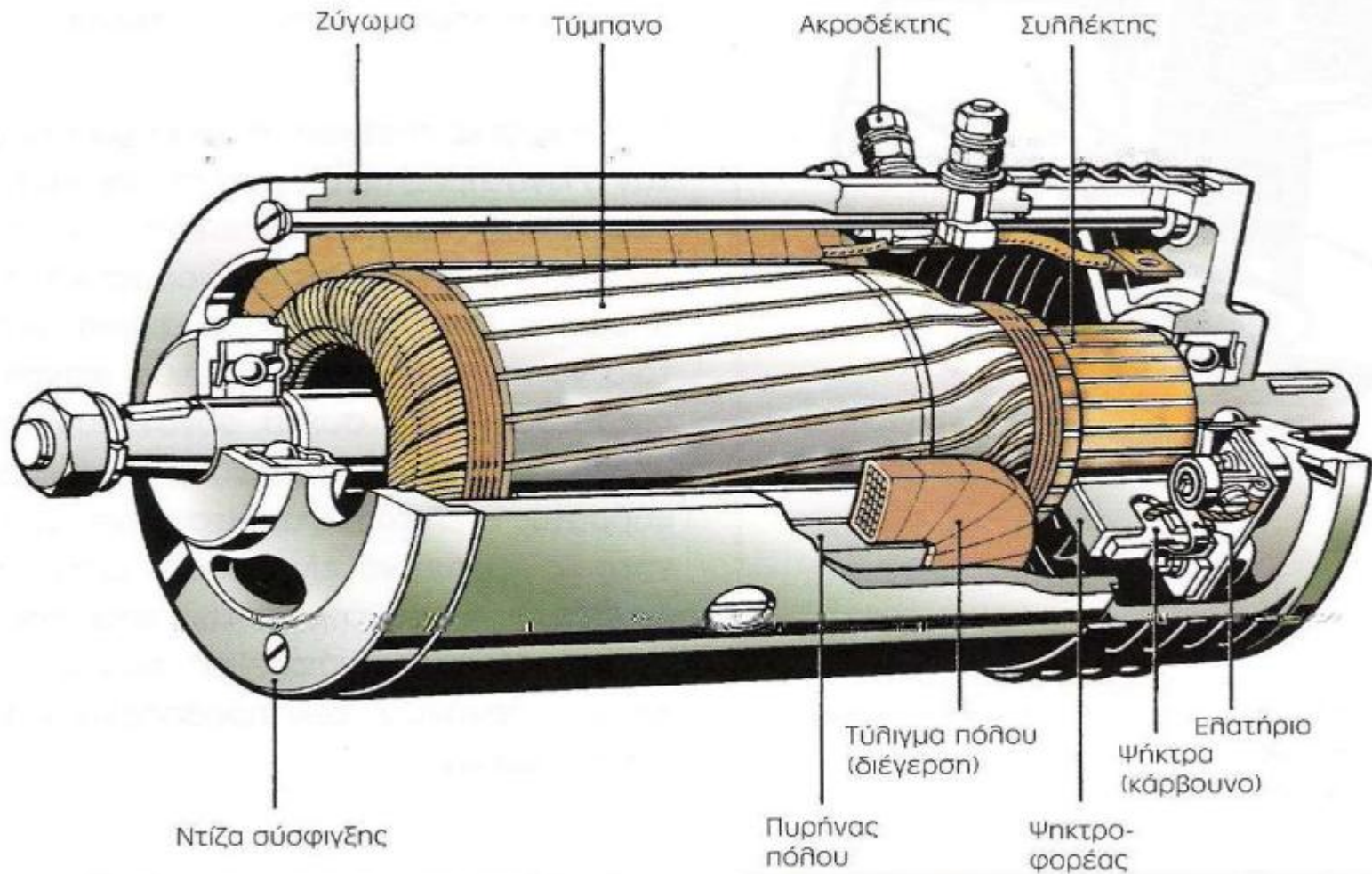
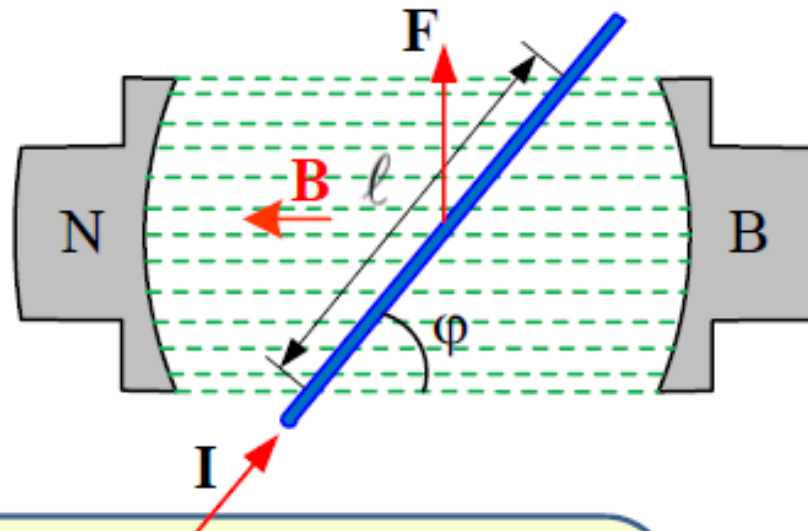


Κινητήρες Σ.Ρ.(Direct Current)

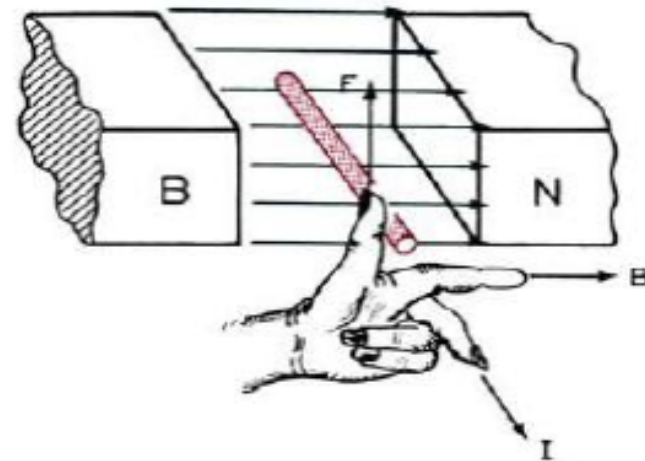


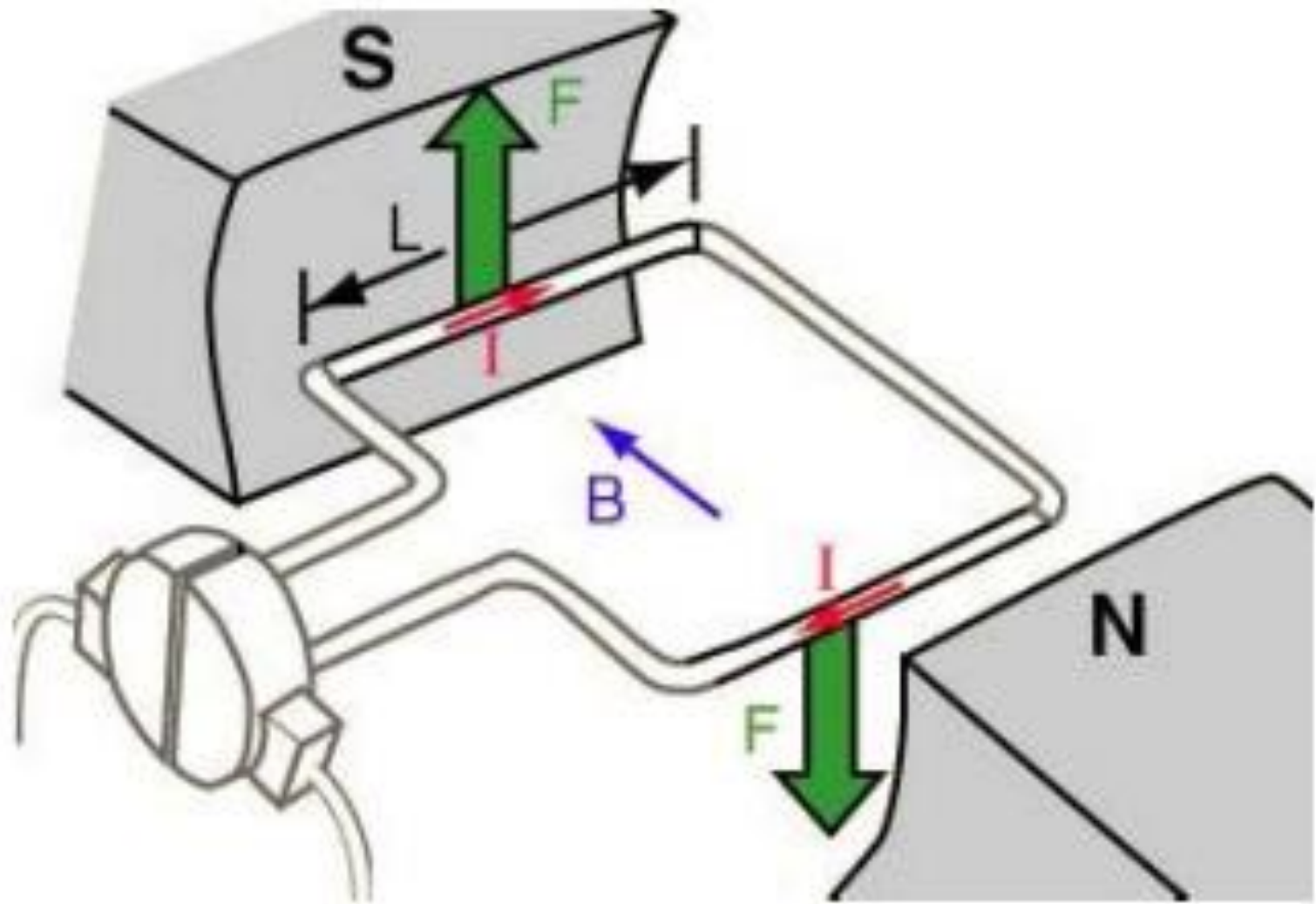
Αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

