

MOTEUR ASYNCHRONES TRIPHASE

INTRODUCTION :

Le moteur asynchrone est une machine tournante à courant alternatif. C'est un convertisseur qui reçoit de l'énergie électrique et la transforme en énergie mécanique.

Les **moteurs asynchrones triphasés** sont très utilisés en milieu industriel car robustes, faciles à construire donc peu coûteux.

Il entraîne des convoyeurs (tapis) en translation ou de soulever lourdes charges grâce à la rotation du rotor.

I CONSTITUTION :

Le moteur asynchrone comporte deux parties :

Une partie fixe appelée **stator** et une partie mobile appelée **rotor**.

1- Le stator (Inducteur)

Le stator est la partie visible de l'extérieur (corps de la machine) dans lequel se trouvent les 3 enroulements identiques qui sont déphasés de $2\pi/3$ (120°), et destinés à être alimentés par un réseau triphasé. Les courants alternatifs dans le stator traversant les enroulements, créent un champ magnétique tournant à répartition sinusoïdale, comportant p paires de pôles, dont la vitesse Ω_s est liée à la pulsation ω des courants d'alimentation et au nombre p de paires de pôles déterminé par le bobinage du stator :

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

$$n_s = \frac{f}{p}$$

Ω_s : vitesse de synchronisme du champ tournant en rad.s^{-1}

ω : pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} avec $\omega = 2\pi f$

p : nombre de paires de pôles

Remarque :

Pour varier la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone, il agit sur la fréquence. Exemple :

p	1	2	3	4	5
ns (tr/mn)	3000	1500	1000	750	600

2- Le rotor (Induit):

Il en existe deux types :

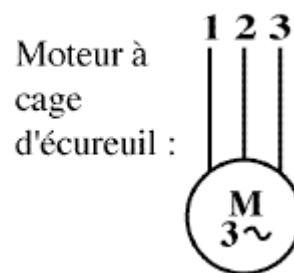
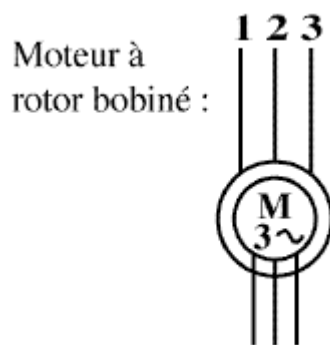
- Le rotor à bague (bobiné)

Il comporte trois enroulements identiques à ceux du stator qui sont couplés en étoiles. Ce qui permet l'insertion d'un rhéostat de démarrage pour diminuer la pique d'intensité du courant au démarrage du moteur. En fonctionnement normal, le rhéostat est déconnecté.

- Le rotor à cage d'écureuil (court-circuit)

Il est constitué de barres conductrices placées dans des encoches dont les extrémités sont court-circuitées.

- Symboles :



II- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Les trois bobines statoriques, alimentées par un système de tension triphasé, créent un champ magnétique tournant à la vitesse n_s . Des courants induits se créent dans la cage disposée dans les encoches du rotor. Selon la loi de Lenz, ces courants induits s'opposent à la cause qui leur a donné naissance : ici la rotation du champ statorique. Et comme ils ne peuvent empêcher la rotation du champ statorique, ces courants induits entraînent le rotor dans le même sens que ce champ tournant mais à une vitesse n_r inférieure à n_s .

Le 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. Par définition, le glissement est égal à :

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad \text{ou encore} \quad g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$$

