

Ενότητα 2.5.

Ηλεκτρικοί κινητήρες Σ.Ρ.

Διδακτικοί στόχοι

➔ Μετά από τη μελέτη της ενότητας αυτής πρέπει να μπορείτε:

1. Να απαριθμείτε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας μηχανής Σ.Ρ., όταν λειτουργεί σαν κινητήρας.
2. Να διατυπώνετε τις βασικές εξισώσεις ροπής, ρεύματος, στρωφών του κινητήρα Σ.Ρ.
3. Να αναφέρετε πού και γιατί χρησιμοποιείται κάθε τύπος κινητήρα Σ.Ρ. στην παραγωγή και στα οχήματα.
4. Να γνωρίζετε τους τρόπους αλλαγής φοράς περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.
5. Να ερμηνεύετε τις συνθήκες λειτουργίας των κινητήρων από τις χαρακτηριστικές τους καμπύλες.

2.5.1. Γενικά

Οι μηχανές Σ.Ρ. που λειτουργούν ως κινητήρες, ονομάζονται κινητήρες Σ.Ρ. Η ίδια ηλεκτρική μηχανή είναι δυνατόν να λειτουργεί τόσο ως γεννήτρια, όσο και ως κινητήρας, γεγονός που προσδιορίζεται αποκλειστικά από τη φορά ροής της ισχύος.

Στις βιομηχανικές χώρες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες καταναλώνουν περίπου το 65% της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας. Το 8% αυτής της κατανάλωσης οφείλεται σε κινητήρες Σ.Ρ., που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ελεγχόμενης λειτουργίας. Το υπόλοιπο, μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, καταναλώνεται από κινητήρες Ε.Ρ., που λειτουργούν συνήθως με μη ελεγχόμενες ταχύτητες περιστροφής. Τα συστήματα Σ.Ρ. είναι ακόμη αναντικατάστατα στα επιβατικά αυτοκίνητα, στα φορτηγά και στα αεροπλάνα. Όταν ένα όχημα διαθέτει κάποιο σύστημα ισχύος που τροφοδοτείται με Σ.Ρ., προφανώς χρησιμοποιεί κινητήρες Σ.Ρ. Οι κινητήρες αυτοί εμφανίζονται επίσης πολύ συχνά σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγάλες μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής. Σε τέτοιες εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας οι κινητήρες Σ.Ρ. είναι πραγματικά αζεπέραστοι. Ακόμη και όταν δεν είναι διαθέσιμη μια πηγή Σ.Ρ., συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί ανορθωτές ή κυκλώματα μετατροπής σταθερής συνεχούς τάσης, σε συνεχή τάση μεταβλητής τιμής.

2.5.2. Αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.1.3, υπενθυμίζεται ότι, το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot l \cdot i \text{ ημα (σε Ν)}$$

(2.8)

2.5.3. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κινητήρων Σ.Ρ.

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 επαγωγίσιμου, έχει να υπερνικήσει μόνο την αντίσταση των τριβών του κινητήρα. Επομένως, η ένταση I_T 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 επαγωγίσιμο 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:

$$U = E_a + I_T \cdot R_T \quad (2.9)$$

όπου U : τάση της πηγής (σε V)

E_a : αναπτυσσόμενη ΑΗΕΔ (σε V)

I_T : ένταση του ρεύματος του επαγωγίσιμου (σε A)

R_T : σύνολο των αντιστάσεων του επαγωγίσιμου (σε Ω).

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

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n \quad (\text{σε V}) \quad (2.10)$$

όπου k : 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_a 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:

$$I_e = \frac{U - 0}{R_T} = \frac{U}{R_T} \quad (2.11)$$

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 εκκινήτης). Ο ρόλος του εκκινήτη 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 εκκινήτη 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:

$$I_{\epsilon} = \frac{U}{R_T + R_{\epsilon}} \quad (2.12)$$

Είναι προφανές ότι ο εκκινήτης 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 (βραχίον), δίνεται δε από τη σχέση:

$$T = F \cdot r \quad (2.13)$$

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:

$$T = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot \alpha} \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.14)$$

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 $\pi = 3, 14$

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:

$$T = k_1 \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.15)$$

όπου $k_1 = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot \alpha}$ είναι σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή.

