ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΑΡΙΝΟ 2020-2021

ΑΣΚΗΣΗ 1 23/3/2021

Τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας Βραχυκυκλωμένου δρομέα λειτουργεί υπό φορτίο στις 1450 ΣΑΛ. Η συχνότητα των τάσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη είναι f1=50HZ. Να βρεθούν

1. Ο αριθμός των πόλων του κινητήρα και η αντίστοιχη σύγχρονη ταχύτητα
2. Η ολίσθηση του δρομέα
3. Η συχνότητα των ρευμάτων στο δρομέα
4. Η γωνιακή ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου του στάτη με το στατη και σε σχέση με το δρομέα.

Λύση

Η σύγχρονη ταχύτητα εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων και από τη συχνότητα των τάσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη. Σύμφωνα με την (7.1), είναι

$$n_s = \frac{120 f_1}{P} = \frac{120 \times 50}{P} = \frac{6000}{P}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι στο πλήρες φορτίο, η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι κοντά στο σύγχρονο αριθμό στροφών, προκύπτει εύκολα από τα δεδομένα της εκφώνησης ότι

$$P = 4 \quad \text{και} \quad n_s = 1500 rpm$$

Η ολίσθηση του δρομέα με βάση την (7.7), είναι

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02 \qquad \text{ή} \qquad 2\%$$

Η συχνότητα των ρευμάτων στο δρομέα, σύμφωνα με την (7.8), είναι

$$f_2 = s f_1 = 0.02 \times 50 Hz = 1 Hz$$

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη, είναι

$$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = \frac{2\pi \times 1500}{60} = 157.08\, rad/s$$

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του τυλίγματος του στάτη ως προς το δρομέα, είναι

$$\omega_{sr} = \frac{2\pi(n_s - n_r)}{60} = \frac{2\pi \times sn_s}{60} = s\omega_s = 157.08 \times 0.02\, rad/s = 3.14\, rad/s$$

ΑΣΚΗΣΗ 2 23/3/2021

Τριφασικός τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας, συνδεδεμένος σε αστέρα λειτουργεί στα $460\,\mathrm{V}$, $60\,\mathrm{Hz}$ και κινεί φορτίο $16\,\mathrm{HP}$ με $1760\,\mathrm{rpm}$. Οι απώλειες περιστροφής μαζί με τις απώλειες πυρήνα του κινητήρα είναι $1100\,\mathrm{W}$. (1 HP = 746 WATT)

Ζητούνται
1. Η ολίσθηση του κινητήρα
2. Η εσωτερική ροπή του κινητήρα
3. Η ροπή στον άξονα του κινητήρα
4. Η ισχύς εισόδου του κινητήρα

Λύση

1. Οι σύγχρονες στροφές του κινητήρα, είναι:

$$\mathrm{n_s} = \frac{120\mathrm{f}}{\mathrm{P}} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800\,\mathrm{rpm}$$

και η ολίσθηση

$$\mathrm{s} = \frac{\mathrm{n_s} - \mathrm{n}}{\mathrm{n_s}} = \frac{1800 - 1760}{1800} = 0.022 = 2.2\,\%$$

2. Η εσωτερική ισχύς του κινητήρα, είναι

$$\mathrm{P_{em}} = \mathrm{P_L} + \mathrm{P_{\alpha\pi}} = (16 \times 746\,\mathrm{W}) + 1100\,\mathrm{W} = 13036\,\mathrm{W}$$

και η εσωτερική ροπή

$$\mathrm{T_{em}} = \frac{\mathrm{P_{em}}}{\omega} = \frac{\mathrm{P_{em}}}{\frac{2\pi\,\mathrm{n}}{60}} = \frac{13036 \times 60}{2\pi \times 1760} = 70.73\,\mathrm{Nm}$$

3. Η ροπή στον άξονα του κινητήρα, είναι

$$\mathrm{T_L} = \frac{\mathrm{P_L}}{\omega} = \frac{\mathrm{P_L}}{\frac{2\pi\,\mathrm{n}}{60}} = \frac{(16 \times 746\,\mathrm{W}) \times 60}{2\pi \times 1760\,\mathrm{rpm}} = 64.76\,\mathrm{Nm}$$

4. Και τέλος η Ισχύς εισόδου

$$P_{g1} = \frac{P_{em}}{1-s} = \frac{13036\ W}{1-0.022} = 13329\ W$$

ΑΣΚΗΣΗ 3 23/3/2021

Τριφασικός εξαπολικός κινητήρας επαγωγής συνδέσεως αστέρα 50HP,440V,50HZ λειτουργεί στην ονομαστική τάση και συχνότητα και υπό πλήρες φορτίο με Ολίσθηση 3%. Ο βαθμός απόδοσης είναι 91%. Ζητούνται

1. Η Ταχύτητα του κινητήρα όταν λειτουργεί στο κενό
2. Η Ταχύτητα του κινητήρα στο πλήρες φορτίο
3. Ο συντελεστής ισχύος και η αναπτυσσόμενη ροπή για ρεύμα γραμμής 63Α.

Λύση

α) Όταν ο κινητήρας λειτουργεί εν κενώ με μηδενικές απώλειες περιστροφής η ολίσθηση είναι μηδενική.

