

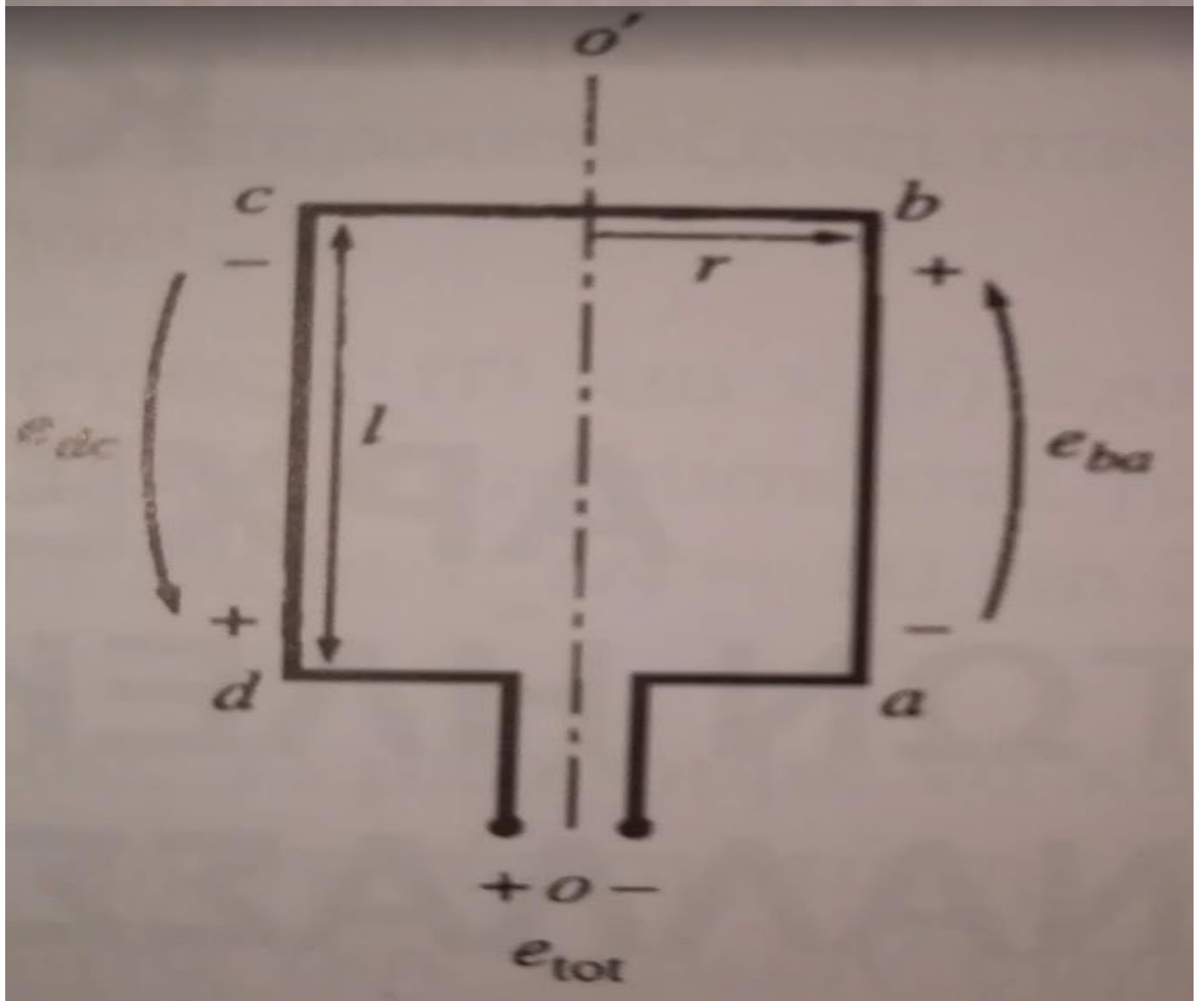
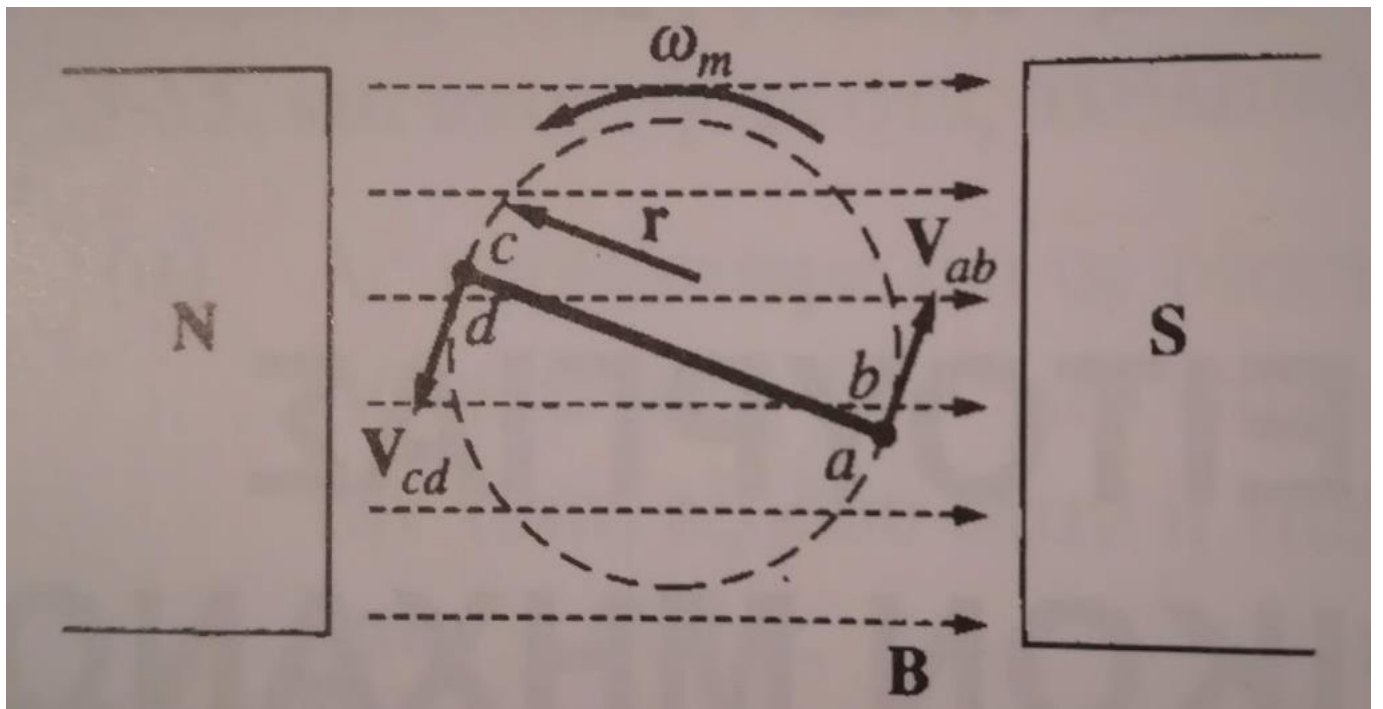
**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**« ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ »
5^ο ΕΞΑΜΗΝΟ**

6^η ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

**ΔΙΔΑΣΚΩΝ
ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ Σ. ΘΕΟΚΛΗΤΟΣ**
Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ.



Επαγόμενη τάση στον βρόχο $e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$

$$e_{ind} = 2 v B l \sin \theta$$

$$v = r \omega \quad \text{και} \quad \theta = \omega t$$

$$e_{ind} = 2 r l B \omega \sin(\omega t)$$

Εμβαδόν βρόχου $A = 2 r l$

Μαγνητική ροή $\Phi_{max} = A B$

$$e_{ind} = \Phi_{max} \omega \sin(\omega t)$$

Επαγόμενη ροπή στον βρόχο $\mathbf{F} = i (\mathbf{l} \times \mathbf{B})$

Ροπή $\tau = r F \sin \theta$

$$\tau_{ind} = 2 r i B l \sin \theta$$

Εμβαδόν βρόχου $A = 2 \pi r l$

Μαγνητική επαγωγή βρόχου $B_{loop} = \frac{\mu i}{G}$

$$\tau_{ind} = \frac{A G}{\mu} B_{loop} B_S \sin \theta = k B_{loop} B_S \sin \theta$$

$$\tau_{ind} = k (B_{loop} \times B_S) = k (B_R \times B_S)$$

$$B_{net} = B_R + B_S$$

$$\tau_{ind} = k B_R \times (B_{net} - B_R) = k (B_R \times B_{net}) - k (B_R \times B_R)$$

$$\tau_{ind} = k (B_R \times B_{net}) \Rightarrow \tau_{ind} = k B_R B_{net} \sin \delta$$

