

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ « ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ » ΤΟΥ 5^{ΟΥ} ΕΞΑΜΗΝΟΥ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2022 Δευτέρα 12 – 09 – 2022
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ Σ. ΘΕΟΚΛΗΤΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ : 2 ½ ΩΡΕΣ .

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΑΠΟΧΩΡΗΣΗ ΤΑ ΠΡΩΤΑ 30 ΛΕΠΤΑ.

ΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΙΔΟΝΤΑΙ.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : A.M.

ΘΕΜΑ 1^ο : (3,3 Μονάδες)

Γεννήτρια ηλεκτροσυγκόλλησης συνεχούς ρεύματος, σύνθετης αθροιστικής διέγερσης, ονομαστικής ισχύος 30 kW και ονομαστικής τάσης 250 V , διαθέτει αντίσταση τυμπάνου 0,05 Ω , αντίσταση παράλληλου πεδίου διέγερσης 62,5 Ω και τύλιγμα διέγερσης σειράς ρυθμιζόμενης αντίστασης. Η πτώση τάσης επάνω στις ψήκτρες του συλλέκτη είναι 4 V. Ζητούνται :

α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας.

β) Ποια η τιμή της ωμικής αντίστασης του πεδίου διέγερσης σειράς όταν στο πλήρες φορτίο η επίδραση του πεδίου προκαλεί αύξηση της μαγνητικής ροής κενού φορτίου κατά 15 %.

γ) Να προσδιοριστεί ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας στο πλήρες φορτίο όταν οι συνολικές απώλειες περιστροφής της είναι 500 W .

ΘΕΜΑ 2^ο : (3,3 Μονάδες)

Τριφασικός οκταπολικός σύγχρονος κινητήρας κυλινδρικού δρομέα, με ονομαστικά μεγέθη 400 V, 50 Hz , 35 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.

ΘΕΜΑ 3^ο : (3,3 Μονάδες)

Ενας τριφασικός τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας με ονομαστικά μεγέθη 25 Hp, 400 V, 50 Hz συνδεσμολογίας αστέρα, έχει ταχύτητα περιστροφής 1320 rpm σε πλήρες φορτίο, και ρεύμα γραμμής 45 A με επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0,80. Οι συνολικές απώλειες περιστροφής του είναι 600 W.

Να σχεδιαστεί το πλήρες ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του κινητήρα και εξηγηθεί το κάθε στοιχείο του. Να προσδιοριστούν :

α) Η ολίσθηση στο πλήρες φορτίο.

β) Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή του κινητήρα και η ροπή στον άξονα.

γ) Οι ωμικές απώλειες του δρομέα και η ανά φάση ωμική τιμή της αντίστασης του τυλίγματος του στάτη.

δ) Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα.

Γ Ε Ν Ι Κ Ο Τ Υ Π Ο Λ Ο Γ Ι Ο

$$n(\%) = (P_{out}/P_{in}) \times 100\%$$

$$f \text{ (Hz)} = n P / 120$$

$$\omega \text{ (rad/s)} = 2 \pi n / 60$$

$$\omega_{\text{σύνχ.}} = 2\pi f (2 / P)$$

$$E_a = K \Phi \omega \qquad \tau = K \Phi i$$

$$1\text{Hp} = 0,746 \text{ Kw}$$

$$E_a = V_\phi \pm I_a (R_a + R_s) \pm \Delta V_\psi \qquad \text{Μηχανές D.C.}$$

