μαγνητική ροή).

3) Χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας περιστροφής ρεύματος τυμπάνου:

$$n = f(I_a)$$

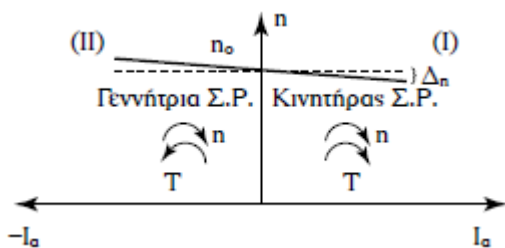
όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Από τις εξισώσεις $E_a = K\Phi n$, $V_t = E_a + I_a R_a$ και $\Phi = \lambda I_f$ προκύπτει:

$$n = \frac{E_a}{K\Phi} = \frac{E_a}{K\lambda I_f} = \frac{V_t - I_a R_a}{K\lambda I_f}$$

$$\dot{n} \quad n = \frac{V_t}{K\lambda I_f} - \frac{R_a}{K\lambda I_f} I_a$$

Η γραφική παράσταση της ανωτέρω εξίσωσης, είναι μια ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση (σχήμα 3.6.26.3.).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.26.ε.: Γραφική παράσταση (πρώτο τεταρτημόριο) της συναρτήσεως $n = f(I_a)$ όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Επειδή ο παράγοντας

$$\frac{R_a}{K\lambda I_f}$$

είναι πολύ μικρός, ο κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση θεωρείται στην πράξη κινητήρας σταθερών στροφών. Η χαρακτηριστική καμπύλη της εξίσωσης του σχήματος 3.6.26.ε συνεχίζεται στο II τεταρτημόριο και εκφράζει την σχέση της ταχύτητας περιστροφής και ρεύματος τυμπάνου στην περίπτωση της γεννήτριας ΣΡ

Ευστάθεια λειτουργίας του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Έστω ότι ο κινητήρας λειτουργεί σε κάποιο φορτίο, στην κανονική ταχύτητα περιστροφής του. Σε κάποια χρονική στιγμή το φορτίο στον άξονα της μηχανής αυξάνεται (αυξάνεται η Ταξ). Ο κινητήρας παρουσιάζει ένα έλλειμμα ροπής στρέψεως T_e , σε σχέση με την **ανθιστάμενη ροπή** T_r (είναι η ροπή η οποία αναπτύσσεται από το φορτίο στον άξονα του κινητήρα), του φορτίου: $T_e < T_r$ και $T_e - T_r < 0$. Οπότε, η ταχύτητα περιστροφής γίνεται μικρότερη της ονομαστικής του τιμής. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση της αντι-ΗΕΔ, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό στροφών της μηχανής. Στη συνέχεια αυξάνεται το ρεύμα τυμπάνου και αυξάνεται η ροπή στρέψεως T_e . Η ισορροπία αποκαθίσταται όταν $T_e = T_r$, ενώ αυξάνονται λίγο οι στροφές του κινητήρα. Αντίστροφη αντίδραση παρουσιάζει ο κινητήρας όταν μειωθεί το φορτίο στον άξονά του. Ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο μικρότερη ισχύ έτσι, ώστε να πραγματοποιηθεί, πάλι, η ισορροπία ροπών. Όταν στον άξονα του κινητήρα δεν συνδέεται φορτίο (λειτουργία χωρίς φορτίο) ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο μια ισχύ για να εξισορροπήσει τις απώλειες πυρήνα και τις απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού, ενώ η ταχύτητα περιστροφής του είναι μεγαλύτερη απ' την ονομαστική της τιμή.

Κινητήρας ΣΡ με διέγερση σειράς.

Στο σχήμα 3.6.27.α., παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα ΣΡ με διέγερση σειράς. Οι εξισώσεις λειτουργίας του κινητήρα είναι:

$$E_a = K\Phi n$$

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

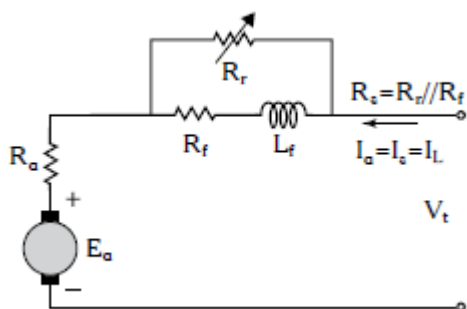
$$I_L = I_a = I_s$$

$$T = K (\equiv K_1) \Phi I_a$$

$$\Phi = \lambda I_a (\equiv I_s \equiv I_L).$$

Ο κινητήρας λειτουργεί στο γραμμικό τμήμα της μαγνητικής χαρακτηριστικής του.

Η συμπεριφορά του κινητήρα ΣΡ με διέγερση σειράς αναλύεται μελετώντας τις ακόλουθες χαρακτηριστικές καμπύλες.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.27.α.: Κινητήρας ΣΡ με διέγερση σειράς.

1) Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος τυμπάνου-στροφών:

$$I_a = f(n)$$

όπου: $V_t = \text{σταθ.}$ και $I_f = \text{σταθ.}$

Η εξίσωση $V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$ με βάση τις εξισώσεις $E_a = K\Phi n$ και $\Phi = \lambda I_a (\equiv I_s \equiv I_L)$ γίνεται:

$$V_t = K\Phi n + I_a (R_a + R_s) = K\lambda I_a n + I_a (R_a + R_s)$$

Από την ανωτέρω εξίσωση, προκύπτει:

$$I_a = \frac{V_t}{K\lambda n + (R_a + R_s)}$$

Τη στιγμή της εκκίνησης του κινητήρα με $V_t = \text{σταθ.}$, $R_r = \text{σταθ.}$ και αμελητέα πτώση τάσεως από το φαινόμενο της αντιδράσεως τυμπάνου, η ταχύτητα περιστροφής του n , και η αντι-ΗΕΔ E_a , είναι μηδενική αντίστοιχα.

Σε αυτήν την κατάσταση λειτουργίας (λειτουργία χωρίς φορτίο), από την ανωτέρω εξίσωση για $n = 0$, ο κινητήρας απορροφά από το δίκτυο μεγάλο ρεύμα (ρεύμα εκκίνησης $I_{a\text{εκκ}}$) το οποίο είναι:

$$I_a = \frac{V_t}{(R_a + R_s)}$$

Από τις ανωτέρω εξισώσεις προκύπτει ότι όταν το ρεύμα εκκίνησης $I_{a\text{εκκ}}$, είναι μεγάλο, είναι μεγάλη και η ροπή T .

Όταν, όμως, ολοκληρωθεί η διαδικασία εκκίνησης του κινητήρα, η ταχύτητα αυξάνεται, η αντι-ΗΕΔ αυξάνεται και το ρεύμα το οποίο απορροφά από το δίκτυο μειώνεται. Η μείωση του ρεύματος προκαλεί μείωση της μαγνητικής ροής Φ , οπότε μειώνεται και η ροπή μέχρι να μηδενιστεί (λειτουργία χωρίς φορτίο). Τότε έχουμε:

$$\left. \begin{aligned} T &= K\Phi I_a \\ T &= K\Phi \left(\frac{V_t - K\Phi n}{R_a + R_s} \right) \\ T &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow n_{x,\Phi} = \frac{V_t}{K\Phi}$$

και $E_a(n_{x,\Phi}) = V_t$

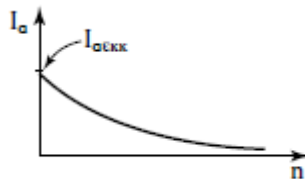
και $I_a = 0 \text{ A}, I_s = 0 \text{ A}, \Phi = 0 \text{ Wb}$

και $n_{x,\Phi} = \infty$.

