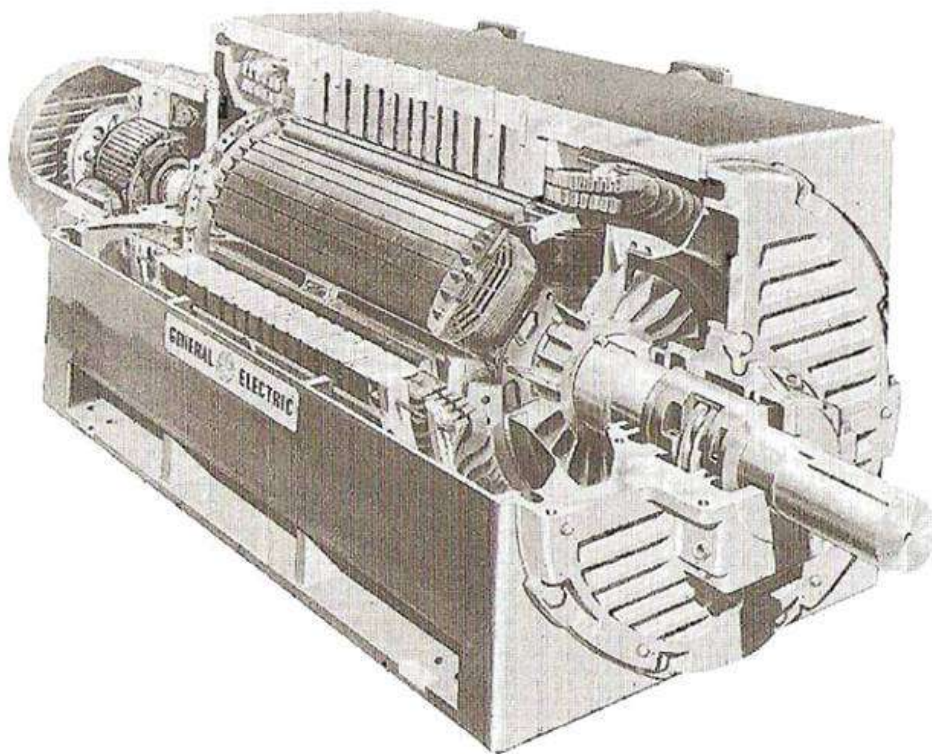




ΕΜΠ - Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

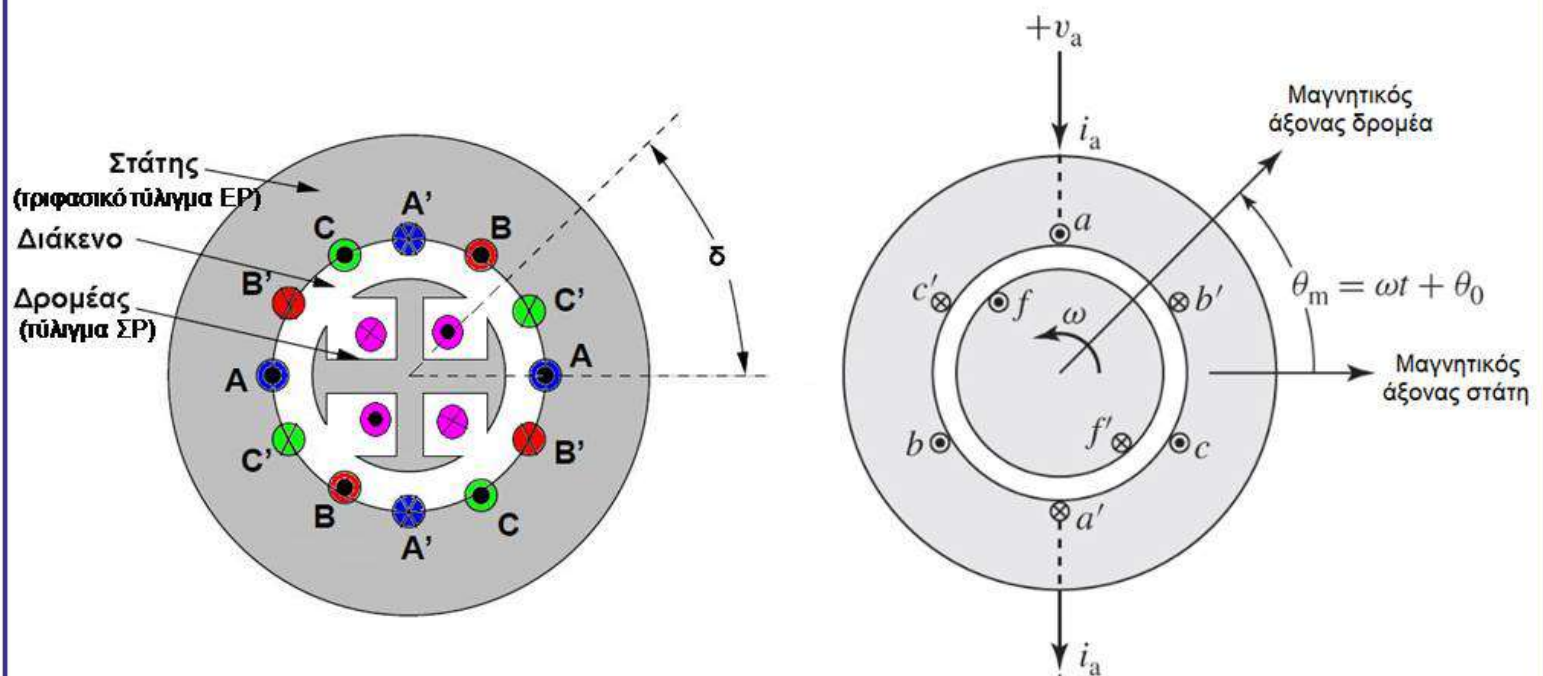
Σύγχρονες Ηλεκτρικές Μηχανές



Α. Κλαδάς – Εισαγωγή στα ΣΗΕ - Σύγχρονες Μηχανές

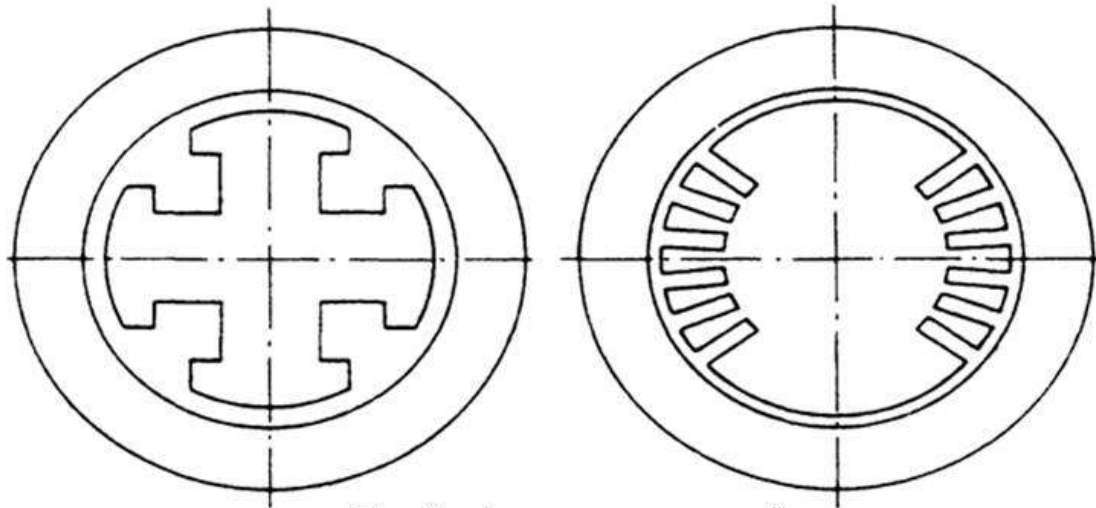


Διαμόρφωση Στάτη Σύγχρονων Μηχανών





Διαμόρφωση Δρομέα Σύγχρονων Μηχανών



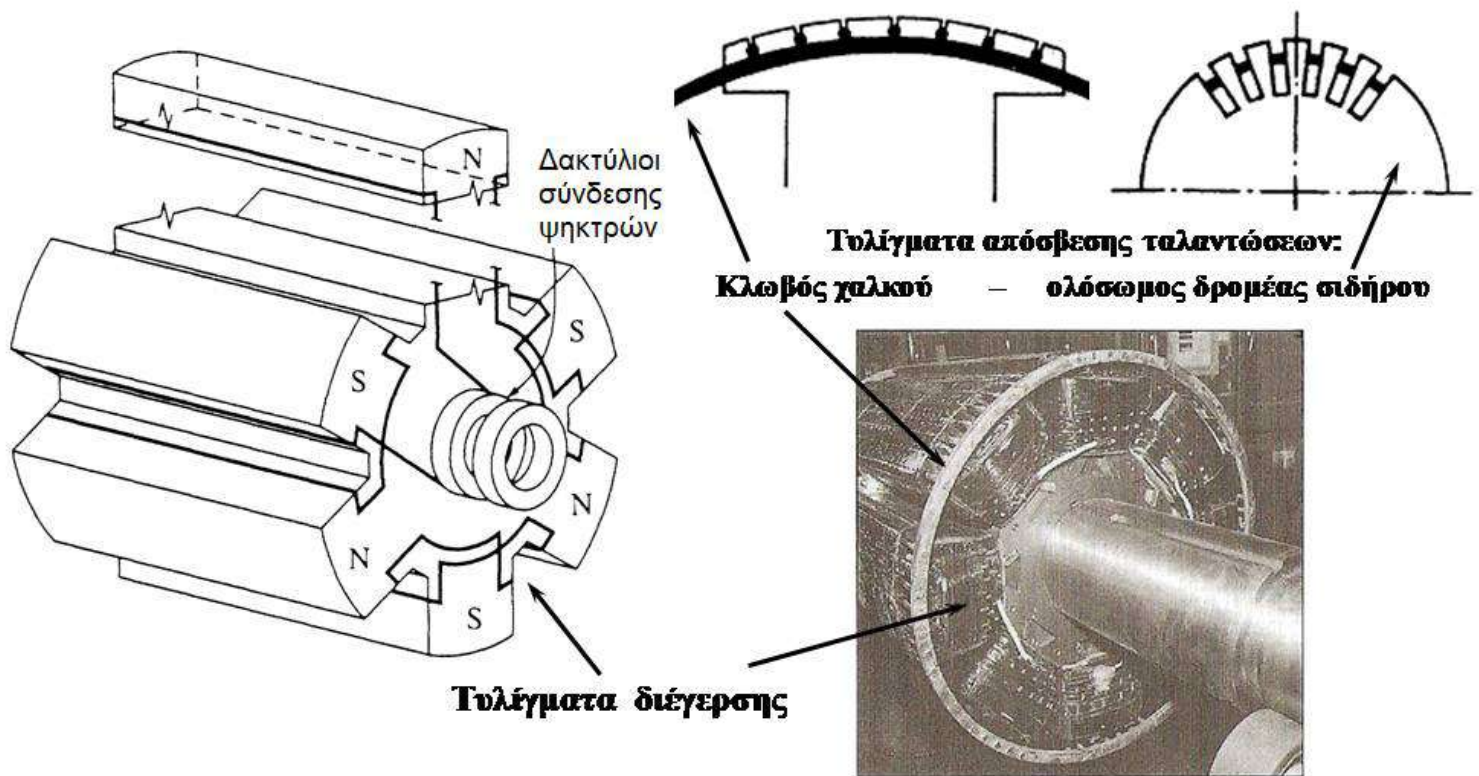
Τομή σύγχρονης μηχανής

**(α) με δρομέα εκτύπων πόλων
γεννήτριες ΥΗΣ χαμηλών στροφών**

