

Chapitre V. La Machine asynchrone (Moteur asynchrone)

Les moteurs asynchrones triphasés sont les moteurs employés le plus fréquemment dans l'industrie. Ils possèdent en effet plusieurs avantages : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien plus facile.

V.1.Définition

On appelle machine asynchrone, une machine électrique de vitesse variable, à courant alternatif, qui à 2 enroulements dont un seul (le primaire) est alimenté par un réseau électrique de pulsation ω ; alors que la 2ème (le secondaire) est fermé sur lui-même ou sur des résistances électriques, généralement ce type de machines est plus utilisée en moteur asynchrone (en triphasé).

V.2.Parties principales

Le moteur asynchrone triphasé (parfois appelé Moteur à induction) comprend deux parties séparées par un entrefer le stator (la partie fixe) le rotor (la partie tournante)/

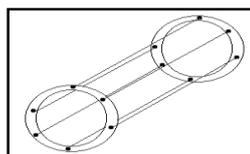
V.2.1.Le stator ou inducteur

C'est un anneau de tôles encoché à l'intérieur et portant un enroulement triphasé semblable à celui d'une machine synchrone. Cet enroulement est presque toujours relié à la source d'alimentation, il constitue le primaire. L'enroulement est alimenté en triphasé par l'intermédiaire de la plaque à bornes de la machine, ce qui le permet de l'alimenter en couplage étoile ou en triangle.

V.2.2.Le rotor ou induit :

C'est la partie tournante. Il se compose d'un cylindre de tôles poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court (de l'ordre de 0.4 à 2 mm seulement).Il existe deux types de rotor : **des rotors bobinés** constitués d'un bobinage analogue au stator, fermé sur un rhéostat extérieur via des bagues et des balais et des **rotors à cage**, constitués de barres conductrices en court circuit . Ces derniers sont plus robustes et moins coûteux.

Fig. III.1 Rotor à cage d'écureuil



V-3. Principe de fonctionnement

L'enroulement statorique (primaire) reçoit de l'énergie électrique du réseau de pulsation ω , ce qui crée un champ tournant à la vitesse angulaire synchrone $\Omega = \frac{\omega}{p}$ (voir théorème de Maurice Leblanc) ; ce champ, en balayant les enroulements rotoriques (secondaires) y induit des f.e.m et donc des courants, car les spires sont fermées sur elles-mêmes. Ces courants induits produiront à leur tour un champ qui sera de sens opposé au champ du stator (d'après la loi de Lenz : la f.e.m induite tend à s'opposer à la cause qui l'a produite). La réaction du courant secondaire sur le champ primaire provoquera un couple moteur qui entrainera la mise en mouvement du rotor dans les sens du champ tournant primaire. A fin et à mesure que le rotor augmentera sa vitesse de rotation, la différence entre la vitesse angulaire du champ tournant et la vitesse angulaire du rotor diminuera. Et la pulsation des courants secondaires diminuera aussi.

Remarque : On change le sens de rotation en permutant deux phases.

V.4. Symbole et convention : (Fig.3.2)



Fig.V.2 Symboles et conventions

V.5. Plaque signalétique du moteur (*voir les détails dans les séances de cours salle 30*)

- La **tension la plus faible** est la tension nominale supportée par un enroulement du stator. Cette donnée permet de définir le couplage suivant le réseau dont on dispose. Une plaque à bornes permet de réaliser le couplage.
- Le courant le plus faible est le courant nominal en ligne dans le cas d'un couplage en étoile.
- Sont aussi indiqués, pour le fonctionnement nominal, la puissance utile, le facteur de puissance, la vitesse de rotation et la fréquence d'utilisation.

