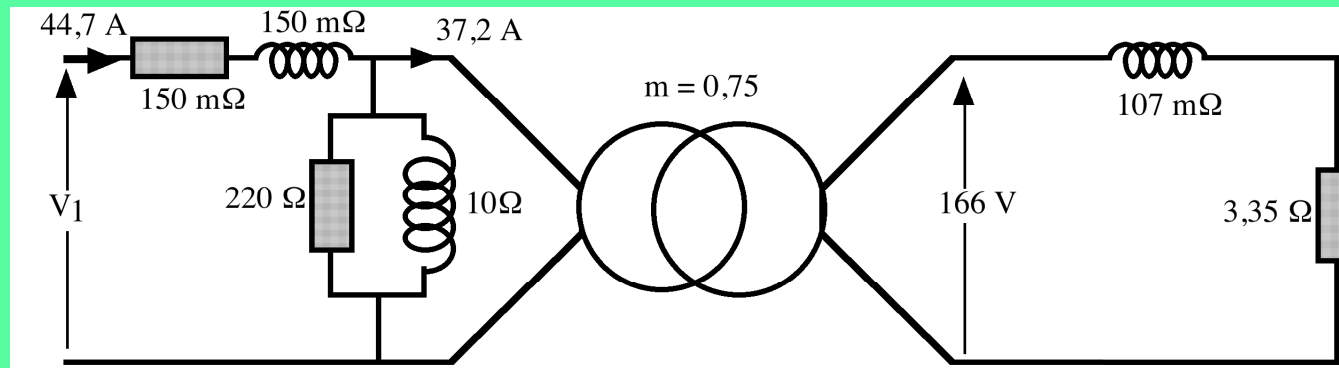


Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Un moteur asynchrone triphasé à bagues, couplé en étoile, est représenté, pour son point nominal de fonctionnement, par le schéma ci-dessous pour une phase de la machine. Les pertes mécaniques seront négligées. La vitesse nominale est de 1440 tr/mn pour un réseau d'alimentation de 400 V - 50 Hz.

Déterminer les différents postes de pertes, P_{js} , P_{jr} et P_f ainsi que les puissances utiles et absorbées, le facteur de puissance et le rendement. Vérifier par un calcul direct grâce au théorème de Boucherot la valeur du $\cos\varphi$.



Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Le schéma ne représente qu'un tiers de la machine. On a donc :

$$P_{JS} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,15 \times 44,7^2 = 899 \text{ W}$$

Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Le schéma ne représente qu'un tiers de la machine. On a donc :

$$P_{JS} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,15 \times 44,7^2 = 899 \text{ W}$$

$$P_f = 3 \frac{V_{10}^2}{R_f} = 3 \times \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{220} = 668 \text{ W}$$

Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Le schéma ne représente qu'un tiers de la machine. On a donc :

$$P_{JS} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,15 \times 44,7^2 = 899 \text{ W}$$

$$P_f = 3 \frac{V_{10}^2}{R_f} = 3 \times \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{220} = 668 \text{ W}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{R_2}{g} = 3,35 \text{ } \Omega \\ g = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} R_2 = 0,134 \text{ } \Omega \\ I_2 = \frac{I_2'}{m} = \frac{37,2}{0,75} = 49,6 \text{ A} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{JR} = 3 R_2 I_2^2 = 989 \text{ W}$$

$$P_{JR} = g P_{em} \Rightarrow P_{em} = 24\,725 \text{ W} \Rightarrow P_U = (1 - g) P_{em} = 23\,736 \text{ W}$$

Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Le schéma ne représente qu'un tiers de la machine. On a donc :

$$P_{JS} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,15 \times 44,7^2 = 899 \text{ W}$$

$$P_f = 3 \frac{V_{10}^2}{R_f} = 3 \times \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{220} = 668 \text{ W}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{R_2}{g} = 3,35 \text{ } \Omega \\ g = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} R_2 = 0,134 \text{ } \Omega \\ I_2 = \frac{I'_2}{m} = \frac{37,2}{0,75} = 49,6 \text{ A} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{JR} = 3 R_2 I_2^2 = 989 \text{ W}$$

$$P_{JR} = g P_{em} \Rightarrow P_{em} = 24\,725 \text{ W} \Rightarrow P_U = (1 - g) P_{em} = 23\,736 \text{ W}$$

$$P_{abs} = P_{em} + P_{JS} + P_f = 26\,292 \text{ W}$$

Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Le schéma ne représente qu'un tiers de la machine. On a donc :

$$P_{JS} = 3 R_1 I_1^2 = 3 \times 0,15 \times 44,7^2 = 899 \text{ W}$$

$$P_f = 3 \frac{V_{10}^2}{R_f} = 3 \times \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{220} = 668 \text{ W}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{R_2}{g} = 3,35 \text{ } \Omega \\ g = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} R_2 = 0,134 \text{ } \Omega \\ I_2 = \frac{I'_2}{m} = \frac{37,2}{0,75} = 49,6 \text{ A} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{JR} = 3 R_2 I_2^2 = 989 \text{ W}$$

$$P_{JR} = g P_{em} \Rightarrow P_{em} = 24\,725 \text{ W} \Rightarrow P_U = (1 - g) P_{em} = 23\,736 \text{ W}$$

$$P_{abs} = P_{em} + P_{JS} + P_f = 26\,292 \text{ W}$$

et finalement :

$$\eta = \frac{P_U}{P_{abs}} = 90,28 \text{ } \%$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{abs}}{U I_1 \sqrt{3}} = 0,849$$

