

Machines asynchrones :

Moteur asynchrone triphasé

1. Constitution et principe de fonctionnement

Stator

Il est constitué de trois enroulements (bobines) parcourus par des courants alternatifs triphasés et possède p paires de pôles.

يتكون من ثلاثة ملفات (وشائع) يمر بها تيارات متناوبة ثلاثة الطور ويمتلك أزواج أقطاب عددها (P)

Champ tournant

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant à la vitesse de synchronisme :

المجال الدوار

التيارات المتناوبة في الجزء الثابت (الستاتور) تنشئ مجالاً مغناطيسيًا دوارًا بسرعة التزامنية حيث:

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

n_s : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en trs.s^{-1} .
 f : pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} . $\omega = 2\pi f$
 p : nombre de paires de pôles.

Rotor

Le rotor n'est relié à aucune alimentation. Il est constitué d'une masse métallique dont de l'aluminium pour l'alléger. On parle souvent de rotor à cage d'écureuil. On dit aussi qu'il est en court-circuit.

الدوار (الروتور)

لا يتم توصيله بأي مصدر تغذية. وهو يتكون من كتلة معدنية (غالبًا من الألومنيوم لتنقیل الوزن). يُعرف هذا النوع عادة باسم "دوار قفص السنجب"، ويُقال أيضًا إنه "دوار ذو دارة قصر" (مغلق دائريًا).

Il tourne à la vitesse de rotation $n < n_s$

يدور بسرعة دوران n أقل من السرعة التزامنية n_s

حيث:

n : سرعة دوران الدوار (Rotor) بوحدة دورة/دقيقة

n_s : السرعة التزامنية (Vitesse de synchronisme) للمجال المغناطيسي الدوار.

Entrefer

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor.

(Entrefer) الفراغ الهوائي

هو المسافة الهوائية الفاصلة بين الجزء الثابت (الستاتور) والدوار (الروتور) في الآلة الكهربائية.

Glissement

Le rotor tourne à la vitesse n plus petite que la vitesse de synchronisme n_s .

On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant.

Ce glissement g va dépendre de la charge.

(Glissement) الانزلاق

يدور الدوار بسرعة n أقل من السرعة التزامنية n_s للمجال المغناطيسي الدوار.

يُقال إن الدوار "ينزلق" بالنسبة للمجال الدوار.

يعتمد مقدار هذا الانزلاق g على الحمل الميكانيكي المطبق على المحرك.

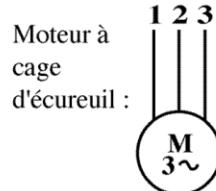
$$g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

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

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

$$\Omega_s = 2\pi n_s \quad (\text{rad.s}^{-1}) \quad \text{et} \quad \Omega = 2\pi n \quad (\text{rad.s}^{-1})$$

Symboles



2. Caractéristiques

2.1. Fonctionnement à vide

A vide le moteur n'entraîne pas de charge.

Conséquence : le glissement est nul est le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

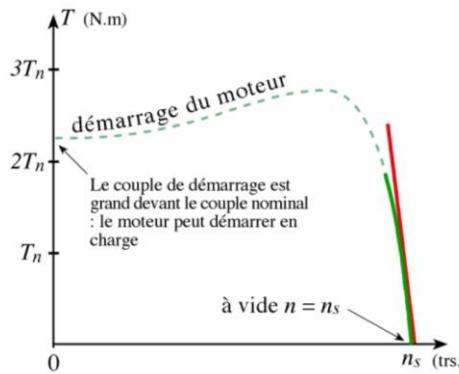
A vide : $g = 0$ et donc $n_0 = n_s$

2.2. 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.

2.3. 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

2.4. 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.

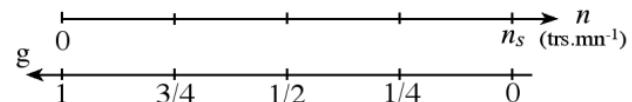
Il faut deux points :	- 1 ^{er} point évident : $A_1(n_s; 0)$
	- 2 ^e point : il faut un essai de la machine $A_2(n_2; T_2)$
Equation d'une droite :	$y = a \cdot x + b$ soit $T_u = a \cdot n + b$
Coefficient directeur (pente) :	$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ soit $a = \frac{T_2 - 0}{n_2 - n_s}$ $ a $ est grand (droite presque verticale) et a est négatif.
Ordonnée à l'origine : point A1	$0 = a \cdot n_s + b$ soit $b = -a \cdot n_s$
On peut écrire :	$T_u = a(n - n_s)$

Remarque : le point A2 peut aussi être fourni par les informations figurant sur la plaque signalétique de la machine (couple nominal T_n et vitesse nominale n_n).

