

Constitution. Principe de fonctionnement

Définition

Machine électrique tournante réalisant la transformation de la puissance électrique reçue sous forme de courant alternatif en puissance mécanique. Ayant $2p$ pôles et étant reliée à un réseau de fréquence f , cette machine tourne à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse synchrone N_s définie par :

$$N_s = 60 * f/p.$$

Constitution

- **Circuit magnétique** : Composé de deux armatures cylindriques concentriques (l'une creuse, l'autre pleine) séparées par un entrefer étroit.
- **Stator** : Armature immobile ; elle porte un enroulement triphasé à (p) paires de pôles relié au réseau d'alimentation.
- **Rotor** : C'est l'armature tournante qui n'est reliée électriquement à aucune source d'énergie. On y loge un enroulement polyphasé mis en court-circuit. Cette armature peut être de diverses sortes : bobinée, à cage, massive.

Principe

Les courants statoriques de fréquence f (pulsation $\omega_s = 2\pi f$) créent un champ tournant à la vitesse synchrone $\Omega_s = \omega/p$. Ce flux balayant le bobinage rotorique y induit des f.e.m. Ce bobinage étant en court-circuit, ces f.e.m. y produisent des courants. C'est l'action du flux tournant statorique sur les courants rotoriques qu'il a lui-même induit qui crée le couple. C'est pour cela que ce moteur est souvent appelé moteur d'induction.

Grandeurs caractéristiques

Glissement

Si le rotor tournait à la vitesse synchrone Ω_s , donc aussi vite que le flux, le flux à travers chacune des bobines rotoriques serait constant. Au rotor, il n'y a plus de f.e.m. induites, donc plus de courant et plus de couple. Le rotor tourne nécessairement à une vitesse Ω inférieure à la vitesse Ω_s du champ. Ω est d'autant plus inférieure à Ω_s que la charge entraînée le freine davantage, donc que le moteur doit développer un couple plus important.

- ✓ Puisque Ω diffère de Ω_s , c'est un moteur asynchrone.
- ✓ $(\Omega_s - \Omega)$ est la vitesse de glissement

Le rapport de la vitesse de glissement ($\Omega_s - \Omega$) à la vitesse synchrone (Ω_s) donne le glissement (g).

$$g = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$$

Avec:

$$\omega_s = p\Omega_s, \text{ et } \omega_r = p\Omega_r$$

Fréquence rotorique

Le bobinage rotorique est balayé par le flux tournant statorique à la vitesse de glissement ($\Omega_s - \Omega$). La pulsation des grandeurs rotoriques est :

$$\omega_r = p(\Omega_s - \Omega) = \omega_s - \omega$$

Puisque :

$$g = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \qquad \omega_r = g\omega_s \qquad f_r = gf_s$$

Effets des courants rotoriques. Flux résultant

Les courants rotoriques de pulsation ($g\omega_s$) passant dans les enroulements du rotor créent une f.m.m. ε_r et un flux φ_r dont la vitesse par rapport au rotor est :

$$g \frac{\omega_s}{p} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \Omega_s = \Omega_s - \Omega$$

Par rapport au stator, la vitesse est :

$$\Omega + (\Omega_s - \Omega) = \Omega_s$$

❖ $\forall g$, les f.m.m. et les flux dûs aux courants statoriques et rotoriques tournent à la même vitesse (Ω_s).

Modèle de la machine asynchrone en régime permanent

Equations de fonctionnement

Phase statorique :

$$v = R_s i_s + \frac{d\varphi_s}{dt}$$

Avec ;

- v_s : Tension par phase statorique ;
 - R_s : Résistance d'une phase statorique ;
 - i_s : Courant de phase statorique ;
- φ_s : Flux totalisé par phase statorique.

En écriture complexe, on aura:

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s \bar{\Phi}_s$$

Phase rotorique :

$$0 = v_r = R_r i_r + \frac{d\varphi_r}{dt}$$

Avec;

- R_r : Résistance d'une phase rotorique ;
- i_r : courant de phase rotorique ;
- φ_r : flux totalisé par phase

rotorique. En écriture complexe, on aura:

$$0 = R_r \bar{I}_r + j\omega_r \bar{\Phi}_r$$

Etude du régime permanent

Le régime permanent du moteur asynchrone correspond à celui d'une alimentation statorique sinusoïdale triphasé équilibrée, lorsque la vitesse de rotation et donc le glissement sont devenus constants.