όπου $n_{x,\Phi}$ η ταχύτητα περιστροφής χωρίς φορτίο.

Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο ο κινητήρας με διέγερση σειράς πρέπει να εκκινείται, πάντοτε, με το φορτίο συνδεδεμένο στους ακροδέκτες του.

Στο σχήμα 3.6.27.β., παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της συναρτήσεως: $I_a = f(n)$. Στην κατάσταση χωρίς φορτίο και όταν $I_a = 0 \text{ A}$, στο εσωτερικό του κινητήρα, πρακτικά, υπάρχει η μαγνητική ροή, η οποία οφείλεται στην παραμένουσα μαγνήτιση.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.27.β.: Γραφική παράσταση της χαρακτηριστικής ρεύματος τυμπάνου-στροφών ενός κινητήρα ΣΡ με διέγερση σειράς.

2) Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής–ταχύτητας περιστροφής:

$$T = f(n)$$

όπου: $V_t = \text{σταθ.}$

Η εξίσωση $T = K (\equiv K1) \Phi I_a$ με βάση την εξίσωση $\Phi = \lambda I_a (\equiv I_s \equiv I_L)$, γίνεται:

$$T = K\lambda I_a^2$$

και
$$I_a = \sqrt{\frac{T}{K\lambda}}$$

Η εξίσωση $V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$ με βάση τις εξισώσεις $E_a = K\Phi n$, $T = K (\equiv K1) \Phi I_a$,

$$I_a = \sqrt{\frac{T}{K\lambda}}$$

$\Phi = \lambda I_a (\equiv I_s \equiv I_L)$, και , γίνεται:

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s) =$$

$$= K\Phi n + \sqrt{\frac{T}{K\lambda}}(R_a + R_s)$$

n οποία με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία δίδει:

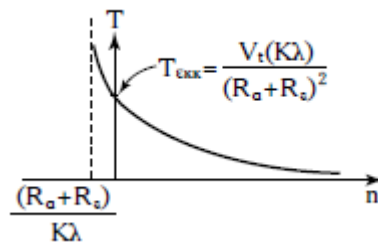
$$V_t = K\sqrt{\frac{\lambda}{K}}\sqrt{T} \cdot n + \sqrt{\frac{T}{K\lambda}} \cdot (R_a + R_s).$$

Λύνοντας την εξίσωση ως προς n, έχουμε:

$$n = \frac{V_t}{\sqrt{K\lambda} \cdot \sqrt{T}} - \frac{1}{K\lambda} \cdot (R_a + R_s).$$

Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της ροπής. Στο σχήμα 3.6.27.γ., δίδεται η γραφική παράσταση της σχέσεως ροπής-ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.

Από την ανωτέρω εξίσωση, όταν $T \rightarrow 0$ τότε $n \rightarrow \infty$.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.27.γ.: Γραφική παράσταση της σχέσεως ροπής-ταχύτητας ενός κινητήρα ΣΡ με διέγερση σειράς.

Κινητήρας ΣΡ με σύνθετη διέγερση.

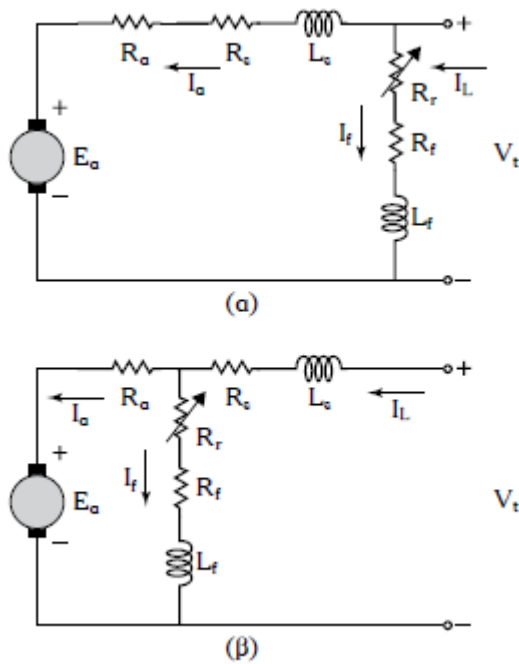
Στο σχήμα 3.6.28.α,β, παρουσιάζονται τα ισοδύναμα κυκλώματα κινητήρων ΣΡ με σύνθετη διέγερση μακρινής διακλαδώσεως και βραχείας διακλαδώσεως αντίστοιχα.

Εφαρμόζοντας τους Κανόνες του Kirchhoff για τον κινητήρα ΣΡ με σύνθετη διέγερση γενικά προκύπτει:

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s). \quad \text{και} \quad I_a = I_L - I_f.$$

$$I_f = \frac{V_t}{R_c + R_f}.$$

Για το κύκλωμα διεγέρσεως ισχύει ο Νόμος του Ohm.

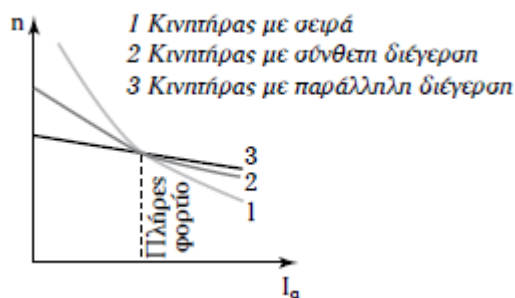


ΣΧΗΜΑ: 3.6.28.: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα με σύνθετη διέγερση (α) μακρινής και (β) βραχείας διακλαδώσεως.

Στο σχήμα 3.6.28.γ., δίδεται η χαρακτηριστική $n = f(I_a)$ του κινητήρα ΣΡ με σύνθετη διέγερση. Η επιβαλλόμενη τάση V_t είναι σταθερή, όπως είναι σταθερό και το ρεύμα διεγέρσεως I_f . Το ρεύμα στο τύλιγμα σειράς αυξάνεται με το φορτίο, ώστε η ροή ανά πόλο αυξάνεται με το φορτίο, αλλά όχι τόσο γρήγορα όσο στον κινητήρα σειράς.

Στο σχήμα 3.6.28.γ., περιλαμβάνονται οι καμπύλες ενός κινητήρα σειράς κι ενός με παράλληλη διέγερση με την ίδια ροπή και στροφές ανά λεπτό στο πλήρες φορτίο, οι οποίες συγκρίνονται με την αντίστοιχη χαρακτηριστική του κινητήρα με σύνθετη διέγερση.

Σε πολλές περιπτώσεις η μαγνητική ροή της παράλληλης διεγέρσεως είναι αρκετή για να εξασφαλίσει έναν ανεκτό αριθμό στροφών στη λειτουργία χωρίς φορτίο.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.28.γ.: Χαρακτηριστική $n = f(I_a)$ του κινητήρα με σύνθετη διέγερση

Κατανομή ισχύος στους κινητήρες ΣΡ.

Οι κινητήρες ΣΡ απορροφούν ηλεκτρική ισχύ P_{in} , από το δίκτυο: $P_{in} = V_t I_L$ [W] όπου: V_t η τάση τροφοδοσίας σε (V) και I_L το ρεύμα γραμμής σε (A).

Η P_{in} κατανέμεται σε τρία μέρη:

1) Στις σταθερές απώλειες P_i , οι οποίες είναι οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού και οι

απώλειες πυρήνα.

2) Στις μεταβλητές απώλειες, οι οποίες είναι οι απώλειες χαλκού P_{cu} .

3) Στην ωφέλιμη ισχύ η οποία είναι η ισχύς εξόδου P_{out} , του κινητήρα.