**(β) με κυλινδρικό δρομέα
στροβιλογεννήτριες ΘΗΣ**



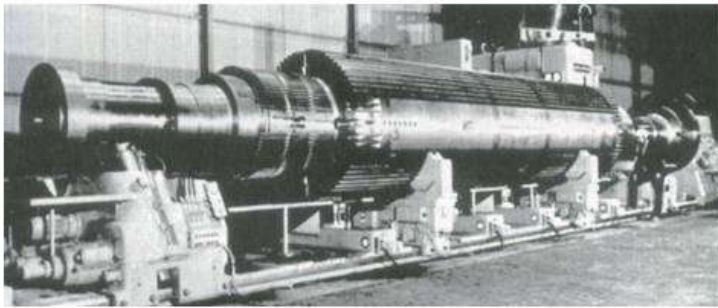
Διαμόρφωση Δρομέα Σύγχρονων Μηχανών





ΕΜΠ - Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Διαμόρφωση Δρομέα Σύγχρονων Μηχανών



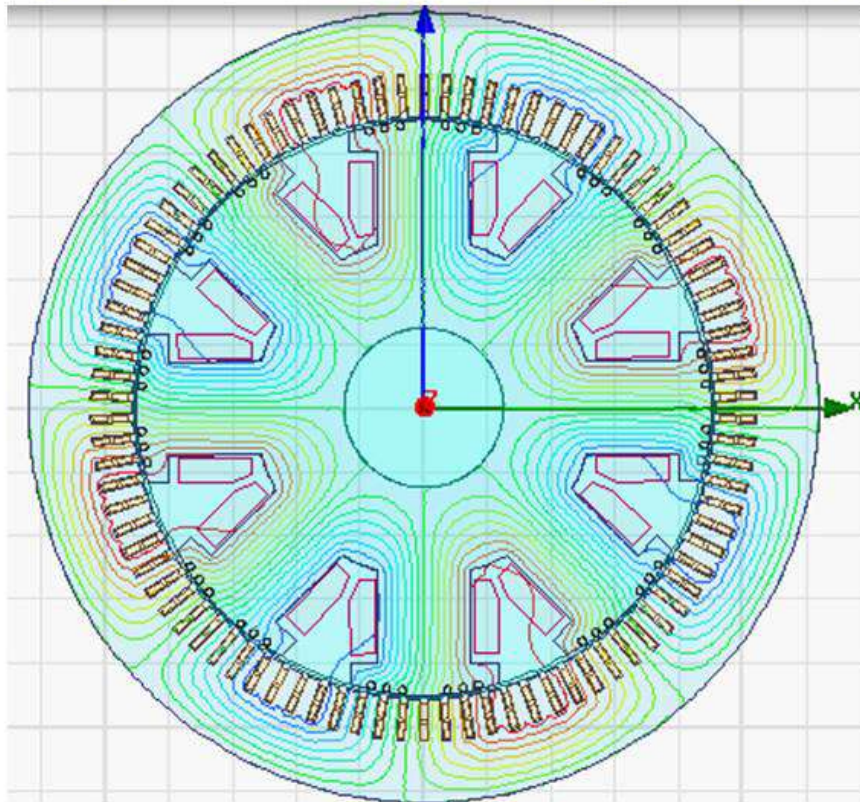
Κυλινδρικός δρομέας



Δρομέας έκτυπων πόλων

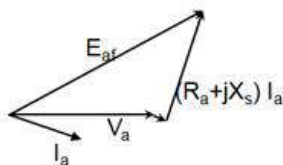
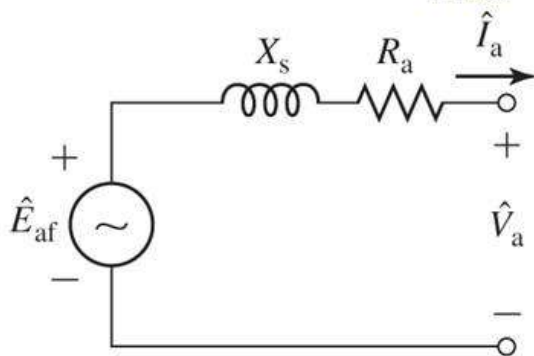


Κατανομή Πεδίου σε Σύγχρονη Μηχανή



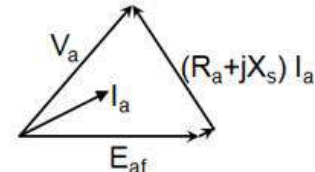
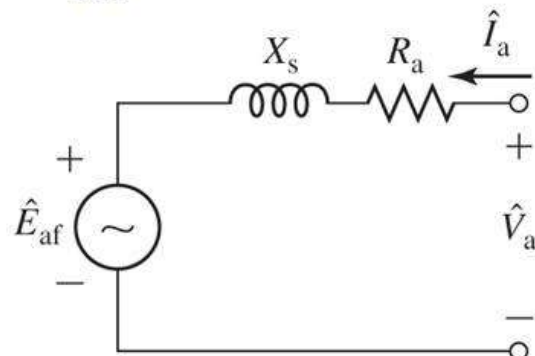