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ Α.Σ.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

$$e_{\text{ind}} = K \Phi_{\text{max}} \omega_m \sin(\omega_m t)$$

$$\text{όπου } \omega_m = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{ή} \quad \omega_{\eta\lambda} = \frac{P}{2} \omega_m$$

$$\text{και } f_m = \frac{n}{60} \quad \text{ή} \quad f_{\eta\lambda} = \frac{n P}{120} \text{ (Hz)}$$

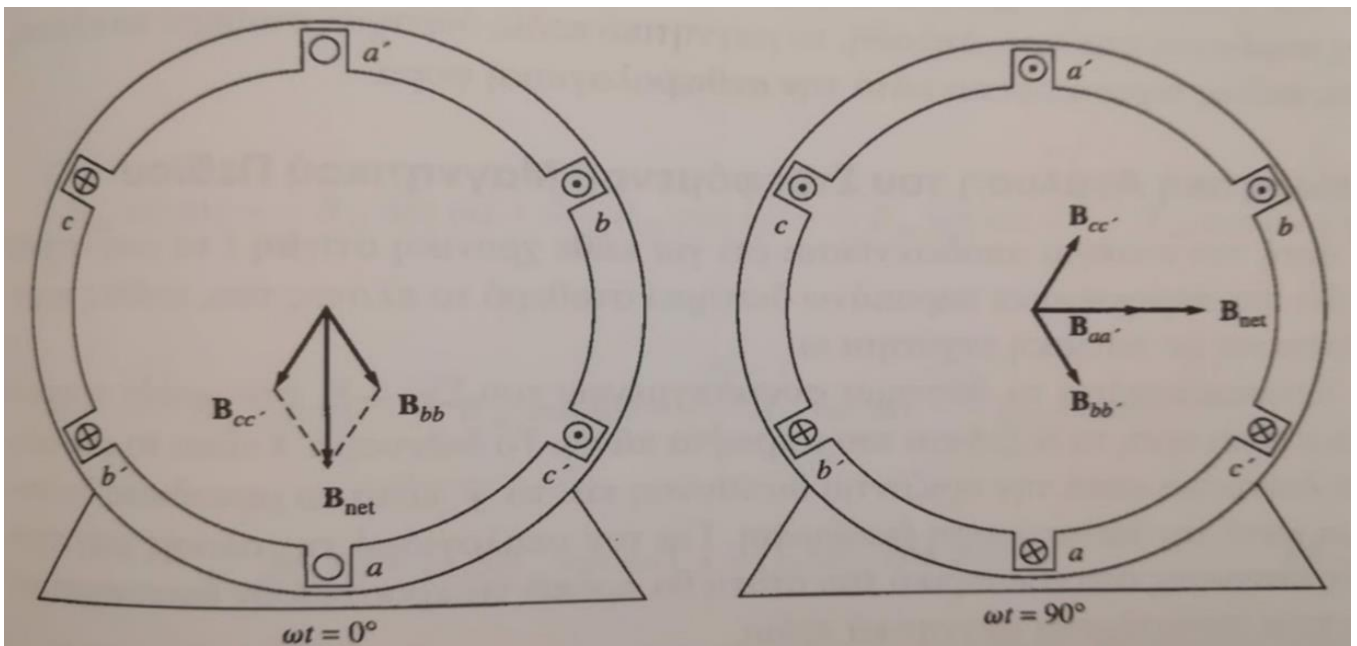
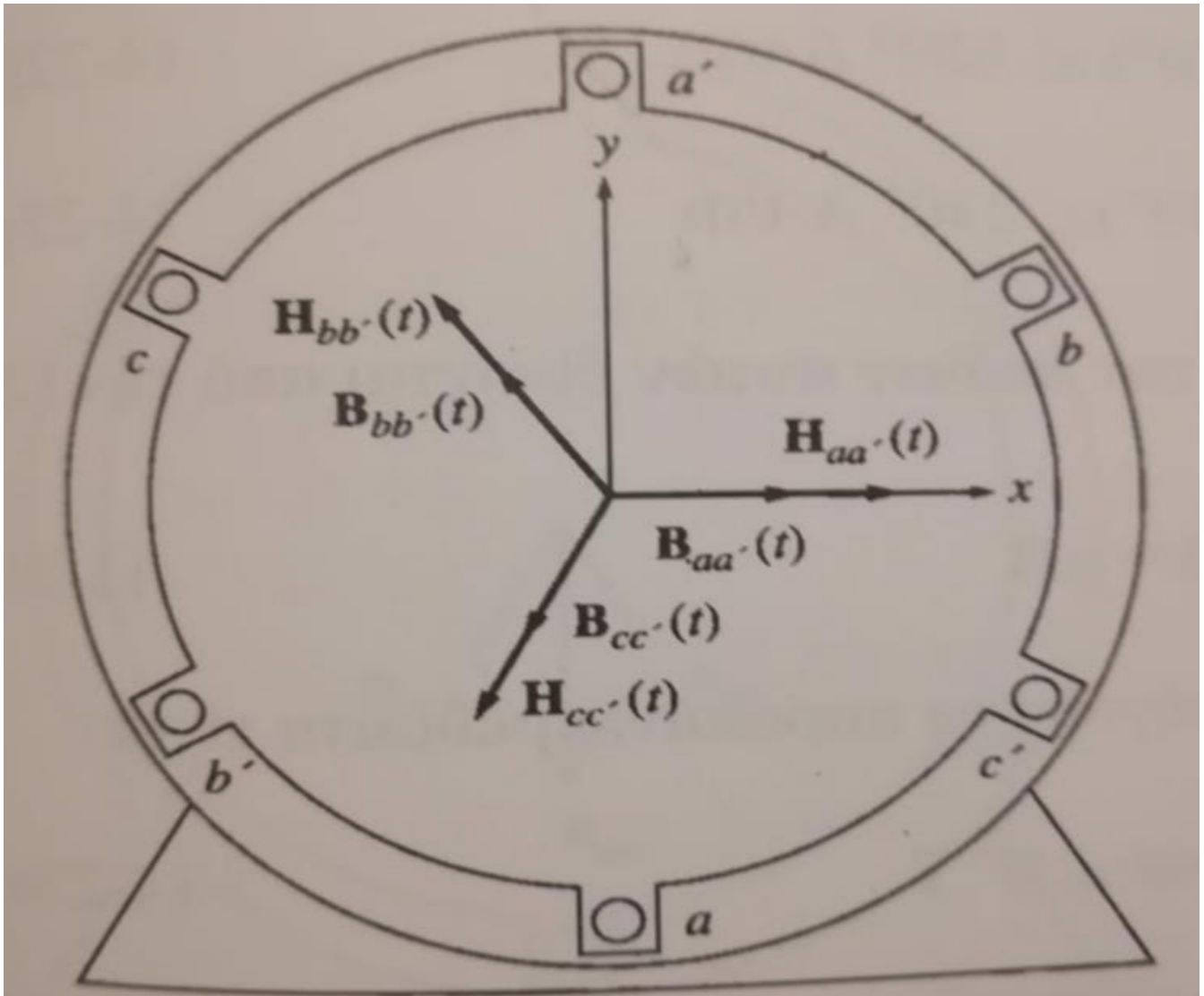
Η επαγόμενη τάση e_{ind} της μηχανής έχει ημιτονοειδή μορφή και εξαρτάται από

- Τη μαγνητική ροή του πεδίου στο εσωτερικό της Φ
- την ταχύτητα περιστροφής ω_m του δρομέα
- μια σταθερά K που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