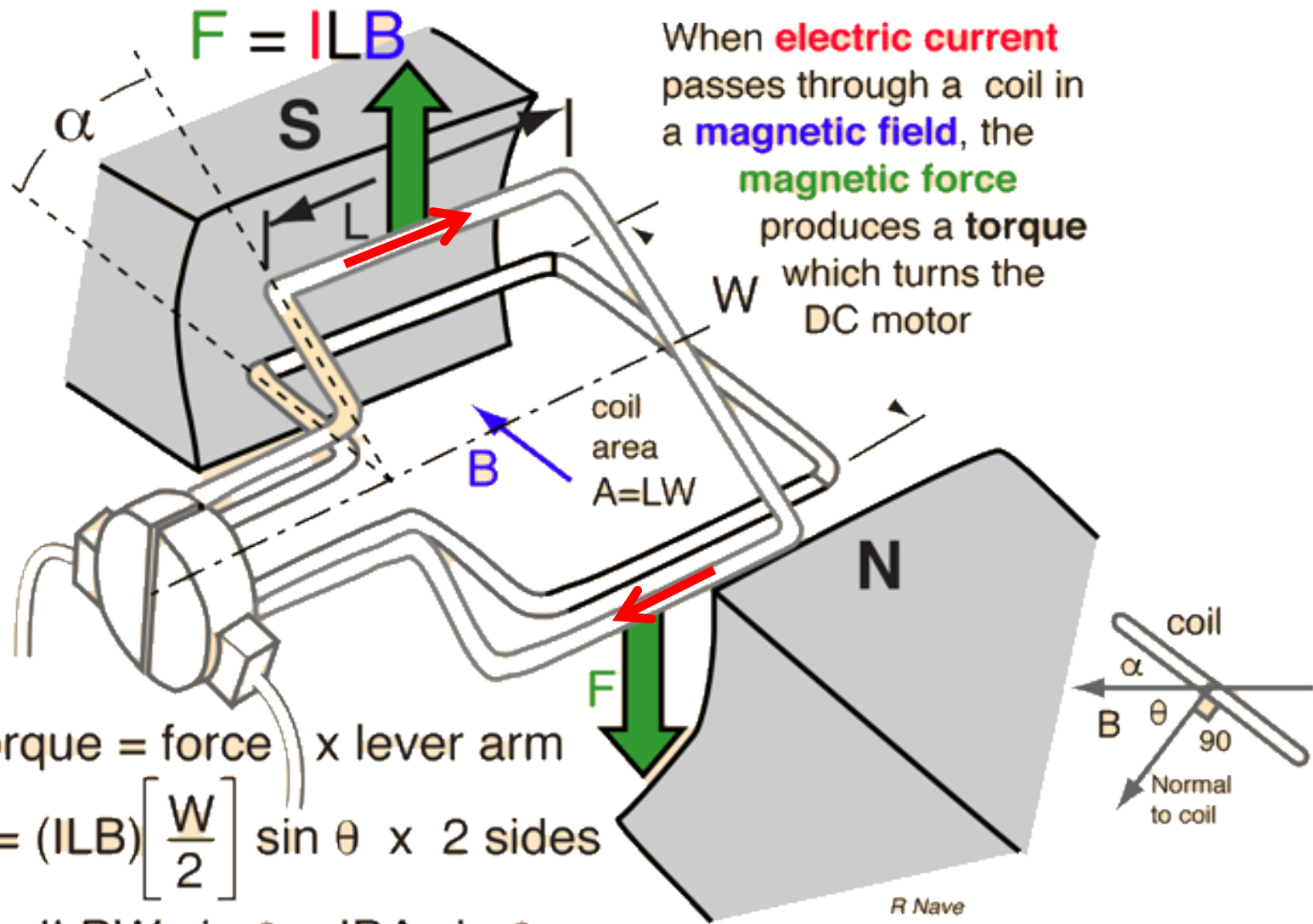


$$F = B I l \sin(\varphi)$$

- B = μαγνητική επαγωγή του πεδίου, (T) , (Vs/m²),
- I = ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, (A)
- l = ενεργό μήκος του αγωγού, (m)



