

## TD 1: Modélisation en régime permanent et rappel sur la commande scalaire de la MAS

### Exercice1

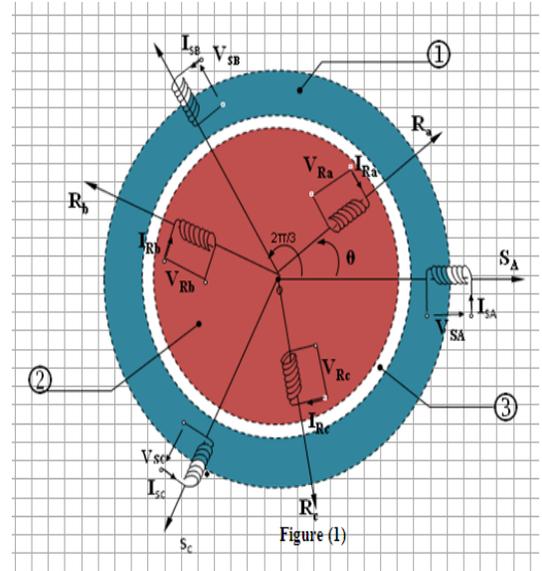
Sous les hypothèses simplificatrices, la machine asynchrone triphasée est représentée schématiquement par la figure. 1. Elle est munie de six enroulements:

- Le stator de la machine est formé de trois enroulements identiques décalés entre elles de  $\frac{2\pi}{3}$  rad dans l'espace traversés par trois courants variables et soit en avance soit en retard par rapport au rotor par un angle  $\theta$ .
- Le rotor peut être modélisé par trois enroulements identiques décalés dans l'espace entre elles de  $\frac{2\pi}{3}$  rad et soit en avance soit en retard par rapport au stator par un angle  $\theta$ . Ces enroulements sont en court-circuit et la tension à leurs bornes est nulle.

On différencie les vecteurs statoriques par l'indice 's' et les vecteurs rotoriques par l'indice 'r'.

① Partie fixe : Stator. ② Partie mobile : Rotor. ③ Entrefer constant.

$\theta$  est un angle électrique variable en fonction du temps définie la position de la phase (a) du rotor par rapport au phase (a) du stator.



1- Donner les expressions des tensions statoriques et rotoriques ( $v_{sa}$  et  $v_{ra}$ ) de la MAS en fonction des courants ( $i_{sa}$  et  $i_{ra}$ ) et du flux (SR) ( $\phi_{sa}$  et  $\phi_{ra}$ ).

2- Donner les expressions des flux (SR) ( $\phi_{sa}$  et  $\phi_{ra}$ ) en fonction des courants (SR), des inductances cycliques propres ( $L_s$  et  $L_r$ ) et mutuelles cycliques (SR)  $M$ .

3- Donner les expressions complexe des flux (SR)  $\underline{\phi}_s$  et  $\underline{\phi}_r$  en fonction des  $\underline{I}_s$ ,  $\underline{I}_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$  et  $M$ .

4- Donner les expressions complexe des tensions (SR)  $\underline{V}_s$  et  $\underline{V}_r$  en fonction des  $\underline{I}_s$ ,  $\underline{I}_r$ ,  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $M$  et de la pulsation statorique  $\omega_s$  en régime permanent.

5- Donner le schéma équivalent de la machine asynchrone qui traduit les expressions complexe des tensions (SR) de la quatrième question (Modèle à inductances couplées) en régime sinusoïdal (en régime permanent).

6- Par l'utilisation du rapport de transformation qui permet de ramener le rotor au stator  $m_{r \rightarrow s} = M/L_s$ .

6-1 Donner le schéma équivalent du moteur asynchrone-modèle ramené au stator avec fuites magnétiques totalisées au rotor et représenter les composantes ramenées au stator.

6-2 Donner les expressions de flux statoriques et rotoriques de ce modèle en fonctions des courants SR, de l'inductance cyclique propre statorique et de l'inductance mutuelle cyclique (SR).

6-3 Donner l'expression du courant rotorique ramené au stator  $I'_r$  en fonction de  $\underline{I}_r$ ,  $L_s$  et  $M$  et établir l'expression du flux statorique en fonction de  $I'_r$ .

6-4 Donner le coefficient de dispersion de Blondel  $\sigma$  en fonction des  $L_s$ ,  $L_r$  et  $M$ .

6-5 Donner l'inductance de fuites totalisée au rotor  $N_r$  en fonction de  $\sigma$  et  $L_r$ .