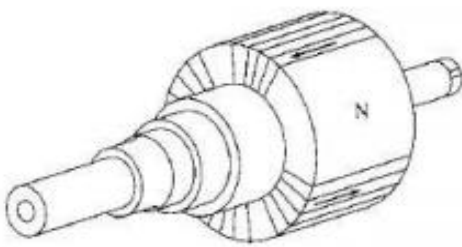
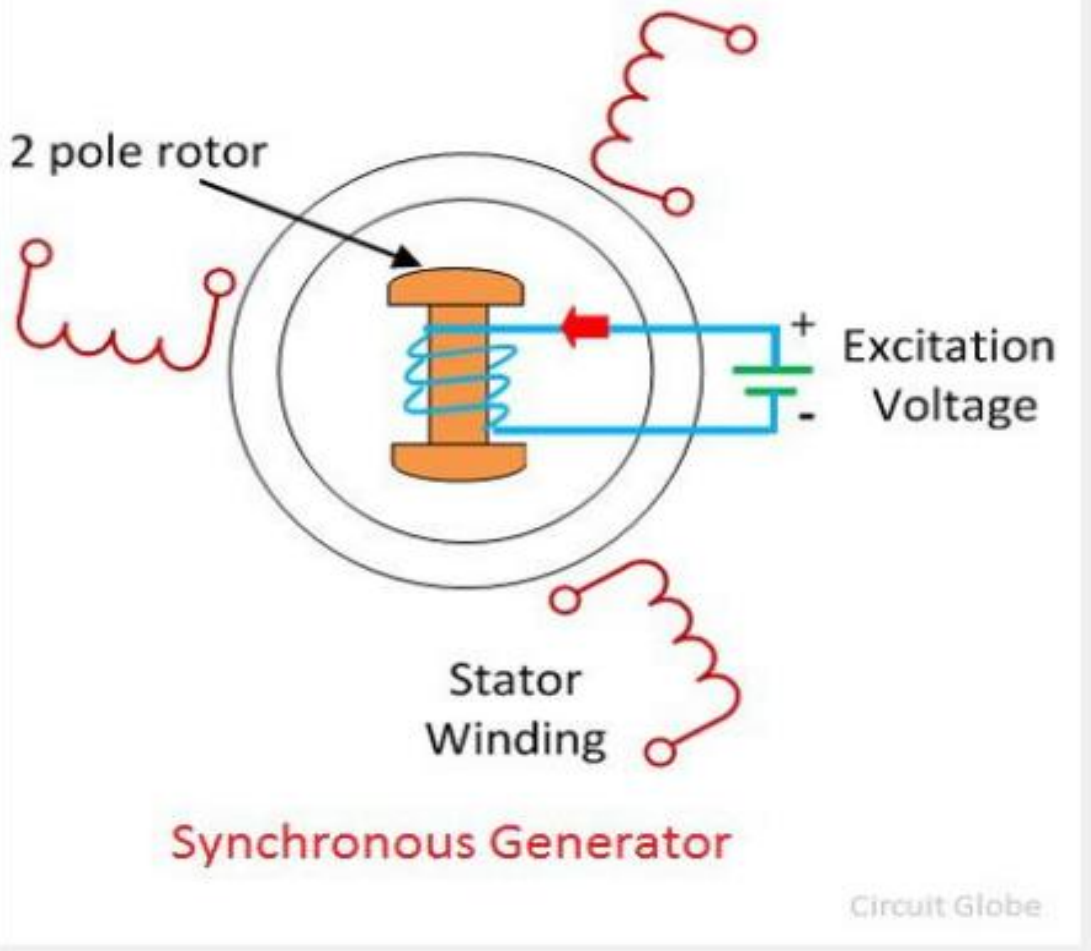
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

$$\tau_{\text{ind}} = K (B_R \times B_S) = K B_R B_{\text{net}} \sin\delta$$

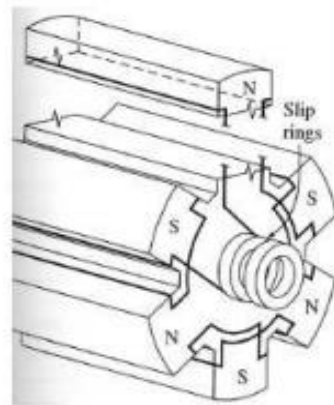
- Η ροπή τ_{ind} της μηχανής εξαρτάται από
- τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου του δρομέα B_R
- τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου του στάτη B_S
- το ημίτονο της μεταξύ τους γωνίας δ
- μια σταθερά K που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.



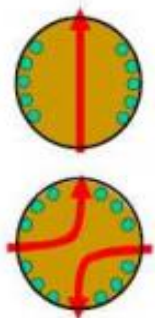
$$\mathbf{B}_{net} = \mathbf{B}_{aa'} + \mathbf{B}_{bb'} + \mathbf{B}_{cc'}$$



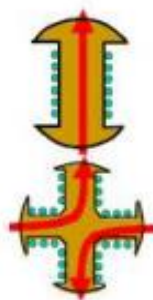
Κοληθόρικός δρομέας



Δρομέας εκτόπων πόλων



Δρομείς με 2 και 4 πόλους



ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΡΕΥΜΑΤΩΝ – ΤΑΣΕΩΝ

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin(\omega t) \quad \text{A}$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \text{A}$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \text{A}$$



$$B_{\text{net}}(t) = (1,5 B_M \sin(\omega t)) \mathbf{x} - (1,5 B_M \cos(\omega t)) \mathbf{y}$$

Η αντιμετάθεση των ρευμάτων στα δύο από τα τρία τυλίγματα του στάτη αντιστρέφει τη φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του.



$$e_{aa'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t) \quad \text{V}$$

$$e_{bb'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \text{V}$$

$$e_{cc'}(t) = K \Phi \omega \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \text{V}$$

Ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων παράγει ομοιόμορφο και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του στάτη μιας μηχανής, ενώ ένα ομοιόμορφο και στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο μπορεί να παράγει τριφασικό σύστημα τάσεων σε ένα τέτοιο στάτη.

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

1. Απώλειες χαλκού

απώλειες τυλιγμάτων στάτη

$$P_{\text{scl}} = 3 I_A^2 R_A$$

απώλειες τυλιγμάτων δρομέα

$$P_{\text{rcl}} = I_F^2 R_F$$

2. Απώλειες πυρήνα

απώλειες υστέρησης $\sim B^2$

απώλειες δινορρευμάτων

3. Μηχανικές Απώλειες

απώλειες τριβών (ρουλεμάν)

απώλειες

ανεμισμού $\sim \omega^3$

4. Κατανεμημένες Απώλειες

θεωρούνται

περίπου 1 % της ισχύος εξόδου σε πλήρες φορτίο.

Η ισχύς (ηλεκτρική ή μηχανική) που μετατρέπεται στο διάκενο αέρα της μηχανής δίνεται ως:

$$P_{\text{conv}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m$$

Γεννήτρια

$$P_{\text{in}} = \tau_{\text{app}} \omega_m$$

$$P_{\text{out}} = 3 V_\phi I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$$

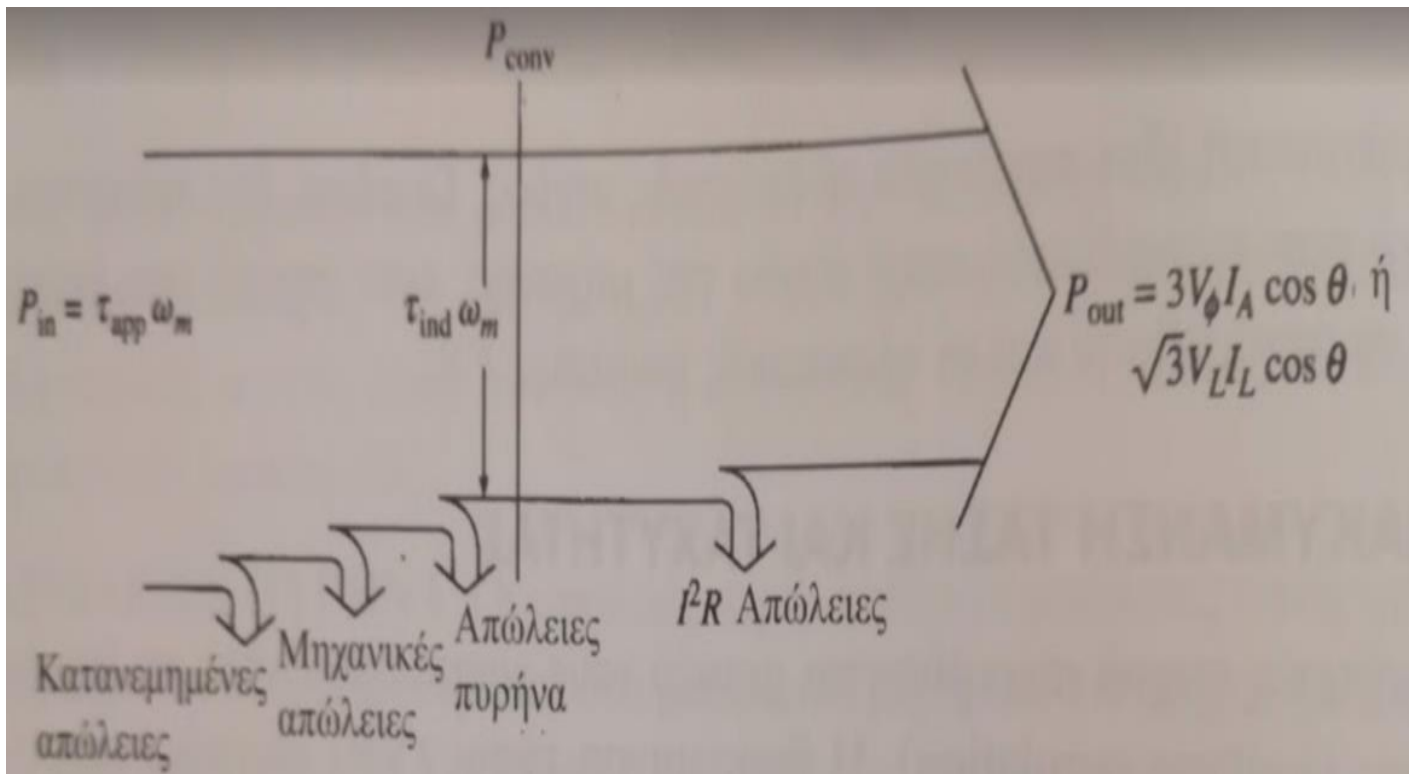
Κινητήρας

$$P_{\text{in}} = 3 V_\phi I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$$