P, S, W (πεζιά)

5. Λειτουργία κινητήρων με φορτίο

Όταν στον άξονα του κινητήρα είναι συνδεδεμένο μηχανήμα 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.

↙ Διαρρέει

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

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T} \quad (2.16)$$

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

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n \quad (2.17)$$

Ελάττωση όμως της E_a σημαίνει αύξηση της έντασης (I_T) όπως προκύπτει από τη σχέση (2.16).

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

$$T = k_1 \cdot \Phi \cdot I_T \quad (2.18)$$

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:

$$E_o = U - I_T R_T \text{ και } E_o = k \cdot \Phi \cdot \eta$$

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

$$n = \frac{U - I_T R_T}{k \cdot \Phi} \quad (2.19)$$

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 ($I_T R_T$) 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.

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_1) που απορροφά ο κινητήρας με μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή που τον τροφοδοτεί με Σ.Ρ. δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = U \cdot I \quad (\text{σε } W) \quad (2.20)$$

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

$$P = \frac{T_a \cdot n}{9,55} \quad (\text{σε } W) \quad (2.21)$$

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 $P_1 - P = P_{\text{αν}}$ καταναλώνεται σε απώλειες μέσα στη μηχανή. Οι απώλειες αυτές είναι ίδιες με αυτές που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.3.4. 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:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P + P_{\text{αν}}} < 1 \quad (2.22)$$

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.~~

διευκρινίζεται ότι όταν ο βαθμός απόδοσης των κινητήρων αναφέρεται στην πινακίδα τους αφορά στην πλήρη φόρτιση τους.

2.5.4. Είδη κινητήρων Σ.Ρ.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσης των κινητήρων Σ.Ρ., αυτοί διακρίνονται σε:

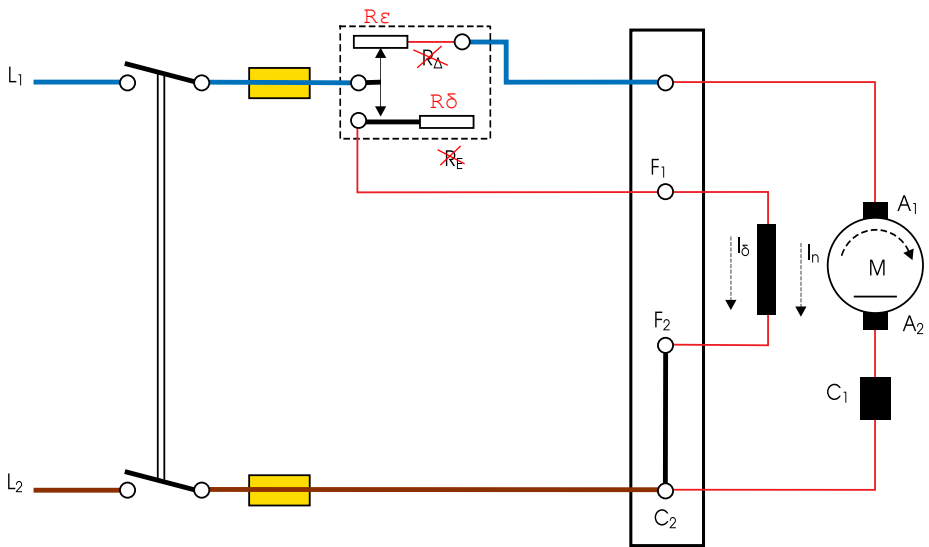
- α) κινητήρες με ξένη διέγερση,
- β) κινητήρες με παράλληλη διέγερση,
- γ) κινητήρες με διέγερση σειράς,
- δ) κινητήρες με σύνθετη διέγερση.

Οι τελευταίοι, όπως και οι γεννήτριες Σ.Ρ., διακρίνονται σε κινητήρες με **αθροιστική σύνθετη διέγερση** και σε κινητήρες με **διαφορική σύνθετη διέγερση**.

2.5.4.1. Κινητήρες παράλληλης διέγερσης

Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του οπλισμού του, ενώ το αντίστοιχο κύκλωμα ενός κινητήρα ξένης διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή Σ.Ρ. Αν θεωρηθεί πως η τάση τροφοδοσίας ενός κινητήρα παραμένει σταθερή δεν υπάρχει καμία πρακτική διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους κινητήρων. Έτσι η ανάλυση ενός κινητήρα Σ.Ρ. παράλληλης διέγερσης περιλαμβάνει και την ανάλυση κινητήρα ξένης διέγερσης.