Sκφ= 0 $\Rightarrow \frac{ns - n\kappa\varphi}{ns}$ =0 $\Rightarrow$ nκφ = ns= $\frac{120\,f}{P}$ =1000ΣΑΛ

β) Στο πλήρες φορτίο η ολίσθηση είναι 3% δηλαδή Sπφ=0.03

$S\pi\varphi = \frac{ns - n\pi\varphi}{ns} \Rightarrow$ 0,03= $\frac{1000 - n\pi\varphi}{1000} \Rightarrow$ nπφ =970ΣΑΛ

γ) Εδώ έχουμε δοσμένη την ισχύ (πλήρους φορτίου) και το βαθμό απόδοσης . Άρα είναι

Pout= 50 HP =50X746watt $\Rightarrow$ Pout=37300Watt

Επειδή ο βαθμός απόδοσης είναι n=0,91 έχουμε

$n = \frac{Pout}{Pin} \Rightarrow Pin = \frac{Pout}{K} = \frac{37300}{0.91} \Rightarrow$ Pin= 40990w= 41kw

Όμως επειδή η σύνδεση είναι αστέρα , η τάση μιας φάσης στην είσοδο είναι(η δοσμένη τάση 440V είναι πολική)

$V1 = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254.3V$

Η Ισχύς εισόδου δίνεται από τη σχέση

Pin= 3V1I1cosφ $\Rightarrow$ 40990=3X254,3X63Xcosφ $\Rightarrow$ cosφ=0,85 (επαγωγικός)

Οι μηχανές επαγωγής λειτουργούν φυσικά με επαγωγικό συντελεστή ισχύος

Η ροπή στον άξονα είναι ίση με την αναπτυσσομένη εσωτερική ροπή, εφόσον δεν υπάρχουν απώλειες περιστροφής. Στο πλήρες φορτίο θα έχουμε :

$$\text{Τ}\pi\varphi = \frac{Pout}{\omega m} = \frac{Pout}{2\pi \frac{n\pi\varphi}{60}} = \frac{37300}{2\pi \frac{970}{60}} = 367,4Nm$$

Άσκηση 4 30/3/2021

Επαγωγικός κινητήρας τεσσάρων πόλων έχει ονομαστική τάση , ισχύ και συχνότητα 208V, 10Hp, και 60 HZ αντίστοιχα. Ο κινητήρας συνδέεται σε αστέρα και η ολίσθησή του στην πλήρη φόρτιση είναι 5%.

1. Ποιά είναι η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα
2. Ποια είναι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο.
3. Ποια είναι η συχνότητα στο δρομέα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο
4. Ποιά είναι η ροπή που ασκείται στον άξονα του κινητήρα κατά τη λειτουργία με ονομαστικό φορτίο

Λύση

1. Η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα είναι
   ns=120f/p=120*60/4=1800 rpm

2. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα δίνεται από την σχέση

nr=(1-s)ns=(1-0.05)(1800) =1710 rpm

3. Η συχνότητα του δρομέα του κινητήρα δίνεται από την σχέση.

f=sf1=(0.05)*(60)=3 hz

Η συχνότητα του δρομέα μπορεί επίσης να υπολογιστεί από την σχέση

fr= P/120(ns-nr)= 4/120(1800-1710)=3 hz

4. Η ροπή η οποία ασκείται στον άξονα του δρομέα δίνεται από την σχέση

T=Pout/ωm= (10 hp)(746w/hp)/(1710r/min)(2π rad/r)(1min/60s)=41.7 Nm

.

Άσκηση 5 30/03/2021

Τριφασικός οκταπολικός κινητήρας 50 Hz, λειτουργεί στις 710 rpm και απορροφάει από το δίκτυο ισχύ ίση με 35kw. Οι απώλειες χαλκού του στάτη στη συγκεκριμένη λειτουργική κατάσταση είναι 1200 w και οι απώλειες περιστροφής 600w. Να βρεθούν

1. Οι απώλειες χαλκού δρομέα
2. Η εσωτερική ροπή
3. Η καθαρή μηχανική ισχύς
4. Η μηχανική ροπή στον άξονα.

Λύση

Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής είναι

$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = \frac{6000}{8} = 750rpm$$

και η ολίσθηση στις συγκεκριμένες λειτουργικές συνθήκες

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{750 - 710}{750} = 0.053$$

Η ισχύς διακένου προκύπτει από την ισχύ εισόδου, μετά την αφαίρεση των απωλειών χαλκού του στάτη. Επομένως

$$P_g = P_{in} - P_{Cu,s} = (35000 - 1200)W = 33800W$$

Έχοντας υπολογίσει την ισχύ διακένου, οι απώλειες χαλκού στα τυλίγματα του δρομέα είναι

$$P_{Cu,r} = sP_g = 0.053 \times 33800W = 1791.4W$$

Η μηχανική ισχύς στον άξονα προκύπτει από την εσωτερική ισχύ, μετά την αφαίρεση των απωλειών περιστροφής. Δηλαδή

$$P_m = P_{\text{int}} - P_{rot} = (1 - s)P_g - P_{rot} = (1 - 0.053) \times 33800 - 600 = 31409W$$

και η μηχανική ροπή

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{31409 \times 60}{2\pi \times 710} = 422.44Nm$$