Γενικά, η ηλεκτρική ισχύς την οποία απορροφά από το δίκτυο ένας κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση είναι:

$$V_t I_L = V_t I_f + I_a^2 R_a + E_a I_a.$$

Η εξίσωση δίδει τη διαδικασία μετατροπής της ηλεκτρικής ισχύος σε μηχανική. Η ηλεκτρική ισχύς, την οποία απορροφά ο κινητήρας $V_t I_L$ κατανέμεται ως εξής:

1) Ένα μέρος της καλύπτει τις απώλειες στο τύλιγμα διεγέρσεως $P_{cu} = V_t I_f$ κι ένα μέρος τις απώλειες χαλκού του επαγωγικού τυμπάνου του δρομέα

$$P_{cu} = I_a^2 R_a.$$

2) Το υπόλοιπο μέρος μεταφέρεται ηλεκτρομαγνητικά στο επαγωγικό τύμπανο: $P_e = E_a I_a$ όπου: P_e η μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε μηχανική.

Είναι:

$$P_e = P_\ell + P_{out}.$$

Η απόδοση του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση είναι:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100$$

$$\text{ή} \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_f + \sum P_{cu}}$$

όπου $\sum P_{cu}$ οι συνολικές ηλεκτρικές απώλειες.

Ρύθμιση ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων ΣΡ

Η συμπεριφορά των κινητήρων ΣΡ χαρακτηρίζεται από δύο θεμελιώδη χαρακτηριστικά μεγέθη, την ταχύτητα και την ροπή στρέψεως. Στις βιομηχανικές εφαρμογές απαιτείται σταθερή ροπή για διάφορες ταχύτητες περιστροφής όπως και σε άλλες εφαρμογές απαιτείται η ισχύς να διατηρείται σταθερή όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων. Στη συνέχεια, δίδονται οι βασικές μέθοδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής, κυρίως των κινητήρων ΣΡ με παράλληλη διέγερση.

Τρόποι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων ΣΡ.

Απ' τον συνδυασμό των εξισώσεων $E_a = K\Phi\omega$ και $V_t = E_a + I_a R_a$ προκύπτουν οι ακόλουθοι τέσσερις τρόποι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων ΣΡ:

1. Ρύθμιση της τάσεως V_a στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου.

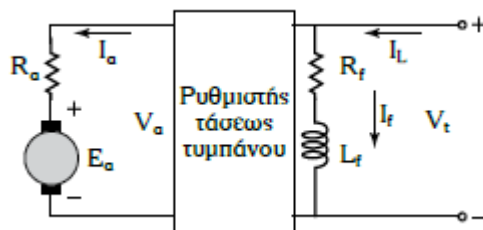
Σε αυτόν τον τρόπο ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα μεταβάλλεται η τάση V_a , ενώ οι τιμές της αντιστάσεως τυμπάνου και του ρεύματος διεγέρσεως διατηρούνται σταθερές. Το ρεύμα διεγέρσεως διατηρείται σταθερό στην ονομαστική του τιμή, ώστε να αναπτύσσεται η μεγαλύτερη τιμή της ροπής. Στο σχήμα 3.6.29.α, παρουσιάζεται η διαδικασία μεταβολής της τάσεως τυμπάνου μέσω ενός ηλεκτρικού μετατροπέα, ο οποίος μετασχηματίζει την ισχύ συνεχούς ρεύματος με σταθερή τάση σε ισχύ συνεχούς ρεύματος με

μεταβαλλόμενη τάση. Αυτή η μέθοδος μεταβολής της τάσεως τυμπάνου, ισχύει για κινητήρες ΣΡ με ανεξάρτητη ή παράλληλη διέγερση. Όταν η τάση V_a αυξάνεται, τότε αυξάνεται και το ρεύμα I_a του επαγωγικού τυμπάνου:

$$I_a \uparrow = \frac{V_a \uparrow - E_a}{R_a}$$

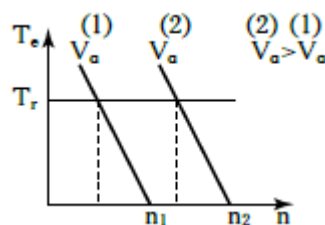
Στη συνέχεια αυξάνεται η ροπή T :

$$T \uparrow = K\Phi I_a \uparrow$$



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.α.: Έλεγχος της τάσεως τυμπάνου για κινητήρα με ανεξάρτητη ή παράλληλη διέγερση.

Οπότε ισχύει $T > T_r$ (ανθιστάμενη ροπή του κινητήρα) και ο κινητήρας επιταχύνεται. Αντίστοιχα, προκαλείται αύξηση της αντι-ΗΕΔ, E_a : $E_a \uparrow = K\Phi n \uparrow$, η οποία προκαλεί μείωση του ρεύματος τυμπάνου με αποτέλεσμα να μειωθεί η ροπή T και να γίνει ίση με την ροπή T_r σε μια ταχύτητα περιστροφής, n , μεγαλύτερη από την αρχική (σχήμα 3.6.,29.β.). Τα βήματα της διαδικασίας ρυθμίσεως στροφών ενός κινητήρα ΣΡ με παράλληλη (ή ανεξάρτητη) διέγερση, ρυθμίζοντας την τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου, είναι τα ακόλουθα:



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.β.: Έλεγχος στροφών κινητήρα ΣΡ με παράλληλη ανεξάρτητη διέγερση, μεταβάλλοντας την τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου.

Βήμα 1ο: Αυξάνεται η τάση V_a , οπότε προκαλείται αύξηση του ρεύματος I_a :

$$I_a \uparrow = \frac{V_a \uparrow - E_a}{R_a}$$

Βήμα 2^ο: Όταν το I_a αυξάνεται, τότε αυξάνεται η ροπή T : $T \uparrow = K\Phi I_a \uparrow$

Βήμα 3^ο: Ισχύει $T > T_r$, οπότε ο κινητήρας επιταχύνεται.

Βήμα 4^ο: Προκαλείται αύξηση των στροφών n και αύξηση της αντι-ΗΕΔ E_a : $E_a \uparrow = K\Phi n \uparrow$.

Βήμα 5^ο: Η αύξηση της E_a προκαλεί μείωση του I_a :

$$I_a \downarrow = \frac{V_a - E_a \uparrow}{R_a}$$

Βήμα 6^ο: Προκαλείται μείωση της ροπής T μέχρι να ισχύει $T = T_r$ σε ταχύτητα μεγαλύτερη της αρχικής.

2. Ρύθμιση της μαγνητικής ροής Φ .

Η ρύθμιση της μαγνητικής ροής Φ επιτυγχάνεται με ρύθμιση του ρεύματος διεγέρσεως, ειδικά στους κινητήρες ΣΡ με παράλληλη διέγερση. Η μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας του κινητήρα (ρυθμίζοντας τη μαγνητική ροή Φ) απαιτεί την σταθερότητα της τιμής της αντιστάσεως τυμπάνου R_a και της τάσεως τροφοδοσίας V_t . Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μεταβάλλεται με κατάλληλη ρύθμιση του ρεύματος διεγέρσεως (σχήμα 3.6.29.γ.). Από τις εξισώσεις $E_a = K\Phi n$, $V_t = E_a + I_a R_a$ και $T \equiv T_e = K1 (\equiv K) \Phi I_a$ προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση και της ροπής T είναι:

$$n = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{R_a}{K^2\Phi^2} T.$$

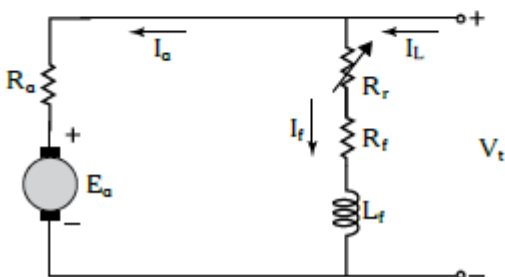
Αυξάνοντας την τιμή της αντιστάσεως διεγέρσεως

R_f , μειώνεται το ρεύμα διεγέρσεως I_f ($I_f \downarrow = \frac{V_t}{R_f \uparrow}$),

οπότε μειώνεται η μαγνητική ροή Φ .