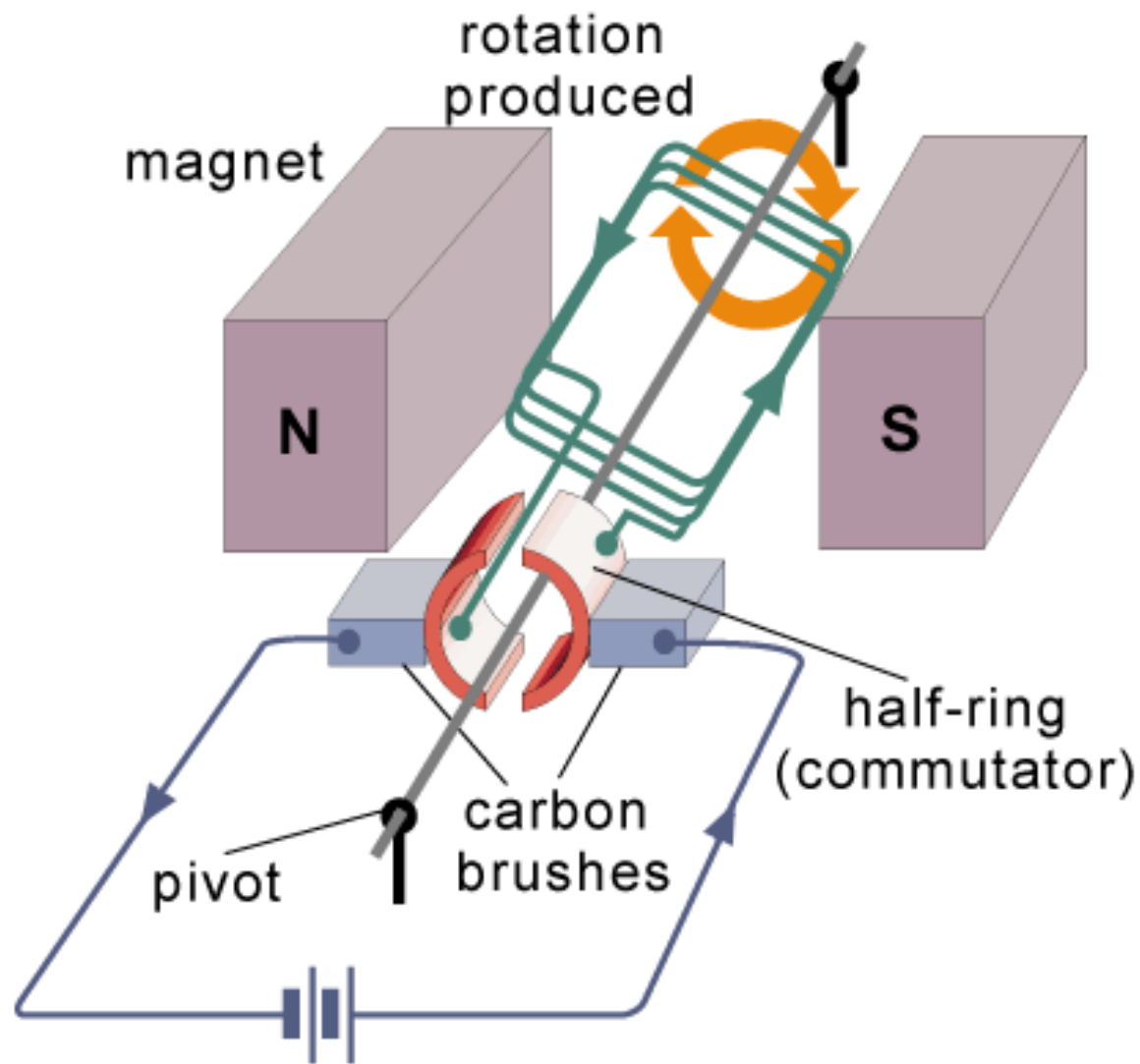


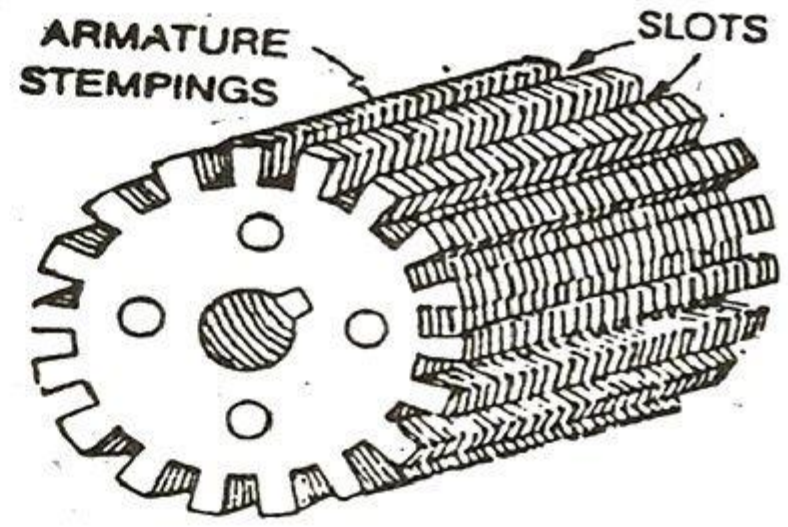
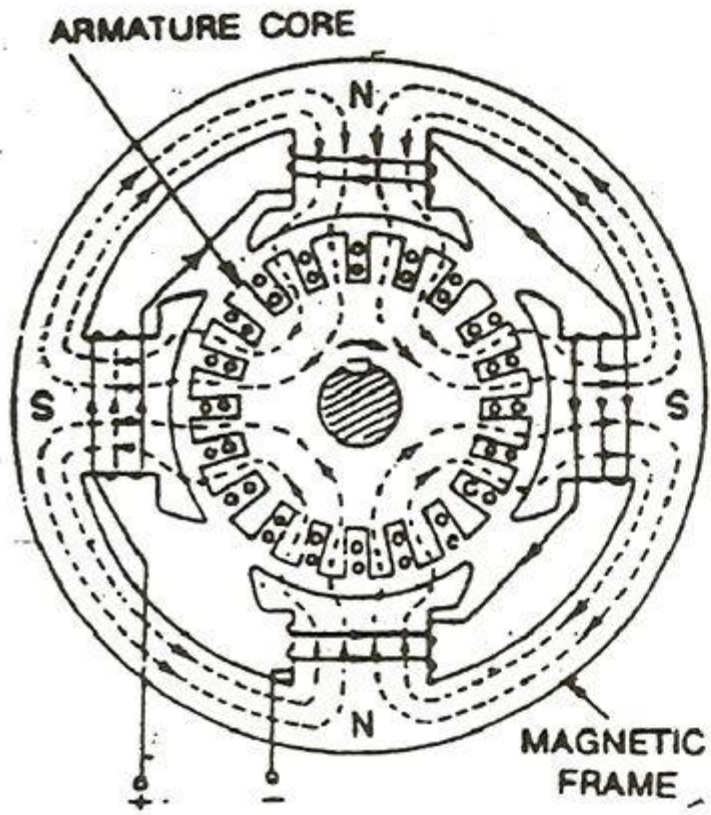


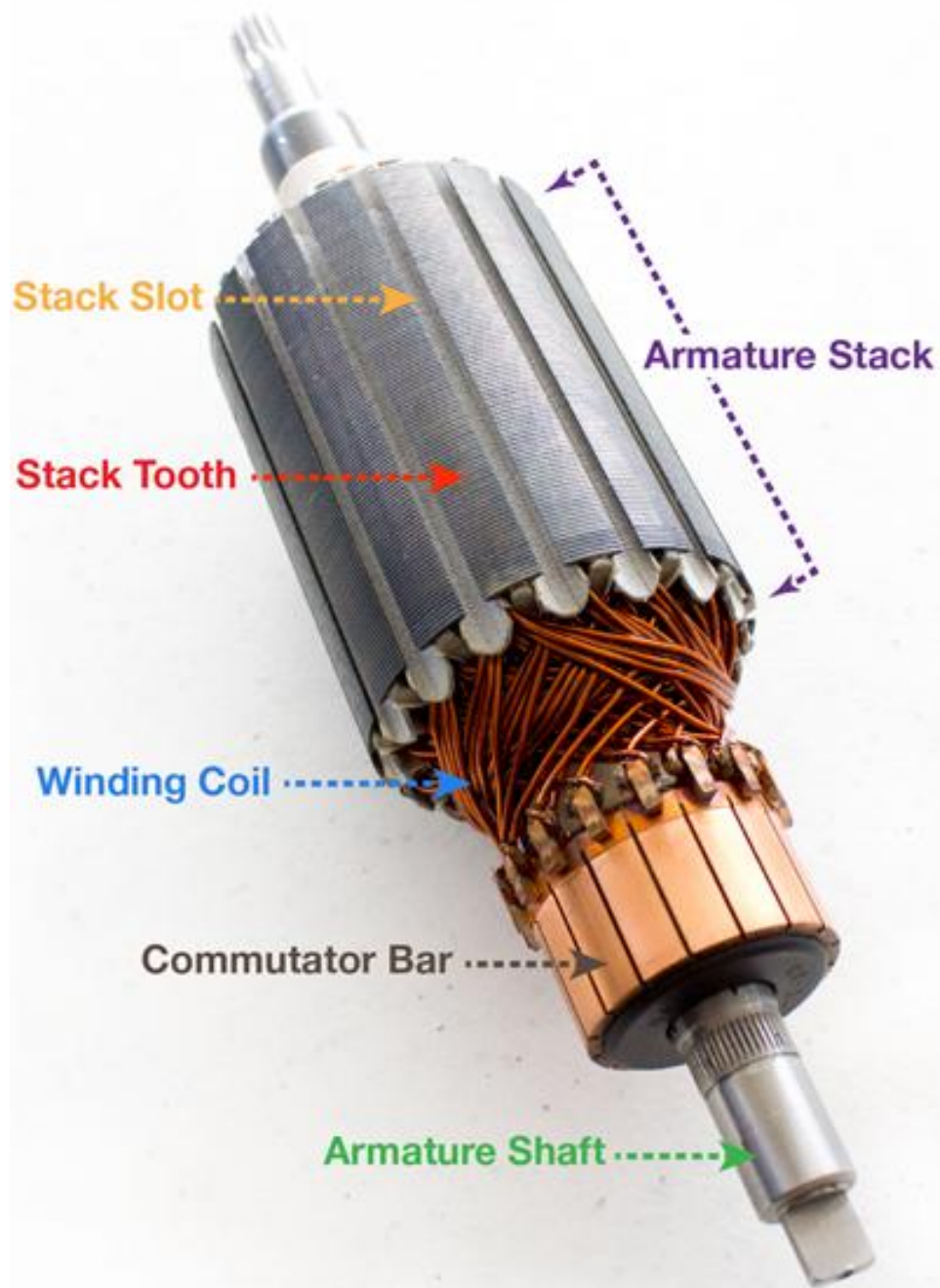
Torque = force x lever arm

$$= (ILB) \left[\frac{W}{2} \right] \sin \theta \times 2 \text{ sides}$$

$$= ILBW \sin \theta = IBA \sin \theta$$







Είδη κινητήρων

Τα τυλίγματα του **στάτη** διαρρέονται από το **συνεχές ρεύμα του στάτη (ρεύμα διέγερσης) I_f** και δημιουργείται το **μαγνητικό πεδίο του στάτη** (μαγνητικό πεδίο διέγερσης).

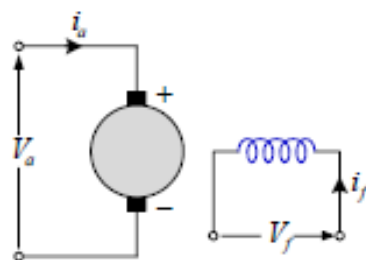
Η **κύρια διέγερση του κινητήρα συνεχούς ρεύματος**, μπορεί να παρασχεθεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους :

α) Κινητήρας **Ξένης Διέγερσης**.

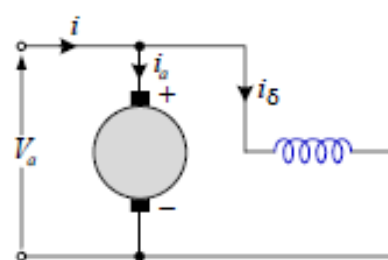
β) Κινητήρας **Παράλληλης Διέγερσης**.

γ) Κινητήρας **Διέγερσης Σειράς**.

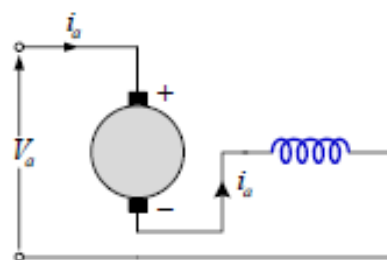
δ) Κινητήρας **Σύνθετης Διέγερσης**.



