Exercice 8 : Motorisation d'un tramway

Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

Caractéristiques nominales du moteur

- Tension nominale entre phases : U_N = 585 V
- Fréquence statorique nominale : f_N = 88 Hz
- Intensité nominale du courant statorique : I_N = 35,4 A
- Facteur de puissance nominal : $\cos\phi_N$ = 0,732
- Fréquence nominale de synchronisme : Ns = 2640 $tr.min^{-1}$
- Fréquence nominale de rotation du rotor : N_N = 2610 $tr.min^{-1}$

Dans ce qui suit, on néglige : - les résistances et inductances de fuites statoriques ;
- les pertes dans le fer ;
- les pertes mécaniques.

A.1 - Etude du fonctionnement nominal du moteur

A.1.1 – Déterminer le nombre p de paires de pôles du moteur sachant que la fréquence statorique nominale est f_N = 88 Hz.

Pour le point nominal de fonctionnement :

A.1.2 – Calculer le glissement g_N.

A.1.3 – Calculer la puissance électrique P_N absorbée par le moteur et préciser la valeur de la puissance électromagnétique P_{TrN} transmise au rotor.

A.1.4 – Calculer le couple électromagnétique C_N.

A.1.5 – Exprimer les pertes par effet Joule au rotor p_{Jr} en fonction de P_{Tr}. Calculer p_{JrN}.

A.1.6 – Calculer la puissance utile P_{UN} développée par le moteur.

A.2 - Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique

Pour chaque phase du moteur, on adopte le modèle équivalent monophasé simplifié de la figure 2.

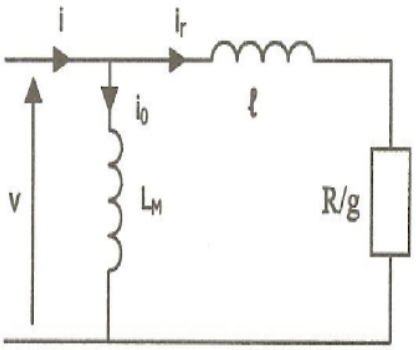


figure 2

-R/g est la résistance modélisant le transfert de puissance active au rotor
L_M est l'inductance magnétisante
ℓ est l'inductance totale de fuites vue du stator
g est le glissement
v est une tension simple du réseau d'alimentation de valeur efficace V
i est l'intensité du courant de ligne

On donne L_M=26,6mH ℓ=2,38mH R=0,147 Ω

A.2.1 – Calculer, sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz), la valeur efficace I_o du courant i_0.

A.2.2 – A partir du modèle équivalent monophasé de la figure 2, exprimer la valeur efficace I_r du courant i_r en fonction de V, ℓω, R et g.

A.2.3 - Montrer que pour les faibles valeurs du glissement (g « 1), la relation précédente devient : $I_r = \frac{V}{R} \cdot g$

A.2.4 - Exprimer la puissance transmise au rotor P_{Tr} en fonction de I_r et de $\frac{R}{g}$

A.2.5 - En déduire alors que, pour les faibles valeurs du glissement, le moment du couple électromagnétique s'écrit : C = K.g
Exprimer K en fonction de la tension efficace V, de la résistance R et de la vitesse de synchronisme Ω_S exprimée en rad.s^{-1}. Calculer la valeur numérique de K sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz).

A.3 - Fonctionnement en traction

On envisage le cas où le moteur développe un couple électromagnétique C = 170 N.m en fonctionnant sous alimentation nominale (V = 338 V et f = 88 Hz).
On supposera le glissement faible et on admettra les résultats suivants :

I_0=23A $\qquad I_r = \frac{V}{R} \cdot g \qquad$ C=8433.g

A.3.1 - Déterminer la valeur du glissement correspondant au fonctionnement étudié.

A.3.2 - En déduire la valeur de la fréquence de rotation du rotor N en tr.min^{-1}.

A.3.3 - Déterminer la valeur de I_r.