Άσκηση 6 30/03/2021

Τριφασικός κινητήρας επαγωγής τυλιγμένου δρομέα με ονομαστική τάση και ισχύ 480V και 50 HP αντίστοιχα , συνδεδεμένος σε αστέρα , λειτουργεί με ρεύμα 60A, και με συντελεστή ισχύος 0,85 επαγωγικό. Οι απώλειες χαλκού στο στάτη είναι 2 KWκαι οι απώλειες χαλκού στο δρομέα 700 w. Οι απώλειες τριβής και ανεμισμού είναι 600 w, οι απώλειες πυρήνα 1800 w, ενώ οι διαφεύγουσες απώλειες θεωρούνται αμελητέες. Να υπολογιστούν

1. Η ισχύς διακένου Pg1
2. Η ηλεκτρομαγνητική ισχύς Pint
3. Η ισχύς εξόδου Pout
4. Η απόδοση του κινητήρα.

Λύση

Με βάση τα δεδομένα της εκφώνησης, η ηλεκτρική ισχύς στην είσοδο του κινητήρα είναι

$$P_{in} = \sqrt{3}\, V_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3} \times 480 \times 60 \times 0.85 = 42.4\, KW$$

Η ισχύς διακένου, προκύπτει από την ισχύ εισόδου, μετά την αφαίρεση των απωλειών χαλκού του στάτη. Επομένως

$$P_{g1} = P_{in} - P_{Cu,s} = 42.4\, KW - 2\, KW = 40.4\, KW$$

Αφαιρώντας από την ισχύ διακένου τις απώλειες χαλκού των τυλιγμάτων του δρομέα, προκύπτει η εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς . Είναι

$$P_{\text{int}} = P_{g1} - P_{Cu,r} = 40.4\, KW - 0.7\, KW = 39.7\, KW$$

Οι απώλειες περιστροφής, αποτελούν το άθροισμα των μηχανικών απωλειών τριβών και ανεμισμού, των απωλειών πυρήνα και των διαφευγουσών απωλειών. Οι απώλειες περιστροφής συνήθως θεωρούνται σταθερές και ανεξάρτητες της ταχύτητας περιστροφής. Η καθαρή μηχανική ισχύς που αποδίδεται στον άξονα, λοιπόν είναι

$$P_m = P_{\text{int}} - P_c - P_{f,w} = 39.7\, KW - 0.6\, KW - 1.8\, KW = 37.3\, KW = 50\, HP$$

Ο βαθμός απόδοσης στις συγκεκριμένες λειτουργικές συνθήκες είναι

$$\eta(\%) = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100 = \frac{37.3\, KW}{42.4\, KW} \times 100 = 88\,\%$$

Άσκηση 7 4/3/2021

Κατά τις δοκιμές κενού φορτίου και ακινητοποιημένου δρομέα , σε τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα , 400V, 50 HZ, προέκυψαν τα ακόλουθα δεδομένα:

Δοκιμή κενού φορτίου Vnl= 400V, Inl=8.5A, Pnl=1100watt
Δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα Vbr=180 V, Ibr=45A, Pbr=5700watt

Και οι δύο παραπάνω δοκιμές έγιναν στην ονομαστική συχνότητα . Η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος του στάτη, με απευθείας μέτρηση με συνεχές ρεύμα στα τυλίγματα του στάτη , υπολογίστηκε στην τιμή R1= 0.9 Ω. Να προσδιοριστούν τα στοιχεία του ισοδύναμου κυκλώματος και να γίνει το κύκλωμα.

Λύση
Από τη δοκιμή κενού φορτίου, σύμφωνα με τις σχέσεις (7.78), (7.79) και (7.80), έχουμε:

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3I_{nl}^2} = \frac{1100}{3\times 8.5^2} = 5.08\Omega$$

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{\sqrt{3}\,I_{nl}} = \frac{400}{\sqrt{3}\times 8.5} = 27.17\Omega$$

και

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} = \sqrt{27.17^2 - 5.08^2} = 26.69\Omega$$

Εντελώς ανάλογα, από τα δεδομένα της δοκιμής ακινητοποιημένου δρομέα, σύμφωνα με τις σχέσεις (7.82), (7.83) και (7.84), έχουμε:

$$R_{br} = \frac{P_{br}}{3I_{br}^2} = \frac{5700}{3\times 45^2} = 0.94\Omega$$

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{\sqrt{3}\,I_{br}} = \frac{180}{\sqrt{3}\times 45} = 2.31\Omega$$

και

$$X_{br} = \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2} = \sqrt{2.31^2 - 0.94^2} = 2.11\Omega$$

Σύμφωνα με την (7.86), για τις αντιδράσεις σκέδασης των τυλιγμάτων στάτη και δρομέα, ισχύει:

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{br}}{2} = \frac{2.11\Omega}{2} = 1.06\Omega$$