Exercice 31

Machine Asynchrone ED 1

Calcul direct par le théorème de Boucherot :

$$\sum P = 0,15 \times 44,7^2 + \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{220} + 3,35 \times 49,6^2 = 8764 \text{ W}$$

$$\sum Q = 0,15 \times 44,7^2 + \left(\frac{166}{0,75} \right)^2 \times \frac{1}{10} + 0,107 \times 49,6^2 = 5462 \text{ VAr}$$

$$\tan \varphi = \frac{\sum Q}{\sum P} = 0,6232 \Rightarrow \cos \varphi = 0,849$$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

La plaque d'un moteur asynchrone triphasé à bagues, indique :

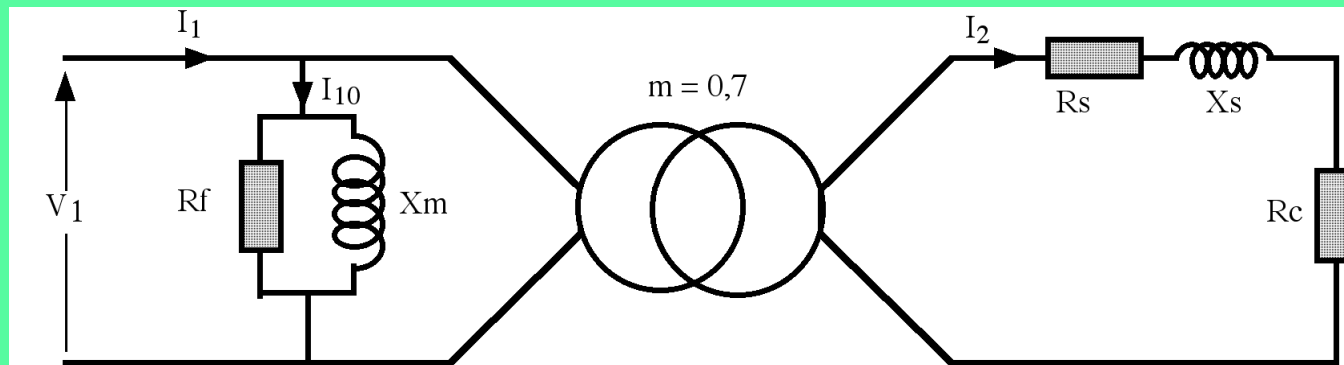
$P : 22 \text{ kW}$; Vitesse : 2920 tr/mn ; Tension $230/400 \text{ V}$; fréquence : 50 Hz ; rendement : $91,25 \%$.

La figure ci-dessous donne son schéma monophasé équivalent où R_s et X_s incluent les éléments stator et rotor. Les pertes mécaniques sont négligées.

Lors d'un essai à vide ($g \approx 0$), sous tension nominale, on a mesuré un courant $I_{10} = 12 \text{ A}$ et une puissance active absorbée de 900 W . Par ailleurs, lors d'un essai rotor bloqué, une tension stator $V_1 = 50 \text{ V}$ entraîne un courant au rotor de 49 A , soit sa valeur nominale.

1° - Préciser ce que modélisent les composants (R_f , X_m , R_s , X_s et R_c) et calculer leur valeur.

2° - Pour le point de fonctionnement nominal, déterminer le $\cos\varphi$ et le courant de ligne.



Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

1° R_f modélise les pertes fer soit la puissance active P_0 absorbée lors de l'essai à vide. On a donc :

$$R_f = \frac{U_1^2}{P_{fer}} = \frac{U_1^2}{P_0}$$

$$\text{AN : } R_f = \frac{400^2}{900} = 178 \, \Omega$$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

1° R_f modélise les pertes fer soit la puissance active P_0 absorbée lors de l'essai à vide. On a donc :

$$R_f = \frac{U_1^2}{P_{fer}} = \frac{U_1^2}{P_0}$$

$$\text{AN : } R_f = \frac{400^2}{900} = 178 \, \Omega$$

X_m modélise la création du flux, soit la magnétisation de la machine c'est-à-dire Q_0 , la puissance réactive absorbée lors de l'essai à vide. On a donc :

$$X_m = \frac{U_1^2}{Q_0} = \frac{U_1^2}{P_0 \tan \varphi_0} \quad \text{avec} \quad \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_{10} \sqrt{3}}$$

$$\text{AN : } \begin{aligned} Q_0 &= 8\,265 \, \text{VAr} \\ X_m &= 19,36 \, \Omega \end{aligned}$$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

1° R_f modélise les pertes fer soit la puissance active P_0 absorbée lors de l'essai à vide. On a donc :

$$R_f = \frac{U_1^2}{P_{fer}} = \frac{U_1^2}{P_0} \quad \text{AN : } R_f = \frac{400^2}{900} = 178 \, \Omega$$

X_m modélise la création du flux, soit la magnétisation de la machine c'est-à-dire Q_0 , la puissance réactive absorbée lors de l'essai à vide. On a donc :

$$X_m = \frac{U_1^2}{Q_0} = \frac{U_1^2}{P_0 \tan \varphi_0} \quad \text{avec } \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_{10} \sqrt{3}} \quad \text{AN : } \begin{aligned} Q_0 &= 8\,265 \, \text{VAr} \\ X_m &= 19,36 \, \Omega \end{aligned}$$

$R_s (= m^2 R_1 + R_2)$ modélise l'ensemble des pertes Joule:

$$R_s = \frac{P_{JS}}{3 I_{2n}^2} = \frac{\Sigma \text{Pertes} - P_{fer}}{3 I_{2n}^2} = \frac{P_U \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) - P_{fer}}{3 I_{2n}^2} \quad \text{AN : } R_s = 0,168 \, \Omega$$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

X_s ($= m^2 \mathcal{L}_1 \omega + \mathcal{L}_2 \omega$) modélise l'ensemble des fuites magnétiques. C'est ici l'essai **rotor**

bloqué que l'on va utiliser. En effet : $N = 0 \Rightarrow g = 1 \Rightarrow R_c = \frac{1-g}{g} R_2 = 0$