Στο σχήμα 2.22 φαίνεται η συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διέγερσης.



Σχ. 2.22: Κινητήρας παράλληλης διέγερσης.

Σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, συνδέεται ο ροοστάτης εκκίνησης R_{ϵ} που χρησιμεύει για την εκκίνηση. Ο εκκινητής, όπως παρατηρούμε, συνδυάζεται με το ροοστάτη διέγερσης R_{Δ} και έτσι έχουμε κοινή συσκευή αντιστάσεων (R_{ϵ} και R_{Δ}).

Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ότι το τύλιγμα διέγερσης είναι παράλληλα συνδεδεμένο προς το επαγωγικό τύμπανο. Επομένως, το ρεύμα διέγερσης προκαλείται από τη σταθερή τάση εφαρμογής της μηχανής (U). Αυτό σημαίνει ότι η διέγερση δρα ανεξάρτητα από το φορτίο. Το γεγονός αυτό αποτελεί πλεονέκτημα για την περίπτωση που ο κινητήρας καλείται να κινήσει μηχανήματα μεταβλητού φορτίου ή να διατηρεί σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως είναι οι αντλίες, τα μηχανουργικά και υφαντουργικά μηχανήματα κ.λπ.

- Αλλαγή φοράς περιστροφής

Εάν θέλουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής στους κινητήρες αυτούς, μπορούμε να το πετύχουμε με δυο τρόπους:

α) με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης, δηλαδή αλλάζοντας την πολικότητα των μαγνητικών πόλων, χωρίς να μεταβληθεί η φορά του ρεύματος του τυμπάνου.

β) με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου, χωρίς να μεταβληθεί η πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Συνήθως προτιμούμε το δεύτερο τρόπο. Είναι προφανές, ότι για να ισχύει η διαδοχή κύριων και βοηθητικών πόλων, είναι απαραίτητο να αλλάξει και η πολικότητα των βοηθητικών πόλων του κινητήρα.

2.5.5. Παραδείγματα

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

Λύση

Έχουμε $U - E_{\alpha} = R_T \cdot I_T$

$$E_{\alpha} = U - R_T \cdot I_T = 220 - 0,25 \cdot 40 = 220 - 10 = 210V$$

2. Σε κινητήρα Σ.Π. ισχύος 10HP δίνονται $U=220V$, $I_T=40A$ και $R_T=0,25\Omega$. Να υπολογισθούν:

- α. Ποια θα ήταν η ένταση εκκίνησης αν δεν χρησιμοποιούσαμε εκκινητή και,
β. Ποια θα έπρεπε να ήταν η ολική αντίσταση του εκκινητή, ώστε η ένταση εκκίνησης να μην υπερβαίνει τα 150% της έντασης πλήρους φορτίου;

Λύση

α. Κατά την εκκίνηση χωρίς εκκινητή έχουμε:

$$I_{\text{εκ}} = \frac{U}{R_T} = \frac{220}{0,25} = 880A$$

δηλαδή, ένταση 22 φορές μεγαλύτερη της κανονικής

β. Κατά την εκκίνηση με τον εκκινητή θα γίνει:

$$I_{\text{εκ}} = \frac{U}{R_T + R_{\epsilon}}, \quad R_{\epsilon} = \frac{U}{I_{\text{εκ}}} - R_T$$

Όταν όλη η αντίσταση του εκκινητή είναι εντός του κυκλώματος θα έχουμε

$$I_{\text{εκ}} = 150\% \cdot 40 = 1,5 \cdot 40 = 60A.$$

$$\text{Άρα } R_{\epsilon} = \frac{220}{60} - 0,25 = 3,66 - 0,25 = 3,41\Omega$$

3. 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:

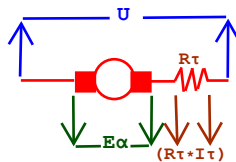
- α) η ΑΗΕΔ με πλήρες φορτίο
β) η ισχύς η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα του σε HP.