Στη συνέχεια, μειώνεται στιγμιαία η E_a ($E_a \downarrow = K\Phi \downarrow n$) με αποτέλεσμα να αυξηθεί η τιμή του ρεύ-

ματος τυμπάνου I_a : ($I_a \uparrow = \frac{V_a - E_a \downarrow}{R_a}$).



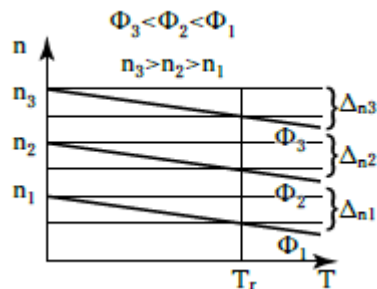
ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.γ.: Ρύθμιση του ρεύματος διεγερσέως

Καθώς αυξάνεται το I_a αυξάνεται η ροπή T ($T \uparrow = K\Phi I_a \uparrow$) γιατί το ποσοστό αύξησεως του ρεύματος τυμπάνου είναι μεγαλύτερο απ' το ποσοστό μείωσης της

μαγνητικής ροής. Όταν αυξάνεται η ροπή T τότε ισχύει $T > T_r$ και η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται. Τελικά, από την εξίσωση

$$n = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{R_a}{K^2\Phi^2} T.$$

όσο μειώνεται η μαγνητική ροή Φ τόσο αυξάνεται το σμήνος των καμπυλών με παράμετρο την μαγνητική ροή Φ . Οι ευθείες στο σχήμα 3.6.29.δ, δεν είναι παράλληλες γιατί στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης, ο παρανομαστής περιλαμβάνει το τετράγωνο της μαγνητικής ροής.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.δ.: Ρύθμιση της μαγνητικής ροής Φ

Τα βήματα της διαδικασίας ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής ενός κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση, παρεμβαίνοντας στο κύκλωμα διεγέρσεως της μηχανής, είναι:

Βήμα 1ο: Αύξηση της R_f προκαλεί μείωση της εντάσεως του ρεύματος διεγέρσεως I_f .

Βήμα 2ο: Μείωση του I_f προκαλεί μείωση της μαγνητικής ροής Φ .

Βήμα 3ο: Μείωση της μαγνητικής ροής Φ σημαίνει μικρότερη τιμή της αντι-ΗΕΔ, Εα.

Βήμα 4ο: Μείωση της αντι-ΗΕΔ, προκαλεί αύξηση του ρεύματος τυμπάνου.

Βήμα 5ο: Αύξηση του I_a προκαλεί αύξηση της ροπής T .

Βήμα 6ο: Αύξηση της ροπής T ($T > T_r$) αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής, οπότε ο κινητήρας επιταχύνεται.

Βήμα 7ο: Επιτάχυνση του κινητήρα προκαλεί αύξηση της αντι-ΗΕΔ, Εα.

Βήμα 8ο: Το ρεύμα I_a μειώνεται.

Βήμα 9ο: Από το βήμα 8 η ροπή T μειώνεται μέχρι να συμβεί $T = T_r$, αλλά τώρα έχουμε μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής από την αρχική.

Αυτή η μέθοδος ρυθμίσεως στροφών ισχύει για μεταβολή στροφών σε περιοχή μεγαλύτερη των αντιστοιχών ονομαστικών. Το διάστημα ρυθμίσεως είναι 1:3 ή 1:4. Για πολύ μεγάλο αριθμό στροφών αναπτύσσονται, μεγάλης τιμής, φυγοκεντρικές δυνάμεις με έντονη παρουσία του φαινομένου αντιδράσεως τυμπάνου.

3. Ρύθμιση της αντιστάσεως του τυλίγματος τυμπάνου R_a .

Σε αυτήν την μέθοδο ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής, κυρίως, των κινητήρων ΣΡ με παράλληλη διέγερση, η τάση τροφοδοσίας τους και το ρεύμα διεγέρσεώς τους διατηρούνται σταθερά στις ονομαστικές τους τιμές. Η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζεται συνδέοντας σε σειρά με το επαγωγικό μια κατάλληλη αντίσταση RL (σχ.3.6.29.ε).

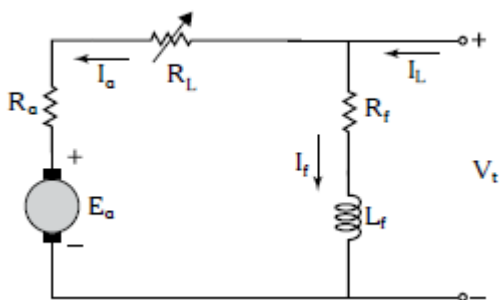
Η εξίσωση $T \equiv T_e = K1 (\equiv K) \Phi I_a$, με βάση τις εξισώσεις $E_a = K\Phi n$ και $V_t = E_a + I_a R_a$, γίνεται:

$$T = \frac{K\Phi V_t}{R_a + R_L} - \frac{K^2\Phi^2}{R_a + R_L} n.$$

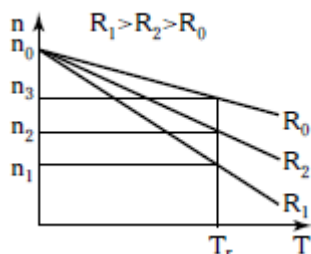
Αν Φ και V_t είναι σταθερά μεγέθη, τότε η ανωτέρω εξίσωση γίνεται:

$$T = \frac{K}{R_a + R_L} - \frac{K\Phi}{R_a + R_L} n.$$

Μεταβάλλοντας την τιμή της αντιστάσεως R_L , μεταβάλλεται απότομα η κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης $n = f(T)$ (σχήμα: 3.6.29.στ).



ΣΧΗΜΑ.: 3.6.29.ε.: Ρύθμιση ταχύτητας περιστροφής κινητήρα ΣΡ μεταβάλλοντας την αντίσταση τυμπάνου



ΣΧΗΜΑ.: 3.6.29.στ.: Χαρακτηριστικές καμπύλες $n=f(T)$, όταν μεταβάλλεται η τιμή της αντιστάσεως R_L

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση, μεταβάλλοντας την τιμή της R_L , είναι απλή, αλλά δεν είναι αποτελεσματική γιατί δημιουργούνται μεγάλες απώλειες Joule.

4. Συνδυασμός της μεθόδου ρυθμίσεως της τάσεως στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου με τη μέθοδο ρυθμίσεως της ροής διεγέρσεως Φ .