Ανά φάση Ισοδύναμο Κύκλωμα Σύγχρονων Μηχανών



Λειτουργία Γεννήτριας
(παραγωγή αέργου ισχύος)

$$\hat{V}_a = -R_a \hat{I}_a - jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af}$$



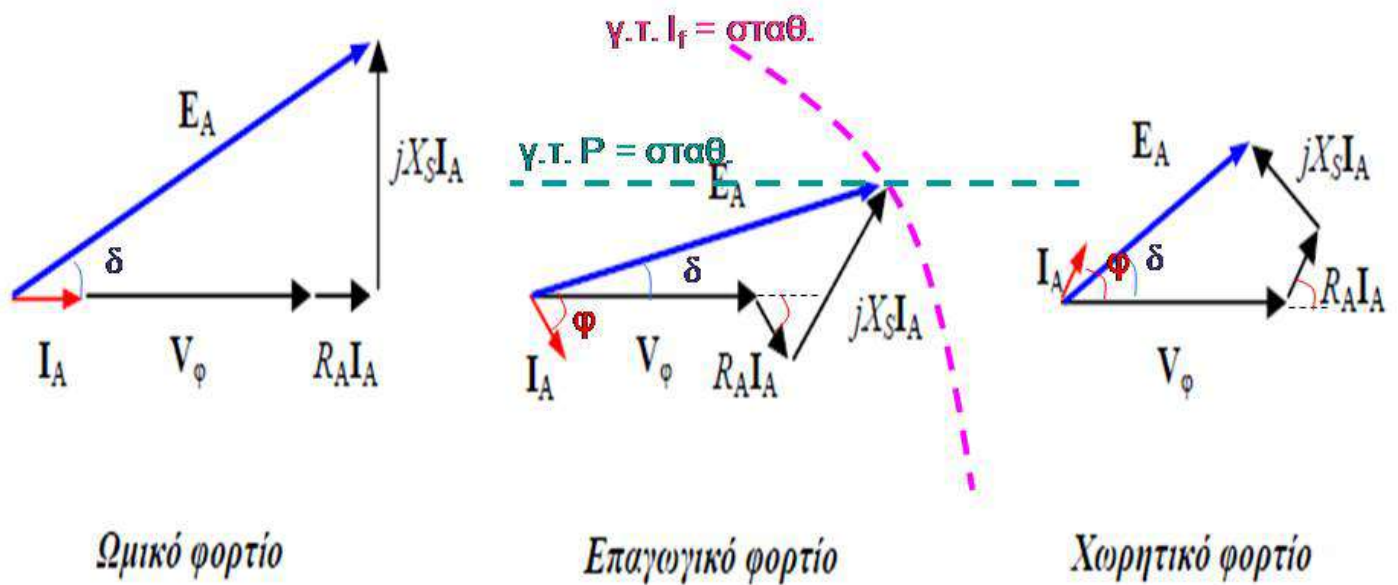
Λειτουργία Κινητήρα
(απορρόφηση αέργου ισχύος)

$$\hat{V}_a = R_a \hat{I}_a + jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af}$$



Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας

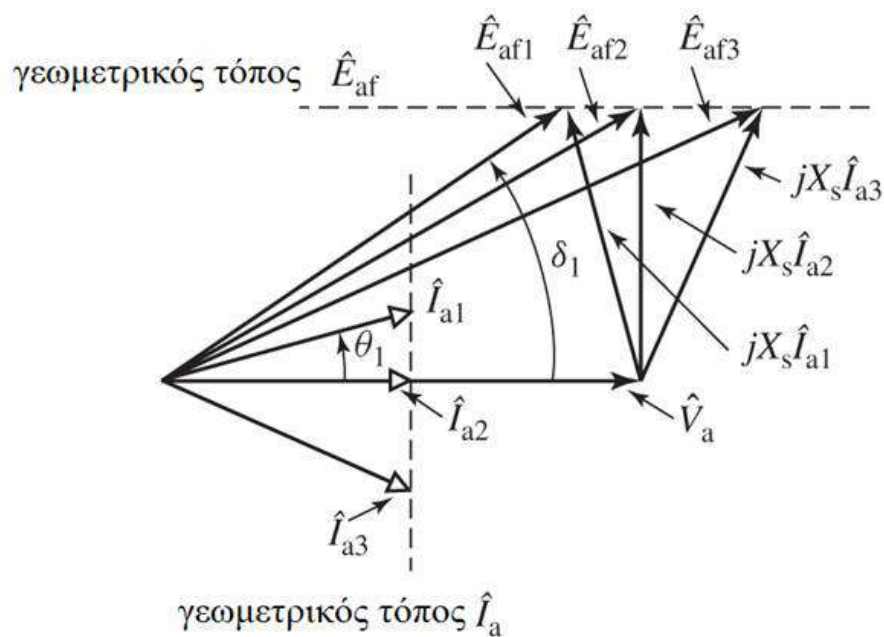
Διανυσματικά διαγράμματα λειτουργίας για διάφορους τύπους φορτίου





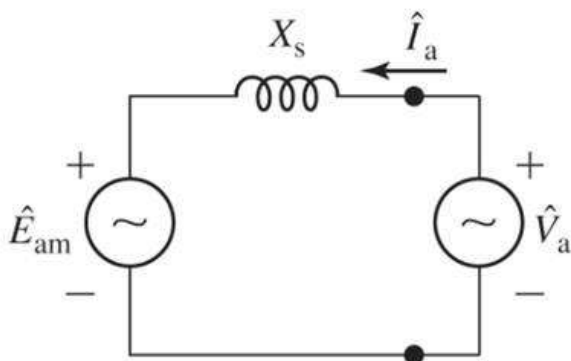
Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας

Μεταβολή διεγέρσεως γεννήτριας συνδεδεμένης σε ζυγούς σταθερής τάσεως με σταθερή κινητήρια ροπή

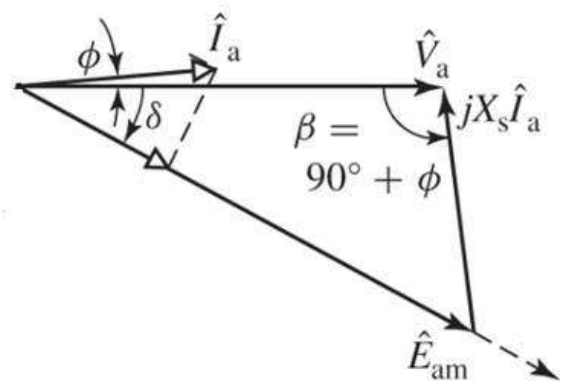




Λειτουργία Σύγχρονου Κινητήρα (περίπτωση παραγωγής αέργου ισχύος)



