

Un moteur à induction à bagues alimenté sous 380V, 50Hz - Y. La résistance mesurée entre les bornes du stator est égale à $R_{b,s} = 0,2 \Omega$ et la résistance mesurée entre les bornes du rotor est égale à $R_{b,r} = 0,08 \Omega$. À vide, le moteur tourne à une vitesse $n_s = 1500 \text{ tr/min}$, $P_0 = 500 \text{ W}$, $Q_0 = \sqrt{3} \cdot 1300 \text{ VAR}$

1. Calculer le nombre des pôles du stator, $\cos \varphi_0$ et I_0 à vide
2. Les pertes mécaniques $p_m = 100 \text{ W}$, calculer les p_{js}
3. Essai en charge: $I = 11 \text{ A}$, $n = 1440 \text{ tr/min}$, $P = 6500 \text{ W}$, $Q = \sqrt{3} \cdot 2500 \text{ VAR}$, calculer g , $\cos \varphi$, η et C_u
4. Le moteur entraîne une charge dont le couple $C_n = 0,01 n + 20$, calculer la vitesse et la puissance utile P_u du moteur sachant que la caractéristique est une droite en fonctionnement normal.

Réponse:

$$1/ n_s = \frac{60 \times f}{p} \rightarrow n_s = 1500 \text{ tr/min} \Rightarrow p = 2, 2 \text{ paires de pôles donc } 4 \text{ pôles.}$$

$$\bullet \tan \varphi_0 = \frac{Q_0}{P_0} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1300}{500} = 4,5 \rightarrow \cos \varphi_0 = 0,21$$

$$\bullet P_0 = \sqrt{3} U I_0 \cos \varphi_0 \Rightarrow I_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U \cos \varphi_0} = 3,6 \text{ A}$$

$$2/ \bullet P_0 = p_{js} + p_j + p_m, \quad p_{js} = \frac{3}{2} R_{b,s} I_0^2 = 3,8 \text{ W} \Rightarrow p_j = P_0 - p_m - p_{js} = 396,2 \text{ W}$$

$$3/ \bullet g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 = 4 \%$$

$$\bullet P = \sqrt{3} U I \cos \varphi \Rightarrow \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U I} = \frac{6500}{\sqrt{3} \times 380 \times 11} = 0,89$$

$$\bullet p_{js} = \frac{3}{2} R_b I^2 = \frac{3}{2} \times 0,2 \times 11^2 = 36,3 \text{ W}, \quad p_{jr} = g P_{tr} = g (P - p_j - p_{js}) = 242,6 \text{ W}$$

$$\bullet P_u = P_a - \text{pertes} = P_{tr} - (p_{jr} + p_m) = 5824,9 \text{ W}$$

$$\bullet \eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{5824,9}{6500} = 0,88 = 88 \%$$

$$\bullet C_u = \frac{P_u}{\omega} = \frac{5824,9}{2\pi \times \frac{1440}{60}} = 38,6 \text{ N.m}$$

$$4/ \begin{cases} a \times 1440 + b = 38,6 \\ a \times 1500 + b = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 38,6 = -60a \Rightarrow a = \frac{-38,6}{-60} = -0,64 \\ b = 0,64 \times 1500 = 965 \end{cases} \rightarrow C = a \cdot n + b = -0,64 n + 965$$

$$\bullet C = C_n \Rightarrow -0,64 n + 965 = 0,1 n + 20 \Rightarrow 0,65 n = 945 \Rightarrow n = \frac{945}{0,65} = 1453,8 \text{ tr/min}$$

$$\bullet C = -0,64 \times 1453,8 + 965 = 34,5 \text{ N.m}$$

$$\bullet P_u = C_u \omega = 34,5 \times \frac{2\pi \cdot 1453,8}{60} = 5252,3 \text{ W}$$

Exercices d'applications :

Exercice N°1

La plaque signalétique du moteur asynchrone d'une fraiseuse porte les indications suivantes :

3 ~ 50 Hz

Δ 220 V ; 11 A

Y 380 V ; 6,4 A

1455 tr/min ; $\cos \varphi = 0,80$

1- Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz, 380 V entre phases.

Quel doit être le couplage de ses enroulements pour qu'il fonctionne normalement ?

2- Quel est le nombre de pôles du stator ?

3- Calculer le glissement nominal (en %).

