

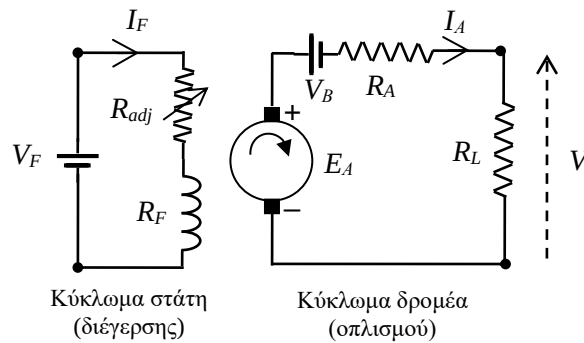
ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος (δυναμό) κυριάρχησαν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην αρχή της εποχής της ηλεκτροδότησης μέχρι περίπου το 1890. Μετά αντικαταστάθηκαν γρήγορα («ο πόλεμος των ρευμάτων» Edison – Westinghouse) σε μεγάλο βαθμό από τις γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (εναλλακτήρες).

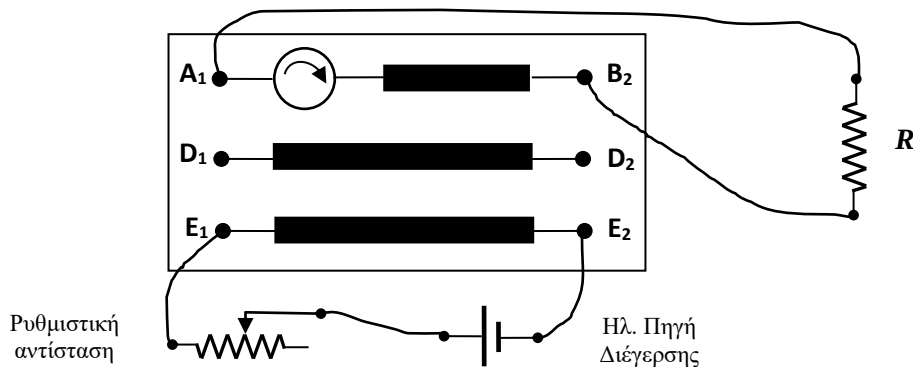
Πλέον είναι εκτός χρήσης (απαρχαιωμένες-obsolete) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βρίσκουν μόνο ειδικές εφαρμογές όπως : φορητές γεννήτριες μικρής ισχύος, διέγερση μεγάλων εναλλακτών, ηλεκτροσυγκολλήσεις, φόρτιση μπαταριών, ηλεκτρικά συστήματα οχημάτων, εργαστηριακή χρήση.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να παρέχουν σταθερή και εύκολα ελεγχόμενη τάση σε ένα μεγάλο εύρος τιμών με χαρακτηριστικές καμπύλες με ενδιαφέρον για ειδικές εφαρμογές.

Γεννήτρια ξένης ή ανεξάρτητης διέγερσης



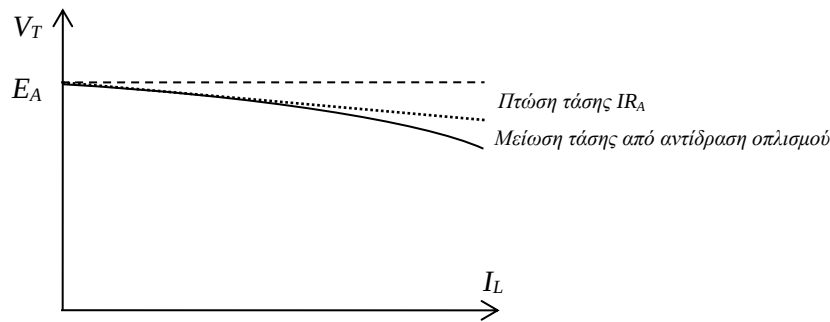
Οι συνδέσεις στους ακροδέκτες της μηχανής γίνονται ως εξής:



Οι εξισώσεις που ισχύουν είναι :

Μαγνητικές :	$E_A = K\Phi\omega$,	$\tau_{επαγ} = K\Phi I_A$	
Ηλεκτρικές :			
(δύο ανεξάρτητα κυκλώματα)	$I_F = \frac{V_F}{R_F + R_{adj}}$,	$I_A = I_L = I = \frac{E_A}{R_A + R_L}$,	$V = E_A - IR_A$
			χαρακτηριστική
	$P_F = V_F I_F$,	$P_{out} = VI$	
Μηχανικές :	$P_{μηχ} = \tau_{κιν}\omega$	$\omega = \frac{2\pi}{60}n$	
Βαθμός απόδοσης :	$P_{in} = P_{μηχ} + P_F$	$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}100\% = \frac{VI}{\tau\omega + V_F I_F}100\%$	

Αγνοώντας το V_B



Έλεγχος τάσης. Γράφουμε την τερματική τάση, από τον τύπο διαιρέτη τάσης ως :

$$V = E_A - IR_A = E_A - \frac{E_A}{R_A + R_L} R_A = E_A \left(1 - \frac{R_A}{R_A + R_L} \right) \Rightarrow$$

από

$$V = \frac{R_L}{R_A + R_L} E_A = \left(\frac{R_L K}{R_A + R_L} \right) \Phi \omega$$

Μπορούμε να ελέγξουμε την τάση της γεννήτριας μεταβάλλοντας την επαγωγική τάση με δύο τρόπους

- 1) μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής $\omega \uparrow \Rightarrow V_T \uparrow$ αυξάνεται
- 2) μεταβάλλοντας τη ρυθμιστική αντίσταση, δηλ. το ρεύμα διέγερσης

$$R_{adj} \downarrow \Rightarrow I_F = \frac{V_F}{R_{adj} \downarrow + R_F} \Rightarrow I_F \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow V_T \uparrow \text{ αυξάνεται}$$

Η διακύμανση τάσης κυμαίνεται από 5% ως 10% (η τάση μπορεί να σταθεροποιηθεί με μικρές ρυθμίσεις στο ρεύμα διέγερσης όσο αυξάνεται το φορτίο)

Χρησιμοποιούνται ως τροφοδότες της διέγερσης πολύ μεγάλων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος και σε ορισμένες περιπτώσεις στις ηλεκτροσυγκολήσεις.

Παράδειγμα (Ασκήσεις Chapman 9-22, 9-23, 9-24)

Γεννήτρια ξένης διέγερσης με ονομαστικές τιμές: $P_N = 6 \text{ kW}$, $V_N = 120 \text{ V}$, $I_{AN} = 50 \text{ A}$, $n_0 = 1800 \text{ rpm}$
 $I_{FN} = 5 \text{ A}$ και δεδομένα: $R_A = 0,18 \Omega$, $R_F = 24 \Omega$, $R_{adj} = 0 - 30 \Omega$, $N_F = 1000$ σπείρες ανά πόλο, με την παρακάτω καμπύλη μαγνήτισης. Αγνοήστε την αντίδραση οπλισμού.