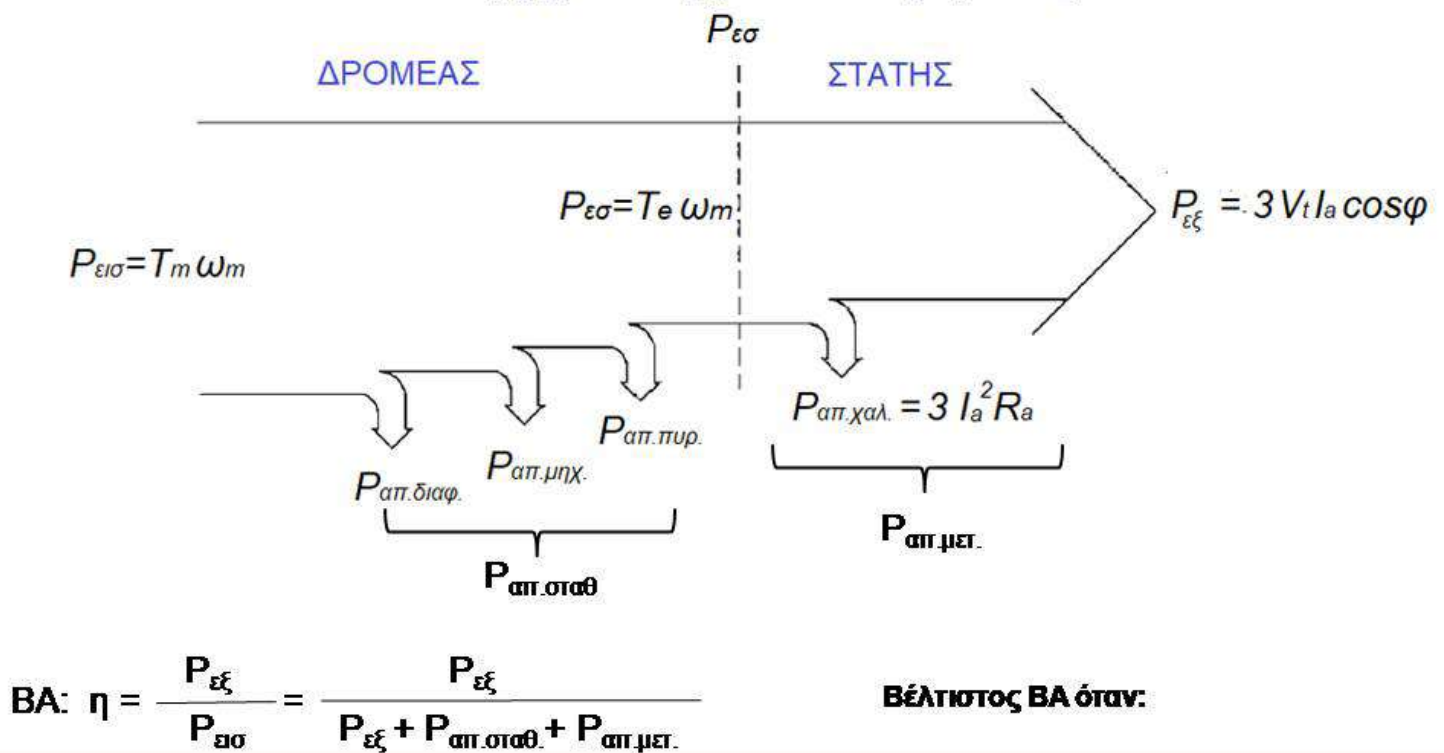
Ισοδύναμο κύκλωμα



Διανυσματικό διάγραμμα

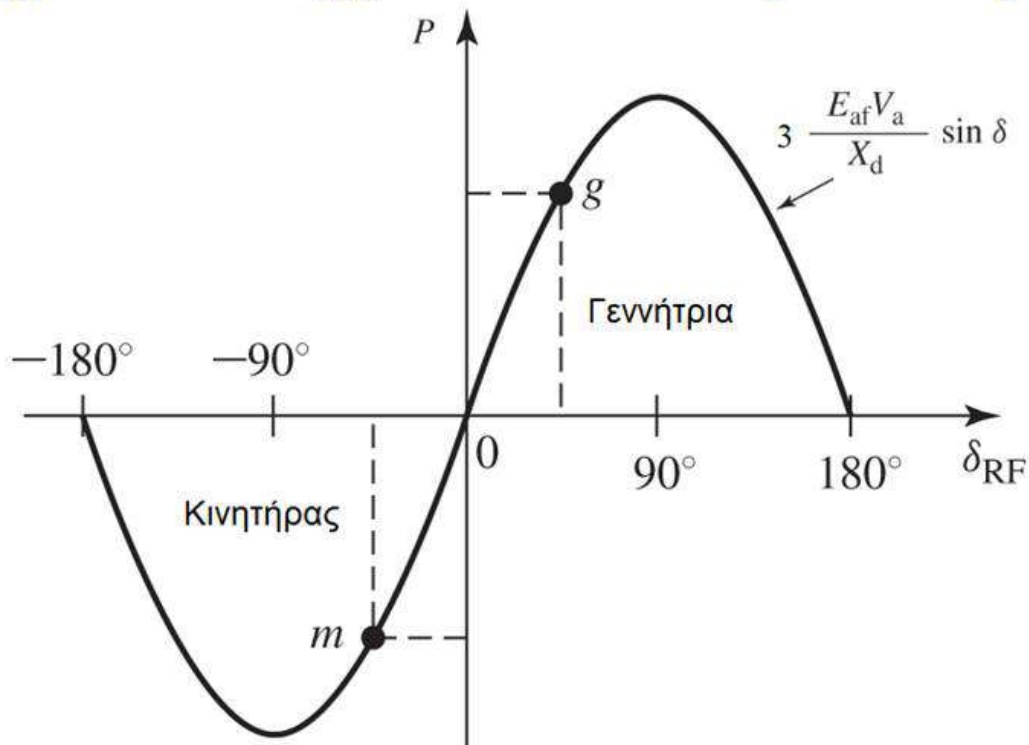


Ροή Ισχύος και Βαθμός Απόδοσης Σύγχρονης Γεννήτριας



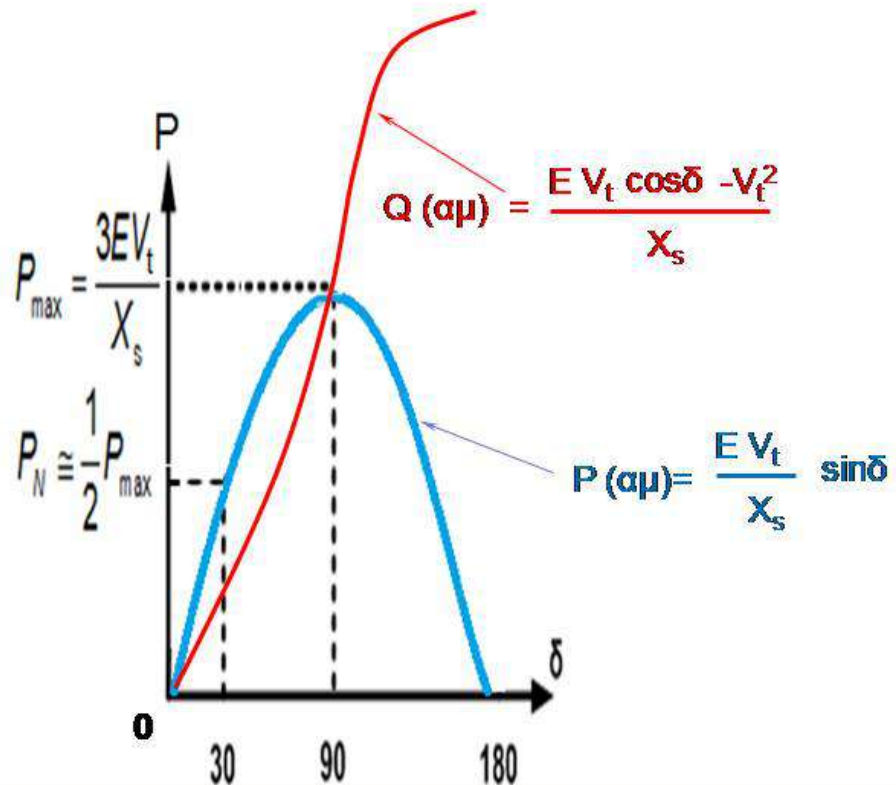


Χαρακτηριστική Ενεργού Ισχύος – Γωνίας Ροπής Σύγχρονων Μηχανών Κυλινδρικού Δρομέα