- 6-6 Etablir l'expression de flux rotorique en fonction de  $\underline{I}_r, \underline{I}_s, I_r', N_r$  et  $M$ .
- 7- Etablir les expressions des tensions  $\underline{V}_s$  et  $\underline{V}_r$  en fonction de  $R_s, \underline{I}_r, \underline{I}_s, I_r', N_r, g, M$  et  $\omega_s$ .
- 8- Donner l'inductance des fuites totalisées au rotor  $N_r'$  en fonction de  $N_r, L_s$  et  $M$ .
- 9- Donner la résistance rotorique ramenée au stator  $R_r'$  en fonction de  $R_r, L_s$  et  $M$ .
- 10- Donner l'expression de  $I_r'$  en fonction  $V_s, R_r', N_r', g$  et  $\omega_s$ .
- 11- Donner l'expression de la puissance électromagnétique (puissance transmise au rotor)  $P_{tr}$  en fonction  $I_r'$  et  $R_r'$ .
- 12- Donner l'expression du couple électromagnétique  $C_e$  en fonction des  $I_r', R_r'$  et  $\omega_s$ .
- 13- Donner l'expression du couple électromagnétique  $C_e$  en fonction de  $V_s, g, R_r', N_r'$  et  $\omega_s$ .
- 14- Pour quel glissement maximal  $g_{\max}$ , le couple est-il maximal? Quelle est l'expression du couple maximal  $C_{e\max}$  en fonction de la tension statorique et de l'inductance de fuites totalisées au rotor  $N_r'$ ?
- 15- Dédire l'expression du couple  $C_{e\max}$  en fonction de la pulsation rotorique  $\omega_r$ .
- 16- Dédire l'expression du couple  $C_{e\max}$  en fonction du courant  $I_s$  de la pulsation rotorique  $\omega_r$ .
- 17- Pour quelle pulsation rotorique maximale  $\omega_{r\max}$ , le couple est-il maximal (à courant statorique  $I_s$  constant)? Quelle est l'expression du couple maximal  $C_{e\max}$  en fonction de  $I_s$ ?
- 18- Quel type de commande il est important de faire afin de maintenir le  $C_e = C_{e\max}$  disponible quel que soit la fréquence.

## Exercice2

On désire varier la vitesse d'un MAS alimentée en tension dans le régime permanent par la commande scalaire.

On donne :  $V_s = 220V, f = 50Hz, p = 2, n_n = 1470tr/min, R_r' = 1,05\Omega, N_r' = 32mH, L_s = 15,15mH$ .

### Partie1:

- Donner le schéma équivalent du moteur asynchrone ramené au stator avec fuites magnétiques totalisées au rotor.
- Quelle condition faut-il remplir pour négliger la résistance  $R_s$ ?
- Donner l'expression de la tension  $V_s$  en fonction de  $I_r'$ .
- Montrer que le couple électromagnétique développé par le moteur peut se mettre sous la forme:

$$C_e = \frac{3pV_s^2}{\omega_s} \frac{R_r'/g}{\left(\frac{R_r'}{g}\right)^2 + (N_r'\omega_s)^2}$$

- Montrer que lorsque le glissement est maximal, le couple électromagnétique maximal  $C_{e\max}$  est donné par:

$$C_{e\max} = k \left( \frac{V_s}{f} \right)^2$$

- 5-1 Calculer  $K, g_{\max}$  et  $C_{e\max}$ .
- 5-2 Calculer la valeur de la vitesse correspondant le couple max.
- 6- Donner l'expression du couple  $C_e$  en fonction des  $C_{e\max}, g$  et  $g_{\max}$  et calculer  $K, g_{\max}$  et  $C_{e\max}$ .
  - 6-1 Calculer le couple de démarrage  $C_{ed}$ .
  - 6-2 Calculer les valeurs efficaces des courants  $I_r', I_s$  et  $I_s'$ .

### Partie2:

- Tracer les deux caractéristiques  $C_e(g)$  et  $C_e(\Omega)$ .
- Donner les expressions des différentes parties des deux caractéristiques.

8-1 l'expression du  $C_e$  dans la partie droite (Zone utile) de la caractéristique  $C_e(g)$  en fonctions des  $C_{e_{\max}}$ ,  $g$  et

$g_{\max}$ .

8-2 l'expression du couple dans la partie hyperbole de la caractéristique  $C_e(g)$  en fonctions des  $C_{e_{\max}}$ ,  $g$  et

$g_{\max}$ .

8-3 l'expression du couple dans la partie droite de la caractéristique  $C_e(n)$  en fonction de  $n$ .

9- Calculer la vitesse pour une fréquence de 40Hz et 0.8 du couple nominale.

10- Calculer la fréquence pour une de vitesse 1050tr/min et un couple nominale.

11- Calculer le couple pour une fréquence de 30Hz et une vitesse de 1100tr/min.