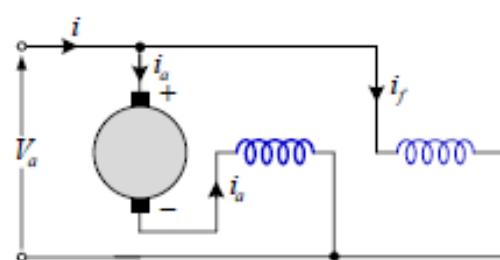
(α)



(β)

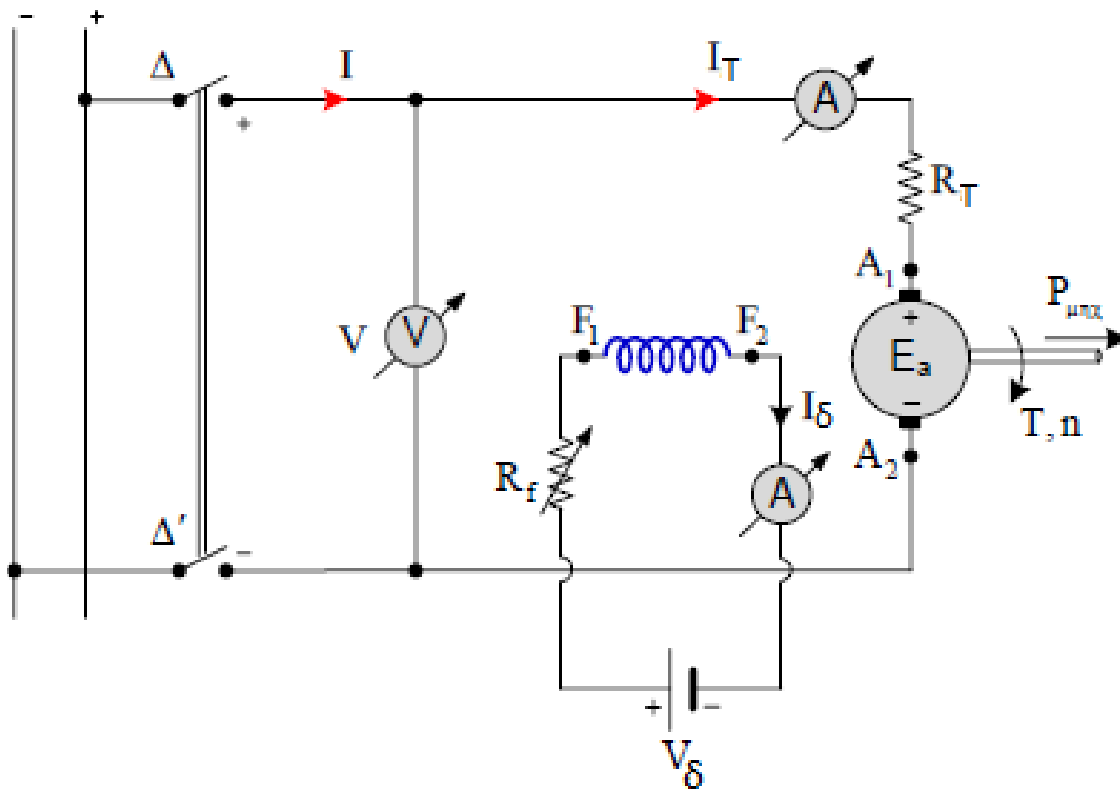


(γ)



(δ)

Κινητήρας Σ.Ρ. Ξένης Διέγερσης

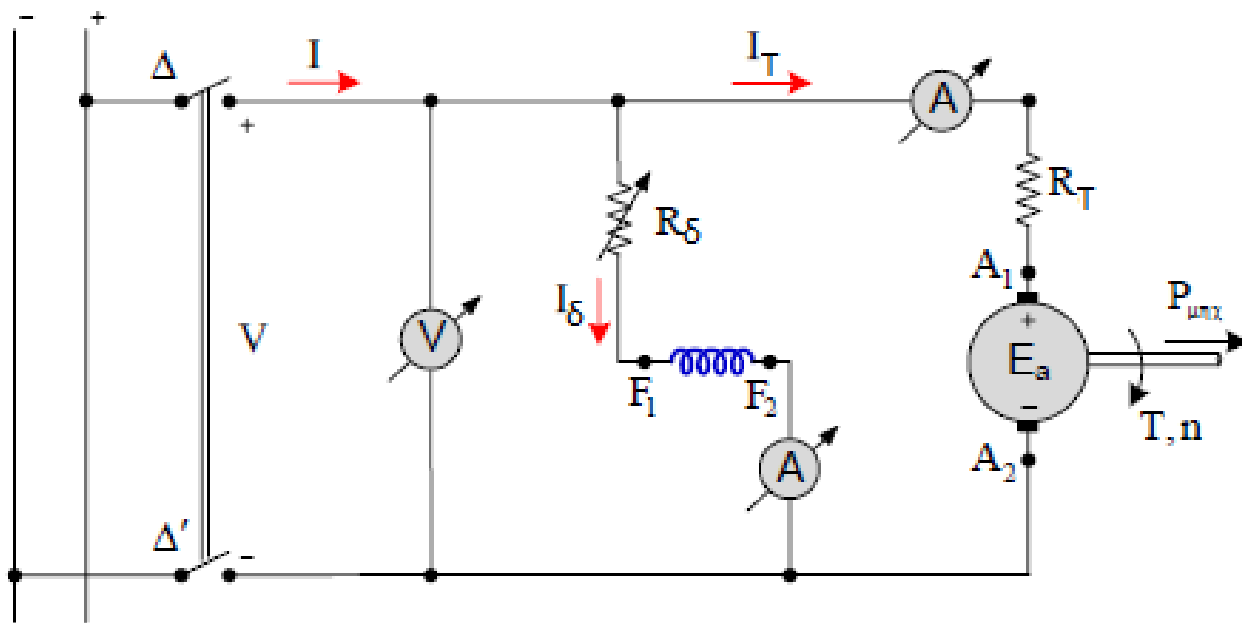


$$V = V_a = E_a + R_T I_T$$

$$I_\delta = \frac{V_\delta}{R_\delta}$$

$$I = I_a$$

Κινητήρας Σ.Ρ. Παράλληλης Διέγερσης



$$V = V_a = E_a + R_\tau I_\tau$$

$$V = V_\delta = R_\delta I_\delta$$

$$I = I_\tau + I_\delta$$

Η παραγωγή ροπής, οφείλεται στην προσπάθεια **ευθυγράμμισης** των δύο μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα.

Για **λειτουργία κινητήρα**, το μαγνητικό πεδίο του στάτη **προηγείται** πάντα του πεδίου του δρομέα.

$$T = \frac{P_{sw}}{4\alpha\pi} \Phi_{\delta} I_{\tau} = K \Phi_{\delta} I_{\tau}$$

Ο **έλεγχος της ροπής** (και κατ' επέκταση των **στροφών**) μπορεί να πραγματοποιηθεί:

- με τον **έλεγχο της μαγνητικής ροής** μέσω του ρεύματος I_{δ} της κύριας διέγερσης,
- με τη μεταβολή του ρεύματος του τυλίγματος τυμπάνου, (I_{τ}) είτε και
- με **συνδυασμένο έλεγχο** και των δύο ρευμάτων.

Διερεύνηση των εξισώσεων του κινητήρα

$$\left. \begin{array}{l} V = E_a + I_T R_T \\ E_a = K_m \Phi n \end{array} \right\} \Rightarrow n = \frac{E_a}{K_m \Phi} \Rightarrow n = \frac{V - I_T R_T}{K_m \Phi}$$

$$I_a = \frac{V - E_a}{R_T} = \frac{V - K_m \Phi n}{R_T}$$

Κατά την εκκίνηση

$$n = 0 \Rightarrow E_a = 0 \Rightarrow$$

$$I_{T,st} = \frac{V}{R_T} \gg I_{T,no}$$

Έλεγχος κινητήρων Σ.Ρ.

$$n = \frac{V_a - I_T R_T}{K \Phi(I_\delta)} = f(V_a, I_T, R_T, I_\delta)$$

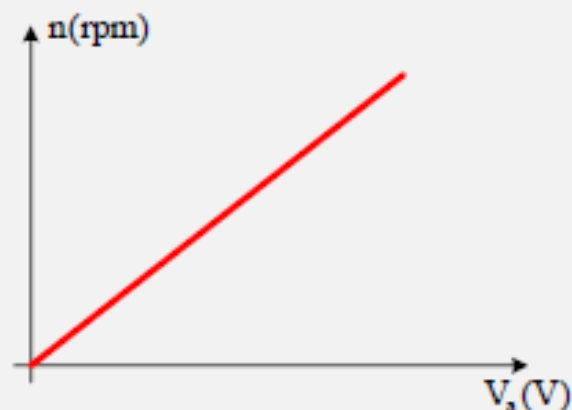
Ο έλεγχος των στροφών σε ένα κινητήρα Σ.Ρ. ξένης ή παράλληλης διέγερσης μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους, ξεχωριστά ή και συνδυασμένα:

- Με μεταβολή της τάσης ακροδεκτών του τυλίγματος τυμπάνου.
- Με μεταβολή της μαγνητικής ροής.
- Με παρεμβολή ωμικής αντίστασης στο τύλιγμα τυμπάνου.

Χαρακτηριστικές κινητήρων Σ.Ρ.

