

Préambule : Les exercices sur les moteurs ont pour but de trouver le meilleur rendement et donc le point de fonctionnement d'un groupe Moteur – Charge. Cette charge peut-être une pompe (le cas qui nous intéresse le plus souvent ou un ventilateur ou autre...)

Première partie : La Machine à courant continu

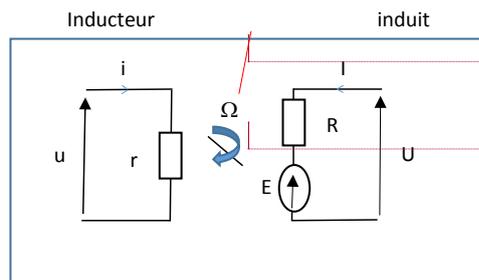
Exercice 1 : un moteur à courant continu à excitation indépendante possède les caractéristiques suivantes qui sont indiquées sur la plaque signalétique:

inducteur: résistance d'induit $r = 150 \Omega$, tension d'alimentation $u = 120V$.

induit: résistance $R = 0,5\Omega$, tension d'alimentation $U_n = 220V, I_n = 20A$.

La vitesse de rotation nominale n_n valant 1500 tr.min^{-1} (\cong vitesse à vide).

1) Donner la représentation équivalente de ce moteur à excitation indépendante avec toutes les indications nécessaires.



Commenté [VL(1): n : pour nominale = meilleures conditions de fonctionnement = meilleur rendement = données constructeur

Commenté [VL(2): L'induit et l'inducteur sont indépendants donc séparés

Commenté [VL(3): Symbolisation du moteur qui tourne à la vitesse Ω en rad/s

Commenté [VL(4): On retrouve cela dans le cours : l'inducteur sert à créer le champ magnétique (donc c'est une bobine ou un aimant ; ici une bobine car il y a u et i) L'induit va tourner grâce à la création des forces de Laplace. On amène du courant I sur les bobinages de l'induit, la force F apparaît (un couple de forces = 2) qui va entraîner en rotation l'induit

2) Pour $n = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$, calculer:

a) la puissance électromagnétique,

$P_{em} = EI$ par définition c'est la puissance récupérée au niveau du rotor (donc de l'induit après les pertes par effet Joule de l'induit)

On a : $U = E + RI$ donc $E = U - RI$

$P_{em} = EI = (U - RI) I = UI - RI^2$

A.N) $P_{em} = 220 \times 20 - (0,5 \times 20^2) = 4400 - 200 = 4200 \text{ W}$

b) les pertes par effet Joule statoriques et rotoriques,

Statoriques = statique = à l'inducteur :

$P_{JS} = r i^2$ or $u = r i$ donc $i = \frac{u}{r}$ $P_{JS} = r i^2 = \frac{u^2}{r}$ A.N) $P_{JS} = \frac{120^2}{150} = \frac{14400^2}{150} = 96 \text{ W}$

Commenté [VL(5): On modélise l'inducteur par la résistance r des enroulements (résistance des fils de cuivre) L'induit est modélisé par la résistance des enroulements R et la force électromotrice induite E)

Commenté [VL(6): Voir 1A

Commenté [VL(7): Soit la puissance amenée à l'induit UI moins les pertes par échauffement (effet Joule) dans les enroulements symbolisés par R

Commenté [VL(8): Loi d'ohm 1A

Rotoriques = qui tourne = à l'induit :

$$P_{JR} = R I^2 \text{ A.N) } P_{JR} = 0,5 \times 20^2 = 200 \text{ W}$$

c) la puissance utile sachant que les autres pertes valent 319 W,

$$P_u = P_{\text{absorbée}} - \sum \text{pertes} = (P_{\text{absorbée inducteur}} + P_{\text{absorbée induit}}) - (P_{JS} + P_{JR} + \text{autres pertes})$$

$$P_u = (u_i + UI) - (P_{JS} + P_{JR} + \text{autres pertes})$$

$$\text{A.N) } P_u = (r i^2 + UI) - (r i^2 + RI^2 + 319)$$

$$P_u = (r i^2 + UI) - (r i^2 + RI^2 + 319)$$

$$P_u = UI - RI^2 - 319 = P_{em} - 319$$

$$\text{A.N) } P_u = 4200 - 319 = 3881 \text{ W}$$

d) le couple utile, le couple de pertes ($T_{em} = T_u + T_p$),

$$\text{Par définition, } T_u = P_u / \Omega = P_u / \left(\frac{2\pi n}{60} \right)$$

$$\text{A.N) } T_u = 3881 / \left(\frac{2 \times 3.14 \times 1500}{60} \right) = 24,72 \text{ N.m}$$

$$T_p = T_u - T_{em} \text{ avec } T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{4200}{157} = 26,76 \text{ N.m}$$

$$T_p = 26,76 - 24,72 = 2,03 \text{ N.m} \text{ donc parfois négligé } \rightarrow T_u = T_{em}$$

e) le rendement

$$\text{Par définition } \eta = \frac{\text{Puissance reçue}}{\text{Puissance fournie}} = \frac{P_u}{u_i + UI} = \frac{3881}{96 + 4200} = 90 \%$$

Tout ceci dans les conditions nominales.