A) Ποιο είναι το εύρος τιμών της τάσης εξόδου που παίρνουμε μεταβάλλοντας τη ρυθμιστική αντίσταση R_{adj} όταν η γεννήτρια λειτουργεί χωρίς φορτίο;

B) Εκτός από τη ρυθμιστική αντίσταση μπορούμε να μεταβάλλουμε και την ταχύτητα της γεννήτριας από 1500 rpm ως 2000 rpm. Ποιο είναι το εύρος τιμών της τάσης εξόδου?

Γ) Αν το ρεύμα οπλισμού είναι $I_A = 50 \text{ A}$, η τάση εξόδου $V = 106 \text{ V}$ και η ταχύτητα της μηχανής είναι 1700 rpm πόσο ρεύμα διαρρέει το πηνίο διέγερσης?

Δ) Αν η μηχανή έχει αντίδραση οπλισμού $\mathcal{F}_{AR} = 400 \text{ At}$ στο πλήρες φορτίο ποια θα είναι η τάση εξόδου όταν $I_A = 50 \text{ A}$, $I_F = 5 \text{ A}$ και $n = 1700 \text{ rpm}$

Απαντήσεις

A) Χωρίς φορτίο $V = E_A$

$$R_{F_{ολ}} = R_F + R_{adj} = 24 + 0 = 24 \Omega, \quad I_F = \frac{V_F}{R_{F_{ολ}}} = \frac{120}{24} = 5 \text{ A}$$

$$R_{F_{ολ}} = R_F + R_{adj} = 24 + 30 = 54 \Omega, \quad I_F = \frac{V_F}{R_{F_{ολ}}} = \frac{120}{54} = 2,22 \text{ A}$$

$$I_F = 2,22 \text{ A} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} E_A = 88 \text{ V}$$

$$I_F = 5 \text{ A} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} E_A = 129 \text{ V}$$

Επειδή η ταχύτητα είναι 1800 rpm όπως στην καμπύλη μαγνήτισης το εύρος τιμών είναι από 88 V ως 129 V.

B) $E_A = K \Phi \omega$

Μέγιστη τάση στο μέγιστο ρεύμα διέγερσης $I_F = 5 \text{ A}$ στη μέγιστη ταχύτητα 2000 rpm

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow E_A = E_{A0} \frac{n}{n_0} = 129 \frac{2000}{1800} = 143 \text{ V}$$

Ελάχιστη τάση στο ελάχιστο ρεύμα διέγερσης $I_F = 2,22 \text{ A}$ στην ελάχιστη ταχύτητα 1500 rpm

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow E_A = E_{A0} \frac{n}{n_0} = 88 \frac{1500}{1800} = 73 \text{ V}$$

$$\Gamma) E_A = V + I_A R_A = 106 + (50)(0,18) = 115 \text{ V στις } 1700 \text{ rpm}$$

Στις 1800 rpm

$$\frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow E_{A0} = E_A \frac{n_0}{n} = 115 \frac{1800}{1700} = 122 \text{ V}$$

$$E_A = 122 \text{ V} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} I_F = 4,2 \text{ A}$$

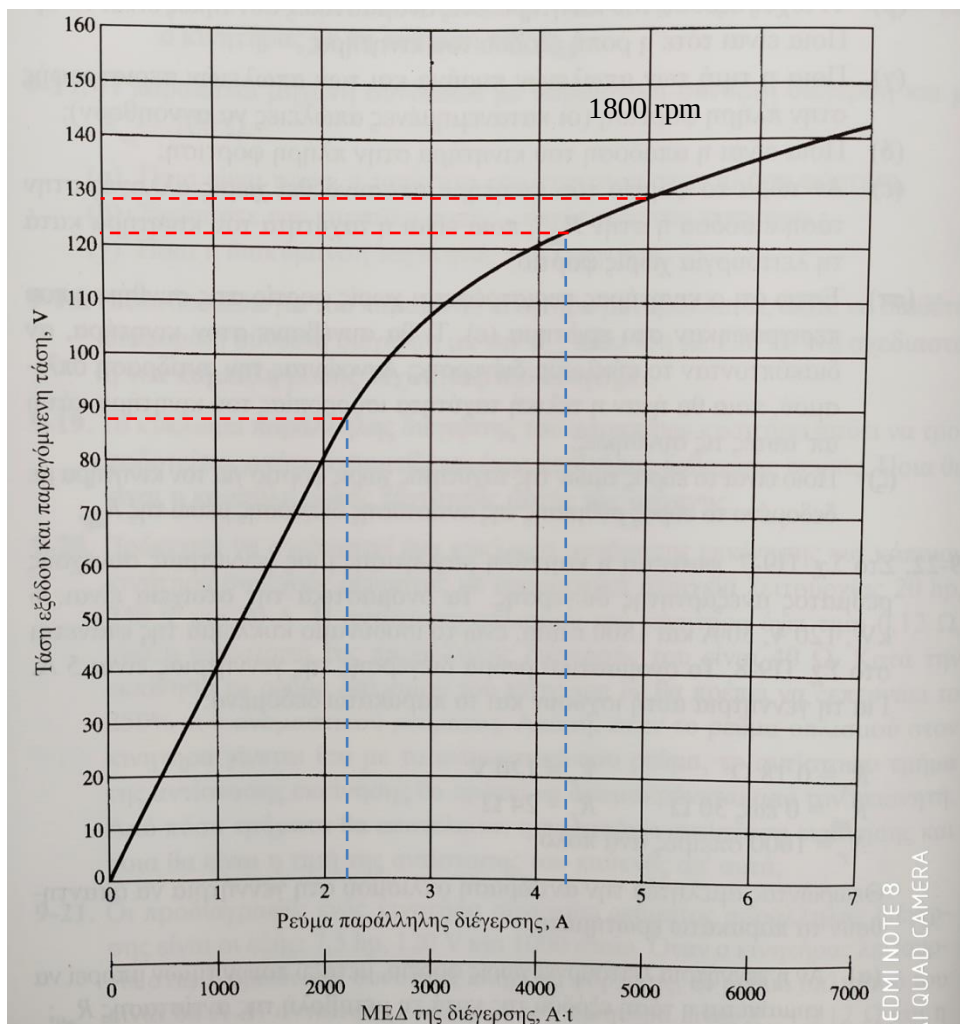
$$\Delta) \mathcal{F}_{o\lambda} = N_F I_F - \mathcal{F}_{AR} = (1000)(5) - 400 = 4600 \text{ At}$$

$$\text{Το ισοδύναμο ρεύμα διέγερσης είναι : } I_F^* = \frac{\mathcal{F}_{o\lambda}}{N_F} = \frac{4600}{1000} = 4,6 \text{ A}$$

$$\text{Στις } 1800 \text{ rpm } I_F = 4,6 \text{ A} \xrightarrow{\text{καμπύλη μαγνήτισης}} E_A = 126 \text{ V}$$

