

## ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος διαχωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

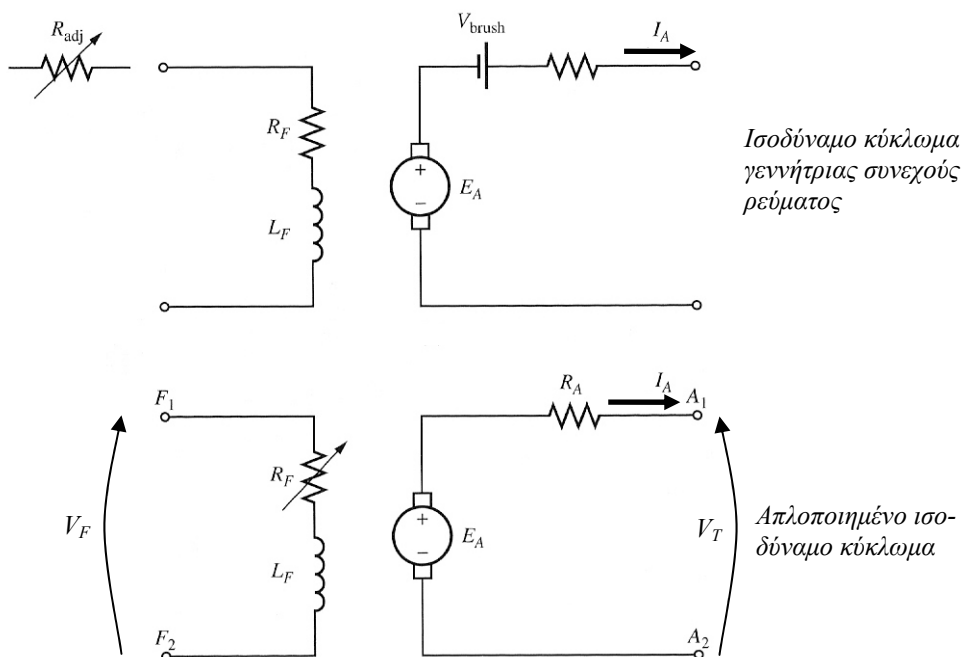
- Ανεξάρτητης (ξένης) διέγερσης.
- Παράλληλης διέγερσης.
- Διέγερσης σειράς.
- Αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.
- Διαφορικής σύνθετης διέγερσης.

Ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση διαφόρων γεννητριών είναι η *διακύμανση τάσης*, οριζόμενη ως

$$VR = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} 100\%$$

όπου  $V_{nl}$  (no load),  $V_{fl}$  (full load) οι τάσεις στα άκρα της γεννήτριας κατά τη λειτουργία με μηδενικό και πλήρες φορτίο, αντίστοιχα. Θετική διακύμανση σημαίνει φθίνουσα χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος, ενώ αρνητική  $VR$  αντιστοιχεί σε αύξουσα χαρακτηριστική.

Οι γεννήτριες οδηγούνται από κάποια πηγή μηχανικής ενέργειας (όπως είναι π.χ. ένας ατμοστρόβιλος ή ένας ηλεκτροκινητήρας), η οποία χαρακτηρίζεται ως η *κινητήρια μηχανή*. Εκτός και αν σημειώνεται το αντίθετο, θα θεωρείται σταθερή η ταχύτητα περιστροφής της κινητήριας μηχανής. Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου ο οπλισμός παριστάνεται με μια ιδανική πηγή τάσης  $E_A$  και μια αντίσταση  $R_A$ , ενώ η πτώση τάσης στις ψήκτρες παριστάνεται με μια μικρή πηγή τάσης  $V_{brush}$ . Το τύλιγμα της διέγερσης παριστάνεται με την αυτεπαγωγή  $L_F$  και την αντίσταση  $R_F$ . Τέλος, θεωρούμε την ύπαρξη μιας εξωτερικής μεταβλητής αντίστασης  $R_{adj}$ , μέσω της οποίας ρυθμίζεται το ρεύμα διέγερσης. Στο απλοποιημένο κυκλωματικό ισοδύναμο οι  $R_{adj}$  και  $R_F$  αντικαθιστώνται από μια ενιαία μεταβλητή αντίσταση, ενώ η πτώση τάσης στις ψήκτρες μπορεί να παραληφθεί (λόγω της μικρής της τιμής) ή να ενσωματωθεί στην  $R_A$ .



## ΓΕΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗΣ (ΞΕΝΗΣ) ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Σε αυτήν την περίπτωση το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από μια εξωτερική πηγή συνεχούς τάσης. Από το ισοδύναμο κύκλωμα προκύπτουν εύκολα οι σχέσεις που ακολουθούν:

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

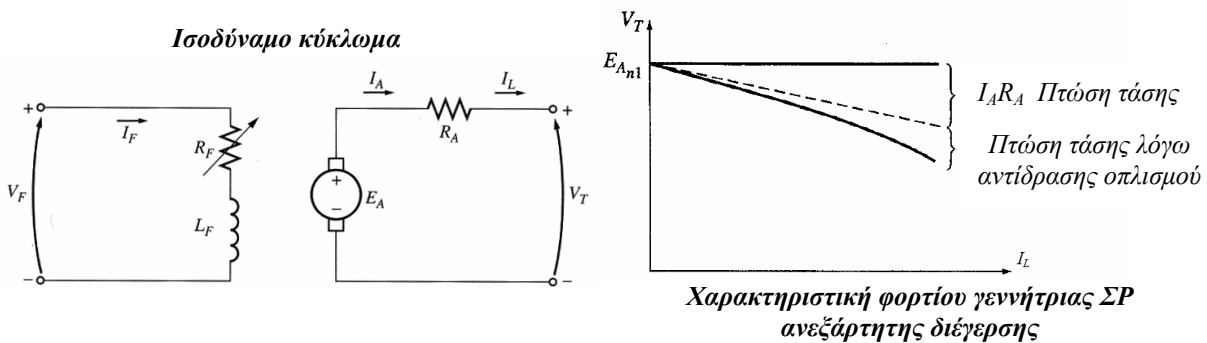
Από τα παραπάνω φαίνεται πως το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο είναι ίσο με το ρεύμα που διαρρέει τον οπλισμό.

### Χαρακτηριστική φορτίου

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η γραφική παράσταση της τάσης  $V_T$  στην έξοδο της γεννήτριας συναρτήσει του ρεύματος  $I_L$  που διαρρέει το φορτίο (εξωτερική χαρακτηριστική). Επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση η τάση  $E_A$  στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα  $I_A$ , η χαρακτηριστική του φορτίου είναι τελικά μια ευθεία γραμμή (αφού  $V_T = E_A - I_A R_A$ ).

Αν θεωρήσουμε την περίπτωση που αυξάνεται το φορτίο της γεννήτριας ( $I_L \nearrow$ ), προφανώς αυξάνεται και το ρεύμα του οπλισμού ( $I_A = I_L \nearrow$ ), γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της πτώσης τάσης  $I_A R_A \nearrow$ , άρα σε μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας ( $V_T = E_A - I_A R_A \searrow$ ).

Ωστόσο, αν η γεννήτρια δε διαθέτει τυλίγμα αντιστάθμισης, η αύξηση του ρεύματος του οπλισμού ( $I_A \nearrow$ ) συνεπάγεται την ενίσχυση της αντίδρασης του οπλισμού, οδηγώντας στην εξασθένιση της μαγνητικής ροής ( $\Phi \searrow$ ). Το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με μείωση της  $E_A (= K\Phi\omega \searrow)$  και αντίστοιχη μείωση της  $V_T$ , με συνέπεια η χαρακτηριστική φορτίου να μην είναι πλέον ευθεία γραμμή. Με άλλα λόγια, η αντίδραση του οπλισμού οδηγεί στην παραμόρφωση των χαρακτηριστικών των γεννητριών που δεν διαθέτουν τυλίγματα αντιστάθμισης.



