

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ -ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

---

### **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ Σ.Ρ.**

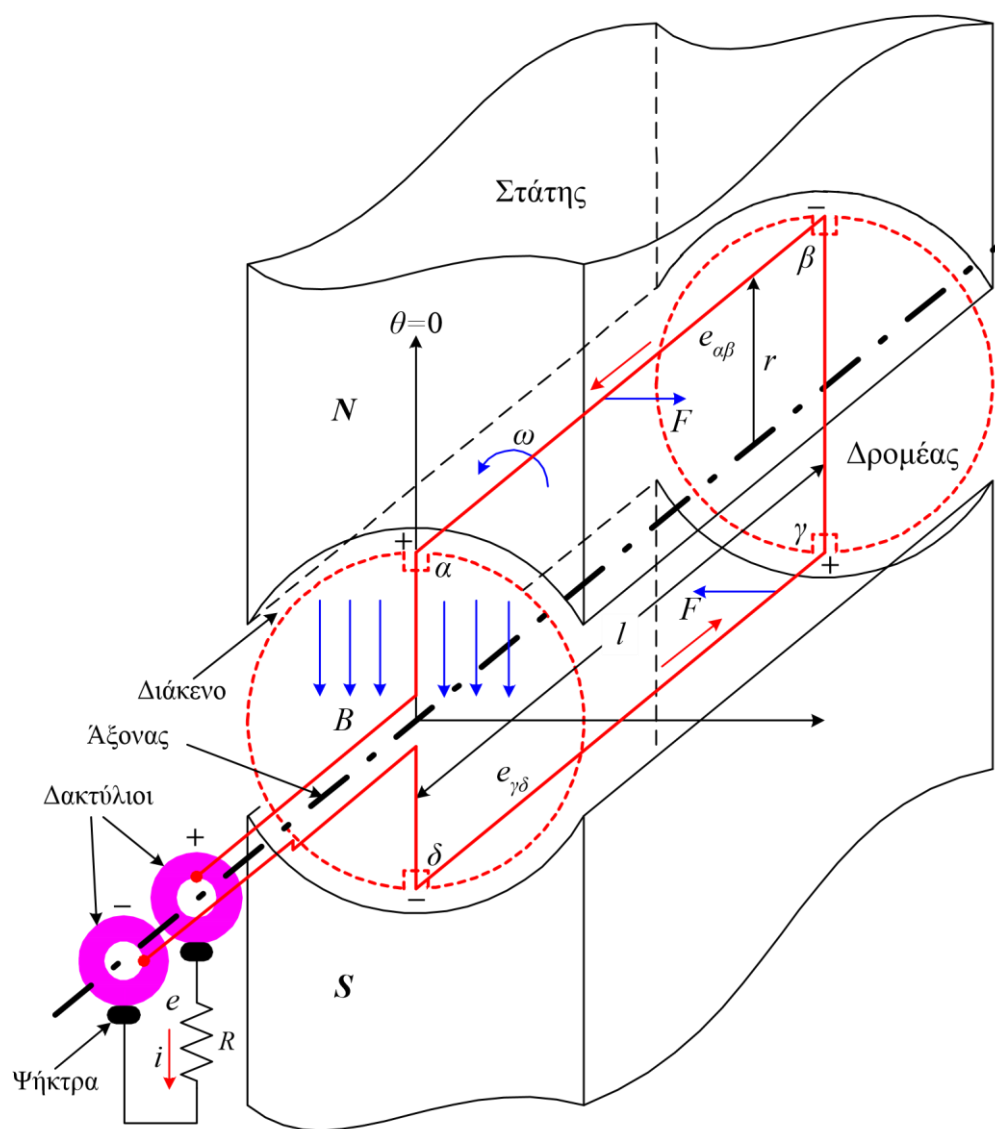
#### **Σκοπός:**

1. Να διατυπώνετε την αρχή λειτουργίας των γεννητριών Σ.Ρ.
2. Να μπορείτε να διακρίνετε τα βασικά είδη των γεννητριών Σ.Ρ.
3. Να περιγράφετε τα βασικά μέρη των γεννητριών Σ.Ρ.
4. Να ερμηνεύετε τις χαρακτηριστικές φορτίου των γεννητριών

**ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ: ΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΖΗΣΗΣ ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ Ε.ΔΙ.Π**

## 1. Αρχή λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών

Κάθε ηλεκτρική μηχανή αποτελείται από δύο κύρια τμήματα. Τα ακίνητο τμήμα της μηχανής ονομάζεται **στάτης (stator)** και το στρεφόμενο τμήμα **δρομέας (rotor)**. Στο Σχ. 1.1 εικονίζεται η δομή μιας στοιχειώδους ηλεκτρικής μηχανής. Η αρχή λειτουργίας όλων των ηλεκτρικών μηχανών στηρίζεται σ' αυτή τη στοιχειώδη μηχανή. **Ο στάτης της μηχανής αποτελείται από ένα ηλεκτρομαγνήτη με δύο πόλους, το βόρειο και το νότιο, ο οποίος παράγει το μαγνητικό πεδίο  $B$ . Ο δρομέας αποτελείται από ένα κύλινδρο κατασκευασμένο από σιδηρομαγνητικό υλικό, ο οποίος μπορεί να στραφεί γύρω από τον άξονα.**



Σχήμα 1.1 Δομή στοιχειώδους ηλεκτρικής μηχανής

Σε δύο αυλακώσεις στην επιφάνεια του κυλίνδρου, είναι συμμετρικά τοποθετημένοι οι αγωγοί ενός πλαισίου. Το πλαίσιο αυτό ονομάζεται, **τύλιγμα του δρομέα**. Θα δούμε στη συνέχεια ότι το τύλιγμα του δρομέα στις πρακτικές μηχανές συνεχούς ρεύματος, έχει πολύ πιο σύνθετη δομή από αυτή του απλού πλαισίου. Τα άκρα του τυλίγματος του δρομέα συνδέονται σε δύο δακτυλίους, με τους οποίους εφάπτονται οι *ψήκτρες (brushes)*. Μέσω των δακτυλίων και των ψηκτρών το τύλιγμα του δρομέα είναι διαθέσιμο στο στάτη.

Μεταξύ των πόλων του στάτη και του κυλινδρικού δρομέα, υπάρχει ένα διάκενο αέρα με σταθερό πλάτος. **Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του στάτη, στη διαδρομή τους από το βόρειο προς το νότιο πόλο, διέρχονται μέσω του δρομέα και του διακένου.** Επειδή η μαγνητική διαπερατότητα του αέρα είναι πολύ μικρότερη από εκείνη του δρομέα, **οι δυναμικές γραμμές είναι κάθετες στην επιφάνεια του δρομέα** (Σχ. 1.2). Έτσι, η διαδρομή της μαγνητικής ροής στο διάκενο με τη μεγάλη μαγνητική αντίσταση είναι ελάχιστη. Επιπλέον, η μαγνητική ροή που διέρχεται από το τύλιγμα του δρομέα μεταβάλλεται περίπου γραμμικά, καθώς ο δρομέας στρέφεται.

## 1.1 Λειτουργία Γεννήτριας

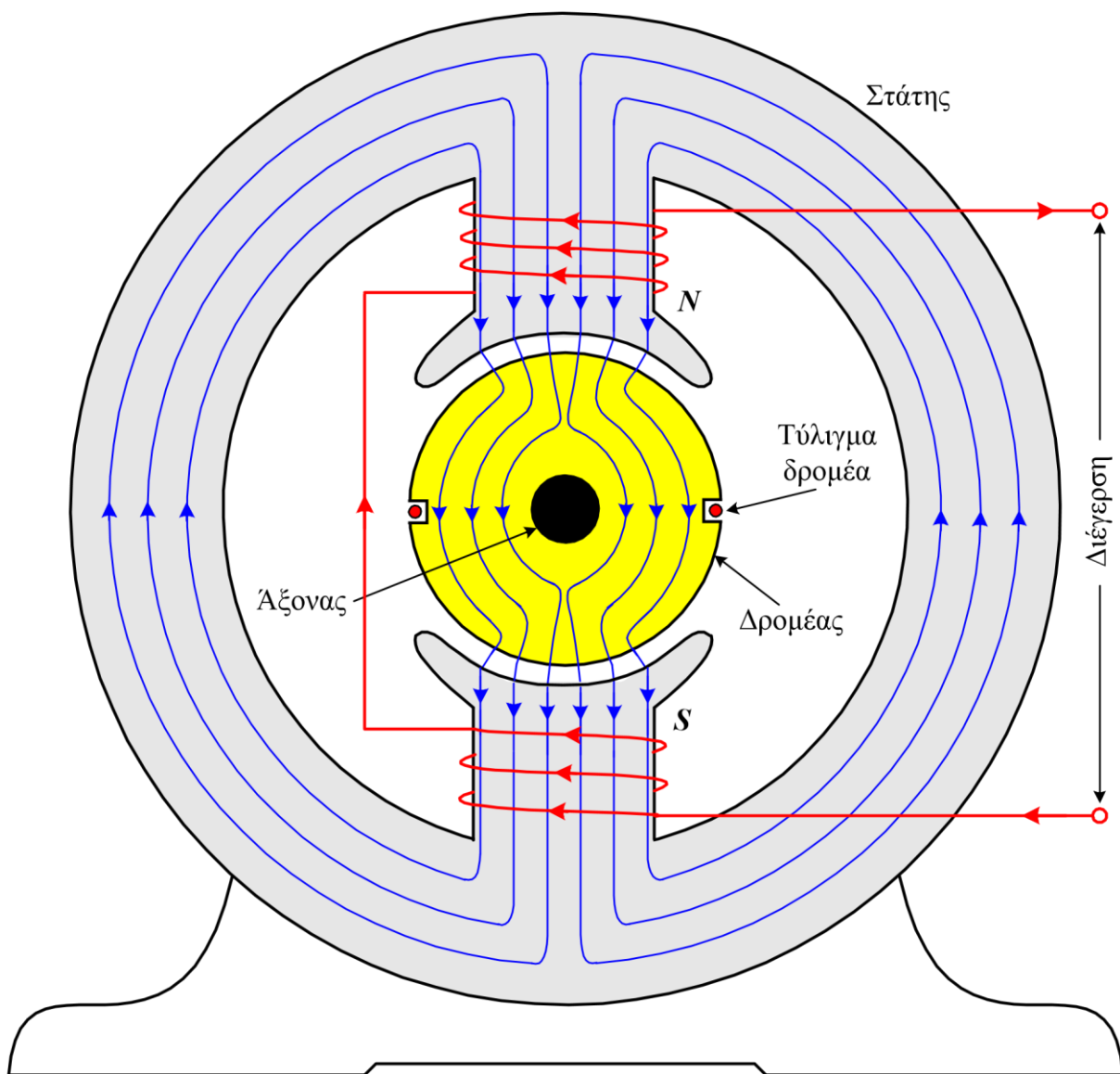
Θεωρούμε ότι ο δρομέας της στοιχειώδους μηχανής (Σχ. 1.1), στρέφεται από μία κινητήρια μηχανή. Στην περίπτωση αυτή, στα άκρα του ορθογώνιου πλαισίου του δρομέα αναπτύσσεται μία τάση εξ επαγωγής και η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια. Η ολική τάση στα άκρα του πλαισίου, είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων στις τέσσερις πλευρές του. Η τάση σε κάθε πλευρά του πλαισίου ορίζεται από την εξίσωση 1.1