Λύση

α. Από τη σχέση $U - E_{\alpha} = R_T \cdot I_T$ έχουμε:

$$E_{\alpha} = U - R_T \cdot I_T$$

$$E_{\alpha} = 220 - 0,3 \cdot 50 = 220 - 15 = 205V$$



β. Η τάση του δρομέα θα είναι: $U - R_T \cdot I_T = 220 - 15 = 205V$ οπότε η ισχύς που αναπτύσσεται σ' αυτόν δίνεται από τη σχέση:

$$P = U_T \cdot I_T = 205 \cdot 50 = 10250 \text{ W} \text{ και επειδή } 1 \text{ HP} = 736 \text{ W}, P = \frac{10,250}{736} = 13,9 \text{ HP}$$

Εα

4. Κινητήρας παράλληλης διέγερσης 220V, με αντίσταση τυλίγματος τυμπάνου 0,2Ω, λειτουργεί με 1500στρ/min 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 $I_T = 30 \text{ A}$

β) η ΑΗΕΔ του κινητήρα για $I_T = 60 \text{ A}$

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

Λύση

α. $U - E_a = I_T \cdot R_T$

$$E_{a1} = U - I_T \cdot R_T = 220 - 30 \cdot 0,2 = 220 - 6 = 214 \text{ V}$$

β. $E_{a2} = U - I_T \cdot R_T = 220 - 60 \cdot 0,2 = 220 - 12 = 208 \text{ V}$

γ. $P_1 = E_{a1} \cdot I_T = 214 \cdot 30 = 6420 \text{ W}$ ή 8,7HP

$$P_2 = E_{a2} \cdot I_T = 208 \cdot 60 = 12480 \text{ W}$$
 ή 16,9HP

5. Τετραπολικός κινητήρας διέγερσης σειράς έχει 2 παράλληλους κλάδους, 786 αγωγούς και ροή ανά μαγνητικό πόλο 0,03Vs, όταν απορροφά από το δίκτυο 30A. Να βρεθεί η κινητήρια ροπή του κινητήρα.

Λύση

Η αναπτυσσόμενη ροπή δίνεται από τη σχέση: p, s, w (πεζά)

$$T = \frac{P \cdot S \cdot W}{2\pi \cdot \alpha} \cdot \Phi \cdot I_T \text{ (σε Nm)}$$

$$T = \frac{2 \cdot 786}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \cdot 0,03 \cdot 30 = 225,3 \text{ (σε Nm)}$$

6. Κινητήρας παράλληλης διέγερσης εργάζεται με τάση 220V και έχει ταχύτητα 1000στρ/min, 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 μηχανήμα το κινούμενο από τον κινητήρα απαιτεί το 1/2 της ροπής, την οποία έδινε προηγουμένως ο κινητήρας.

Λύση

$$K_1$$

Η ροπή δίνεται από τη σχέση: $T = K \cdot \Phi \cdot I_T$

Δεδομένου ότι η ένταση διέγερσης μένει σταθερή, θα είναι σταθερή και η ροή Φ . Επομένως, όταν αναπτύσσεται η μισή ροπή, το τύλιγμα του κινητήρα θα διαρρέεται

από το 1/2 της έντασης, δηλαδή, από $\frac{50}{2} = 25 \text{ A}$.

Οι ΑΗΕΔ στις δύο περιπτώσεις θα είναι:

$$E_{\alpha 1} = U - R_T \cdot I_{T1} = 220 - 0,4 \cdot 50 = 200V$$

$$E_{\alpha 2} = U - R_T \cdot I_{T2} = 220 - 0,4 \cdot 25 = 210V$$

Οι στροφές θα δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$E_{\alpha 1} = K \cdot \Phi \cdot \eta_1 \text{ και } E_{\alpha 2} = K \cdot \Phi \cdot \eta_2 \quad \leftarrow \text{όπου } \eta \text{ να γίνει } \eta$$

Διαιρώντας κατά μέλη έχουμε:

$$\frac{E_{\alpha 2}}{E_{\alpha 1}} = \frac{K \cdot \Phi \cdot \eta_2}{K \cdot \Phi \cdot \eta_1}, \quad \eta_2 = \eta_1 \cdot \frac{E_{\alpha 2}}{E_{\alpha 1}} = 1000 \cdot \frac{210}{200} = 1050 \text{ στρ/min}$$

Άρα για μεταβολή του ρεύματος τυμπάνου κατά $\frac{50-25}{50} \cdot 100\% = 50\%$ έχουμε