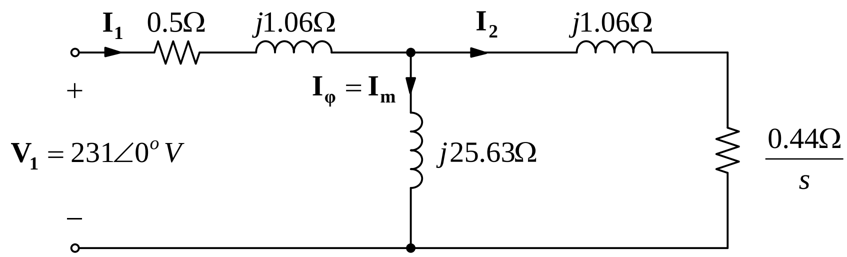
και με βάση την (7.87)

$$X_m = X_{nl} - X_1 = 26.69\Omega - 1.06\Omega = 25.63\Omega$$

Η ανηγμένη τιμή της ωμικής αντίστασης του δρομέα στο στάτη, σύμφωνα με την (7.88) είναι

$$R_2 = R_{br} - R_1 = 0.94\Omega - 0.5\Omega = 0.44\Omega$$

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, το απλοποιημένο μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα του τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα είναι



ΑΣΚΗΣΗ 8 9/4/2021

Σε ένα επαγωγικό κινητήρα 4 πόλων , κλάσης Α συνδεδεμένο σε αστέρα και με ονομαστική ισχύ , τάση , συχνότητα και ρεύμα , 7.5 Hp , 208V, 60 Hz, και 28 A, αντίστοιχα, τα τρία πειράματα έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα

1. Πείραμα συνεχούς ρεύματος VDC= 13.6 V, IDC=28 A

2. Πείραμα χωρίς φορτίο V= 208 V, IA=8,12 A, IB= 8.20 A, IC= 8.18 A, f= 60 HZ , Pin = 420 watt

3. Πείραμα ακινητοποιημένου δρομέα

V= 25V , IA= 28, 1 A, IB= 28A, IC=27.6 A , f= 15 Hz , Pin = 920 watt

1. Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα του κινητήρα
2. Να βρεθεί η ολίσθηση που αντιστοιχεί στη ροπή ανατροπής και να υπολογιστεί η ίδια η ροπή ανατροπής

ΑΣΚΗΣΗ 8 9/4/2021

Σε ένα επαγωγικό κινητήρα 4 πόλων , κλάσης A συνδεδεμένο σε αστέρα και με ονομαστική ισχύ , τάση , συχνότητα και ρεύμα , 7.5 Hp , 208V, 60 Hz, και 28 A, αντίστοιχα, τα τρία πειράματα έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα

1. Πείραμα συνεχούς ρεύματος VDC= 13.6 V, IDC=28 A

2. Πείραμα χωρίς φορτίο V= 208 V, IA=8,12 A, IB= 8.20 A, IC= 8.18 A, f= 60 HZ , Pin = 420 watt

3. Πείραμα ακινητοποιημένου δρομέα

V= 25V , IA= 28, 1 A, IB= 28A, IC=27.6 A , f= 15 Hz , Pin = 920 watt

1. Να σχεδιαστεί το ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα του κινητήρα
2. Να βρεθεί η ολίσθηση που αντιστοιχεί στη ροπή ανατροπής και να υπολογιστεί η ίδια η ροπή ανατροπής

Λύση

1. Απο το πήραμα συνεχούς ρευματος

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}} = \frac{13,6V}{2(28,0)A} = 0,243\ \Omega$$

Απο το πήραμα χωρίς φορτιο

$$I_L = \frac{8,12A + 8,20A + 8,18A}{3} = 8,17A$$

$$V_{\phi oc} = \frac{208V}{\sqrt{3}} = 120V$$

Ετσι το μετρο της συνθετης αντιστασης $|Z_{oc}| = \frac{120V}{8,17A} = 14,7\ \Omega = X_1 + X_M$

Οι απωλειες χαλκου στο στατη ειναι

$$P_{w,c} = 3I_1^2 R_1 = 3(8,17A)^2(0,243\ \Omega) = 48,7\ W$$

Οι απωλειες περιστροφης στη λειτουργια χωρις φορτιο

ειναι $P_{rot} = P_{in,nl} - P_{w,c} = 420W - 48,7W = 371,3W$

② Από το πείραμα ακινητοποιημένου δρομέα:

$$I_L = \frac{28,1A + 28,0A + 27,6A}{3} = 27,9\,A$$

Η σύνθετη αντίσταση ακινητοποιημένου δρομέα είναι:

$$|Z| = \frac{V_\phi}{I_A} = \frac{V_T}{\sqrt{3} I_A} = \frac{25V}{\sqrt{3}(27,9A)} = 0,517\,\Omega$$

Η γωνία θ της σύνθετης αντίστασης είναι

$$\theta = \cos^{-1}\frac{P_{in}}{\sqrt{3}V_T I_L}$$

$$= \cos^{-1}\frac{920W}{\sqrt{3}(25V)(27,9A)}$$

$$= \cos^{-1}0,762 = 40,4^\circ$$

$PF = \cos\theta = \frac{P_{in}}{\sqrt{3}V_T I_L}$

η γωνία θ της σύνθετης αντίστασης είναι ίση με $\cos^{-1}PF$

Έτσι $R_{br} = 0,517\cos 40,4^\circ = 0,394\,\Omega = R_1 + R_2$

Όμως επειδή $R_1 = 0,243\,\Omega$, η R_2 θα πρέπει να είναι ίση με $0,151\,\Omega$