### Τρόποι ελέγχου της τάσης εξόδου

Επειδή η τάση στα άκρα της γεννήτριας επηρεάζεται από την εσωτερική τάση  $E_A = K\Phi\omega$ , οι τρόποι ελέγχου της τάσης εξόδου είναι οι ακόλουθοι δύο:

- Με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής: αύξηση της ταχύτητας περιστροφής ( $\omega \nearrow$ ) σημαίνει αύξηση της  $E_A (= K\Phi\omega \nearrow)$ , με αποτέλεσμα να ενισχύεται η τάση εξόδου ( $V_T = E_A - I_A R_A \nearrow$ ).
- Με μεταβολή του ρεύματος διέγερσης: μειώνοντας την αντίσταση  $R_F \searrow$ , αυξάνει το ρεύμα διέγερσης ( $I_F = V_F / R_F \nearrow$ ). Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της μαγνητικής ροής ( $\Phi \nearrow$ ), δηλαδή την αύξηση της εσωτερικής τάσης ( $E_A = K\Phi\omega \nearrow$ ) και τελικά την ενίσχυση της τάσης εξόδου ( $V_T = E_A - I_A R_A \nearrow$ ).

## ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

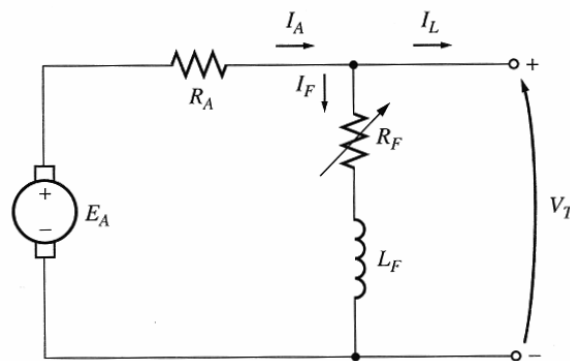
Εδώ το κύκλωμα διέγερσης συνδέεται στα άκρα της γεννήτριας και τροφοδοτείται από την τάση εξόδου της μηχανής. Με άλλα λόγια, δεν απαιτείται εξωτερική πηγή για το κύκλωμα διέγερσης (η γεννήτρια είναι αυτοδιεγερόμενη), αφού το ρεύμα οπλισμού τροφοδοτεί τόσο το κύκλωμα διέγερσης, όσο και το φορτίο που συνδέεται στην έξοδο:

$$I_A = I_F + I_L .$$

Έτσι, για το κύκλωμα του οπλισμού προκύπτει ότι

$$V_T = E_A - I_A R_A = I_F R_F .$$

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



Ισοδύναμο κύκλωμα

### Αυτοδιέγερση

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

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

με σχετικά χαμηλή τιμή. Η τάση αυτή θα προκαλέσει κάποιο ρεύμα στο κύκλωμα διέγερσης,

