

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

« ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ »
5^ο ΕΞΑΜΗΝΟ

7^η ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

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

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ A.C.

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.

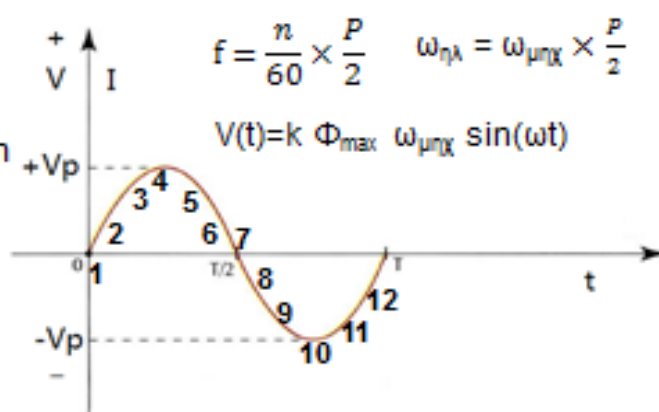


Παραγωγή ημιτονοειδούς κύματος

- Η πλήρης περιστροφή με σταθερή ταχύτητα ενός αγωγού μέσα σε ένα σταθερό και ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο παράγει ένα ημιτονοειδές κύμα.



Για $f=50\text{Hz}$
 $n = 3000\text{rpm}$



Τριφασικό εναλλασσόμενο σύστημα

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

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

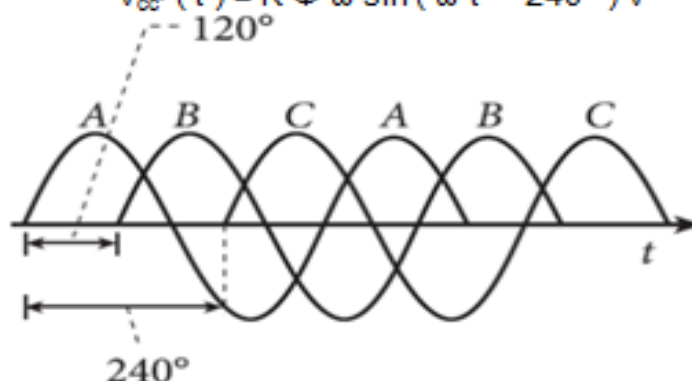
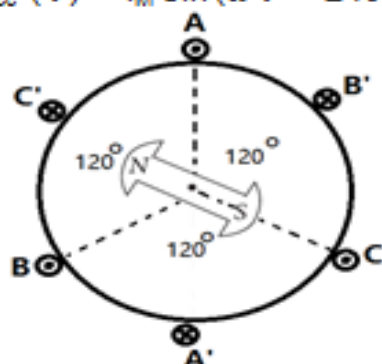
$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \quad A$$

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

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

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

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



ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

1. Απώλειες χαλκού

απώλειες τυλιγμάτων στάτη

$$P_{\text{sc1}} = 3 I_A^2 R_A$$

απώλειες τυλιγμάτων δρομέα

$$P_{\text{rc1}} = I_F^2 R_F$$

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

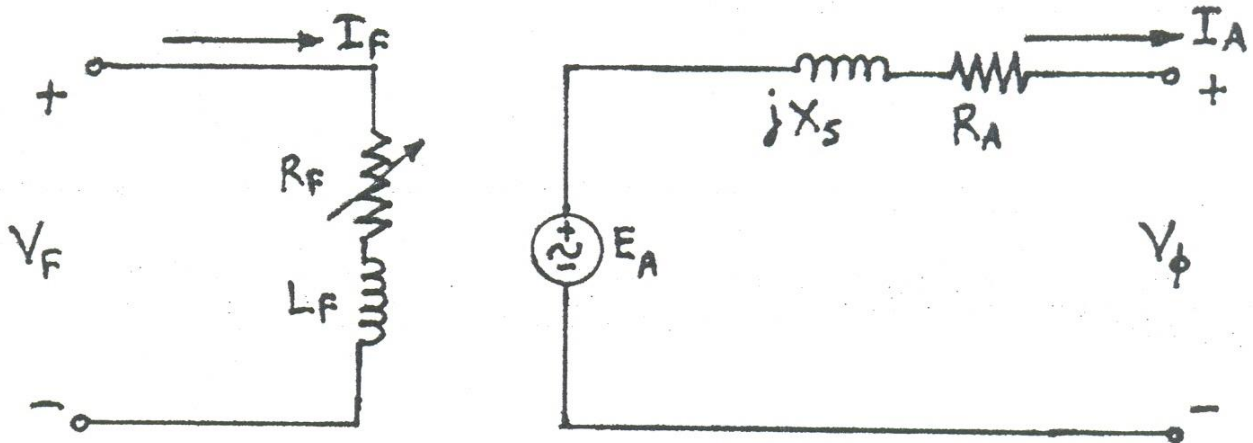
$$n = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

ή

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

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑ ΦΑΣΗ

α) Σύγχρονης γεννήτριας .

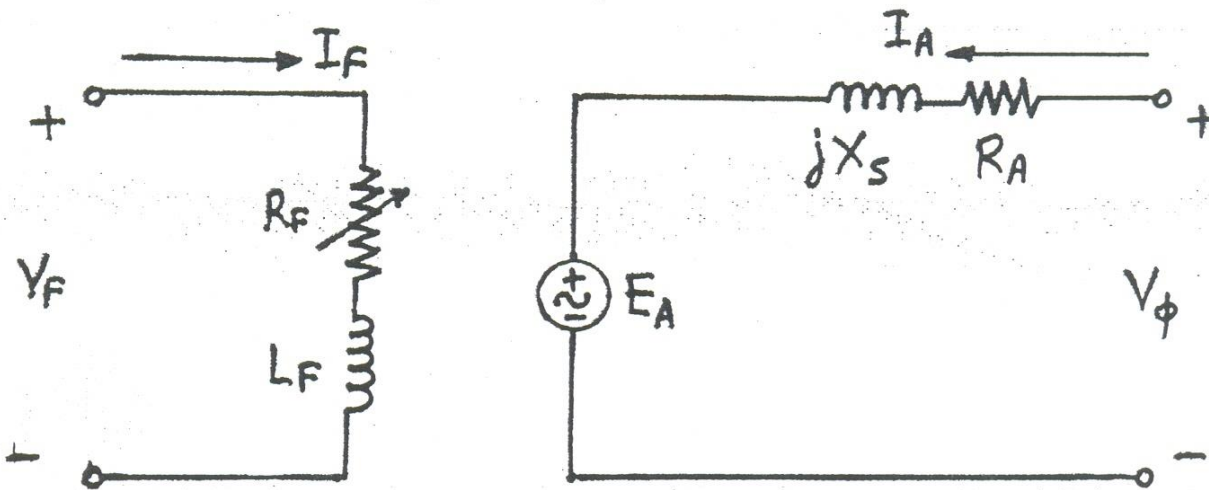


$$\begin{aligned} \Delta &\longrightarrow V_L = V_\phi, \quad I_L = \sqrt{3} I_A \\ Y &\longrightarrow V_L = \sqrt{3} V_\phi, \quad I_L = I_A \end{aligned}$$

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

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

β) Σύγχρονου Κινητήρα .