μεταβολή της ΑΗΕΔ κατά $\frac{200-210}{200} \cdot 100\% = 5\%$ και των στροφών κατά

$$\frac{1000-1050}{1000} \cdot 100\% = 5\%.$$

Η μεταβολή αυτή είναι ίση φυσικά προς τη μεταβολή της ΑΗΕΔ, εφ' όσον υπάρχει ευθεία αναλογία μεταξύ τους, όταν η ροή είναι σταθερή. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι μία μικρή μεταβολή των στροφών του κινητήρα προκαλεί ίση ποσοστιαία μεταβολή της ΑΗΕΔ και μια μεγάλη μεταβολή στην ένταση δια του τυλίγματος του τυμπάνου του, προκειμένου να ανταποκριθεί ο κινητήρας στο νέο του φορτίο.

φορές

7. Κινητήρας συνεχούς ρεύματος ισχύος 50kW έχει βαθμό απόδοσης 80% και τάση τροφοδοσίας 250V/λι 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 $R_T = 0,5\Omega$.

Λύση

~~$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}} = \frac{250}{0,5 + R_{EK}}$$~~

~~$$I_{EK} = 1,6 \cdot I_{ov} = 250 \cdot 1,6 = 400A$$~~

~~$$I_{ov} = \frac{P}{U \cdot \eta} = \frac{50.000}{250 \cdot 0,8} = 250A$$~~

~~$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}} \Rightarrow 400 = \frac{250}{0,5 + R_{EK}}, \quad R_{EK} = \frac{u}{I_{EK}} - R_T$$~~

~~$$R_{EK} = \frac{250}{400} - 0,5 = 0,625 - 0,5 = 0,125\Omega$$~~

~~$$T_{\alpha} = \frac{P \cdot 9,55}{n} = \frac{50.000 \cdot 9,55}{2500} = 191Nm$$~~

~~$$E_{\alpha} = U - I_T \cdot R_T = 250 - 250 \cdot 0,5 = 125V$$~~

$$I_{ov} = \frac{P}{U \cdot \eta} = \frac{50.000}{250 \cdot 0,8} = 250A$$

$$I_{EK} = 1,6 \cdot I_{ov} = 250 \cdot 1,6 = 400A$$

$$I_{EK} = \frac{U}{R_T + R_{EK}} \Rightarrow 400 = \frac{250}{0,5 + R_{EK}}, \quad R_{EK} = \frac{u}{I_{EK}} - R_T$$

$$R_{EK} = \frac{250}{400} - 0,5 = 0,625 - 0,5 = 0,125\Omega$$

$$T_{\alpha} = \frac{P \cdot 9,55}{n} = \frac{50.000 \cdot 9,55}{2500} = 191Nm$$

$$E_{\alpha} = U - I_T \cdot R_T = 250 - 250 \cdot 0,5 = 125V$$

2.5.6. Ερωτήσεις

1. Τι σημαίνει λειτουργία κινητήρα σε κενό;
2. Τι είναι η ΑΗΕΔ και πως δημιουργείται;
3. Τι παρατηρούμε κατά την εκκίνηση των κινητήρων Σ.Ρ. ως προς το ρεύμα εκκίνησης και τι μέτρα λαμβάνουμε για τον περιορισμό του;
4. Από ποια σχέση δίνεται η ροπή στρέψης που ασκείται σε έναν κινητήρα Σ.Ρ.;
5. Τι παρατηρούμε στην ηλεκτρική ισχύ που απορροφά ο κινητήρας στη λειτουργία του με φορτίο;
6. Με ποιους τρόπους ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.;
7. Τι ονομάζουμε ονομαστική ισχύ σε κινητήρα Σ.Ρ.;
8. Τι ονομάζουμε βαθμό απόδοσης του κινητήρα και σε ποια ποσοστά κυμαίνεται;
9. Πώς διακρίνονται οι κινητήρες ανάλογα με τη διέγερσή τους;
- ~~10. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(U)$ σε κινητήρα παράλληλης διέγερσης και να δικαιολογηθεί η μορφή της.~~
- ~~11. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(I_e)$ σε κινητήρα διέγερσης σειράς και να δικαιολογηθεί η μορφή της.~~
- ~~12. Να σχεδιαστεί κινητήρας με αθροιστική σύνθετη διέγερση.~~
- ~~13. Να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική $n=f(I_e)$ σε κινητήρα σύνθετης διέγερσης και να δικαιολογηθεί η μορφή της.~~
- ~~14. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα παράλληλης διέγερσης με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.~~
- ~~15. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα διέγερσης σειράς με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.~~
- ~~16. Να γίνει η συνδεσμολογία κινητήρα σύνθετης διέγερσης με αλλαγή της φοράς περιστροφής του.~~

