

INTRODUCTION

Les machines à courant alternatif sont les machines employées le plus fréquemment dans l'industrie. Elles possèdent en effet plusieurs avantages par rapport aux machines à courant continu : simplicité, robustesse, prix peu élevé et entretien facile. Les forces d'attraction ou de répulsion au sein des machines électriques sont dues à l'interaction de deux champs magnétiques, l'un créé par l'enroulement du stator et l'autre par l'enroulement du rotor.

Les machines asynchrones sont très utilisées (on estime que 80% des moteurs de la planète sont des moteurs asynchrones) car leur coût est inférieur à celui des autres machines, de plus ces machines sont robustes.

Le terme asynchrone provient de fait que la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales, le moteur asynchrone est dite a induction puisque l'énergie transférée du stator au rotor ou du rotor au stator se par induction électromagnétique. Ces machines couvèrent l'essentiel de besoins de la transformation énergie électrique en énergie mécanique.

1. Généralités :

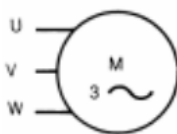
Dans les machines électriques peuvent être trouvées deux catégories :

- Générateurs : qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Moteurs : qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

Le moteur asynchrone est une machine transformant l'énergie électrique apportée par le courant alternatif monophasé ou triphasé en énergie mécanique. C'est un convertisseur d'énergie ; Il est caractérisé par des grandeurs d'entrées qui sont électriques et des grandeurs de sorties qui sont mécaniques.

2. Symboles :

Voici les différents symboles employés pour représenter la machine asynchrone :



(a) Symbole du moteur asynchrone à cage d'écureuil.



(b) Symbole du moteur asynchrone à rotor bobiné.

3. Constitution

Une machine asynchrone comprend généralement :

A. Stator = inducteur :

—un stator triphasé comportant p paires de pôles par phase, identique à celui d'une machine synchrone ; 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 d ou en Δ .



Stator d'une machine asynchrone

C'est au niveau de la plaque à bornes que l'on peut modifier le couplage de la machine. La figure 2 montre comment effectuer un couplage en étoile grâce aux barrettes de cuivre effectuant la liaison entre les six bornes. La figure 3 montre comment effectuer un couplage en triangle.

Disposition des enroulements du stator à partir de la plaque à bornes

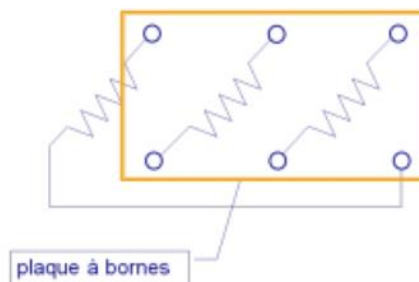


Figure1. Plaque à bornes d'une machine asynchrone triphasée.

Tensions et couplage

Tension entre phases (composée) : U Tension simple : V courant en ligne : I
courant dans les enroulements : J

Donc selon la tension du réseau, chaque enroulement devra être alimenté soit entre deux phases (couplage triangle) soit entre phase et neutre (couplage étoile), sachant que pour le réseau, la tension que l'on précise est systématiquement la tension composée.

Moteur			
Réseau	127 V/230 V	230 V / 400 V	400 V / 690 V
127 V/230 V	Etoile	Triangle	Aucun
230 V / 400 V	Aucun	Etoile	Triangle
400 V / 690 V	Aucun	Aucun	Etoile