Equation des flux

Stator :

$$\bar{\Phi}_s = \mathcal{L}_s \bar{I}_s + \mathcal{M} \bar{I}_r$$

- $\mathcal{L}_s = L_s - M_s$: Inductance cyclique propre statorique

L_s : inductance propre statorique

M_s : Inductance mutuelle entre phases statoriques

- $\mathcal{M} = \frac{3}{2} M$: Inductance mutuelle cyclique stator-rotor

M : valeur de la mutuelle lorsque les bobines sont en regard l'une de l'autre (axes coïncidents).

Rotor :

$$\bar{\Phi}_r = \mathcal{L}_r \bar{I}_r + \mathcal{M} \bar{I}_s$$

- $\bar{\Phi}_r = \mathcal{L}_r \bar{I}_r + \mathcal{M} \bar{I}_s$: Inductance cyclique propre rotorique
- L_r : inductance propre rotorique
- M_r : Inductance mutuelle entre phase rotorique

Equations en tensions

Phase statorique :

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s \mathcal{L}_s \bar{I}_s + j\omega_s \mathcal{M} \bar{I}_r$$

Phase rotorique

$$0 = R_r \bar{I}_r + jg\omega_s \mathcal{L}_r \bar{I}_r + jg\omega_s \mathcal{M} \bar{I}_s$$

Soit en divisant par g , on aura :

$$0 = \frac{R_r}{g} \bar{I}_r + j\omega_s \mathcal{L}_r \bar{I}_r + j\omega_s \mathcal{M} \bar{I}_s$$

Schéma équivalent

Modèle à inductances couplées

Les équations de tension statorique et rotorique nous permettent de tracer le schéma équivalent suivant :

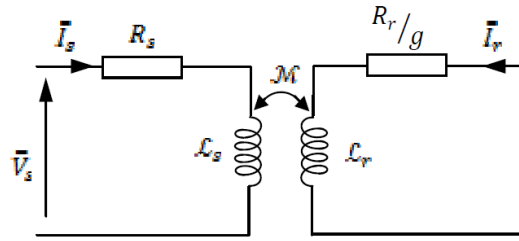


Fig. Schéma équivalent du moteur asynchrone-
Modèle à inductances couplées

Modèle à inductances de fuites partielles

Les équations de tension peuvent être réécrites comme suit :

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s (\mathcal{L}_s - \mathcal{M}) \bar{I}_s + j\omega_s \mathcal{M} (\bar{I}_r + \bar{I}_s)$$

$$0 = \frac{R_r}{g} \bar{I}_r + j\omega_s (\mathcal{L}_r - \mathcal{M}) \bar{I}_r + j\omega_s \mathcal{M} (\bar{I}_s + \bar{I}_r)$$

Ces relations correspondent le schéma équivalent de la figure suivante.

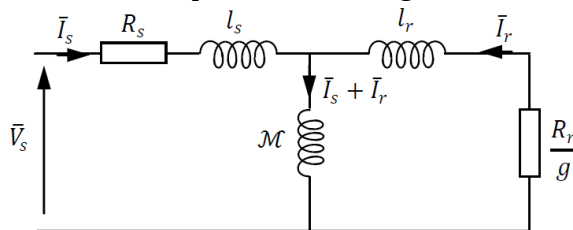


Fig. Schéma équivalent du moteur asynchrone

Dans ce schéma ;

- $l_s = f_s - M$ désigne l'inductance cyclique de fuites statoriques
- $l_r = f_r - M$ est l'inductance cyclique de fuites rotoriques

Modèle à fuites totalisées au rotor ramené au stator

Réécrivons les relations de flux statoriques et rotoriques ;

On a au stator :

$$\bar{\Phi}_s = \mathcal{L}_s \bar{I}_s + \mathcal{M} \bar{I}_r = \mathcal{L}_s \left(\bar{I}_s + \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}_s} \bar{I}_r \right) = \mathcal{L}_s (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

