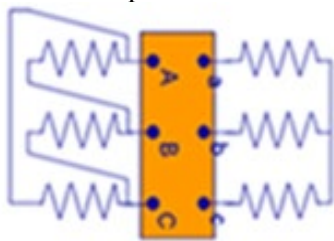


Sujet Examen Rattrapage ES411 2021

! Choisir et résoudre 2 exercices obligatoires parmi les 4 exercices ci-dessous

Exercice 1 (10 point)

Un transformateur triphasé de puissance apparente $S_n = 1000\text{kVA}$ et de tension à vide $V_{2v} = 235\text{V}$ est couplé comme indiqué ci-dessous. Son primaire est alimenté sous $U_{1n} = 20\text{kV}$, $f = 50\text{Hz}$.



- 1) Déterminer son indice horaire I_h , son rapport de transformation m ainsi que son rapport des nombres de spires $m_c = N_2/N_1$.
- 2) Calculer les courants I_{1n} et I_{2n} et la tension secondaire U_{2n} .
- 3) L'essai en court-circuit a été effectué par la méthode du double wattmètre. Sachant que, pour $I_2 = I_{2n}$, on a relevé $P_{13} = 24\text{kW}$ et $P_{23} = -14\text{kW}$, calculer R_s , X_s et $\tan\phi$.

4) Le transformateur alimente une charge couplée en triangle qui absorbe 800kW sous une tension nominale avec un facteur de puissance $0,9$. Calculer : le courant de ligne I_2 absorbé par la charge, son impédance Z_c par phase, la chute de tension ΔV dans le transformateur, le courant I_1 de ligne du primaire et le courant J_1 dans les phases du primaire, en déduire la tension U_1 qu'il faut appliquer au primaire.

Calculer les pertes joules bobines P_{JB} et en déduire le rendement η du transformateur sachant que les pertes à vide valent $P_{JF} = 5\text{kW}$.

Exercice 2 (10 point)

La réactance synchrone X_s d'un alternateur triphasé, tétrapolaire (4 pôles), est égale à 49Ω . Les enroulements statoriques sont couplés en étoile. Les résistances R_s de l'induit sont négligeables ($R_s = 0$).

On a mesuré la résistance du rotor (inducteur, excitation) $r = 42\Omega$. A la vitesse de rotation nominale, dans sa zone utile, la caractéristique à vide $E(i)$ est une droite passant par l'origine et on a mesuré : $E(i=20\text{A}) = 15\text{kV}$ (i = courant d'excitation ; E = tension efficace mesurée entre l'une des phases et le neutre de l'inducteur).

- 1) Quelle est la vitesse de rotation n du rotor si la fréquence f du courant débité par l'induit est 50Hz ?
- 2) L'alternateur débite dans une charge triphasée résistive. Les tensions entre phases sont équilibrées et sont égales à $U = 10\text{kV}$. La f.é.m. synchrone E par phase a pour valeur efficace $6,35\text{kV}$.

Calculer l'intensité efficace I du courant en ligne. En déduire la puissance P_u utile de l'alternateur?

- 3) Trouvez l'intensité du courant d'excitation i correspondant. Calculer les pertes joules rotoriques P_{Jr} .
- 4) Calculer le rendement η de la machine, sachant que la puissance fournie par le moteur d'entraînement est $P_m = 957\text{kW}$.

Exercice 3 (10 point)

Un moteur asynchrone triphasé, stator couplé en triangle, a les caractéristiques nominales suivantes :

Puissance utile $P_u = 46\text{kW}$; tension aux bornes d'un enroulement: $U = 380\text{V}$; $f = 50\text{Hz}$; courant de ligne: $I = 206\text{A}$; vitesse de rotation: $n = 1455\text{tr/min}$; la résistance entre 2 bornes du stator est de $R_s = 0,03\Omega$. Les pertes mécaniques, supposées constantes sont $p_m = 750\text{W}$. Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 380V entre phases, $f = 50\text{Hz}$.