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

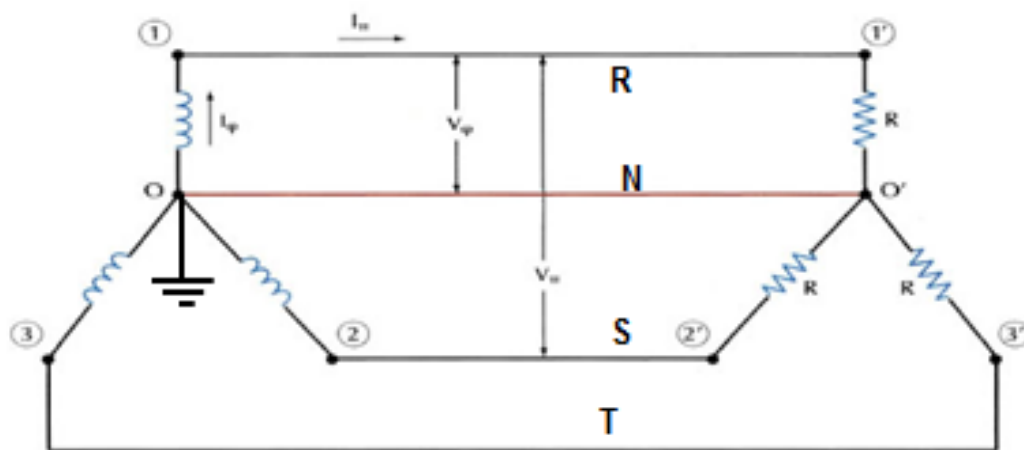
$$V_\phi = E_A + j X_S I_A + R_A I_A$$

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



Συνδεσμολογία αστέρα (Y)

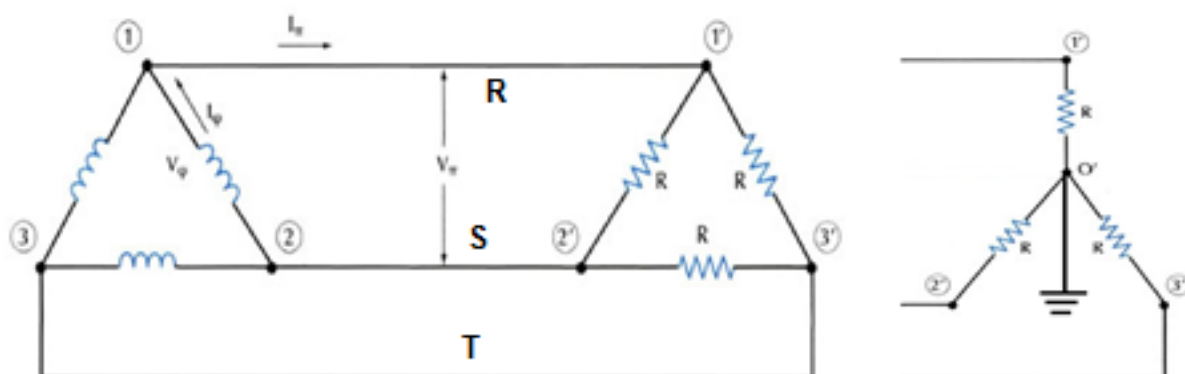
- Φασική τάση είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ μιας φάσης R, S, T και του κοινού κόμβου N (ουδετέρου).
- Πολική τάση είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο οποιονδήποτε φάσεων
- Στην συνδεσμολογία αστέρα (Y) ισχύει: $I_{\gamma\rho} = I_{\varphi}$ και $V_{\pi} = \sqrt{3} V_{\varphi}$
- Σε συμμετρικό σύστημα ισχύει: $I_N = I_a + I_b + I_c = 0$



12

Συνδεσμολογία τριγώνου (Δ)

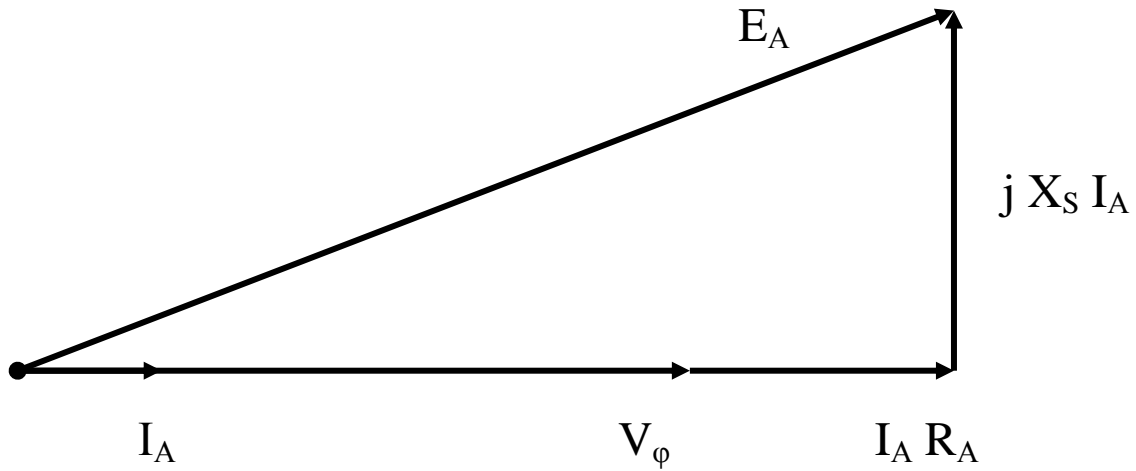
- Στην συνδεσμολογία τριγώνου (Δ) ισχύει: $I_{\gamma\rho} = \sqrt{3} I_{\varphi}$ και $V_{\pi} = V_{\varphi}$
- Υπάρχουν μόνο τρεις ενεργοί αγωγοί χωρίς ουδέτερο.
- Το φορτίο μπορεί να είναι συνδεδεμένο είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο.
- Δεν ρέει ρεύμα στις περιελίξεις των φάσεων μέχρι να συνδεθεί φορτίο.