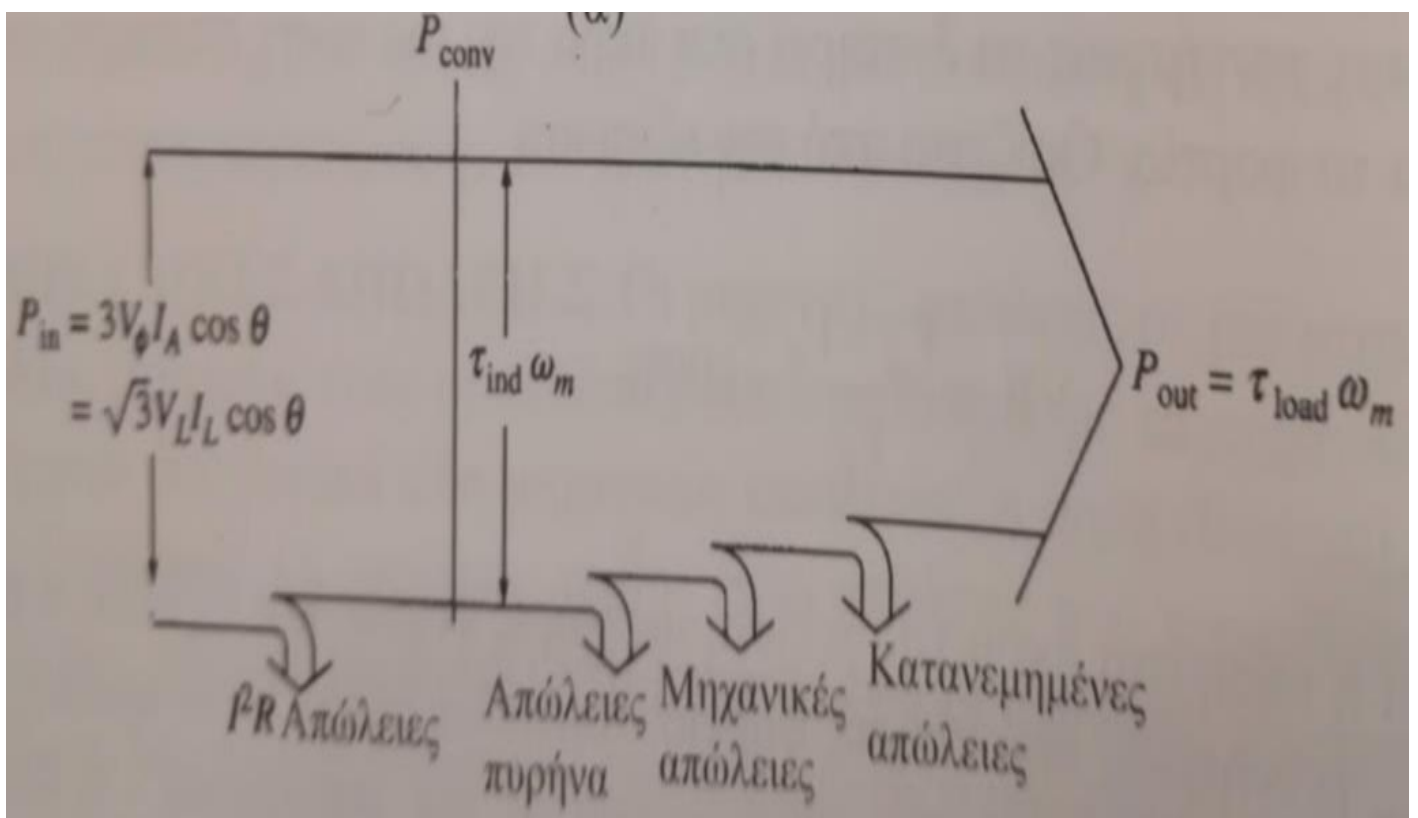
$$P_{\text{out}} = \tau_{\text{load}} \omega_m$$

Συντελεστής απόδοσης

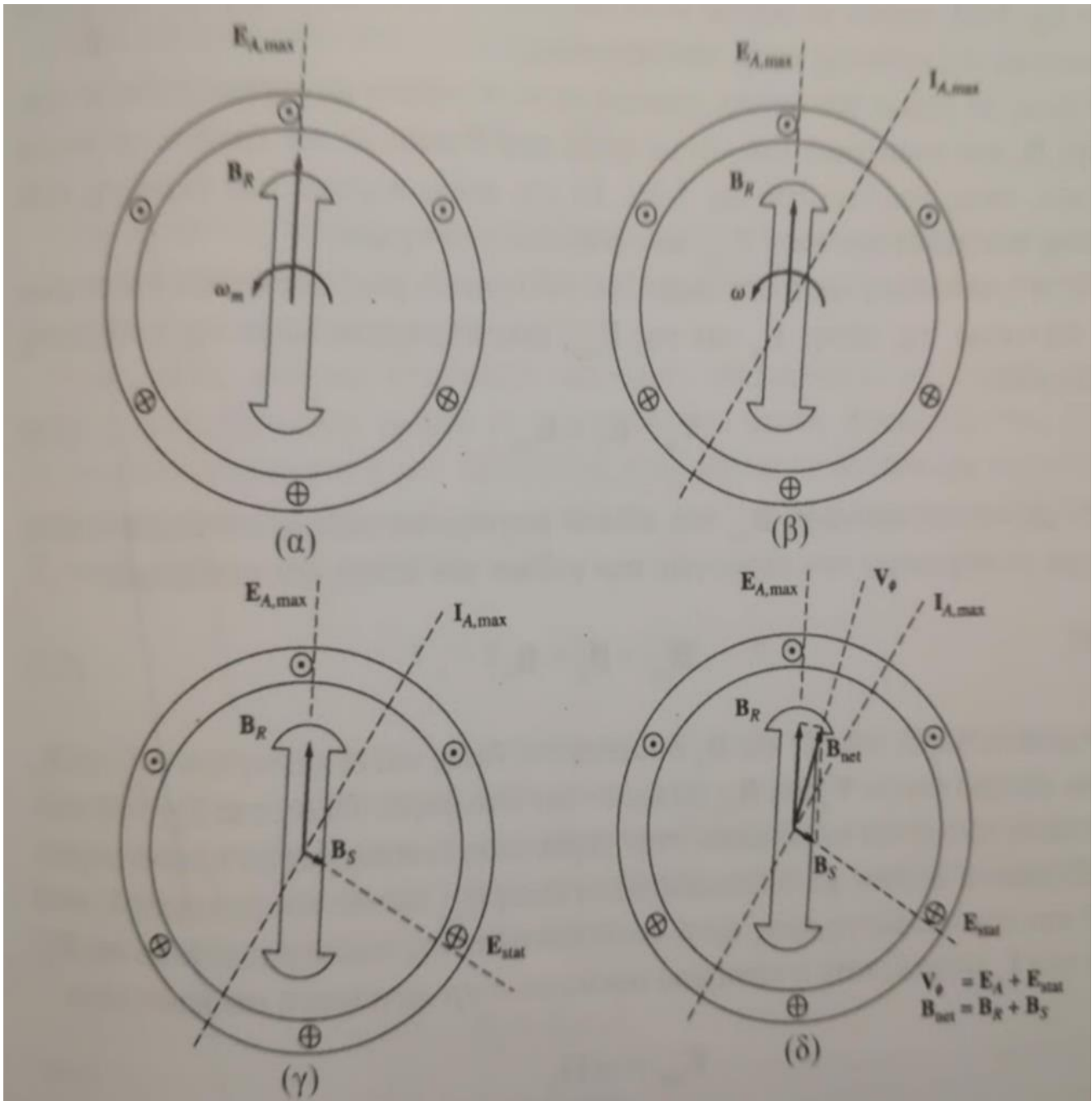
$$n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \% \quad \text{ή} \quad n = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$



Διάγραμμα Ροής ισχύος γεννήτριας



Διάγραμμα Ροής ισχύος κινητήρα



Αντίδραση οπλισμού στις σύγχρονες γεννήτριες

α) Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει την τάση E_A στο εσωτερικό της γεννήτριας.