$$e = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \quad (1.1)$$

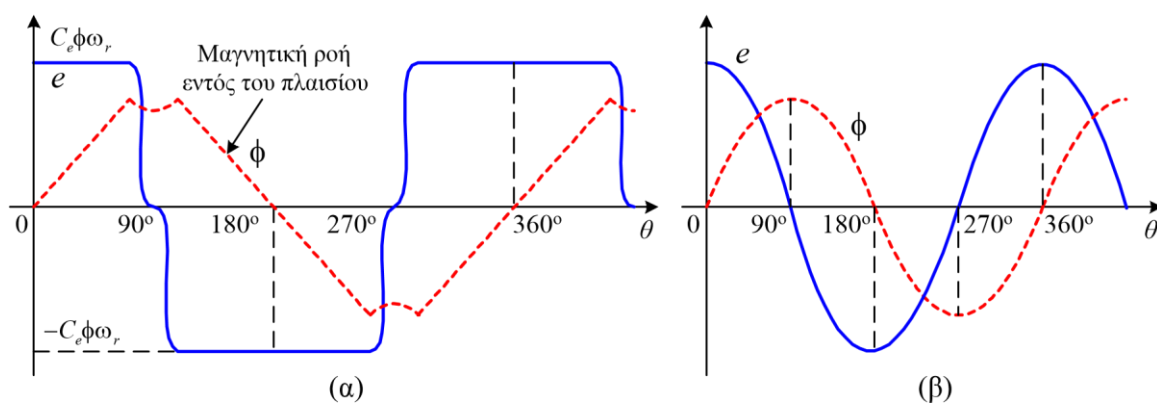
Καθώς το πλαίσιο περιστρέφεται στις περιοχές κάτω από τους πόλους, το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό και κάθετο στις πλευρές του πλαισίου  $\alpha\beta$  και  $\gamma\delta$ , ενώ είναι παράλληλο στις πλευρές του  $\beta\gamma$  και  $\alpha\delta$ . Επομένως, στις πλευρές  $\alpha\beta$  και  $\gamma\delta$  του πλαισίου με μήκος  $l$ , επάγεται τάση ίση με

$$e_{\alpha\beta} = e_{\gamma\delta} = vBl \quad (1.2)$$

Στις πλευρές  $\beta\gamma$  και  $\alpha\delta$  δεν επάγεται τάση, καθώς στρέφονται παράλληλα προς το μαγνητικό πεδίο.



**Σχ. 1.2** Δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου στη στοιχειώδη ηλεκτρική μηχανή, όπου διακρίνεται πλήρως ο στάτης. Οι μαγνητικές γραμμές είναι κάθετες στην επιφάνεια του δρομέα



**Σχ. 1.3** Κυματομορφή της τάσης εξόδου και της μαγνητικής ροής στη στοιχειώδη γεννήτρια με μεταλλικό κύλινδρο (α) και χωρίς μεταλλικό κύλινδρο (β) στο εσωτερικό του πλαισίου του δρομέα

Η ολική επαγόμενη τάση στο πλαίσιο, όταν αυτό βρίσκεται κάτω από τους πόλους, είναι ίση με

$$e = 2vBl \quad (1.3)$$

Στις μικρές περιοχές έξω από τους πόλους, το μαγνητικό πεδίο είναι μηδέν. Έτσι, στις περιοχές αυτές η επαγόμενη τάση στο πλαίσιο είναι μηδέν. Αν το πλαίσιο στραφεί κατά  $180^\circ$ , από τη θέση που εικονίζεται στο Σχ. 1.1, η πλευρά **αβ** θα βρεθεί απέναντι από το νότιο πόλο και η πλευρά **γδ** απέναντι από το βόρειο. Έτσι, η πολικότητα της τάσης εξόδου θα αντιστραφεί. Η κυματομορφή της τάσης στα άκρα του πλαισίου, η οποία είναι ίση με την τάση εξόδου της γεννήτριας και η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο, εικονίζονται στο Σχ. 1.3α. Η μεταβολή της τάσης και της ροής θα ήταν ημιτονοειδής, αν δεν υπήρχε ο μεταλλικός κύλινδρος στο εσωτερικό του πλαισίου (Σχ. 1.3β).

Ο υπολογισμός της επαγόμενης τάσης στο πλαίσιο από την Εξ. (1.3) δεν είναι βολικός. Στην Εξ. (1.3),  $v$  είναι η γραμμική ταχύτητα των πλευρών **αβ** και **γδ** του πλαισίου, η οποία είναι ίση με

$$v = r \cdot \omega_r \quad (1.4)$$

όπου,  $r$  είναι η ακτίνα του πλαισίου (δρομέα) και  $\omega_r$  η γωνιακή του ταχύτητα σε rad/s. Η επιφάνεια καθενός από τους δύο πόλους του στάτη  $S_p$ , αν αγνοήσουμε το μεταξύ τους κενό, είναι ίση με το μισό της παράπλευρης επιφάνειας του κυλίνδρου με ακτίνα  $r$  και μήκος  $l$ . Το πλάτος του διακένου είναι πολύ μικρό και αμελείται, οπότε

$$S_p = \frac{1}{2}(2\pi r l) = \pi r l \quad (1.5)$$

Καθώς η μαγνητική επαγωγή είναι σταθερή κάτω από τους πόλους, η μαγνητική ροή του κάθε πόλου είναι ίση με

$$\Phi = S B_p \quad (1.6)$$

Εισάγοντας τις Εξ. (1.4), (1.5) και (1.6) στην Εξ. (1.3), έχουμε

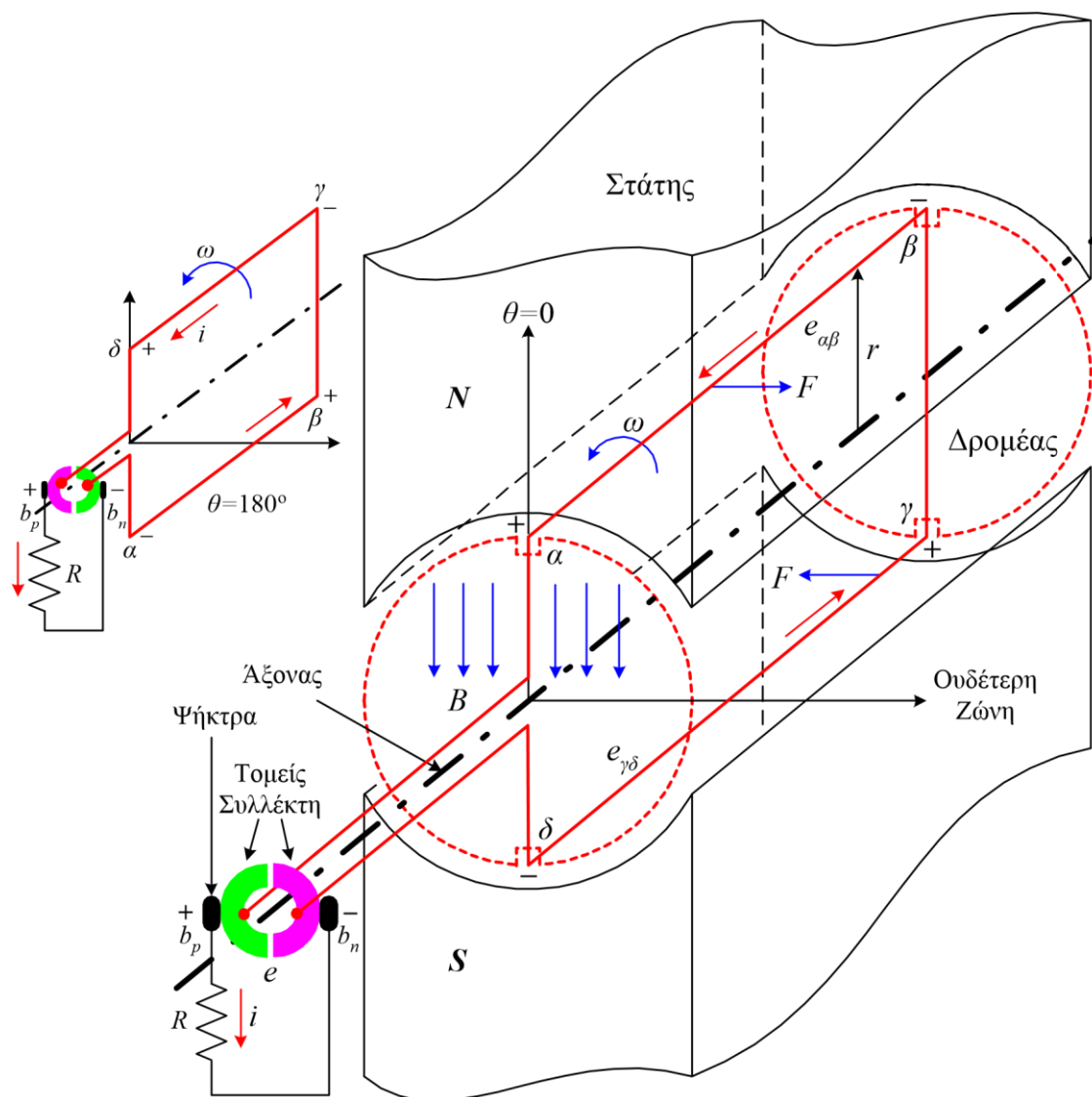
$$e = C_e \phi \omega_r = \left\{ \frac{2}{\pi} \right\} \phi \omega_r \quad (1.7)$$

**Η Εξ. (1.7) ορίζει την τάση που επάγεται στο εσωτερικό κάθε ηλεκτρικής μηχανής, ως το γινόμενο τριών όρων.** Ο πρώτος όρος είναι ένας συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από την κατασκευαστική δομή της κάθε μηχανής. Στη στοιχειώδη μηχανή ο **συντελεστής  $C_e$**  έχει την τιμή  **$2/\pi$** . Ο δεύτερος όρος αντιστοιχεί στη μαγνητική ροή του κάθε πόλου και ο τρίτος είναι η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.