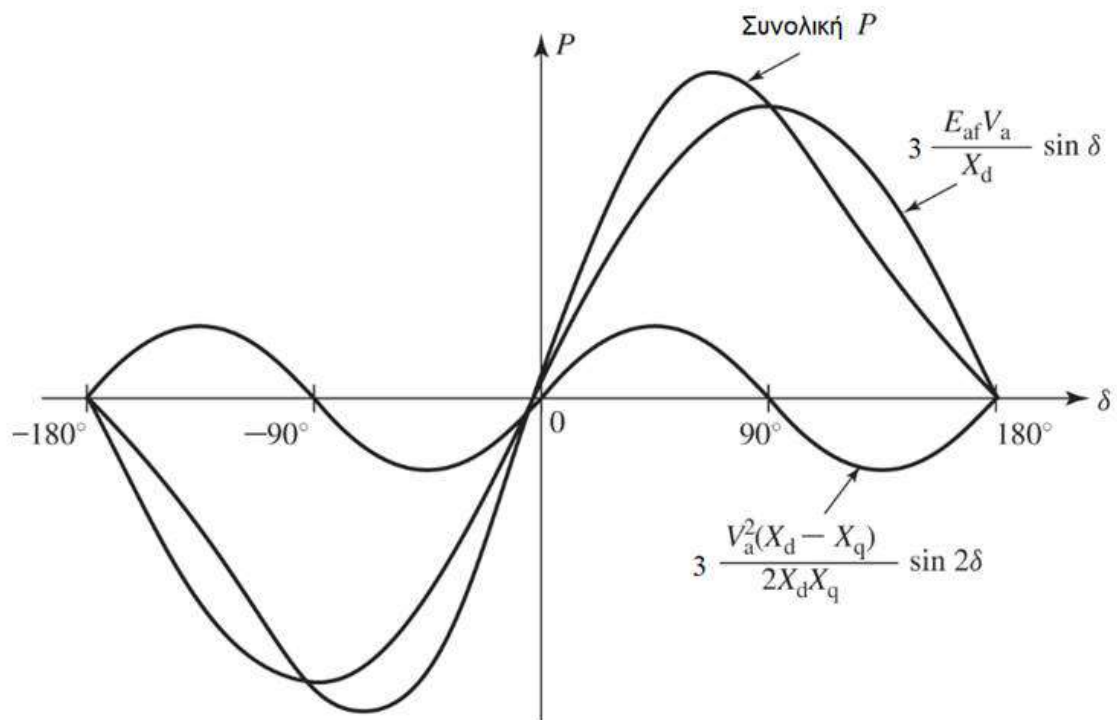


Χαρακτηριστικές Ενεργού Ισχύος P , Αέργου Ισχύος Q – Εσωτερικής Γωνίας Ροπής δ γεννήτριας συνδεδεμένης σε ζυγούς σταθερής τάσεως