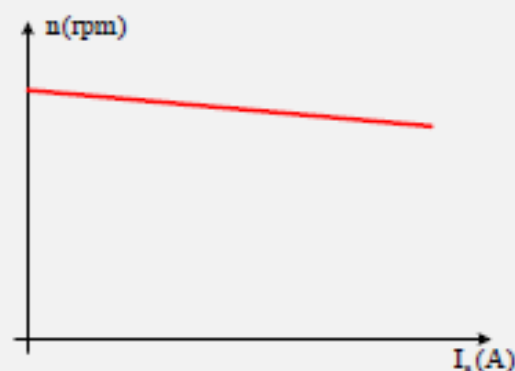
Στροφών – τάσης τυμπάνου

$$\underline{n = f(V_a)}$$



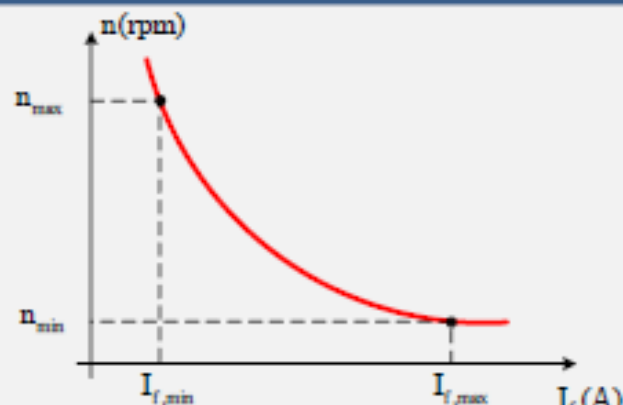
Στροφών – ρεύματος τυμπάνου

$$\underline{n = f(I_T)}$$



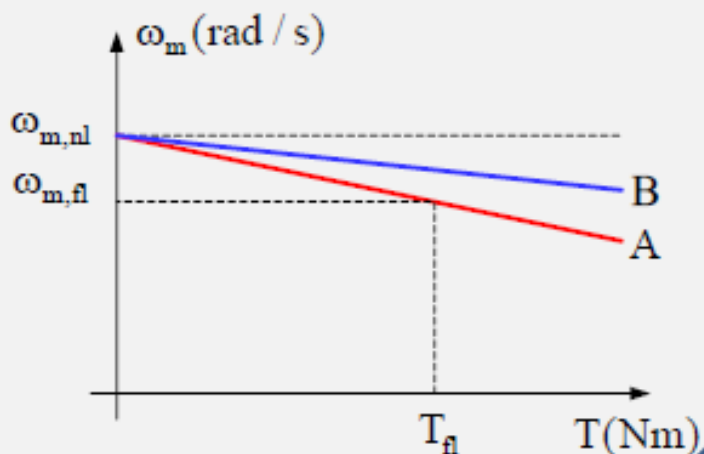
Στροφών – ρεύματος διέγερσης

$$\underline{n = f(I_\delta)}$$

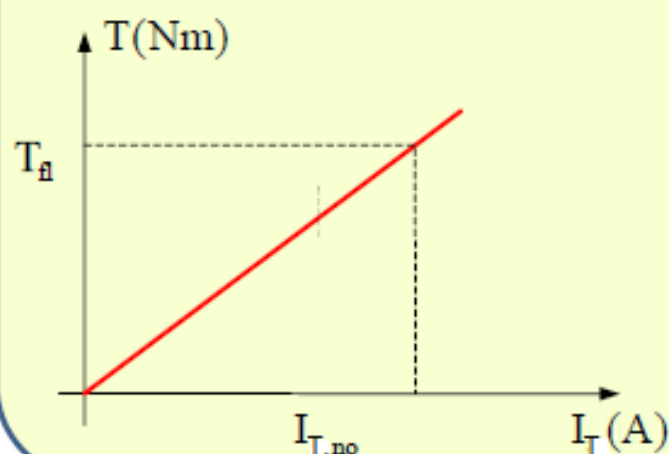


Χαρακτηριστικές κινητήρα Σ.Ρ. υπό φορτίο

Γωνιακής ταχύτητας-ροπής



Ροπής-ρεύματος τυμπάνου



Η κλίση αρνητική. Εάν ο κινητήρας στρέφεται με κάποιο συγκεκριμένο αριθμό στροφών, απότομη αύξηση του φορτίου προκαλεί ελάττωση των στροφών και κατ' επέκταση της επαγόμενης Α.Η.Ε.Δ.

Με αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος τυμπάνου, στην τιμή που απαιτείται από την αύξηση της ροπής.

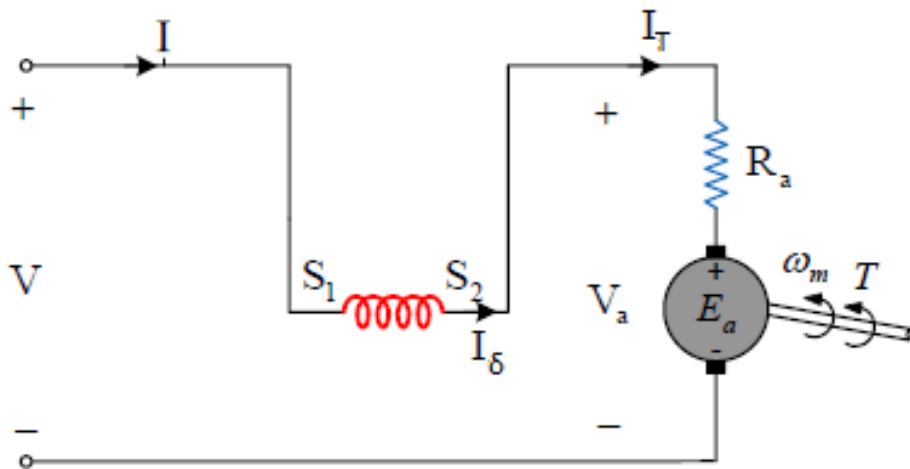
Η μεταβολή των στροφών για μια ευρεία περιοχή μεταβολής του φορτίου είναι αρκετά μικρή και για το λόγο αυτό οι κινητήρες Ξ.Δ. και Π.Δ., καλούνται και **κινητήρες σταθερής ταχύτητας**.

ΧΡΗΣΗ: Εφαρμογές που απαιτούν **σχεδόν σταθερή ταχύτητα**, αλλά όχι υψηλή ροπή εκκίνησης (π.χ. ανεμιστήρες, φυγοκεντρικές αντλίες κλπ.).

Κινητήρας Σ.Ρ. διέγερσης σειράς

Το **τύλιγμα διέγερσης** συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο και το ρεύμα τυμπάνου αποτελεί ταυτόχρονα και το ρεύμα διέγερσης του.

Το τύλιγμα διέγερσης μιας και διαρρέεται με το ρεύμα τυμπάνου, είναι κατασκευασμένο με **πολύ μικρότερο αριθμό σπειρών** και φυσικά **αγωγούς μεγαλύτερης διατομής** σε σχέση με τους κινητήρες Σ.Ρ. ξένης και παράλληλης διέγερσης.



Τάση τροφοδοσίας

$$V = E_a + I_T (R_T + R_\delta)$$

Ρεύμα τροφοδοσίας

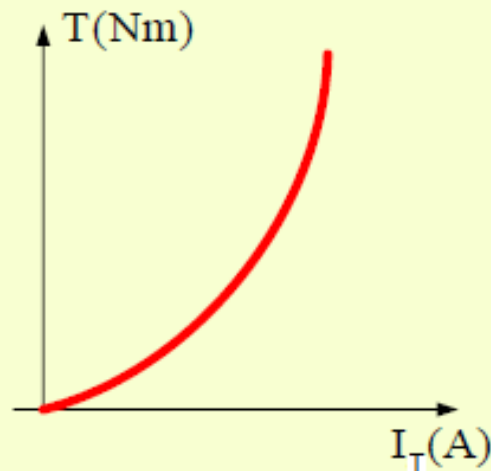
$$I = I_\delta = I_T$$

Παραγωγή ροπής

Με την αύξηση του φορτίου έχουμε αύξηση του ρεύματος τυμπάνου και αύξηση της μαγνητικής ροής. Στη γραμμική περιοχή της χαρακτηριστικής καμπύλης μαγνήτισης, η ροή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου. Επομένως, στην περιοχή αυτή η **ροπή θα είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος**.