La tension $V_2 = mV_1$ est donc appliquée à Z_s avec :

$$Z_s = \frac{mV_1}{I_{2n}} = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \Rightarrow X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} \quad \text{AN : } X_s = 0,694 \, \Omega$$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

X_S ($= m^2 \mathcal{L}_1 \omega + \mathcal{L}_2 \omega$) modélise l'ensemble des fuites magnétiques. C'est ici l'essai **rotor**

bloqué que l'on va utiliser. En effet : $N = 0 \Rightarrow g = 1 \Rightarrow R_C = \frac{1-g}{g} R_2 = 0$

La tension $V_2 = mV_1$ est donc appliquée à Z_S avec :

$$Z_S = \frac{mV_1}{I_{2n}} = \sqrt{R_S^2 + X_S^2} \Rightarrow X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} \quad \text{AN : } X_S = 0,694 \, \Omega$$

R_C modélise la charge mécanique sur l'arbre. La puissance utile P_U est donc dissipée dans les

3 résistances R_C , soit : $P_U = 3 R_C I_{2n}^2 \quad \text{AN : } R_C = 3,054 \, \Omega$

Exercice 32

Machine Asynchrone ED 2

2° La puissance active absorbée est : $P_{abs} = \frac{P_U}{\eta}$ AN : $P_{abs} = 24\,110 \text{ W}$

La puissance réactive absorbée est : $Q_{abs} = Q_0 + 3 X_s I_{2n}^2$ AN : $Q_{abs} = 13\,266 \text{ VAr}$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$
$$I_{1n} = \frac{P_{abs}}{U \sqrt{3} \cos \varphi}$$

AN : $\cos \varphi = 0,876$
 $I_{1n} = 39,7 \text{ A}$

Exercice 33

Machine Asynchrone ED 3

Un moteur asynchrone triphasé développe un couple utile nominal $C_n = 60 \text{ N.m}$ pour sa vitesse nominale de 1440 tr/mn avec une fréquence de 50 Hz. Le couple maximum est de 150 N.m. Sa caractéristique mécanique, dans sa partie utile, est assimilée à une droite. On l'alimente au stator au moyen d'un convertisseur statique garantissant un rapport V/f constant. Il entraîne une machine dont le couple résistant C_r est constant et égal à 50 N.m.

- 1° - Pour une vitesse de 1 000 tr/mn, quelle fréquence doit générer le convertisseur?
- 2° - On souhaite démarrer le groupe avec un couple accélérateur constant de 30 N.m. Etablir la loi de commande $f = K(N)$ donnant la fréquence à générer au stator en fonction de la vitesse instantanée du groupe N en tr/s.
- 3° - La charge n'absorbe plus qu'un couple de 20 N.m. Afin d'accroître la vitesse, on règle la fréquence au delà de 50 Hz tout en maintenant la tension constante et égale à sa valeur nominale. Par sécurité, on souhaite ne pas dépasser 60 % du couple maximum. Quelle fréquence maximale peut-on alors atteindre ?

Exercice 33

Machine Asynchrone ED 3

1° Ce type d'alimentation permet d'obtenir des caractéristiques parallèles entre elles et ainsi des écarts de vitesse dans le rapport des couples :

$$\Delta N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n}$$

$$\text{AN : } \Delta N = 50 \text{ tr/mn} \Rightarrow N_s = 1050 \text{ tr/mn}$$

$$\text{Et comme } p = 2 : f = 2 \times \frac{1050}{60} = 35 \text{ Hz}$$

Exercice 33

Machine Asynchrone ED 3

1° Ce type d'alimentation permet d'obtenir des caractéristiques parallèles entre elles et ainsi des écarts de vitesse dans le rapport des couples :

$$\Delta N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n}$$

$$\text{AN : } \Delta N = 50 \text{ tr/mn} \Rightarrow N_s = 1050 \text{ tr/mn}$$

$$\text{Et comme } p = 2 : f = 2 \times \frac{1050}{60} = 35 \text{ Hz}$$

2° Durant le démarrage, la machine fournit un couple constant $C = C_r + C_{acc} = 80 \text{ N.m}$. De plus, à chaque instant, les écarts de vitesse sont dans le rapport des couples.

$$N_s - N = \frac{f}{p} - N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n} \Rightarrow f = 2N + \frac{8}{3} \text{ avec } N \text{ en tr/s}$$

Exercice 33

Machine Asynchrone ED 3

3° On a vu que, dans ces conditions d'alimentation, le couple maximum est inversement proportionnel au carré de la fréquence; d'où :

$$C_{Max} = C_{Max} (50 \text{ Hz}) \left(\frac{50}{f} \right)^2$$

Par ailleurs, on souhaite avoir $C_r \leq 0,6 C_{Max}$, d'où :

$$f \leq \sqrt{\frac{150 \times 2500 \times 0,6}{20}} = 106 \text{ Hz}$$

Exercice 34

Machine Asynchrone ED 4

Un moteur asynchrone triphasé, couplé en triangle, est alimenté par un réseau 565 V - 60 Hz. Son point nominal de fonctionnement est défini par une vitesse de 1746 tr/mn, un couple sur l'arbre de 300 N.m, un courant de ligne de 70 A et un facteur de puissance de 0,87. La résistance d'un enroulement statorique est de 0,25 Ω . On admet que la caractéristique mécanique du moteur est une droite dans sa partie utile.

- 1°** - Pour le point nominal, donner les valeurs de la vitesse de synchronisme, le nombre de pôles, le glissement et la fréquence des courants rotoriques.
- 2°** - Toujours pour le point nominal, faire un bilan de puissances (P_{abs} ; P_u ; rendement ; P_{js} ; P_f ; P_{jr} ; $P_{méca}$) sachant que les pertes mécaniques représentent un couple constant $C_p = 5$ N.m.
- 3°** - La charge entraînée oppose un couple constant égal au couple utile nominal. La tension appliquée au stator baisse de 20 %. Déterminer la nouvelle vitesse du groupe et l'accroissement (en %) des pertes Joule au rotor.