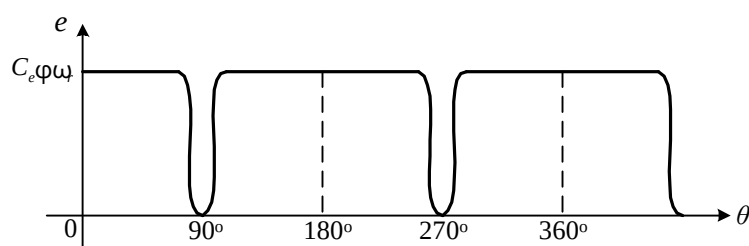
Όταν η στοιχειώδης γεννήτρια του Σχ. 1.1 δεν τροφοδοτεί κάποιο φορτίο, το πλαίσιο δεν διαρρέεται από ρεύμα. Αν στους ακροδέκτες εξόδου της γεννήτριας συνδέσουμε ένα φορτίο  $R$ , τότε το πλαίσιο διαρρέεται από το ρεύμα του φορτίου  $i$ . Η φορά του ρεύματος προκύπτει από το νόμο του *Lenz* και εικονίζεται στο Σχ. 1.1. Εξαιτίας του ρεύματος στο πλαίσιο, ασκούνται στις πλευρές του  $\alpha\beta$  και  $\gamma\delta$  δυνάμεις *Laplace*. Οι δυνάμεις *Laplace*, με τη δεδομένη από το νόμο του *Lenz* κατεύθυνση του ρεύματος, έχουν φορά αντίθετη από τη φορά που η κινητήρια μηχανή προσπαθεί να στρέψει τη γεννήτρια. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς που παράγει η γεννήτρια (καταναλώνει το φορτίο), τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το έργο που προσφέρει η κινητήρια μηχανή.

## 1.2 Γεννήτρια Συνεχούς Ρεύματος

Η στοιχειώδης ηλεκτρική μηχανή του Σχ. 1.1, κατά τη λειτουργία της ως γεννήτρια παράγει μια τάση εξόδου με τη μορφή του Σχ. 1.3. Η τάση εξόδου της γεννήτριας είναι εναλλασσόμενη. Επομένως, η διάταξη του Σχ. 1.1 είναι μια μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος.



**Σχ. 1.4** Στοιχειώδης ηλεκτρική μηχανή συνεχούς ρεύματος ως γεννήτρια



**Σχ. 1.5** Κυματομορφή της τάσης εξόδου, της στοιχειώδους γεννήτριας συνεχούς ρεύματος



Προκειμένου να παράγουμε συνεχή τάση από τη στοιχειώδη μηχανή, συνδέουμε τα άκρα του πλαισίου με δύο ημιδακτυλίους (Σχ. 1.4). Οι δύο ημιδακτύλιοι ονομάζονται **τομείς του συλλέκτη**. Οι δύο ψήκτρες εφάπτονται με τους τομείς του συλλέκτη. Έτσι, η ψήκτρα  $b_p$  συνδέεται πάντα με την πλευρά του πλαισίου που είναι απέναντι από το βόρειο πόλο και αναπτύσσει θετική τάση. Αντίστοιχα, η ψήκτρα  $b_n$  συνδέεται πάντα με την πλευρά του πλαισίου που είναι απέναντι από το νότιο πόλο και αναπτύσσει αρνητική τάση. Επομένως, μέσω του συλλέκτη επιτυγχάνεται η ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης που επάγεται στο πλαίσιο (Σχ. 1.5). Παρόλο που η τάση και το ρεύμα στο φορτίο είναι συνεχή, το ρεύμα στο τύλιγμα του δρομέα είναι εναλλασσόμενο.

Οι ψήκτρες κάθε  $180^\circ$  μεταβαίνουν από τον ένα τομέα του συλλέκτη στον άλλο, με συνέπεια τη στιγμιαία βραχυκύκλωση του πλαισίου. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **μεταγωγή (commutation)**. Η μεταγωγή πρέπει να γίνεται τη χρονική στιγμή που η επαγόμενη τάση στο πλαίσιο είναι μηδέν, έτσι ώστε να μην προκαλούνται σπινθηρισμοί. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η τοποθέτηση των ψηκτρών στην κατάλληλη θέση (ουδέτερη ζώνη). Επομένως, μεταγωγή ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία οι εναλλασσόμενες τάσεις και τα ρεύματα στο εσωτερικό της μηχανής συνεχούς ρεύματος μετατρέπονται σε συνεχείς τάσεις και ρεύματα στα άκρα της.

## Συμπερασματικά :

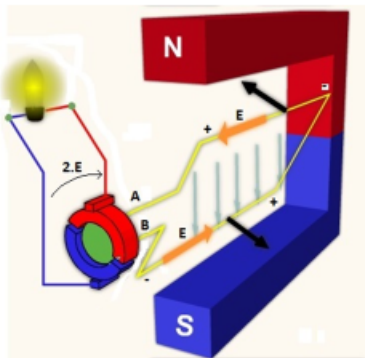
Για να λειτουργήσει μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω βασικές συνθήκες :

α) Να υπάρχει μαγνητικό πεδίο

β) Να υπάρχει αγωγός εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή να υπάρχει τύλιγμα στη μηχανή

γ) Να υπάρχει σχετική κίνηση τού αγωγού ως προς το μαγνητικό πεδίο ή του πεδίου ως προς τον αγωγό

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



Όταν το πλαίσιο των δυο αγωγών αρχίσει να περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, κάθε ένας από τους δυο παράλληλους αγωγούς του τέμνει τις μαγνητικές γραμμές που υπάρχουν στο διάκενο του μαγνήτη. Άρα σε κάθε αγωγό δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  από επαγωγή. Εφαρμόζοντας τον κανόνα των τριών δαχτύλων του δεξιού χεριού μπορεί ναδειχτεί ότι σε κάθε αγωγό αναπτύσσεται ΗΕΔ αντίθετης πολικότητας. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε χρονική στιγμή, στα άκρα  $A, B$  του πλαισίου αναπτύσσεται συνολική ΗΕΔ ίση με το διπλάσιο της ΗΕΔ του κάθε αγωγού.

Δηλαδή:

$$E_{ολ} = 2 \cdot E = 2 \cdot B \cdot U \cdot L \cdot \eta\mu\theta$$

## 2.Κατηγορίες Ηλεκτρικών Μηχανών Σ.Ρ.

Μια ηλεκτρική μηχανή συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιείται ως γεννήτρια, όταν ο άξονάς της στρέφεται από μια *κινητήρια μηχανή (prime mover)*. Η κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι ένας ατμοστρόβιλος, ένας ντηζελοκινητήρας, ή ένας ηλεκτροκινητήρας. Για να παράγει η γεννήτρια ηλεκτρεγερτική δύναμη, πρέπει ο δρομέας της να στραφεί μέσα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. **Το μαγνητικό πεδίο του στάτη (κύριο πεδίο), παράγεται τροφοδοτώντας το τύλιγμα διέγερσης της μηχανής με το συνεχές ρεύμα της διέγερσης  $I_e$ . Σε μηχανές πολύ μικρής ισχύος, το κύριο πεδίο παράγεται από μόνιμους μαγνήτες (*permanent magnet dc machines*).** Η μαγνητική ροή των μόνιμων μαγνητών είναι πολύ μικρότερη από εκείνη που παράγουμε με τους ηλεκτρομαγνήτες.

Ανάλογα με την προέλευση του ρεύματος της διέγερσης, οι γεννήτριες και γενικότερα οι μηχανές συνεχούς ρεύματος, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

➤ **Μηχανές με ανεξάρτητη διέγερση (*separately excited dc machines*).**

➤ **Μηχανές με αυτοδιέγερση (*self-excited dc machines*).**

Στις μηχανές με ανεξάρτητη διέγερση, το ρεύμα της διέγερσης παρέχεται από μια ξεχωριστή πηγή συνεχούς τάσης. Στις μηχανές με αυτοδιέγερση, το ρεύμα της διέγερσης παρέχεται από την ίδια την γεννήτρια. Έτσι, δεν απαιτείται πρόσθετη πηγή για την παροχή του ρεύματος διέγερσης. Οι μηχανές με αυτοδιέγερση διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του τυλίγματος διέγερσης με το τύλιγμα του δρομέα:

➤ **Μηχανές παράλληλης διέγερσης (*shunt dc machines*).** Σ' αυτές, το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται παράλληλα με το δρομέα.

➤ **Μηχανές με διέγερση σειράς (*series dc machines*).** Σ' αυτές, το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το δρομέα.

➤ **Μηχανές με αθροιστική σύνθετη διέγερση (*cumulatively compounded dc machines*).** Σ' αυτές, τα μαγνητικά πεδία που παράγονται από τα τυλίγματα παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς προστίθενται.

➤ **Μηχανές με διαφορική σύνθετη διέγερση (*differentially compounded dc machines*).** Σ' αυτές, τα μαγνητικά πεδία που παράγονται από τα τυλίγματα παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς αφαιρούνται.

### 3.Ισοδύναμο κυκλώματα μηχανών Σ.Ρ. και αντίστοιχες χαρακτηριστικές φορτίου

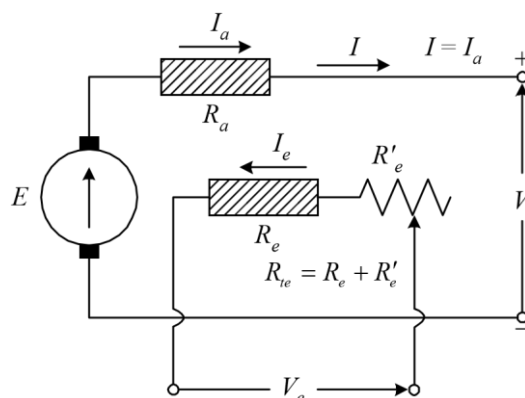
#### 3.1 Γεννήτριες με ανεξάρτητη διέγερση