4- Un essai à vide sous tension nominale donne :

- puissance absorbée : 260 W

- intensité du courant de ligne : 3,2 A

Les pertes mécaniques sont évaluées à 130 W.

La mesure à chaud de la résistance d'un enroulement du stator donne $R_s = 0,65 \Omega$.

En déduire les pertes fer.

5- Pour le fonctionnement nominal, calculer :

- les pertes par effet Joule au stator

- les pertes par effet Joule au rotor

- le rendement

- le couple utile C_u

Exercice N°2

Un moteur triphasé tétrapolaire à cage d'écureuil possède les caractéristiques suivantes :

230 V / 400 V 50 Hz.

La résistance d'un enroulement statorique, mesurée à chaud, est $R_s = 0,70 \Omega$.

Ce moteur est alimenté par un réseau 400 V entre phases.

1- Déterminer :

- le couplage du moteur

- la vitesse de synchronisme

2- A vide, le moteur tourne à une vitesse proche de la vitesse de synchronisme, absorbe un courant de 5,35 A et une puissance de 845 W.

Déterminer :

- les pertes Joule statoriques à vide

- les pertes fer statoriques sachant que les pertes mécaniques s'élèvent à 500 W.

3- A la charge nominale, le courant statorique est de 16,5 A, le facteur de puissance de 0,83 et la vitesse de rotation de 1400 tr/min.

Calculer :

- les pertes Joule statoriques en charge

- la puissance absorbée

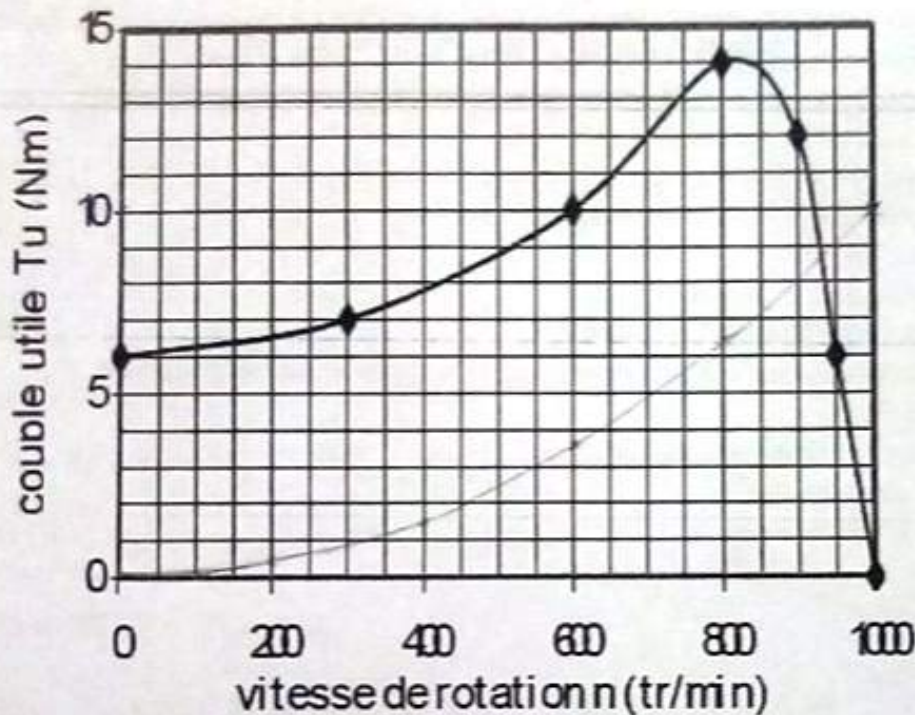
- la puissance transmise au rotor (les pertes fer statoriques sont les mêmes qu'à vide)

- le glissement

- les pertes Joule rotoriques en charge
- la puissance utile en bout d'arbre (les pertes mécaniques sont sensiblement les mêmes qu'à vide)
- le moment du couple utile
- le rendement.

Exercice N° 3

La caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone est donnée ci-dessous :



1- Ce moteur entraîne un compresseur dont le couple résistant est constant et égal à 4 Nm.

1-1- Le démarrage en charge du moteur est-il possible ?

1-2- Dans la zone utile, vérifier que $T_u = -0,12n + 120$

1-3- Déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble en régime établi.

1-4- Calculer la puissance transmise au compresseur par le moteur.