A vous

Exercice 2: un moteur à courant continu à excitation indépendante possède les caractéristiques suivantes qui sont indiquées sur la plaque signalétique:

inducteur: résistance d'induit $i = 1 \text{ A}$, tension d'alimentation $u = 120 \text{ V}$.

induit: résistance $R = 0,8 \Omega$, tension d'alimentation $U_n = 220 \text{ V}$, $I_n = 18 \text{ A}$.

La vitesse de rotation nominale n_n valant 1400 tr.min^{-1} (\cong vitesse à vide).

- 1) Donner la représentation équivalente de ce moteur à excitation indépendante avec toutes les indications nécessaires.

Commenté [VL(9): Voir la figure sur la puissance du cours

Commenté [VL(10): Le courant fournie à l'inducteur sert juste à crée le champ magnétique, la puissance est dissipée par effet Joule (chaleur) dans les enroulements r.

Commenté [VL(11): Le couple utile est une force x une distance, c'est ce qui est disponible sur l'axe de rotation pour entraîner en rotation une charge.

Commenté [VL(12): n : pour nominale = meilleures conditions de fonctionnement = meilleur rendement = données constructeur

Commenté [VL(13): L'induit et l'inducteur sont indépendants donc séparés

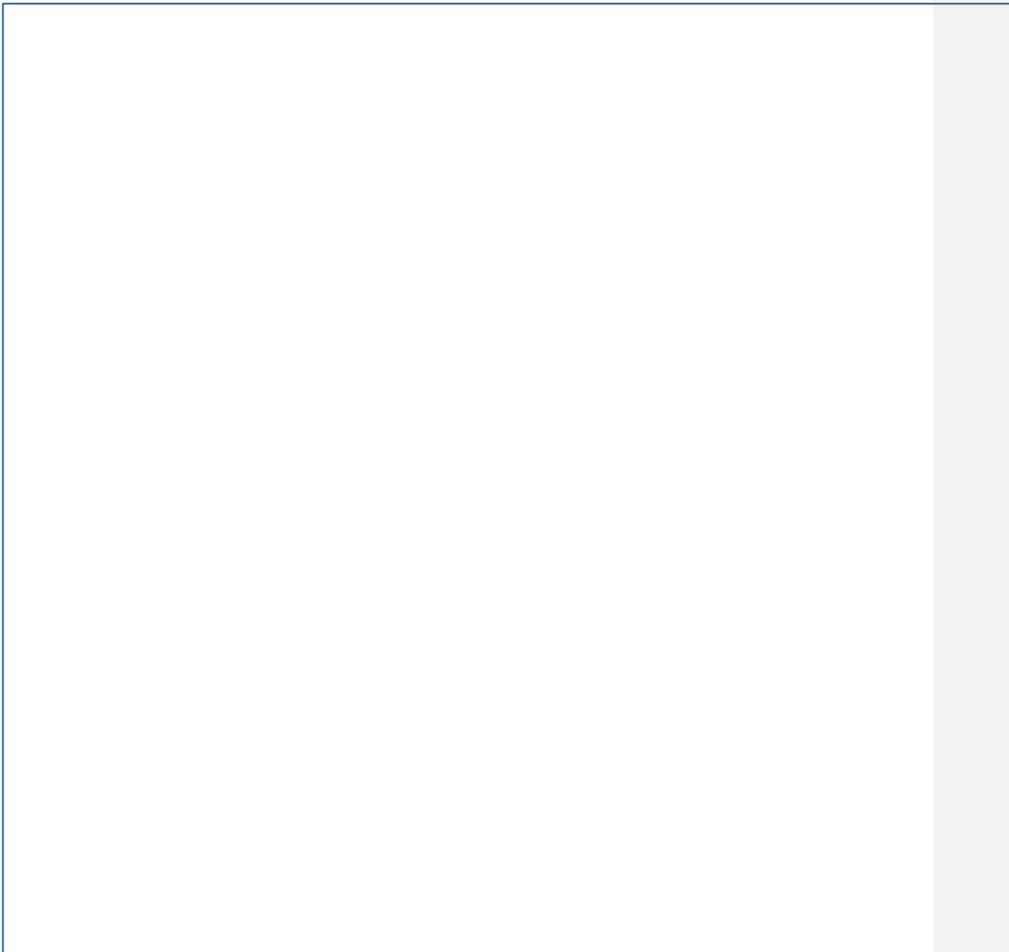
2) Pour $n = 1400 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, calculer:

- a) la puissance électromagnétique
- b) les pertes par effet Joule statoriques et rotoriques,
- d) la puissance utile sachant que les autres pertes valent 319 W,
- d) le couple utile, le couple de pertes ($T_{em} = T_u + T_p$),
- e) le rendement.

Exercice 3 : Un moteur à courant continu à excitation indépendante présente les caractéristiques suivantes :

Résistance d'induit $R = 0.8 \Omega$, force électromotrice $E = 270 \text{ V}$ à la vitesse $n = 1800 \text{ tr min}^{-1}$.

- 1) Calculer la valeur de k (avec n en trs^{-1})
- 2) a) Donner le schéma équivalent du moteur et exprimer le courant d'induit I en fonction de U et n
b) Exprimer la valeur du couple électromagnétique T_{em} en fonction de U et n
- 3) Sachant que $U = 280 \text{ V}$ et que le couple résistant opposé par la charge vaut $T_r = 0.49 n + 21$,
 - a) Déterminer la vitesse et le couple utile au point de fonctionnement de l'ensemble (on négligera les pertes autres que les pertes Joule de l'induit)
 - b) Donner la nouvelle valeur de E .
- 4) Le rendement de l'ensemble est de 70% alors que celui de la charge est de 78%, calculer le rendement du moteur.

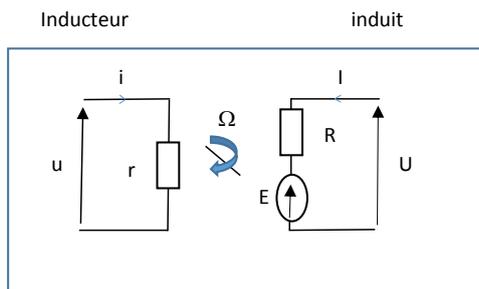


Correction exercice n°3

- 1) $E = k n$ avec n en tr s^{-1}
 Donc $k = \frac{E}{n}$ soit $k = \frac{270}{30} = 9 \text{ V tr}^{-1} \text{ s}$ ($n = 1800 \text{ tr min}^{-1}$ soit 30 tr s^{-1}).

Commenté [VL(14): Voir cours : la f.e.m est proportionnelle à la itesse

- 2) On a le schéma équivalent :



- a) I en fonction de U et n

On a : $U = E + R I$ donc $I = \frac{U - E}{R}$

Soit $I = \frac{U - k n}{R} = 1.25 U - 11.25 n$

b) $T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E I}{\Omega} = \frac{E I}{2 \pi n} = \frac{k n I}{2 \pi} = \frac{k I}{2 \pi}$

$T_{em} = 1.43 I = 1.43 (1.25 U - 11.25 n) = 1.79 U - 16.11 n$

- 3) $U = 280 \text{ V}$ et $T_r = 0.49 n + 21$

- a) On a au point de fonctionnement : $T_u = T_r$. Si on ne tient pas compte des pertes collectives (pertes fer et mécaniques) alors $T_{em} = T_u$.

On peut donc écrire :

$$0.49 n + 21 = 1.79 U - 16.11 n$$

$$16.6 n = 1.79 \times 280 - 21$$

$$16.6 n = 480.2$$

D'où $n = 28.9 \text{ tr s}^{-1}$ soit $n = 1725 \text{ tr min}^{-1}$ et $T_u = 35.17 \text{ N.m}$

b) $E = k n = 9 \times 28.6 = 260.1 \text{ V}$

- 4) Le rendement de l'ensemble est de 70% alors que celui de la charge est de 78%.