$$E_a = V_\phi \pm I_a (R_a + j X_s) \qquad \text{Μηχανές A.C.}$$

$$P_{\text{αναπτ.}} = E_a \times I_a = \tau_{\text{con}} \times \omega$$

$$\tau = P / \omega$$

$$P_{\eta\lambda} = \sqrt{3} I_L V_\pi \cos\theta = 3 I_\phi V_\phi \cos\theta$$

Συνδεσμολογία αστέρα (Y) $I_\phi = I_L$ και $V_\phi = V_\pi / \sqrt{3}$

Συνδεσμολογία τριγώνου (Δ) $V_\phi = V_\pi$ και $I_\phi = I_L / \sqrt{3}$

$$\Delta V(\%) = \frac{V_\phi(\kappa.\phi.) - V_\phi(\pi.\phi.)}{V_\phi(\pi.\phi.)} \times 100\% \quad \text{εκατοστιαία διακύμανση τάσης}$$

$$s = (\omega_{\text{σύνχ.}} - \omega_m) / \omega_{\text{σύνχ.}}$$

$$\omega_m = (1-s) \omega_{\text{σύνχ.}}$$

$$P_{\text{con}} = (1-s) P_{\text{ag}}$$

$$P_{\text{Cu r}} = s P_{\text{ag}} \qquad \text{ή} \qquad P_{\text{Cu r}} = P_{\text{ag}} - P_{\text{con}}$$

$$P_{\text{απ.μηχ.περ.}} = P_{\text{con}} - P_{\text{out}}$$

$$P_{\text{Cust}} = 3 I_1^2 R_1 \qquad P_{\text{Cu r}} = 3 I_2^2 R_2$$

$$P_{\text{ag}} = P_{\text{in}} - P_{\text{Cust}} - P_{\text{core}}$$

$$P_{\text{rot}} = P_{\text{core}} + P_{\text{απ.μηχ.περ.}}$$

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΞΑΝΘΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ « ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ » ΤΟΥ 5^{ΟΥ} ΕΞΑΜΗΝΟΥ
 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2022 Δευτέρα 12 – 09 – 2022
 ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ Σ. ΘΕΟΚΛΗΤΟΣ
 Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ.

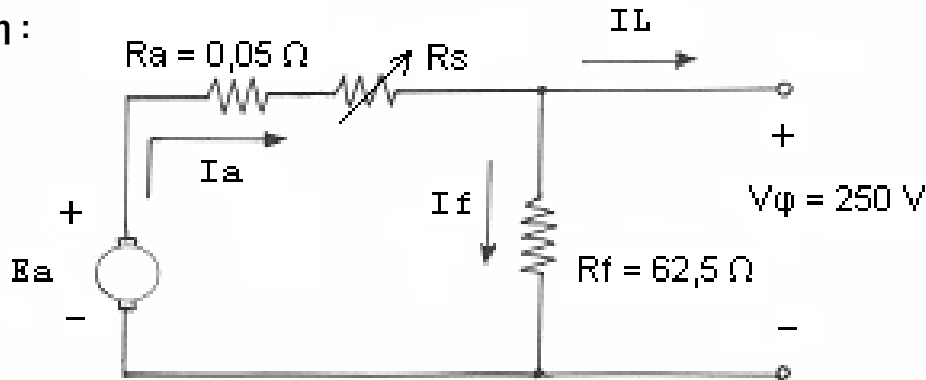
ΘΕΜΑ 1^ο : (3,3 Μονάδες)

Γεννήτρια ηλεκτροσυγκόλλησης συνεχούς ρεύματος, σύνθετης αθροιστικής διέγερσης, ονομαστικής ισχύος 30 kW και ονομαστικής τάσης 250 V , διαθέτει αντίσταση τυμπάνου 0,05 Ω , αντίσταση παράλληλου πεδίου διέγερσης 62,5 Ω και τύλιγμα διέγερσης σειράς ρυθμιζόμενης αντίστασης. Η πτώση τάσης επάνω στις ψήκτρες του συλλέκτη είναι 4 V. Ζητούνται :

- α) Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας.
 β) Ποια η τιμή της ωμικής αντίστασης του πεδίου διέγερσης σειράς όταν στο πλήρες φορτίο η επίδραση του πεδίου προκαλεί αύξηση της μαγνητικής ροής κενού φορτίου κατά 15 %.
 γ) Να προσδιοριστεί ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας στο πλήρες φορτίο όταν οι συνολικές απώλειες περιστροφής της είναι 500 W .