Στις γεννήτριες με ανεξάρτητη διέγερση, το τυλίγμα της διέγερσης τροφοδοτείται από μια ξεχωριστή πηγή συνεχούς τάσης. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης του ρεύματος διέγερσης και της μαγνητικής ροής του κύριου πεδίου, με αποτέλεσμα την εξαιρετική ρύθμιση της τάσης εξόδου της γεννήτριας. Το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση εικονίζεται στο Σχ. 3.1. Η τάση εξόδου της γεννήτριας συμβολίζεται με  $V$ . Η εσωτερικά παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) της γεννήτριας  $E$ , είναι ίση με

$$E = C_e \phi \omega_r \quad (3.1)$$

Η μαγνητική ροή  $\phi$  του κύριου πεδίου ορίζεται από το ρεύμα της διέγερσης  $I_e$ , το οποίο παρέχεται από την ανεξάρτητη πηγή  $V_e$ . Το ρεύμα διέγερσης και η ροή  $\phi = \phi(I_e)$ , ρυθμίζονται μέσω της μεταβλητής αντίστασης  $R'_e$ , η οποία συνδέεται σε σειρά με το τυλίγμα διέγερσης. Η ωμική αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης είναι ίση με  $R_e$ . Αντίστοιχα, το κύκλωμα του δρομέα παρουσιάζει αντίσταση  $R_a$ . Στην αντίσταση  $R_a$  περιλαμβάνονται οι ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων του δρομέα, των βοηθητικών πόλων και του τυλίγματος αντιστάθμισης, εφόσον υπάρχει. Στη γεννήτρια με ανεξάρτητη διέγερση, το ρεύμα του φορτίου  $I$ , είναι ίσο με το ρεύμα στο δρομέα  $I_a$  ( $I = I_a$ ). Η τάση εξόδου συνδέεται με την ΗΕΔ με τη σχέση

$$V = E - I R_a \quad (3.2)$$



Σχ. 3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση

### 3.1.1 Χαρακτηριστική Κενού

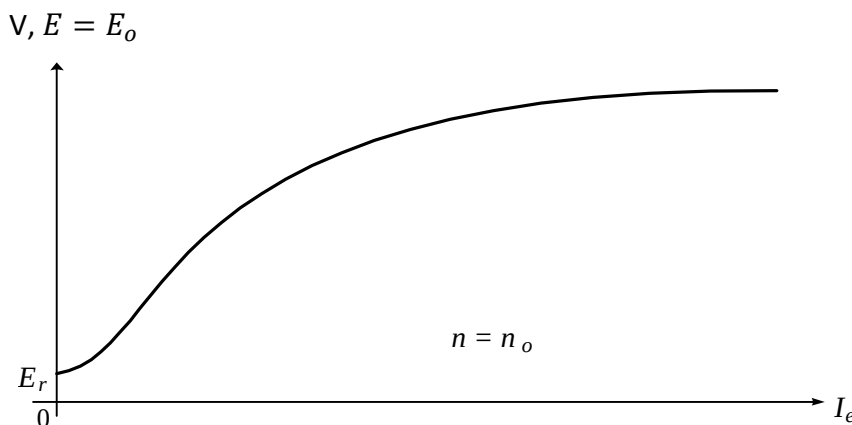
Σ' όλες τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ορίζεται η χαρακτηριστική κενού και η χαρακτηριστική φορτίου. Η *χαρακτηριστική κενού* λαμβάνεται λειτουργώντας τη μηχανή ως γεννήτρια με ανεξάρτητη διέγερση και παρουσιάζει τη μεταβολή της ΗΕΔ ως προς το ρεύμα της διέγερσης  $I_e$ . Καθώς η μηχανή λειτουργεί χωρίς φορτίο, η τάση εξόδου της είναι ίση με την ΗΕΔ  $E_o$ . Έτσι, η *χαρακτηριστική κενού* αντιστοιχεί στην *καμπύλη μαγνήτισης της μηχανής* (Σχ. 3.2). Ο κορεσμός του πυρήνα της μηχανής, όταν το ρεύμα διέγερσης υπερβεί κάποια τιμή, είναι σαφές στο Σχ. 3.2. Υπενθυμίζουμε ότι οι ηλεκτρικές μηχανές λειτουργούν στο γόνατο της καμπύλης μαγνήτισης, δηλαδή στο μη γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής κενού. Η χαρακτηριστική κενού λαμβάνεται σε κάποια σταθερή ταχύτητα της γεννήτριας  $n_o$ . Επομένως, η ΗΕΔ της γεννήτριας  $E$ , στην επιθυμητή ταχύτητα  $n$ , υπολογίζεται από τη σχέση

$$\frac{E}{E_o} = \frac{n}{n_o} \quad (3.3)$$

Στην Εξ. (3.3), με  $n$  συμβολίζεται η ταχύτητα της μηχανής σε στροφές ανά λεπτό (revolutions per minute, rpm). Η ταχύτητα των ηλεκτρικών μηχανών συνήθως αναφέρεται σ' αυτή τη μονάδα. Η σχέση μετατροπής μεταξύ της γωνιακής ταχύτητας  $\omega_r$  σε rad/s και της  $n$  σε rpm, είναι η

$$n = \frac{60}{2\pi} \cdot \omega_r \quad (3.4)$$

Από το Σχ. 3.2 παρατηρούμε ότι, για μηδενικό ρεύμα διέγερσης η ΗΕΔ της γεννήτριας έχει μια μικρή τιμή  $E_r$ . Αυτή η ΗΕΔ οφείλεται στην *παραμένουσα μαγνητική ροή (residual flux)* στους πόλους της μηχανής. Η παραμένουσα ροή είναι ίση με το 2–3% της ονομαστικής ροής. Στην παραμένουσα ροή οφείλεται η αυτοδιέγερση των γεννητριών συνεχούς ρεύματος.



Σχ. 3.2 Χαρακτηριστική κενού των μηχανών συνεχούς ρεύματος, στην ταχύτητα  $n_o$

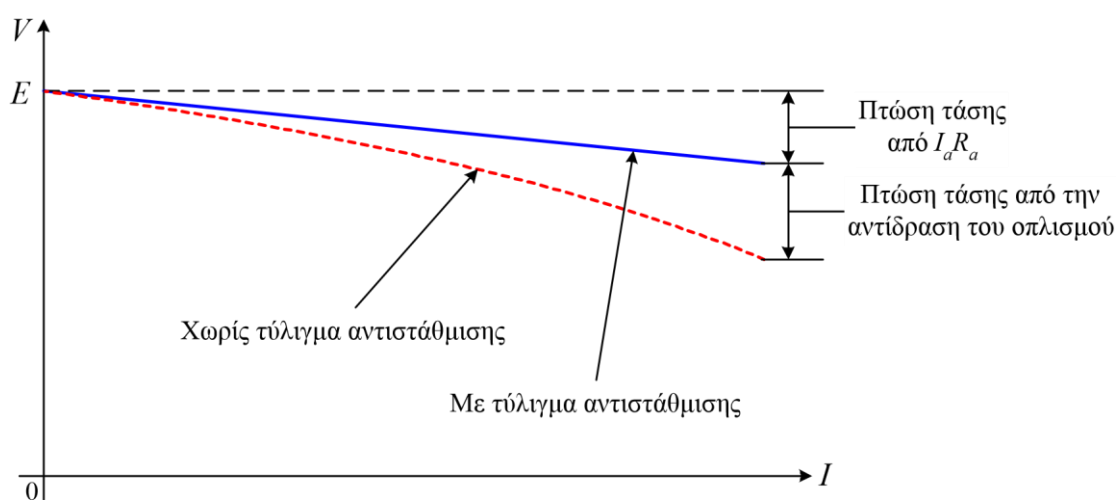
### 3.1.2 Χαρακτηριστική Φορτίου

**Η χαρακτηριστική φορτίου των γεννητριών συνεχούς ρεύματος παρουσιάζει τη μεταβολή της τάσης εξόδου (φορτίου)  $V$ , ως προς το ρεύμα εξόδου (φορτίου)  $I$ .** Στις γεννήτριες ανεξάρτητης διέγερσης η ΗΕΔ δεν εξαρτάται από το ρεύμα

του φορτίου, Εξ. (3.1). Έτσι, από την Εξ. (3.2), η τάση εξόδου μεταβάλλεται γραμμικά με το ρεύμα φορτίου (Σχ. 3.3). Η μείωση της τάσης εξόδου με την αύξηση του ρεύματος φορτίου, οφείλεται στην πτώση τάσης στην αντίσταση  $R_a$ .

Η γραμμική μεταβολή της τάσης εξόδου ισχύει μόνο όταν η γεννήτρια διαθέτει τύλιγμα αντιστάθμισης. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, η αντίδραση του οπλισμού προκαλεί τη μείωση της μαγνητικής ροής, άρα και της ΗΕΔ, με την αύξηση του ρεύματος φορτίου. Έτσι, η πτώση της τάσης εξόδου με το ρεύμα του φορτίου είναι μεγαλύτερη χωρίς το τύλιγμα αντιστάθμισης, όπως εικονίζεται στο Σχ. 3.3 με διακεκομμένη γραμμή. Γενικότερα, η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου τροποποιεί τις χαρακτηριστικές φορτίου των γεννητριών, οι οποίες δεν διαθέτουν τύλιγμα αντιστάθμισης.

Η σταθεροποίηση της τάσης εξόδου μιας γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση, ως προς τις μεταβολές του φορτίου, μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με τη ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης. Για τον ίδιο σκοπό μπορεί να ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής από την κινητήρια μηχανή, Εξ. (3.1). Όμως, η μέθοδος μεταβολής της ταχύτητας δεν είναι βολική στις πρακτικές εφαρμογές.



**Σχ. 3.3** Χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση

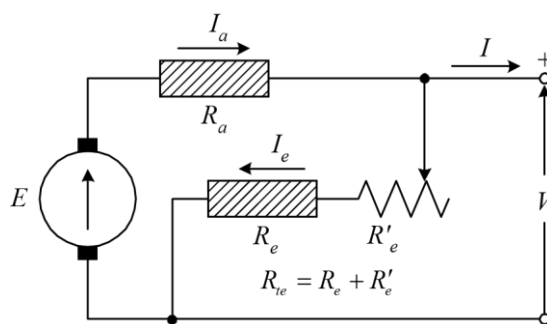
### 3.2 Γεννήτριες παράλληλης διέγερσης

Στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται παράλληλα με το κύκλωμα του δρομέα. Το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας εικονίζεται στο Σχ. 3.4. **Το ρεύμα της διέγερσης**

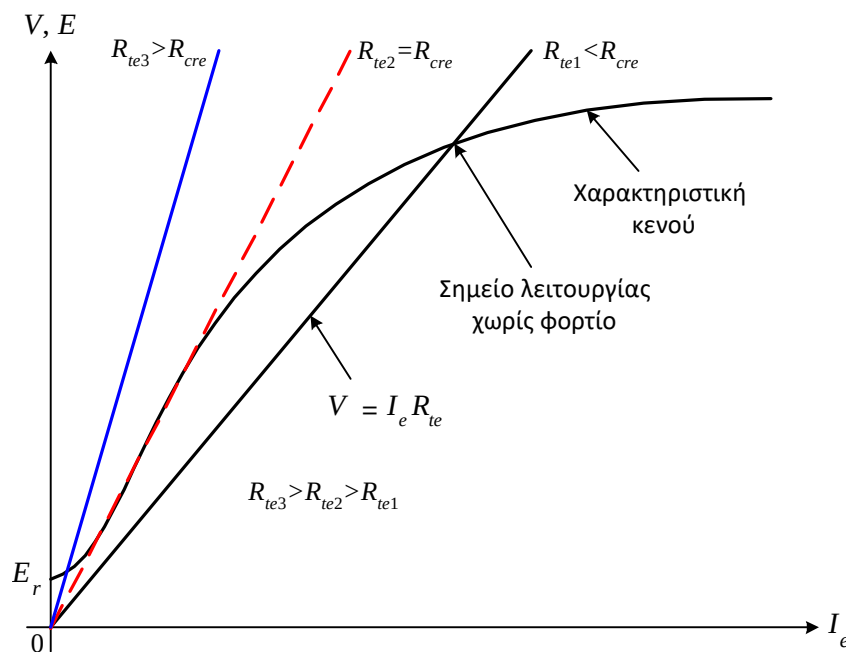
**παρέχεται στη γεννήτρια από το κύκλωμα του δρομέα. Έτσι, δεν απαιτείται**

