
T.P 4 : Etude du moteur asynchrone triphasé

T.P 4: Etude du moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné

1. Buts

Etude du moteur asynchrone triphasé en régime sinusoïdal par le modèle linéaire. Cette étude comprend :

- L'identification des paramètres (à partir des essais à puissance réduite : essai à vide, essai au synchronisme, essai à rotor calé...).
- Essai en charge et relevé des caractéristiques du moteur.

2. Constitution

Le moteur asynchrone comprend:

- ✓ Un Stator : partie fixe, armature portant un bobinage triphasé alimenté par un système équilibré de tensions à la fréquence ω_s .
- ✓ Un rotor : partie mobile, constitue le " secondaire " de la machine et il n'est connecté à aucune source d'énergie. On distingue :
 - Rotor à cage d'écureuil (en court-circuit).
 - Rotor bobiné.

3. Principe

Si on alimente le circuit statorique (primaire) par un système des tensions triphasées équilibrées de fréquence f_s ou (ω_s), on obtient un champ magnétique tournant à la vitesse synchrone

$$(\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}).$$

Ce flux balayant le circuit rotorique y induit des f.é.m., ce dernier étant en court-circuit, les f.é.m. y produisent des courants. Du fait de la loi de Lenz, les courants rotoriques induits vont s'opposer par leurs effets (qui est ici le couple) à la cause qui a leur donné naissance (qui est la rotation relative du champ tournant par rapport au rotor) en entraînant le rotor en rotation dans le sens du champ tournant.

On définit le paramètre glissement qui caractérise la diminution relative de vitesse du

$$\text{rotor par : } g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{w_s - w_m}{w_s} = \frac{w_r}{w_s}$$

En régime sinusoïdal, toutes les grandeurs rotoriques (courants, flux) sont à la fréquence $f_r = g f_s$.

Condition électrique de synchronisme : $w_s = w_m + w_r$

Condition mécanique de synchronisme : $\Omega_s = \Omega_m + \Omega_r$

Avec

f_r : fréquence des courants rotoriques,

w_s : pulsation des courants statoriques,

w_r : pulsation des courants rotoriques,

w_m : vitesse électrique du rotor.

4. Bilan des puissances actives en fonctionnement moteur

- La puissance active absorbée par le moteur est : $P_a = 3V_s I_s \cos(\varphi_s)$.
- Les pertes ferromagnétiques au stator, sont mesurées lors d'un essai à vide:

$$p_{fs} + p_{js0} = 3V_s I_{s0} \cos(\varphi_{s0}) .$$

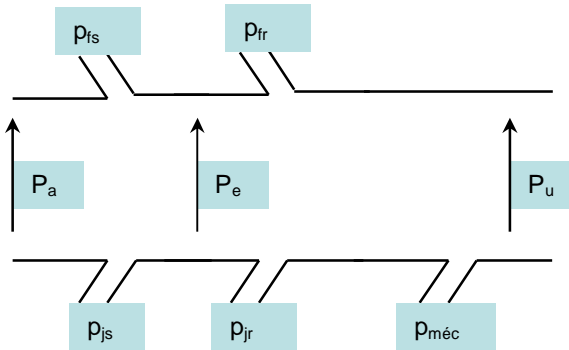
- Les pertes par effet joules statoriques sont définies par : $p_{js} = 3R_s I_s^2$
- On appelle puissance transmise au rotor (puissance électromagnétique), l'expression définie par $P_e = P_a - p_{fs} - p_{js}$.

- Les pertes par ferromagnétiques au rotor sont négligeables car elles sont liées à la fréquence du rotor.

- Les pertes par effet joules rotoriques sont définies par : $p_{jr} = 3R_r I_r^2$
- Les pertes mécaniques $p_{méc}$ sont généralement d'origines frottements.
- On appelle puissance mécanique sur l'arbre (puissance utile), l'expression définie par

$$P_u = P_e - p_{fs} - p_{js} - p_m.$$

❖ **Bilan de puissances:**



A partir du bilan des puissances actives en fonctionnement moteur, on peut définir le rendement de la machine :

$$\Rightarrow \text{En fonctionnement moteur : } \eta_M = \frac{P_u}{P_a} = \frac{(1-g)(P_a - p_{fs} - p_{js}) - p_{méc}}{P_a}$$

$$\Rightarrow \text{En fonctionnement moteur : } \eta_G = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a}{(1-g)(P_a + p_{fs} + p_{js}) + p_{méc}}$$

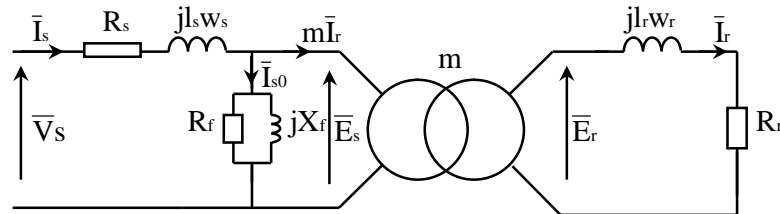
5. Modèles du moteur asynchrone en régime sinusoïdale

La description de la machine asynchrone par un modèle permet d'estimer le couple électromagnétique développé et de montrer comment varie la vitesse et le courant absorbé en fonction du couple demandé.