➡ **Βάλτε σε κύκλο το χράμμα μπροστά από τη σωστή απάντηση**

17. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε κενό, τότε η ένταση που απορροφά από την πηγή είναι:
α. πολύ μεγάλη, **β.** πολύ μικρή, γ. μηδέν.
- ~~18. Σε ένα κινητήρα διέγερσης σειράς όταν το ρεύμα φόρτισης αυξάνει, οι στρόφες:
α. αυξάνονται, **β.** ελαττώνονται, γ. μένουν σταθερές.~~

2.9. Ανακεφαλαίωση

✦ Η κατασκευή της πρώτης μηχανής Σ.Ρ. στηρίχτηκε στην ανακάλυψη του νόμου της επαγωγής από τον Faraday (Φαραντέη).

✦ Όταν ένας αγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, έτσι που να κόβει τις μαγνητικές γραμμές, δημιουργείται σ' αυτόν ΗΕΔ από επαγωγή. Το μέγεθός της δίνεται από τη σχέση: $E=B \cdot \ell \cdot u$ (σε V)

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

Το μέγεθος της δύναμης δίνεται από τη σχέση: $F=B \cdot \ell \cdot I$ (σε N)

✦ Οι γεννήτριες και οι κινητήρες Σ.Ρ. είναι μηχανές όμοιες μεταξύ τους από την άποψη της κατασκευής. Τα κύρια μέρη τους είναι:

- α. ο στάτης, που έχει τους μαγνητικούς πόλους και το ζύγωμα,
- β. ο δρομέας με το επαγωγικό τύμπανο και το συλλέκτη και
- γ. ο ψηκτροφορέας που στηρίζεται στο ακίνητο μέρος της μηχανής.

✦ Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου στις μηχανές Σ.Ρ. γίνεται από το ηλεκτρικό ρεύμα, που διαρρέει τα τυλίγματα των μαγνητικών πόλων και ονομάζεται διέγερση της μηχανής.

✦ Για να αναγνωρίζονται εύκολα οι ακροδέκτες μιας μηχανής απαιτείται η τυποποίηση των ακροδεκτών τους.

~~✦ Όταν πρόκειται να κατασκευάσουμε ένα κινητήρα, θα πρέπει για λόγους ασφαλείας να γνωρίζουμε και τις συνθήκες στις οποίες θα εργαστεί.~~

~~✦ Ο κωδικός που χαρακτηρίζει το βαθμό προστασίας ενός κινητήρα αποτελείται από τα γράμματα IP συνοδευόμενα από δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς.~~

✦ Ανάλογα με τον τρόπο που τα άκρα των ομάδων του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου συνδέονται με τους τομείς του συλλέκτη, τα τυλίγματα των μηχανών Σ.Ρ. διακρίνονται σε βροχοτυλίγματα και κυματοτυλίγματα.

✦ Τα **βροχοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές χαμηλής τάσης και υψηλής έντασης ρεύματος.

Τα **κυματοτυλίγματα** χρησιμοποιούνται σε μηχανές υψηλής και χαμηλής έντασης ρεύματος.

✦ Στις γεννήτριες ξένης διέγερσης, το τυλίγμα διέγερσης τροφοδοτείται από μία ανεξάρτητη πηγή Σ.Ρ. Η διακύμανση τάσης στις γεννήτριες αυτές κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10% για την κανονική ένταση διέγερσης και την κανονική ταχύτητα περιστροφής.

♦ Οι γεννήτριες με παράλληλη διέγερση έχουν το τύλιγμα διέγερσης συνδεσμοποιημένο παράλληλα με το επαγωγικό τύμπανο. Οι μηχανές αυτές αυτοδιεγείρονται χάρη στον παραμένοντα μαγνητισμό των πόλων. Η διακύμανση τάσης στις γεννήτριες αυτές, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής και σταθερή αντίσταση διέγερσης, είναι μεγαλύτερη από ό,τι στις γεννήτριες με ξένη διέγερση.