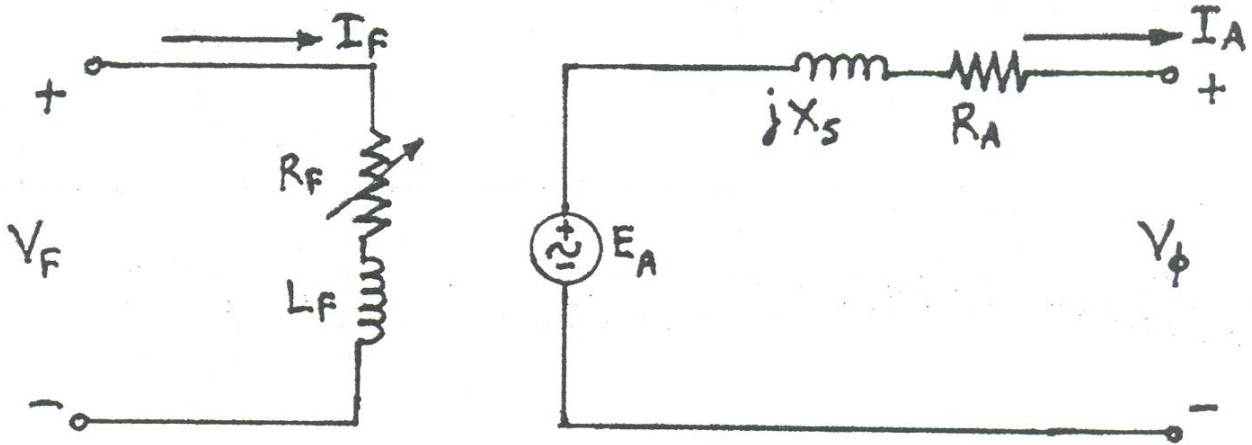
β) Η τάση E_A προκαλεί κάποιο επαγωγικό ρεύμα στο στάτη της γεννήτριας, όταν αυτή συνδεθεί με κάποιο επαγωγικό φορτίο.

γ) Το ρεύμα του στάτη παράγει το μαγνητικό πεδίο του στάτη της μηχανής B_S , το οποίο με την σειρά του προκαλεί την ανάπτυξη της τάσης E_{stat} στα τυλίγματα του οπλισμού.

δ) Η συνισταμένη μαγνητική επαγωγή των πεδίων του στάτη και του δρομέα είναι η B_{net} , ενώ το άθροισμα των τάσεων E_{stat} και E_A δίνει την φασική τάση V_ϕ της γεννήτριας.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑ ΦΑΣΗ

α) Σύγχρονης γεννήτριας.

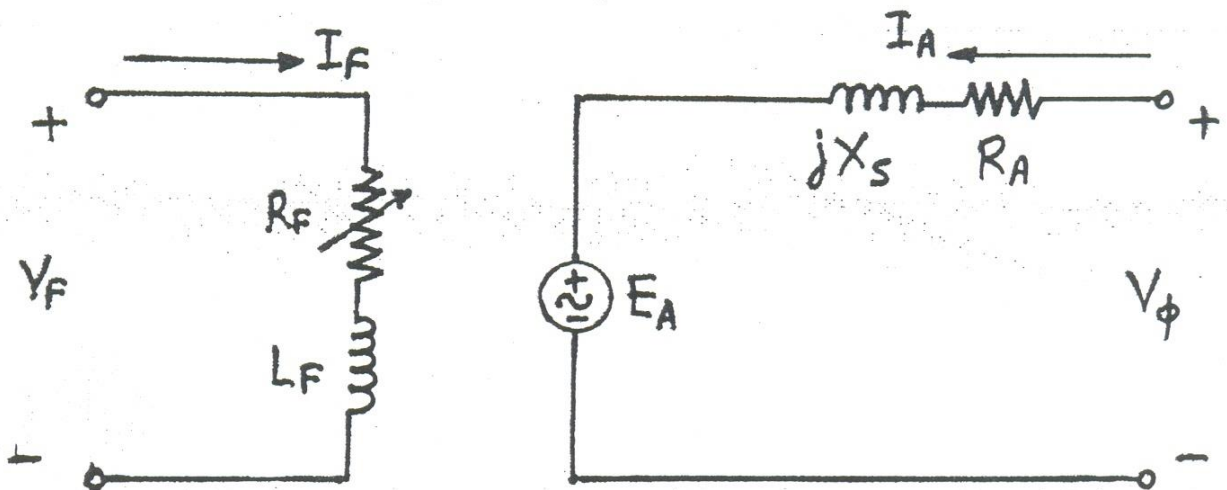


$$\begin{aligned} \Delta &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = \sqrt{3} I_A \\ Y &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = I_A \end{aligned}$$

$$V_\phi = E_A - j X I_A - j X_A I_A - R_A I_A$$

$$X_S = X + X_A \quad \Rightarrow \quad V_\phi = E_A - j X_S I_A - R_A I_A$$

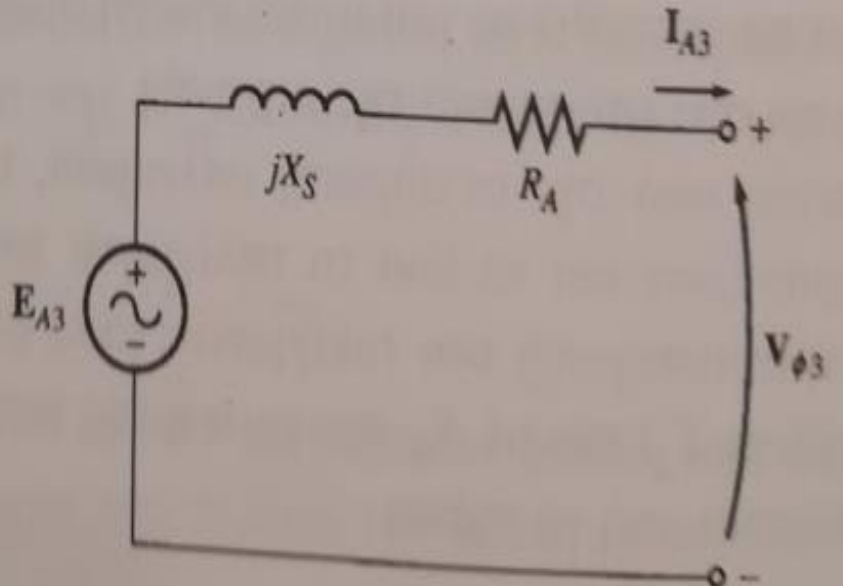
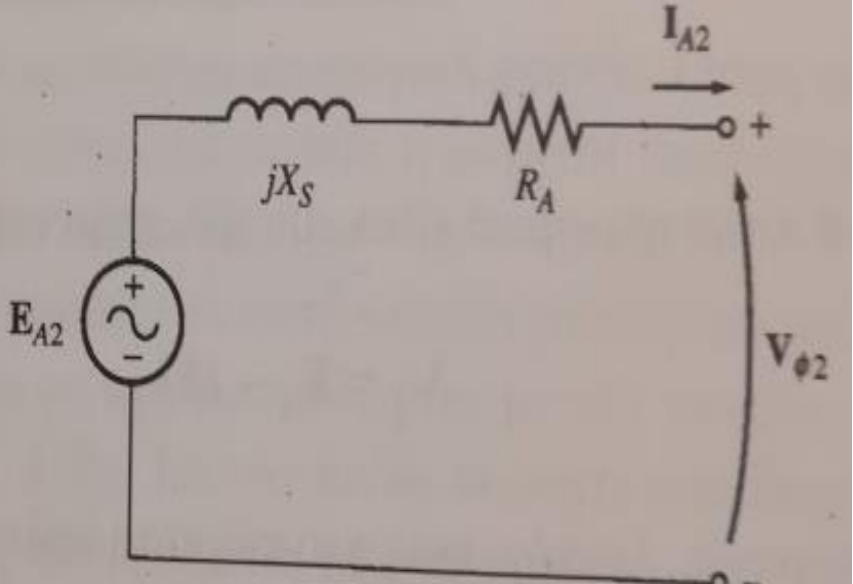
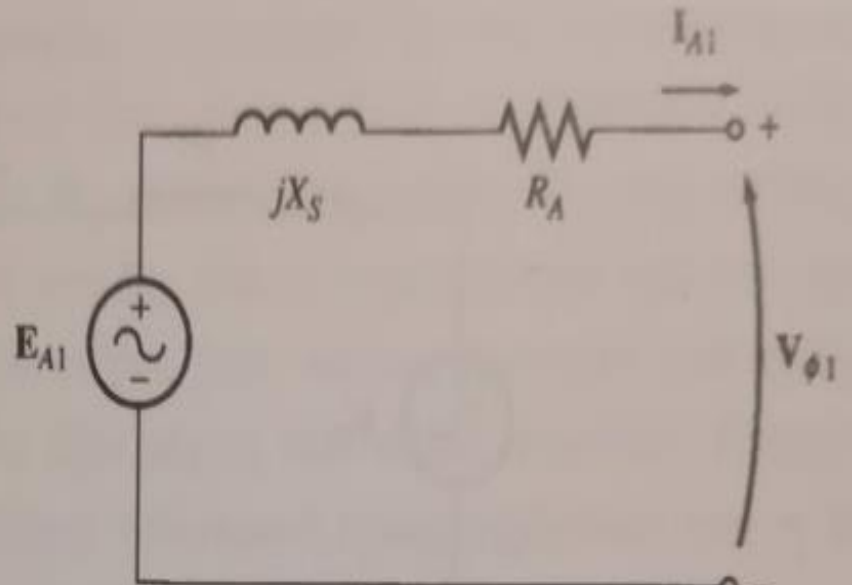
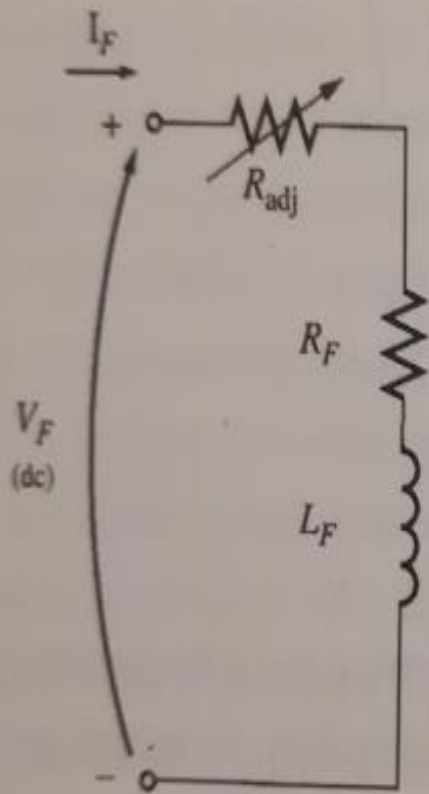
β) Σύγχρονου Κινητήρα.