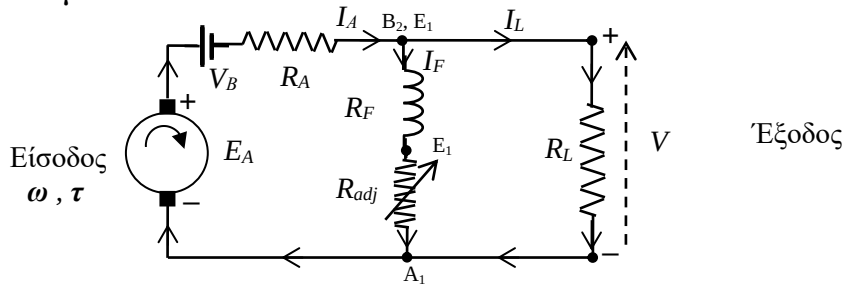
$$\text{Στις } 1700 \text{ rpm } \frac{E_A}{E_{A0}} = \frac{n}{n_0} \Rightarrow E_A = E_{A0} \frac{n}{n_0} = 126 \frac{1700}{1800} = 119 \text{ V}$$

$$\text{Τάση εξόδου : } V = E_A - I_A R_A = 119 - (50)(0,18) = 110 \text{ V}$$



Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης

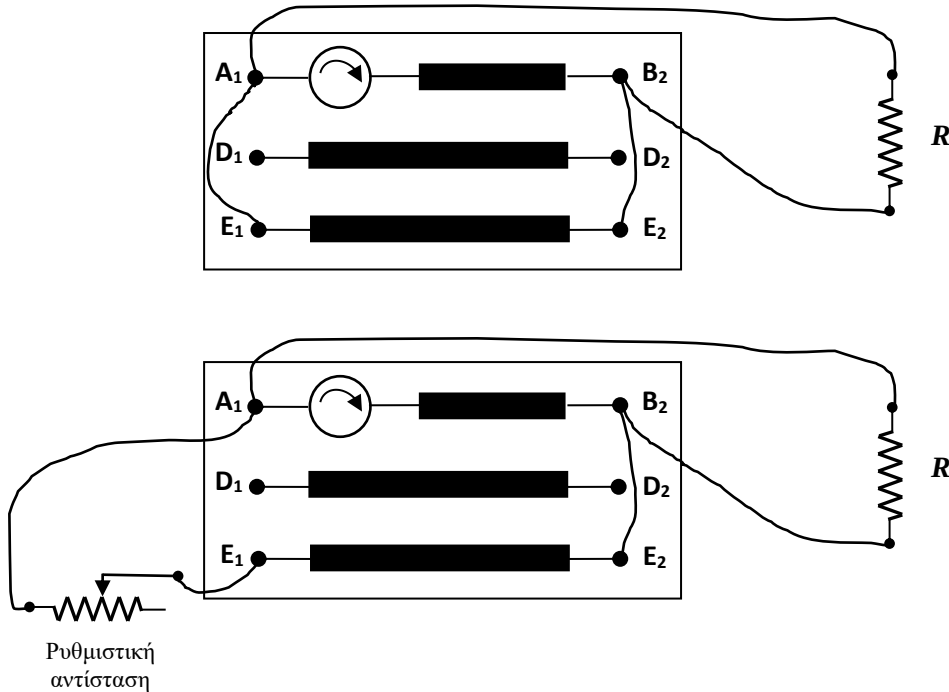
Κύκλωμα



Συνδέσεις

Οι συνδέσεις στους ακροδέκτες της μηχανής γίνονται ως εξής:

- Βραχυκυκλώνω E₁ με A₁ και E₂ με B₂ για να φτιάξω το εσωτερικό κύκλωμα της γεννήτριας
- Συνδέω το φορτίο στους τερματικούς ακροδέκτες της γεννήτριας A₁, B₂



Εξισώσεις

Μαγνητικές : $E_A = K\Phi\omega$, $\tau_{επαγ} = K\Phi I_A$

Ηλεκτρικές : (1 κόμβος, 2 βρόχοι)

$$I_A = I_F + I_L \quad , \quad I_F = \frac{V}{R_{Fολ}} \quad , \quad V = E_A - V_B - I_A R_A \quad P_{out} = VI_L$$

Μηχανικές : $P_{in} = \tau_{κιν}\omega$ $\omega = \frac{2\pi}{60}n$

Βαθμός απόδοσης : $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{V_T I_L}{\tau_{κιν}\omega} 100\%$

Υπολογισμός ρευμάτων

$$R_{ολ} = R_A + R_{Fολ} \parallel R_L = R_A + \frac{R_{Fολ} R_L}{R_{Fολ} + R_L} \quad , \quad I_A = \frac{E_A - V_B}{R_{ολ}}$$

$$\text{Διαιρέτης ρεύματος : } I_F = \frac{R_L}{R_{Fol} + R_L} I_A, \quad I_L = \frac{R_{Fol}}{R_{Fol} + R_L} I_A$$

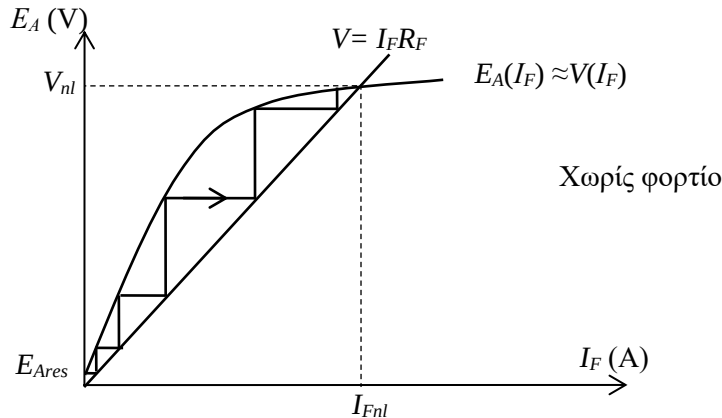
Αυτοδιέγερση

Για να ξεκινήσει χρειάζεται

- 1) παραμένουσα (residual) μαγνήτιση στους πόλους
- 2) το κύκλωμα διέγερσης να ενισχύσει και όχι να εξασθενήσει την παραμένουσα μαγνήτιση
- 3) αντίσταση πεδίου να μην είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή

$$E_{Ares} = K\Phi_{res}\omega \approx 1-2 \text{ V}$$

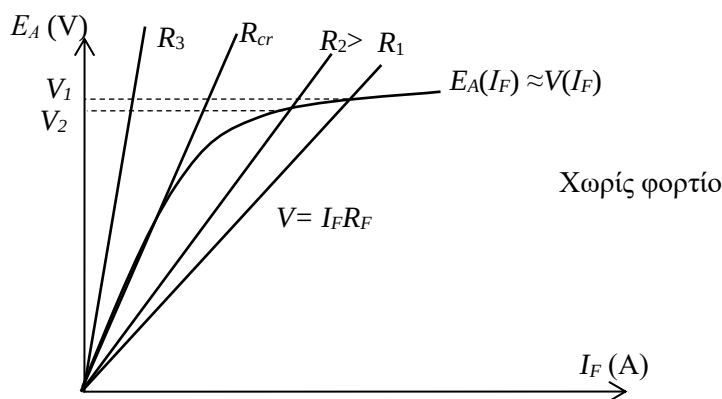
Αν δεν υπάρχει Φ_{res} κάνουμε «φόρτιση της διέγερσης»



$$\text{Αν } E_A = E_{Ares} - K\Phi(I_F)\omega \approx 0$$

Αλλάζουμε την φορά περιστροφής (σπάνια) ή αλλάζουμε τη φορά του ρεύματος I_F διασταυρώνοντας το E_1 με το E_2

Αν κάνουμε όλα τα παραπάνω και η γεννήτρια πάλι δεν δίνει τάση V τότε η R_F είναι πολύ μεγάλη ($R_F > R_{cr}$) : μειώνουμε την R_{Fol} μέσω της R_{adj}

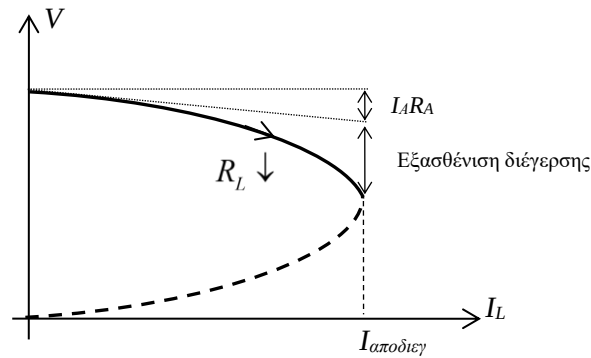


Όταν δεν δουλεύει στη γραμμική περιοχή: λύσεις μόνο γραφικά

Χαρακτηριστική καμπύλη γεννήτριας παράλληλης διέγερσης

Προσθέτω φορτία παράλληλα: $R_L \downarrow \Rightarrow I_L \uparrow, I_A \uparrow \Rightarrow I_A R_A \uparrow \Rightarrow V \downarrow = E_A - I_A R_A$ όπως και στη γεννήτρια ξένης διέγερσης.

Όμως τώρα επηρεάζεται και η E_A επειδή $V \downarrow \Rightarrow I_F \downarrow = V/R_F \Rightarrow E_A \downarrow$



Μεγάλη διακύμανση τάσης

Έλεγχος τερματικής τάσης V

Όπως και πριν στην γεννήτρια ξένης διέγερσης

- 1) μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής $\omega \uparrow \Rightarrow V \uparrow$ αυξάνεται
- 2) μεταβάλλοντας τη ρυθμιστική αντίσταση, δηλ. το ρεύμα διέγερσης $R_{adj} \downarrow \Rightarrow I_F \uparrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \Rightarrow V_T \uparrow$ αυξάνεται

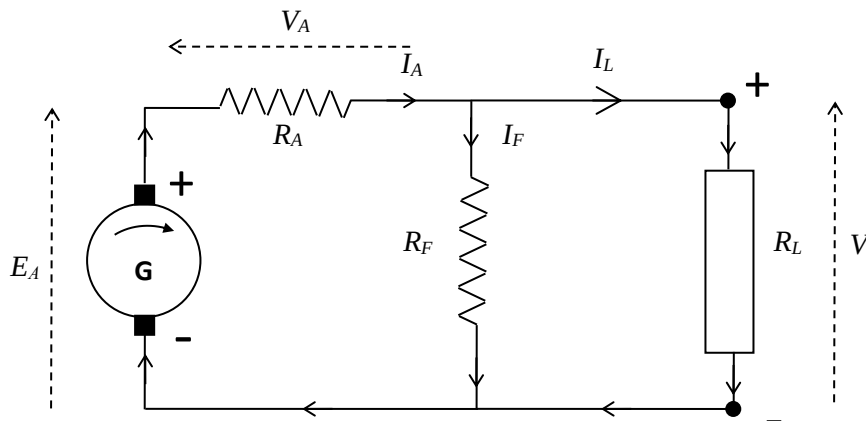
Άσκηση 1

Μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης λειτουργεί στις ονομαστικές της τιμές $P_N = 15 \text{ kW}$, $V_N = 300 \text{ V}$. Η αντίσταση τυμπάνου είναι $R_A = 0,2264 \Omega$ και το ρεύμα διέγερσης I_F είναι ίσο με 6% του ονομαστικού ρεύματος εξόδου I_L (ρεύμα φορτίου).

- A) Να σχεδιάσετε το ισοδύναμο κύκλωμα και να υπολογίσετε
- B) την αντίσταση του πηνίου διέγερσης R_F και
- Γ) την επαγωγική τάση E_A που παράγει η γεννήτρια

Λύση

A)



Τα ρεύματα είναι :

$$I_L = \frac{P_N}{V} = \frac{15 \text{ kW}}{300 \text{ V}} = \frac{15.000 \text{ W}}{300 \text{ V}} \Rightarrow I_L = 50 \text{ A}$$

$$I_F = 0,06 \cdot I_L = 0,06 \cdot 50 \text{ A} \Rightarrow I_F = 3 \text{ A}$$

$$I_A = I_F + I_L = 50 \text{ A} + 3 \text{ A} \Rightarrow I_A = 53 \text{ A}$$

Οπότε από το νόμο του Ohm έχουμε :

$$B) R_F = \frac{V}{I_F} = \frac{300 \text{ V}}{3 \text{ A}} \Rightarrow R_F = 100 \Omega$$

$$Γ) V_A = I_A R_A = 53 \cdot 0,2264 = 12,031 \Rightarrow V_A = 12 \text{ V}$$

$$E_A = V_A + V_T = 12 \text{ V} + 300 \text{ V} \Rightarrow E_A = 312 \text{ V}$$