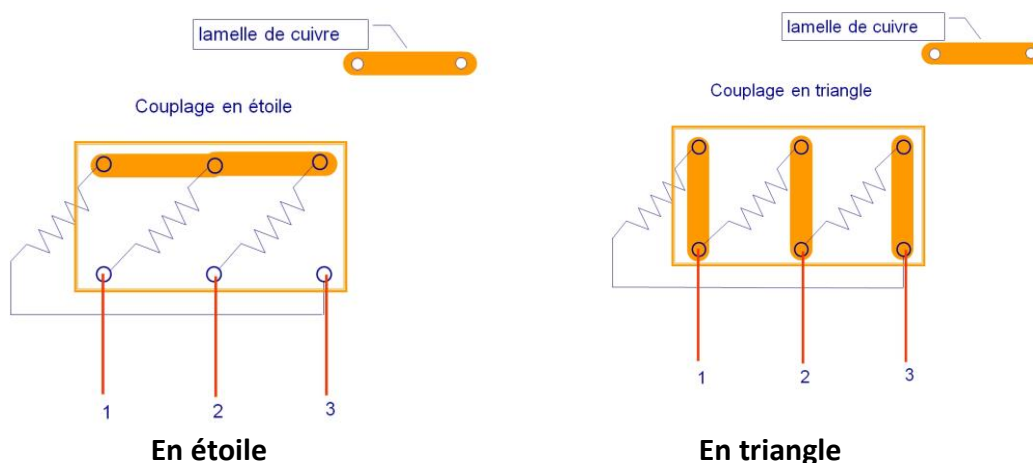


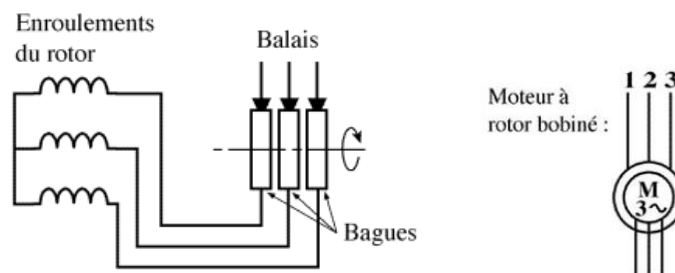
Figure 3. Couplage du stator d'une machine asynchrone triphasée

B. Rotor = induit

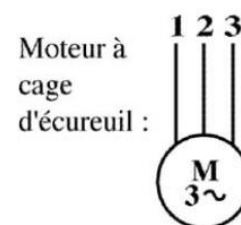
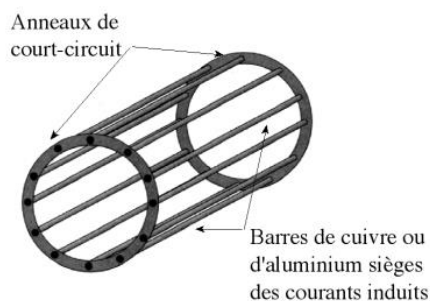
Le rotor n'est relié à aucune alimentation. Il tourne à la vitesse de rotation Ω

– Le courant dans ses enroulements est induit uniquement par le champ statorique, car le rotor n'est lié à aucune source électrique extérieure ; on distingue 2 types de rotor :

➔ **rotor bobiné (à bagues) :** Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant des bobinages. On peut accéder à ces bobinages par l'intermédiaire de trois bagues et trois balais. Ce dispositif permet de modifier les propriétés électromécaniques du moteur.

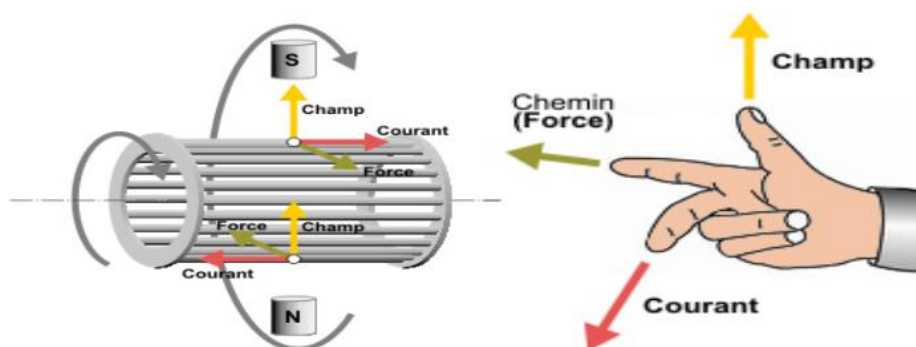


➔ **Rotor à cage :** le rotor est constitué de barreaux de cuivre ou d'aluminium reliés aux deux extrémités par deux couronnes conductrices. . On dit que le rotor est en court-circuit. Sa résistance électrique est très faible. Ce modèle (en forme de cage d'écureuil) peu coûteux et très robuste est le plus répandu



4. Principes 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 (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). Ces forces tendent à entraîner le rotor dans le sens des inductions tournantes. Il existe un couple de démarrage, le rotor se met à tourner si le couple est suffisant.