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

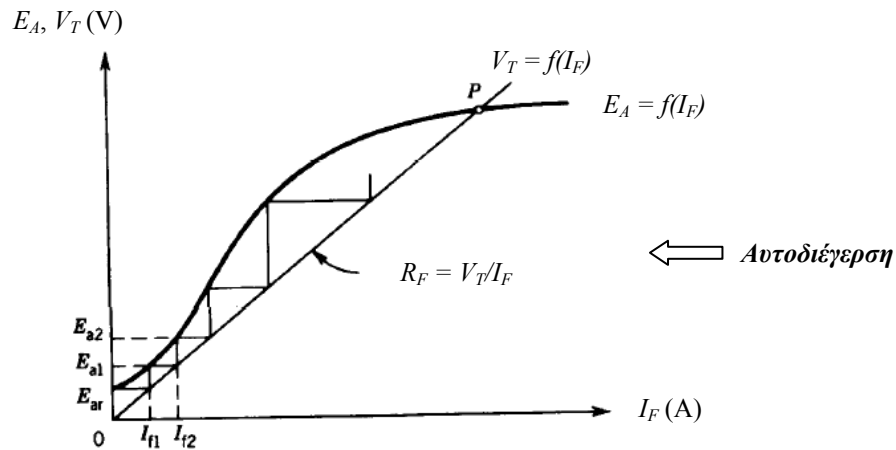
εξαιτίας του οποίου παράγεται ΜΕΔ στους πόλους, αυξάνοντας τη συνολική μαγνητική ροή (αν, βέβαια, η συνδεσμολογία είναι σωστή). Η τελευταία αυξάνει την εσωτερική τάση  $E_A = K \Phi \omega$ , όπως και την τάση εξόδου  $V_T$  και το ρεύμα διέγερσης  $I_F$ , οπότε και τη μαγνητική ροή κ.ο.κ.

Η τελική τιμή της τάσης στα άκρα της γεννήτριας περιορίζεται από τον κορεσμό στους πόλους της μηχανής (εάν δεν υπήρχε το φαινόμενο του κορεσμού, η αύξηση της  $E_A$  δε θα σταματούσε ποτέ). Επιπλέον, εάν η αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα είναι πολύ μικρή, τότε θα έχουμε  $V_T = E_A - I_A R_A \approx E_A$ , δηλαδή η τελική τιμή της  $E_A$  πρακτικά θα καθορίζεται από το σημείο τομής Ρ των δύο καμπυλών του σχήματος (η καμπύλη  $E_A = f(I_F)$  είναι προφανώς η καμπύλη μαγνήτισης).

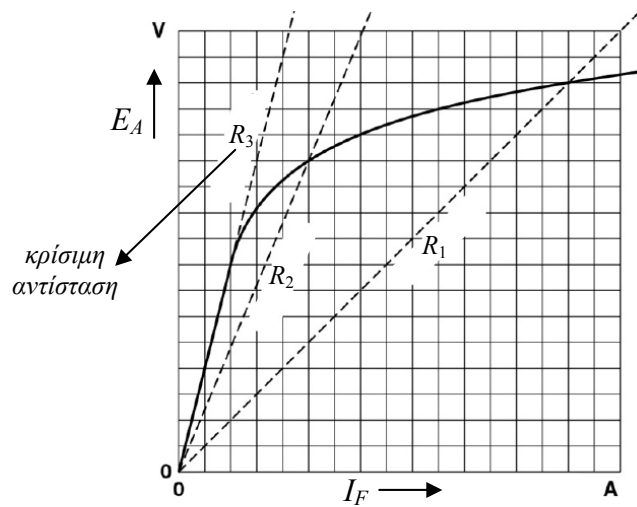
### Αιτίες αποτυχίας της αυτοδιέγερσης

α) Απουσία παραμένουσας μαγνητικής ροής: αν η παραμένουσα μαγνητική ροή είναι μηδενική, τότε η  $E_A$  θα παραμείνει και αυτή μηδενική. Σε αυτήν την περίπτωση αποσυνδέεται το κύκλωμα

διέγερσης από αυτό του οπλισμού και συνδέεται με πηγή συνεχούς τάσης, η οποία προκαλεί στους πόλους την απαραίτητη ροή για την εκκίνηση της μηχανής (διαδικασία φόρτισης της διέγερσης).



β) Φορά περιστροφής αντίθετη από την κανονική ή σύνδεση του κυκλώματος διέγερσης με την αντίθετη πολικότητα: στις περιπτώσεις αυτές το ρεύμα διέγερσης παράγει ροή αντίθετη από την παραμένουσα, με συνέπεια η τάση αυτοδιέγερσης να έχει πολύ μικρή τιμή (φθίνει αντί να αυξάνεται).  
 γ) Αντίσταση διέγερσης μεγαλύτερη από την κρίσιμη αντίσταση: τότε κατά τη λειτουργία χωρίς φορτίο η τάση γίνεται σχεδόν μηδενική και η μηχανή δεν αυτοδιεγείρεται. Ως *κρίσιμη* χαρακτηρίζεται η αντίσταση διέγερσης, της οποίας η γραφική παράσταση είναι σχεδόν εφαπτόμενη στην καμπύλη μαγνήτισης της γεννήτριας.