V.6. Vitesse du moteur asynchrone

V.6.1. Définition du glissement

Soit n_s : la vitesse de rotation du champ tournant ou vitesse de synchronisme : $n_s = 60 \frac{f}{p}$

n_r : La vitesse de rotation du rotor (mécanique) ; le glissement est défini par :

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (16)$$

Cette valeur relative précise la rapidité du glissement de l'onde de champ statorique par rapport au rotor. Il correspond à un écart relatif de vitesse entre le champ tournant et vitesse de rotor. Ce glissement est indispensable à la création des courants induits au rotor pour l'obtention du couple électromagnétique

$$n_r = (1 - g) n_s \quad (17)$$

En régime de fonctionnement normal le glissement est très faible de 2 à 6 pour cent.

Cas particulier

- Lorsque le moteur tourne à vide on a $n_s \approx n_r \Rightarrow g = 0$
- Au démarrage : $n_r = 0 \Rightarrow g = 1$

V.7. Fonctionnement en charge

Le moteur fournit de la puissance active, le stator appelle un courant actif.

- **Remarque** : Le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

V.7.1. Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ (voir les détails dans les séances de cours salle 30)

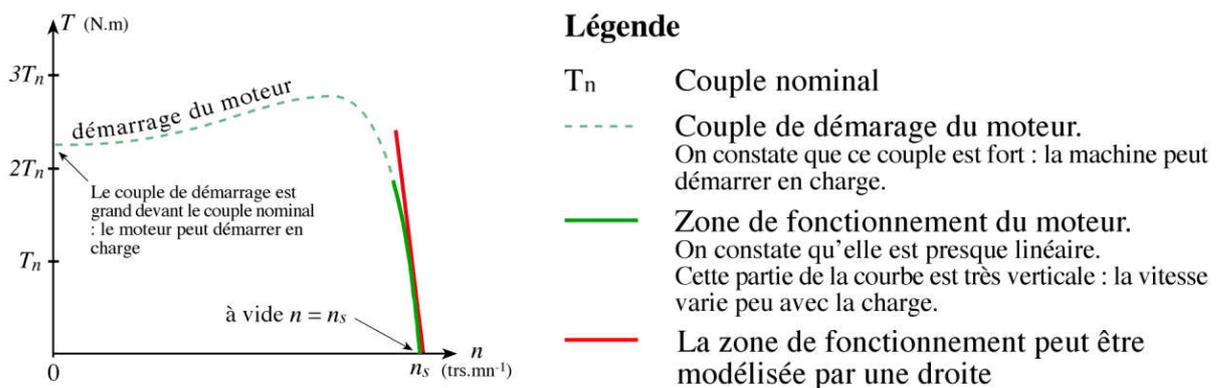


Fig.III.3 caractéristique mécanique du moteur en fonction de n

V.7.2. Caractéristique mécanique en fonction du glissement

Il suffit de faire un changement d'axe : L'axe en n et l'axe en g sont inversés.

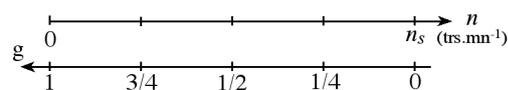


Fig. III.4.Changement d'axe

On obtient la même caractéristique avec l'axe en g .

L'équation de la droite qui modélise la partie utile de la caractéristique mécanique. est une droite passant par l'origine, donc d'équation :

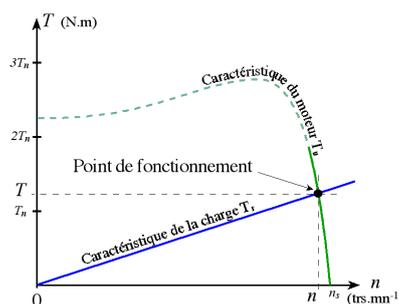
$$y = a x \quad \text{soit} \quad T_u = a .g$$

V.8. Point de fonctionnement du moteur en charge

C'est le point d'intersection des caractéristiques $T = f(n)$ du moteur et de la charge.

T_u : couple utile du moteur

T_r : couple résistant de la charge



La courbe du couple résistant dépend de la charge.