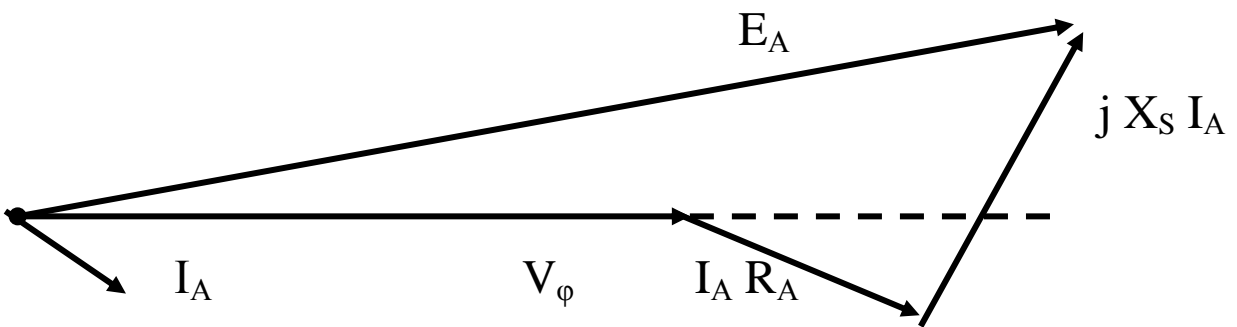
13

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

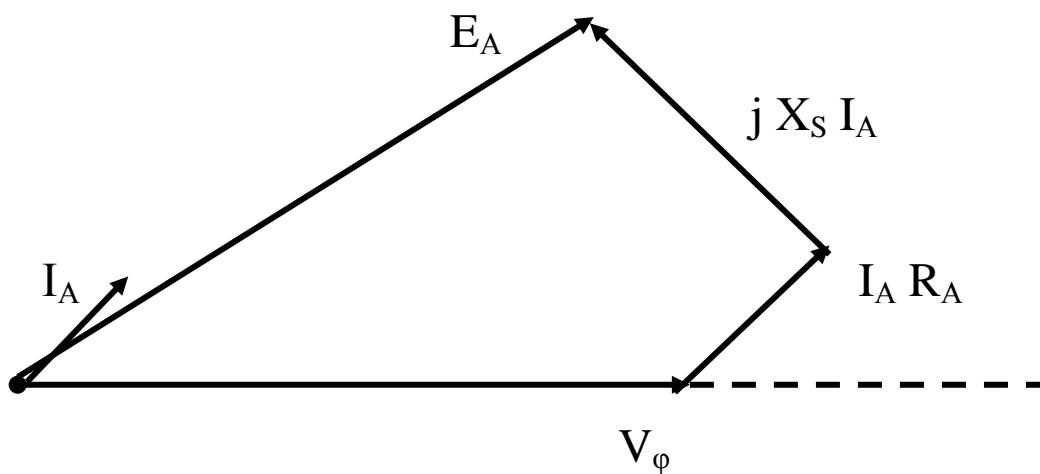
α) Με καθαρά ωμικό φορτίο .

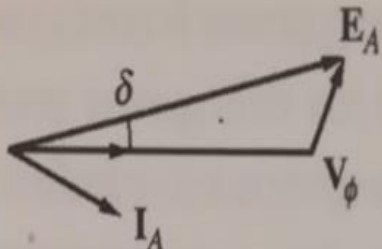
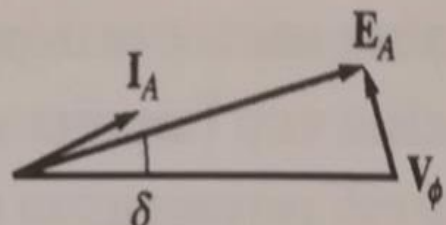
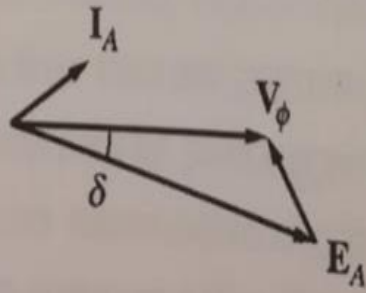
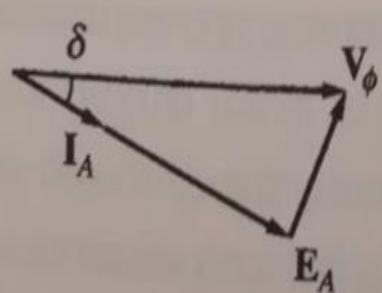


β) Με επαγωγικό φορτίο .



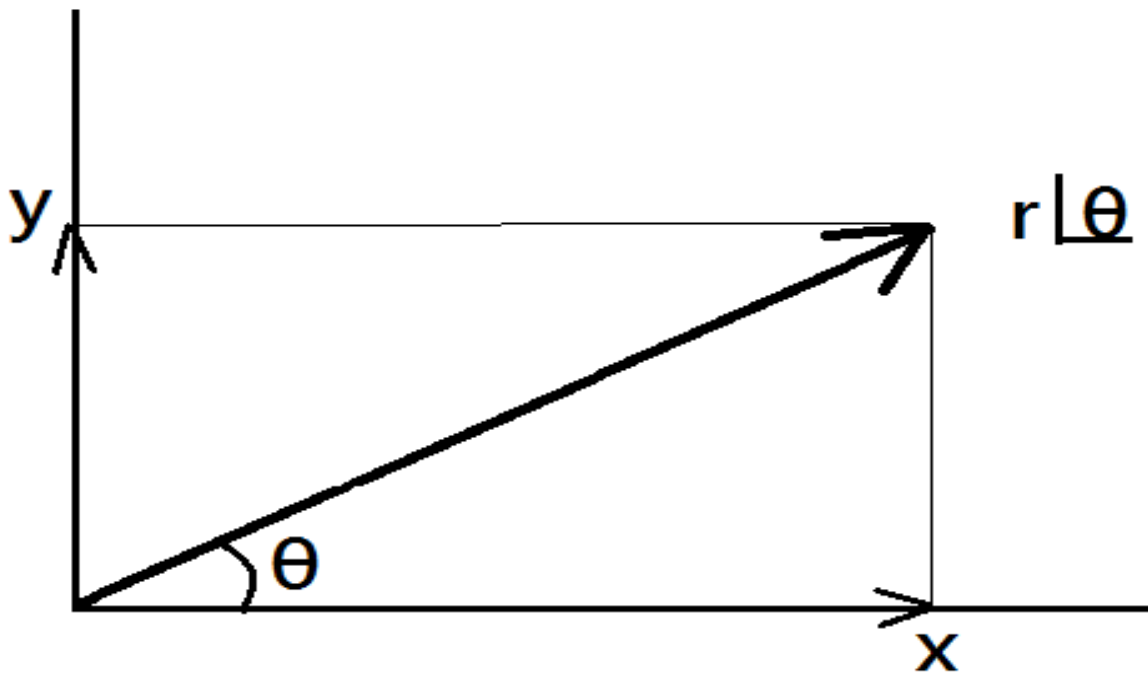
γ) Με χωρητικό φορτίο .