Hypothèses : Saturation négligée, répartition sinusoïdale du flux.

➔ **Modèle 1**

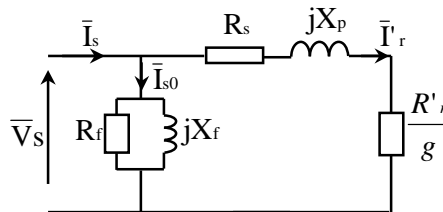
Le schéma équivalent d'une phase statorique et d'une phase rotoriques est donné par :



La f.é.m. et la pulsation du rotor sont données respectivement par les expressions suivantes :

$$E_r = mgE_s, \quad w_r = gw_s$$

Si de plus on considère l'approximation suivante est vraie ($I_s \gg I_{s0}$), le schéma précédent vu coté stator à la pulsation (w_s) devient:



Avec

R_s : Résistance d'une phase statorique, R_f : Résistance due aux pertes fer,

X_f : Réactance magnétisante du circuit magnétique,

$X_p = X_s + m^2 X_r = X_s + X'_r$: Réactance de fuites d'une phase du stator et du rotor vue coté stator,

$\frac{R'_r}{g} = \frac{R_r}{m^2 g}$: Résistance d'une phase du circuit rotorique ramenée coté statorique.

➔ **Modèle 2 :**

Les équations d'une phase (statorique et rotorique) dans un repère de Park tournant à la vitesse (w_a) sont :

$$\begin{cases} \bar{v}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\varphi}_s}{dt} + jw_a \bar{\varphi}_s \\ \bar{0} = R_r \bar{i}_r + \frac{d\bar{\varphi}_r}{dt} + j(w_a - w_m) \bar{\varphi}_r \end{cases}$$

Avec w_m : pulsation mécanique.

Les équations précédentes dans un repère synchrone (lié au champ tournant) deviennent:

$$\begin{cases} \bar{v}_s = R_s \bar{i}_s + j\omega_s \bar{\varphi}_s \\ \bar{0} = R_r \bar{i}_r + j(\omega_s - \omega_m) \bar{\varphi}_r \end{cases}$$

Sachant que les équations des flux s'écrivent :

$$\begin{cases} \bar{\varphi}_s = L_s \bar{i}_s + M \bar{i}_r \\ \bar{\varphi}_r = L_r \bar{i}_r + M \bar{i}_s \end{cases}$$

On obtient

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + jL_s \omega_s \bar{i}_s + jM \omega_s \bar{i}_r \\ \bar{0} = \frac{R_r}{g} \bar{i}_r + jL_r \omega_s \bar{i}_r + jM \omega_s \bar{i}_s \end{cases}$$

En introduisant le courant rotorique ramené au stator ($\bar{i}'_r = -m \bar{i}_r$) et le courant magnétisant absorbé par le moteur à vide ($\bar{i}_{s0} = \bar{i}_s - \bar{i}'_r$), le système précédent devient :

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + j\omega_s (L_s - \frac{M}{m}) \bar{i}_s + j\omega_s \frac{M}{m} \bar{i}_{s0} \\ j\omega_s \frac{M}{m} \bar{i}_{s0} = \frac{R_r}{g m^2} \bar{i}'_r + j\omega_s (\frac{L_r}{m^2} - \frac{M}{m}) \bar{i}'_r \end{cases}$$

On dénote les expressions par :

$$l_s = L_s - \frac{M}{m} : \text{Inductance cyclique de fuites du stator,}$$

$$l'_r = \frac{L_r}{m^2} - \frac{M}{m} : \text{Inductance cyclique de fuites d'une phase rotorique ramenée au stator,}$$