Λύση :

α)



β)

$$E_a = K \Phi \omega \Rightarrow E_{a(\kappa.\phi.)} = K \Phi \omega = 250 \text{ V}$$

$$E_{a(\pi.\phi.)} = K \Phi' \omega$$

$$\Phi' = 1,15 \Phi \Rightarrow E_{a(\pi.\phi.)} = 1,15 E_{a(\kappa.\phi.)} = 287,5 \text{ V}$$

$$P_{out} = V_\phi I_L \Rightarrow I_L (\pi.\phi.) = 30 \text{ kW} / 250 \text{ V} = 120 \text{ A}$$

$$I_f = V_f / R_f = 250 \text{ V} / 62,5 \Omega = 4 \text{ A}$$

$$I_a (\pi.\phi.) = 120 \text{ A} + 4 \text{ A} = 124 \text{ A}$$

$$E_{a(\pi.\phi.)} = V_\phi + I_a (R_a + R_s) + V_\psi \Rightarrow$$

$$R_s = (E_{a(\pi.\phi.)} - V_\phi - V_\psi) / I_a - R_a$$

$$\Rightarrow R_s = (287,5 - 250 - 4) \text{ V} / 124 \text{ A} - 0,05 \Omega = 0,22 \Omega$$

γ)

Ηλεκτρικές απώλειες τυλιγμάτων τυμπάνου

$$I_a^2 (R_a + R_s) = 124^2 \times (0,05 + 0,22) = 4.151,52 \text{ W}$$

Ηλεκτρικές απώλειες τυλίγματος παράλληλης διέγερσης

$$I_f^2 R_f = 4^2 \times 62,50 = 1.000,00 \text{ W}$$

Απώλειες ψηκτρών συλλέκτη

$$V_\psi I_a = 124 \times 4 = 496,00 \text{ W}$$

Απώλειες περιστροφής

$$P_{rot.} = 500,00 \text{ W}$$

Σύνολο απωλειών

$$P_{\alpha\pi.} = 6.147,52 \text{ W}$$

$P_{in} = P_{out} + P_{\alpha\pi.} = 30000 \text{ W} + 6047,52 \text{ W} = 36047,52 \text{ W}$
 $n (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100\% = 30.000 / 36.147,52 = 83 \%$

ΘΕΜΑ 2° : (3,3 Μονάδες)

Τριφασικός οκταπολικός σύγχρονος κινητήρας κυλινδρικού δρομέα, με ονομαστικά μεγέθη 400 V, 50 Hz, 35 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.

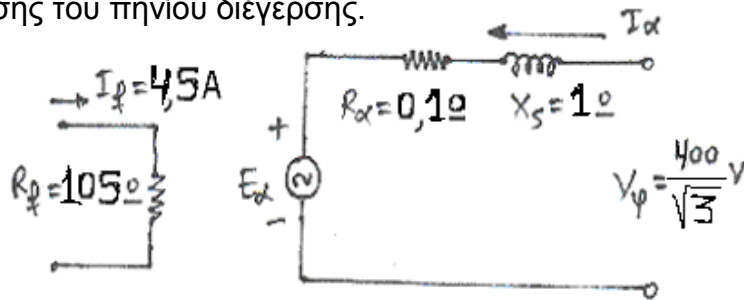
β) Να υπολογιστεί η ταχύτητα περιστροφής του, η αντίστοιχη ροπή φορτίου και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα στο πλήρες φορτίο.