Όταν ένας κινητήρας ΣΡ λειτουργεί στα ονομαστικά του μεγέθη, τότε θα περιστρέφεται με την ονομαστική του ταχύτητα. Στην μέθοδο ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής μεταβάλλοντας την ροή διεγέρσεως Φ , όσο μικρότερη είναι η τιμή του ρεύματος διεγέρσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής και αντίστροφα. Επειδή η αύξηση της τιμής του ρεύματος διεγέρσεως προκαλεί μείωση της ταχύτητας περιστροφής, υπάρχει ένα ελάχιστο όριο της ταχύτητας περιστροφής, η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή

του ρεύματος διεγέρσεως, το οποίο δίδεται στις τεχνικές προδιαγραφές του κινητήρα. Στη μέθοδο ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής με αύξηση της τάσεως στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου προκαλείται αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, οπότε υπάρχει ένα μέγιστο όριο της τιμής της ταχύτητας περιστροφής, η οποία αντιστοιχεί στην ονομαστική τιμή της τάσεως στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου. Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής μεταβάλλοντας το ρεύμα διεγέρσεως χρησιμοποιείται για την επίτευξη τιμών της ταχύτητας μεγαλύτερων της αντίστοιχης ονομαστικής, αλλά όχι για ταχύτητα μικρότερη της ονομαστικής γιατί σ' αυτήν την περίπτωση η τιμή του ρεύματος διεγέρσεως ξεπερνά την αντίστοιχη μέγιστη τιμή της. Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής, μεταβάλλοντας την τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου χρησιμοποιείται για τιμές της ταχύτητας μικρότερες της αντίστοιχης ονομαστικής, αλλά όχι για τιμές μεγαλύτερες της ονομαστικής, γιατί τότε απαιτείται τάση στα άκρα του τυμπάνου μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ονομαστική.

Οι δύο μέθοδοι ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής λειτουργούν συμπληρωματικά:

- 1) Η μεταβολή της τιμής της τάσεως στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου πραγματοποιείται για τιμές της ταχύτητας περιστροφής μικρότερες της αντίστοιχης ονομαστικής, και
- 2) η μεταβολή του ρεύματος διεγέρσεως πραγματοποιείται για τιμές της ταχύτητας μεγαλύτερες της αντίστοιχης ονομαστικής.

Έχει ενδιαφέρον να μελετήσουμε τις γραφικές παραστάσεις των συναρτήσεων $T_{\alpha\xi} = f(n)$

και $P_{out}^{(max)} = f(n)$ όταν το ρεύμα του επαγωγικού τυμπάνου έχει μέγιστη τιμή $I_a^{(max)}$

Αναφερόμαστε, κυρίως, στην περίπτωση ενός κινητήρα ΣΡ παράλληλης ή ανεξάρτητης διεγέρσεως. Όταν μεταβάλλεται η τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου, η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα είναι σταθερή, ενώ η μέγιστη ροπή του κινητήρα δίδεται ως

$$T_{\alpha\xi}^{(max)} = K\Phi I_a^{(max)}$$

εξής Αυτή η μέγιστη ροπή είναι σταθερή, ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η ισχύς στον άξονα του κινητήρα είναι $P_{out} = T_{\alpha\xi}\omega$, οπότε η

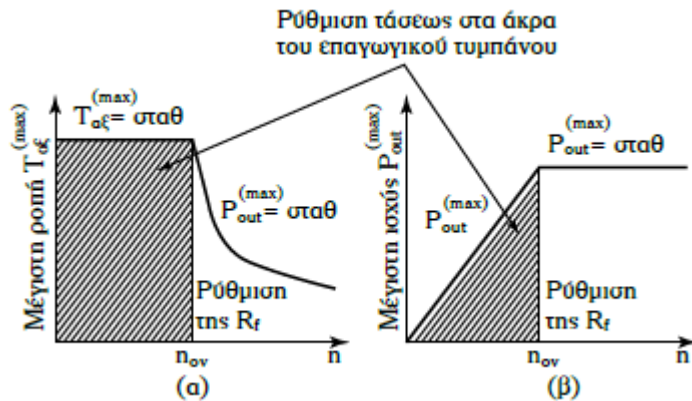
μέγιστη ισχύς του κινητήρα, για τιμές της ταχύτητας μικρότερες της αντίστοιχης ονομαστικής, είναι:

$$P_{out}^{(max)} = T_{\alpha\xi}^{(max)}\omega$$

με
$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} \text{ rad/s}$$

Η $P_{out}^{(max)}$ είναι ευθέως ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.

Μεταβάλλοντας την τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου ο κινητήρας λειτουργεί στη μέγιστη ροπή, ενώ η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται γραμμικά. Μεταβάλλοντας το ρεύμα διεγέρσεως έχουμε αύξηση της ταχύτητας περιστροφής όταν μειώνεται η μαγνητική ροή, ενώ η τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου είναι σταθερή στην ονομαστική της τιμή (σχήμα 3.6.29.ζ).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.,29.ζ.: Μελέτη (α) της μέγιστης ισχύος (β) της μέγιστης ροπής σε συνάρτηση με την ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση

Θεωρώντας μέγιστη την τιμή του ρεύματος τυμπάνου έχουμε:

$$\Phi = \frac{V_a - R_a I_a^{(max)}}{Kn} \propto \frac{1}{n}.$$

Η ανωτέρω εξίσωση, εκφράζει τον τρόπο μείωσης της ροής διεγέρσεως Φ για τιμές της ταχύτητας περιστροφής μεγαλύτερες της αντίστοιχης ονομαστικής. Από τις εξισώσεις λειτουργίας του κινητήρα ΣΡ με παράλληλη διέγερση προκύπτει ότι:

$$T_{\alpha\xi}^{(max)} \propto \frac{1}{n}$$

όταν το ρεύμα τυμπάνου θεωρείται ότι έχει την μέγιστη τιμή.

Με αυτόν τον τρόπο ο κινητήρας, για τιμές της ταχύτητας περιστροφής μεγαλύτερες της αντίστοιχης ονομαστικής, λειτουργεί με σταθερή μέγιστη ισχύ στον άξονα του:

$$P_{out}^{(max)} = T_{\alpha\xi}^{(max)} \omega.$$

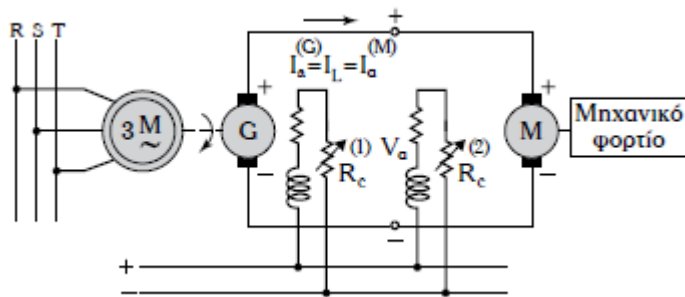
Τελικά, όταν μεταβάλλεται το ρεύμα διεγέρσεως η μέγιστη αποδοσμένη ισχύς του κινητήρα είναι σταθερή, ενώ η μέγιστη ροπή είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής.

5.Σύστημα Ward-Leonard.

Η αποτελεσματικότερη μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα είναι η μέθοδος ρυθμίσεως της τάσεως στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου, για μεγάλο διάστημα τιμών της ταχύτητας, χωρίς να επηρεάζεται η μέγιστη ροπή.

Πριν την ανακάλυψη και εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος, η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής ενός κινητήρα ΣΡ πραγματοποιούνταν με το σύστημα Ward-Leonard (σχήμα 3.6.29.η). Το σύστημα αυτό είναι μια μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ΣΡ ρυθμίζοντας την τάση στα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου.