- 1) Un essai à vide a donné: Puissance absorbée $P_{av} = 2541\text{W}$; Intensité en ligne: $I_v = 51\text{A}$; Vitesse de rotation: $n_v = 1500\text{tr/min}$. Quel est le nombre de pôles p du stator. Calculer les pertes joule stator à vide $P_{j\text{sv}}$. En déduire les pertes fer $P_f = P_{fs}$ (qu'on supposera constantes).
- 2) Calculer pour la charge nominale : a) Le glissement g ; La puissance transmise au rotor P_{tr} , et les pertes joules rotor P_{jr} ; b) Calculer les pertes Joule stator P_{js} , la puissance absorbée P_a , le facteur de puissance $\cos\phi$ et le rendement η . c) Calculer le couple utile C_u .
- 3) La caractéristique mécanique $C_u(n)$ du moteur est assimilable, dans sa partie utile, à une droite passant par les points: $C_u(n = 1500\text{tr/mn}) = 0\text{Nm}$ et $C_u(n = 1420\text{tr/mn}) = 400\text{Nm}$. Donner son équation. Le moteur entraîne une machine présentant un couple résistant indépendant de la vitesse $C_r = 130\text{Nm}$. Déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble (régime établi).

Exercice 4 (10 point)

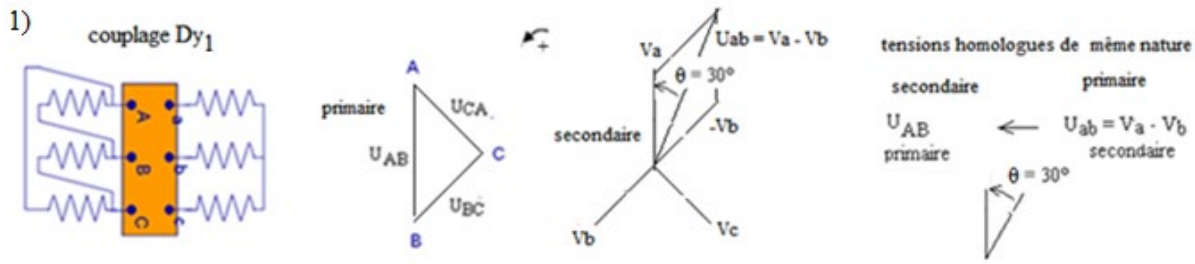
Un moteur à courant continu a une excitation indépendante. L'inducteur (stator, excitation) est alimenté avec une tension $u = 600\text{V}$ et parcouru par un courant d'excitation constante : $i = 30\text{A}$. L'induit (rotor) de résistance $R = 0,012\Omega$ est alimenté avec une source de tension réglable de 0 à sa valeur nominale $U = 600\text{V}$.

Le courant nominal dans l'induit est $I = 1,5\text{kA}$. La vitesse de rotation nominale du moteur est $n = 30\text{tr/min}$.

On rappelle que : $E = k\Phi\Omega$, $C_{em} = k\Phi I$

- 1) Ecrire la relation entre U , E et I . En déduire la tension U_d à appliquer au démarrage pour que $I_d = 1,2 I$.
- 2) Fonctionnement nominal calculer : la puissance P_e absorbée par l'induit du moteur, la puissance P_a absorbée par le moteur, la puissance totale P_j par effet Joule. Sachant que les autres pertes collectives (constantes) P_c valent 27kW , calculer la puissance P_u utile. En déduire le rendement η du moteur.
- 3) Calculer le moment du couple utile C_u , le moment du couple des pertes collectives C_c , et en déduire le moment du couple électromagnétique C_{em} .
- 4) Montrer, par ailleurs, que le moment du couple électromagnétique C_{em} est proportionnel à l'intensité I du courant dans l'induit. Vérifier que : $C_{em}(\text{en Nm}) = 185,5 I$.