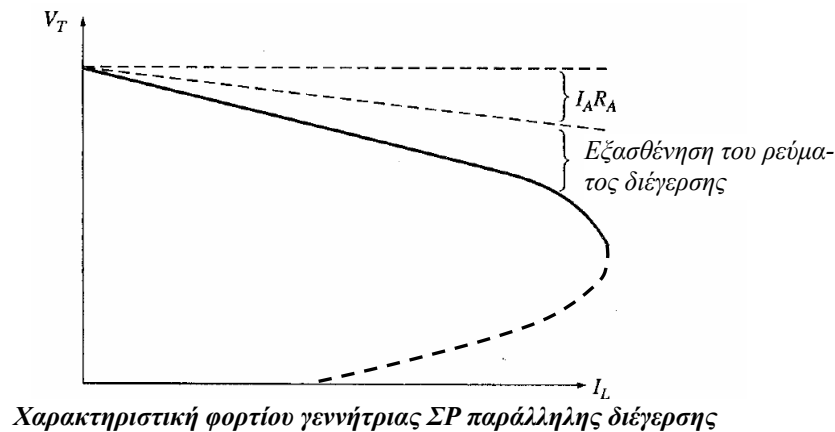


Συνοψίζοντας, οι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη διαδικασία της αυτοδιέγερσης είναι α) η παρουσία παραμένουστος μαγνητισμού, β) η ενίσχυσή του από τη ΜΕΔ του οπλισμού και γ) η αντίσταση του κυκλώματος διέγερσης να είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή.

### Χαρακτηριστική φορτίου

Θεωρούμε τη μηχανή αρχικά αφόρτιστη και στη συνέχεια προσθέτουμε σταδιακά κάποια φορτία. Η αύξηση του ρεύματος του φορτίου ( $I_L \nearrow$ ) συνεπάγεται την αύξηση του ρεύματος του οπλισμού  $I_A (= I_F + I_L \nearrow)$ , με συνέπεια τη μείωση της τάσης  $V_T (= E_A - I_A R_A \searrow)$ . Το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με μειωμένο ρεύμα διέγερσης ( $I_F = V_T / R_F \searrow$ ), άρα ελάττωση της ροής ( $\Phi \searrow$ ) και

μείωση της  $E_A \searrow$ . Αυτό επιφέρει περαιτέρω μείωση της  $V_T$ . Με άλλα λόγια, η μείωση της τάσης εξόδου σ' αυτήν την περίπτωση είναι μεγαλύτερη από  $I_A R_A$ , η οποία, όπως είδαμε, αντιστοιχεί στις γεννήτριες ανεξάρτητης διέγερσης (συνεπώς εμφανίζεται μεγαλύτερη διακύμανση της τάσης εξόδου).



Για την ορθή λειτουργία μιας γεννήτριας παράλληλης διέγερσης είναι απαραίτητο αυτή να χρησιμοποιείται κοντά στον κορεσμό. Διαφορετικά (αν λειτουργεί δηλ. στη γραμμική περιοχή) μια σημαντική μείωση της  $V_T$  θα ισοδυναμεί με εξίσου μεγάλη μείωση του ρεύματος διέγερσης, άρα και της μαγνητικής ροής. Η τελευταία θα εξασθενίσει την επαγόμενη τάση, προκαλώντας περαιτέρω μείωση της  $V_T$  κ.ο.κ. Αν, όμως, η γεννήτρια βρίσκεται στον κορεσμό, η μείωση του ρεύματος διέγερσης δεν θα προκαλέσει μεγάλη αλλαγή στην τιμή της μαγνητικής ροής, σταθεροποιώντας τελικά τη  $V_T$  σε μια τιμή μικρότερη της αρχικής, αλλά επαρκή για ικανοποιητική λειτουργία της γεννήτριας.