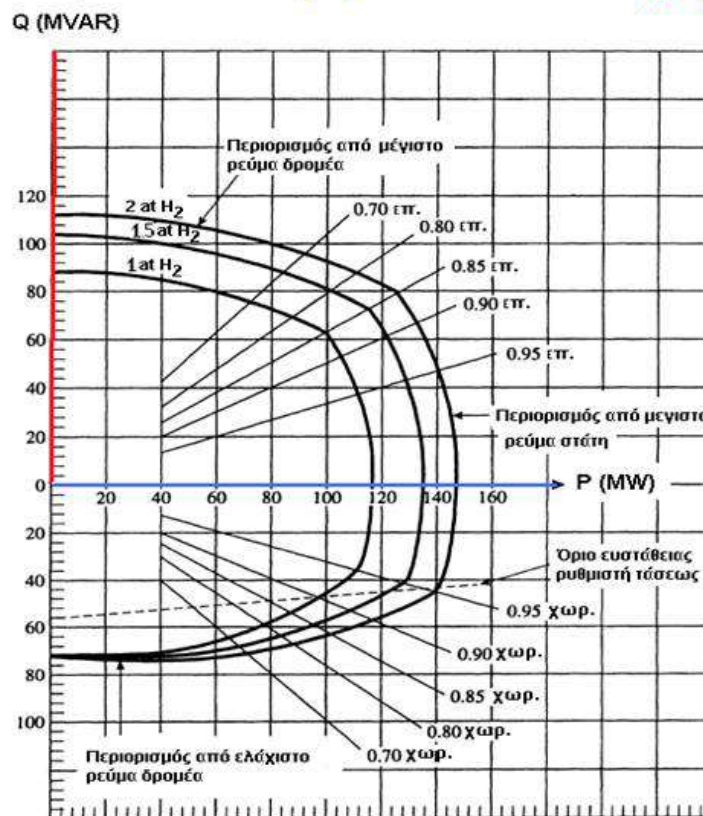


Χαρακτηριστική Ενεργού Ισχύος – Γωνίας Ροπής Σύγχρονων Μηχανών Έκτυπου Δρομέα



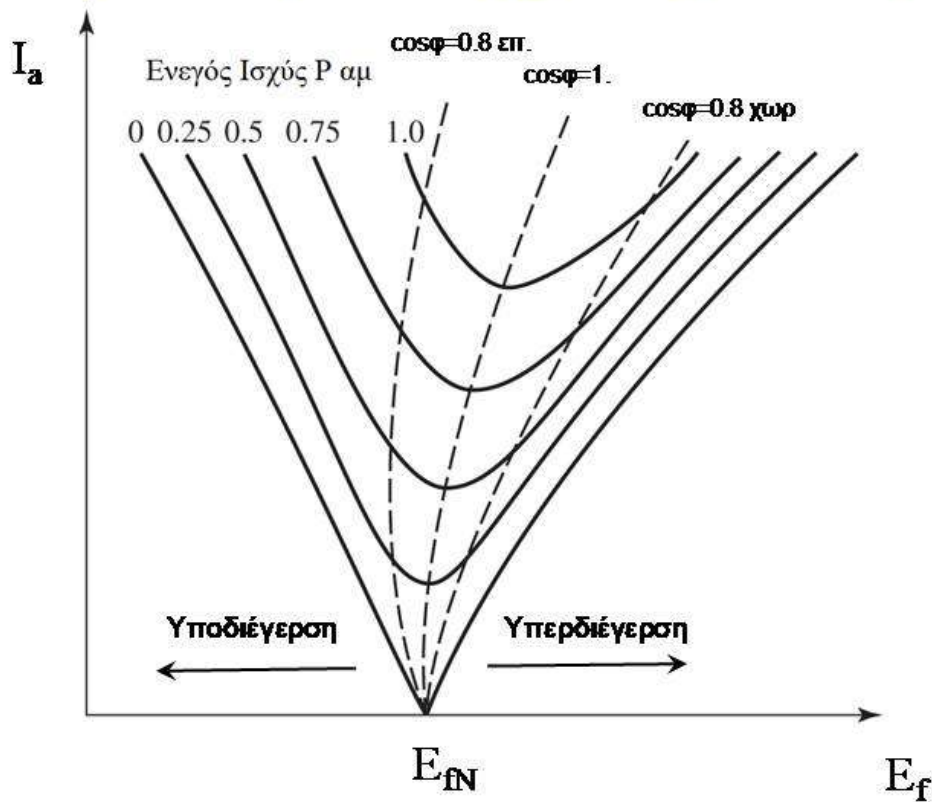


Λειτουργικά Όρια Ενεργού και Αέργου Ισχύος



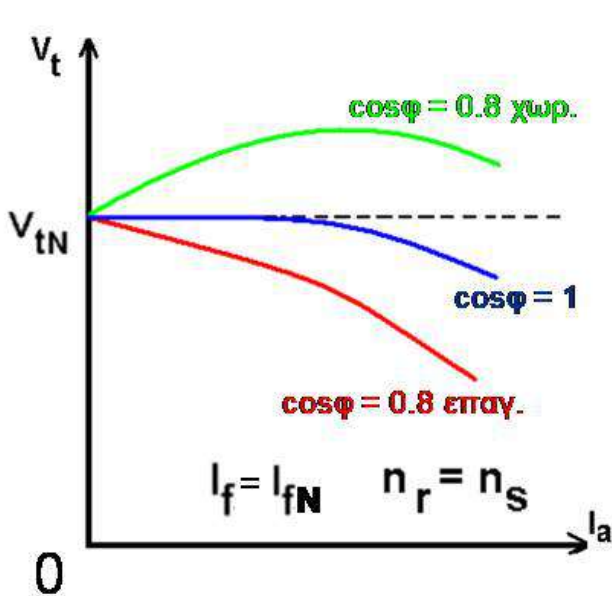


Καμπύλες V Σύγχρονης Γεννήτριας

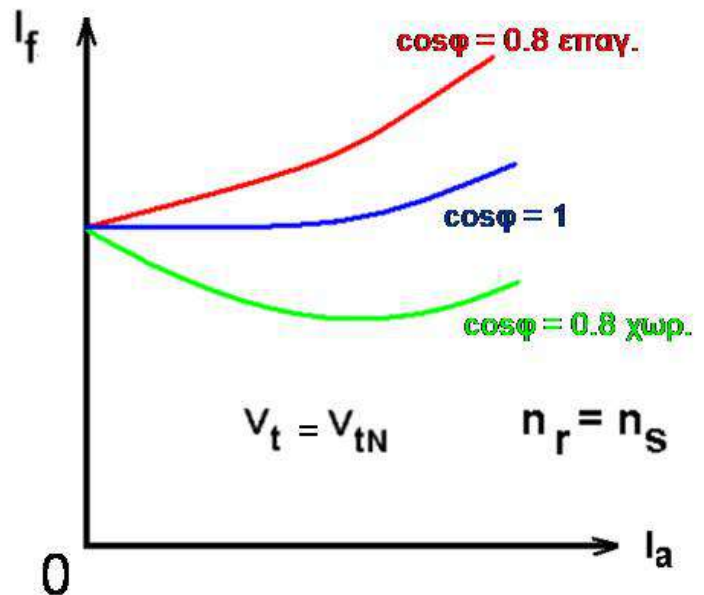




Απομονωμένη Λειτουργία Σύγχρονης Γεννήτριας



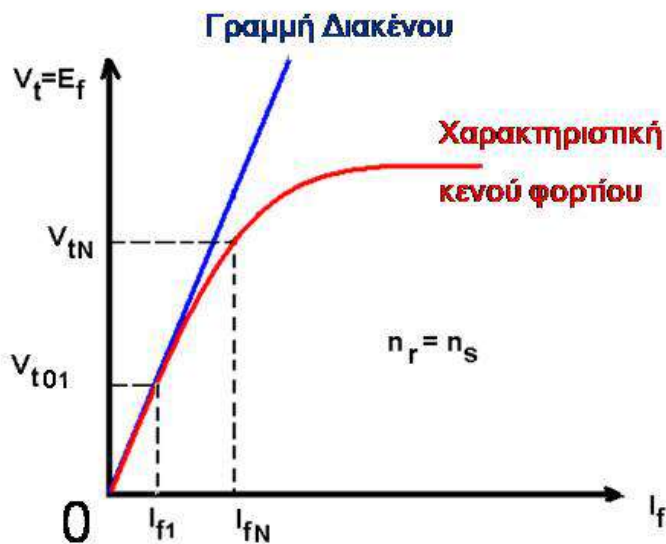
Χαρακτηριστικές φορτίσεως



Χαρακτηριστικές ρυθμίσεως



Δοκιμές προσδιορισμού παραμέτρων ισοδυνάμου κυκλώματος

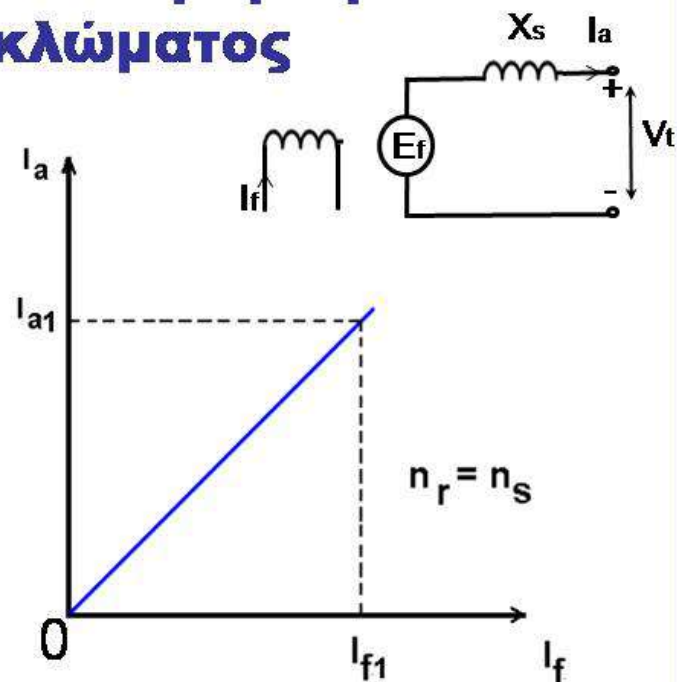


Δοκιμή κενού φορτίου

$$X_s \approx \frac{V_{t01}}{I_{a1}}$$

όταν $R_a \ll X_s$

(σε αντίθετη περίπτωση προσδιορισμός R_a με δοκιμή ΣΡ)



Δοκιμή βραχυκυκλώσεως



Εφαρμογή 1

Τριφασική σύγχρονη γεννήτρια 1200kVA, 3300V, 50 Hz, συνδέσεως αστέρα κατά τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος μετρήθηκε πολική τάση 100V και ρεύμα 200A ενώ κατά τη δοκιμή βραχυκυκλώματος μετρήθηκε ρεύμα στάτη 200A για ρεύμα διεγέρσεως 40A το οποίο στη δοκιμή κενού φορτίου αντιστοιχεί σε τάση ακροδεκτών στάτη 1100V. Θεωρώντας το μαγνητικό κύκλωμα σταθερό να υπολογισθεί η ΗΕΔ διεγέρσεως για ονομαστική φόρτιση με ΣΙ φορτίου 0.8 επαγωγικό.

Λύση

Από τη δοκιμή συνεχούς ρεύματος η ωμική αντίσταση τυλίγματος στάτη είναι:

$$R = \frac{V_{\Sigma P}}{2I_{\Sigma P}} = \frac{100V}{2(200A)} = 0.25\Omega$$



Γιά ρεύμα διεγέρσεως 40 A

η ανά φάση ΗΕΔ είναι $E_{f1} = \frac{1100}{\sqrt{3}} = 635.1 \text{ V}$

$$Z_s = \frac{E_{f1}}{I_{sc}} = \frac{635.1}{200} = 3.175 \Omega$$

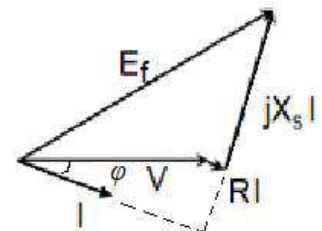
$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R^2} = \sqrt{(3.175)^2 - (0.25)^2} = 3.175 \Omega$$

Σε πλήρες φορτίο ισχύει: $I = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3300} = 210 \text{ A}$

$$V = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{3300}{\sqrt{3}} = 1905.2 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0.8, \sin \phi = \sin \cos^{-1} 0.8 = 0.6$$

$$\begin{aligned} E_f &= \sqrt{(V \cos \phi + IR)^2 + (V \sin \phi + IX_s)^2} \\ &= \sqrt{(1905.2 \times 0.8 + 210 \times 0.25)^2 + (1905.2 \times 0.6 + 210 \times 3.175)^2} \\ &= 2400 \text{ V} \end{aligned}$$





Εφαρμογή 2

Σύγχρονη τριφασική εξαπολική γεννήτρια 20 kVA, 380 V, 50 Hz συνδεσμολογίας αστέρα έχει σύγχρονη επαγωγική αντίδραση 1 α.μ., αμελητέα ωμική αντίσταση και αμελητέες απώλειες περιστροφής. Το ονομαστικό ρεύμα διεγέρσεως της γεννήτριας είναι 5 A (ρεύμα διεγέρσεως το οποίο εξασφαλίζει ονομαστική τάση ακροδεκτών σε κενό φορτίο όταν ο δρομέας στρέφεται με ονομαστική ταχύτητα). Το μαγνητικό κύκλωμα της γεννήτριας μπορεί να θεωρηθεί γραμμικό.

α) Η γεννήτρια τροφοδοτεί με ονομαστική τάση ωμικό τριφασικό φορτίο και η ροπή στον άξονά της είναι 100 Nm. Να υπολογισθούν το ρεύμα διεγέρσεως και η γωνία ροπής δ.

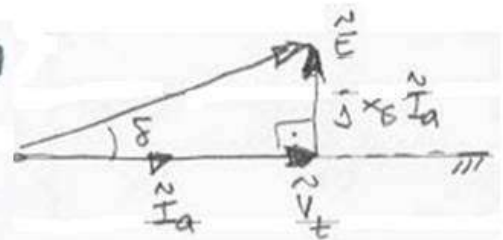
β) Στη συνέχεια η γεννήτρια συνδέεται σε δίκτυο ονομαστικής τάσεως και παράγει ενεργό ισχύ 10 kW ενώ το ρεύμα διεγέρσεώς της είναι 7.5 A. Να σχεδιασθεί το διανυσματικό διάγραμμα λειτουργίας της και να υπολογισθεί η άεργος ισχύς που ανταλλάσσει με το δίκτυο.