**η ανεξάρτητη πηγή τροφοδοσίας.**

Η αυτοδιέγερση της γεννήτριας οφείλεται στον παραμένοντα μαγνητισμό των πόλων του στάτη. Όταν η γεννήτρια αρχίσει να στρέφεται από την κινητήρια μηχανή, η παραμένουσα μαγνητική ροή  $\Phi_r$  προκαλεί την ανάπτυξη μιας ΗΕΔ  $E_r = C_e \Phi \omega_r$ . Η τάση  $E_r$  είναι περίπου ίση με το 2–3% της ονομαστικής τάσης εξόδου της γεννήτριας. Αυτή η αρχική τάση προκαλεί τη ροή ενός ρεύματος στο τύλιγμα της διέγερσης, το οποίο αυξάνει την παραμένουσα ροή. Με την αύξηση της ροής αυξάνεται παραπέρα η ΗΕΔ, η οποία προκαλεί νέα αύξηση του ρεύματος διέγερσης και της μαγνητικής ροής. Η δημιουργούμενη θετική ανάδραση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της τάσης εξόδου  $V$ , η τιμή της οποίας εξαρτάται από την αντίσταση  $R_{te}$  στο κύκλωμα διέγερσης (Σχ. 3.5).



Σχ. 3.4 Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης



Σχ. 3.5 Αυτοδιέγερση της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης με  $R_{te} = R_{te1}$

Οι ευθείες στο Σχ. 3.5 εκφράζουν την πτώση τάσης στο κύκλωμα της διέγερσης  $V = I_e R_{te}$ , για τρεις τιμές της αντίστασης  $R_{te}$ . Η καμπύλη είναι η χαρακτηριστική κενού της μηχανής, την οποία έχουμε λάβει λειτουργώντας τη μηχανή με ανεξάρτητη διέγερση (παρ. 3.2.1). Η τάση που αναπτύσσει η γεννήτρια παράλληλης διέγερσης κατά τη διαδικασία της αυτοδιέγερσής της, προκύπτει από το σημείο τομής της χαρακτηριστικής κενού με την ευθεία  $I_e R_{te}$ .

Από την παραπάνω διαδικασία, προκύπτουν **οι λόγοι μη ανάπτυξης τάσης** σε μια γεννήτρια με παράλληλη διέγερση.

1. **Έλλειψη παραμένουτος μαγνητισμού.** Η αυτοδιέγερση της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης δεν είναι δυνατή, όταν δεν υπάρχει παραμένον μαγνητισμός, καθώς τότε δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη της αρχικής τάσης  $E_r$ . **Μια μηχανή μπορεί να χάσει τον παραμένοντα μαγνητισμό από υπερβολική θέρμανση, από κτυπήματα κατά τη μεταφορά της, από τη σύνδεση εναλλασσόμενης τάσης στο τύλιγμα διέγερσης, ή αν παραμείνει μεγάλο χρονικό διάστημα εκτός λειτουργίας.** Στην περίπτωση αυτή, αποσυνδέεται το τύλιγμα διέγερσης από το δρομέα και τροφοδοτείται από μια πηγή συνεχούς τάσης. Έτσι αναπτύσσεται ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο επαναφέρει την παραμένουσα ροή στη μηχανή.



2. **Αντίστροφη φορά του τυλίγματος διέγερσης ή της φοράς περιστροφής.** Και στις δύο περιπτώσεις το ρεύμα διέγερσης που προκαλεί η αρχική ΗΕΔ  $E_r$  παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο έχει αντίθετη φορά από το  $\Phi_r$ . Έτσι, το ρεύμα της διέγερσης αντί να αυξάνει το πεδίο στη μηχανή, προκαλεί το μηδενισμό του και η γεννήτρια δεν μπορεί να διεγερθεί.

3. **Μεγάλη αντίσταση στο τύλιγμα διέγερσης.** Αν η αντίσταση στο κύκλωμα διέγερσης είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή, τότε το ρεύμα διέγερσης δεν είναι επαρκές για να διεγείρει τη γεννήτρια. Η κρίσιμη τιμή της αντίστασης διέγερσης  $R_{cre}$ , αντιστοιχεί στην ευθεία με διακεκομμένη γραμμή του Σχ. 3.5. Έτσι, αν  $R_{te} > R_{cre}$  η γεννήτρια δεν μπορεί να διεγερθεί.

4. **Εφαρμογή φορτίου στη γεννήτρια κατά την αυτοδιέγερσή της.** Το φορτίο της γεννήτριας συνήθως έχει πολύ μικρότερη αντίσταση από την αντίσταση  $R_{te}$  του κυκλώματος διέγερσης. Έτσι, το ρεύμα που παράγει η μηχανή  $I_a$  ρέει κυρίως στο φορτίο, με αποτέλεσμα το ρεύμα της διέγερσης να μην είναι αρκετό για τη διέγερση της γεννήτριας. Επομένως, η αυτοδιέγερση της γεννήτριας πρέπει να γίνεται χωρίς φορτίο.

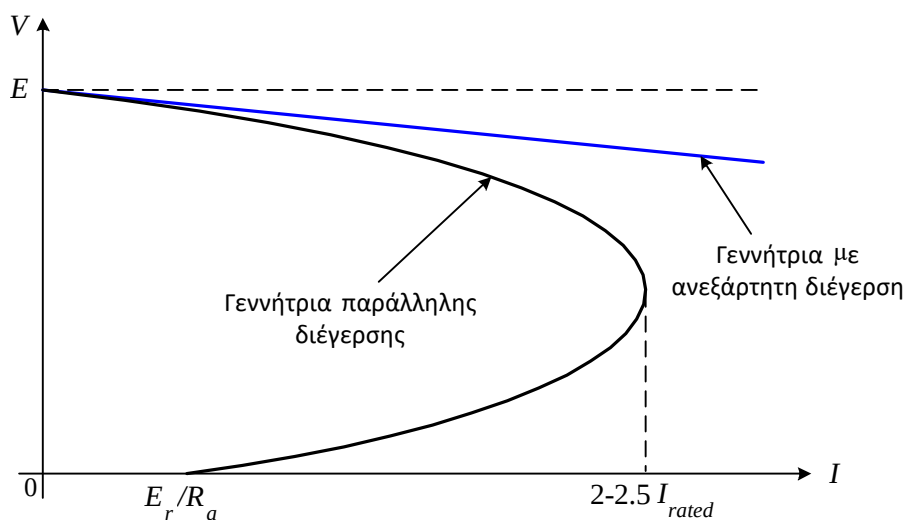
### 3.2.1 Χαρακτηριστική Φορτίου

Από το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης, είναι φανερό ότι ισχύουν οι σχέσεις

$$I_a = I_e + I \quad (3.5)$$

$$V = E - I R_a = I_e R_{te} \quad (3.6)$$

Η χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης, διαφέρει από εκείνη της γεννήτριας ανεξάρτητης διέγερσης, επειδή το ρεύμα διέγερσης εξαρτάται από την τάση εξόδου της μηχανής (Σχ. 3.6). Στη γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης το ρεύμα  $I_e$  και η ΗΕΔ διατηρούνται σταθερές με το φορτίο. Όμως, στη γεννήτρια παράλληλης διέγερσης η αύξηση του ρεύματος φορτίου  $I$  προκαλεί την αύξηση του ρεύματος δρομέα  $I_a$  και έτσι τη μείωση της τάσης εξόδου  $V$ . Εξαιτίας της μείωσης της τάσης  $V$ , μειώνεται το ρεύμα διέγερσης, η μαγνητική ροή και η ΗΕΔ της μηχανής. Η μείωση της ΗΕΔ προκαλεί μια επιπλέον μείωση στην τάση εξόδου, η οποία δεν υπάρχει στις γεννήτριες ανεξάρτητης διέγερσης. Έτσι, για δεδομένο ρεύμα φορτίου η πτώση της τάσης εξόδου στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης είναι μεγαλύτερη, από την αντίστοιχη πτώση στις γεννήτριες με ανεξάρτητη διέγερση ( $I_a R_a$ ).



Σχ. 3.6 Χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης

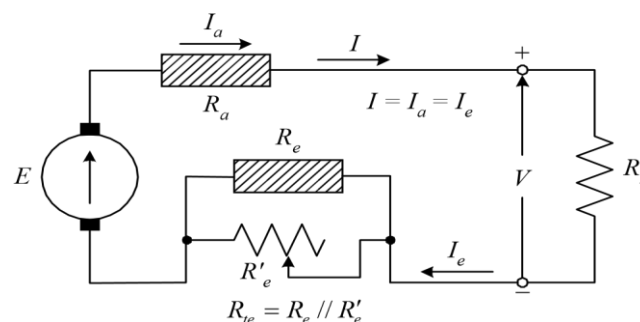
Από το Σχ. 3.6 παρατηρούμε ότι, καθώς η αντίσταση φορτίου μειώνεται, το ρεύμα του φορτίου αυξάνει και στη γεννήτρια ανεξάρτητης διέγερσης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του  $E/R_a$  όταν το φορτίο βραχυκυκλωθεί. Αντίθετα, στη γεννήτρια παράλληλης διέγερσης το ρεύμα εξόδου αυξάνεται μέχρι μια κρίσιμη τιμή, η οποία είναι περίπου ίση με 2–2.5 φορές το ονομαστικό ρεύμα της μηχανής. Στη συνέχεια, η μείωση της αντίστασης φορτίου προκαλεί τη μείωση του ρεύματος, το οποίο τελικά λαμβάνει την τιμή  $E_r/R_a$  για μηδενική αντίσταση φορτίου. Όταν η γεννήτρια παράλληλης διέγερσης βραχυκυκλωθεί, τότε  $V = 0$  και  $I_e = 0$ . Επομένως, ο παραμένον μαγνητισμός είναι υπεύθυνος για το ρεύμα του φορτίου στην κατάσταση βραχυκύκλωσης.