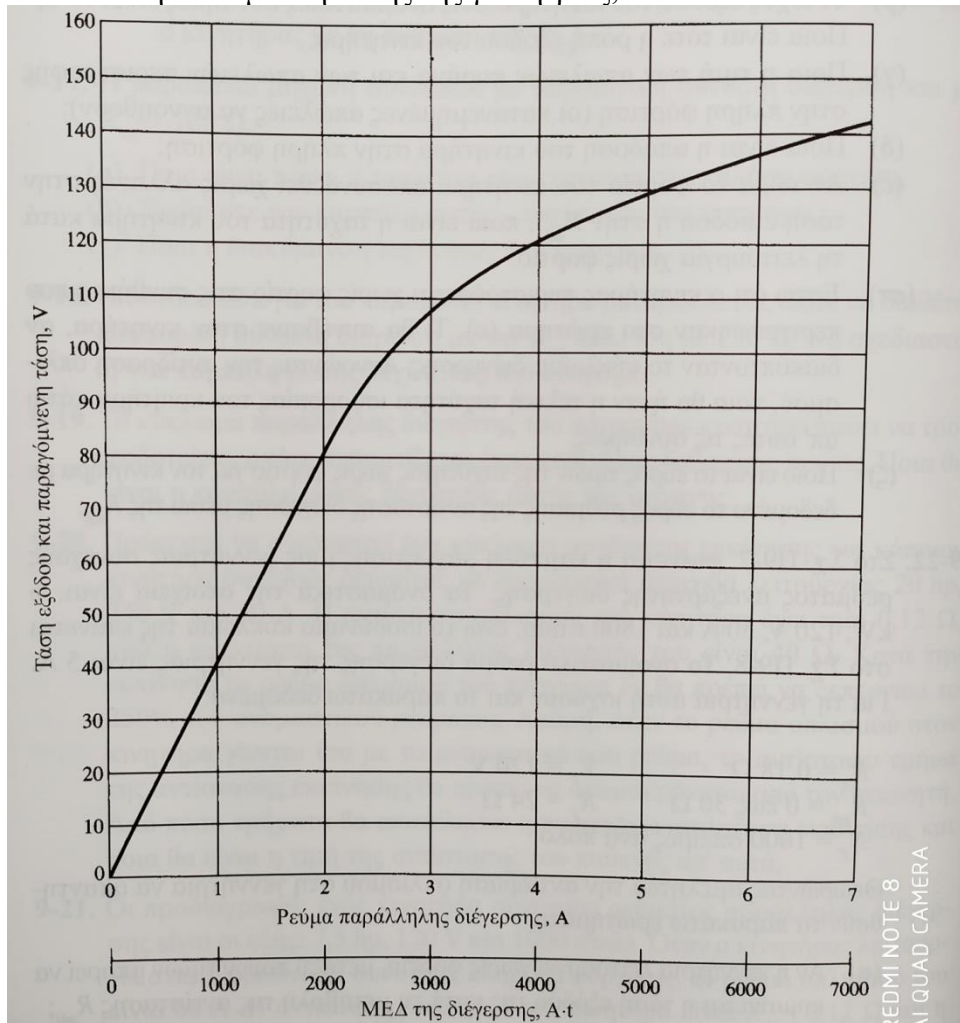
Άσκηση 2

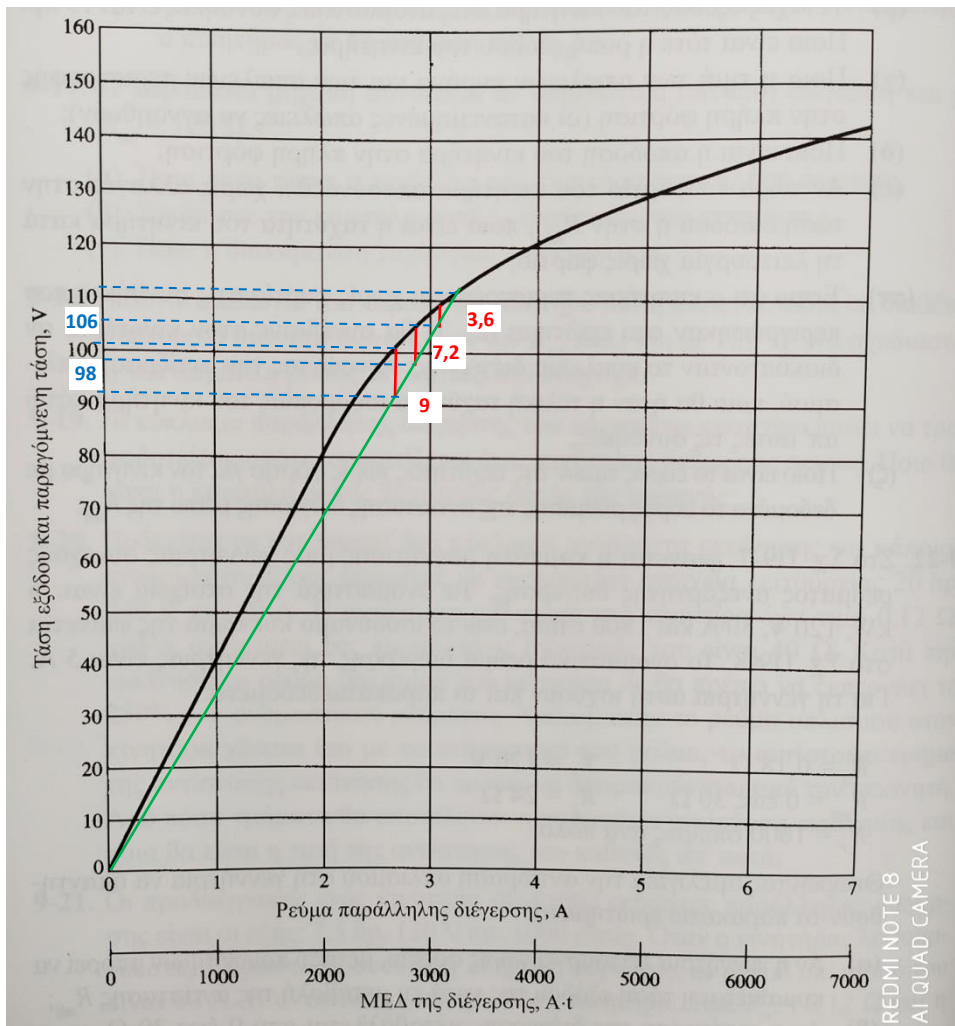
Γεννήτρια παράλληλης διέγερσης με ονομαστικές τιμές: $P_N = 6 \text{ kW}$, $V_N = 120 \text{ V}$, $I_{AN} = 50 \text{ A}$ και δεδομένα: $R_A = 0,18 \Omega$, $R_F = 24 \Omega$, $R_{adj} = 10 \Omega$, $n = 1800 \text{ rpm}$, με την παρακάτω καμπύλη μαγνήτισης.

A) Ποια είναι η τάση εξόδου της γεννήτριας όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο;

B) Ποια είναι η τάση εξόδου της γεννήτριας αν το ρεύμα οπλισμού έχει τιμή 20 A; 40 A;

Γ) Ποια είναι η διακύμανση τάσης της γεννήτριας;





Λύση

A) $R_{F_{ολ}} = R_F + R_{adj} = 24 + 10 = 34 \, \Omega$

Γραφικά: σχεδιάζουμε την ευθεία $V = I_F R_{F_{ολ}} \Rightarrow V = 34 I_F$ μαζί με την καμπύλη μαγνήτισης.