$$T = K_m \Phi_{\delta} I_T = K_s I_T^2$$

**Χαρακτηριστική
ροπής-ρεύματος τύμπανου για
κινητήρα με διέγερση σειράς**



ταχύτητα περιστροφής

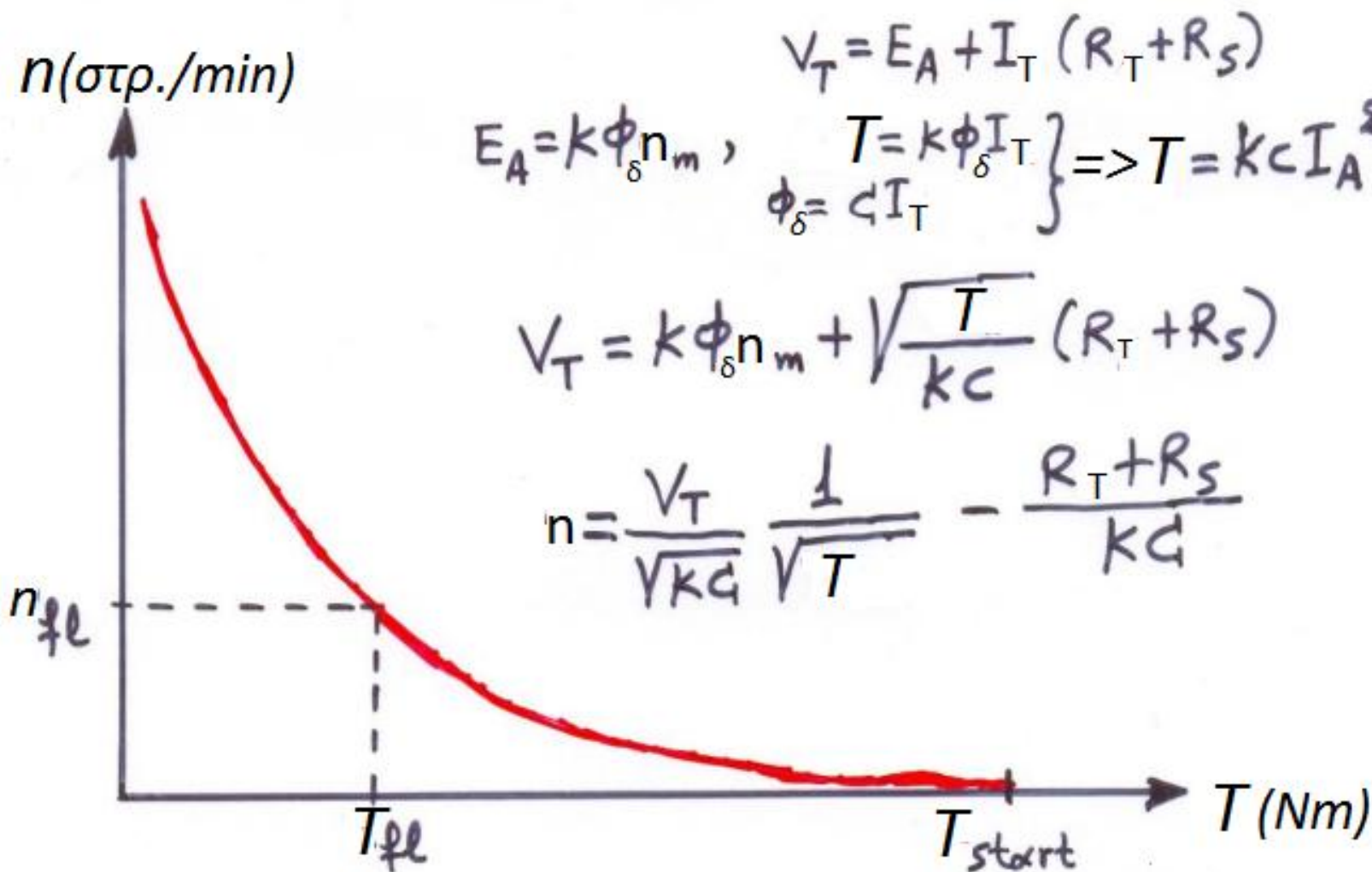
$$\omega = \frac{E_a}{K_m \Phi} = \frac{V - I_T (R_T + R_\delta)}{K_s I_T}$$

Χαρακτηριστική
γωνιακής ταχύτητας-ροπής για
κινητήρα με διέγερση σειράς



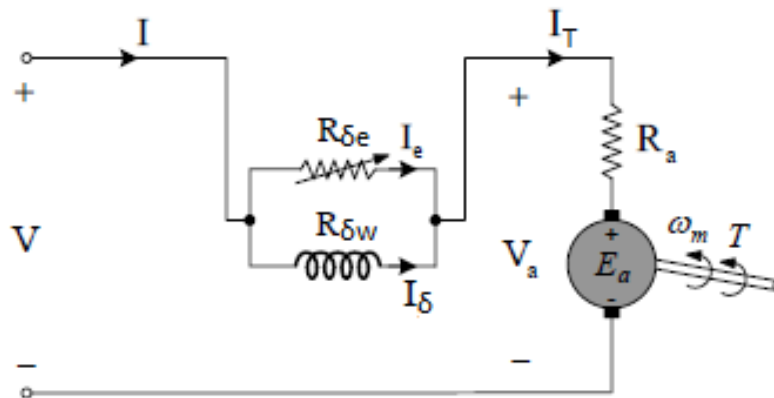
Οι κινητήρες σειράς
δίνουν αρκετά υψηλές
ροπές εκκίνησης.

Για μικρά φορτία, η αντίστοιχη ροή του πεδίου είναι μικρή. Στην περίπτωση αυτή, **η ταχύτητα περιστροφής** μπορεί να πάρει **αρκετά υψηλές τιμές**, με καταστροφικές συνέπειες. Αντίθετα, για μεγάλα φορτία η **ροή είναι αρκετά υψηλή**, με αποτέλεσμα **οι στροφές να είναι σημαντικά χαμηλές**.



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ – ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ
 α) Κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση σειράς

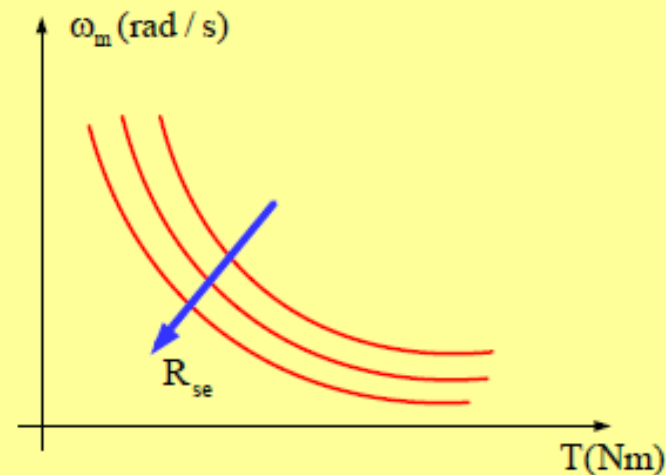
Έλεγχος με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης



Οι αντιστάσεις R_{sw} και R_{se} , σχηματίζουν ένα **διαιρέτη ρεύματος** για το ρεύμα τυμπάνου. Με κατάλληλη ρύθμιση της εξωτερικής αντίστασης R_{se} , μπορούμε να **ρυθμίσουμε το ποσοστό του ρεύματος τυμπάνου** που θα διέλθει από το τύλιγμα διέγερσης σειράς.

$$I_{\delta} = I_T \frac{R_{\delta e}}{R_{\delta w} + R_{\delta e}} = K_d I_a$$

Η **ελάττωση** της τιμής της αντίστασης R_{se} , έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της **χαρακτηριστικής** γωνιακής ταχύτητας περιστροφής-ροπής



Χρήση

Στην ηλεκτρική κίνηση (π.χ. σιδηρόδρομοι, οχήματα μεταφοράς), σε ανελκυστήρες φορτίων, γεραμούς και γενικά όπου απαιτούνται υψηλές ροπές κατά την εκκίνηση, η μεταβαλλόμενη ταχύτητα δεν παίζει πρωταρχικό ρόλο και ο κινητήρας κάτω από φυσιολογικές συνθήκες φέρει ένα σημαντικό φορτίο.

Κατά την εκκίνηση με φορτίο ο κινητήρας σειράς απορροφά λιγότερο ρεύμα από τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης.

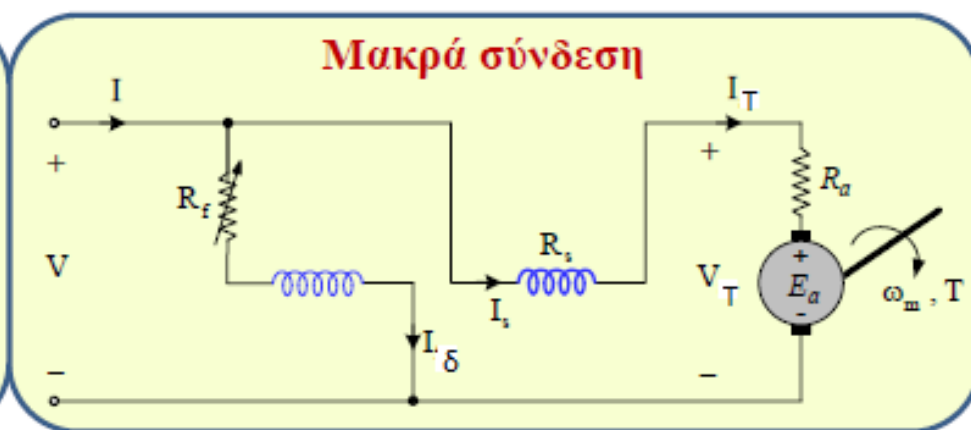
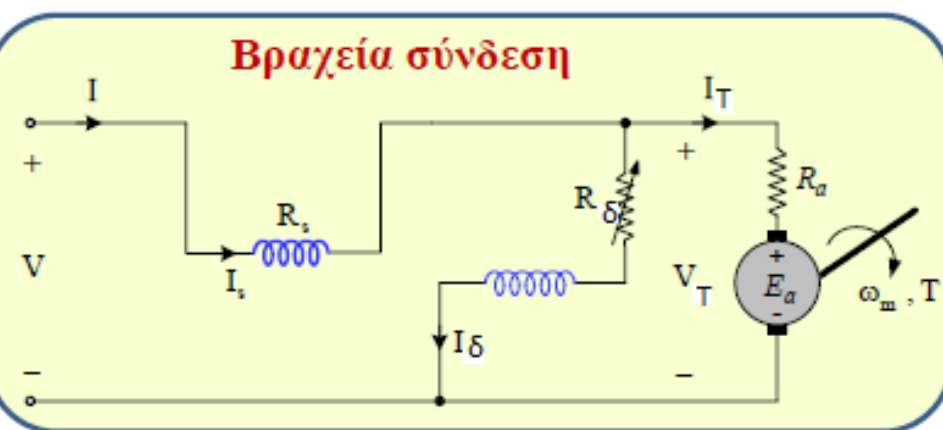
Ένας κινητήρας Σ.Ρ. σειράς δεν πρέπει να μένει ποτέ χωρίς φορτίο, ή να διαθέτει κύκλωμα αυτοματισμού (π.χ. φυγοκεντρικό διακόπτη) που να διακόπτει την τροφοδοσία του κινητήρα στην περίπτωση αύξησης των στροφών μετά από κάποιο ποσοστό άνω των ονομαστικών.