### 3.3 Γεννήτριες με διέγερση σειράς

Στις γεννήτριες με διέγερση σειράς, το τυλίγμα διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το τυλίγμα του δρομέα, όπως εικονίζεται στο ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας (Σχ. 3.7). **Επειδή το τυλίγμα διέγερσης διαρρέεται από το υψηλό ρεύμα του φορτίου, έχει μικρό αριθμό σπειρών και κατασκευάζεται από αγωγό μεγάλης διατομής.** Έτσι, η ωμική αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, τα τυλίγματα διέγερσης των μηχανών με ανεξάρτητη και παράλληλη διέγερση κατασκευάζονται από αγωγό μικρής διατομής και με μεγάλο αριθμό σπειρών. Έτσι, εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση, ώστε το ρεύμα της διέγερσης να είναι μικρό. Στη γεννήτρια με διέγερση σειράς ισχύουν οι σχέσεις

$$I = I_a = I_e \quad (3.7)$$

$$V = E - I (R_a + R_{te}) \quad (3.8)$$



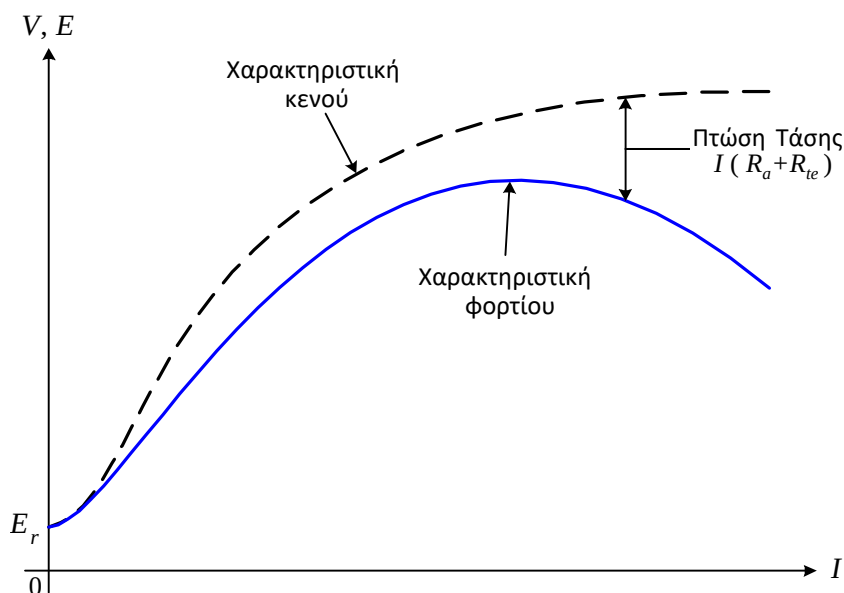
Σχ. 3.7 Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με διέγερση σειράς

### 3.3.1 Χαρακτηριστική Φορτίου

**Για την αυτοδιέγερση της γεννήτριας με διέγερση σειράς, ισχύουν οι παρατηρήσεις της γεννήτριας με παράλληλη διέγερση, με τη διαφορά ότι το φορτίο πρέπει να είναι αρχικά συνδεδεμένο στη μηχανή.** Στη λειτουργία χωρίς

φορτίο, το ρεύμα διέγερσης είναι μηδέν και στα άκρα της γεννήτριας εμφανίζεται η μικρή τάση  $E_r$ , την οποία προκαλεί η παραμένουσα ροή. Η χαρακτηριστική φορτίου εικονίζεται στο Σχ. 3.8. Η χαρακτηριστική φορτίου έχει τη μορφή της χαρακτηριστικής κενού, μειωμένης κατά την πτώση τάσης στις ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων,  $I \cdot (R_a + R_{te})$ . Η μείωση της τάσης εξόδου  $V$  ως προς την ΗΕΔ, αυξάνει με την αύξηση του ρεύματος φορτίου εξαιτίας του μαγνητικού κορεσμού, ο οποίος τείνει να κάνει την  $E$  σταθερή.

Οι γεννήτριες με διέγερση σειράς, λόγω της μεγάλης διακύμανσης της τάσης εξόδου με το ρεύμα του φορτίου είναι κατάλληλες μόνο σε ειδικές εφαρμογές, με κυριότερη τις ηλεκτροσυγκολήσεις. Ειδικότερα, οι γεννήτριες σειράς των ηλεκτροσυγκολήσεων κατασκευάζονται με μεγάλη αντίδραση του σπλισμού.



**Σχ. 3.8** Χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας με διέγερση σειράς

### 3.4 Γεννήτριες με αθροιστική σύνθετη διέγερση

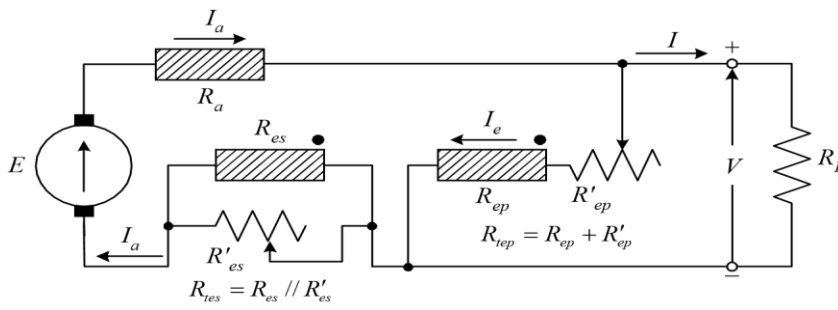
Οι γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης διαθέτουν δύο τυλίγματα διέγερσης, από τα οποία το ένα συνδέεται σε σειρά και το άλλο παράλληλα με το τύλιγμα του οπλισμού. Επιπλέον, η φορά σύνδεσης των δύο τυλιγμάτων είναι τέτοια, έτσι ώστε τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται να προστίθενται. Στο Σχ. 3.9 εικονίζονται τα δύο ισοδύναμα κυκλώματα της γεννήτριας, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων διέγερσης. Στο ισοδύναμο κύκλωμα του Σχ. 3.9α, το τύλιγμα σειράς  $R_{es}$  διαρρέεται από το ρεύμα του οπλισμού  $I_a$  και ονομάζεται **long shunt**. Στο ισοδύναμο κύκλωμα του Σχ. 3.9β, το τύλιγμα σειράς διαρρέεται από το ρεύμα του φορτίου  $I$  και ονομάζεται **short shunt**. Η μεταξύ τους διαφορά δεν είναι σημαντική, καθώς το ρεύμα  $I_e$  στο τύλιγμα της παράλληλης διέγερσης  $R_{ep}$  είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα του οπλισμού. Έτσι, ισχύει  $I_a \approx I$ . Τα ρεύματα της παράλληλης διέγερσης  $I_e$  και της διέγερσης σειράς  $I_a$  ή  $I$  αντίστοιχα, εισέρχονται στο παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα σειράς από τον ακροδέκτη με την τελεία. Επομένως, οι μαγνητικές τους ροές αθροίζονται.

Στη γεννήτρια αθροιστικής σύνθετης διέγερσης, με τη δομή του ισοδύναμου κυκλώματος του Σχ. 3.9α, ισχύουν οι σχέσεις

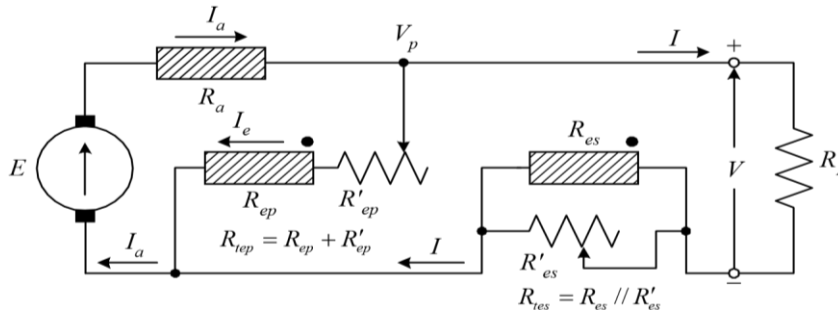
$$I_a = I_e + I \quad (3.9)$$

$$V = E - I_a (R_a + R_{tes}) \quad (3.10)$$

$$I_e = \frac{V}{R_{tep}} \quad (3.11)$$



(α)



(β)

**Σχ. 3.9** Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με αθροιστική σύνθετη διέγερση σε σύνδεση **long shunt** (α) και σε σύνδεση **short shunt** (β)

Στη γεννήτρια αθροιστικής σύνθετης διέγερσης, με τη σύνδεση του ισοδύναμου κυκλώματος του Σχ. 3.9β, ισχύουν οι σχέσεις

$$I_a = I_e + I \quad (3.12)$$

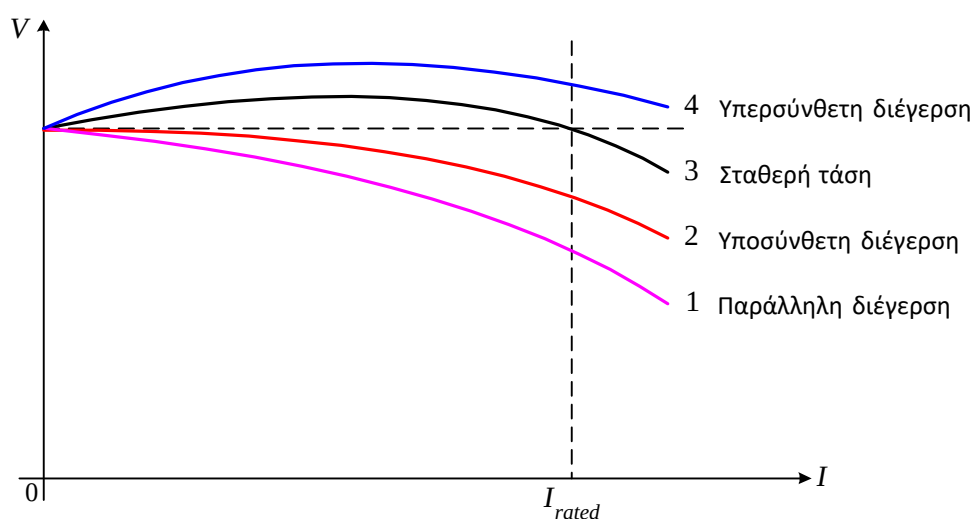
$$V_p = E - I_a R_a \quad (3.13)$$

$$V = V_p - I R_{tes} \quad (3.14)$$

$$I_e = \frac{V_p}{R_{tep}} \quad (3.15)$$

### 3.4.1 Χαρακτηριστικές Φορτίου

Η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας με αθροιστική σύνθετη διέγερση, εξαρτάται από την επίδραση του τυλίγματος σειράς στο πεδίο που παράγει το παράλληλο τύλιγμα. Αν μέσω της μεταβλητής αντίστασης  $R'_{es}$  βραχυκυκλωθεί το τύλιγμα σειράς, η χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας είναι αντίστοιχη μ' εκείνη μιας γεννήτριας με παράλληλη διέγερση. Όπως εικονίζει η καμπύλη 1 του Σχ. 3.10, η τάση εξόδου μειώνεται με το ρεύμα του φορτίου εξαιτίας της αυξανόμενης πτώσης τάσης στην αντίσταση  $R_a$  ( $R_{tes} = 0$ ). Για μια μικρή τιμή της αντίστασης  $R'_{es}$ , το τύλιγμα σειράς διαρρέετε από ένα μικρό τμήμα του ρεύματος φορτίου. Επομένως, με την αύξηση του ρεύματος φορτίου αυξάνεται λίγο το μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος σειράς, η ολική ροή, η ΗΕΔ και η τάση εξόδου της γεννήτριας.