♦ Οι γεννήτριες με διέγερση σειράς έχουν το τύλιγμα διέγερσης συνδεσμοποιημένο σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο. Στις γεννήτριες αυτές, που πολύ σπάνια κατασκευάζονται για να αυτοδιεγερθούν, πρέπει το φορτίο να είναι συνδεδεμένο από την αρχή, ώστε να μπορεί να περάσει ρεύμα μέσα από το τύλιγμα διέγερσης.

♦ Στις γεννήτριες με σύνθετη διέγερση, το τύλιγμα κάθε πόλου αποτελείται από δύο μέρη: το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς. Το πρώτο συνδεσμοποιείται όπως στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση και το δεύτερο, όπως στις γεννήτριες με διέγερση σειράς. Το τύλιγμα σειράς είναι δυνατό να συνδεθεί κατά δύο τρόπους έτσι ώστε: (α) να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα (αθροιστική σύνθετη διέγερση), (β) να εξασθενεί το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα (διαφορική σύνθετη διέγερση).

♦ Η ισχύς που δίνει μια γεννήτρια Σ.Π. δίνεται από τη σχέση:

$$P = V \cdot I \text{ (σε Watt)}$$

Η ισχύς που απορροφά η γεννήτρια από την κινητήρια μηχανή είναι μεγαλύτερη. Η διαφορά αποτελεί την ισχύ των απωλειών, οι οποίες εμφανίζονται με μορφή θερμότητας.

Οι απώλειες διακρίνονται σε σταθερές, που είναι οι μηχανικές και οι μαγνητικές απώλειες και σε μεταβλητές, που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες.

Ο λόγος της ισχύος που δίνει μια γεννήτρια προς την ισχύ που απορροφά από την κινητήρια μηχανή, ονομάζεται **βαθμός απόδοσης της γεννήτριας**:

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

Ο βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο της.

~~♦ Η γεννήτρια του αυτοκινήτου είναι το μηχανήμα που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τους καταναλωτές του. Η τάση λειτουργίας της γεννήτριας είναι 6V, 12V ή 24V.~~

~~Η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας είναι 140W, ενώ η μέγιστη ισχύς, χωρίς κίνδυνο καταστροφής της, φτάνει τα 200W.~~

~~♦ Η γεννήτρια παλμών τύπου Hall (Χολ) έχει εφαρμογή στο σύστημα ανάφλεξης οχημάτων. Εκμετάλλευση του φαινομένου αυτού γίνεται και στη μέτρηση μικρών μετακινήσεων. Στην ίδια αρχή λειτουργίας στηρίζεται και ο διακόπτης φαινομένου Hall (Χολ).~~

♦ Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη ενός κινητήρα Σ.Π. δίνεται από τη σχέση:

$$E_a = k \cdot \Phi \cdot n \text{ (σε V)}$$

♦ Κατά τη στιγμή της εκκίνησης η E_a είναι ίση με μηδέν, οπότε το ρεύμα παίρνει τη μέγιστη τιμή που είναι:

$$I_\epsilon = \frac{U - 0}{R_T} = \frac{U}{R_T}$$

♦ Για να αποφύγουμε το πρόβλημα της πολύ μεγάλης έντασης εκκίνησης στους κινητήρες Σ.Ρ., τοποθετούμε σε σειρά με το επαγωγικό τύλιγμα μια μεταβλητή αντίσταση, που ονομάζεται **εκκινήτης**. Κατά το στάδιο της εκκίνησης ισχύει η σχέση:

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

♦ Η ροπή στρέψης των κινητήρων Σ.Ρ. δίνεται από τη σχέση:

$$T = k_j \cdot \Phi \cdot I_T \text{ (σε Nm)}$$

♦ Όταν ένας κινητήρας εργάζεται με φορτίο, η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από το φορτίο και μεταβάλλεται αυτόματα, ανάλογα με τις μεταβολές του φορτίου.

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

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής γίνεται, με δύο βασικούς τρόπους. Διατηρούμε την τάση σταθερή και μεταβάλλουμε το ρεύμα διέγερσης ή διατηρούμε το ρεύμα διέγερσης σταθερό και μεταβάλλουμε την τάση του επαγωγικού τυμπάνου.