Le rendement du moteur vaut : $\eta_{total} = \eta_{moteur} \times \eta_{charge}$

Donc $\eta_{moteur} = \frac{\eta_{total}}{\eta_{charge}} = \frac{0.7}{0.78} = 89\%$

Deuxième partie : La Machine Asynchrone

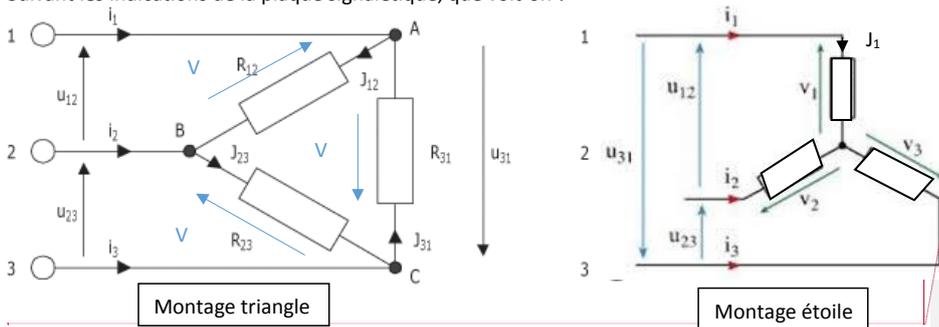
Exercice 1 La plaque signalétique d'un moteur asynchrone indique :

220V/380V, 50Hz, $P_a = 500W$, $n_n = 950 \text{ tr.min}^{-1}$.

On alimente ce moteur grâce au réseau triphasé 380V, 50Hz existant dans l'usine.

- 1) Ce moteur est de quel type ?
- 2) Donner en le justifiant le couplage des enroulements statoriques.
- 3) Calculer:
 - a) le glissement, le nombre de pôles,
 - b) le facteur de puissance si la machine absorbe un courant $I = 0,85 \text{ A}$.
 - c) la puissance utile et le rendement si l'on a mesuré une résistance de $r = 0,5\Omega$ pour chaque phase et l'ensemble des autres pertes: Pertes = 95 W.
 - d) le couple utile, (on supposera que la caractéristique mécanique du moteur est linéaire dans sa partie utile).

- 1) Ce moteur est de type alternatif (50hz est la fréquence d'alimentation du réseau alternatif français)
- 2) Suivant les indications de la plaque signalétique, que voit-on ?

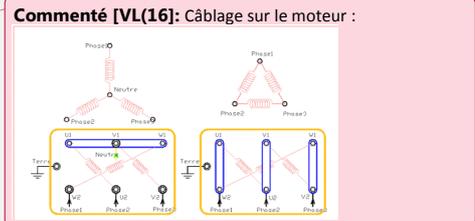


Commenté [VL(15): U : tension entre phase du réseau triphasé
 V : tension aux bornes d'un enroulement
 I : courant issu du réseau
 J : courant dans les enroulements

U_{12} : tension entre la phase 1 et la phase 2 issue du réseau.

R_{12} : résistance de l'enroulement entre les phases 1 et 2

V est la tension la plus petite indiquée par la plaque signalétique du moteur : c'est la tension maximale supportable par un enroulement. Cela détermine le montage ou couplage des enroulements



Montage triangle : on voit que $U = V$

Montage étoile : on voit que $U = \sqrt{3} V$

$$I = \sqrt{3} J$$

$$I = J$$

Donc ici: **V = 220 Volts** (la plus petite valeur entre 220 et 380)

Comme U : tension réseau entre deux phases : **U = 380 Volts (énoncé)**

On a $U = 380 = \sqrt{3} 220$ donc on utilisera le couplage étoile pour alimenter ce moteur

3) a) le glissement g est défini par $g = \frac{n_s - n}{n_s}$ avec $n_s = \text{vitesse de synchronisme} = \text{vitesse du champ tournant}$: valeur immédiatement supérieure à n_n , parmi 3000, 1500, 1000, 750 tr/min.

Donc ici : $n_s = 1000 \text{ tr min}^{-1}$. Donc $g = \frac{1000 - 980}{1000} = 2\%$

Si $n_s = 1000 \text{ tr min}^{-1}$ alors $p = 3$, il y a 3 paires de pôles donc 6 pôles.

b) $P_a = \sqrt{3} UI \cos \varphi$ avec $\cos \varphi$ facteur de puissance donc $\cos \varphi = \frac{Pa}{\sqrt{3} UI} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 0,89$

c) $P_u = P_{\text{absorbée}} - \Sigma \text{ pertes} = P_a - P_{js} - \text{autres pertes}$. Ici, on simplifiera pour écrire que les pertes par effet Joule au stator $P_{js} = 3 r I^2$