Η αντίδραση στα 15 Hz είναι

$$X_{br} = 0,517\sin 40,4^\circ = 0,335\,\Omega$$

Η ισοδύναμη αντίσταση στα 60 Hz είναι (ολική)

$$X = \frac{f_{rated}}{f_{test}} X_{br} = \left(\frac{60Hz}{15Hz}\right)0,335\,\Omega = 1,34\,\Omega$$

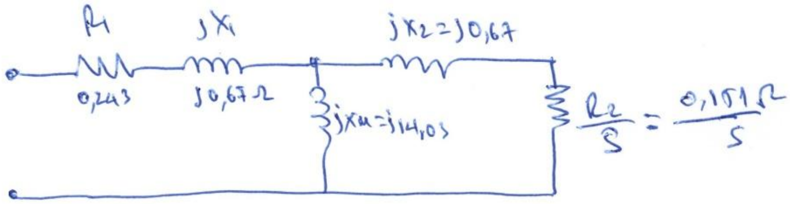
Στους επαγωγικούς κινητήρες κλάσης A υποτίθεται ότι η αντίδραση μοιράζεται εξίσου στο στάτη και στο δρομέα. Οπότε:

(3)

$X_1 = X_2 = 0{,}67\ \Omega$

και

$X_M = |Z_{nl}| - X_1 = 14{,}7\ \Omega - 0{,}67\ \Omega = 14{,}03\ \Omega$



b) $V_{TH} \cong V_\varphi \dfrac{X_M}{X_1 + X_M} = 114{,}6\ V$

$R_{TH} \cong R_1 \left(\dfrac{X_M}{X_1 + X_M}\right)^2 = 0{,}221\ \Omega$

$X_{TH} \simeq X_1$

$$s_{max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} =$$

$$= \frac{0{,}151\ \Omega}{\sqrt{(0{,}243\ \Omega)^2 + (0{,}67\ \Omega + 0{,}67\ \Omega)^2}} = 0{,}111 = 11{,}1\ \%$$

Η μέγιστη ροπή του συγκεκριμένου κινητήρα δίνεται από τη σχέση

$$\tau_{max} = \frac{3V_{TH}^2}{2\omega_{sync}\left[R_{TH} + \sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}\right]}$$

$$= \frac{3(114{,}6\ V)^2}{2(188{,}5\ rad/s)\left[0{,}221\ \Omega + \sqrt{(0{,}221\ \Omega)^2 + (0{,}67\ \Omega + 0{,}67\ \Omega)^2}\right]} =$$

$= 66{,}2\ Nm$

ΑΣΚΗΣΗ 9 13/04/2021

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας επαγωγής 17kw 400V, 50 HZ απορροφά ρεύμα 35.6 A, με συντελεστή ισχύος ΣΙ=0,805 και βαθμό απόδοσης 86% στις 1450rpm. Ο κινητήρας έχει τα ακόλουθα δεδομένα δοκιμών

Δοκιμή κενού φορτίου Pnl=640 watt, Inl=3.2 A

Δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα Pbr=2000watt , Vbr= 67 V.

Να βρεθούν

1. Το ισοδύναμο κύκλωμα αν οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη και του δρομέα είναι ίδιες
2. Η ονομαστική ροπή και η ολίσθηση
3. Οι συνολικές απώλειες του κινητήρα και οι επιμέρους

Λύση

1. Για λειτουργία χωρίς φορτίο στη συχνότητα των 50HZ

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} = \frac{400}{\sqrt{3}\times 3.2} = 72.17 \ (\Omega/\text{φάση}) \quad , \quad R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3I_{nl}^2} = \frac{640}{3\times(3.2)^2} = 20.83\,(\Omega/\text{φάση})$$

Επομένως

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} = \sqrt{72.17^2 - 20.83^2} = 69.1 \ (\Omega/\text{φάση})$$

Επίσης στην κενή λειτουργία, με πολύ καλή προσέγγιση ισχύει

$$X_{nl} = X_1 + X_m = 69.1\,\Omega$$

Διότι, στη κενή λειτουργία $s = 0$ και $R_2 / s \to \infty$. Δηλαδή, ο κλάδος αυτός παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση έναντι του παράλληλου του κλάδου X_m, οπότε είναι σαν να μην υπάρχει.

Από τη δοκιμή ακινητοποιημένου δρομέα, έχουμε

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} = \frac{67V}{35.6A} = 1.88\,(\Omega/\text{φάση}) \quad , \quad R_{br} = \frac{P_{br}}{3I_{br}^2} = \frac{2000}{3\times(35.6)^2} = 0.53\,(\Omega/\text{φάση})$$

Επομένως

$$X_{br} = \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2} = \sqrt{(1.88)^2 - (0.53)^2} = 1.8 \ \ (\Omega/\text{φάση})$$

Επίσης, $X_{br} = X_1 + X_m$, γιατί ο μεσαίος κλάδος αμελείται αφού $X_m >> R_2, X_2$, διότι $s = 1$. Με την προϋπόθεση ότι