	Παραγωγή άεργης ισχύος Q	$E_A \cos \delta > V_\phi$	Κατανάλωση άεργης ισχύος Q	$E_A \cos \delta < V_\phi$
Παραγωγή ενεργού ισχύος P				
Γεννήτρια				
Η E_A προηγείται της V_ϕ				
Κατανάλωση ενεργού ισχύος				
Κινητήρας				
Η E_A έπεται της V_ϕ				

Διανυσματικά Διαγράμματα που δείχνουν την παραγωγή και την κατανάλωση ενεργού και άεργου ισχύος από σύγχρονες γεννήτριες και κινητήρες.

$$r \angle \theta = x + j y$$



ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΠΟ ΠΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ
ΣΕ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΠΟ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ
ΣΕ ΠΟΛΙΚΕΣ

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad \text{ή}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{x}{r} \right)$$

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2020

ΘΕΜΑ 2^ο : (3,3 Μονάδες)

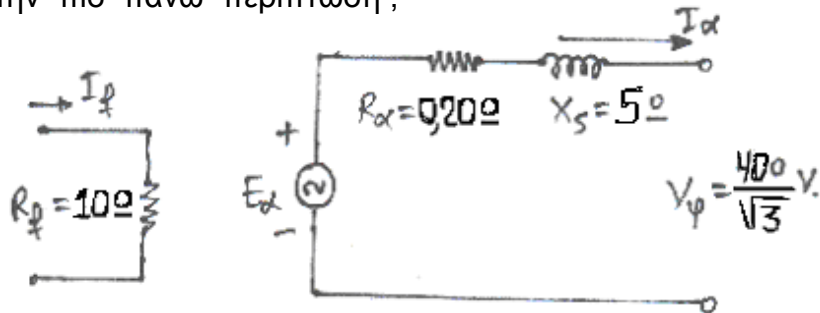
Τριφασική σύγχρονη οκταπολική γεννήτρια με κυλινδρικό δρομέα και ονομαστικά μεγέθη 25 kVA , 400 V , 50 Hz , συνδεσμολογίας τυλιγμάτων στάτη κατά αστέρα , έχει σύγχρονη επαγωγική αντίσταση $X_s = 5 \Omega$ ανά φάση και ωμική αντίσταση τυλίγματος στάτη $R_a = 0,2 \Omega$ ανά φάση , ενώ η ωμική αντίσταση του τυλίγματος διέγερσης είναι $R_f = 10 \Omega$.

Ζητούνται :

- α) Να σχεδιαστεί το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας.
- β) Να υπολογιστεί η επαγόμενη τάση τυμπάνου και η γωνία ισχύος της γεννήτριας όταν τροφοδοτεί το ονομαστικό της φορτίο με επαγωγικό συντελεστή ισχύος $\Sigma.l. = 0,80$ και να σχεδιαστεί το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα.
- γ) Ποια η ταχύτητα περιστροφής της σύγχρονης γεννήτριας και ποια η εκατοστιαία πτώση τάσης της για την πιο πάνω περίπτωση ;

Λύση :

α)



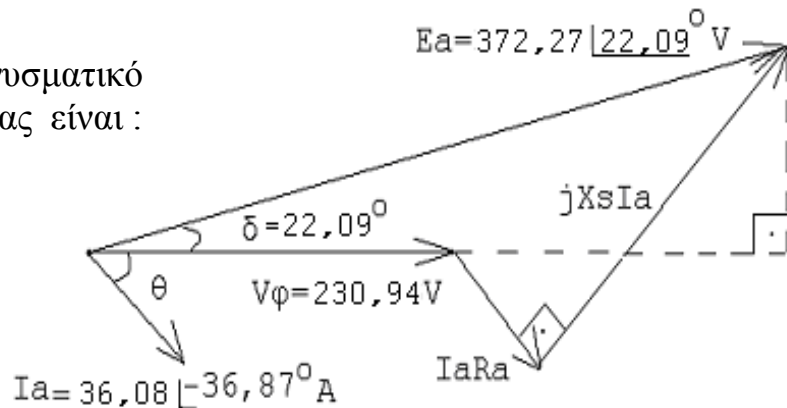
β) Συνδεσμολογία αστέρα (Y)

$$\Rightarrow I_a = I_L \text{ και } V_\phi = V_\pi / \sqrt{3} = 400 / 1,732 \Rightarrow V_\phi = 230,94 \text{ V}$$

$S = \sqrt{3} I_L V_\pi = 3 I_a V_\phi = 25.000 \text{ kVA} \Rightarrow I_a = I_L = 25.000 / \sqrt{3} \times 400 = 36,08 \text{ A}$
με επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0,80 δηλαδή $I_a = 36,08 \angle -36,87^\circ \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{Έτσι, } E_a &= V_\phi + I_a (R_a + j X_s) = 230,94 + (0,20 + j 5) \times 36,08 \angle -36,87^\circ = \\ &= 230,94 + (36,08 \times 0,80 - j 36,08 \times 0,60) \times (0,20 + j 5) = \\ &= 230,94 + 5,7728 + j 144,32 - j 4,3296 + 108,24 = 344,95 + j 139,99 \\ &\Rightarrow E_a = 372,27 \angle 22,09^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

και το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας είναι :