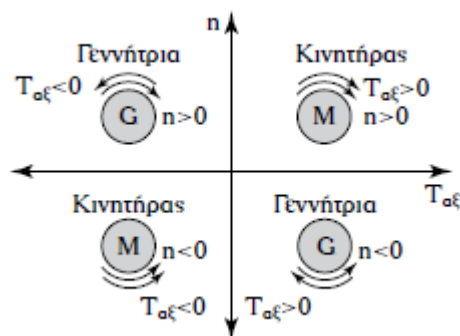
Το σύστημα Ward-Leonard αποτελείται από έναν τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα, μία γεννήτρια ΣΡ με ανεξάρτητη διέγερση κι έναν κινητήρα ΣΡ ανεξάρτητης διεγέρσεως. Ο ασύγχρονος κινητήρας περιστρέφει την γεννήτρια ΣΡ η οποία τροφοδοτεί με συνεχή τάση τον κινητήρα ΣΡ.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.η.: Σύστημα Ward-Leonard

Τα τυλίγματα διεγέρσεως των μηχανών ΣΡ τροφοδοτούνται από ένα δίκτυο συνεχούς τάσεως. Η τάση στους ακροδέκτες του επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα ΣΡ μεταβάλλεται ρυθμίζοντας το ρεύμα διεγέρσεως της γεννήτριας ΣΡ. Μεταβάλλοντας την τάση στους ακροδέκτες του επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα ΣΡ επιτυγχάνονται μεταβολές της ταχύτητάς του από πολύ μικρές τιμές μέχρι την ονομαστική του τιμή. Για τιμές μεγαλύτερες της ονομαστικής ταχύτητας, η ταχύτητα του κινητήρα ΣΡ ρυθμίζεται με μείωση της τιμής του ρεύματος διεγέρσεώς του

(σχήματος 3.6.29.θ.). Αντιστρέφοντας τη φορά του ρεύματος διεγέρσεως της γεννήτριας, αντιστρέφεται η πολικότητα της τάσεως στους ακροδέκτες του τυμπάνου του κινητήρα. Αν το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα δεν αλλάξει φορά, τότε αντιστρέφεται τόσο η φορά περιστροφής του, όσο και η φορά της ροπής του. Η ταχύτητα και η ροπή στον άξονα θεωρούνται θετικές ποσότητες αν έχουν φορά εκείνης των δεικτών του ρολογιού ($n > 0$, $T_{αξ} > 0$) και αρνητικές ποσότητες αν έχουν αντίθετη φορά ($n < 0$, $T_{αξ} < 0$). Εάν η n και η $T_{αξ}$ έχουν την ίδια φορά, τότε, γενικά, η μηχανή ΣΡ λειτουργεί σαν κινητήρας ΣΡ, ενώ αν έχουν αντίθετη φορά λειτουργεί σαν γεννήτρια ή πέδη.



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.θ.: Περιοχή λειτουργίας του συστήματος Ward - Leonard

Τα **πλεονεκτήματα** του συστήματος Ward- Leonard είναι ότι:

- 1) Επιτυγχάνεται μεγάλο διάστημα ρυθμίσεως των τιμών της ταχύτητας και προς τις δύο κατευθύνσεις, και ότι
- 2) επανακτάται ενέργεια. Στην περίπτωση, κατά την οποία ο κινητήρας ανυψώνει ένα μεγάλο φορτίο και στην συνέχεια το κατεβάζει, τότε λειτουργεί σαν γεννήτρια οπότε προσφέρει ισχύ στο σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι ένα μέρος της ενέργειας, η οποία καταναλώθηκε στη διαδικασία ενεργοποίησης ενός φορτίου μπορεί να αναπαραχθεί. Με αυτόν τον τρόπο

έχομε μείωση του κόστους λειτουργίας της μηχανής.

Τα **μειονεκτήματα** του συστήματος Ward-Leonard είναι:

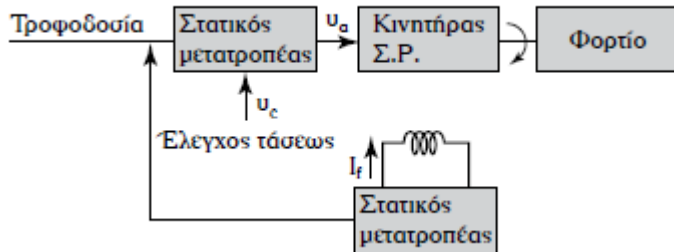
- 1) Ο χαμηλός βαθμός αποδόσεως του συστήματος λόγω των απωλειών των τριών μηχανών του συστήματος και

2) η περιορισμένη ταχύτητα ελέγχου λόγω της μεγάλης αυτεπαγωγής των κυκλωμάτων διεγέρσεως.

6. Έλεγχος ταχύτητας κινητήρων ΣΡ μέσω στατών μετατροπών

Η ταχεία ανάπτυξη και εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος συντέλεσε καθοριστικά, στο να ξεπεραστεί ο έλεγχος ταχύτητας των κινητήρων ΣΡ με την μέθοδο Ward-Leonard.

Στο σχήμα (3.6.29.1) παρουσιάζεται το διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος, το οποίο χρησιμοποιεί στατούς μετατροπείς. Οι μετατροπείς είναι ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις και **ψαλιδοιστές** (τεμαχιστές) (choppers).



ΣΧΗΜΑ: 3.6.29.1.: Διάγραμμα βαθμίδας για τον έλεγχο της ταχύτητας κινητήρων Σ.Ρ.

Ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις.

Αν τροφοδοτήσουμε το σύστημα με ανορθωτική διάταξη μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση πλάτους και συχνότητας σταθερής σε μια μεταβλητή συνεχή τάση. Αν η ανορθωτική διάταξη αποτελείται από θυρίστορς, τότε η διάταξη είναι πλήρως ελεγχόμενη.

Αν κάποιες συνιστώσες είναι δίοδοι η ανορθωτική διάταξη είναι ημιελεγχόμενη.

Ψαλιδοιστής (τεμαχιστής) (chopper).

Ο τεμαχιστής είναι μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή μεταβαλλόμενη τάση (ακολουθία θετικών παλμών). Ο τεμαχιστής είναι ένας διακόπτης μέσω του οποίου η μετάβαση του ρεύματος γίνεται σε υψηλή συχνότητα. Ο ημιαγωγικός διακόπτης, είτε λειτουργεί στην περιοχή κορεσμού είτε στην περιοχή αποκοπής, υλοποιείται με MOSFET, τρανζίστορ ισχύος, θυρίστορ, GTO ή IGBT ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος του κινητήρα ΣΡ.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ:

1. Η αντίσταση του τυλίγματος τυμπάνου μιας γεννήτριας ανεξάρτητης διεγέρσεως, 50 kW, 250 V είναι 0,025 Ω. Η γεννήτρια παρέχει το **ονομαστικό ρεύμα** με την **ονομαστική της τάση**. Να υπολογίσετε το ρεύμα τυμπάνου και την τάση χωρίς φορτίο στο **ονομαστικό φορτίο**. Αν η τερματική τάση διατηρείται στα 250 V και η ισχύς εξόδου μειώνεται στα 40 kW, να υπολογίσετε την τάση χωρίς φορτίο σ' αυτήν την κατάσταση λειτουργίας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η ισχύς εξόδου της γεννήτριας είναι:

$$P_{out} = V_t I_a.$$

Το ονομαστικό ρεύμα τυμπάνου είναι:

$$I_a = 50 \cdot 10^3 / 250 = 200 \text{ A.}$$

Είναι:

$$E_a = V_t + I_a R_a = 250 + 200 \cdot (0,025) = 255 \text{ V.}$$

Όταν η ισχύς εξόδου είναι 40 kW, τότε:

$$I_a = 40 \cdot 10^3 / 250 = 160 \text{ A.}$$

Τότε: $E_a = 250 + 160 \cdot (0,025) = 254 \text{ V.}$

2.

Σε μια γεννήτρια Σ.Ρ. η διακύμανση της τάσης της είναι $\epsilon=6,9\%$. Αν η τάση εν κενώ είναι $U_o=230\text{V}$, να βρεθεί η τιμή της τάσης της υπό πλήρες φορτίο.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Η σχέση που δίνει τη διακύμανση της τάσης είναι: $\epsilon\% = \frac{U_o - U_N}{U_N} \cdot 100\%$

και απ' αυτή βρίσκουμε: $6,9U_N = (U_o - U_N)100$

$$6,9U_N = U_o \cdot 100 - U_N \cdot 100$$

$$106,9U_N = U_o \cdot 100$$

$$U_N = \frac{23.000}{106,9} = 215\text{V}$$

3.