Λύση

$$a) P_m = T_m \omega_m = (100 \text{ Nm}) \left(104,7 \frac{\text{r}}{\text{s}} \right) = 10.473 \text{ W}$$

$$I_a = \frac{P_{el}}{\sqrt{3} U_{LN}} = \frac{P_m}{\sqrt{3} 380 \text{ V}} = 15,91 \text{ A}$$

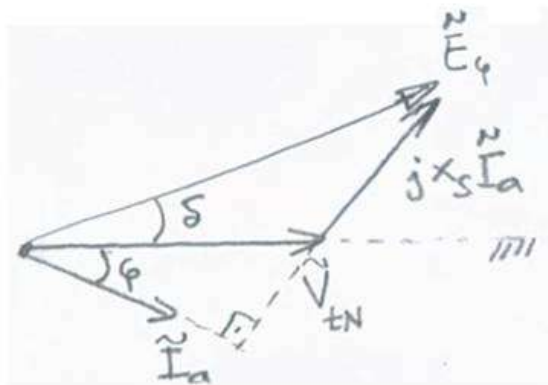


$$\left. \begin{aligned} E_f^2 &= V_{tN}^2 + (I_a X_s)^2 \\ X_s = Z_s &= \frac{U_{tN}^2}{S_N} = \frac{(380 \text{ V})^2}{(20 \times 10^3 \text{ VA})} = 7,22 \, \Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_f = 247,6 \text{ V} \Rightarrow I_f = 5,6 \text{ A}$$

$$\delta = \arctan\left(\frac{I_a X_s}{V_{tN}}\right) = 27,6^\circ$$



β)



$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{E}_f - \tilde{V}_{tN}}{jX_s} = \frac{330 \angle 18^\circ - 220 \angle 0^\circ}{7,22 \angle 90^\circ} = 19,7 \angle 39,6^\circ \text{ A}$$

$$P = \frac{3 E_f V_{tN}}{X_s} \sin \delta \Rightarrow \delta = 19,5^\circ$$

$$Q = 3 V_t I_a \sin \varphi = 8.262 \text{ VAR}$$



$$P = \frac{EV}{X_s} \sin \delta \Rightarrow \sin \delta = \frac{PX_s}{EV} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sin \delta_A = \frac{0,4 \cdot 1}{1,2 \cdot 1} = 0,333 \\ \delta_A = 19,5^\circ \end{array} \right.$$

$$Q = \frac{VE \cos \delta - V^2}{X_s} \Rightarrow Q_A = 0,131 \text{ αμ} \rightarrow \cos \varphi_A = 0,95$$



Εφαρμογή 3

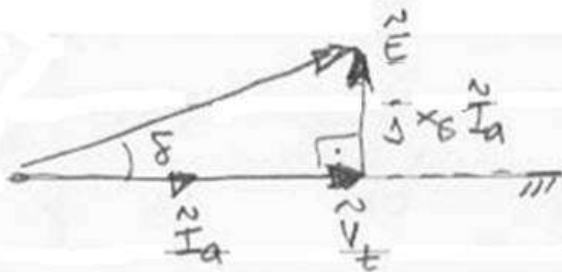
Οκταπολική τριφασική σύγχρονη γεννήτρια ονομαστικών μεγεθών 10 kVA, 380 V, 50 Hz, συνδεσμολογημένη κατ' αστέρα, έχει σύγχρονη αντίδραση $x_s = 10 \, \Omega$ ανά φάση και αμελητέα ωμική αντίσταση. Το ρεύμα διεγέρσεως της που εξασφαλίζει τάση εν κενώ ίση με την ονομαστική είναι 5 A. Η μηχανή τροφοδοτεί μεταβλητό φορτίο υπό ονομαστική συχνότητα. Ζητούνται (θεωρήστε σε όλες τις περιπτώσεις γραμμικό το μαγνητικό κύκλωμα):

- α) Να σχεδιαστεί το διανυσματικό διάγραμμα λειτουργίας και να υπολογισθεί η ΗΕΔ διεγέρσεως της γεννήτριας όταν τροφοδοτεί υπό ονομαστική τάση απομονωμένο συμμετρικό τριφασικό φορτίο αποτελούμενο από τρεις ωμικές αντιστάσεις $25 \, \Omega$ κάθε μία συνδεδεμένες σε αστέρα.
- β) Η αναπτυσσόμενη ροπή και το ρεύμα διεγέρσεως αν το ρεύμα τυμπάνου είναι 0,5 α.μ. με Σ.Ι. 0,8 επαγωγικό και η τάση ακροδεκτών ίση με 1.05 α.μ.



Λύση

(α)

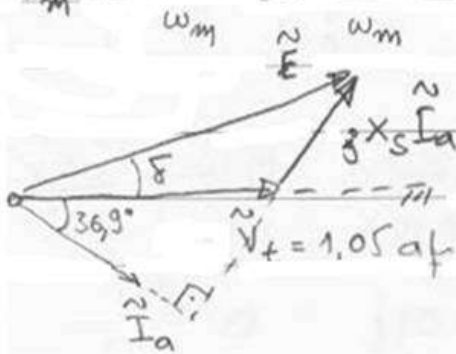


$$\vec{E} = \vec{V}_t + j X_s \vec{I}_a = 220 \text{ V} + j X_s \left(\frac{220}{R} \right) \text{ V}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = 237 \angle 21,8^\circ \text{ V}$$

(β)

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{P_{el}}{\omega_m} = 1,05 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \text{ a.f.} = 0,42 \text{ a.f.} = 53,5 \text{ N.m.}$$



$$Z_B = \frac{360^2}{10000} = 12,96 \Omega$$

$$X_{s(\text{a.f.})} = \frac{X_s(\Omega)}{Z_B} = 0,693 \text{ a.f.}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{V}_t + j X_s \vec{I}_a = [1,05 + j (0,693)(0,5 \angle -36,9^\circ)] \text{ a.f.} \\ &= (1,258 + j 0,227) \text{ a.f.} = 1,288 \angle 12,42^\circ \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \underline{I_t = 6,44 \text{ A}}$$



Εφαρμογή 4

Σύγχρονη τριφασική διπολική γεννήτρια 150 MVA, 20 kV, 50 Hz συνδεσμολογίας αστέρα έχει σύγχρονη επαγωγική αντίδραση 1,5 αμ, αμελητέα ωμική αντίσταση και αμελητέες απώλειες περιστροφής. Το ονομαστικό ρεύμα διεγέρσεως της γεννήτριας είναι 5 A (ρεύμα διεγέρσεως το οποίο εξασφαλίζει ονομαστική τάση ακροδεκτών σε κενό φορτίο όταν ο δρομέας στρέφεται με ονομαστική ταχύτητα) και το μαγνητικό της κύκλωμα είναι γραμμικό. Η γεννήτρια συνδέεται μέσω μετασχηματιστή 20 kV / 150 kV, 150 MVA, 50 Hz, $X = 10\%$ σε ζυγό σταθερής τάσεως (άπειρο σύστημα) 165 kV.

α) Να υπολογιστούν οι τιμές σε Ω της ανά φάση επαγωγικής αντίστασης του μετασχηματιστή X' και X'' ανηγμένες στην πλευρά της XT και της YT, αντίστοιχα.