Στο μη γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης μαγνήτισης, δηλαδή στην περιοχή του κορεσμού, οι μεταβολές της μαγνητικής ροής είναι μικρότερες για αντίστοιχες μεταβολές του ρεύματος τυμπάνου (από ότι στη γραμμική περιοχή), με αποτέλεσμα η εσωτερική ροπή να αυξάνει σε μικρότερη αναλογία από το τετράγωνο του ρεύματος.

Κινητήρας Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης

Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης διαθέτουν ταυτόχρονα και τα δύο τύλιγματα διέγερσης. Δηλαδή, το τύλιγμα διέγερσης διακλάδωσης (παράλληλη διέγερση) και το τύλιγμα διέγερσης σειράς.

Ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης, συνδυάζει τα επιμέρους χαρακτηριστικά των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς.



Τάση τροφοδοσίας

$$V = E_a + I_T(R_T + R_s)$$

Ρεύμα τροφοδοσίας

$$I = I_\delta + I_T$$

Ρεύμα διέγερσης

$$I_\delta = \frac{V}{R_T}$$

Η συνολική μαγνητική ροή ανά πόλο, προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των μαγνητικών ροών των επιμέρους τυλιγμάτων.

Κινητήρας Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης προσθετικής σύνδεσης

$$\Phi_{\delta} = \Phi_f + \Phi_s$$

Κινητήρας Σ.Ρ. σύνθετης διέγερσης διαφορικής σύνδεσης

$$\Phi_{\delta} = \Phi_f - \Phi_s$$

Λειτουργία στο γραμμικό τμήμα της μαγνητικής χαρακτηριστικής

$$\Phi_{\delta} = \Phi_f \pm K I_s$$

Ο πρώτος όρος παραμένει σχεδόν σταθερός για τον κινητήρα **μακράς διακλάδωσης** ή σχεδόν σταθερός για τον κινητήρα **βραχείας διακλάδωσης**, γιατί εξαρτάται άμεσα από την **τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα**.

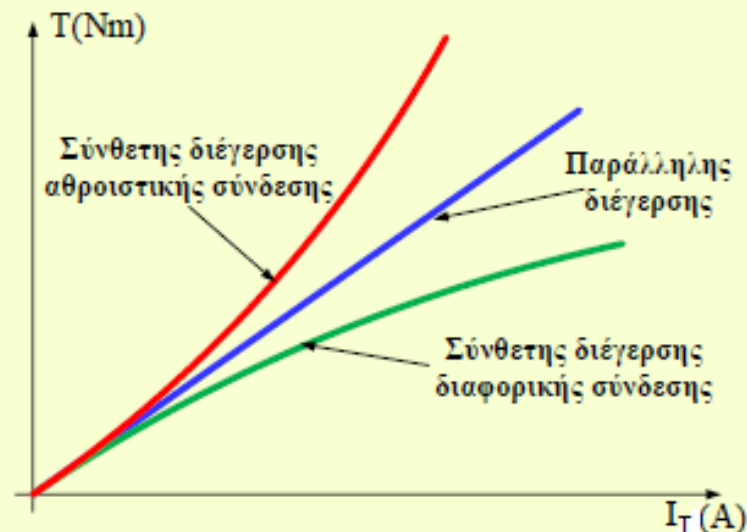
Ο δεύτερος όρος, δηλαδή η μαγνητική ροή ανά πόλο του τυλίγματος διέγερσης σειράς, είναι **ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου** και αυτό σημαίνει ότι **ακολουθεί τις μεταβολές του φορτίου**.

Ροπή

Αθροιστική σύνδεση: Η Αύξηση της μαγνητικής ροής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ροπής με την αύξηση του φορτίου, σε **μεγαλύτερα** ποσοστά **σε σχέση με τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης**, για το ίδιο ρεύμα τυμπάνου και το ίδιο ρεύμα στο κλάδο παράλληλης διέγερσης.

Διαφορική σύνδεση: Η παραγόμενη ροπή είναι **μικρότερη** από ότι στην περίπτωση του κινητήρα παράλληλης διέγερσης, για το ίδιο ρεύμα τυμπάνου και το ίδιο ρεύμα στον κλάδο της παράλληλης διέγερσης.

Χαρακτηριστικές ροπής-ρεύματος τύμπανου για κινητήρα σύνθετης διέγερσης (αθροιστικής και διαφορικής σύνδεσης) και παράλληλης διέγερσης



Ταχύτητα περιστροφής

(Μακράς)

$$n = \frac{V - I_T(R_T + R_s)}{K_g \Phi_\delta \pm K_i I_T}$$

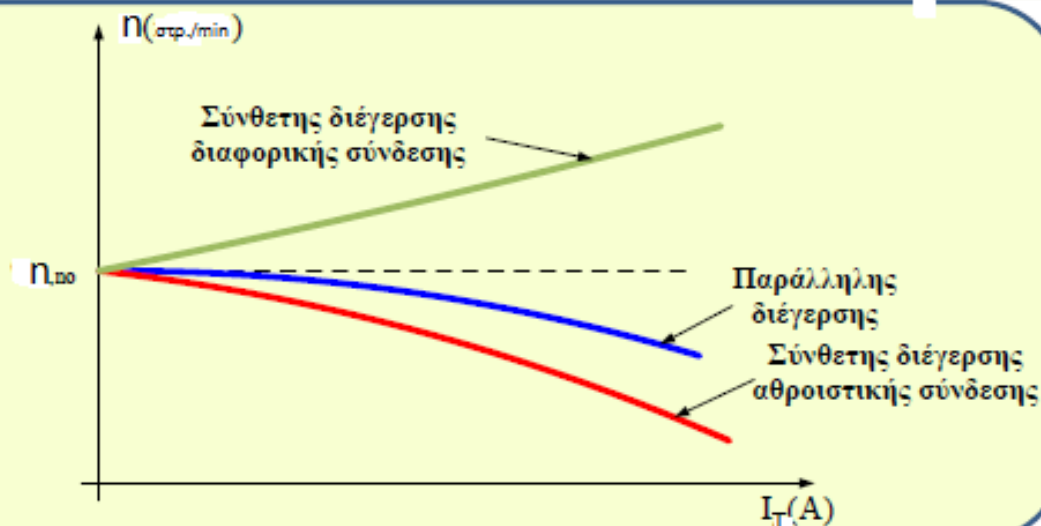
(Βραχείας)

$$n = \frac{V - I_T(R_T + R_s)}{K_g \Phi_\delta \pm K_i I_T}$$

Αθροιστική σύνδεση: Για $V = \text{ct}$ και κατά προσέγγιση $\Phi_f = \text{ct}$, μια αύξηση στη Φ_s , συνοδευόμενη από μια αύξηση στο I_T (και κατ' επέκταση μια αύξηση της πτώσης τάσης στις σε σειρά ωμικές αντιστάσεις $R_T + R_s$), θα έχει σαν αποτέλεσμα την **ταχύτερη μείωση των στροφών σε σχέση με τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης**.

Διαφορικής σύνδεσης: Μια μείωση στη Φ_s , συνοδευόμενη από μια αντίστοιχη μείωση στο I_T , θα έχει σαν αποτέλεσμα την **ταχύτερη αύξηση των στροφών σε σχέση με τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης**.

**Χαρακτηριστικές $n = f(I_T)$
για κινητήρα σύνθετης διέγερσης
και παράλληλης διέγερσης**



Προβλήματα των Κινητήρων διαφορικής σύνδεσης

Η επιτάχυνση του κινητήρα διαφορικής σύνδεσης, θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του φορτίου και κατ' επέκταση την αύξηση του ρεύματος τυμπάνου. Η αύξηση αυτή του ρεύματος τυμπάνου, με τη σειρά της θα οδηγήσει στη μείωση της συνολικής μαγνητικής ροής, την περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας περιστροφής κ.ο.κ.