Exercice 34

Machine Asynchrone ED 4

1° La vitesse de synchronisme la plus proche est de **1800 tr/mn** pour une fréquence de **60 Hz**, ce qui implique que $p = 2$ donc machine à **4 pôles**. Le glissement nominal sera donc :

$$g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s} = \frac{1800 - 1746}{1800} = 3 \%$$

Et les grandeurs rotoriques seront à la fréquence : $f_R = g_n f = 0,03 \times 60 = 1,8 \text{ Hz}$

Exercice 34

Machine Asynchrone ED 4

1° La vitesse de synchronisme la plus proche est de **1800 tr/mn** pour une fréquence de **60 Hz**, ce qui implique que $p = 2$ donc machine à **4 pôles**. Le glissement nominal sera donc :

$$g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s} = \frac{1800 - 1746}{1800} = 3 \%$$

Et les grandeurs rotoriques seront à la fréquence : $f_R = g_n f = 0,03 \times 60 = 1,8 \text{ Hz}$

2° Bilan de puissances au point nominal :

$$\left. \begin{array}{l} P_{abs} = UI_n \sqrt{3} \cos \varphi = 59\,597 \text{ W} \\ P_U = C_n \Omega_n = 54\,852 \text{ W} \end{array} \right\} \Rightarrow \eta = 92,04 \%$$

$$P_{JS} = RI_n^2 = 0,25 \times 70^2 = 1225 \text{ W}$$

$$P_{méca} = C_P \Omega_n = 914 \text{ W}$$

$$P_{JR} = \frac{g_n}{1 - g_n} (P_U + P_{méca}) = 1725 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \text{par différence : } P_f = 881 \text{ W}$$

Exercice 34

Machine Asynchrone ED 4

3° Le couple est proportionnel au carré de la tension donc : $V \rightarrow 0,8V \Rightarrow C \rightarrow 0,64C$

Pour avoir un couple moteur de 300 N.m, l'écart de vitesse sera donc dans le même rapport :

$$\Delta N \rightarrow \frac{\Delta N}{0,64} = 84,37 \text{ tr/mn}$$

La nouvelle vitesse sera alors :

$$N = N_s - \Delta N = 1715,6 \text{ tr/mn}$$

Et les pertes Joule au rotor deviennent :

$$P_{JR} = g P_{em} \text{ avec } P_{em} \text{ inchangée soit } P_{JR} \rightarrow \frac{P_{JR}}{0,64}$$

Soit une augmentation de **56,2 %**.

Exercice 35

Machine Asynchrone ED 5

Un moteur asynchrone triphasé, couplé en triangle, est alimenté par un réseau 220 V - 60 Hz. Son point nominal de fonctionnement est défini par une vitesse de 1152 tr/mn, une puissance sur l'arbre de 10 000 W, un rendement de 91 % et un facteur de puissance de 0,88. La résistance d'un enroulement du stator est de $0,2 \Omega$. On admet que la caractéristique mécanique du moteur est une droite dans sa partie utile.

- 1° - Donner la vitesse de synchronisme et calculer l'intensité en ligne pour le point nominal.
- 2° - Toujours pour le point nominal, faire un bilan complet des puissances (P_{abs} ; $P_{\text{méca}}$; P_{em} ; P_{jr} ; P_{js} ; P_f) sachant qu'un couple de 1,5 N.m permet d'entraîner le rotor à la vitesse nominale, stator non alimenté.
- 3° - La machine entraînée oppose un couple proportionnel à la vitesse de rotation et absorbe 5 000 W à la vitesse de 900 tr/mn. Déterminer le point de fonctionnement du groupe (couple et vitesse) si l'on couple le moteur en étoile et donner dans ce cas l'accroissement de pertes Joule au rotor par rapport à leur valeur nominale.

Exercice 35

Machine Asynchrone ED 5

1° La vitesse de synchronisme la plus proche est de **1200 tr/mn** pour une fréquence de 60 Hz, ce qui implique que $p = 3$ donc machine à 6 pôles. Le glissement nominal sera donc :

$$g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s} = \frac{1200 - 1152}{1200} = 4 \%$$

et le courant nominal :

$$I_n = \frac{P_u}{\eta U \sqrt{3} \cos \varphi} = 32,8 \text{ A}$$

Exercice 35

Machine Asynchrone ED 5

1° La vitesse de synchronisme la plus proche est de **1200 tr/mn** pour une fréquence de 60 Hz, ce qui implique que $p = 3$ donc machine à 6 pôles. Le glissement nominal sera donc :

$$g_n = \frac{N_s - N_n}{N_s} = \frac{1200 - 1152}{1200} = 4 \%$$

et le courant nominal :

$$I_n = \frac{P_U}{\eta U \sqrt{3} \cos \varphi} = 32,8 \text{ A}$$

2° Bilan de puissances au point nominal :

$$P_{abs} = \frac{P_U}{\eta} = 10\,989 \text{ W} ; P_{méca} = 1,5 \Omega_n = 181 \text{ W} ; P_{em} = \frac{P_U + P_{méca}}{1 - g} = 10\,605 \text{ W}$$
$$P_{JR} = g P_{em} = 424 \text{ W} ; P_{JS} = R I_n^2 = 215 \text{ W} ; P_f = 169 \text{ W (par différence)}.$$

Exercice 35

Machine Asynchrone ED 5

3° Le couple résistant est proportionnel à la vitesse donc $C_r = KN$ avec pour $N = 900$ tr/mn soit 15 tr/s :

$$C_r = \frac{5000}{30\pi} \Rightarrow K = 58,95 \times 10^{-3} \text{ avec } N \text{ en tr/mn}$$