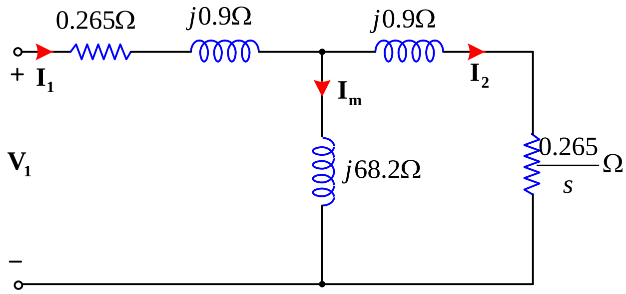
$$X_1 = X_2 = \frac{X_{br}}{2} = \frac{1.8}{2} = 0.9\,\Omega$$

$$X_{nl} = X_1 + X_m \quad \Rightarrow \quad X_m = X_{nl} - X_1 = 69.1 - 0.9 = 68.2\,\Omega$$

Και

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{br}}{2} = \frac{0.53}{2} = 0.265\,\Omega$$

Με βάση τα παραπάνω, το ισοδύναμο κύκλωμα παίρνει τη μορφή.



2. Η ονομαστική ροπή και η ολίσθηση, είναι

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_r} = \frac{P_m}{\frac{2\pi n_r}{60}} = \frac{17000 \times 60}{2\pi \times 1450} = 111.96Nm$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.033$$

3. Η ισχύς εισόδου του κινητήρα, είναι

$$P_1 = 3V_1 I_1 \cos\varphi = 3 \times 230 \times 35.6 \times 0.805 = 19774W$$

Οι συνολικές απώλειες του κινητήρα, είναι

$$P_{\alpha\pi.} = P_{in} - P_m = 19774W - 17000W = 2774W$$

Οι επιμέρους απώλειες αυτών των απωλειών είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη και του δρομέα, όπου βρίσκονται από τις απώλειες του πειράματος ακινητοποιημένου δρομέα

$$P_{Cu,s} = P_{Cu,r} = \frac{P_{Cu}}{2} = \frac{P_{sc}}{2} = \frac{2000W}{2} = 1000W$$

Οι μαγνητικές απώλειες (σιδήρου) του δρομέα είναι πολύ μικρές και μπορεί να αμεληθούν γιατί εξαρτώνται από τη συχνότητα του δρομέα που είναι πολύ μικρή:

$$f_r = s\, f_s = 0.033 \times 50 = 1.65Hz$$

Οι μαγνητικές απώλειες του στάση και οι απώλειες ανεμισμού μπορούν να υπολογιστούν από τις απώλειες κενού φορτίου:

$$P_{w,c} = 640W$$

Οπότε οι μαγνητικές απώλειες του δρομέα, είναι:

$$P_{Fe,r} = P_{\alpha\pi.} - P_{Cu,s} - P_{Cu,r} - P_{w,c} = 2774W - 1000W - 1000W - 640W = 134W$$

ΑΣΚΗΣΗ 10 13/04/2021

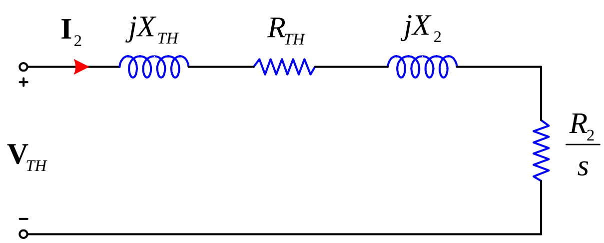
Έστω ασύγχρονος τριφασικός τετραπολικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα 266/460V, 60 HZ,σε συνδεσμολογία αστέρα, με τις ακόλουθες τιμές παραμέτρων ισοδύναμου κυκλώματος ανά φάση

R1=0.42 Ω, R2=0.23Ω, X1=X2=0,82 Ω, και Xm=22Ω.

Είναι ο συγκεκριμένος κινητήρας κατάλληλος για την εκκίνηση μηχανικού φορτίου σταθερής ροπής TL=100Nm.

Λύση

Θα πρέπει αφενός μεν η ροπή εκκίνησης του κινητήρα, να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ροπή εκκίνησης του φορτίου και αφετέρου η ροπή ανατροπής του κινητήρα, μεγαλύτερη από τη μέγιστη ροπή του φορτίου.
Το ισοδύναμο Thevenin ανά φάση του ασύγχρονου κινητήρα, από τους ακροδέκτες του δρομέα είναι



όπου

$$R_{TH} = \frac{X_m^2 R_1}{R_1^2 + \left(X_1 + X_m\right)^2} = \frac{22^2 \times 0.42}{0.42^2 + (0.82+22)^2} = 0.39\,\Omega$$

$$X_{TH} = \frac{X_m\left[R_1^2 + X_1(X_1 + X_m)\right]}{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2} = \frac{22\times\left[0.42^2 + 0.82\times(0.82+22)\right]}{0.42^2 + (0.82+22)^2} = 0.8\,\Omega$$

και

$$V_{TH} = V_1\frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} = 265.58\times\frac{22}{\sqrt{0.42^2 + (0.82+22)^2}} = 256\ V$$

Η παραγόμενη ροπή δίνεται από τη σχέση

$$T = \frac{3}{\omega_s} P_g = \frac{3}{\omega_s} I_2^2 \frac{R_2}{s} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{TH}^2 \left(\frac{R_2}{s}\right)}{\left(R_{TH} + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X_2\right)^2}$$

Η ροπή εκκίνησης προκύπτει από τη γενική έκφραση της ροπής, θέτοντας όπου $s = 1$. Επομένως

$$T_{st} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_{TH}^2 R_2}{\left(R_{TH} + R_2\right)^2 + \left(X_{TH} + X_2\right)^2} = \frac{3}{188.5} \frac{256^2 \times 0.23}{(0.39 + 0.23)^2 + (0.8 + 0.82)^2} = 79.8\,Nm$$

Είναι

$$T_{st} = 79.8\,Nm < T_L = 100\,Nm$$

Που σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι ακατάλληλος, διότι αδυνατεί να ξεκινήσει το φορτίο.