**Σχ. 3.10** Χαρακτηριστικές φορτίου της γεννήτριας με αθροιστική σύνθετη διέγερση, ανάλογα με την επίδραση του τυλίγματος σειράς

Έτσι λαμβάνουμε την καμπύλη 2 στο Σχ. 3.10, στην οποία η μείωση της τάσης εξόδου με το ρεύμα του φορτίου είναι μικρότερη, συγκριτικά με την παράλληλη διέγερση. Η καμπύλη 2 αντιστοιχεί στη λειτουργία της γεννήτριας με *υποσύνθετη διέγερση (under-compounded)*.

Σε μια κατάλληλη τιμή της αντίστασης  $R'_{es}$ , η χαρακτηριστική φορτίου αποκτά τη μορφή της καμπύλης 3, η οποία ονομάζεται *καμπύλη σταθερής τάσης (flat-compounded)*. Τώρα, η τάση εξόδου της γεννήτριας στο ονομαστικό φορτίο, είναι ίση με την τάση της γεννήτριας στο κενό.

Αυξάνοντας παραπέρα την τιμή της αντίστασης  $R'_{es}$ , η επίδραση του τυλίγματος σειράς στο ολικό πεδίο της γεννήτριας ενισχύεται. Έτσι, η τάση εξόδου της γεννήτριας στο ονομαστικό φορτίο γίνεται μεγαλύτερη από την τάση χωρίς φορτίο (καμπύλη 4). Η γεννήτρια λειτουργεί με *υπερσύνθετη διέγερση* (*over-compounded*).

### 3.5 Γεννήτριες με διαφορετική σύνθετη διέγερση

Η διαφορά των γεννητριών με διαφορετική σύνθετη διέγερση, από τις μηχανές με αθροιστική διέγερση, είναι ότι οι μαγνητικές ροές των τυλιγμάτων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς αφαιρούνται.

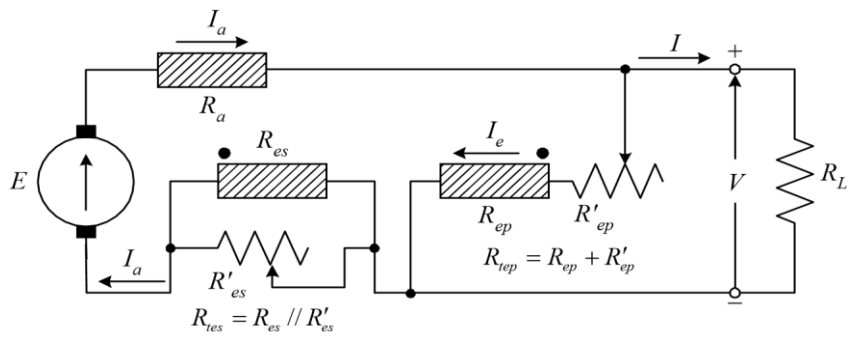
Αυτό εικονίζεται στο Σχ. 3.11, όπου το ρεύμα στο παράλληλο τύλιγμα εισέρχεται σε ακροδέκτη με τελεία, ενώ στο τύλιγμα σειράς το ρεύμα εξέρχεται από ακροδέκτη με τελεία.

Οι Εξ. (3.9)–(3.11) και οι Εξ. (3.12)–(3.15) των γεννητριών αθροιστικής διέγερσης, ισχύουν και στις αντίστοιχες γεννήτριες διαφορετικής σύνθετης διέγερσης.

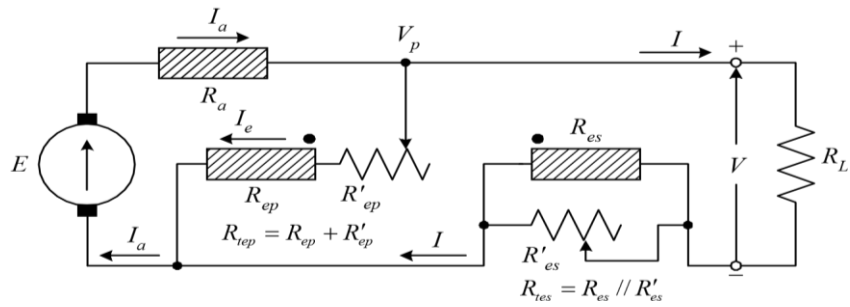
Η χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας, παρουσιάζει μια πολύ απότομη πτώση της τάσης εξόδου με την αύξηση του ρεύματος φορτίου (Σχ. 3.12). Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο τύλιγμα σειράς, η μαγνητική ροή του οποίου μειώνει το ολικό πεδίο της μηχανής. Έτσι, με την αύξηση του ρεύματος φορτίου μειώνεται η ολική ροή και η ΗΕΔ, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πτώση τάσης στις αντιστάσεις  $R_a$  και  $R_{tes}$ . Αυτοί οι δύο μηχανισμοί, που στη γεννήτρια αθροιστικής σύνθετης διέγερσης είχαν αντίθετη δράση, τώρα δρουν προς την ίδια κατεύθυνση, με αποτέλεσμα την έντονη μείωση της τάσης εξόδου με το φορτίο.

Οι γεννήτριες με διαφορετική σύνθετη διέγερση χρησιμοποιούνται ελάχιστα και σε ειδικές περιπτώσεις, όπως οι ηλεκτροσυγκολλήσεις.





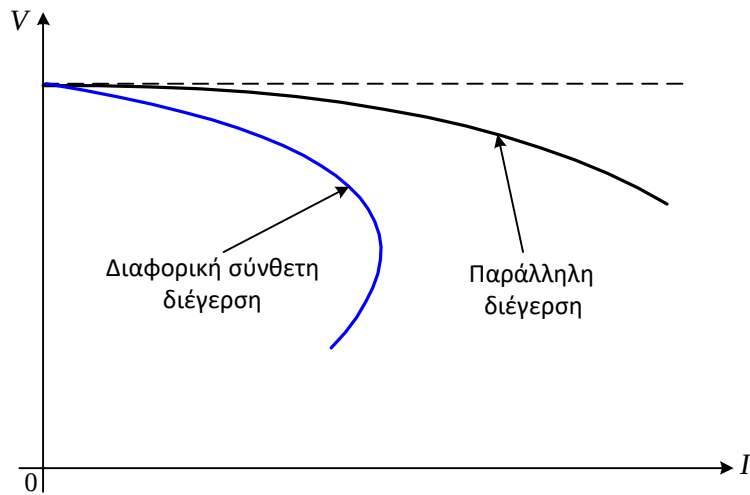
(α)



(β)

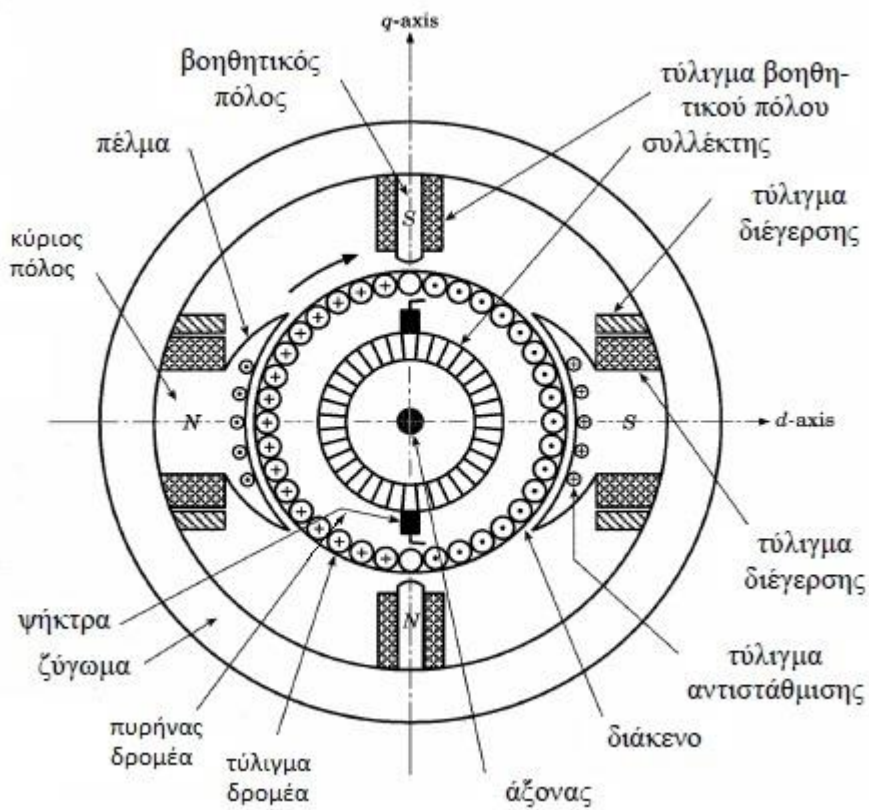
**Σχ. 3.11** Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με διαφορική σύνθετη διέγερση σε σύνδεση *long shunt* (α) και σε σύνδεση *short shunt* (β)

### 3.5.1 Χαρακτηριστικές φορτίου



**Σχ. 3.12** Χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας με διαφορική σύνθετη διέγερση

#### 4. Κατασκευαστικά μέρη κινητήρα -γεννήτριας Σ.Ρ.



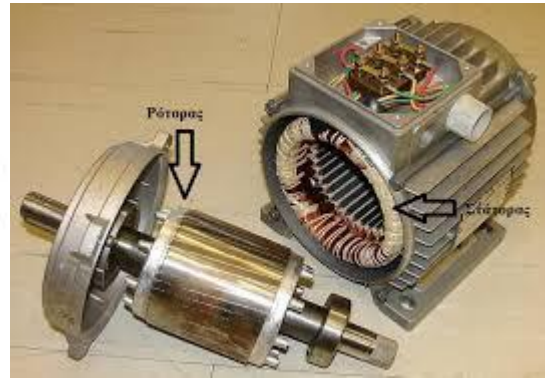
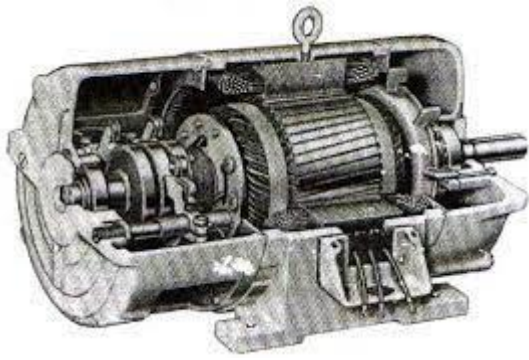
## A) Στάτης