γ) η εκατοστιαία πτώση τάσης δίνεται ως $V(\%) = \frac{V_\phi(\kappa.\phi.) - V_\phi(\pi.\phi.)}{V_\phi(\pi.\phi.)} \times 100\%$

όμως $V_\phi(\kappa.\phi.) = E_a = 372,27 \text{ V}$

και $V_\phi(\pi.\phi.) = 230,94 \text{ V}$

Έτσι $V(\%) = \frac{372,27 - 230,94}{230,94} \times 100\% = 61,20\%$

και η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας θα είναι :

$$n = 120 f / P = 120 \times 50 / 8 \Rightarrow n = 750 \text{ rpm}$$

ή $\omega = 2 \pi n / 60 = 2 \times 3,14 \times 750 / 60 \Rightarrow \omega = 78,54 \text{ rad/sec}$

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΙΟΥΝΙΟΥ 2016

ΘΕΜΑ 2^ο : (3,3 Μονάδες)

Τριφασικός τετραπολικός σύγχρονος κινητήρας κυλινδρικού δρομέα, με ονομαστικά μεγέθη 400 V, 50 Hz, 25 Hp, συνδεσμολογίας αστέρα, δουλεύει υπό πλήρες φορτίο με συντελεστή ισχύος 0,80 χωρητικό και το ρεύμα γραμμής που απορροφά είναι 38 A. Η ωμική αντίσταση στάτη είναι $R_a = 0,20 \Omega$ ανά φάση ενώ η σύγχρονη επαγωγική αντίσταση είναι $X_s = 5 \Omega$ ανά φάση. Το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα είναι 5,5 A και η αντίσταση του πηνίου διέγερσης είναι 60Ω .

α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του κινητήρα.

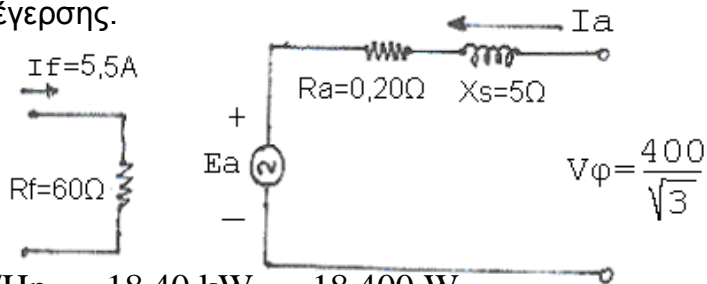
β) Να υπολογιστεί η ταχύτητα περιστροφής του, η αντίστοιχη ροπή φορτίου και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα στο πλήρες φορτίο.

γ) Να σχεδιαστεί το διανυσματικό διάγραμμα του κινητήρα, να υπολογιστούν η εσωτερική τάση E_a μαζί με την γωνία ισχύος δ και να προσδιοριστεί η κατάσταση διέγερσης του κινητήρα.

δ) Εξηγήστε τι θα συμβεί i) αν αυξηθεί το μηχανικό φορτίο του κινητήρα και ii) αν αυξηθεί η τιμή της αντίστασης του πηνίου διέγερσης.

Λύση :

α)



β)

$$P_{out} = 25 \text{ Hp} \times 0,736 \text{ kW/HP} = 18,40 \text{ kW} = 18.400 \text{ W}$$

$$n = 120 f / P = 120 \times 50 / 4 = 1500 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2 \pi n / 60 = 2 \times 3,14 \times 1500 / 60 = 157,08 \text{ rad/s}$$

$$P_{out} = \tau_{out} \omega_m \Rightarrow \tau_{out} = P_{out} / \omega_m = 18.400 / 157,08 = 117,14 \text{ Nm}$$

$$P_{\eta\lambda} = \sqrt{3} I_L V_\pi \cos\theta = \sqrt{3} \times 38 \times 400 \times 0,80 = 21.061,74 \text{ W}$$

Απώλειες Διέγερσης

$$P_{\delta i \epsilon \gamma} = I_f^2 \times R_f = 5,50^2 \times 60 = 1.815 \text{ W}$$

Η συνολική ισχύς εισόδου που προσφέρεται στον κινητήρα είναι :

$$P_{in} = P_{\eta\lambda} + P_{\delta i \epsilon \gamma} = 21.061,74 \text{ W} + 1.815,00 \text{ W} = 22.876,74 \text{ W}$$

και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα είναι :

$$n (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100 \% = (18.400 / 22.876,74) \times 100 \% = 80,43 \%$$

γ) $\cos \varphi = 0,80 \Rightarrow \varphi = +36,87^\circ$ χωρητικός συντελεστής ισχύος

Συνδεσμολογία αστέρα (Y)

$$I_a = I_L = 38 \text{ A} \angle +36,87^\circ \quad \text{και} \quad V_\varphi = 400 / \sqrt{3} = 230,94 \text{ V}$$

$$E_a = V_\varphi - I_a (R_a + j X_s) = 230,94 - 38 \angle +36,87^\circ \times (0,2 + j 5) =$$

$$= 230,94 - (38 \times 0,80 + j 38 \times 0,60) \times (0,20 + j 5) =$$

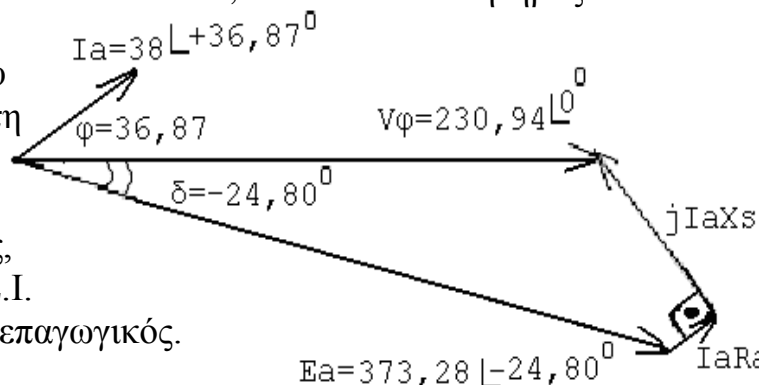
$$= 230,94 - 38 \times 0,80 \times 0,20 - j 38 \times 0,60 \times 0,20 - j 38 \times 0,80 \times 5 + 38 \times 0,60 \times 5 =$$

$$= 230,94 - 6,08 - j 4,56 - j 152 + 114 = 338,86 - j 156,56 \Rightarrow E_a = 373,28 \angle -24,80^\circ$$

Η γωνία ισχύος δ του κινητήρα είναι $\delta = -24,80^\circ$ και ο κινητήρας είναι σε υπερδιέγερση γιατί $E_a \cos \delta > V_\varphi$

δ) Με αύξηση του μηχανικού φορτίου η γωνία δ μεγαλώνει μέχρι την μέγιστη τιμή -90° και ο κινητήρας διατηρεί σταθερή ταχύτητα την σύγχρονη.