Dans sa partie utile, le couple moteur est une droite d'équation :

$$\left. \begin{array}{l} C_m = 0 \text{ pour } N = 1200 \text{ tr/mn} \\ C_m = C_n = \frac{P_U}{\Omega_n} = 82,9 \text{ N.m pour } N = 1152 \text{ tr/mn} \end{array} \right\} \Rightarrow C_m = -\frac{82,9}{48} N + 2072,3$$

Le couplage étoile divise la tension par $\sqrt{3}$ donc le couple par 3, il vient :

$$C_r = \frac{C_m}{3} \Rightarrow KN = -0,5757 N + 690,77 \Rightarrow \begin{cases} N = 1088,5 \text{ tr / mn} \\ C = 64,16 \text{ N.m} \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} g = 0,093 ; P_{méca} = 1,5 \Omega = 171 \text{ W} \\ P_U = C \Omega = 7313,7 \text{ W} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{JR} = \frac{g}{1-g} (P_U + P_{méca}) = 766,7 \text{ W}$$

Soit un accroissement de **81 %** des pertes Joule au rotor.

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

Un funiculaire dont la masse totale en charge est de 10 tonnes, est tracté par un treuil sur un plan incliné à 45 %. L'ensemble de la mécanique a un rendement supposé constant de 75 % et on prendra l'accélération de la pesanteur égale à $9,8 \text{ m/s}^2$.

A - La motorisation est constituée d'un moteur asynchrone triphasé à bagues dont la plaque indique $P = 37 \text{ kW}$ et $N_n = 955 \text{ tr/mn}$. Le réseau d'alimentation est de $400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$. La vitesse de synchronisme de ce moteur correspond à une vitesse linéaire du funiculaire de $0,6 \text{ m/s}$.

- 1°** - Déterminer le couple utile et le glissement de ce moteur au point nominal de fonctionnement.
- 2°** - Dans les conditions d'utilisation ci-dessus, exprimer la puissance mécanique fournie ou absorbée par la charge en fonction de N , vitesse du moteur en tr/mn.
- 3°** - La zone utile de la caractéristique $C_u = f(N)$ est assimilée à une droite ($C_u = k.g$). Evaluer pour ces mêmes conditions de charge, la vitesse de rotation en montée et en descente. Quel type de fonctionnement utilise-t-on en descente ?
- 4°** - Pour obtenir, avec cette même charge, une petite vitesse en montée de $0,15 \text{ m/s}$, on insère dans chaque phase du rotor une résistance R_h . Déterminer la valeur de R_h , la résistance d'un enroulement du rotor étant de $15 \text{ m}\Omega$.

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

A - Moteur à bagues :

1° Le couple utile pour ce moteur est :

$$C_U = \frac{P_U}{\Omega_n} = \frac{37\,000 \times 30}{955 \pi} = 370 \text{ N.m}$$

et le glissement :

$$g_n = \frac{1000 - 955}{1000} = 4,5 \%$$

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

A - Moteur à bagues :

1° Le couple utile pour ce moteur est :

$$C_U = \frac{P_U}{\Omega_n} = \frac{37\,000 \times 30}{955 \pi} = 370 \text{ N.m}$$

et le glissement :

$$g_n = \frac{1000 - 955}{1000} = 4,5 \%$$

2° La puissance mécanique au niveau de la charge est :

$$P_M = F.v = 10\,000 \times 9,8 \sin(\tan^{-1} 0,45) \times \frac{0,6}{1000} \text{ N} = 24,13 \text{ N avec } N \text{ en tr/mn}$$

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

A - Moteur à bagues :

3° **En montée**, la puissance sur l'arbre du moteur est :

$$P_U = \frac{P_M}{0,75} = 32,17 \text{ N} = C_U \frac{\pi N}{30} \Rightarrow C_U = 307,2 \text{ N.m}$$

$$\Delta N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n} = 45 \times \frac{307,2}{370} = 37,4 \text{ tr/mn} \Rightarrow N = 962,6 \text{ tr/mn (soit } g = 3,736 \text{ \%)}$$

En descente, le rendement s'inverse et la puissance sur l'arbre du moteur est :

$$P_U = -0,75 P_M = -18,1 \text{ N} = C_U \frac{\pi N}{30} \Rightarrow C_U = -172,8 \text{ N.m}$$

$$\Delta N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n} = 45 \times \frac{-172,8}{370} = -21 \text{ tr/mn} \Rightarrow N = 1021 \text{ tr/mn (soit } g = -2,1 \text{ \%)}$$

Il s'agit d'un freinage en **Hypersynchrone**.

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

A - Moteur à bagues :

4° Petite vitesse en montée : La charge est la même donc le couple sera le même.

$$\text{De plus : } 0,15 \text{ m/s} \rightarrow \frac{N_s}{4}$$

$$C_u = K \frac{g}{R_2} = K \frac{g'}{R_2 + R_h} \text{ avec } g = 0,03736 \text{ et } g' = \frac{N_s - N_s/4}{N_s} = 0,75$$

Il vient :

$$R_h = R_2 \left(\frac{g'}{g} - 1 \right) = 286 \text{ m}\Omega$$

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

B - On remplace le moteur par un moteur à cage tétrapolaire de même couple utile nominal et de vitesse nominale 1455 tr/mn. Il est alimenté par l'intermédiaire d'un convertisseur statique qui garantit un rapport V/f constant.

Déterminer les 2 valeurs de la fréquence d'alimentation pour obtenir les 2 vitesses précédentes en montée, dans les mêmes conditions de charge.

Evaluer la vitesse linéaire lors d'une descente à vide si la fréquence d'alimentation est de 100 Hz, la masse étant réduite de moitié.