Donc $P_u = 500 - 3 \times 0,5 \times 0,85^2 - 95 = 404 \text{ W}$

d) $T_u = P_u / \Omega = P_u / (\frac{2\pi n}{60})$

A.N) $T_u = 404 / (\frac{2 \times 3,14 \times 950}{60}) = 4,06 \text{ N.m}$

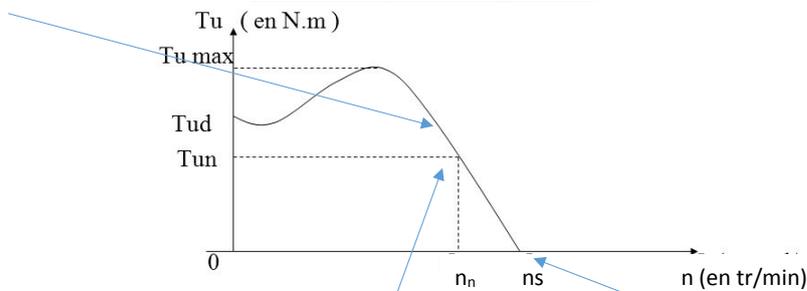
4) Ce moteur entraîne une pompe qui présente un couple résistant de 4 N.m à 920 tr.min⁻¹ qui est proportionnel à la vitesse. Dans ce cas, déterminer la vitesse de rotation du groupe moteur-pompe (par une méthode analytique). Quel est la valeur du couple utile ?

Au point de fonctionnement : le moteur a fourni un couple accélérateur puis il y a stabilisation de l'ensemble tel que $T_u = T_{\text{résistant de la pompe}}$

Dans la partie linéaire de la courbe de fonctionnement du moteur asynchrone on a :

$T_u = an + b$ est une droite

3.1 Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$



On détermine a et b grâce à deux points : point 1 : ($n = n_n$ et $T_u = 4,06 \text{ N.m}$) point 2 : ($n = n_s$ et $T_u = 0 \text{ N.m}$)

$$\begin{cases} Tu_1 = a n_1 + b \\ Tu_2 = a n_2 + b \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} 4,06 = a \cdot 950 + b \\ 0 = a \cdot 1000 + b \end{cases} \text{ soit } a = \frac{4,06 - 0}{950 - 1000} = -0,08126 \text{ et}$$

$$b = -(-0,081 \times 1000) = 81,26$$

$$Tu = -0,08126 n + 81,26 \text{ et } Tr = k n \text{ (Tr proportionnel à n) avec } k = \frac{4}{920} = 4,35 \cdot 10^{-3}$$

Donc $Tr = 4,35 \cdot 10^{-3} n$

Commenté [VL(17)]: On trouve ces valeurs grâce au nombre de paires de pôles p : 1 enroulement par phase 2 pôles : 1 Nord et 1 sud dû au champ magnétique et donc $n_s = \frac{f}{p} = \frac{50}{p} = 50 \text{ tr/s}$ soit $n_s = 3000 \text{ tr min}^{-1}$. Et ainsi de suite suivant le nombre d'enroulements par phase

Commenté [VL(18)]: C'est ce que vous facture EDF

Commenté [VL(19)]: Le couple utile est une force x une distance, c'est ce qui est disponible sur l'axe de rotation pour entraîner en rotation une charge.

Commenté [VL(20)]: Voir ours

On écrit $T_u = T_r$ soit $-0,08126 n + 81,26 = 4,35 \cdot 10^{-3} n$

$$n (-0,08126 - 0,00435) = -81,26$$

$$n_p = 949 \text{ tr min}^{-1} \text{ et } T_{u_p} = T_{r_p} = 4,35 \cdot 10^{-3} \times 949 = 4,13 \text{ N.m}$$

Selon vous, ce moteur pourra-t-il convenir ?

Nous sommes très proches du fonctionnement nominal du moteur défini au début donc ce moteur conviendra parfaitement pour entraîner cette pompe

A vous

Exercice 2 Pour un moteur asynchrone:

Les principales caractéristiques portées sur sa plaque signalétique sont: 220V/380V, 50Hz, $P_a = 3000\text{W}$, $n_n = 1440 \text{ tr.min}^{-1}$.

On alimente ce moteur grâce au réseau triphasé 380V, 50Hz existant dans l'usine.

1) Donner en le justifiant le couplage des enroulements statoriques.

2) Calculer: a) le glissement, le nombre de pôles,

b) le facteur de puissance si la machine absorbe un courant $I = 12\text{A}$.

c) la puissance utile et le rendement si l'on a mesuré une résistance de $r = 0,4\Omega$, pour chaque groupe d'enroulement et l'ensemble des autres pertes: Pertes = 698 W.

d) le couple utile. (On supposera par la suite que la caractéristique mécanique du moteur est linéaire dans sa partie utile).

Une pompe présente un couple résistant de 18 N.m à 1500 tr.min^{-1} . Sachant que celui-ci est proportionnel au carré de la vitesse, déterminer dans le cas de la machine asynchrone la vitesse de rotation du groupe moteur-pompe ? (de manière analytique ou graphique). Quelle est la valeur du couple utile ? Ce moteur conviendra-t-il ?