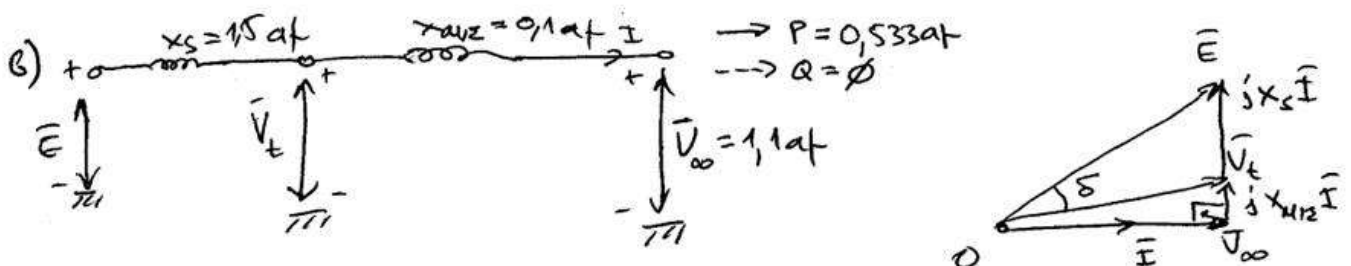
β) Να υπολογιστούν η ροπή, η ΗΕΔ και η γωνία ροπής δ της γεννήτριας όταν αποδίδονται 80 MW στο άπειρο σύστημα υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

γ) Εάν το ρεύμα διεγέρσεως της γεννήτριας αυξηθεί σε 8 A ενώ η γεννήτρια παράγει την ίδια ενεργό ισχύ, να υπολογιστεί η άεργος ισχύς Q που αποδίδεται στο άπειρο σύστημα.



Λύση

$$\begin{aligned} \alpha) \quad Z_{bXT} &= \frac{(20 \times 10^3)^2}{150 \times 10^6} = 2,67 \, \Omega & Z_{bYT} &= \frac{(150 \times 10^3)^2}{150 \times 10^6} = 150 \, \Omega \\ X'_A &= 0,1 \times 2,67 = 0,267 \, \Omega & X''_A &= 0,1 \times 150 = 15 \, \Omega \end{aligned}$$



$$T_A = \frac{P}{\omega_s} = \frac{254 \text{ kNm}}{0.533} = 0.4848 \text{ pu}$$
$$\bar{I} = \frac{P}{V_\infty} = \frac{0.533}{1.1} = 0.4848 \text{ pu}$$

$$\bar{E} = \bar{V}_\infty + j(X_{ar} + X_s)\bar{I} = 1.1 \text{ pu} + j(1.6)(0.4848) \text{ pu} = (1 + j0.776) \text{ pu}$$

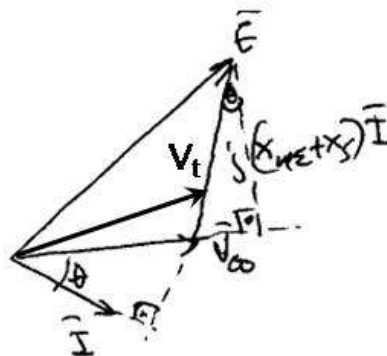
$$= 1.346 \angle 35.2^\circ \text{ pu} \Rightarrow \underline{\bar{E}_A = 15.5 \text{ kV}} \text{ ανά φάση}$$

$$\bar{V}_t = \bar{V}_\infty + jX_{ar}\bar{I} = 1.1 \text{ pu} + j(0.1)(0.4848) \text{ pu} = (1.1 + j0.04848) \text{ pu} = 1.101 \text{ pu} \angle 2.5^\circ$$

$$\Rightarrow \delta_A = 35.2^\circ - 2.5^\circ = \underline{32.7^\circ}$$



γ)



$$I \cos \theta = \frac{P}{V_{oc}} = \frac{0,533}{1,1} = 0,4848 \text{ af}$$

$$E^2 = \left[(x_{ms} + x_s) I \cos \theta \right]^2 + \left[V_{oc} + (x_{ms} + x_s) I \sin \theta \right]^2 \Rightarrow I \sin \theta = 0,19 \text{ af}$$

$$Q = V_{oc} I \sin \theta = 9,2 \text{ af} \rightarrow Q = 30,9 \text{ kVAR}$$



Εφαρμογή 5

Σύγχρονη τριφασική διπολική γεννήτρια 50 kVA, 380 V, 50 Hz, συνδεσμολογίας αστέρα, έχει σύγχρονη επαγωγική αντίδραση 1 μ m και αμελητέα ωμική αντίσταση. Όταν λειτουργεί σε κενό φορτίο (μηδενικό ρεύμα στάτη) χρειάζεται ρεύμα διεγέρσεως 5 A για την παραγωγή ονομαστικής τάσεως. Οι απώλειες είναι αμελητέες και το μαγνητικό κύκλωμα της μηχανής μπορεί να θεωρηθεί γραμμικό.

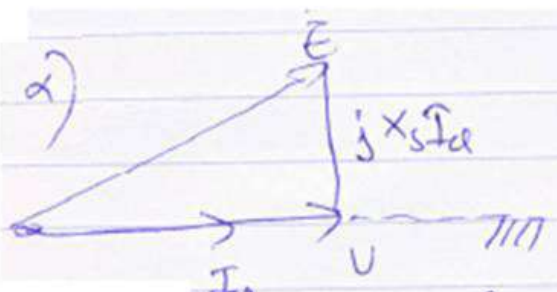
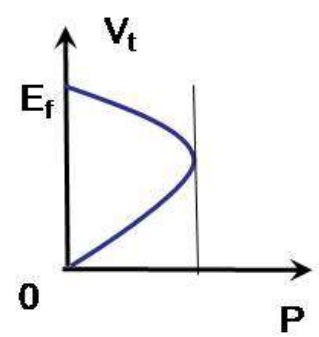
α) Να υπολογισθεί η τάση ακροδεκτών όταν η γεννήτρια λειτουργεί ανεξάρτητη με ρεύμα διεγέρσεως 6 A τροφοδοτώντας φορτίο 20 kW με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

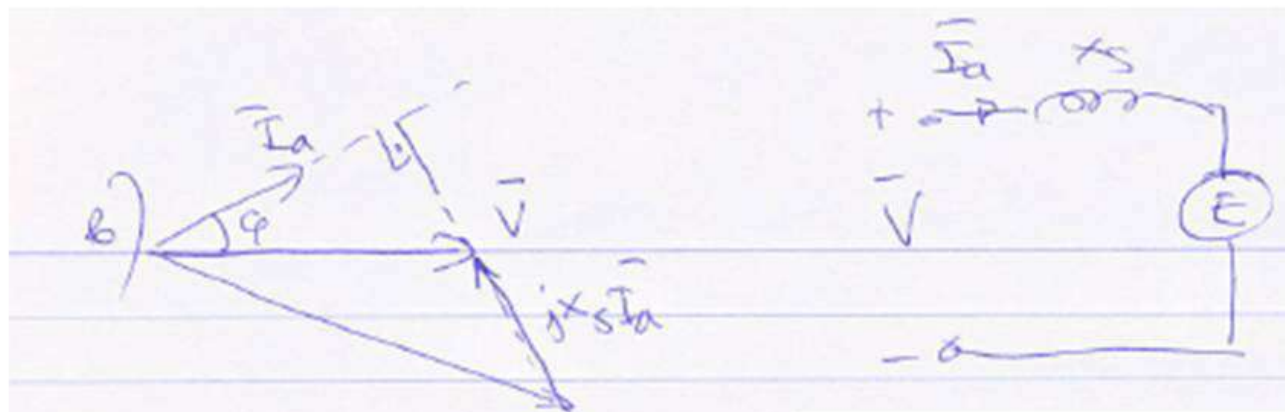
β) Να υπολογισθούν η ροπή στον άξονα, η γωνία ροπής δ και ο συντελεστής ισχύος, όταν η μηχανή συνδέεται σε δίκτυο σταθερής τάσεως ίσης με την ονομαστική και λειτουργεί ως κινητήρας απορροφώντας ενεργό ισχύ 20 kW με συνθήκες διεγέρσεως ίδιες με εκείνες του ερωτήματος α)



Λύση

α)


$$|E|^2 = |V|^2 + |X_s I_a|^2 \rightarrow$$
$$|E|^2 = |V|^2 + \left| \frac{X_s \cdot P}{V} \right|^2$$
$$\Rightarrow 1,2^2 = |V|^2 + \frac{1 \cdot 0,4}{|V|^2}$$
$$\Rightarrow A: |V|^4 - 1,44 |V|^2 + 0,16 = 0$$
$$\rightarrow |V|^2 = \begin{cases} 1,318 \Rightarrow |V| = 1,15 \\ 0,121 \Rightarrow |V| = 0,348 \end{cases}$$




$$T_e = \frac{P}{\omega_s} \quad \Rightarrow \quad T_A = \frac{20.000 \text{ W}}{314,1 \text{ rad/s}} = 63,7 \text{ N.m}$$