∴ Ζητείται να βρεθεί ο βαθμός απόδοσης γεννήτριας Σ.Ρ. η οποία αποδίδει ισχύ 10kW.

Η γεννήτρια παίρνει κίνηση από κινητήρα ο οποίος της προσδίδει κινητική ισχύ με 12kW.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{ασ}}}$$

όπου P : είναι η ισχύς που αποδίδει η γεννήτρια

$P_{\text{ασ}}$: είναι η απαιτούμενη κινητική ισχύς.

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{εισ}}} = \frac{10}{12} = 0,83 \text{ ή } 83\%$$

4.

Δίδεται κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση, 230 V, ο οποίος έχει αντίσταση τυμπάνου 0,21 Ω. Ο κινητήρας τροφοδοτείται με 40 A και περιστρέφεται με 760 ΣΑΛ. Αν η μαγνητική ροή μειωθεί κατά 15%, ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα; Θεωρήστε ότι η ροπή στον δρομέα διατηρείται σταθερή.

Λύση.

Διακρίνομε δύο καταστάσεις λειτουργίας για

τον κινητήρα:

1) Πριν τη μείωση της μαγνητικής ροής: Δίδονται:

$$V_t = 230 \text{ V}, I_a^{(1)} = 40 \text{ A}, R_a = 0,21 \text{ } \Omega, n_1 = 760 \text{ } \Sigma\text{ΑΛ}$$

$$T_1 = K_1 \Phi_1 I_a^{(1)}.$$

Η αντι-ΗΕΔ είναι:

$$E_a^{(1)} = V_t - I_a^{(1)} R_a = 230 - 40 \cdot 0,21 = 221,6 \text{ V}.$$

2) Μετά τη μείωση της μαγνητικής ροής έχουμε:

$$V_t = 230 \text{ V}, \Phi_2 = 0,85 \Phi_1$$

Υπολογισμός του $I_a^{(2)}$:

Ισχύει: $T_2 = K_1 \Phi_2 I_a^{(2)}.$

Είναι $T_1 = T_2$

και $K_1 \Phi_1 I_a^{(1)} = K_2 \Phi_2 I_a^{(2)}$

ή $I_a^{(1)} = 0,85 I_a^{(2)}$

και $I_a^{(2)} = \frac{I_a^{(1)}}{0,85}$.

Είναι $I_a^{(1)} = 40 \text{ A}$, οπότε ισχύει:

$$I_a^{(2)} = \frac{40}{0,85} \cong 47 \text{ A}.$$

Η αντι-ΗΕΔ είναι:

$$E_a^{(2)} = V_t - I_a^{(2)} R_a = 230 - 47 \cdot 0,21 \cong 220 \text{ V}.$$

Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα πριν τη μείωση της μαγνητικής ροής είναι:

$$n_1 = \frac{E_a^{(1)}}{K \Phi_1}. \quad (1)$$

Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μετά τη μείωση της ροής είναι:

$$n_2 = \frac{E_a^{(2)}}{K \Phi_2} = \frac{E_a^{(2)}}{K \cdot 0,85 \Phi_1}. \quad (2)$$

Διαιρούμε κατά μέλη την εξίσωση 1 και την εξίσωση 2, οπότε έχουμε:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{E_a^{(1)}}{K \Phi_1}}{\frac{E_a^{(2)}}{K \cdot 0,85 \Phi_1}} = \frac{0,85 E_a^{(1)}}{E_a^{(2)}}$$

ή $\frac{760}{n_2} = \frac{0,85 E_a^{(1)}}{E_a^{(2)}} = \frac{0,85 \cdot 221 \cdot 6}{220}$

και $n_2 \cong 888 \text{ ΣΑΛ}.$

5.

Κινητήρας ΣΡ αναπτύσσει ροπή 30 N-m. Να υπολογίσετε τη ροπή του κινητήρα όταν το ρεύμα τυμπάνου αυξηθεί κατά 50% και η μαγνητική ροή μειωθεί κατά 10%.

Λύση.

Έστω T_1 και Φ_1 η τιμή της ροπής και της μαγνητικής ροής πριν την αύξηση του ρεύματος τυμπάνου και τη μείωση της μαγνητικής ροής αντίστοιχα. T_2 και Φ_2 είναι οι τιμές της ροπής και της μαγνητικής ροής μετά την αύξηση του ρεύματος τυμπάνου και της αντίστοιχης μείωσης της μαγνητικής ροής.

Έχομε:

$$T_1 = K\Phi_1 I_a^{(1)} \quad (1)$$

$$T_2 = K\Phi_2 I_a^{(2)}. \quad (2)$$

Διαιρούμε κατά μέλη τις εξισώσεις 1 και 2:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \cdot \frac{I_a^{(1)}}{I_a^{(2)}}.$$

Προκύπτει λοιπόν: $I_a^{(2)} = 1,5 I_a^{(1)}$ και $\Phi_2 = 0,9 \Phi_1$.

οπότε:
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\Phi_1}{0,9 \Phi_1} \cdot \frac{I_a^{(1)}}{1,5 I_a^{(1)}}$$

και
$$T_2 = 30 \cdot 0,9 \cdot 1,5 = 40,5 \text{ N-m.}$$

6.

Δίδεται εξαπολικός κινητήρας ΣΡ, ο οποίος τροφοδοτείται με τάση 240 V, ενώ απορροφά από το δίκτυο 45 A. Η αντίσταση του επαγωγικού τυμπάνου είναι 0,24 Ω. Ο κινητήρας περιστρέφεται με 610 ΣΑΛ. Να υπολογίσετε την ηλεκτρομαγνητική ροπή, T_e , του κινητήρα.

Λύση.

Θα υπολογίσουμε την εσωτερική αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή T_e . Ισχύει:

$$P_e = E_a I_a = T_e \omega$$

και
$$T_e = \frac{E_a I_a}{\omega} .$$

Είναι: $E_a = V_t - I_a R_a = 240 - 45 \cdot 0,24 = 229,2 \text{ V} .$

Είναι: $\omega = 2\pi \frac{n}{60} = \frac{6,28 \cdot 610}{60} = 63,84 \text{ rad/s} .$

Η ροπή T_e είναι: $T_e = \frac{229,2 \cdot 45}{63,84} = 162 \text{ N-m} .$

12. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1.

Ποιος είναι ο προορισμός του στάτη μιας μηχανής Σ.Ρ.;

2.

Ποιος είναι ο προορισμός του δρομέα;

3.

Από ποια μέρη αποτελείται ο στάτης;

4.

Από ποια μέρη αποτελείται ο δρομέας;

5.

Γιατί ο πυρήνας των μαγνητικών πόλων και ο πυρήνας του δρομέα δεν είναι ολόσωμοι, αλλά κατασκευάζονται από πολλά μεμονωμένα μαγνητικά ελάσματα;

6.

Τι ονομάζουμε διέγερση και τι τύλιγμα διέγερσης;

7.

Που χρησιμοποιούνται τα βροχοτυλίγματα και που τα κυματοτυλίγματα;

8.

Γιατί μια γεννήτρια Σ.Ρ. ονομάζεται:

- α) ξένης διέγερσης;
- β) παράλληλης διέγερσης;
- γ) διέγερσης σειράς;
- δ) σύνθετης διέγερσης;

9.

Τι ονομάζεται ονομαστική ισχύς γεννήτριας Σ.Ρ.;

10.

Σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται οι απώλειες των γεννητριών Σ.Ρ.;

11.

Τι ονομάζεται βαθμός απόδοσης γεννήτριας Σ.Ρ.;

12

Με ποιους τρόπους ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.;

13.