Με αύξηση της αντίστασης διέγερσης, μειώνεται το ρεύμα διέγερσης και ο Σ.Ι. του κινητήρα γίνεται από χωρητικός επαγωγικός.



ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΙΟΥΝΙΟΥ 2017

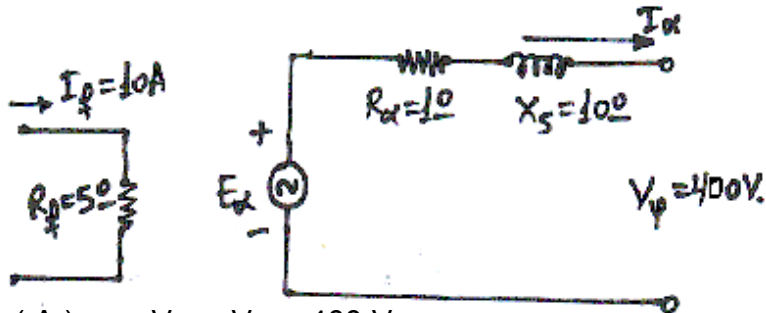
ΘΕΜΑ 2^ο : (3,3 Μονάδες)

Τριφασική τετραπολική σύγχρονη γεννήτρια με κυλινδρικό δρομέα και ονομαστικά μεγέθη 30 kVA , 400 V , 50 Hz , συνδεσμολογίας τυλιγμάτων στάτη κατά τρίγωνο, έχει σύγχρονη επαγωγική αντίσταση $X_s = 10 \Omega$ ανά φάση και ωμική αντίσταση τυλιγματος στάτη $R_a = 1 \Omega$ ανά φάση ενώ η ωμική αντίσταση του τυλιγματος διέγερσης είναι $R_f = 5 \Omega$. Ζητούνται :

- α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα της γεννήτριας.
- β) Να υπολογιστεί η επαγόμενη τάση τυμπάνου και η γωνία ισχύος της γεννήτριας όταν τροφοδοτεί ονομαστικό φορτίο με χωρητικό συντελεστή ισχύος $\Sigma.l. = 0,80$ και να σχεδιαστεί το διανυσματικό διάγραμμα.
- γ) Ποιος ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας αν η ροπή που προσφέρεται στη γεννήτρια στις πιο πάνω συνθήκες φόρτισης είναι $\tau_{app} = 175 \text{ N m}$ και το ρεύμα διέγερσης είναι 10 A .

Λύση :

α)



Συνδεσμολογία κατά (Δ) $\Rightarrow V_{\pi} = V_{\phi} = 400 \text{ V}$

β)

$$S = \sqrt{3} I_L V_{\pi} = 3 I_a V_{\phi} = 30.000 \text{ VA}$$

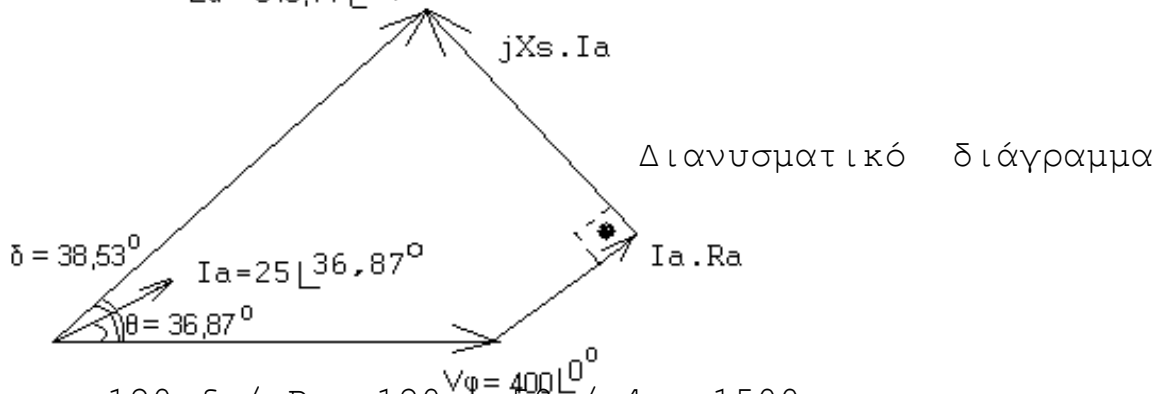
ή $P = \sqrt{3} I_L V_{\pi} \cos\theta = S \cos\theta = 30.000 \times 0,80 = 24000 \text{ W}$

$$\Rightarrow I_a = S / 3 V_{\phi} = 30.000 / 3 \times 400 = 25 \text{ A}$$

με χωρητικό συντελεστή ισχύος 0,80 δηλαδή $\theta = 36,87^\circ$ $I_a = 25 \angle_{-36,87^\circ} \text{ A}$

$$\begin{aligned} \text{Ετσι, } E_a &= V_{\phi} + I_a(R_a + jX_s) = 400 + (1 + j10) \times 25 \angle_{-36,87^\circ} = \\ &= 400 + (1 + j10) \times (25 \times 0,80 + j 25 \times 0,60) = \\ &= 400 + 20 + j 15 + j 200 - 150 = 270 + j 215 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow E_a = 345,14 \angle_{-38,53^\circ} \text{ V}$$



γ)

$$n = 120 f / P = 120 \times 50 / 4 = 1500 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2\pi n / 60 = 1500 \times 2 \times 3,14 / 60 = 157,08 \text{ rad/s}$$

$$\tau_{app} = P_{\eta\lambda} / \omega \Rightarrow P_{\eta\lambda} = \tau_{app} \times \omega = 175 \times 157,08 = 27.489 \text{ W}$$

$$P_{\delta i \acute{\epsilon} \gamma} = I_f^2 R_f = 10^2 \times 5 = 500 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{\eta\lambda} + P_{\delta i \acute{\epsilon} \gamma} = 27.489 \text{ W} + 500 \text{ W} = 27.989 \text{ W}$$

$$P_{out} = 24.000 \text{ W}$$

$$\eta (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% = 24.000 / 27.989 = 85,75 \%$$