A.3.4 - On note ϕ_r le déphase de I_r par rapport à la tension simple v prise comme référence des phases. En se reportant au modèle équivalent monophasé de la figure 2, exprimer tanϕ en fonction de $\ell\omega$ et de $\frac{R}{g}$. En déduire que $\phi_r \approx 10{,}2°$.

A.3.5 - La tension simple v étant toujours choisie comme référence des phases, dessiner les vecteurs de Fresnel $\overrightarrow{I_0}$ et $\overrightarrow{I_r}$ associés aux courants i_o et i_r (on adoptera l'échelle 5 A / cm).

A.3.6 - En déduire la construction du vecteur de Fresnel $\overline{I}$ associé à i.

A.3.7 - Déterminer alors graphiquement la valeur efficace I et le déphasage ϕ de i par rapport à v.

A.3.8 - Calculer la puissance électrique P reçue par le moteur dans ce cas de fonctionnement.

<u>Solution EXO 8:</u>

A.1. Etude du fonctionnement nominal du moteur

A.1.1. de $f = p \cdot n_{tr/s}$ on tire $f_N = p \cdot \frac{n_S}{60}$ avec les notations du problème

$$\Rightarrow p = 60 \cdot \frac{f_n}{n_S} = 60 \cdot \frac{88}{2640} = 2$$

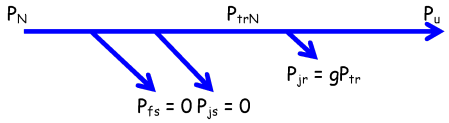
Le nombre de paire de pôle est de 2.

A.1.2. Par définition $g = \frac{N_S - N}{N_S} = \frac{2640 - 2610}{2640} = 0{,}01136$

Le glissement est donc g=1,14%

A.1.3. $P_n = \sqrt{3} \cdot U_N I_N \cos\varphi_N = \sqrt{3} \cdot 585 \times 35,4 \times 0,732 = 26,25\ kW$

Comme les pertes dans le fer et les pertes joules stator sont négligeables on aura



$P_N = P_{trn} = 26,3\ kW$

A.1.4. A partir de $P_{trn} = C_n \cdot \Omega_S = C_n \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot n_S$ donc

$$C_n = \frac{P_{trN}}{\frac{2\pi}{60} \cdot N_S} = \frac{26,3 \cdot 10^3}{\frac{2\pi}{60} \cdot 2640} = 95,13\ Nm$$

Le couple nominal est donc $C_n = 95,13\ Nm$

A.1.5. On sait que les pertes joules stator valent

$$p_{jrN} = g_n P_{trN} = 0,01136 \times 26,3 \cdot 10^3 = 298\ W$$

Les pertes joules rotoriques sont donc de $p_{jrN} = 298\ W$

A.1.6. Les pertes mécaniques étant négligées , la puissance utile développée par le moteur est donnée par $P_{uN} = P_{trN} - p_{jrN} = 26300 - 298 = 26,0\ kW$.

La puissance utile développée par le moteur est donc $P_{uN} = 26,0\ kW$

A.2. Expression simplifiée du moment du couple électromagnétique

A.2.1. D'après le schéma on a $I_0 = \frac{V}{L_M \omega} = \frac{338}{26,6 \cdot 10^{-3} \times 2\pi \times 88} = 23,0\ A$.