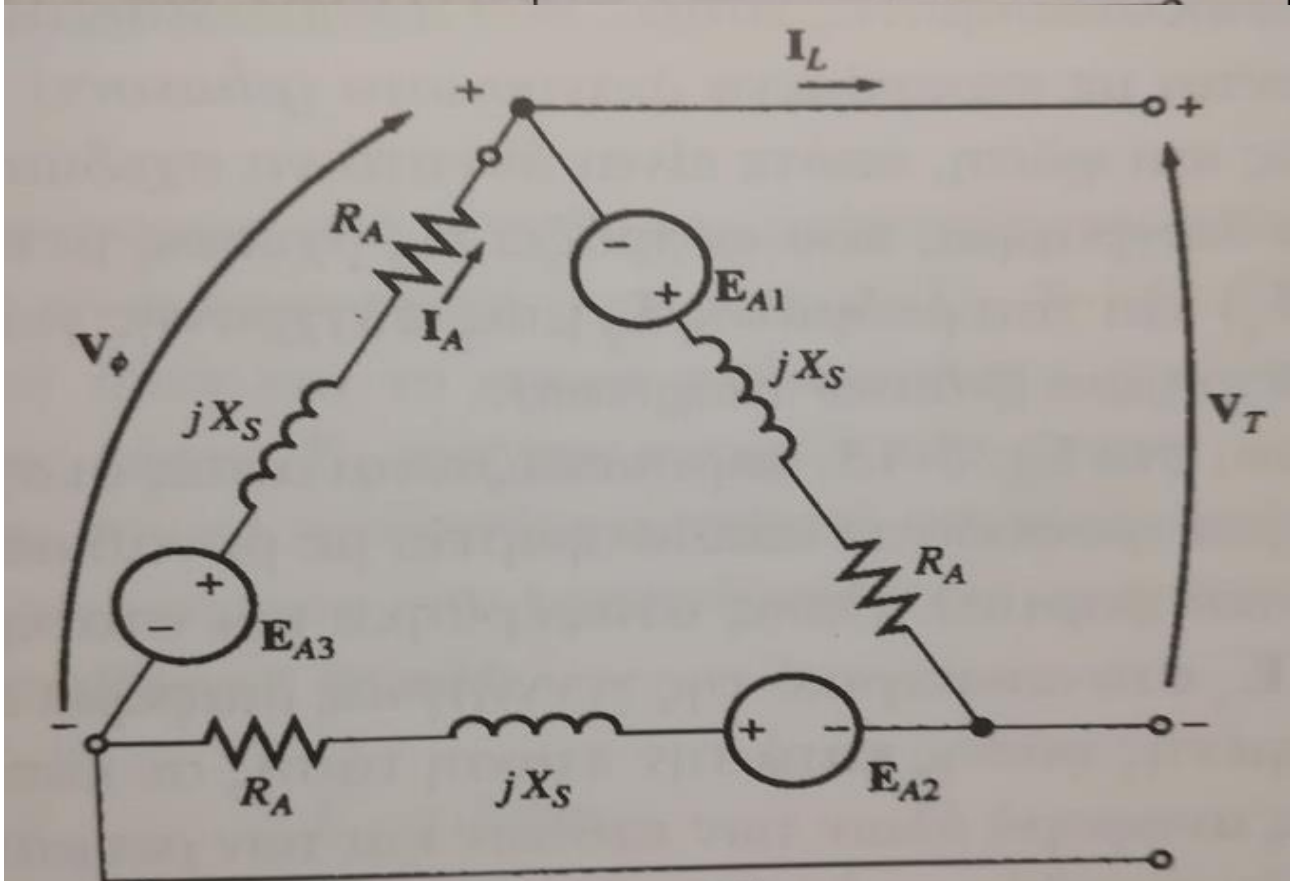
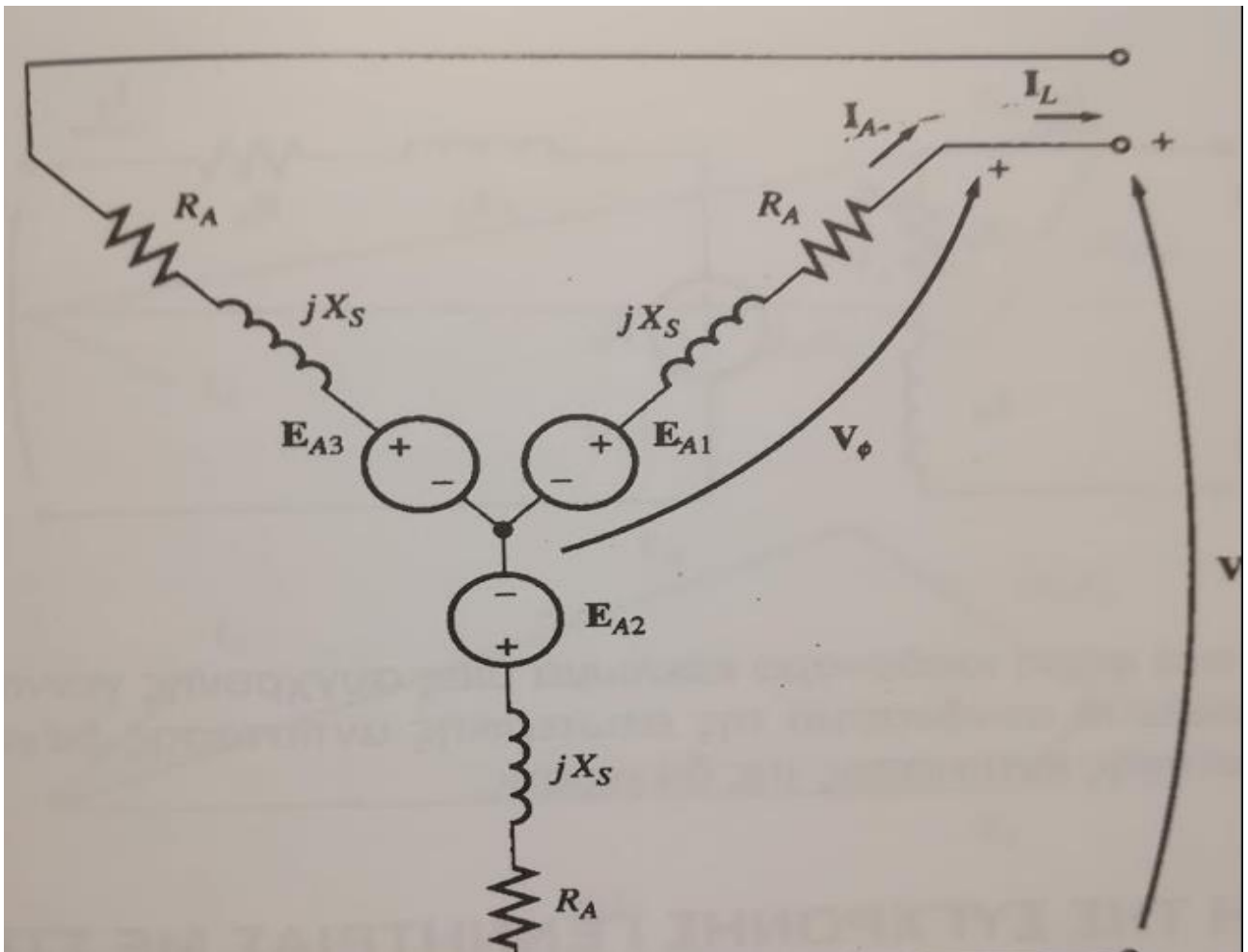