**Partie3:** Ce moteur entraîne une charge dont le couple résistant est constant et égal à 6 Nm.

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

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

14- Calculer la puissance transmise à la charge par le moteur.

15- Ce moteur est entraîné une pompe dont le couple résistant est donné par :  $C_r = 10^{-5} n^2$  avec  $C_r$  en Nm et  $n$  en tr/min.

15-1 Représenter sur le graphique précédent la courbe  $C_r(n)$ .

15-2 En régime établi, déterminer la vitesse de rotation de l'ensemble ainsi que le couple utile du moteur.

**Partie4:**

16- Montrer que la tension statorique est exprimée en fonction du flux statorique par la relation:

$$V_s = \omega_s \phi_s \sqrt{\frac{(R_s / \omega_s L_s - \sigma \omega_r T_r)^2 + (1 + \omega_r T_r R_s / \omega_s L_s)^2}{1 + (\sigma \omega_r T_r)^2}}$$

Avec  $T_r = L_r / R_r$ , et  $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$

17- Lorsque  $L_r \ll R_r$ , donner l'expression de la tension statorique.

18- Donner l'expression de la tension statorique lorsqu'on néglige  $R_s$ .

19- Que signifie le rapport  $V_s / f$  et quel est l'intérêt de garder ce rapport constant ?

20- A l'aide de la relation d'autopilotage  $\theta_s = \theta_r + \theta$  et le rapport  $V_s / f$  constant.

20-1 Donner le schéma de la commande scalaire en tension et en courant en faible et fort vitesse et expliquer le rôle des différentes parties de chaque schéma.

21-2 Quel est le convertisseur de l'électronique de puissance capable pour alimenté ce moteur dans chaque commande?

22-3 Quelles sont les techniques de commandes utilisées pour la génération des signaux de contrôle des interrupteurs du convertisseur dans chaque commande?

23-4 Expliquer le principe de chaque technique.

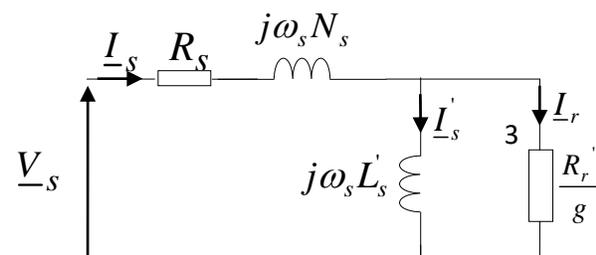
**Exercice3**

Le schéma équivalent par phase en régime permanent du moteur asynchrone, à fuites magnétiques totalisées au stator, est donné par la figure suivante:

On donne :  $R_s = 15m\Omega$ ,  $N_s = 0.45mH$ ,  $L'_s = 9.5mH$ ,  $f = 50Hz$ ,  $p = 2$ ,  $n_n = 1463tr / min$ ,  $V_{sn} = 220V$ .

1- Donner l'expression complexe de la tension  $\underline{V}_s$  en fonction des  $\underline{I}_s$ ,

$R_r$ ,  $L'_s$ ,  $R_s$ ,  $N_s$ ,  $\omega_s$  et  $\omega_r$ . En déduire la valeur efficace de  $I_{sn}$ .



- 2- Donner les expressions complexe des courants (SR)  $\underline{I}_r$  et  $\underline{I}'_s$  en fonctions des  $\underline{I}_s$ ,  $R_r$ ,  $L'_s$ , et  $\omega_r$ . Calculer  $I_{rn}$  et  $I'_{sn}$ .
- 3- Donner l'expression du couple  $C_e$  en fonction des  $I_s$ ,  $R_r$ ,  $L'_s$ , et  $\omega_r$ . Calculer  $C_{en}$ .
- 4- Donner l'expression du couple  $C_{e\max}$  en fonction de  $I_s$ . Calculer  $g_{\max}$  et  $C_{e\max}$ .
- 5- Calculer la valeur de la vitesse correspondant le couple max.
- 6- Donner l'expression du courant  $I_r$  en fonction des  $C_e$ ,  $R_r$ ,  $g$ , et  $\omega_s$ .
- 7- Tracer les deux caractéristiques  $C_e(g)$  et  $C_e(\Omega)$ .
- 8- Calculer les valeurs efficaces  $I_r$ ,  $I'_s$  et  $I_s$  pour un glissement de 1.2% et un couple de 20Nm.
- 9- Calculer les puissances P, Q et S absorbées au réseau.
- 10- A l'aide de la relation d'autopilotage  $\theta_s = \theta_r + \theta$  et le rapport  $V_s/f$  constant. Donner le schéma de la commande scalaire en courant et expliquer le rôle des différentes parties de chaque schéma.