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)

$$P_{out} = 35 \text{ Hp} \times 0,746 \text{ kW/HP} = 26,11 \text{ kW} = 26.110 \text{ W}$$

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

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

$$P_{out} = \tau_{out} \omega_m \Rightarrow \tau_{out} = P_{out} / \omega_m = 26.110 / 78,54 = 332,44 \text{ Nm}$$

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

Απώλειες Διέγερσης

$$P_{διέγ.} = I_f^2 \times R_f = 4,50^2 \times 105 = 2.126,25 \text{ W}$$

Η συνολική ισχύς εισόδου που προσφέρεται στον κινητήρα είναι :

$$P_{in} = P_{\eta\lambda} + P_{διέγ.} = 27.712,81 \text{ W} + 2.126,25 \text{ W} = 29.839 \text{ W}$$

και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα είναι :

$$\eta (\%) = (P_{out} / P_{in}) \times 100 \% = (26.110 / 29.839) \times 100 \% = 87,50 \%$$

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

Συνδεσμολογία αστέρα (Y)

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

$$\begin{aligned} E_a &= V_\phi - I_a (R_a + j X_s) = 230,94 - 50 \angle -36,87^\circ \times (0,1 + j 1) = \\ &= 230,94 - (50 \times 0,80 - j 50 \times 0,60) \times (0,10 + j 1) = \\ &= 230,94 - 50 \times 0,80 \times 0,10 + j 50 \times 0,60 \times 0,10 - j 50 \times 0,80 - 50 \times 0,60 = \\ &= 230,94 - 4 + j 3 - j 40 - 30 = 196,94 - j 37 \Rightarrow E_a = 200,39 \angle -10,64^\circ \end{aligned}$$

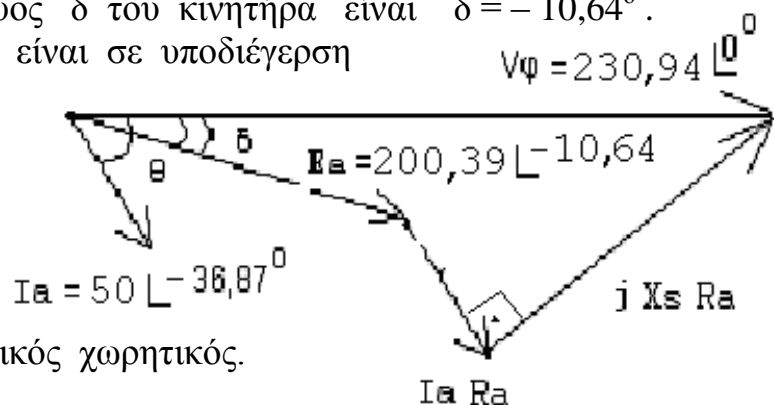
Η γωνία ισχύος δ του κινητήρα είναι $\delta = -10,64^\circ$.

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.



ΘΕΜΑ 3^ο : (3,3 Μονάδες)

Ένας τριφασικός τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας με ονομαστικά μεγέθη 25 Hp, 400 V, 50 Hz συνδεσμολογίας αστέρα, έχει ταχύτητα περιστροφής 1320 rpm σε πλήρες φορτίο, και ρεύμα γραμμής 45 A με επαγωγικό συντελεστή ισχύος 0,80. Οι συνολικές απώλειες περιστροφής του είναι 600 W.

Να σχεδιαστεί το πλήρες ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα του κινητήρα και εξηγηθεί το κάθε στοιχείο του. Να προσδιοριστούν :

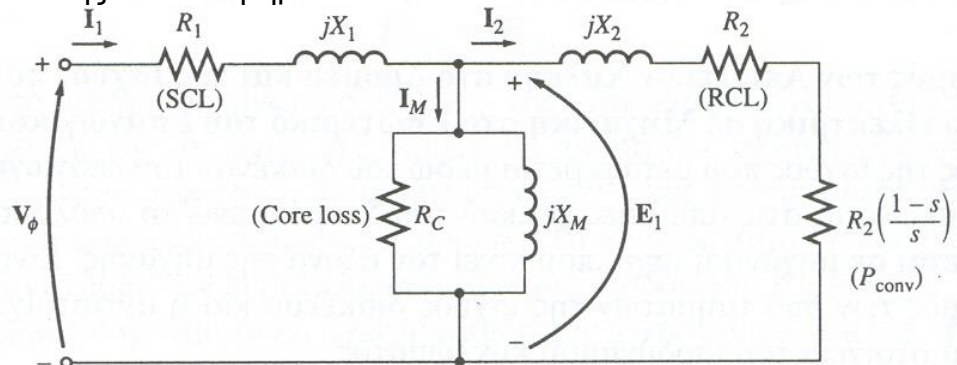
α) Η ολίσθηση στο πλήρες φορτίο.