Είναι λοιπόν προφανές από τα παραπάνω ότι, **ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης διαφορικής σύνδεσης, εμφανίζει προβλήματα αστάθειας κατά τη λειτουργία του.**

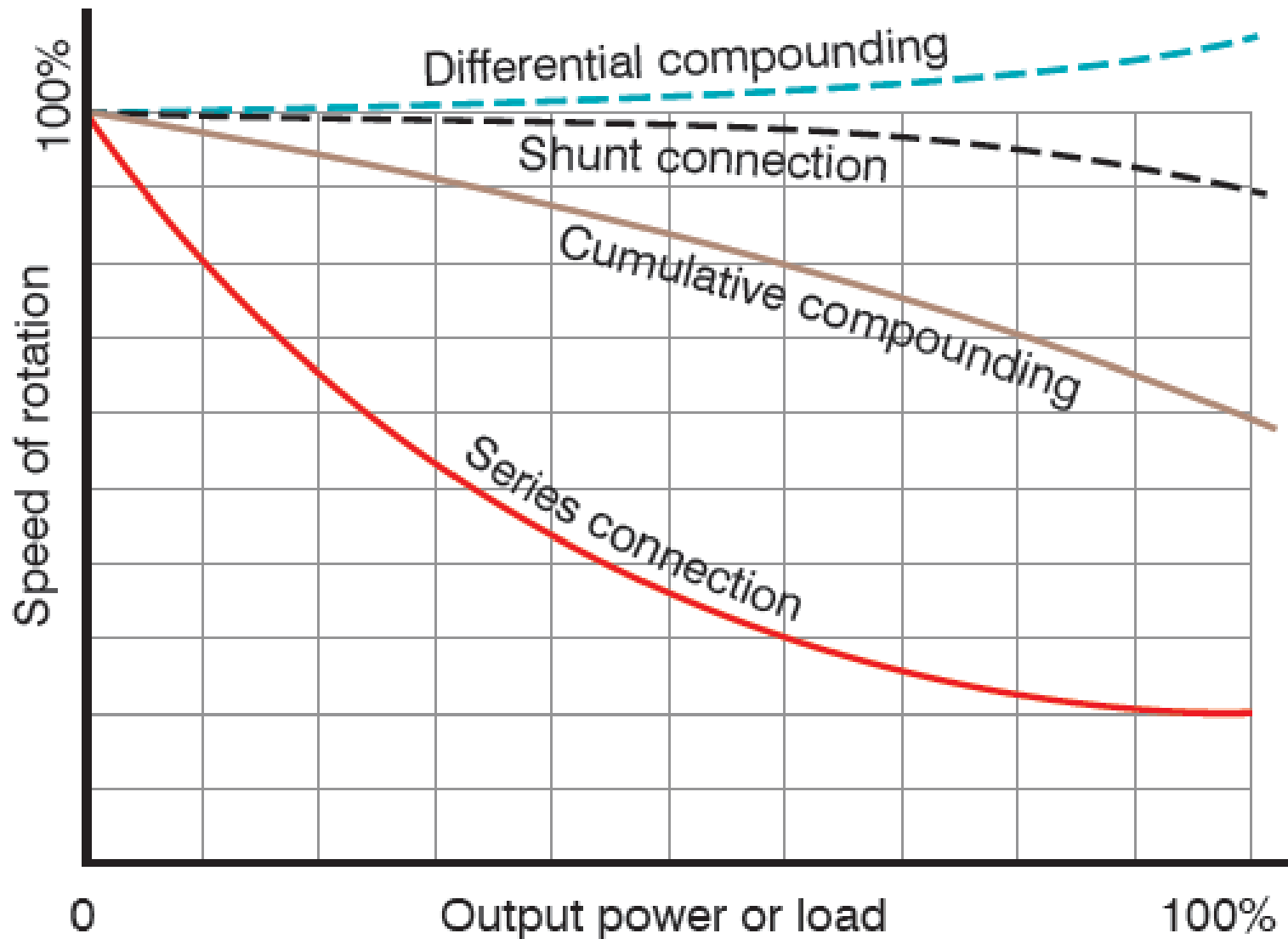
Προβλήματα κατά τη διαδικασία της εκκίνησης.

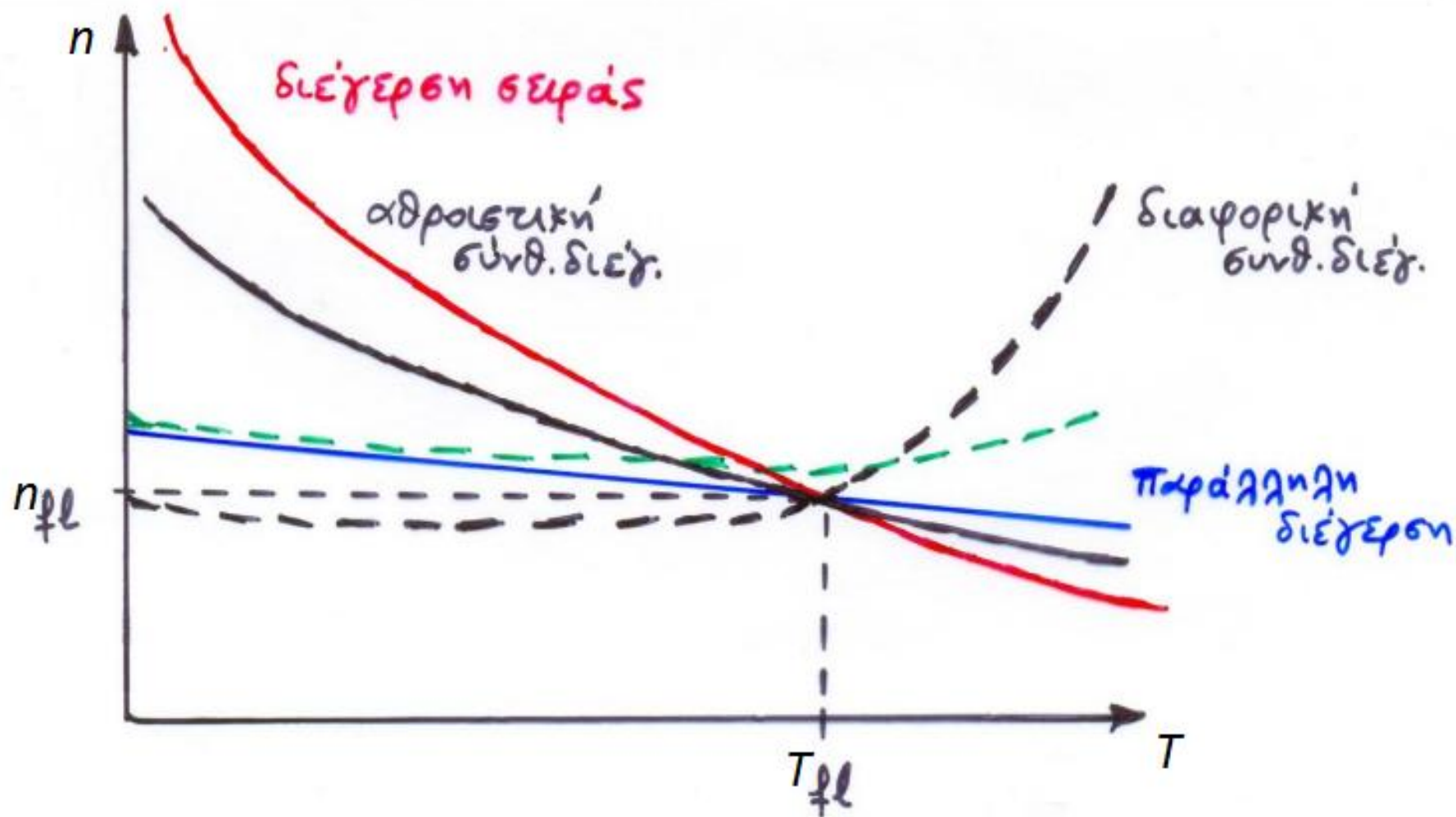
Η αρκετά υψηλή τιμή του I_T κατά την εκκίνηση, έχει σαν αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση Φ_s με αποτέλεσμα είτε την υπερβολική μείωση (μέχρι και το μηδενισμό) της συνιστάμενης μαγνητικής ροής, είτε και την αντίστροφή της.

- στην **πρώτη περίπτωση**, η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι σχεδόν μηδενική και
- στη **δεύτερη περίπτωση**, η ροπή εκκίνησης έχει μικρή τιμή αλλά αντίθετη φορά περιστροφής. Λόγω όμως της υψηλής τιμής του I_a , απουσία της επαγόμενης Α.Η.Ε.Δ., εμφανίζεται το φαινόμενο της έντονης υπερθέρμανσης του κινητήρα.

Για τους παραπάνω λόγους, **οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης διαφορικής σύνδεσης δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη.**

Χαρακτηριστικές Στροφών-φορτίου





ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΗΣ - ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ
 β) Κινητήρα Σ.Ρ. με σύνθετη διέγερση

Απώλειες στις μηχανές Συνεχούς Ρεύματος

Ηλεκτρικές απώλειες: Κυρίως **απώλειες χαλκού**, δηλαδή απώλειες στις ωμικές αντιστάσεις των διαφόρων τυλιγμάτων της μηχανής. Ένα μικρό ποσοστό των ηλεκτρικών απωλειών, αντιστοιχεί στις απώλειες των ψηκτρών.

$$P_{el} = I_T^2 R_T + I_\delta^2 R_\delta$$

Μηχανικές απώλειες: Απώλειες τριβών και απώλειες ανεμισμού και οι οποίες είναι ανάλογες της ταχύτητας του άξονα περιστροφής.

Μαγνητικές απώλειες: Μαγνητικής υστέρησης και Δινορρευμάτων.

Στην ανάλυση των ηλεκτρικών μηχανών, αποτελεί κοινή πρακτική, η θεώρηση των μηχανικών απωλειών και των απωλειών πυρήνα σε έναν κοινό όρο, γνωστό ως **απώλειες περιστροφής**.

Βαθμός απόδοσης (β.α)

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{P_{in} - P_{los}}{P_{in}} \times 100$$