

*PSI\* 2015 - 2016*  
*TD N°14 - MACHINES SYNCHRONES*

**EXERCICE 1 : Moteur synchrone – Equations électriques – Puissances**

Les deux phases du stator d'un moteur synchrone bipolaire diphasé à pôles lisses sont alimentées par des courants d'intensité  $i_1(t) = I_s \sin(\omega t)$  et  $i_2(t) = I_s \cos(\omega t)$  elles créent un champ statorique tournant à la vitesse angulaire  $\omega$  et de norme  $k_s I_s$ . Le rotor, dont la position est repérée par l'angle  $\theta = \omega t - \beta$ , est alimenté par un courant continu d'intensité  $I_r$  qui crée un champ rotorique de norme  $k_r I_r$ .

On rappelle que l'énergie magnétique du système s'écrit :

$$W_m = \frac{\pi a e h}{2\mu_0} (k_s^2 I_s^2 + k_r^2 I_r^2 + 2k_r I_r k_s I_s \cos(\omega t - \theta)).$$

Montrer que l'on peut mettre cette énergie sous la forme :

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + \frac{1}{2} L_r i_r^2 + M_{1,r} i_1 i_r + M_{2,r} i_2 i_r + M_{12} i_1 i_2.$$

Déterminer les coefficients d'inductance propre des deux phases et du rotor ainsi que les différents coefficients d'inductance mutuelle.

En notant  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  et  $u_r(t)$  les tensions aux bornes des divers circuits et  $R$  et  $R_r$  leurs résistances, écrire les équations électriques. Donner l'expression de la puissance électrique instantanée reçue par le moteur, et en déduire celle de la puissance mécanique qu'il fournit, puis du couple moteur  $\Gamma$ .

**EXERCICE 2 : Moteur synchrone tétrapolaire**

Un moteur synchrone alimenté par un système de courants diphasés de fréquence variable  $f$  est doté d'un rotor quadripolaire.

La valeur efficace de la tension d'alimentation de chaque bobinage d'induit est  $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$ .

On néglige les résistances des induits.

1. Quel est le lien entre la fréquence d'alimentation,  $f$ , et la vitesse de rotation de la machine,  $N$ , exprimée en tours/min ? En déduire l'intervalle de fréquence que doit pouvoir balayer l'onduleur d'alimentation du moteur pour couvrir l'intervalle allant de 0 à 5000 tours/min.
2. Représenter le schéma équivalent d'un circuit d'induit, puis représenter son diagramme de Fresnel en notant  $\delta$  le déphasage de la fem % à la tension d'alimentation (on considérera que leurs valeurs efficaces sont identiques).
3. Quelle relation lie  $\delta$  et  $\phi$ , déphasage de l'intensité % à la tension d'alimentation ? Déterminer l'expression de la puissance absorbée par l'induit en fonction de  $U_{\text{eff}}$ ,  $L_s$ ,  $f$  et  $\delta$ .
4. Faire l'application numérique pour  $N = 1500$  tours/min puis pour  $N = 5000$  tours/min.  $L_s$  vaut 50 mH et  $\delta = 45^\circ$ .
5. Déterminer pour ces deux valeurs de  $N$  le couple de décrochage de la machine, i.e. le couple correspondant à  $\delta = 90^\circ$ .

### EXERCICE 3 : Machine fonctionnant en alternateur puis en moteur

Soit une machine synchrone bipolaire et diphasée à rotor bobiné. On considère une des phases (bobines) du stator et l'on note  $\alpha$  et  $\varphi$  (supposés indépendants de la phase choisie) respectivement le déphasage retard de la fém  $e(t)$  et du courant  $i(t)$  par rapport à la tension appliquée  $u(t)$ . Soit  $R$  et  $L$  la résistance et l'inductance de chacun des enroulements du stator avec  $R = 0,9 \Omega$

- Essai à vide à la vitesse de rotation  $\omega$  : tension efficace  $U_V = 220 \text{ V}$  ; courant d'excitation  $I_{EV} = 4,0 \text{ A}$ .
  - Essai en court-circuit à la vitesse de rotation  $\omega$  : courant d'excitation  $I_{ECC} = 1,0 \text{ A}$  ; courant en ligne efficace :  $I_{CC} = 3,5 \text{ A}$ .
1. La machine fonctionne en alternateur.
    - a) Que signifie ici « essai à vide » et « essai en court-circuit » ? À quels courants correspondent les appellations « courant en ligne » et « courant d'excitation » ?
    - b) Montrer que la fém induite dans une bobine du stator s'écrit  $e(t) = E\sqrt{2} \sin(\omega t)$  avec  $E = K I_E \omega$ .
    - c) Avec l'essai à vide, déterminer le produit  $K\omega$ .
    - d) Avec l'essai court-circuit, calculer la réactance  $L\omega$ . Montrer que  $R \ll L\omega$ . (On négligera  $R$  dans la suite.)
  2. La machine fonctionne en moteur. En régime nominal, chaque phase fonctionne sous une tension de valeur efficace  $U = 190 \text{ V}$  et de fréquence  $50 \text{ Hz}$  ; le stator absorbe une puissance  $P = 1,0 \text{ kW}$  avec un facteur de puissance  $\cos(\varphi) = 0,87$ . On néglige les frottements mécaniques.
    - a) Calculer l'intensité efficace en ligne  $I$ .
    - b) En faisant un bilan de puissance, calculer le moment du couple électromagnétique appliqué à l'arbre du moteur.
    - c) Tracer le diagramme de Fresnel relatif au courant et à la tension dans le cas où  $\varphi > 0$ .
    - d) Déterminer la valeur efficace de la fém, notée  $E$ .
    - e) Établir la relation  $U \cos(\varphi) = E \cos(\alpha)$  où  $\alpha$  est le déphasage entre  $i(t)$  et  $e(t)$ .