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

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

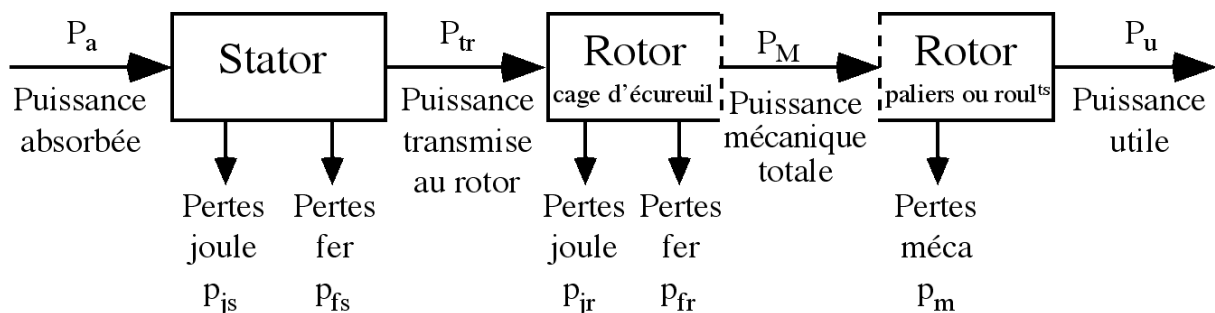
$\Omega_s = 2\pi n_s$ (rad/s) et $\Omega = 2\pi n$ (rad/s)

Exercice d'application:

Un moteur de caractéristique: $f=50\text{Hz}$, $n=1440$ tr/mn, $1,75/1\text{A}$, $220/380\text{ V}$, $P_u = 0,3\text{ Kw}$

Déterminer la vitesse de synchronisme .en déduire le nombre de pole.

III. BILAN DES PUISSANCES :



1-Puissance électrique absorbée : P_a

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

U : Tension entre deux bornes du moteur.

I : Courant en ligne.

2. Pertes par effet joule au stator : P_{js}

:

$$P_{js} = \frac{3}{2} R I^2$$

R : résistance entre deux bornes du stator

3. Pertes fer au stator : P_{fs}

La partie du stator qui est soumise au champ tournant est le siège de pertes dans le fer (P_{fs}). Ces pertes ne dépendent que de la tension U et de la fréquence f et sont donc constantes si le moteur est couplé au réseau.

4. Puissance transmise au rotor : P_{tr}

C'est la puissance que reçoit le rotor.

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

5. 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} .

$$T_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$$

T_{em} (N.m)

P_{tr} (W)

Ω_s (rad.s⁻¹)

6. Puissance mécanique totale P_M ou (puissance électromagnétique : P_{el})

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

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

Cette puissance comprend la puissance utile et les pertes mécaniques.

7. Pertes par effet joule et pertes dans le fer au rotor : P_{jr} et P_{fr}

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.

$$\text{Donc :} \quad P_{jr} + P_{fr} = P_{tr} - P_M = P_{tr} - P_{tr}(1-g) = g.P_{tr}$$

$$\boxed{P_{jr} = g.P_{tr}}$$

Les pertes fer du rotor sont négligeables car la fréquence des courants

rotoriques est faible.

8. Pertes mécaniques : P_m

Elles sont dues aux frottements et à la ventilation. Elles sont pratiquement constantes car la vitesse de rotation varie peu en marche normale.

$$P_m = P_M - P_u$$

9. 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.

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

$P_c = P_{fs} + P_m$ On définit le couple de perte :

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

10. Puissance utile :

Puissance utile : $P_u = P_M + p_m$

Couple utile : $T_u = \frac{P_u}{\Omega_r}$

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

11. Bilan des puissances à vide :

Le bilan total, quel que soit la situation, est : $P_a = P_u + P_{js} + P_{jr} + P_c$

A vide:

$$\begin{aligned} T_u = 0 &\Rightarrow P_u = 0 \\ g = 0 &\Rightarrow p_{jr} = 0 \\ P_{a0} &= \sqrt{3}UI_0 \cos \varphi_0 \\ p_{js0} &= \frac{3}{2}RI_0^2 \\ p_c \text{ à vide} &\approx p_c \text{ en charge} \end{aligned}$$

Bilan à vide:

$$P_{a0} = p_{js0} + p_c$$

En simplifiant : $\boxed{P_{a0} \approx p_c}$ (les pertes joules à vide sont négligeables)

Un essai à vide permettra de déterminer les pertes collectives. Si aucune précision n'est faite, on admettra de façon empirique l'égalité entre les pertes mécaniques et les pertes fer statoriques.