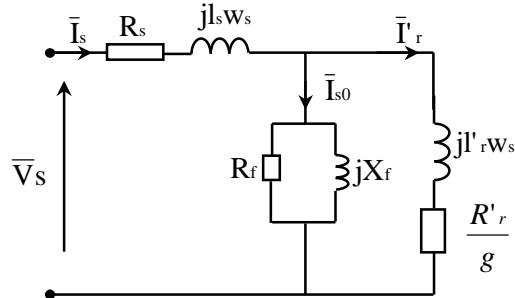
$$X_f = \omega_s \frac{M}{m} : \text{Réactance magnétisante,}$$

$$R'_r = \frac{R_r}{m^2} : \text{Résistance d'une phase rotorique ramenée au stator,}$$

On obtient finalement

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + j l_s \omega_s \bar{i}_s + j X_f \omega_s \bar{i}_{s0} \\ j X_f \omega_s \bar{i}_{s0} = \frac{R'_r}{g} \bar{i}'_r + j l'_r \omega_s \bar{i}'_r \end{cases}$$

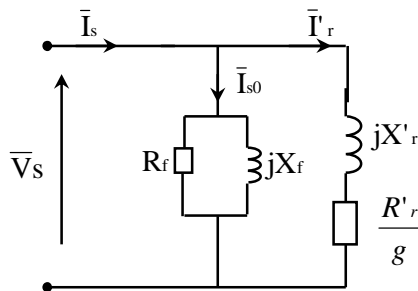
Ces équations traduisent le schéma monophasé équivalent d'un moteur asynchrone ramené au stator, sera corrigé par une résistance due aux pertes fer:



➔ **Modèle 3**

Si on considère que l'impédance du circuit statorique est négligeable, le schéma équivalent précédent devient :

6. Expressions et caractéristique du couple T_e



A partir du schéma équivalent du circuit précédant, on peut définir plusieurs expressions du couple électromagnétique :

$$F_1 : \quad T_e = \frac{P_e}{\Omega_s} = \left(\frac{3 V_s^2}{\Omega_s} \right) \frac{\frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g} \right)^2 + (X'_r)^2}$$

$$F_2 : \quad T_e = 3p \left(\frac{V_s}{w_s} \right)^2 \frac{\frac{R'_r}{w_r}}{\left(\frac{R'_r}{w_r} \right)^2 + (l'_r)^2}$$

T.P 4 : Etude du moteur asynchrone triphasé

Avec $X'_r = l'_r w_s$

Le couple électromagnétique maximum est obtenu pour un glissement optimum : $g_k = \frac{R'_r}{X'_r}$

$$F_3 : \quad T_{\text{emax}} = 3p \frac{V_s^2}{\omega_s} \frac{1}{2X'_r}$$

On voit que le couple maximum est indépendant de la résistance du circuit rotorique.

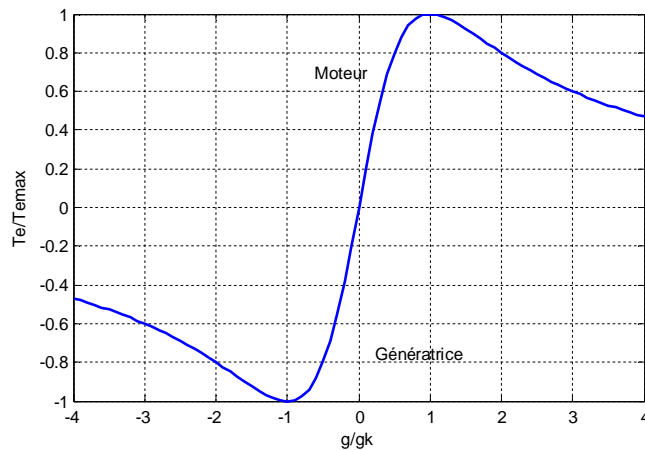
Le couple électromagnétique peut être exprimé en fonction du couple maximum, on obtient alors :

$$F_4 : \quad T_e = \frac{2 \cdot T_{\text{emax}}}{\frac{g_k}{g} + \frac{g}{g_k}}$$

Le couple de démarrage ($g=1$)

$$F_5 : \quad T_{\text{ed}} = \left(\frac{3 V_s^2}{\Omega_s} \right) \frac{R'_r}{(R'_r)^2 + (X'_r)^2}$$

❖ Caractéristique normalisée du couple $T_e(g)$:



7. Travail demandé

7.1. Essais à puissances réduites

7.1.1. Essai à vide

- a. Prévoir le montage pour cet essai ?
- b. En déduire le facteur de puissance φ_{10} , les pertes fer et les éléments (R_f , X_f).

7.1.2. Essai en courant continu

- a. Prévoir le montage pour cet essai ?
- b. Mesurer les valeurs de R_s , R_r ?

7.1.3. Essai a rotor calé

- a. Prévoir le montage pour cet essai ?
- b. En déduire les valeurs de réactance X_s et X'_r ?

7.2. Essais en charge