2- Ce moteur est maintenant utilisé pour entraîner une pompe dont le couple résistant est donné en fonction de la vitesse de rotation par la relation suivante :

$$T_r = 10,5 n^2 \text{ avec } T_r \text{ en Nm et } n \text{ en tr/min.}$$

2-1- Représenter sur le graphique précédent la courbe $T_r(n)$.

2-2- En régime établi, déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble ainsi que le couple utile du moteur.

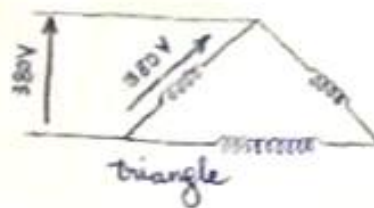
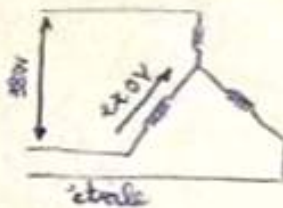
n (tr/min)	0	200	400	600	800	1000
C_{rs} (N.m)	0	0,4	1,6	3,6	6,4	10

Exercices d'applications:

Date: 13/09/2022

Exercice 1:

$\Delta: 220V, Y, 380V$



1. Couplage étoile

2. $f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow p = 1 \rightarrow n_s = 3000 \text{ tr/min}, p = 2 \rightarrow n_s = 1500 \text{ tr/min}, p = 3 \rightarrow n_s = 1000 \text{ tr/min}$

$\hookrightarrow n = 1455 \text{ tr/min} \Rightarrow n_s = 1500 \text{ tr/min}$ donc: $p = 2$ (4 pôles)

$$3. g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03 = 3\%$$

$$4. P_o = P_f + P_{js} + P_m \Rightarrow P_f = P_o - P_{js} - P_m \text{ or } P_{js} = 3 R_s I_o^2 = 3 \times 0,65 \times 3,2^2 = 19,96 \text{ W} \approx 20 \text{ W}$$

$$\Rightarrow P_f = 260 - 20 - 130 = 110 \text{ W}$$

$$5. P_{js} = 3 R_s I^2 = 3 \times 0,65 \times 6,4^2 = 79,87 \text{ W} \approx 80 \text{ W}$$

$$P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 6,4 \times 0,8 = 3369,87 \text{ W} \approx 3370 \text{ W}$$

$$P_{tr} = P_a - (P_f + P_{js}) = 3370 - (110 + 80) = 3180 \text{ W}$$

$$P_{jn} = g P_{tr} = 0,03 \times 3180 = 95,4 \text{ W}$$

$$P_u = P_a - \Sigma \text{pertes} = P_{tr} - P_{jn} - P_m = 3180 - 95,4 - 130 = 2954,6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{2954,6}{3370} = 0,87 = 87\%$$

$$C_u = \frac{P_u}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{2954,6 \times 60}{2\pi \times 1455} = 19,4 \text{ N m}$$

Exercice 2:

1. Couplage étoile

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ tr/min}$$

$$P_{js} = 3 R_s I_o^2 = 3 \times 0,7 \times (5,35)^2 = 60,1 \text{ W}$$

$$P_f = P_o - P_{js} - P_m = 845 - 60,1 - 500 = 284,9 \text{ W}$$

$$P_{js} = 3 R_s I^2 = 3 \times 0,7 \times (16,5)^2 = 571,7 \text{ W}$$

$$P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 16,5 \times 0,83 = 9487,17 \text{ W}$$

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{jm} = 9488,17 - 274,9 - 571,7 = 8631,57 \text{ W}$$

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0,06 = 6\%$$

$$P_{j2} = g P_{tr} = 0,06 \times 8631,57 = 517,89 \text{ W}$$

$$P_m = P_{tr} - P_{j2} - P_{jm} = 8631,57 - 517,89 - 500 = 7613,68 \text{ W}$$

$$C_u = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_m}{\frac{2\pi n}{60}} = 51,93 \text{ N.m}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_a} = \frac{7613,68}{9488,17} = 0,8 = 80\%$$

Exercice 3:

1.1. le démarrage en charge est possible: $C_d > C_n$

$$1.2. C_u = a \cdot n + b \rightarrow \begin{cases} 0 = a \times 1000 + b \\ 12 = a \times 900 + b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 12 = -100 \times a \Rightarrow a = -0,12 \\ b = -a \times 1000 = 120 \end{cases} \rightarrow C_u = -0,12 \cdot n + 120$$

$$1.3. C_u = C_n \Rightarrow C_u = -0,12 \cdot n + 120 = 4 \Rightarrow n = \frac{116}{0,12} = 966,6 \text{ tr/min}$$

$$1.4. P_u = C_u \cdot \Omega = 4 \cdot 2\pi \cdot \frac{966,6}{60} = 404,88 \text{ W}$$

$$2. C_u = C_n \Rightarrow -0,12 \cdot n + 120 = 10^{-5} n^2 \Rightarrow 10^{-5} n^2 + 0,12 n - 120 = 0 \rightarrow n = 928,2 \text{ tr/min donc:}$$

Exercice 4: Exercice:

$$C_u = 10^{-5} (928,2)^2 = 8,61 \text{ N.m}$$

Un moteur asynchrone 3 pôles à cage, $P_a = 40 \text{ kW}$, 380 V , $f = 50 \text{ Hz}$

Essai à vide: $U_0 = 380 \text{ V}$, $I_0 = 16,6 \text{ A}$, $P_0 = 1853 \text{ W}$

La résistance entre bornes du stator: $R_b = 0,14 \Omega$

1. Calculer les p_{js} du stator et les p_{jm} en les supposant égaux

2. Pour un $\eta = 0,9$ et $\cos \varphi = 0,91$, en régime normal, calculer:

a: l'intensité absorbée, b: les p_{js} , c: les p_{j2} , d: g et la n , e: C_u

3. Le moteur a maintenant une vitesse de 1440 tr/min pour un couple $C_u = 300 \text{ N.m}$, on suppose que sa caractéristique mécanique est rectiligne dans les limites d'emploi. Il entraîne un ventilateur qui exige un couple $C_a = 21,5 \text{ N.m}$ si $n = 500 \text{ tr/min}$, le couple $C_a = K \cdot n^2$. Déterminer le point de fonctionnement.

↳ Réponse:

$$1. P_u = P_{js} + P_{j2} + P_m, P_{js} = \frac{3}{2} R_b I_0^2 = 57,86 \text{ W}$$

$$P_{j2} = P_m = \frac{P_u - P_{js}}{2} = \frac{1853 - 57,86}{2} = 924,75 \text{ W}$$

$$2. a: P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \frac{P_m}{\eta} \Rightarrow I = \frac{P_m}{\eta \sqrt{3} U \cos \varphi} = 74,2 \text{ A}$$

$$2. b. P_{fs} = \frac{3}{2} R_b I^2 = \frac{3}{2} \times 0,14 \times (4,2)^2 = 1156 \text{ W}$$

$$2. c. P_a = P_u + \Sigma P_{pertes} = P_u + P_f + P_m + P_{fs} + P_{fs}, P_a = \frac{P_m}{\eta} = \frac{40 \cdot 10^3}{0,9} = 44 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\rightarrow P_{fs} = P_a - P_u - P_f - P_m - P_{fs} = 994,5 \text{ W}$$

$$2. d. g = \frac{P_{fs}}{P_u} = \frac{P_{fs}}{P_a - P_f - P_{fs}} = \frac{994,5}{44 \cdot 10^3 - 924,5 - 1156} = 0,023 = 2,3\%$$

$$n = n_s (1 - g) = 1500 (1 - 0,023) = 1465,5 \text{ tr/min}$$

$$2. e. C_u = \frac{P_u}{\omega} = \frac{40 \cdot 10^3}{2\pi \cdot \frac{1465,5}{60}} = 260,6 \text{ N.m}$$

$$3. * \begin{cases} 0 = a \times 1500 + b \\ 300 = a \times 1440 + b \end{cases} \Rightarrow 300 = -60 a \Rightarrow a = -5 \rightarrow C_u = -5n + 7500$$

$$\rightarrow b = -a \times 1500 = 7500$$

$$K = \frac{29,5}{500^2} = 118 \cdot 10^{-6} \Rightarrow C_n = 118 \cdot 10^{-6} \times n^2, C_u = C_n \text{ donc } C_u = -5n + 7500 = 118 \cdot 10^{-6} n^2$$

$$\rightarrow 118 \cdot 10^{-6} n^2 + 5n - 7500 = 0 \rightarrow n = 1450 \text{ tr/min} \rightarrow C_u = C_n = 118 \cdot 10^{-6} \times 1450^2 = 248 \text{ N.m}$$