ΑΣΚΗΣΗ 11 16/04/2021

Τριφασικός τετραπολικός κινητήρας επαγωγής τυλιγμένου δρομέα (δακτυλιοφόρου) , 400V, 50 HZ, με cosφ=0,85 έχει: Pfe=800w, R1= 0.25 Ω , I1no=60A, και S= 0.018. Τα τυλίγματα του στάτη είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο και του δρομέα σε αστέρα. Να υπολογιστεί η αντίσταση που πρέπει να συνδεθεί στο κύκλωμα του δρομέα έτσι ώστε η ονομαστική ροπή να επιτευχθεί στις 1100 rpm

<u>Λύση</u>

Το ονομαστικό ρεύμα είναι το ρεύμα γραμμής , οπότε επειδή τα τυλίγματα του στάτη είναι σε τρίγωνο, θα έχουμε:

$$I_{1,s} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 60A = 34.64A$$

Και οι ηλεκτρικές απώλειες στο στάτη, θα είναι:

$$P_{Cu,s} = 3I_{1,s}^2 R_1 = 3 \times 34.64^2 \times 0.25 = 900W$$

Και η ισχύς εισόδου

$$P_1 = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 60 \times 0.85 = 35334\,W$$

Η ισχύς διακένου που προσφέρεται στον δρομέα, είναι

$$P_g = P_1 - P_{Cu,s} - P_{Fe,s} = 35334W - 900W - 800W = 33634W$$

Και οι ηλεκτρικές απώλειες του δρομέα

$$P_{Cu,r} = sP_g = 0.018 \times 33634W = 605W$$

Οπότε η αντίσταση του δρομέα θα είναι

$$R_2 = \frac{P_{Cu,r}}{3I_2^2} = \frac{605}{3\times\left(\frac{34.46}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.51\Omega$$

Οι σύγχρονες στροφές της μηχανής είναι

$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120\times 50}{4} = 1500\,rpm$$

Και η ονομαστική ταχύτητα

$$n_r = (1-s)n_s = (1-0.018)\times 1500 = 1473\,rpm$$

και η ολίσθηση για τις 1100rpm θα είναι

$$s' = \frac{n_s - n_r'}{n_s} = \frac{1500-1100}{1500} = 0.267$$

Για απλοποίηση των υπολογισμών λαμβάνουμε τη γραμμική περιοχή, οπότε η αντίσταση του στάτη που απαιτείται έτσι ώστε η ονομαστική ροπή να επιτευχθεί στις 1100rpm, είναι

$$R = R_2\left(\frac{s'}{s}-1\right) = 0.51\times\left(\frac{0.267}{0.018}-1\right) = 7.05\,\Omega$$

ΑΣΚΗΣΗ 12 20/4/2021

Τριφασικός εξαπολικός κινητήρας επαγωγής 10KW ,400 V, 50 HZ σε συνδεσμολογία αστέρα έχει τις ακόλουθες παραμέτρους ανά φάση ανηγμένες στο στάτη

R1= 0.3 Ω, R2= 0.15Ω, X1=X2=0,5 Ω, Xm=15 Ω.

Οι απώλειες περιστροφής και οι μαγνητικές απώλειες είναι σταθερές και ίσες με 500Watt. Ζητούνται

1. Η ταχύτητα περιστροφής όταν η εσωτερική ροπή είναι 72Nm σε ονομαστική τάση και συχνότητα

2. Η ισχύς εξόδου γι αυτή την περίπτωση

<u>Λύση</u>
Η εσωτερική ροπή, υπολογίζεται από τη σχέση

$$T_{\text{int}} = \frac{1}{\omega_s}\frac{3V_{TH}^2\left(\frac{R_2}{s}\right)}{\left(R_{TH}+\frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(X_{TH}+X_2\right)^2}$$

Όπου σύμφωνα με τα δεδομένα της εκφώνησης

$$\mathbf{V_{TH}} = \mathbf{V_1} \frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^o \times \frac{j15}{0.3 + j(0.5+15)} = 223.45 \angle 1.11^\circ V$$

και

$$\mathbf{Z_{TH}} = R_{TH} + jX_{TH} = \frac{(R_1 + jX_1)\, jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} = \frac{(0.3 + j0.5) \times j15}{0.3 + j(0.5+15)} = (0.28 + j0.49)\,\Omega$$