Le courant magnétisant est donc $I_0 = 23,0\ A$

A.2.2. D'après le modèle on a $\underline{V} = \frac{R}{g}\underline{I_r} + j\ell\omega\underline{I_r}$ donc $I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + (\ell\omega)^2}}$

A.2.3. Quand le glissement diminue on peut s'attendre à ce que $\frac{R}{g}$ devienne de plus en plus grand devant $\ell\omega$. En effet

$$\left(\frac{R}{g} = \frac{0,147}{0,01} = 14,7 >> \ell\omega = 2,38 \cdot 10^{-3} \times 2\pi \times 88 = 1,31\right)$$

Alors $I_r = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R}{g}\right)^2}} = V\frac{g}{R}$ donc $I_r = V\frac{g}{R}$

A.2.4. On a $P_{tr} = 3\dfrac{R}{g} I_r^2$ donc $P_{tr} = 3\dfrac{R}{g} g^2 \dfrac{V^2}{R^2}$

A.2.5. En remplaçant $I_r = V\dfrac{g}{R}$ dans $P_{tr} = 3\dfrac{R}{g} I_r^2$, on obtient $P_{tr} = 3\dfrac{\cancel{R}}{\cancel{g}} g^{\cancel{2}} \dfrac{V^2}{R^{\cancel{2}}}$

Soit $P_{tr} = 3g\dfrac{V^2}{R}$ et comme $P_{tr} = C \cdot \Omega_S$ donc $C = \dfrac{P_{tr}}{\Omega_S} = 3g\dfrac{V^2}{R \cdot \Omega_S}$ de la forme $C = k \cdot g$ avec $k = 3\dfrac{V^2}{R \cdot \Omega_S} = 8433\ Nm$

A.3. Fonctionnement en traction

A.3.1. Avec $C = 8433 \cdot g$ et C=170 Nm alors $g = \dfrac{C}{k} = \dfrac{170}{8433} = 2{,}02 \cdot 10^{-2}$ soit $g = 2{,}02 \cdot 10^{-2} = 2\%$

A.3.2. Alors $N = N_S(1-g) = 2640 \times (1 - 0{,}0202)$ donc $N = 2587$ tr/min

A.3.3. De $I_r = V\dfrac{g}{R} = 338 \times \dfrac{0{,}0202}{0{,}147}$ donc $I_r = 46{,}4\ A$

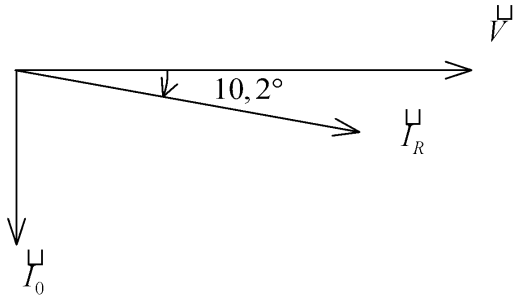
A.3.4. On voit que $\boxed{\tan\varphi_r = \dfrac{\ell\omega}{\cancel{R}/g} = \dfrac{g\ell\omega}{R}} = \dfrac{0{,}0202 \times 2{,}38 \cdot 10^{-3} \times 2\pi \times 88}{0{,}147} = 0{,}180$ soit $\varphi_r = \arctan 0{,}180 = 10{,}2°$

A.3.5. Construction de Fresnel

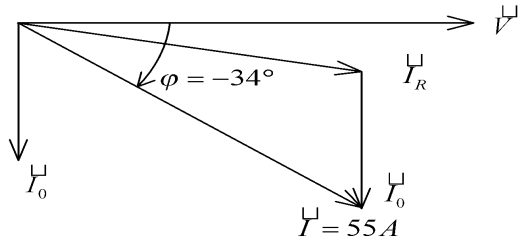
$\vec{I_0}$ est de 23 A et en retard de 90° sur $\vec{V}$

$\vec{I_r}$ est de 46,4 et en retard de 10,2° sur $\vec{V}$

avec l'échelle 5A/cm on a



A.3.6. De $i = i_0 + i_r$ donc $\vec{I} = \vec{I_0} + \vec{I_r}$ d'où la construction ci dessous



A.3.7 On mesure sur la construction $I = 55\,A$ et $\varphi = 34,5°$

A.3.8. Avec $P = 3VI\cos\varphi = 3\times 338\times 55\times \cos 34,5 = 45961$ on trouve donc P=46000 W (bien loin de P_{un})