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

B - Moteur à cage :

Nous constatons un même ΔN_n pour le même couple nominal; la pente de la caractéristique est donc la même et nous aurons le même écart ΔN pour le couple C_U nécessaire. La vitesse de synchronisme nécessaire sera donc la même, soit $N_s = 1000$ tr/mn, pour la GV.

Celle-ci correspond à une fréquence de commande : $f = 50 \times \frac{1000}{1500} = 33,3 \text{ Hz}$

Pour la PV, soit $N = 250$ tr/mn, le synchronisme sera : $N_s = 250 + 37,4 = 287,4 \text{ tr/mn}$

et la fréquence de commande : $f = 50 \times \frac{287,4}{1500} = 9,58 \text{ Hz}$

Exercice 36

Machine Asynchrone ED 6

B - Moteur à cage :

Nous constatons un même ΔN_n pour le même couple nominal; la pente de la caractéristique est donc la même et nous aurons le même écart ΔN pour le couple C_U nécessaire. La vitesse de synchronisme nécessaire sera donc la même, soit $N_s = 1000$ tr/mn, pour la GV.

Celle-ci correspond à une fréquence de commande : $f = 50 \times \frac{1000}{1500} = 33,3 \text{ Hz}$

Pour la PV, soit $N = 250$ tr/mn, le synchronisme sera : $N_s = 250 + 37,4 = 287,4 \text{ tr/mn}$

et la fréquence de commande : $f = 50 \times \frac{287,4}{1500} = 9,58 \text{ Hz}$

Descente à vide :

Si le couple est divisé par 2, l'écart de vitesse ΔN le sera aussi mais si on double la fréquence, cet écart sera aussi multiplié par 4 (car proportionnel à f^2), donc : ($N_s = 3000$ pour $f = 100 \text{ Hz}$)

$$N = 3000 + 2 \times 21 \Rightarrow v = 0,6 \times \frac{3042}{1000} = 1,825 \text{ m/s}$$

Exercice 37

Machine Asynchrone ED 7

Un moteur asynchrone triphasé à cage est alimenté au moyen d'un convertisseur de fréquence garantissant un rapport V/f constant. Sa plaque indique : puissance : 22 kW; vitesse : 955 tr/mn; tension 230/400 V - 50 Hz ; le point de fonctionnement nominal est défini par $I_n = 40$ A, $U_n = 400$ V à une fréquence de 50 Hz. On négligera les pertes mécaniques et on supposera que les pertes Joule au stator sont égales aux pertes fer. La résistance mesurée entre deux phases du stator est de $0,2 \Omega$. Le couple maximum est $C_M = 2,4 C_n$.

1° - Déterminer le facteur de puissance au point nominal.

2° - La partie utile de la caractéristique mécanique est supposée linéaire. Le moteur entraîne une machine dont le couple résistant est de la forme $C_r = 48 + 0,18 N$ (N en tr/mn). Quelle est la vitesse de rotation et le couple sur l'arbre si la fréquence est de 20 Hz ? Donner le couple accélérateur au démarrage si la fréquence est de 1 Hz ?

3° - Pour $f > 50$ Hz, le système "convertisseur + moteur" fonctionne alors à tension constante (égale à sa valeur nominale). De quel couple dispose-t-on si la fréquence est de 100 Hz et si on garde une marge de sécurité de 50 % vis à vis du couple maximum (soit $C_M \geq 1,5 C$) ? Quelle est alors la vitesse pour ce couple limite ?

Exercice 37

Machine Asynchrone ED 7

1° Un rapide bilan des puissances permet de déterminer la puissance absorbée :

$$\left. \begin{aligned} P_{em} &= \frac{P_U}{1-g} \\ P_{JS} &= \frac{3}{2} R I^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_{abs} = P_{em} + P_{fer} + P_{JS} = P_{em} + 2 P_{JS}$$

$$\text{AN : } \left. \begin{aligned} g &= \frac{1000 - 955}{1000} = 4,5\% \\ P_{em} &= 23037 \text{ W} \\ P_{JS} &= 1,5 \times 0,2 \times 40^2 = 480 \text{ W} \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_{abs} = 23997 \text{ W}$$

Le facteur de puissance est alors :

$$\cos \varphi = \frac{P_{abs}}{U I \sqrt{3}}$$

$$\text{AN : } \cos \varphi = 0,866$$

Exercice 37

Machine Asynchrone ED 7

2° Pour une fréquence de 50 Hz, le synchronisme est à 1 000 tr/mn;
le nombre de paires de pôles est donc $p = 3$ et si $f = 20$ Hz, $N_s = 400$ tr/mn.
La commande en V/f constant permet d'obtenir des caractéristiques parallèles entre elles;
Les écarts de vitesse ΔN sont donc dans le rapport des couples :

$$\Delta N = N_s - N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n} = (\Delta N)_n \frac{48 + 0,18 N}{C_n}$$

$$\text{AN : } \left. \begin{array}{l} C_n = \frac{22000}{955 \times 2\pi/60} = 220 \text{ N.m} \\ (\Delta N)_n = 45 \end{array} \right\} \Rightarrow N = 376,3 \text{ tr/mn} \Rightarrow C = 48 + 0,18 N = 115,7 \text{ N.m}$$

Exercice 37

Machine Asynchrone ED 7

2° Pour une fréquence de 50 Hz, le synchronisme est à 1 000 tr/mn;
le nombre de paires de pôles est donc $p = 3$ et si $f = 20$ Hz, $N_s = 400$ tr/mn.
La commande en V/f constant permet d'obtenir des caractéristiques parallèles entre elles;
Les écarts de vitesse ΔN sont donc dans le rapport des couples :

$$\Delta N = N_s - N = (\Delta N)_n \frac{C}{C_n} = (\Delta N)_n \frac{48 + 0,18 N}{C_n}$$

$$\text{AN : } \left. \begin{array}{l} C_n = \frac{22000}{955 \times 2\pi/60} = 220 \text{ N.m} \\ (\Delta N)_n = 45 \end{array} \right\} \Rightarrow N = 376,3 \text{ tr/mn} \Rightarrow C = 48 + 0,18 N = 115,7 \text{ N.m}$$