Réponse 1



$$I_h = 330/\theta = 330/30 = 11h$$

1pt

$$m = U_{2v}/U_{1n} = \sqrt{3}V_{2v}/U_{1n} = 235\sqrt{3}/20000 = I_1/I_2 = \sqrt{3}m_c = 0,02$$

½ pt

$$Dy \rightarrow m_c = V_{2v}/U_{1n} = 235/20000 = N_2/N_1 = m/\sqrt{3} = 0,02/\sqrt{3} = 0,011$$

½ pt

$$2) S_n = 1000kVA = \sqrt{3}U_{2n}I_{2n} = \sqrt{3}U_{1n}I_{1n} \rightarrow I_{1n} = 1000/\sqrt{3}/20 = 28,8A$$

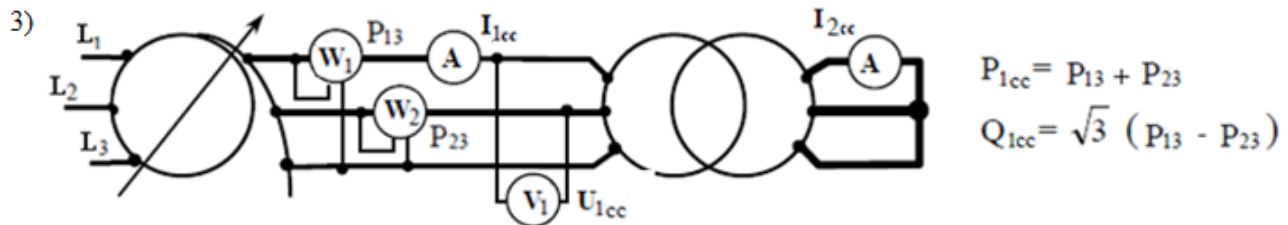
½ pt

$$m = I_1/I_2 \rightarrow I_{2n} = I_{1n}/m = 28,8/0,02 = 1443A$$

½ pt

$$U_{2n} = 1000/\sqrt{3}/1443 = 400V$$

½ pt



$$P_{cc} = P_{13} + P_{23} = 24 - 14 = 10kW \approx P_{JB} = 3R_s I_2^2 = 3R_s I_{2n}^2 \rightarrow R_s = 10000/3/1443^2 = 1,6m\Omega$$

½ pt

$$Q_{cc} = \sqrt{3}(P_{13} - P_{23}) = \sqrt{3} 38 = 65816Vars \approx Q_{MB} = 3X_s I_2^2 \rightarrow X_s = 65816/3/1443^2 = 10,5m\Omega$$

1pt

$$X_s = L_s \omega = L_s 2\pi 50 \rightarrow L_s = 10,6/100/\pi = 3,7\mu H$$

$$\tan\phi = Q_{cc}/P_{cc} = 65816/10000 = 6,581$$

½ pt

$$4) P_2 = \sqrt{3}U_{2n}I_2 \cos\phi = \sqrt{3} 400 I_2 0,9 = 800kW \rightarrow I_2 = 800/\sqrt{3}/400/0,9 = 1283A$$

½ pt

$$U_2 = Z_c I_2, I_2 = \sqrt{3}J_2 \rightarrow U_2 = Z_c I_2/\sqrt{3} \rightarrow Z_c = 400/\sqrt{3}/1283 = 0,18\Omega$$

½ pt

Formule approchée: $\Delta V = R_s I_2 \cos\phi + X_s I_2 \sin\phi, \cos\phi = 0,9 \rightarrow \sin\phi = 0,43$

$$\Delta V = (1,6 0,9 + 10,5 0,43) 10^{-3} 1283 = 7,6V,$$

1pt

$$I_1 = m I_2 = 0,02 1283 = 25,6A \rightarrow J_1 = I_1/\sqrt{3} = 14,7A$$

½ pt

Formule approchée: $V_{2v} = m V_1 = V_2 + \Delta V$

$$\rightarrow U_{2v} = m U_1 = U_2 + \Delta U, \Delta U = \sqrt{3} \Delta V = \sqrt{3} 7,6 = 13V$$

$$\rightarrow U_1 = (U_2 + \Delta U)/m = (400 + 13)/0,02 = 20650V$$

1pt

$$\eta = P_2/(P_2 + \text{pertes}), \text{pertes} = P_{JB} + P_{JF}, P_{JB} = 3R_s I_2^2 = 3 0,0016 1283^2 = 7,9kW$$