IV. CARACTERISTIQUES :

1. Fonctionnement à vide :

A vide le moteur n'entraîne pas de charge donc le glissement est nul et le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

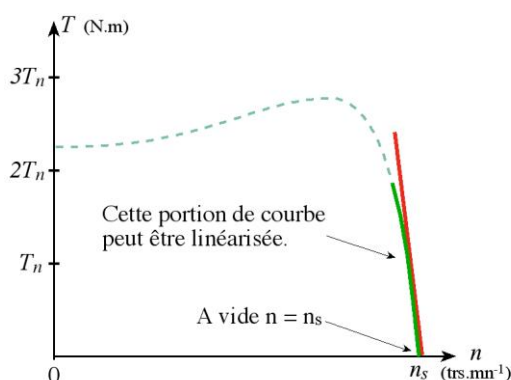
A vide : $\boxed{g = 0}$ et donc $\boxed{n_0 = n_s}$

2. 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.

3. Caractéristique mécanique $T_u = f(n)$:



Légende

- T_n Couple nominal
- Couple de démarrage du moteur.
On constate que ce couple est fort : la machine peut démarrer en charge.
- Zone de fonctionnement du moteur.
On constate qu'elle est presque linéaire.
Cette partie de la courbe est très verticale : la vitesse varie peu avec la charge.
- La zone de fonctionnement peut être modélisée par une droite

4. Modélisation de la partie utile de la courbe :

On veut déterminer l'équation de la droite qui modélise la partie utile de la caractéristique mécanique.

Il faut deux points :

- 1^{er} point évident : $A_1 \begin{pmatrix} n_s \\ 0 \end{pmatrix}$
- 2^e point : il faut un essai de la machine $A_2 \begin{pmatrix} n_2 \\ T_2 \end{pmatrix}$

Equation d'une droite : $y = a.x + b$ soit $T_u = a.n + b$

Coefficient directeur (pente) : $a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ soit $a = \frac{T_2 - 0}{n_2 - n_s}$

$|a|$ est grand (droite presque verticale) et a est négatif.

Ordonnée à l'origine : point A_1 $0 = a.n_s + b$ soit $b = -a.n_s$

Remarque :

Le point A_2 est souvent assimilable aux valeurs nominales (n_n, T_n) figurant sur la plaque signalétique de la machine.

5. Caractéristique mécanique en fonction du glissement :

- Changement d'axe :

L'axe des abscisses de la caractéristique mécanique peut être représenté par le glissement.

En effet :

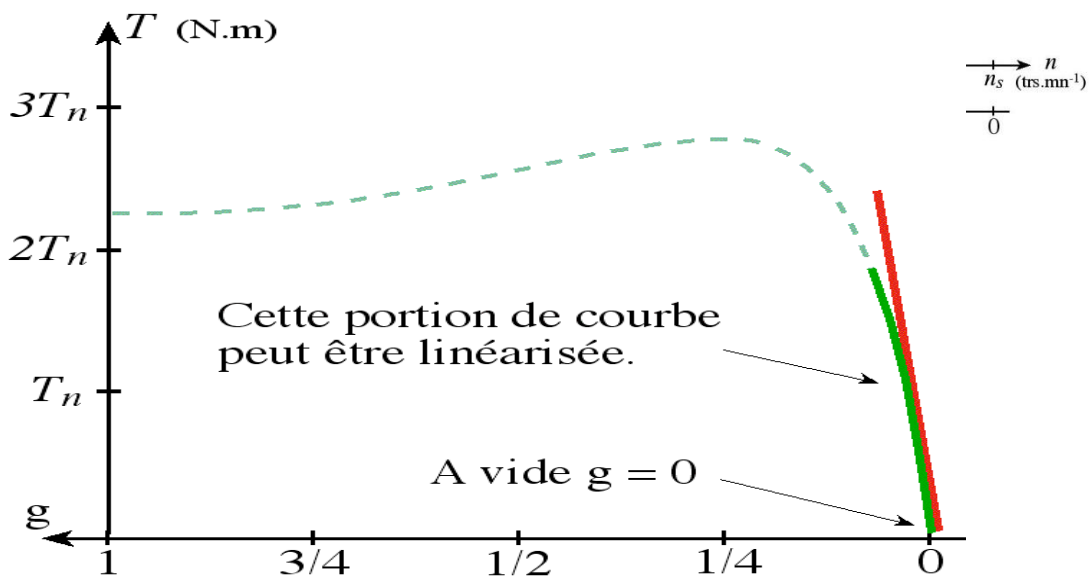
$$n = n_s \quad \Rightarrow \quad g = \frac{n_s - n}{n_s} = 0$$