Τέμνονται στα 112 V, άρα $V_{NL} = 112 \, V$.

B)-Γ) Για $I_A = 20 \, A \Rightarrow I_A R_A = 20 \cdot 0,18 = 3,6 \, V$

Για $I_A = 40 \, A \Rightarrow I_A R_A = 40 \cdot 0,18 = 7,2 \, V$

Η πτώση τάσης στον οπλισμό $I_A R_A$ είναι ίση με τη διαφορά της καμπύλης μαγνήτισης και της ωμικής ευθείας του φορτίου :

$$E_A - V = I_A R_A$$

Οπότε κάνουμε το εξής: βρίσκουμε που χωράει η $I_A R_A$ ανάμεσα στις δύο καμπύλες, όσο πιο κοντά στο σημείο λειτουργίας χωρίς φορτίο, και έτσι παίρνουμε τους τρεις αγνώστους E_A , V_T και I_F

Η $I_A R_A = 3,6 \, V$ χωράει ανάμεσα στις $E_A = 109,6$ και $V_T = 106$ στο $I_F = 3,1 \, A$

Η $I_A R_A = 7,2 \, V$ χωράει ανάμεσα στις $E_A = 105,2$ και $V_T = 98$ στο $I_F = 2,8 \, A$

Π.χ. αν $I_A R_A = 10 \, V$ τότε φαίνεται καθαρά ότι $E_A = 80 \, V$, $V_T = 70 \, V$ στο $I_F = 2 \, A$

Βρείτε ποια είναι τα E_A , V_T και I_F στην παραπάνω καμπύλη για $I_A R_A = 5 \, V$ (επίσης φαίνεται καθαρά)

Διακύμανση τάσης

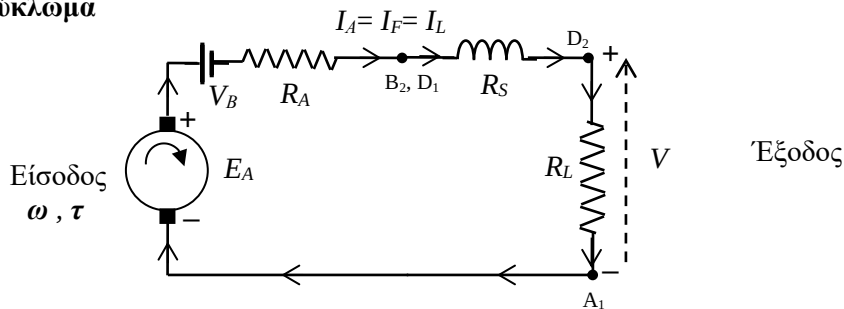
$$\delta\% = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} 100\% = \frac{112 - 92}{92} 100\% = 21,7\%$$

Επειδή στο πλήρες φορτίο, δηλαδή για $I_A = I_{AN} = 50 \, A \Rightarrow I_A R_A = 50 \cdot 0,18 = 9 \, V$

η $I_A R_A = 9 \, V$ χωράει ανάμεσα στις $E_A = 101$ και $V_T = 92$ στο $I_F = 2,8 \, A$

Γεννήτρια διέγερσης σειράς

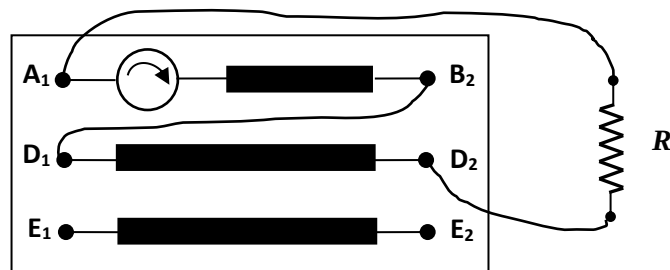
Κύκλωμα



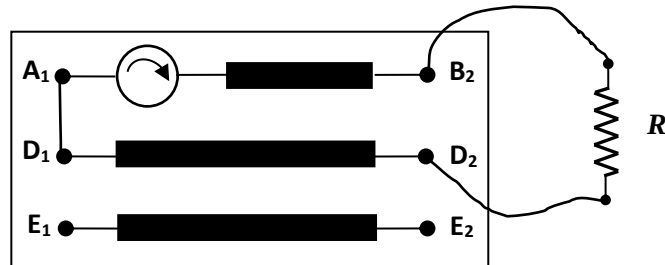
Συνδέσεις

Οι συνδέσεις στους ακροδέκτες της μηχανής γίνονται ως εξής:

- Βραχυκυκλώνω D₁ με B₂ για να συνδέσω τον οπλισμό σε σειρά με τη διέγερση
- Συνδέω το φορτίο στους τερματικούς ακροδέκτες της γεννήτριας που τώρα είναι οι A₁, D₂



Η



Δεν λειτουργεί χωρίς φορτίο καθώς δεν κλείνει το κύκλωμα και δεν υπάρχει ρεύμα διέγερσης. Τότε δίνει πολύ μικρή τάση όση δημιουργείται από την παραμένουσα μαγνήτιση.

Εξισώσεις

Μαγνητικές :

$$E_A = K\Phi\omega, \quad \tau_{ind} = K\Phi I_A$$

Ηλεκτρικές : (1 βρόχος)

$$I_A = I_F = I_L = I$$

$$V = E_A - V_B - I(R_A + R_S)$$

$$P_{out} = VI$$

Μηχανικές :

$$P_{in} = \tau_{κιν} \omega \quad \omega = \frac{2\pi}{60} n$$

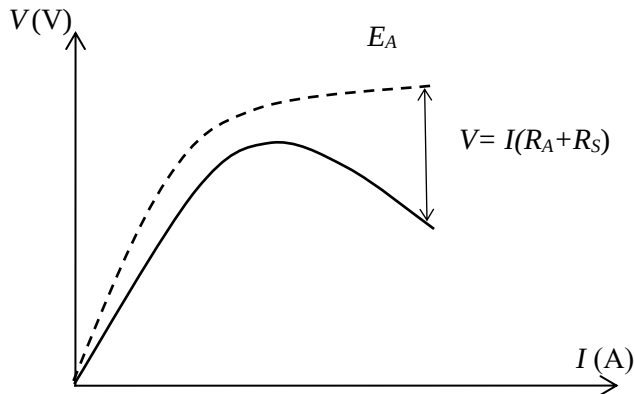
Βαθμός απόδοσης :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{VI}{\tau_{κιν} \omega} 100\%$$