Τι ονομάζουμε ονομαστική ισχύ σε κινητήρα Σ.Ρ.;

14.

Πώς διακρίνονται οι κινητήρες ανάλογα με τη διέγερσή τους;

15.

Ένα μειονέκτημα του συστήματος Ward - Leonard (Βαρτ-Λέοναρντ) είναι:

- α. ο μεγάλος βαθμός απόδοσης.
- β. ο μεγάλος όγκος.
- γ. το υψηλό κόστος.

16.

Με ποια ταχύτητα πρέπει να κινείται αγωγός μήκους $l=0,5\text{m}$, μέσα σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που έχει μαγνητική επαγωγή $B=0,8\text{T}$, αν η γωνία που κόβει τις μαγνητικές γραμμές είναι 60° και η παραγόμενη ΗΕΔ από επαγωγή στον αγωγό είναι $E=9,4\text{V}$.

17.

Ζητείται ο βαθμός απόδοσης μιας γεννήτριας Σ.Ρ. η οποία αποδίδει ισχύ 6HP ($1\text{HP}=0,736\text{kW}$) με σταθερές απώλειες 500W και μεταβλητές απώλειες 300W .

18.

Να βρεθεί η ΑΗΕΔ κινητήρα Σ.Ρ. 10HP, 220V του οποίου το τύλιγμα του τυμπάνου με πλήρες φορτίο διαρρέεται από ένταση 40A και έχει αντίσταση 0,25Ω.

19.

Η ένταση τυμπάνου κινητήρα παράλληλης διέγερσης 220V θα είναι 50A, όταν ο κινητήρας εργάζεται με πλήρες φορτίο, με την ονομαστική του τάση και τις ονομαστικές του στροφές. Η αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα είναι 0,3Ω.

Να βρεθούν:

α) η ΑΗΕΔ με πλήρες φορτίο

β) η ισχύς η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα του σε HP.

20.

Κινητήρας παράλληλης διέγερσης 220V, με αντίσταση τυλίγματος τυμπάνου 0,2Ω, λειτουργεί με 1500στρ/μίν και ένταση, δια του τυλίγματος του τυμπάνου, 30A. Ο ίδιος κινητήρας για ένα αυξημένο φορτίο έχει ένταση τυλίγματος τυμπάνου 60A.

Να βρεθούν:

α) η ΑΗΕΔ του κινητήρα για $I_f=30A$

β) η ΑΗΕΔ του κινητήρα για $I_f=60A$

γ) η ισχύς η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα σε HP, για τις δύο περιπτώσεις φορτίου.

21.

Κινητήρας παράλληλης διέγερσης εργάζεται με τάση 220V και έχει ταχύτητα 1000στρ/μίν, όταν το τύλιγμα του τυμπάνου του, το οποίο έχει αντίσταση 0,4Ω, διαρρέεται από ένταση 50A.

Να βρεθεί η εκατοστιαία μεταβολή της ΑΗΕΔ και των στροφών του κινητήρα, όταν το μηχάνημα το κινούμενο από τον κινητήρα απαιτεί το $\frac{1}{2}$ της ροπής, την οποία έδινε προηγουμένως ο κινητήρας.

22.

Κινητήρας συνεχούς ρεύματος ισχύος 50kW έχει βαθμό απόδοσης 80% και τάση τροφοδοσίας 250V. Τι αντίσταση πρέπει να έχει ο εκκινητής, ώστε το ρεύμα εκκίνησης να είναι 1,60 παραπάνω από το I_{ov} . Αν η ταχύτητα του κινητήρα είναι 2500στρ/λεπτό, υπολογίστε τη ροπή στην έξοδο και την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη. Δίνεται $R_f=0,5\Omega$.

23.

Δίδεται κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση, ο οποίος απορροφά 25 A από το δίκτυο, όταν τροφοδοτείται με τάση 220 V. Οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού είναι 450 W. Η αντίσταση του επαγωγικού τυμπάνου είναι 0,25 Ω και η αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως 110 Ω. Να υπολογίσετε την απόδοση του κινητήρα.

24.

Δίδεται κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση, ο οποίος απορροφά ρεύμα 30 A από το δίκτυο ΣΡ, όταν τροφοδοτείται με 220 V. Η ταχύτητα περιστροφής του είναι 1.100 ΣΑΛ. Η αντίσταση επαγωγικού τυμπάνου και η αντίσταση του τυλίγματος διεγέρσεως είναι 0,24 Ω και 120 Ω αντίστοιχα. Οι απώλειες λόγω τριβής και ανεμισμού είναι 250 W. Να υπολογίσετε:

- 1) Την εσωτερική αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή T_e .
- 2) Την ροπή στον άξονα του κινητήρα.
- 3) Την απόδοση του κινητήρα.

25.

Κινητήρας ΣΡ περιστρέφεται με 800 ΣΑΛ και τροφοδοτείται με τάση 230 V. Να υπολογιστεί η ταχύτητα του κινητήρα όταν τροφοδοτείται με τάση 200 V. Θεωρήστε ότι η μαγνητική ροή είναι 65% της αρχικής, ενώ αμελούνται οι πτώσεις τάσεως στα κυκλώματα του επαγωγικού τυμπάνου.

26.

Δίδεται γεννήτρια ΣΡ με διέγερση σειράς με τα εξής χαρακτηριστικά:

$$P_{out} = 10 \text{ kW}, \quad V_t = 125 \text{ V}, \quad R_s = 0,05 \text{ } \Omega$$

1) Όταν η τάση χωρίς φορτίο είναι 137 V να υπολογίσετε την αντίσταση του τυλίγματος τυμπάνου.

2) Για φορτίο ίσο με 75% του ονομαστικού να υπολογίσετε την τάση χωρίς φορτίο.

3) Όταν η E_g είναι 136 V και η ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας είναι 8 kW να υπολογίσετε την τερματική τάση της γεννήτριας.

27.

Γεννήτρια ΣΡ διεγέρσεως σειράς 220 V, 20 kW έχει αντίσταση τυμπάνου $0,3 \Omega$ και αντίσταση τυλίγματος διεγέρσεως σειράς $0,025 \Omega$.

Η γεννήτρια λειτουργεί με ονομαστική τάση και τροφοδοτεί φορτίο ίσο με 70% του ονομαστικού. Αν η μηχανική ισχύς εισόδου της γεννήτριας είναι 24 HP να υπολογίσετε:

- 1) Την τάση τυμπάνου.
- 2) Την απόδοση της γεννήτριας.

28.

Γεννήτρια ΣΡ με παράλληλη διεγερση, 120 V, 12 kW λειτουργεί με την ονομαστική της τάση. Έχει αντίσταση επαγωγικού τυμπάνου $0,2 \Omega$ και αντίσταση τυλίγματος διεγέρσεως 60Ω . Η γεννήτρια στρέφεται με $n = 800$ ΣΑΛ, ενώ η ασκούμενη ροπή στον άξονά της είναι $T_{αξ} = 132$ N-m. Οι μηχανικές απώλειες (ή απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού) είναι 430 W.

Να υπολογίσετε:

Την μηχανική ισχύ, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

29.

Η αντίσταση του τυλίγματος τυμπάνου μιας γεννήτριας ανεξάρτητης διεγέρσεως, 50 kW, 250 V είναι $0,025 \Omega$.

Η γεννήτρια παρέχει 40 kW όταν η τάση χωρίς φορτίο είναι 255 V. Να υπολογίσετε την τερματική τάση V_t και το αντίστοιχο ρεύμα τυμπάνου I_a όταν η τερματική τάση διατηρείται στα 253 V και η τάση χωρίς φορτίο είναι 257 V. Να υπολογίσετε την ισχύ εξόδου της γεννήτριας.