β) Η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή του κινητήρα και η ροπή στον άξονα.

γ) Οι ωμικές απώλειες του δρομέα και η ανά φάση ωμική τιμή της αντίστασης του τυλίγματος του στάτη.

δ) Ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα.

Λύση :



Βλ. βιβλίο _Κεφάλαιο 7 σχήμα 7-14 σελ. 442

α) $n_s = 120 f / P = 120 \times 50 / 4 = 1500 \text{ rpm}$
 $s = (1500 - 1320) / 1500 = 0,12 \quad \text{ή} \quad s = 12 \%$

β) Ισχύς εξόδου κινητήρα

$$P_{\text{out}} = 25 \text{Hp} \times 0,746 \text{ kW/HP} = 18,65 \text{ kW} = 18.650 \text{ W}$$

Αναπτυσσόμενη ισχύς κινητήρα

$$P_{\text{con}} = P_{\text{out}} + P_{\text{απ.μηχ. (περιστ)}} = 18.650 + 600 = 19.250 \text{ W}$$

Αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή

$$\tau_{\text{ind}} = P_{\text{con}} / \omega_m$$

$$\omega_{\text{σύγχ.}} = 2\pi f (2/P) = 2 \times 3,14 \times 50 \times (2/4) = 157,08 \text{ rad/s}$$

$$\omega_m = (1-s) \omega_{\text{σύγχ.}} = (1-0,12) \times 157,08 = 138,23 \text{ rad/s}$$

$$\text{ή} \quad \omega_m = 2\pi n / 60 = 1320 \times 2 \times 3,14 / 60 = 138,23 \text{ rad/s}$$

$$\tau_{\text{ind}} = P_{\text{con}} / \omega_m = 19.250 / 138,23 = 139,26 \text{ N m}$$

Ροπή στον άξονα του κινητήρα

$$\tau_{\text{out}} = P_{\text{out}} / \omega_m = 18.650 / 138,23 = 134,92 \text{ N m}$$

γ) Ισχύς διακένου

$$P_{\text{ag}} = P_{\text{con}} / (1-s) = 19.250 / (1-0,12) = 21.875 \text{ W}$$

Απώλειες χαλκού δρομέα (ωμικές)

$$P_{\text{Cu r}} = s P_{\text{ag}} = 0,12 \times 21.875 \text{ W} = 2.625 \text{ W} \quad \text{ή}$$

$$P_{\text{Cu r}} = P_{\text{ag}} - P_{\text{con}} = 21.875 - 19.250 = 2.625$$

$$P_{\text{in}} = \sqrt{3} I_L V_{\text{π}} \cos\theta = \sqrt{3} 45 400 0,80 = 24.941,53 \text{ W}$$

Απώλειες χαλκού στάτη (ωμικές)

$$P_{\text{Cu st}} = 3 I_1^2 R_1$$

$$P_{\text{Cu st}} = P_{\text{in}} - P_{\text{ag}} = 24.941,53 - 21.875 = 3.066,53 \text{ W}$$

$$\Rightarrow 3 I_1^2 R_1 = 3.066,53 \text{ W} \Rightarrow R_1 = 3.066,53 / (3 45^2)$$

$$\Rightarrow R_1 = 0,50 \Omega \text{ ανά φάση}$$

δ) $\eta (\%) = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \times 100\% = (18.650 / 24.941,53) \times 100\% = 74,77\%$