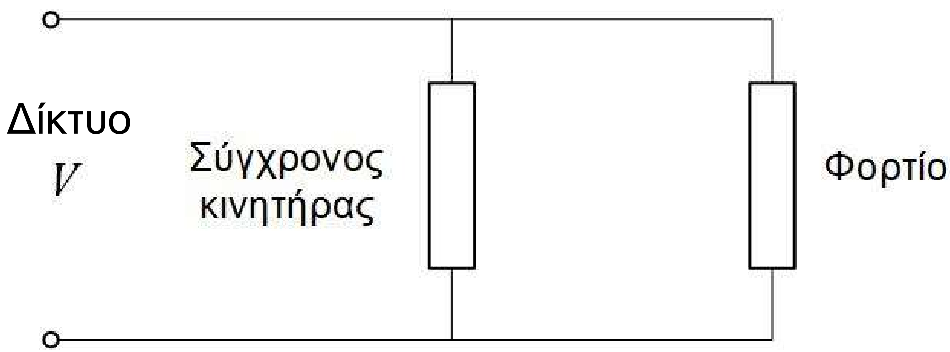
Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)

Σύγχρονη Μηχανή (Ασκήσεις)

Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου
Καθ. ΕΜΠ

Άσκηση 1

Εγκατάσταση καταναλωτή περιλαμβάνει φορτίο κίνησης με σύγχρονο κινητήρα και λοιπά φορτία, με τα εξής στοιχεία:



Στοιχεία λοιπών φορτίων:

$$S_{\varphi} = 50\ kVA, cos\varphi = 0{,}8\ \varepsilon\pi\alpha\gamma.$$

Στοιχεία κινητήρα:

$$S_{ON} = 100\ kVA, V_{ON} = 400\ V$$
$$f = 50\ Hz, R = 0, X = 1{,}5\ \alpha.\mu.$$
$$P = 4\ \pi\acute{o}\lambda o\iota$$

Ο κινητήρας λειτουργεί υπό ονομαστική τάση δικτύου $V = V_{\mathrm{ON}}$, απορροφώντας ισχύ $80\ kW$. Ζητούνται:

α) Ποια η ΗΕΔ διέγερσης E_f του σύγχρονου κινητήρα ώστε ο συνολικός Σ.Ι. της εγκατάστασης του καταναλωτή να είναι ίσος με τη μονάδα;

β) Πόση είναι η γωνία ροπής;

γ) Αν μειωθεί κατά 20% η τάση διέγερσης, πόσος θα γίνει ο συνολικός Σ.Ι.;

Λύση

α)

Για να είναι ο συνολικός Σ.Ι. ίσος με τη μονάδα, θα πρέπει η συνολική άεργος ισχύς που καταναλώνει το σύστημα του φορτίου-κινητήρα να είναι ίση με μηδέν. Δηλαδή:

$$Q_k = -Q_\varphi$$

$$\tilde{S}_\varphi = P_\varphi + jQ_\varphi = S_\varphi cos\varphi + jS_\varphi sin\varphi$$

Για $cos\varphi = 0{,}8$ $(sin\varphi = 0{,}6)$:

$$Q_\varphi = S_\varphi sin\varphi = 50 \cdot 0{,}6 = 30\ kVAr$$

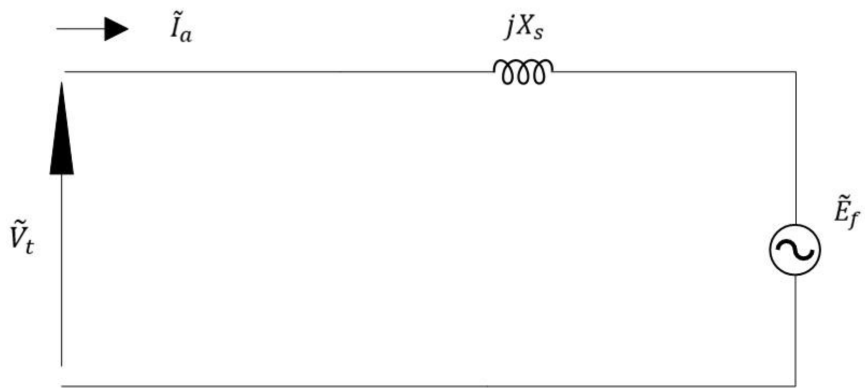
Με σύμβαση κινητήρα για τις ισχείς (θετικές όταν απορροφούνται) και βάση ισχύος τα ονομαστικά kVA του κινητήρα (100 kVA):