L'interaction électromagnétique du champ tournant crée par le courant

Glissement

Le rotor tourne à la vitesse Ω plus petite que la vitesse de synchronisme Ω_s . On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant. Ce glissement g va dépendre de la charge.

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

n_s : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr.s-1).

n : vitesse de rotation du rotor (trs.s-1).

$\Omega_s = 2\pi n_s$ (rad.s-1) et $\Omega = 2\pi n$ (rad.s-1)

La vitesse de synchronisme est la vitesse de rotation du champ tournant :

$$n_s(\text{tr/s}) = \frac{f(\text{Hz})}{p}$$

Notons que :

$N=0$ $g=1$ Démarrage

$N=NS$ $g=0$ Synchronisme

$0 < N < NS$ $0 < g < 1$ Moteur

$N > NS$ $g < 0$ Génératrice

- Fréquences rotoriques

La vitesse relative de l'induction statorique par rapport au rotor est :

$$NS - N = gNS$$

Par suite, le rotor ayant p paires de pôles, la fréquence des f.é.m. et des courants est donc :

$$f_R = P(gN_s) \quad \text{et comme} \quad N_s = f/p \quad f_R = g.f$$

La fréquence des grandeurs rotoriques est proportionnelle au glissement. En général, le glissement sera faible et la fréquence rotorique sera faible elle aussi (quelques hertz).

5. Caractéristiques

- Fonctionnement à vide :

A vide le moteur n'entraîne pas de charge.

A vide : $g=0$ et donc $n_0 = n_s$

- Fonctionnement en charge

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

Remarque : le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

6. Démarrage du moteur

Nous venons de dire que le courant de démarrage est très important (4 à 8 fois I_n). Pour ne pas détériorer le moteur, il convient de réduire cet appel de courant.

Il existe deux procédés :

- utilisation de résistances de démarrage ;
- démarrage sous tension réduite.

Nous allons voir deux solutions pour démarrer sous tension réduite.

- **Démarrage étoile - triangle**

Cette méthode consiste à diminuer, le temps du démarrage, la tension d'alimentation