$$n = n_s / 2 \quad \Rightarrow \quad g = 0,5$$

$$n = 0 \quad \Rightarrow \quad g = 1$$

L'axe en n et l'axe en g sont inversés.

D'où la même caractéristique avec l'axe en g.



Cette fois ci le modèle est une droite passant par l'origine, donc d'équation :

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

- **Finalement :**

Au voisinage du point de fonctionnement nominal, le couple utile est proportionnel au glissement.

$T_u = k.g$ k est une constante de proportionnalité (coefficient directeur) en N.m.

- **Relation entre a et k :**

On a pour le point A_1 : $T_u = a.n + b$ avec $b = -a.n_s$

Ce qui donne : $T_u = a.n - a.n_s = -a(n_s - n)$

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{soit} \quad n_s - n = n_s \cdot g$$

En remarquant que :

$$T_u = -a \cdot n_s \cdot g = k \cdot g \quad \text{avec} \quad \underline{k = -a \cdot n_s}$$

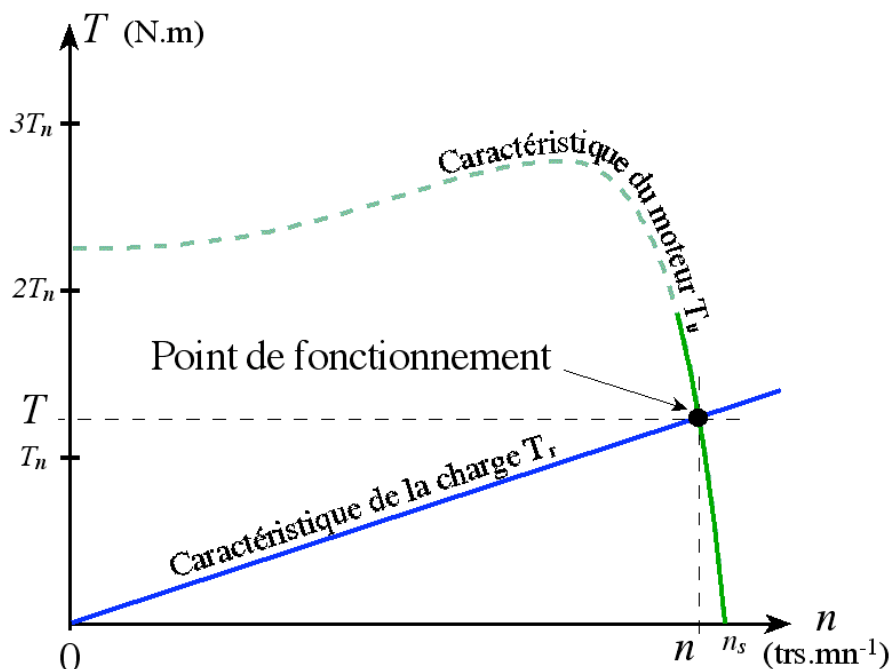
V. POINT DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR EN CHARGE :

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

La courbe du couple résistant dépend de la charge



1. Méthode de résolution graphique :

Tracer à l'échelle sur du papier millimétré les deux caractéristiques et relever les coordonnées du point d'intersection.

2. Méthode de résolution par le calcul :

Il résoudre $T_u = T_r$ soit $a \cdot n + b = T_r$

Exemple : Cas d'une charge ayant un couple résistant proportionnel au carré de la vitesse.

$$T_r = c.n^2$$

$$T_u = T_r \Rightarrow a.n + b = c.n^2$$

Finalement, il faut résoudre une équation du second degré :

$$c.n^2 - a.n - b = 0$$

Une solution sur les deux trouvées sera la bonne.