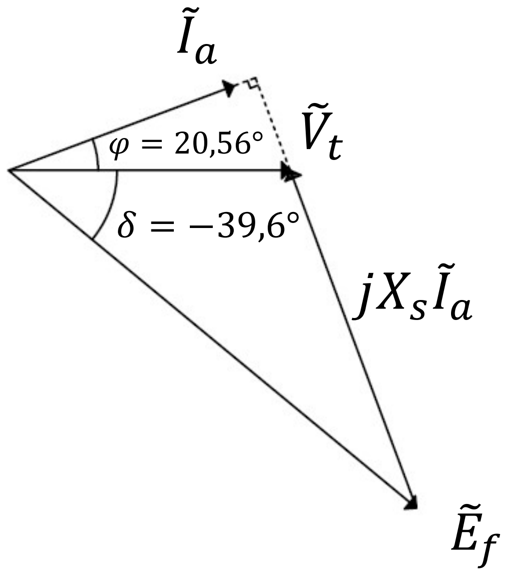
$$P_k = 80\ kW = 0{,}8\ \alpha.\mu.$$

$$Q_k = -30\ kVAr = -0{,}3\ \alpha.\mu.$$

Το ρεύμα του σύγχρονου κινητήρα είναι:

$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{S}_k^*}{\tilde{V}_t^*} = \frac{0{,}8 + j0{,}3}{1} = 0{,}8 + j0{,}3 = 0{,}854\angle 20{,}56^\circ \ \alpha.\mu.$$





Από το ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα:

$$\tilde{V}_t = \tilde{E}_f + jX_s\tilde{I}_a$$

Θεωρώντας ως διάνυσμα αναφοράς το $\tilde{V}_t$

$$\tilde{V}_t = V_t\angle 0^\circ = 1\angle 0^\circ$$

προκύπτει

$$\tilde{E}_f = 1\angle 0^\circ - j1{,}5 \cdot (0{,}8 + j0{,}3) = 1{,}88\angle -39{,}6^\circ \ \alpha.\mu.$$

Επομένως η τάση διέγερσης είναι

$$E_f = 1{,}88 \cdot 400 = 752\, V \text{ (πολική)}$$

Λειτουργία σε υπερδιέγερση, αφού παράγει άεργο ισχύ.

β)

Γωνία ροπής = γωνία μεταξύ διανυσμάτων $\tilde{E}_f$ και $\tilde{V}_t$:

$$\delta = -39{,}6° \text{ (}\delta < 0 \text{ εφόσον πρόκειται για κινητήρα)}$$

γ)

Στην περίπτωση αυτή έχουμε:

$$E_f' = 0{,}8E_f = 1{,}504\ \alpha.\mu.$$

για V_t, P_k σταθερά.

Η ενεργός ισχύς του σύγχρονου κινητήρα θα είναι:

$$P_k = \frac{E_f V_t}{X_s} sin\delta \Rightarrow sin\delta = \frac{P_k X_s}{E_f V_t} = \frac{(-0{,}8)\cdot 1{,}5}{1{,}504\cdot 1} = -0{,}798 \Rightarrow \delta = -53°$$

Από το ισοδύναμο κύκλωμα:

$$\tilde{V}_t = \tilde{E}_f + jX_s\tilde{I}_a \Rightarrow \tilde{I}_a = \frac{\mathrm{V_t}\angle 0° - E_f\angle\delta}{jX_s} = \frac{1\angle 0° - 1{,}504\angle -53°}{j1{,}5} \Longrightarrow$$

$$\tilde{I}_a = 0{,}803\angle -4{,}52°\ \alpha.\mu.$$

Η ισχύς του κινητήρα είναι:

$$\tilde{S}_k = P_k + jQ_k = \tilde{V}_t\cdot\tilde{I}_a^* = 1\angle 0°\cdot 0{,}803\angle 4{,}52° = 0{,}8 + j0{,}063\ \alpha.\mu.$$

Άρα

$$\tilde{S}_k = 80\ (kW) + j6{,}3\ (kVAr)$$

Η ισχύς του φορτίου είναι

$$\tilde{S}_\varphi = 40\ (kW) + j30\ (kVAr)$$

Άρα ο συνολικός Σ.Ι. είναι

$$cos\varphi_{o\lambda} = \frac{P_{o\lambda}}{S_{o\lambda}} = \frac{80+40}{\sqrt{(80+40)^2 + (6{,}3+30)^2}} = 0{,}95\ \varepsilon\pi\alpha\gamma.$$

Άσκηση 4

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

α)

$$\omega_m = \frac{2\pi f}{P/2} = \frac{100\pi}{3} = 104{,}72\,\frac{r}{s}$$

$$P_m = T_m \omega_m = 100 \cdot 104{,}72 = 10.473\ W$$

$$I_a = \frac{P_e}{\sqrt{3}V_{tN}} = \frac{P_m}{\sqrt{3}V_{tN}} = \frac{10473}{\sqrt{3}\cdot 380} = 15{,}91\ A$$

$$cos\varphi = 1 \rightarrow \tilde{I}_a = 15{,}91\angle 0° A$$

$$z_B = \frac{V_{tN}^2}{S_N} = \frac{380^2}{20\cdot 10^3} = 7{,}22\ \Omega$$

$$X_s = 1 \cdot 7{,}22 = 7{,}22\ \Omega$$

$$\tilde{E}_f = \tilde{V}_t^{\varphi} + jX_s\tilde{I}_a = 220\angle 0° + j7{,}22 \cdot 15{,}91 = 248{,}18\angle 27{,}57°\ V$$