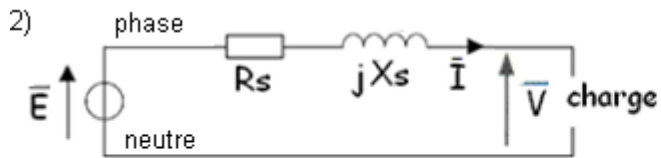
½ pt

$$\eta = 800/(800 + 7,9 + 5) = 98,4%$$

½ pt

Réponse 2

1) $f = pn$; tétrapolaire = 4 pôles; $p = 2$ dipôles $\Rightarrow n = 50 60 / 2 = 1500\text{tr}/\text{mn}$ 1pt



$$\vec{E} = \vec{Z}_s \vec{I} + \vec{V} = R_s I + j X_s I + V \cos \varphi + j V \sin \varphi$$

$$E^2 = (R_s I + V \cos \varphi)^2 + (X_s I + V \sin \varphi)^2$$

$$R_s = 0 \quad (\text{résistance de l'induit négligeable})$$

$$\varphi = 0 \quad (\text{charge résistive})$$

$$\Rightarrow E^2 = V^2 + (X_s I)^2 \Rightarrow I^2 = \frac{E^2 - V^2}{X_s^2} \quad \text{2pts}$$

$$U = 10000V \Rightarrow V = 10000/\sqrt{3} = 5773,5V ;$$

$$I = \sqrt{[(6350^2 - 5773,5^2) / 49^2]} = \mathbf{53,9A} \quad \text{1pt}$$

$$P_u = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3} 10000 53,9 1 = 933,5kW \quad \text{1pt}$$

$$3) E = a i \quad (\text{droite passant par l'origine}) = 15000 = a 20 \Rightarrow a = 750 ; \quad \mathbf{E(i) = 750 i} \quad \text{1pt}$$

$$E = 6350V = 750 i \Rightarrow i = 8,46A \quad \text{1pt}$$

$$P_{JR} = ri^2 = 42 8,46^2 = 3006W \approx 3kW \quad \text{1pt}$$

$$4) \eta = P_u/P_a \quad P_a = P_u + \text{pertes} = P_m + P_{JR}$$

$$\eta = 933,5 / (957 + 3) = 97,2\% \quad \text{2pt}$$

Réponse 3

$$1) f = n_s p, \quad n_v = n_s = 1500 \text{tr/mn} \rightarrow p = f / n = 50 60 / 1500 = 2 \text{dipôles} \rightarrow 4 \text{pôles} \quad \text{1/2 pt}$$

$$\text{Couplage triangle : } P_{JSV} = 3R_s J_v^2, \quad J_v = I_v/\sqrt{3} \rightarrow P_{jsv} = R_s I_v^2 = 0,03 51^2 = \mathbf{78W} \quad \text{1pt}$$

$$P_{av} = \text{pertes} = P_{jsv} + P_f + P_{jrv} + p_m,$$

$$\text{On a } g = (n_s - n)/n_s, \quad \text{à vide } n = n_v = n_s \rightarrow g = 0$$

$$P_{jrv} = g P_{tr} = 0 \quad \text{1pt}$$

$$P_{av} = P_{jsv} + P_f + p_m \rightarrow P_f = 2541 - 78 - 750 = \mathbf{1713W} \quad \text{1 pt}$$

$$2) g = (n_s - n) / n_s = (1500 - 1455) / 1500 = 0,033 = \mathbf{3\%} \quad \text{1/2 pt}$$

$$P_u = P_{tr} - P_{jr} - p_m = P_{tr} - g P_{tr} - p_m = P_{tr} (1 - g) - p_m$$

$$P_{tr} = (P_u + p_m) / (1 - g) = (46 + 0,75) / (1 - 0,03) = \mathbf{48,2kW} \quad \text{1 pt}$$

$$P_{jr} = g P_{tr} = 0,03 48,2 = \mathbf{1446W} \quad \text{1 pt}$$

$$P_{js} = 3R_s J^2 = R_s I^2 = 0,03 206^2 = \mathbf{1273W} \quad \text{1/2 pt}$$

$$P_a = P_u + \text{pertes} = 46000 + 1273 + 1446 + 1713 + 750 = \mathbf{51182W} \quad \text{1/2 pt}$$