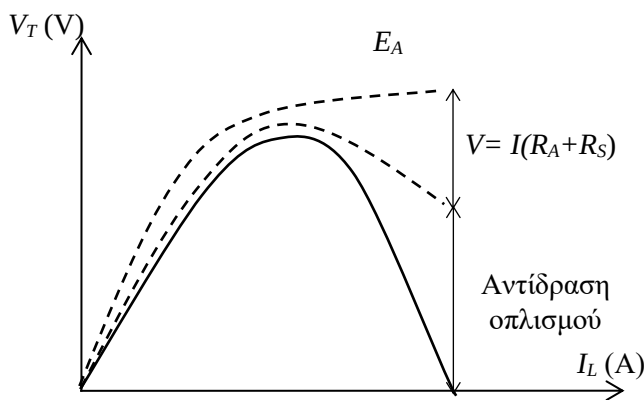
Χαρακτηριστική καμπύλη γεννήτριας διέγερσης σειράς

$$V_T = E_A - V_B - I(R_A + R_S)$$

Για μικρά ρεύματα η E_A αυξάνεται πιο γρήγορα από την πτώση τάσης και η **τερματική τάση αυξάνεται**. Όταν ο πυρήνας κορεστεί η επαγωγική τάση παραμένει πρακτικά σταθερή ενώ η πτώση τάσης αυξάνεται και η τερματική τάση πέφτει ραγδαία.



Πολύ μεγάλη διακύμανση τάσης.



Έχει λίγες ειδικές εφαρμογές στις ηλεκτροσυγκολλήσεις

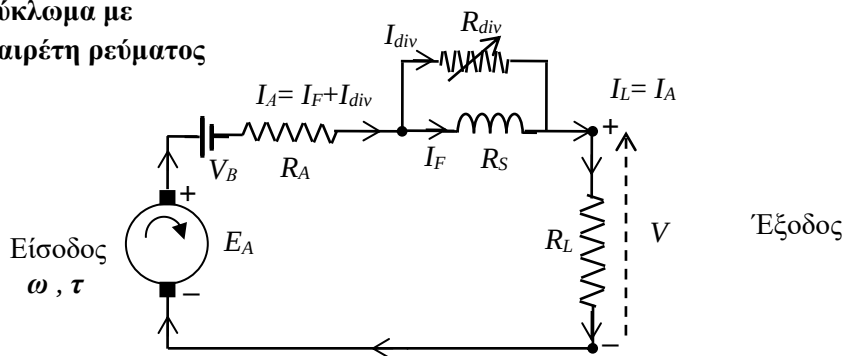
Έλεγχος τερματικής τάσης V

Όπως και πριν στην γεννήτρια ξένης διέγερσης

- 1) μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής $\omega \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \Rightarrow V \uparrow$ αυξάνεται
- 2) μεταβάλλοντας τη ρυθμιστική παρακαμπτική αντίσταση (diverter) που συνδέουμε παράλληλα στο πηνίο διέγερσης σειράς (διαιρέτης ρεύματος). Με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλουμε μόνο το ρεύμα διέγερσης και άρα τη μαγνητική ροή :

$$R_{div} \uparrow \Rightarrow I_F \uparrow = \frac{R_{div}}{R_{div} + R_S} I_A \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \Rightarrow V \uparrow \text{ αυξάνεται}$$

Κύκλωμα με διαιρέτη ρεύματος

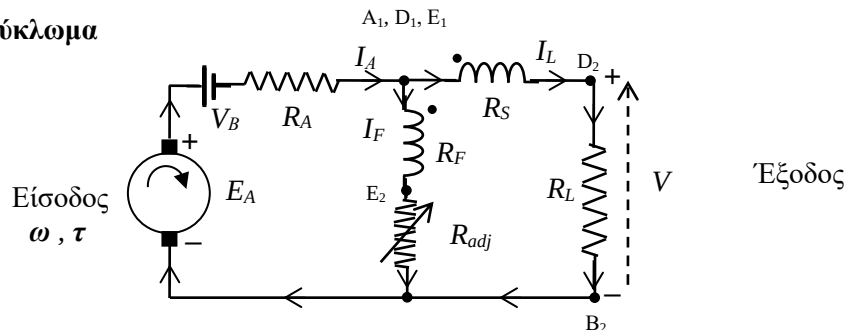


Γεννήτρια σύνθετης διέγερσης

$$\mathcal{F} = \mathcal{F}_F + \mathcal{F}_S - \mathcal{F}_{AR}$$

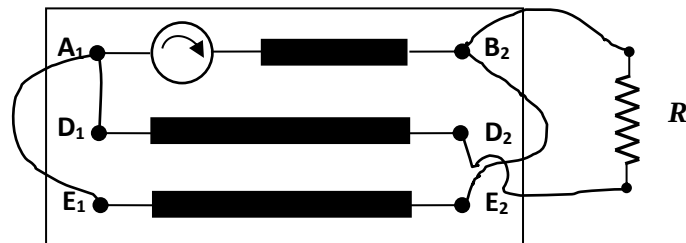
Όταν το ρεύμα μπαίνει από την κουκίδα η $\mathcal{F}$ θεωρείται θετική

Κύκλωμα



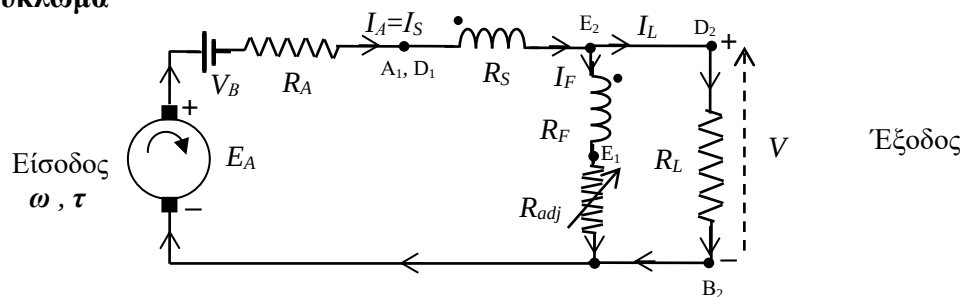
Προπαράλληλη σύνδεση

Συνδέσεις



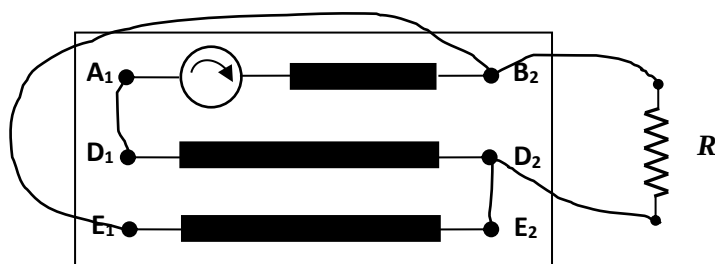
$$I_A = I_F + I_L, \quad V = E_A - I_A R_A - I_L R_S, \quad I_F = \frac{V + I_L R_S}{R_{Fol}}, \quad I_S = I_L, \quad E_A = K \Phi \omega,$$