### Έλεγχος τάσης εξόδου

Όπως και στις γεννήτριες ξένης διέγερσης, υπάρχουν οι δύο ακόλουθοι τρόποι:

- α) Με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής.
- β) Με μεταβολή της αντίστασης διέγερσης (ισοδυναμεί με τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης).

### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΕΙΡΑΣ

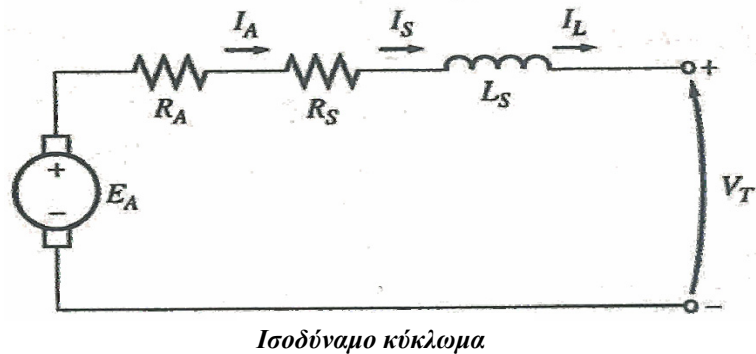
Σε αυτού του είδους τις αυτοδιεγειρόμενες γεννήτριες το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του οπλισμού. Προφανώς, τώρα το ρεύμα του κυκλώματος διέγερσης ταυτίζεται με αυτό του φορτίου και είναι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα διέγερσης στην περίπτωση της παράλληλης διέγερσης. Γι' αυτόν το λόγο το τύλιγμα του οπλισμού έχει μικρό αριθμό σπειρών και ο αγωγός που χρησιμοποιείται έχει μεγάλη διατομή. Από το ισοδύναμο κύκλωμα προκύπτουν εύκολα οι ακόλουθες σχέσεις:

$$I_A = I_S = I_L$$

και

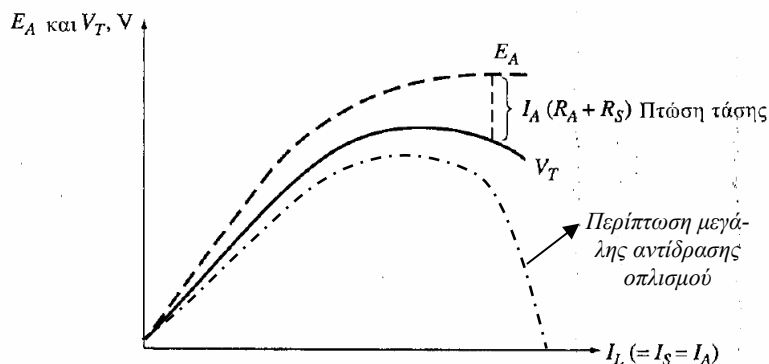
$$V_T = E_A - I_A (R_A + R_S).$$

Είναι φανερό πως η αυτοδιέγερση σε γεννήτρια διέγερσης σειράς μπορεί να επιτευχθεί μόνο με κλειστό κύκλωμα, αφού διαφορετικά το ρεύμα είναι μηδενικό.