T.D. Machines synchrones

Exercice N°1

Un alternateur triphasé dont le stator est câblé en étoile, fournit entre phases une tension constante $U = 2400 \text{ V}$, 50 Hz . Le relevé des caractéristiques à vide et en court-circuit est résumé ci-dessous :

$i(\text{A})$	0	0,5	1	1,5	3	4	5	6	7	8	9	10
$E(\text{V})$	0	200	400	600	1200	1500	1660	1720	1760	1780	1790	1800
$I_{cc}(\text{A})$	0	400	800	1200								

Dans ce tableau, i représente l'intensité d'excitation, E la f.é.m. entre phase et neutre, I_{cc} l'intensité de court-circuit dans les enroulements statoriques. La résistance entre phase et neutre, mesurée à chaud, est $0,08 \Omega$.

1. Tracer la caractéristique à vide (10 mm pour 100 V, 15 mm pour 1 A).
 2. Le rotor tourne à 150 tr/min. Quel est le nombre de pôles ?
 3. Calculer l'impédance d'un enroulement du stator (réactance synchrone supposée constante).
 4. L'alternateur débite 1000 A dans un circuit inductif de facteur de puissance 0,8.
 - a) Déterminer graphiquement la f.é.m. de l'alternateur entre phase et neutre.
 - b) En déduire la valeur à donner au courant d'excitation.
 - c) Calculer les pertes par effet Joule dans le stator.
 - d) L'alternateur essayé à vide, sous l'excitation normale (déterminée en b)) absorbe 100 kW y compris la puissance nécessaire à l'excitation.
- Quel est le rendement de l'alternateur dans les conditions normales d'emploi (1000 A, $\cos\varphi = 0,8$).

Exercice N°2

Un alternateur triphasé possède un stator monté en étoile. Son rotor tourne à la vitesse de 1500 tr/min. La fréquence est de 50 Hz. La résistance d'une phase est $R = 0,8 \Omega$. On a relevé la caractéristique à vide:

$I_e(\text{A})$	0	0,25	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	3
$E(\text{V})$	10	86	131	156	192	213	226	240	252	262	305

Un essai en court-circuit a donné $I_c = 0,5 \text{ A}$ et $I_{cc} = 48 \text{ A}$.

1. Calculer la réactance synchrone de l'induit $L\omega$.
2. L'alternateur débite dans un récepteur inductif dont le facteur de puissance est 0,8, un courant de 30 A en ligne sous une tension de 380 V entre phases. Quelle est l'intensité du courant d'excitation ?
3. Donner la valeur de la tension simple à la sortie de l'alternateur dans le fonctionnement suivant : $I = 17,65 \text{ A}$ $\cos \varphi = 0,6$ (φ avant) $I_e = 1 \text{ A}$.
4. On monte une charge résistive triangle à la sortie de l'alternateur. On ne modifie pas le courant d'excitation. Déterminer la valeur R_{\max} d'une des trois résistances pour que la puissance active fournie par l'alternateur soit maximale.

Exercice N°3

Une machine synchrone triphasée à 6 pôles fonctionne en moteur synchrone. La résistance de l'induit est négligeable et la réactance constante est égale à 8Ω . On applique aux bornes du moteur une tension de 200 V, fréquence 50 Hz. On règle l'excitation du moteur pour que son facteur de puissance soit égal à 1. Le moteur développe une puissance de 5 kW.

On demande :

1. la vitesse du moteur en tours par minute;
2. le courant fourni par le réseau;
3. le couple moteur;
4. la force contre-électromotrice du moteur.
5. On augmente l'excitation du moteur jusqu'à ce que le facteur de puissance devienne égal à 0,8, la puissance développée par le moteur reste la même.

Déterminer :

- 5.1 le déphasage du courant sur la tension et le sens de ce déphasage;
- 5.2 le courant absorbé par le moteur;
- 5.3 la force contre-électromotrice du moteur.
6. Déterminer graphiquement quelques points du graphe $I = f(E)$ qui donne le courant fourni par le réseau en fonction de la force contre-électromotrice du moteur quand celui-ci développe une puissance de 4 kW. Ces points seront choisis de façon à donner une idée générale de l'allure du graphe. Échelle : 1 mm pour 2 V.

On admettra que la puissance fournie par le réseau est intégralement transmise à la roue polaire.