Les coordonnées du point d'intersection des deux caractéristiques constituent le point de fonctionnement du moteur en charge ($T_u = T_r$).

V.9 Démarrage du moteur asynchrone

Au démarrage, le courant étant élevé et le couple faible, on ne démarre pas en charge sous tension nominale, sauf en faible puissance.

Par des actions sur le stator, on réduit le courant en diminuant la tension (couplage étoile-triangle, gradateur, rhéostat ou bobine de démarrage, etc.). Ces techniques, réduisant aussi le couple au démarrage, sont généralement utilisées pour démarrer à vide.

En agissant sur le rotor, on augmente le couple: rhéostat pour les moteurs à rotor bobiné, et pour les autres, réalisation de moteur à double cage (deux cages concentriques) ou à encoches profondes.

La solution actuelle met en œuvre des démarreurs ralentisseurs progressifs qui agissent sur la tension et la fréquence d'alimentation.

V.10 Réversibilité et Freinage

V.10.1 Réversibilité

Entraînée au-delà du synchronisme ($g < 0$), la machine asynchrone fonctionne en génératrice. Elle restitue de la puissance active, mais consomme toujours de la puissance réactive.

V.10.2 Freinage

Il existe plusieurs possibilités suivant le type de charge entraînée. Citons :

- **Freinage hypersynchrone.** En vertu de la loi de Lenz, si on entraîne la machine au-delà du synchronisme, le champ tournant résultant s’oppose à cette survitesse et la machine est freinée. Si la fréquence d’alimentation est fixe, la vitesse du champ tournant est fixe, donc ce type de freinage ne permet pas l’arrêt de la machine. En revanche, alimenté par un convertisseur de fréquence fournissant au moteur une fréquence progressivement décroissante, le champ tournant ralentit et le rotor également.
- **Freinage à contre-courant.** Il consiste à inverser deux phases d’alimentation. Dans ce cas, le sens de rotation du champ tournant s’inverse, et le moteur freine.
- **Freinage par injection de courant continu.** Un courant continu est injecté entre deux phases d’alimentation, ce qui produit un flux constant, lequel engendre des courants induits dans le rotor qui est alors freiné (loi de Lenz). Un frein mécanique permet d’immobiliser le rotor.

V.11.Tension et fréquence induite dans le rotor

La tension et la fréquence induite dans le rotor dépend du glissement. Elles sont données par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} f_r &= g f_s \\ E_r &= g E_{r0} \end{aligned} \tag{18}$$

Ou f_r est la fréquence dans le rotor [Hz].

f_s : Fréquence du réseau d’alimentation du stator [Hz]

E_{r0} : Est la tension induite dans le rotor à circuit ouvert lorsque le rotor est immobile [V]

V.12. Bilan des puissances (voir les détails dans les séances de cours salle 30)

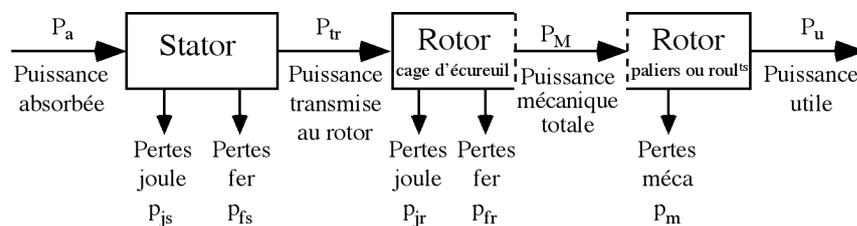


Fig.III.5. Bilan des puissances d’un moteur asynchrone.

Puissance électrique absorbée

$$P_a = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

U : tension entre deux bornes du moteur

I : courant en ligne

Pertes par effet joule au stator

$$P_{js} = \frac{3}{2} RI^2$$

R : résistance entre deux bornes du stator

Puissance transmise : P_{tr}

$$P_{tr} = P_a - p_{js} - p_{fs}$$

C'est la puissance que reçoit le rotor.