2.5. Caractéristique mécanique en fonction du glissement

Changement d'axe

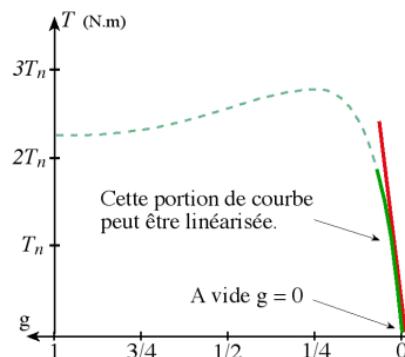
L'axe en n et l'axe en g sont inversés.



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 :

$$y = kx \quad \text{soit} \quad T_u = k \cdot g$$



Finalement :

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

$$T_u = k \cdot g \quad k \text{ est une constante de proportionnalité (coefficient directeur) en N.m.}$$

Relation entre a et k

Au paragraphe 3.4, nous avons vu que :	$T_u = a \cdot n + b$ avec $b = -a \cdot n_s$
Ce qui donne :	$T_u = a \cdot n - a \cdot n_s = -a(n_s - n)$
En remarquant que :	$g = \frac{n_s - n}{n_s}$ soit $n_s - n = n_s \cdot g$
On obtient :	$T_u = -a \cdot n_s \cdot g = k \cdot g$ avec $k = -a \cdot n_s$

2.6. Résumé des caractéristiques

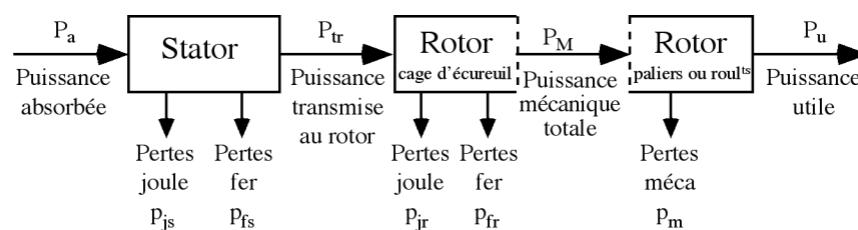
- A vide, le courant est non négligeable, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q) ;
- le couple et le courant de démarrage sont importants ;
- l'intensité du courant absorbée augmente avec le glissement ;
- la machine asynchrone peut démarrer en charge.

On retiendra que :

- 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 $T_u = k \cdot g$

3.

Bilan des puissances



Puissance électrique absorbée

$$P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

U : tension entre deux bornes du moteur
I : courant en ligne

Pertes par effet joule au stator

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

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} .

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

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 .

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

$$P_M = P_{tr}(1-g) \quad \text{Cette puissance comprend la puissance utile et les pertes mécaniques.}$$

Pertes fer au rotor : p_{fr}

Ces pertes sont négligeables

Pertes joules au rotor

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

$$p_{jr} \approx gP_{tr}$$

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 :

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

Bilan des puissances à vide

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

$$P_{a0} = \sqrt{3}UI_0 \cos \varphi_0 \quad \text{et} \quad p_{js0} = \frac{3}{2}RI_0^2 \approx 0 \quad (\text{car } I_0 \text{ est faible})$$

$$p_c \text{ à vide} \approx p_c \text{ en charge}$$

Bilan à vide :

$$P_{a0} \approx p_c$$

Un essai à vide permettra de déterminer les pertes collectives.

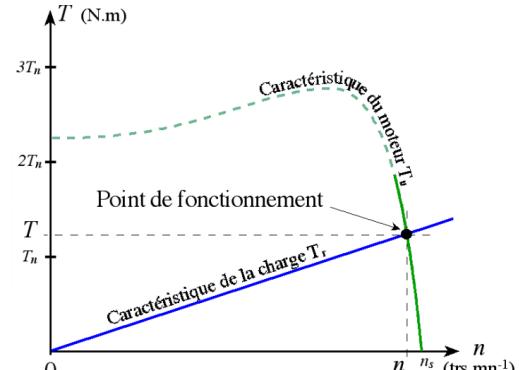
4. Point de fonctionnement du moteur en charge

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.



Méthode de résolution graphique

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

Méthode de résolution par le calcul

Il faut résoudre : $T_u = T_r$

Exemple : cas d'une charge ayant un couple résistant proportionnel au carré de la vitesse : $T_r = c \cdot n^2$

Le couple utile du moteur est : $T_u = a \cdot n + b$

$$T_u = T_r \rightarrow a \cdot n + b = c \cdot n^2 \rightarrow c \cdot n^2 - a \cdot n - b = 0$$

Finalement, il faut résoudre une équation du second degré. Une solution sur les deux trouvées sera la bonne (une des solutions n'aura pas de signification physique).

5. Plaque signalétique

Exemple d'une plaque signalétique d'un moteur asynchrone :

La puissance de 3kW est la puissance utile nominale.

Ce moteur est prévu pour être brancher en triangle sur un réseau de 380V à 415V.