$$P_a = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3} 380 206 \cos \varphi \rightarrow \cos \varphi = 51182 / (\sqrt{3} 380 206) = \mathbf{0,377} \quad \text{1/2 pt}$$

$$\eta = P_u / P_a = 91\% \quad \text{1/2 pt}$$

$$P_u = C_u \omega \quad \omega = 2\pi n \Rightarrow C_u = 46000 60 / 2\pi 1455 = 262,5 \text{ Nm} \quad \text{1/2 pt}$$

$$3) C_u(n) = an + b$$

$$C_u(n = 1500 \text{tr/mn}) = 0 \text{ Nm} \rightarrow a 1500 + b = 0$$

$$C_u(n = 1420 \text{tr/mn}) = 400 \text{ Nm} \rightarrow a 1420 + b = 400$$

$$\rightarrow a(1500 - 1420) = 0 - 400 = a 80 \rightarrow a = -400/80 = -5, \quad b = -a 1500 = 5 1500 = 7500$$

$$\Rightarrow C_u(n) = -5n + 7500 \quad \text{1pt}$$

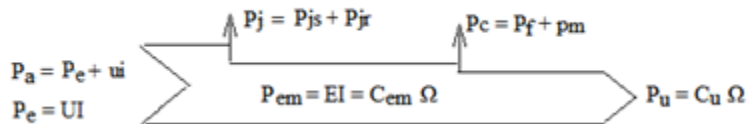
$$C_u(n) = -5n + 7500 = C_r = 130 \Rightarrow n = (7500 - 130)/5 = 1474 \text{ tr/mn} \quad \text{1/2 pt}$$

Réponse 4

1) Fonctionnement moteur $U = E + RI$ $\frac{1}{2}$ pt

Au démarrage $n = 0 \rightarrow E = k\Phi\Omega = k\Phi 2\pi n = 0$, $U_d = 0 + RI_d = 0,012 \cdot 1,2 \cdot 1500 = \mathbf{21,6V}$ 1 pt

2) Bilan énergétique moteur à courant continu



$P_e = UI = 600 \cdot 1500 = \mathbf{900kW}$ $\frac{1}{2}$ pt

$P_a = P_e + u_i = 900000 + 600 \cdot 30 = \mathbf{918kW}$ 1 pt

$P_j = RI^2 + ri^2 = RI^2 + u_i = 0,012 \cdot 1500^2 + 600 \cdot 30 = \mathbf{45kW}$ 1 pt

pertes = $P_j + P_c = 45 + 27 = \mathbf{72kW}$ $\frac{1}{2}$ pt

$P_u = P_a - \text{pertes} = 918 - 72 = \mathbf{846kW}$ $\frac{1}{2}$ pt

$\eta = P_u/P_a = 846/918 = 0,92 = \mathbf{92\%}$ $\frac{1}{2}$ pt

3) $P_u = C_u\Omega \rightarrow C_u = P_u/\Omega = 846 \cdot 60/2\pi \cdot 30 = \mathbf{269,3kNm}$ 1 pt

$P_c = C_c\Omega \rightarrow C_c = P_c/\Omega = 27 \cdot 60/2\pi \cdot 30 = \mathbf{8,6kNm}$ 1 pt

$P_{em} = P_u + P_c \rightarrow C_{em}\Omega = C_u\Omega + C_c\Omega \rightarrow C_{em} = C_u + C_c = \mathbf{277,884kN.m}$ 1 pt

4) $C_{em} = k\Phi I$, $E = k\Phi\Omega$ (excitation indépendante, constante $\rightarrow \Phi(i) = \text{constante}$),

$E = U - RI = 600 - 0,012 \cdot 1500 = \mathbf{582V} = k\Phi\Omega$ $\frac{1}{2}$ pt

$\rightarrow k\Phi = E/\Omega = 582 \cdot 60/2\pi \cdot 30 = \mathbf{185,5}$ $\frac{1}{2}$ pt

$\rightarrow C_{em} = k\Phi I = \mathbf{185,5 I}$ $\frac{1}{2}$ pt