Au démarrage $N = 0$ et si $f = 1$ Hz, $N_s = \Delta N = 20$ tr/mn avec $C_r = 48$ N.m

$$C_D = \Delta N \frac{C_n}{(\Delta N)_n} \quad \text{AN : } C_D = \frac{220 \times 20}{45} = 97,8 \text{ N.m} \Rightarrow C_{ACC} = 97,8 - 48 = 49,8 \text{ N.m}$$

Exercice 37

Machine Asynchrone ED 7

3° Dans de telles conditions d'alimentation, on sait que le couple maximum et la pente de la caractéristique sont inversement proportionnels au carré de la fréquence. Pour une fréquence de $100 \text{ Hz} = 2 f_n$ le couple maximum sera donc divisé par 4 tandis que l'écart de vitesse ΔN pour un couple donné, sera lui multiplié par 4. On s'autorise donc un couple limite C tel que :

$$1,5 C \leq C_M (100 \text{ Hz}) = \frac{2,4 C_n}{4} \quad \text{AN : } C \leq 88 \text{ N.m}$$

Pour ce couple limite, l'écart de vitesse ΔN sera :

$$\Delta N = 4 \times (\Delta N)_n \frac{C}{C_n}$$

$$\text{AN : } \Delta N = 72 \text{ tr/mn} \Rightarrow N = N_s (100 \text{ Hz}) - \Delta N = 2000 - 72 = 1928 \text{ tr/mn}$$

Exercice 38

Machine Asynchrone ED 8

Soit un moteur asynchrone triphasé à cage de vitesse nominale 2880 tr/mn et de puissance 55 kW. Sa plaque indique de plus des tensions de 400 V/690 V et un courant nominal de 100 A. Il est alimenté par un réseau 400 V - 50 Hz.

Un enroulement stator a une résistance de 50 mΩ.

A vide ($\Omega \approx \Omega_s$) sous tension nominale, on mesure une puissance absorbée de 2800 W pour un courant de ligne de 40 A. Couplé en étoile et toujours à vide, le moteur absorbe cette fois 1800 W avec un courant de 15 A.

1° - Pour le fonctionnement nominal, effectuer un bilan de puissance complet en calculant les différents postes de pertes. En déduire le rendement et le facteur de puissance.

2° - La charge entraînée oppose un couple constant de 150 N.m. Si la tension appliquée au stator baisse de 20 %, déterminer la nouvelle vitesse du groupe et l'accroissement (en %) des pertes Joule au rotor.

Exercice 38

Machine Asynchrone ED 8

1° Les 2 essais à vide sous tensions différentes, nous permettent de discriminer les pertes fer et les pertes mécaniques; le bilan des puissances de ces deux essais donne en effet 2 équations à 2 inconnues qui sont ces 2 postes de pertes. On remarquera que les pertes fer sont proportionnelles au carré de l'induction donc de la tension; ce qui implique que sous une tension $\sqrt{3}$ fois plus faible, les pertes fer sont divisées par 3.

Essai en triangle ($V = V_n$) :

$$P_0 = P_{JS0} + P_{fer} + P_m = R I_0^2 + P_{fer} + P_m$$

Essai en étoile ($V = \frac{V_n}{\sqrt{3}}$) :

$$P'_0 = P'_{JS0} + \frac{P_{fer}}{3} + P_m = 3R I_0'^2 + \frac{P_{fer}}{3} + P_m$$

AN :

$$\left. \begin{array}{l} P_m + P_{fer} = 2720 \\ P_m + \frac{P_{fer}}{3} = 1766,25 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} P_{fer} = 1430,6 \text{ W} \\ P_m = 1289,4 \text{ W} \end{cases}$$

Exercice 38

Machine Asynchrone ED 8

1° La suite du bilan de puissance au nominal est immédiate :

$$\begin{aligned}P_{JSn} &= R I_n^2 \\P_{em} &= \frac{P_U + P_m}{1 - g} \\P_{JR} &= g P_{em}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{AN : } P_{JSn} &= 500 \text{ W} \\P_{em} &= 58\,635 \text{ W} \\P_{JR} &= 2345 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\text{D'où la puissance absorbée : } P_{abs} = P_{em} + P_{fer} + P_{JSn} \quad \text{AN : } P_{abs} = 60\,565 \text{ W}$$

$$\text{Le rendement : } \eta = \frac{P_U}{P_{abs}} \quad \text{AN : } \eta = 90,81 \%$$

$$\text{Et le facteur de puissance : } \cos \varphi = \frac{P_{abs}}{U I \sqrt{3}} \quad \text{AN : } \cos \varphi = 0,874$$

Exercice 38

Machine Asynchrone ED 8

2° Le couple est proportionnel au carré de la tension et donc si $U \implies 0,8 U$ alors : $C \implies 0,64 C$ donc la pente de la caractéristique est multipliée par 0,64 et l'écart de vitesse ΔN se trouve lui divisé par 0,64.

Le couple utile nominal est : $C_n = \frac{P_U}{\Omega_n}$ AN : $C_n = \frac{55\,000}{2880 \times 2\pi/60} = 182,4 \text{ N.m}$

L'écart de vitesse est donc : $\Delta N = \frac{1}{0,64} (\Delta N)_n \frac{C}{C_n}$ AN : $\Delta N = 154,2 \text{ tr/mn}$
 $N = 2846 \text{ tr/mn}$

Exercice 38

Machine Asynchrone ED 8

2° Le couple est proportionnel au carré de la tension et donc si $U \implies 0,8 U$ alors :
 $C \implies 0,64 C$ donc la pente de la caractéristique est multipliée par 0,64 et l'écart de vitesse ΔN se trouve lui divisé par 0,64.