- **Στάτης:** αποτελεί το ακίνητο (στατικό) τμήμα της μηχανής, με στόχο τη δημιουργία συγκεκριμένης μαγνητικής ροής. Περιλαμβάνει:
- **Ζύγωμα:** αποτελεί τον κορμό της μηχανής. Χρησιμεύει και για το “κλείσιμο” του μαγνητικού κυκλώματος. Κατασκευάζεται από συμπαγή σίδηρο, με εξαίρεση τις μηχανές με ταχείες μεταβολές του πεδίου διέγερσης.
- **Κύριοι πόλοι:** Τα πέλματά τους έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια από τον πυρήνα, για την κατανομή της μαγνητικής ροής σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας του δρομέα. Το διάκενο είναι η απόσταση ανάμεσα στα πέλματα και το δρομέα.
- **Τύλιγμα διέγερσης:** τοποθετείται στους κύριους πόλους και παράγει το κύριο μαγνητικό πεδίο της μηχανής.
- **Βοηθητικοί πόλοι :** είναι ισάριθμοι με τους κύριους.
- **Τύλιγμα αντιστάθμισης:** τοποθετείται σε αυλάκια στα πέλματα των πόλων μεγάλων μηχανών.
- **Ψύκτρες:** τοποθετούνται στους ψηκτροφορείς και είναι ισάριθμες με τους πόλους. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη αγωγιμότητα και μικρό συντελεστή τριβής (αφού πρέπει να εφάπτονται πάνω στο συλλέκτη).

## B) Ρότορας

**(ρότορας):** αποτελεί το στρεφόμενο τμήμα της μηχανής (γνωστό και ως επαγωγικό τύμπανο). Περιλαμβάνει:

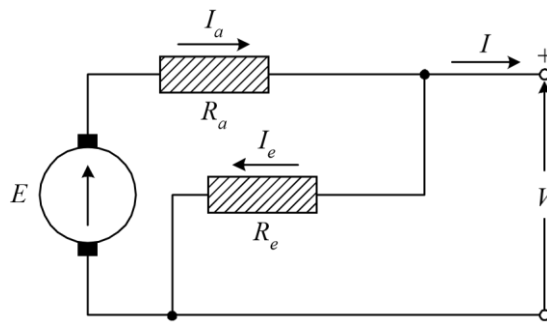
- **Πυρήνα:** κατασκευάζεται από σιδηροελάσματα. Διαθέτει αυλάκια για την τοποθέτηση των αγωγών.
- **Περιέλιξη του δρομέα (επαγωγικό τύλιγμα):** πάνω σ’ αυτήν επάγεται η τάση.
- **Συλλέκτη :** αποτελείται από χάλκινους τομείς που είναι μονωμένοι μεταξύ τους και ολισθαίνει πάνω στις ακίνητες ψήκτρες. Στους τομείς καταλήγουν τα άκρα των αγωγών του τυλίγματος.



## 5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

**Παράδειγμα 5.1** Σε μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, το τύλιγμα του δρομέα έχει αντίσταση  $0.03\Omega$  και το τύλιγμα διέγερσης  $50\Omega$ . Η γεννήτρια τροφοδοτεί ένα φορτίο  $60\text{kW}$  με τάση  $200\text{V}$ . Υπολογίστε:

- α) Τα ρεύματα στο φορτίο, στο τύλιγμα διέγερσης και στον οπλισμό.
- β) Την ΗΕΔ της γεννήτριας.



Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με παράλληλη διέγερση

Το ρεύμα στο φορτίο δίνεται από το λόγο της ισχύος εξόδου προς την τάση εξόδου

$$I = \frac{P_o}{V} = \frac{60000}{200} = 300\text{A}$$

Το ρεύμα διέγερσης είναι

$$I_e = \frac{V}{R_e} = \frac{200}{50} = 4\text{A}$$

Το ρεύμα του οπλισμού είναι ίσο με το άθροισμα των παραπάνω ρευμάτων

$$I_a = I + I_e = 300 + 4 = 304\text{A}$$

Η ΗΕΔ είναι ίση με

$$E = V + I_a \cdot R_a = 200 + 304 \cdot 0.03 = 209.1\text{V}$$

**Παράδειγμα 5.2** Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με ανεξάρτητη διέγερση, έχει τα εξής ονομαστικά στοιχεία:  $V = 460\text{V}$ ,  $V_e = 90\text{V}$ ,  $P = 230\text{kW}$ ,  $n = 1450\text{rpm}$ ,  $R_a = 0.04\Omega$ ,  $R_e = 8\Omega$ . Η χαρακτηριστική κενού της μηχανής στις  $1000\text{rpm}$ , δίνεται στον παρακάτω πίνακα. Ζητούνται: α) Η χαρακτηριστική κενού στις  $1450\text{rpm}$ .

β) Το ρεύμα διέγερσης στην ονομαστική λειτουργία και η τιμή της  $R'_e$ .

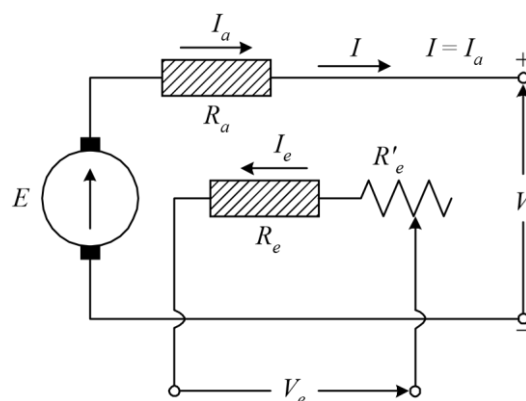
|                |    |     |     |     |     |     |
|----------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $I_e$ [A]      | 0  | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  |
| $E_{1000}$ [V] | 17 | 181 | 261 | 317 | 350 | 366 |

Η ΗΕΔ στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ορίζεται από τη σχέση,

$e = C_e \phi \omega = C_e \phi (2\pi / 60) n$ . Έτσι, για δεδομένο ρεύμα διέγερσης και μαγνητική ροή, αν η ΗΕΔ είναι γνωστή στην ταχύτητα  $1000\text{rpm}$ , η ΗΕΔ στην ταχύτητα των  $1450\text{rpm}$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$\frac{E_{1000}}{E_{1450}} = \frac{1000}{1450} \Rightarrow E_{1450} = \frac{1450 \cdot E_{1000}}{1000}$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση για κάθε μια τιμή του ρεύματος διέγερσης, ορίζουμε τη χαρακτηριστική κενού στις  $1450\text{rpm}$ , σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα



Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με ανεξάρτητη διέγερση

|                |             |            |            |            |            |            |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $I_e$ [A]      | 0           | 4          | 6          | 8          | 10         | 12         |
| $E_{1000}$ [V] | 17          | 181        | 261        | 317        | 350        | 366        |
| $E_{1450}$ [V] | <b>24.6</b> | <b>262</b> | <b>378</b> | <b>460</b> | <b>507</b> | <b>531</b> |

Στην ονομαστική λειτουργία, το ρεύμα του φορτίου είναι

$$I = I_a = \frac{P_o}{V} = 230000/460=500A$$

και η ΗΕΔ της γεννήτριας είναι ίση με

$$E = V + I_a R_a = 460 + 500 \cdot 0.04 = 480V$$

Από την χαρακτηριστική κενού στην ονομαστική ταχύτητα των 1450rpm, το ρεύμα της διέγερσης που αντιστοιχεί στην ΗΕΔ των 480V είναι περίπου ίσο με 9A. Η μεταβλητή αντίσταση  $R'_e$  ορίζεται από τη σχέση

$$R'_e + R_e = \frac{V_e}{I_e} \Rightarrow R'_e = \frac{90}{9} - 8 = 2\Omega$$

**Παράδειγμα 5.3** Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς, δίνει σε φορτίο  $20\Omega$  ρεύμα  $25A$ .

Για το ρεύμα αυτό, οι απώλειες χαλκού είναι ίσες με το 8% της εσωτερικά παραγόμενης ισχύος  $P_{in}$ .

Υπολογίστε:

α) Την τάση εξόδου.

β) Την εσωτερικά παραγόμενη ισχύ.

γ) Την ολική αντίσταση των τυλιγμάτων του σπλισμού και της διέγερσης.

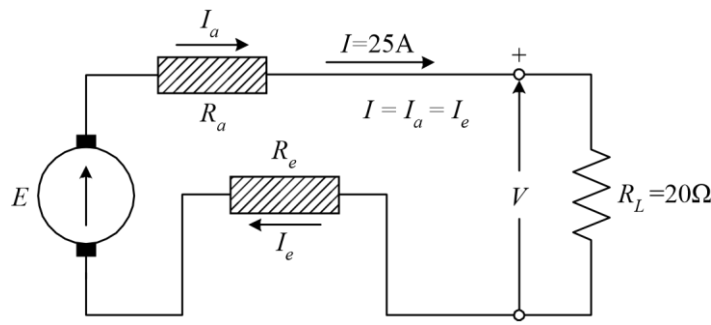
δ) Την ΗΕΔ.

**Λύση:**

Η τάση εξόδου είναι ίση με

$$V = IR_L = 25 \cdot 20 = 500V$$

Αν αγνοήσουμε όλες τις απώλειες εκτός από τις απώλειες χαλκού, η εσωτερικά παραγόμενη ισχύς της γεννήτριας  $P_{in}$ , είναι ίση με την ισχύ εξόδου (φορτίου)  $P_o$  συν τις απώλειες χαλκού  $P_{cu}$



Ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με διέγερση σειράς

$$P_{in} = P_o + P_{cu} = I^2 R_L + 0.08 P_{in} \Rightarrow 0.92 P_{in} = I^2 R_L \Rightarrow P_{in} = \frac{25^2}{0.92} = 13587W$$

Οι απώλειες χαλκού είναι ίσες με

$$P_{cu} = 0.08 P_{in} = 0.08 \cdot 13587 = 1087W$$

$$P_{cu} = I^2 (R_a + R_e) \Rightarrow R_a + R_e = \frac{1087}{25^2} = 1.74\Omega$$

Η ΗΕΔ είναι ίση με

$$E = V + I (R_a + R_e) = 500 + 25 \cdot 1.74 = 543.5V$$



<https://www.youtube.com/watch?v=Jh167TEECBk> : Πως δουλεύει μία γεννήτρια DC

[https://www.youtube.com/watch?v=d\\_LOXUEFA-o](https://www.youtube.com/watch?v=d_LOXUEFA-o) : Πως κατασκευάζεται μια γεννήτρια DC