### Χαρακτηριστική φορτίου

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



**Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας ΣΡ με διέγερση σειράς**

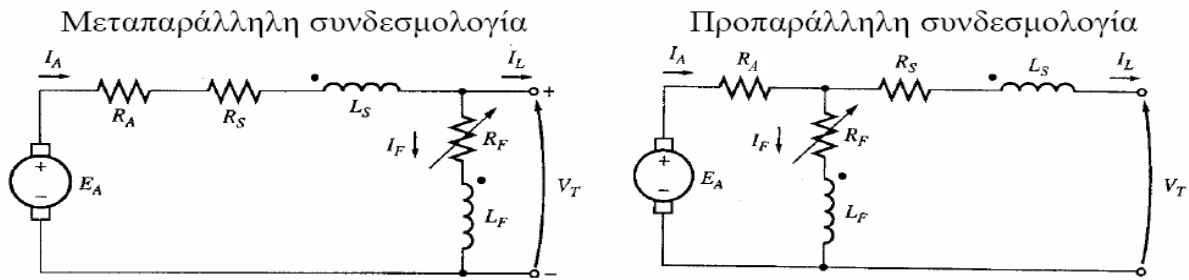
### ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

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

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

ενώ από το ισοδύναμο κύκλωμα της *προπαράλληλης* συνδεσμολογίας προκύπτει ότι

$$I_A = I_F + I_L, \quad V_T = E_A - I_A R_A - I_L R_S, \quad I_F R_F = E_A - I_A R_A.$$

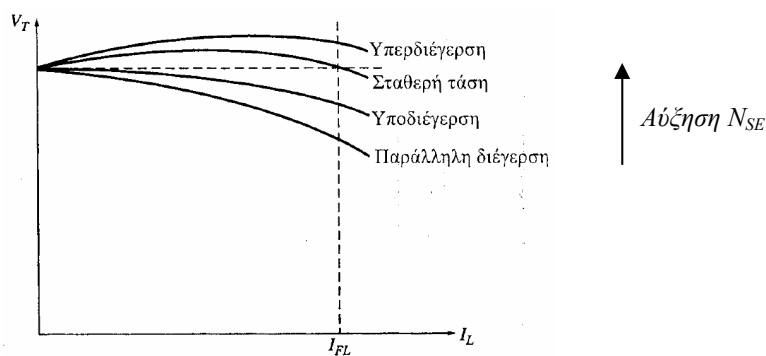


### Χαρακτηριστική φορτίου αθροιστικής σύνθετης διέγερσης

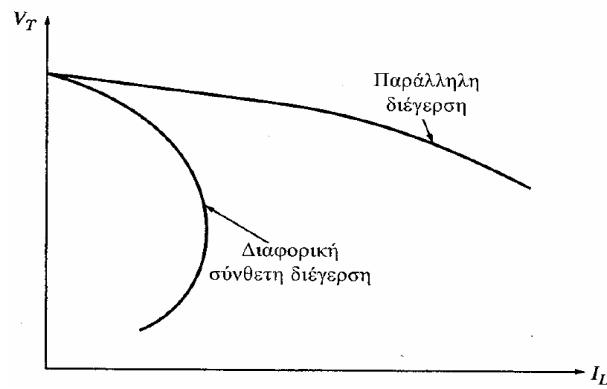
Υποθέτοντας πως αυξάνεται το φορτίο, στη γεννήτρια λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα τα δύο ακόλουθα φαινόμενα:

- α) Η άνοδος του  $I_L$  συνεπάγεται αύξηση του ρεύματος  $I_A (= I_F + I_L \nearrow)$ , με συνέπεια τη μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας ( $V_T \searrow$ ).
- β) Η αύξηση του  $I_A$  ενισχύει τη ΜΕΔ του τυλίγματος σειράς ( $\mathcal{F}_{SE} = N_{SE} I_A \nearrow$ ), οπότε και τη συνολική ΜΕΔ ( $\mathcal{F}_{total} = N_F I_F + \mathcal{F}_{SE} \nearrow$ ). Άρα μεγαλώνει η μαγνητική ροή ( $\Phi \nearrow$ ), αυξάνει η  $E_A$  και μαζί της η τάση  $V_T$ .

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



Χαρακτηριστικές φορτίου γεννήτριας ΣΡ αθροιστικής σύνθετης διέγερσης



**Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας ΣΡ διαφορικής σύνθετης διέγερσης**

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