Moment du couple électromagnétique : T_{em}

Les forces qui s'exercent sur les conducteurs du rotor tournent à la vitesse Ω_s : elles glissent sur le rotor qui, lui, ne tourne qu'à la vitesse Ω . L'action de l'ensemble des forces électromagnétiques se réduit à un couple électromagnétique résultant de moment T_{em} .

$$T_{em} = \frac{P_r}{\Omega_s}$$

T_{em} (N.m) ; P_r (W) ; Ω_s (rad.s-1)

Puissance mécanique totale : P_M

Le couple électromagnétique de moment T_{em} entraîne le rotor à la vitesse Ω . Il lui communique donc la puissance mécanique totale P_M .

$$P_M = T_{em} \Omega \quad \text{soit} \quad P_M = T_{em} \Omega = P_{tr} \frac{\Omega}{\Omega_s} = P_{tr} (1-g)$$

$$P_M = P_{tr} (1-g)$$

Cette puissance comprend la puissance utile et les pertes mécaniques.

Pertes fer au rotor : p_{fr}

Ces pertes sont négligeables

Pertes joules au rotor

$$p_{jr} + p_{fr} = P_{tr} - P_M = P_{tr} - P_{tr}(1-g) = gP_{tr}$$

$$p_{jr} \approx g.P_{tr}$$

Les pertes fer du rotor sont négligeables.

Pertes collectives : p_c

$$p_c = p_{fs} + p_m$$

Ces pertes ne dépendent que de U, f et n. Comme ces grandeurs sont généralement constantes, les pertes fer au stator et les pertes mécaniques le sont aussi.

Couple de perte :

$$T_p = \frac{p_c}{\Omega_s}$$

Le couple de perte est une grandeur constante quelle que soit la vitesse et la charge de la machine

Autres :

$$P_u = P_M - p_m \quad ; \quad T_u = \frac{P_u}{\Omega} \quad ; \quad \eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Bilan complet :

$$P_a = P_u + p_{js} + p_{jr} + p_c$$

➤ **Remarques**

A vide on a : $T_u = 0 \Rightarrow P_u = 0$ et $g = 0 \Rightarrow p_{jr} = 0$

$$P_{a0} = \sqrt{3}UI_0 \cos \varphi_0 \quad \text{et} \quad p_{js0} = \frac{3}{2}RI_0^2 \approx 0 \quad (\text{car } l_0 \text{ est faible})$$

p_c à vide $\approx p_c$ en charge

Donc le Bilan à vide : $\boxed{P_{a0} \approx p_c}$

Un essai à vide permettra de déterminer les pertes collectives.

V-13 Model équivalent d'un moteur asynchrone

(Voir les détails dans les séances de cours salle 30)

V.14.Conclusion

- La vitesse du champ tournant est : $n_s = \frac{f}{p}$ (f la fréquence du courant et p le nombre de paires de pôles) ;
- Le glissement représente la différence de vitesse entre le champ et le rotor : $g = \frac{n_s - n}{n_s}$;
- à vide $g = 0$ et $n_0 = n_s$;
- Quelle que soit la charge la vitesse de rotation varie très peu ($n \approx n_s$) ;
- En fonctionnement nominal le moment du couple utile est proportionnel au glissement $T_u = k.g$
- A vide, le courant est non négligeable, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q)
- Le couple et le courant de démarrage sont importants
- L'intensité du courant absorbée augmente avec le glissement ;
- La machine asynchrone peut démarrer en charge.
- Un essai à vide du moteur asynchrone permettra de déterminer les pertes collectives.

Bibliographies

1. Guy chateigner 'Manuel de génie électrique' édition dunod 2007.
2. Dr. Bendaoud- Université de Sidi Bel Abbès. Polycopie de cours " machines électriques à courant alternatif" + d'autres polycopies.
3.