$$\begin{aligned} \Delta &\longrightarrow V_L = V_\phi, \quad I_L = \sqrt{3} I_A \\ Y &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = I_A \end{aligned}$$

$$V_\phi = E_A + j X_S I_A + R_A I_A$$

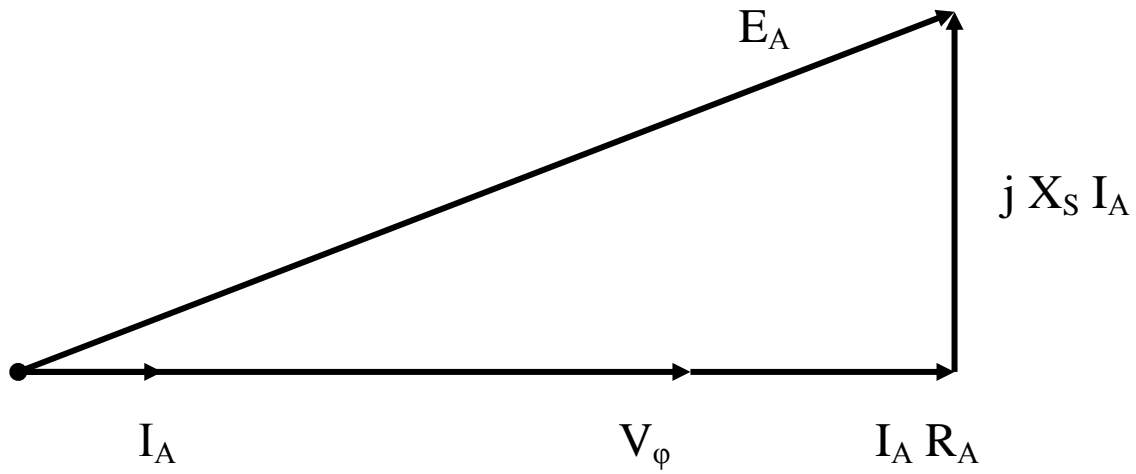
$$E_A = V_\phi - j X_S I_A - R_A I_A$$



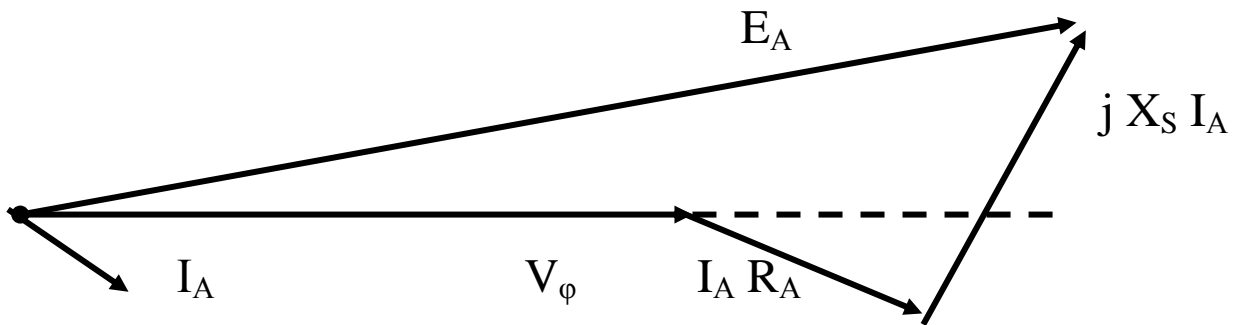


ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

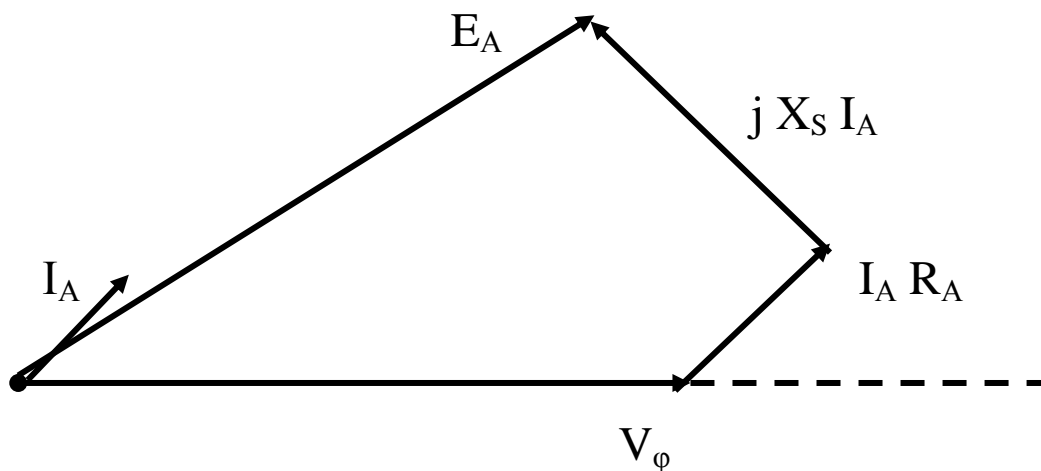
α) Με καθαρά ωμικό φορτίο .



β) Με επαγωγικό φορτίο .



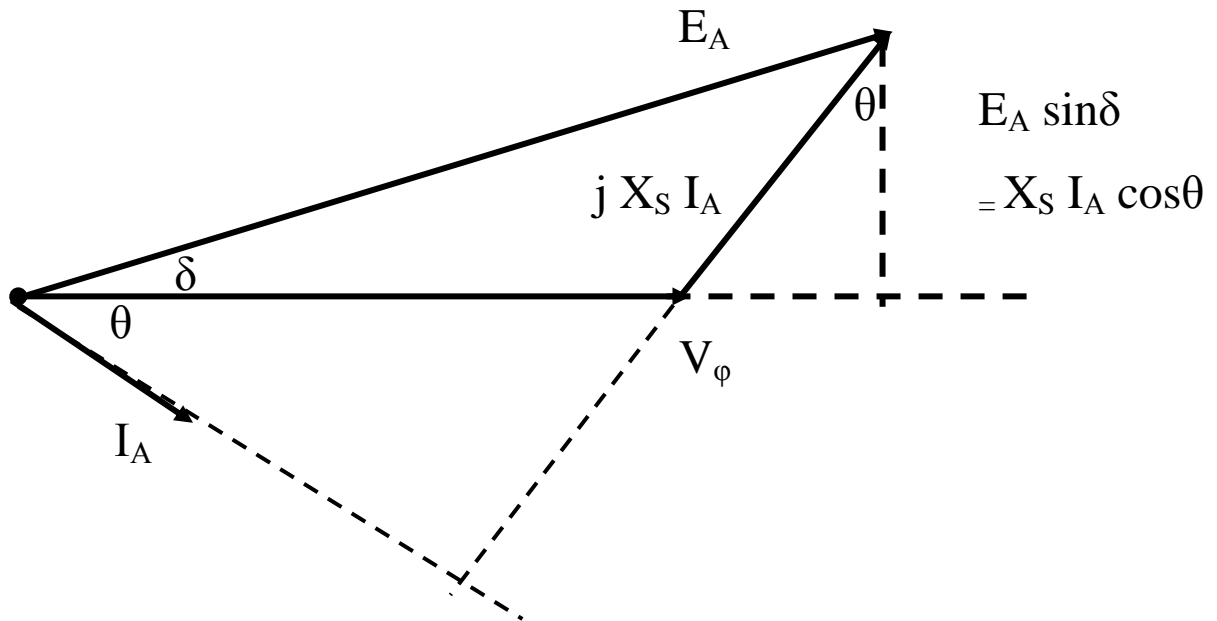
γ) Με χωρητικό φορτίο .



ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

$$P_{\text{out}} = 3 V_{\phi} I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

$$Q_{\text{out}} = 3 V_{\phi} I_A \sin\theta = \sqrt{3} V_T I_L \sin\theta$$



Επειδή $X_S \gg R_A$ στο διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας μπορεί να αγνοηθεί η αντίσταση οπλισμού R_A τότε προσεγγιστικά

$$I_A \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_S} \quad \text{και} \quad P = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin \delta}{X_S}$$

$$\text{ενώ επειδή } P_{\text{con}} = \tau_{\text{ind}} \omega_m \quad \tau_{\text{ind}} = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin \delta}{\omega_m X_S}$$

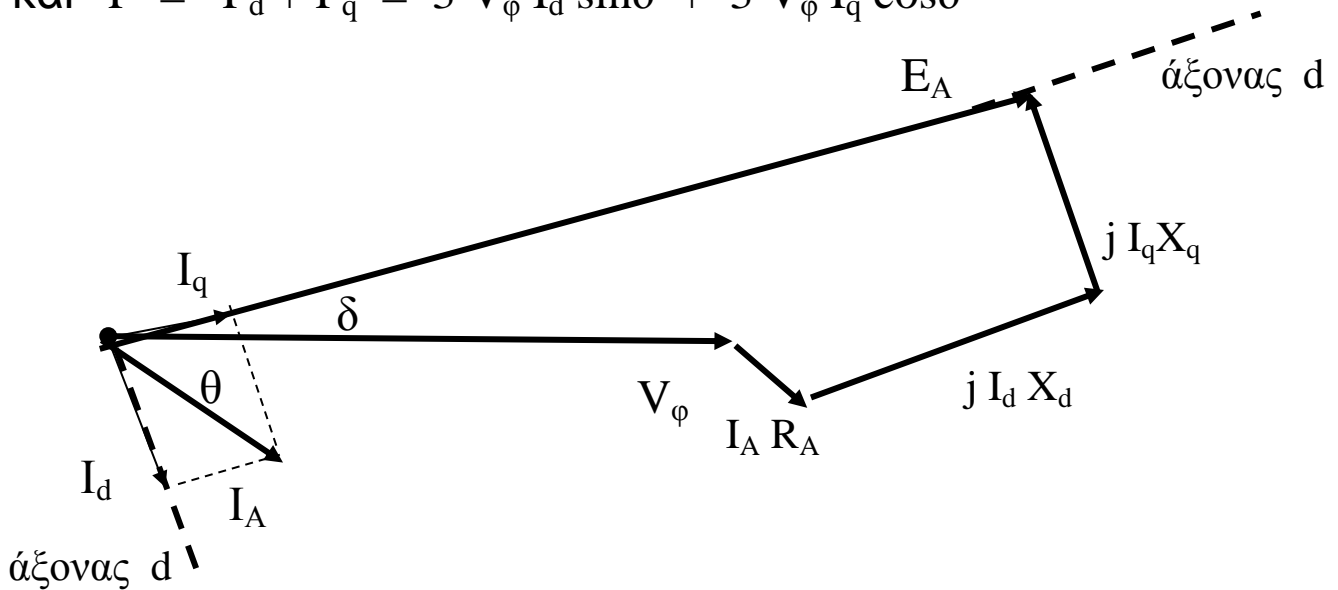
ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕ ΕΚΤΥΠΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ

$$P_{\text{out}} = 3 V_{\varphi} I_A \cos\theta = \sqrt{3} V_T I_L \cos\theta$$

$$Q_{\text{out}} = 3 V_{\varphi} I_A \sin\theta = \sqrt{3} V_T I_L \sin\theta$$

$$I_A = I_d + I_q$$

$$\text{και } P = P_d + P_q = 3 V_{\varphi} I_d \sin\delta + 3 V_{\varphi} I_q \cos\delta$$



Από το πιο πάνω διανυσματικό διάγραμμα αγνοώντας πάλι την αντίσταση οπλισμού R_A ($X_d \gg R_A$) ισχύει προσεγγιστικά

$$I_d = \frac{E_A - V_{\varphi} \cos\delta}{X_d} \quad \text{και} \quad I_q = \frac{V_{\varphi} \sin\delta}{X_q}$$

ΟΠΟΤΕ

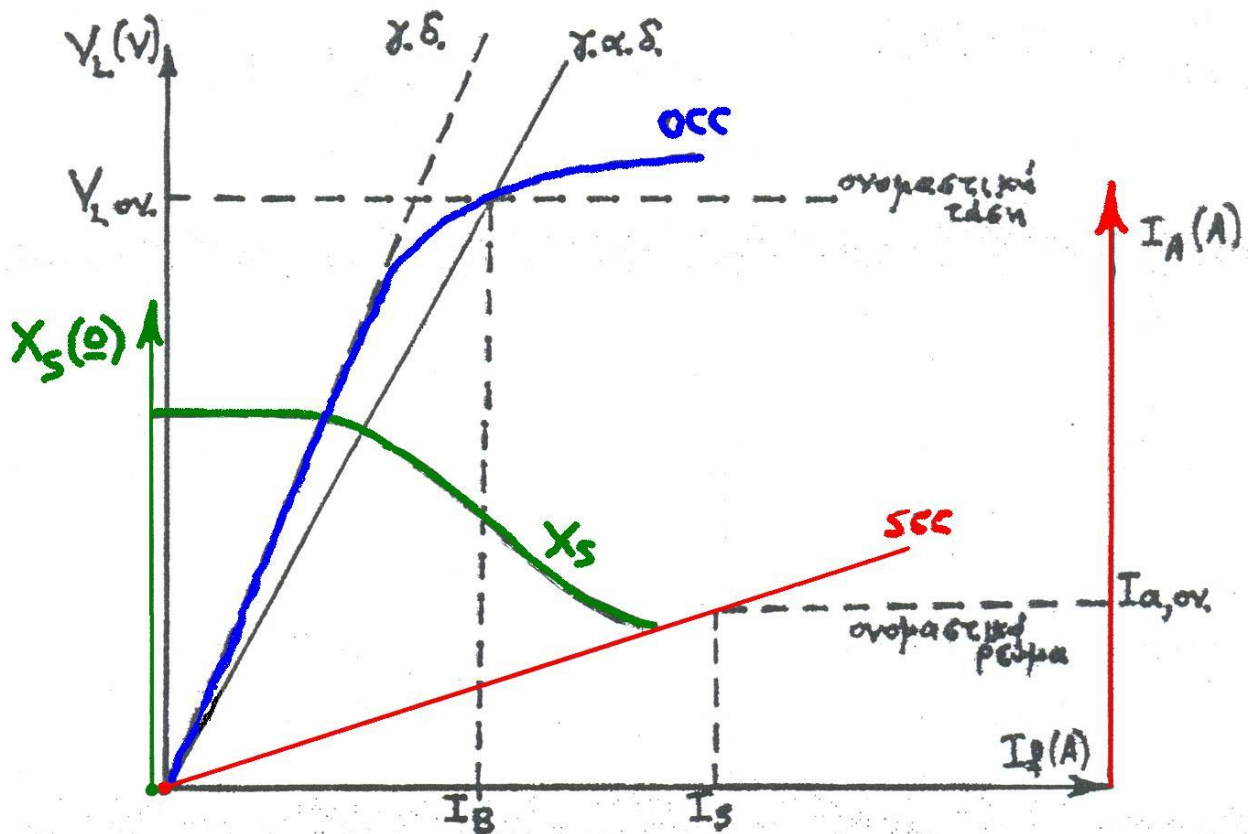
$$P = \frac{3 V_{\varphi} E_A}{X_d} \sin\delta + \frac{3 V_{\varphi}^2}{2} \left(\frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) \sin 2\delta$$

και

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{3 V_{\varphi} E_A}{\omega_m X_d} \sin\delta + \frac{3 V_{\varphi}^2}{2 \omega_m} \left(\frac{X_d - X_q}{X_d X_q} \right) \sin 2\delta$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΙΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

- A) Με το πείραμα ανοικτού κυκλώματος προσδιορίζεται η καμπύλη ανοικτού κυκλώματος της γεννήτριας (OCC) ή χαρακτηριστική κενού φορτίου.
- B) Με το πείραμα βραχυκύκλωσης προσδιορίζεται η χαρακτηριστική βραχυκύκλωσης (SCC) της γεννήτριας.



$$I_A = \frac{\bar{E}_A}{Z_S} = \frac{\bar{E}_A}{\sqrt{R_A^2 + X_S^2}} \Rightarrow X_S \approx \frac{\bar{E}_A}{I_A} = \frac{V_{\Phi, OC}}{I_{A, SC}}$$

Ο Λόγος Βραχυκύκλωσης (SCR) ορίζεται ως ο λόγος του ρεύματος διέγερσης που απαιτείται για την παραγωγή της ονομαστικής τάσης στο πείραμα ανοικτού κυκλώματος προς το ρεύμα διέγερσης που απαιτείται για την παραγωγή του ονομαστικού ρεύματος οπλισμού στο πείραμα βραχυκύκλωσης.

$$SCR = \frac{I_B}{I_S} \quad \text{και} \quad SCR \approx \frac{1}{X_S} \text{ (p.u.)}$$