♦ Η ισχύς που δίνει ο κινητήρας στον άξονά του δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{T_a \cdot n}{9.55} \text{ (σε W)}$$

Η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = U \cdot I \text{ (σε W)}$$

Η διαφορά $P_1 - P$ δίνει την ισχύ των απωλειών του κινητήρα.

Βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος των ισχύων:

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

♦ Στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση όπως και στις αντίστοιχες γεννήτριες, το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται παράλληλα με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

Η αλλαγή της φοράς περιστροφής στους κινητήρες αυτούς γίνεται με δύο τρόπους: με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος διέγερσης χωρίς να μεταβληθεί η φορά του ρεύματος του τυμπάνου ή με την αλλαγή της φοράς του ρεύματος τυμπάνου, χωρίς να μεταβληθεί η πολικότητα των μαγνητικών πόλων.

Στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, η ταχύτητα περιστροφής πολύ λίγο μεταβάλλεται με την μεταβολή του φορτίου, ενώ η ροπή μεταβάλλεται ανάλογα.

♦ Στους κινητήρες με διέγερση σειράς, το κύκλωμα διέγερσης είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, τους βοηθητικούς πόλους και τον εκκινητή.

Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου και στο τύλιγμα των βοηθητικών πόλων, χωρίς να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στη διέγερση.

Στους κινητήρες με διέγερση σειράς, η ταχύτητα περιστροφής ελαττώνεται σημαντικά με την αύξηση του φορτίου, ενώ αυξάνεται σημαντικά και η ροπή.

♦ Στους κινητήρες με σύνθετη διέγερση, όπως και στις γεννήτριες, κάθε κύριος μαγνητικός πόλος έχει δύο τυλίγματα, το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς. Το παράλληλο τύλιγμα μπορεί να ενισχύει το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος σειράς ή να το εξασθενεί.

Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα, πρέπει να αλλάξουμε τη συνδεσμολογία, ώστε να αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει το επαγωγικό τύμπανο και τους βοηθητικούς πόλους, ενώ διατηρούμε την ίδια φορά και στα δύο τυλίγματα διέγερσης.

Οι χαρακτηριστικές λειτουργίας του κινητήρα με σύνθετη διέγερση βρίσκονται μεταξύ των χαρακτηριστικών λειτουργίας του κινητήρα με παράλληλη διέγερση και του κινητήρα με διέγερση σειράς.

♦ Η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ. είναι δυνατόν να μεταβάλλεται:

- με ρύθμιση της αντίστασης διέγερσης

- με ρύθμιση της τάσης στα άκρα του οπλισμού του και με ρύθμιση της αντίστασης του οπλισμού του.

♦ Τα πιο συνηθισμένα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα ελέγχου για την εκκίνηση των κινητήρων είναι: Οι ασφάλειες, οι διακόπτες επαφής, τα ρελέ και οι θερμικοί διακόπτες υπερφόρτισης.

♦ Με το σύστημα Ward - Leonard (Βαρτ - Λέοναρντ) είναι δυνατόν να επιτευχθεί ένα αρκετά μεγάλο εύρος ταχυτήτων και προς τις δύο κατευθύνσεις περιστροφής. Λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάζει το σύστημα Ward - Leonard (Βαρτ - Λέοναρντ) έχει αντικατασταθεί από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος (SCR).

♦ Για να μειώσουμε, όσο είναι δυνατόν, το διάστημα που απαιτείται να σταματήσει να περιστρέφεται ένας κινητήρας, όταν αποσυνδέεται από το δίκτυο, εφαρμόζουμε την ηλεκτρική πέδηση. Για να καταναλώσουμε την κινητική ενέργεια, αρκεί να μετατρέψουμε προσωρινά τον κινητήρα σε γεννήτρια με κατανάλωση.

♦ Οι σερβοκινητήρες είναι ειδικά σχεδιασμένες μηχανές Σ.Ρ. με υψηλή ροπή και χαμηλή αδράνεια.

Χρησιμοποιούνται τέσσερις τύποι σερβοκινητήρων Σ.Ρ.

α. Κινητήρες ελεγχόμενου πεδίου.

β. Σερβοκινητήρες ελεγχόμενου τυμπάνου.

γ. Σερβοκινητήρες μόνιμων μαγνητών ελεγχόμενου τυμπάνου.

δ. Σερβοκινητήρες χωρισμένου πεδίου σειράς.