Κύκλωμα



Μεταπαράλληλη σύνδεση

Συνδέσεις



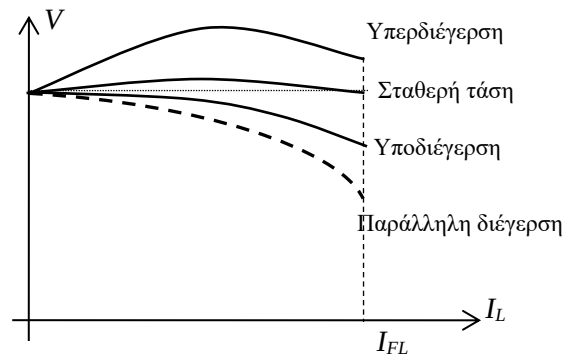
$$I_A = I_F + I_L, \quad V = E_A - I_A(R_A + R_S), \quad I_F = \frac{V}{R_F}, \quad I_S = I_A$$

$$E_A = K\Phi\omega, \quad \Phi = \Phi(\mathcal{F}) = \Phi(I_F^*)$$

$$\mathcal{F} = N_F I_F + N_S I_S - \mathcal{F}_{AR} = N_F \left(I_F + \frac{N_S}{N_F} I_S - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F} \right) = N_F I_F^*,$$

$$I_F^* = I_F + \frac{N_S}{N_F} I_S - \frac{\mathcal{F}_{AR}}{N_F} \quad \text{ισοδύναμο ρεύμα παράλληλης διέγερσης}$$

Αθροιστική σύνθετη διέγερση (οι διεγέρσεις αθροίζονται)



Μεταπαράλληλη: $I_S = I_A$

Προπαράλληλη: $I_S = I_L$

$$V = E_A - I_A(R_A + R_S)$$

$$I_L \uparrow \Rightarrow I_A \uparrow = I_F + I_L \uparrow \Rightarrow \begin{cases} \mathcal{F} \uparrow = N_F I_F + N_S I_S \uparrow \Rightarrow E_A \uparrow \\ I_A(R_A + R_S) \uparrow \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V \uparrow = E_A \uparrow - I_A(R_A + R_S) \\ V \downarrow = E_A - I_A \uparrow (R_A + R_S) \end{cases}$$

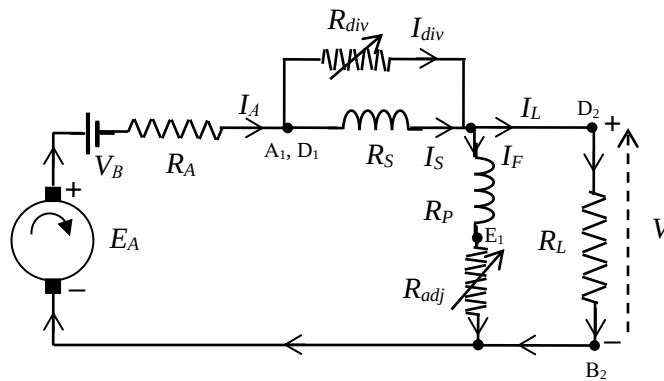
Δύο ανταγωνιστικά φαινόμενα. Το πιο θα κυριαρχήσει, η ενίσχυση της μαγνητικής ροής ή η ωμική πτώση τάσης, εξαρτάται από τις σπείρες του πηνίου διέγερσης σειράς

Λίγες σπείρες (N_S μικρό) : μικρή διέγερση, κυριαρχεί η πτώση τάσης, σαν παράλληλης αλλά λιγότερο απότομη, $V_{FL} < V_{NL}$, υποσύνθετη διέγερση ή υποδιέγερση

Περισσότερες σπείρες (N_S μεγαλύτερο) : τα δύο φαινόμενα ισορροπούν, αρχικά αυξάνεται η επαγωγική τάση και άρα υπερισχύει το φαινόμενο της μαγνητικής ροής αλλά μετά τον κορεσμό υπερισχύει η πτώση τάσης, όμως η διακύμανση είναι πολύ μικρή $V_{FL} = V_{NL}$ σταθερής τάσης

Ακόμη περισσότερες σπείρες (N_S μεγάλο) : το φαινόμενο ενίσχυσης της μαγνητικής ροής κυριαρχεί για περισσότερο διάστημα, $V_{FL} > V_{NL}$ υπερσύνθετης διέγερσης ή υπερδιέγερσης

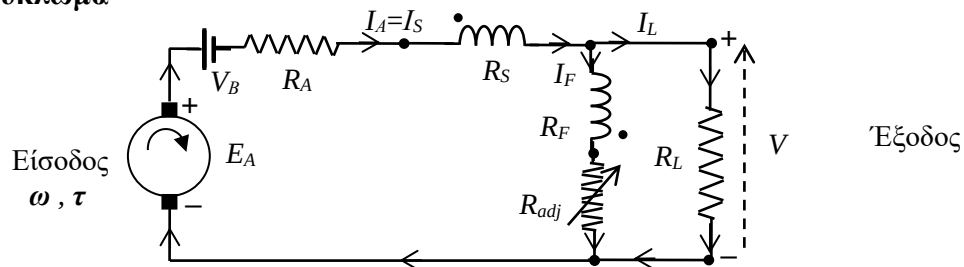
Με έναν διαιρέτη ρεύματος μπορούμε να πάρουμε και τις τρεις παραπάνω διεγέρσεις από την ίδια μηχανή αλλάζοντας το ρεύμα I_S που περνάει από το πηνίο διέγερσης σειράς.



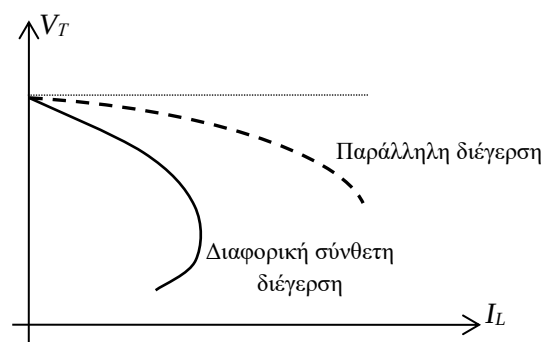
Μεταπαράλληλη σύνδεση με παράκαμψη μεταβλητής αντίστασης (diverter)

Διαφορική σύνθετη διέγερση (οι διεγέρσεις αφαιρούνται)

$$\mathcal{F} = -N_F I_F + N_S I_S$$

Κύκλωμα

Μεταπαράλληλη σύνδεση



Και τα δύο φαινόμενα μειώνουν την τάση εξόδου και η χαρακτηριστική πέφτει πιο γρήγορα και από αυτή της παράλληλης διέγερσης.

Εφαρμογή μόνο στις ηλεκτροσυγκολλήσεις.