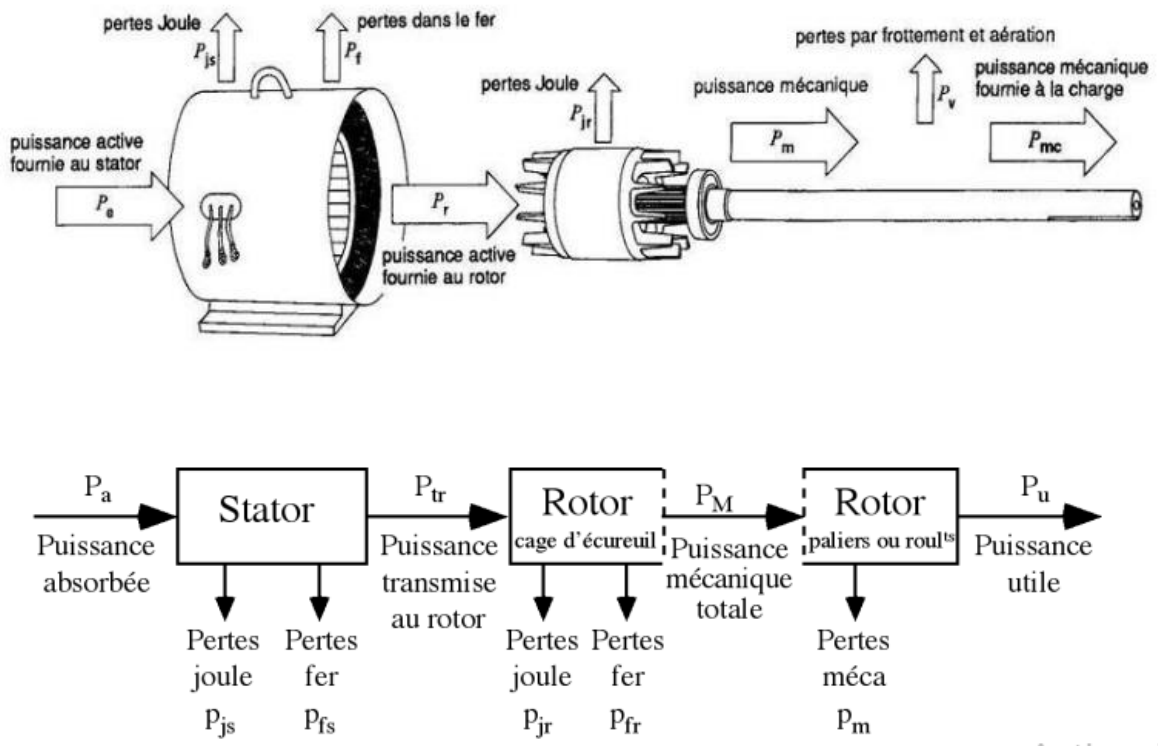
La tension aux bornes d'un enroulement est plus faible en étoile qu'en triangle

- **Démarrage par auto-transformateur**

On augmente progressivement la tension aux bornes des phases du moteur à l'aide d'un autotransformateur triphasé.

7. Bilan des puissances

On peut regrouper sur un diagramme les diverses pertes de puissance active du moteur :



- **Puissance électrique absorbée : P_a** $P_a = 3UI \cos \phi$
- **Pertes par effet joule au stator : p_{js}** $P_{js} = 3/2 RI^2$
- **Pertes fer au stator : p_{fs}** Elles ne dépendent que de la tension U et de la fréquence f et sont donc constantes si le moteur est couplé au réseau.
- **Puissance transmise : P_{tr}** $P_{tr} = P_a - p_{js} - p_{fs}$
- **Moment du couple électromagnétique : T_{em}** Les forces qui s'exercent sur les conducteurs du rotor tournent à la vitesse ΩS : 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}

$$T_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s} \quad \begin{array}{l} T_{em} \text{ (N.m)} \\ P_{tr} \text{ (W)} \\ \Omega_s \text{ (rad.s}^{-1}\text{)} \end{array}$$

- **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 .

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

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

- **Pertes par effet joule et pertes dans le fer au rotor : p_{jr} et p_f**

Ces pertes représentent la différence entre P_{tr} et P_M . Elles sont dues aux courants induits. Elles ne sont pas mesurables car le rotor est court-circuité. On les calcule.

Donc : $p_{jr} + p_{fr} = P_{tr} - P_M = P_{tr} - P_{tr}(1 - g) = gP_{tr}$ Les pertes fer du rotor sont négligeables.

- **Pertes mécaniques : p_m** $p_m = P_u - P_M$

La vitesse de rotation variant peu en marche normale, ces pertes sont pratiquement constantes

- **Pertes « collectives » : p_c**

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.