Au rotor, on aura :

$$\bar{\Phi}_r = \mathcal{L}_r \bar{I}_r + \mathcal{M} \bar{I}_s = \mathcal{L}_r \bar{I}_r - \frac{\mathcal{M}^2}{\mathcal{L}_s} \bar{I}_r + \frac{\mathcal{M}^2}{\mathcal{L}_s} \bar{I}_r + \mathcal{M} \bar{I}_s$$

Soit;

$$\bar{\Phi}_r = \mathcal{L}_r \left(1 - \frac{\mathcal{M}^2}{\mathcal{L}_s \mathcal{L}_r} \right) \bar{I}_r + \mathcal{M} \left(\bar{I}_s + \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}_s} \bar{I}_r \right) = \sigma \mathcal{L}_r \bar{I}_r + \mathcal{M} (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

$$\sigma = 1 - \frac{\mathcal{M}^2}{\mathcal{L}_s \mathcal{L}_r} : \text{est le Coefficient de dispersion de Blondel}$$

$N_r = \sigma \mathcal{L}_r$: l'inductance de fuites totalisée au rotor ; on peut écrire finalement :

$$\bar{\Phi}_r = N_r \bar{I}_r + \mathcal{M} (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

Reprenons les équations des tensions statoriques et rotoriques ;

On a au stator :

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s \bar{\Phi}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s \mathcal{L}_s (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

Au rotor :

$$0 = \frac{R_r}{g} \bar{I}_r + j\omega_s \bar{\Phi}_r = \frac{R_r}{g} \bar{I}_r + j\omega_s N_r \bar{I}_r + j\omega_s \mathcal{M} (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

Multiplions les deux côtés de l'équation par $\frac{\mathcal{L}_s}{\mathcal{M}}$ on obtient

$$0 = \frac{R'_r}{g} \bar{I}'_r + j\omega_s N'_r \bar{I}'_r + j\omega_s \mathcal{L}_s (\bar{I}_s + \bar{I}'_r)$$

Sur la figure suivante le Schéma équivalent du moteur asynchrone-Modèle à Fuites totalisées au rotor ramené au stator est représenté :

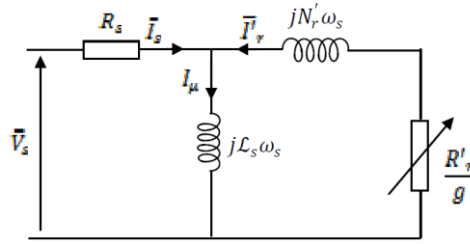


Fig. Schéma équivalent du moteur asynchrone-Modèle à Fuites totalisées au rotor ramené au stator

Dans ce schéma ;

$$\bar{I}'_r = \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{L}_s} \bar{I}_r : \text{Courant rotorique ramené au stator.}$$

$$N'_r = \left(\frac{\mathcal{L}_s}{\mathcal{M}} \right)^2 N_r : \text{Inductance de fuites totalisées au rotor.}$$

$$R'_r = \left(\frac{\mathcal{L}_s}{\mathcal{M}} \right)^2 R_r : \text{Résistance rotorique ramenée au stator}$$

Afin de tenir compte des pertes fer, une résistance R_μ est ajoutée en parallèle avec l'inductance, ce qui donne en définitif le schéma de la figure ci-après.

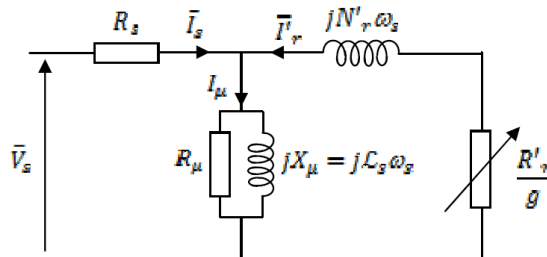


Fig. Schéma équivalent du moteur asynchrone-Modèle à fuites totalisées au rotor ramené au stator avec prise en compte des pertes fer

Remarque :

Pour les moteurs de grandes puissances, la résistance R_s est très faible, si bien que la chute de tension à ses bornes peut être négligée, ce qui revient à appliquer V_s directement aux bornes de l'ensemble des branches en parallèle