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2019

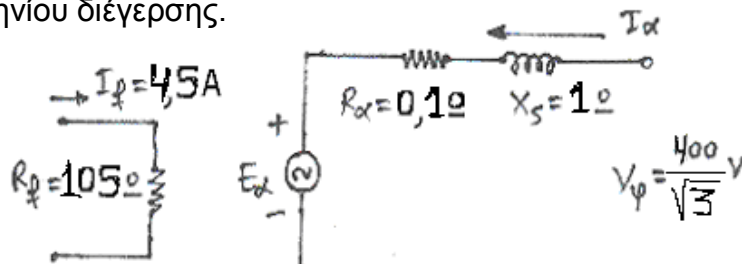
ΘΕΜΑ 2^ο : (3,3 Μονάδες)

Τριφασικός τετραπολικός σύγχρονος κινητήρας κυλινδρικού δρομέα, με ονομαστικά μεγέθη 400 V, 60 Hz, 30 Hp, συνδεσμολογίας αστέρα, δουλεύει υπό πλήρες φορτίο με συντελεστή ισχύος 0,80 επαγωγικό και το ρεύμα γραμμής που απορροφά είναι 50 A. Η ωμική αντίσταση στάτη είναι $R_a = 0,10 \Omega$ ανά φάση ενώ η σύγχρονη επαγωγική αντίσταση είναι $X_s = 1 \Omega$ ανά φάση. Το ρεύμα διέγερσης του κινητήρα είναι 4,5 A και η αντίσταση του πηνίου διέγερσης είναι 105 Ω .

- α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του κινητήρα.
 β) Να υπολογιστεί η ταχύτητα περιστροφής του, η αντίστοιχη ροπή φορτίου και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα στο πλήρες φορτίο.
 γ) Να σχεδιαστεί το διανυσματικό διάγραμμα του κινητήρα, να υπολογιστούν η εσωτερική τάση E_a μαζί με την γωνία ισχύος δ και να προσδιοριστεί η κατάσταση διέγερσης του κινητήρα.
 δ) Εξηγήστε τι θα συμβεί i) αν αυξηθεί το μηχανικό φορτίο του κινητήρα και ii) αν μειωθεί η τιμή της αντίστασης του πηνίου διέγερσης.

Λύση :

α)



β)

$$P_{out} = 30 \text{ Hp} \times 0,746 \text{ kW/HP} = 22,38 \text{ kW} = 22.380 \text{ W}$$

$$n = 120 \text{ f/P} = 120 \times 60 / 4 = 1800 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2 \pi n / 60 = 2 \times 3,14 \times 1800 / 60 = 188,40 \text{ rad/s}$$

$$P_{out} = \tau_{out} \omega_m \Rightarrow \tau_{out} = P_{out} / \omega_m = 22.380 / 188,40 = 118,79 \text{ Nm}$$

$$P_{\eta\lambda} = \sqrt{3} I_L V_\pi \cos\theta = \sqrt{3} \times 50 \times 400 \times 0,80 = 27.712,81 \text{ W}$$

Απώλειες Διέγερσης

$$P_{\delta i \acute{e} \gamma.} = I_f^2 \times R_f = 4,50^2 \times 105 = 2.126,25 \text{ W}$$

Η συνολική ισχύς εισόδου που προσφέρεται στον κινητήρα είναι :

$$P_{in} = P_{\eta\lambda} + P_{\delta i \acute{e} \gamma.} = 27.712,81 \text{ W} + 2.126,25 \text{ W} = 29.839 \text{ W}$$

και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα είναι :

$$\eta (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100 \% = (22.380 / 29.839) \times 100 \% = 75 \%$$

γ)

$$\cos \varphi = 0,80 \Rightarrow \varphi = -36,87^\circ \text{ επαγωγικός συντελεστής ισχύος}$$

Συνδεσμολογία αστέρα (Y)

$$I_a = I_L = 50 \text{ A} \angle -36,87^\circ \quad \text{και} \quad V_\varphi = 400 / \sqrt{3} = 230,94 \text{ V}$$

$$E_a = V_\varphi - I_a (R_a + j X_s) = 230,94 - 50 \angle -36,87^\circ \times (0,1 + j 1) =$$

$$= 230,94 - (50 \times 0,80 - j 50 \times 0,60) \times (0,10 + j 1) =$$

$$= 230,94 - 50 \times 0,80 \times 0,10 + j 50 \times 0,60 \times 0,10 - j 50 \times 0,80 - 50 \times 0,60 =$$

$$= 230,94 - 4 + j 3 - j 40 - 30 = 196,94 - j 37 \Rightarrow E_a = 200,39 \angle -10,64^\circ$$

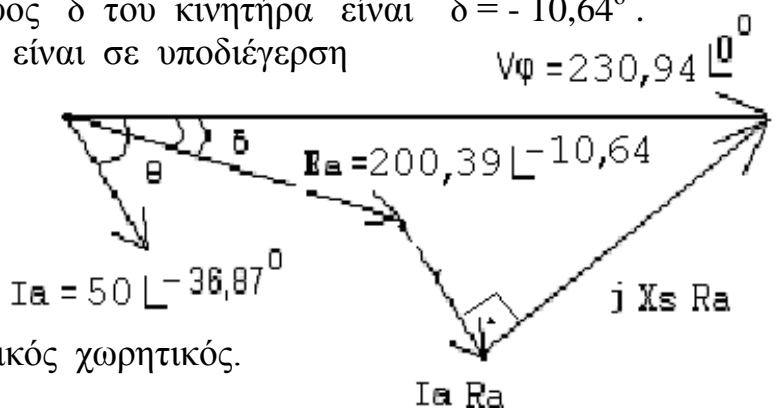
Η γωνία ισχύος δ του κινητήρα είναι $\delta = -10,64^\circ$.

Ο κινητήρας είναι σε υποδιέγερση

δ) Με αύξηση του μηχανικού φορτίου η γωνία δ μεγαλώνει μέχρι την μέγιστη τιμή -90° και ο κινητήρας διατηρεί σταθερή ταχύτητα την σύγχρονη.

Με μείωση της αντίστασης διέγερσης, αυξάνεται το ρεύμα διέγερσης και

ο Σ.Ι. του κινητήρα γίνεται από επαγωγικός χωρητικός.



ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2016

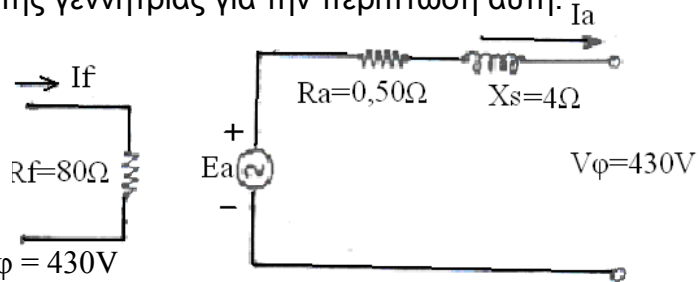
ΘΕΜΑ 2° : (3,3 Μονάδες)

Τριφασική σύγχρονη τετραπολική γεννήτρια κυλινδρικού δρομέα, συνδεσμολογίας τυλιγμάτων στάτη κατά τρίγωνο, έχει σύγχρονη επαγωγική αντίσταση $X_s=4\Omega$ ανά φάση, ωμική αντίσταση του τυλίγματος στάτη $R_a=0,50\Omega$ ανά φάση, αντίσταση τυλίγματος διέγερσης $R_f=80\Omega$ και τροφοδοτεί φορτίο 50A με επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0,80 και με τάση εξόδου 430 V. Ζητούνται:

- Να σχεδιαστεί το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας.
- Να υπολογιστεί η επαγόμενη τάση τυμπάνου και η γωνία ισχύος της γεννήτριας και να σχεδιαστεί το αντίστοιχο διανυσματικό της διάγραμμα.
- Για να τροφοδοτήσει η γεννήτρια το ίδιο φορτίο αλλά με ωμικό συντελεστή ισχύος και σταθερή τάση εξόδου, ποιά πρέπει να είναι η τιμή της αντίστασης διέγερσης αν αγνοηθεί η επίδραση κορεσμού και θεωρηθεί σταθερή ταχύτητα περιστροφής; Να σχεδιαστεί το αντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας για την περίπτωση αυτή.

Λύση :

α)



β)

Συνδεσμολογία κατά (Δ) $\Rightarrow V_{\pi}=V_{\phi}=430V$

Επειδή ο Σ.Ι. είναι 0,80 επαγωγικός, $\Sigma.Ι. = \cos\theta = 0,80$

η γωνία του διανύσματος του ρεύματος θα είναι $\theta = -36,87^\circ$

και το ρεύμα αντίστοιχα θα είναι $I_a = I_{\gamma\pi} / \sqrt{3} = 50 / \sqrt{3} A = 28,87 \angle -36,87^\circ A$

$$E_a = V_{\phi} + I_a (R_a + j X_s) = 430 + (0,50 + j 4) \times 28,87 \angle -36,87^\circ =$$

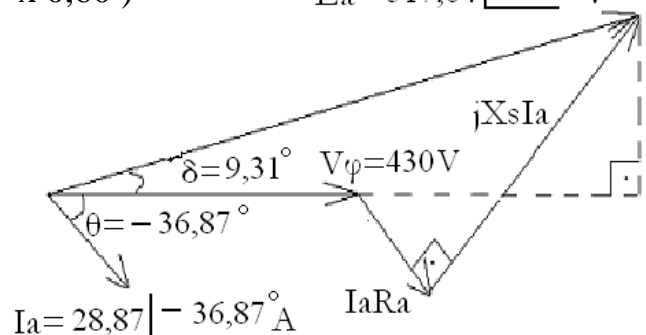
$$430 + (0,50 + j 4) \times (28,87 \times 0,80 - j 28,87 \times 0,60) =$$

$$E_a = 517,64 \angle 9,31^\circ V$$

$$430 + 11,55 + j 92,38 - j 8,66 + 69,28 =$$

$$= 510,83 + j 83,72 = 517,64 \angle 9,31^\circ V$$

και το διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας δίνεται στο διπλανό σχήμα.



γ) Όταν η γεννήτρια τροφοδοτεί το ίδιο φορτίο αλλά με ωμικό συντελεστή ισχύος $\Sigma.Ι. = \cos\theta = 1$, η γωνία του διανύσματος του ρεύματος θα είναι $\theta = 0^\circ$ και το ρεύμα αντίστοιχα θα είναι $I_a = 28,87 \angle -0^\circ A$

Για να παραμείνει σταθερή η τάση εξόδου $V_{\pi}=V_{\phi}=430V$

θα πρέπει η εσωτερική τάση E_a να γίνει:

θα πρέπει η εσωτερική τάση E_a να γίνει:

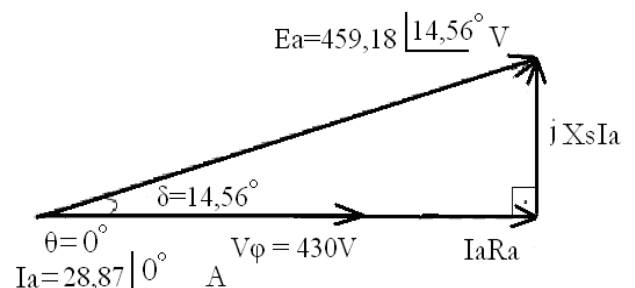
$$E'_a = V_{\phi} + I_a (R_a + j X_s) =$$

$$= 430 + (0,50 + j 4) \times 28,87 \angle 0^\circ =$$

$$= 430 + 14,43 + j 115,47 = 444,43 + j 115,47 =$$

$$= 459,18 \angle 14,56^\circ V$$

Το νέο διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας για τον ωμικό Σ.Ι. δίνεται στο διπλανό σχήμα.



Ισχύει όμως $E_a = k \Phi \omega$ και $E'_a = k \Phi' \omega$

Αφού η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή η μείωση της εσωτερικής τάσης οφείλεται σε μείωση της μαγνητικής ροής $\Phi'/\Phi = E'_a/E_a = 459,18 / 517,64 = 0,8871$

Αν αγνοηθεί η επίδραση του κορεσμού, η μείωση της ροής Φ αντιστοιχεί σε ανάλογη μείωση του ρεύματος διέγερσης και επομένως ανάλογη αύξηση της αντίστασης του τυλίγματος διέγερσης.

Έτσι, θα ισχύει $R_f' / R_f = 1 / 0,8871$ ή $R_f' = 80 / 0,8871 \Rightarrow R_f' = 90,18 \Omega$