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

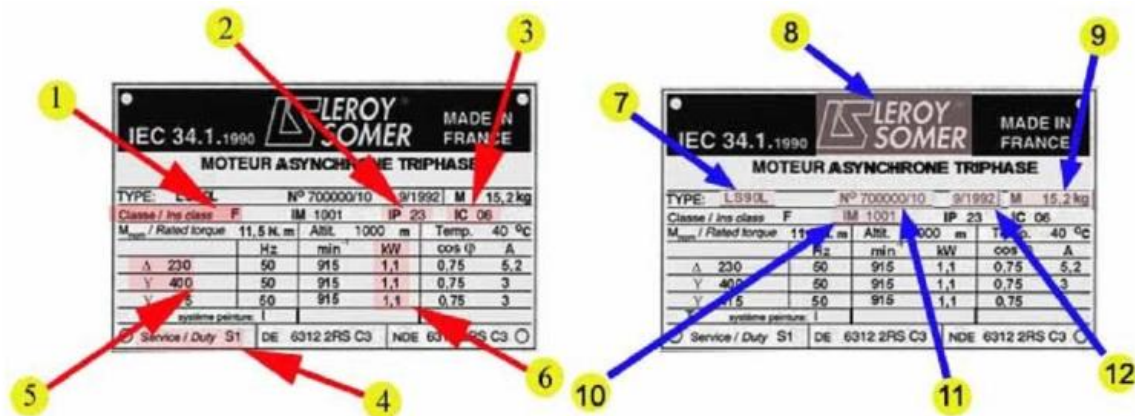
- **Puissance utile : P_u**

$$\text{Puissance utile :} \quad P_u = P_M - p_m$$

$$\text{Couple utile :} \quad T_u = \frac{P_u}{\Omega}$$

$$\text{Rendement :} \quad \eta = \frac{P_u}{P_a}$$

8. Plaque signalétique ou plaque d'identification



Plaque signalétique ou plaque d'identification

C'est la carte d'identité du moteur, on y retrouve fréquemment :

1. La classe de température ou classe d'isolant. Elle est repérée par une lettre (ex : B, E ou F) et contient deux renseignements;

✓ la température maximum du moteur : θ_{MAX}

✓ l'échauffement maximum du moteur : $\Delta\theta_{MAX}$

✓ Si on note θ_A la température ambiante, on peut écrire $\theta_{MAX} = \Delta\theta_{MAX} + \theta_A$

✓ L'échauffement $\Delta\theta$ est dû aux pertes joules, donc au courant, un déclassement du moteur Permettra de diminuer l'échauffement en limitant la puissance utile, qui est alors inférieure à sa Valeur nominale.

2. L'indice de protection IP sur deux chiffres;

✓ 1er chiffre : protection contre la pénétration des corps solides

3. Le mode de refroidissement;

4. Le type de service (ex : S1, le service continu) pour lequel les valeurs inscrites sont « données nominales »

5. Les caractéristiques d'alimentation électrique (ex : 230/400V 50Hz). Le MAS accepte en général une variation de plus ou moins 10% au tour de ces valeurs nominales

6. La puissance utile (on indique toujours ce type de puissance, sauf dans le cas d'une pompe où la puissance absorbée est indiquée) => puissance mécanique (ex : 2.2kW - 3ch);

7. Le type et 11 le numéro de série du moteur;

8. Le nom du constructeur;

9. La masse du moteur;

10. La position du montage;

✓ l'indice de résistance aux chocs : IK

✓ le rendement nominal $\eta = P_u / P_a$

P_u : Puissance utile (mécanique)

P_a : Puissance absorbée (électrique)

✓ le facteur de puissance : $\cos \varphi$ (déphasage en sinusoïdal entre V et J). Au démarrage, sa valeur est faible (0,35 environ) puis croît jusqu'à environ 0,8.

Avantages et inconvénients des machines asynchrones :

- **Avantages :**

- structure simple;
- Robuste et facile à construire;
- Utilisé dans la puissance moyenne et élevés;
- Relié directement aux réseaux industriels à tension et fréquence;
- Il tourne à vitesse variable différente de la vitesse synchrone;
- Il est utilisé pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse.

- **Inconvénients :**

Parmi les inconvénients de la machine asynchrone :

- Le couple de démarrage très élevé que les couples nominaux
- La vitesse dépend de la charge;
- Variation de vitesse (nécessité d'un variateur de vitesse);
- La structure dynamique est fortement non linéaire et l'existence d'un fort couplage