Le couple utile nominal est : $C_n = \frac{P_U}{\Omega_n}$ AN : $C_n = \frac{55\,000}{2880 \times 2\pi/60} = 182,4 \text{ N.m}$

L'écart de vitesse est donc : $\Delta N = \frac{1}{0,64} (\Delta N)_n \frac{C}{C_n}$ AN : $\Delta N = 154,2 \text{ tr/mn}$
 $N = 2846 \text{ tr/mn}$

Par rapport au fonctionnement sous tension nominale, seul le glissement change.

$C_{em} = C_u + C_p$ est inchangé

$$\left. \begin{array}{l} g \Rightarrow \frac{g}{0,64} \\ P_{em} = C_{em} \cdot \Omega_s \text{ inchangée} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{JR} \Rightarrow \frac{P_{JR}}{0,64}$$

Soit une augmentation de **56 %** :

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

Soit un moteur asynchrone triphasé à cage, couplé en étoile sur un réseau 5 500 V - 60 Hz, de puissance plaquée 450 kW, de résistance par enroulement statorique $0,7 \Omega$ et de vitesse nominale 1728 tr/mn pour un $\cos\varphi = 0,88$. Pour l'entraîner à vide à $\Omega \approx \Omega_s$, il faut fournir un couple de 50 N.m s'il n'est pas alimenté et une puissance de 13 900 W (pertes Joule négligées) s'il est alimenté.

1° - Donner la vitesse de synchronisme, le nombre de pôles et le glissement nominal.

2° - Calculer, au point nominal, les pertes mécaniques, les pertes fer au stator et les pertes Joule au rotor. En déduire le courant absorbé au stator, la puissance absorbée et les pertes Joule au stator ainsi que le rendement.

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

1° Pour cette machine le synchronisme est évidemment à **1800 tr/mn** donc machine à **4 pôles**.
Le glissement sera donc :

$$g = \frac{1800 - 1728}{1800} = 4\%$$

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

1° Pour cette machine le synchronisme est évidemment à **1800 tr/mn** donc machine à **4 pôles**.
Le glissement sera donc :

$$g = \frac{1800 - 1728}{1800} = 4\%$$

2° L'entraînement à vide non alimenté nous donne les pertes mécaniques au nominal :

$$P_m = C \cdot \Omega \quad \text{AN : } P_m = 50 \times 1728 \times \frac{2\pi}{60} = 9048 \text{ W}$$

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

1° Pour cette machine le synchronisme est évidemment à **1800 tr/mn** donc machine à **4 pôles**.
Le glissement sera donc :

$$g = \frac{1800 - 1728}{1800} = 4 \%$$

2° L'entraînement à vide non alimenté nous donne les pertes mécaniques au nominal :

$$P_m = C \cdot \Omega \quad \text{AN : } P_m = 50 \times 1728 \times \frac{2\pi}{60} = 9048 \text{ W}$$

Les pertes Joule au rotor sont données par :

$$P_{JR} = g P_{em} = g \frac{P_U + P_m}{1 - g} \quad \text{AN : } P_{JR} = 19127 \text{ W}$$

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

1° Pour cette machine le synchronisme est évidemment à **1800 tr/mn** donc machine à **4 pôles**.
Le glissement sera donc :

$$g = \frac{1800 - 1728}{1800} = 4 \%$$

2° L'entraînement à vide non alimenté nous donne les pertes mécaniques au nominal :

$$P_m = C \cdot \Omega \quad \text{AN : } P_m = 50 \times 1728 \times \frac{2\pi}{60} = 9048 \text{ W}$$

Les pertes Joule au rotor sont données par :

$$P_{JR} = g P_{em} = g \frac{P_U + P_m}{1 - g} \quad \text{AN : } P_{JR} = 19127 \text{ W}$$

L'essai à vide consomme une puissance P_0 telle que :

$$P_0 = P_{fer} + P_m (1800 \text{ tr/mn})$$

D'où le calcul des pertes fer :

$$P_{fer} = P_0 - P_m (1800 \text{ tr/mn})$$

$$\text{AN : } P_{fer} = 13900 - 9048 \times \frac{1800}{1728} = 4475 \text{ W}$$

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

2° (suite) Il suffit ensuite d'écrire le bilan des puissances :

$$P_{abs} = U I \sqrt{3} \cos \varphi = 3 R I^2 + P_{fer} + P_{JR} + P_m + P_U$$

On obtient alors une équation du second degré en I :

$$2,1 I^2 - 8\,383 I + 482\,650 = 0$$

$$\text{AN : } I = 58,4 \text{ A}$$

Exercice 39

Machine Asynchrone ED 9

2° (suite) Il suffit ensuite d'écrire le bilan des puissances :

$$P_{abs} = U I \sqrt{3} \cos \varphi = 3 R I^2 + P_{fer} + P_{JR} + P_m + P_U$$

On obtient alors une équation du second degré en I :

$$2,1 I^2 - 8\,383 I + 482\,650 = 0$$

$$\text{AN : } I = 58,4 \text{ A}$$

D'où les pertes Joule au stator :

$$P_{JS} = 3 R I^2$$

$$\text{AN : } P_{JS} = 7170 \text{ W}$$

la puissance absorbée par addition : AN : $P_{abs} = 489\,821 \text{ W}$

et le rendement :

$$\eta = \frac{P_U}{P_{abs}}$$

$$\text{AN : } \eta = 91,87 \%$$