Επομένως

$$R_{TH} = 0.28\,\Omega \quad , \quad X_{TH} = 0.49\,\Omega$$

Η σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα είναι

$$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} = 104.72\ rad/s$$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω και αφού αντικαταστήσουμε το $\left(\frac{R_2}{s}\right) = y$ προκύπτει ότι

$$72 = \frac{1}{104.72} \frac{3 \times 223.45^2 \times y}{(0.28 + y)^2 + (0.49 + 0.5)^2} \Rightarrow 72 = \frac{1430.33y}{(0.28 + y)^2 + 0.98} \Rightarrow 1 = \frac{19.86y}{(0.28 + y)^2 + 0.98} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (0.28 + y)^2 + 0.98 = 19.86y \Rightarrow 0.0784 + 0.56y + y^2 + 0.98 = 19.86y \Rightarrow y^2 - 19.3y + 1.058 = 0$$

$$y_1 = 19.24 \quad \text{και} \quad y_2 = 0.055$$

Και επειδή

$$\left(\frac{R_2}{s}\right) = y \Rightarrow \frac{0.15}{s} = 19.24 \Rightarrow s = \frac{0.15}{19.24} = 0.0078$$

$$\left(\frac{R_2}{s}\right) = y \Rightarrow \frac{0.15}{s} = 0.055 \Rightarrow s = \frac{0.15}{0.055} = 2.73$$

Η δεύτερη τιμή απορρίπτεται, οπότε $s = 0.0078$

Οι σύγχρονες στροφές της μηχανής είναι

$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000\ rpm$$

Και η ζητούμενη ταχύτητα περιστροφής

$$n_r = (1 - s)n_s = (1 - 0.0078) \times 1000 = 992\ rpm$$

Η εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς είναι

$$P_{\text{int}} = T_{\text{int}}\omega_r = T_{\text{int}}\frac{2\pi n_r}{60} = 70\times\frac{2\pi\times 992}{60} = 7272\,W$$

Και η ισχύς εξόδου

$$P_m = P_{\text{int}} - P_{w,c} = 7272W - 400W = 6872\,W$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ

ΑΣΚΗΣΗ 13 23/4/2021

Τριφασικός τετραπολικός κινητήρας επαγωγής τυλιγμένου δρομέα (δακτυλιοφόρος), 35KW, 400V, 50Hz, αποδίδει το πλήρες φορτίου σε ταχύτητα 1455 rpm όταν λειτουργεί σε ονομαστική τάση και συχνότητα. Η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναπτύξει σε ονομαστική τάση και συχνότητα είναι 200% της ροπής του πλήρους φορτίου. Η αντίσταση του τυλίγματος του δρομέα είναι 0.1Ω ανά φάση. Αμελούνται οι απώλειες περιστροφής και η αντίσταση του στάτη. Να υπολογισθούν:

1. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα στο πλήρες φορτίο,
2. Η ταχύτητα που αντιστοιχεί στη μέγιστη ροπή.
3. Πόση αντίσταση πρέπει να εισάγουμε εν σειρά με τον κινητήρα ώστε να παραχθεί μέγιστη ροπή εκκίνησης;

ΑΣΚΗΣΗ 14 23/4/2021

Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας 6 πόλων, 15KW, 400V, 50Hz, συνδεδεμένος σε τρίγωνο, έχει τις ακόλουθες παραμέτρους του ισοδύναμου κυκλώματος σε Ω/φάση, ανηγμένες στο στάτη.

$$R_1 = R_2 = 0.35\Omega \quad , \; X_1 = X_2 = 0.55\Omega \quad , \; X_m = 17.5\Omega$$

Οι απώλειες περιστροφής (πυρήνα και μηχανικές) του κινητήρα είναι 520W και θεωρούνται σταθερές για όλη τη περιοχή λειτουργίας του κινητήρα. Να βρεθεί η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί υπό ονομαστική τάση και ονομαστική ισχύ.

ΑΣΚΗΣΗ 15 23/4/2021

Τριφασικός εξαπολικός κινητήρας επαγωγής, *10 HP* , 50Hz , στρέφεται με 970 *rpm* υπό πλήρες φορτίο. Οι απώλειες περιστροφής στο πλήρες φορτίο, είναι 4% της ισχύος εξόδου.

Για λειτουργία στο πλήρες φορτίο, να υπολογιστούν:

1. Οι απώλειες χαλκού του δρομέα
2. Η ηλεκτρομαγνητική ροπή
3. Η ισχύς διακένου

Δίδεται $1HP = 746W$

ΑΣΚΗΣΗ 16 23/4/2021

Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας 4 πόλων, συνδεδεμένος σε αστέρα λειτουργεί στα $400V$, $50Hz$ και κινεί φορτίο $12KW$ με $1460\,rpm$. Οι απώλειες περιστροφής του κινητήρα είναι $800W$. Η αντίσταση του τυλίγματος του στάτη θεωρείται αμελητέα, ενώ οι υπόλοιπες σταθερές του ισοδύναμου κυκλώματος της μηχανής σε Ω/φάση, ανηγμένες στο στάτη, έχουν τιμές:

$$R_2 = 0.15\Omega \quad , \quad X_1 = X_2 = 0.5\Omega \quad , \quad X_m = 15\,\Omega$$

Ζητούνται:

5. Η ολίσθηση του κινητήρα
6. Η εσωτερική ροπή του κινητήρα
7. Η ροπή στον άξονα του κινητήρα
8. Η ισχύς εισόδου του κινητήρα
9. Το ρεύμα στο δρομέα κατά την εκκίνηση της μηχανής