$$\delta = 27{,}57°$$

$$I_f = 5 \cdot \frac{248{,}18}{220} = 5{,}64\ A$$

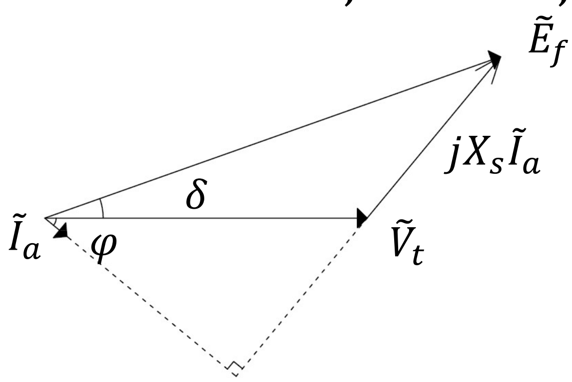
β)

$$E_f = 220 \cdot \frac{7{,}5}{5{,}0} = 330\ V$$

$$P = \frac{3E_f V_{tN}}{X_s} sin\delta \rightarrow sin\delta = \frac{PX_s}{3E_f V_{tN}} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 7{,}22}{3 \cdot 330 \cdot 220} \rightarrow \delta = 19{,}5°$$

$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{E}_f - V_{tN}}{jX_s} = \frac{330\angle 19{,}5° - 220\angle 0°}{j7{,}22} = 19{,}7\angle - 39{,}6°\ A$$

$$Q = 3V_t I_a sin\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 19{,}7 \cdot sin39{,}6° = 8.287{,}8\ VAr$$



Άσκηση 5

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

α)

$$z_{B,XT} = \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{150 \cdot 10^6} = 2{,}67\ \Omega$$

$$z_{B,YT} = \frac{(150 \cdot 10^3)^2}{150 \cdot 10^6} = 150\ \Omega$$

$$X' = 0{,}1 \cdot 2{,}67 = 0{,}267\ \Omega$$

$$X'' = 0{,}1 \cdot 150 = 15\ \Omega$$

β)

$$\omega_s = \frac{2\pi 50}{2/2} = 314\frac{r}{s}$$

$$T_A = \frac{P}{\omega_s} = \frac{80 \cdot 10^6}{314} = 254{,}78\ kNm$$

$$P = \frac{80}{150} = 0{,}533\ \alpha.\mu.$$

$$V_\Sigma = \frac{165}{150} = 1{,}1\ \alpha.\mu.$$
$$cos\varphi = 1$$

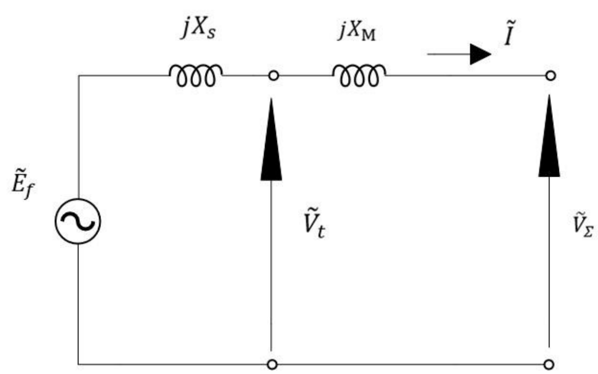
Άρα

$$I = \frac{P}{V_\Sigma} = \frac{0{,}533}{1{,}1} = 0{,}4848\ \alpha.\mu.$$

$$\tilde{E}_f = \tilde{V}_\Sigma + j(X_M + X_s)\tilde{I}_a = 1{,}1 + j1{,}6 \cdot 0{,}4848 = 1{,}1 + j0{,}776\ \alpha.\mu.$$
$$= 1{,}346\angle 35{,}2°\ V \rightarrow E_f^{\varphi} = 15{,}5\ kV$$

$$\tilde{V}_t = \tilde{V}_\Sigma + jX_M\tilde{I}_a = 1{,}1 + j0{,}1 \cdot 0{,}4848 = 1{,}1 + j0{,}04848\ \alpha.\mu.$$
$$= 1{,}101\angle 2{,}5°\ V$$

$$\delta_G = 35{,}2° - 2{,}5° = 32{,}7°$$



γ)

$$E_f' = \frac{8}{5} = 1{,}6\ \alpha.\mu.$$

$$P = \frac{E_f V_\Sigma}{X_s + X_M} sin\delta' \Rightarrow sin\delta' = \frac{0{,}533 \cdot 1{,}6}{1{,}6 \cdot 1{,}1} \rightarrow \delta' = 28{,}98°$$

$$Q = \frac{E_f V_\Sigma}{X_s + X_M} cos\delta' - \frac{V_\Sigma^2}{X_s + X_M} = \frac{1{,}6 \cdot 1{,}1}{1{,}6} cos28{,}98° - \frac{1{,}1^2}{1{,}6} = 0{,}206\ \alpha.\mu.$$
$$= 30{,}9\ MVAr$$