

Partie I : Moteur Asynchrone

III.1. Définition :

La machine asynchrone par sa construction c'est la machine la plus robuste qui est utilisée dans les machines à laver, les TGV sont maintenant motorisés à l'aide de ce type de moteur. La machine asynchrone est rarement utilisée pour les conversions de très forte puissance (supérieure à 100 MW) et sa réversibilité nécessite de l'électronique de puissance. Une machine asynchrone est aussi dite machine à induction car elle ne fonctionne que par la création de courants induits. Il est important de se rappeler qu'un moteur ne fonctionne que si les deux champs tournent à la même vitesse.



III .2.Constitution

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

Champ tournant : Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation N_s appelée **fréquence de synchronisme**.

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

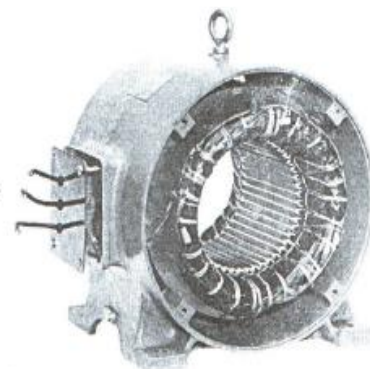
N_s : fréquence synchrone de rotation du champ tournant en tr/s

f : pulsation des courants alternatifs en Hertz

p : nombre de paires de pôles.



Vue d'ensemble
du stator



$$N_s = \frac{60f}{p} \quad N_s : \text{fréquence synchrone de rotation du champ tournant en tr/min}$$

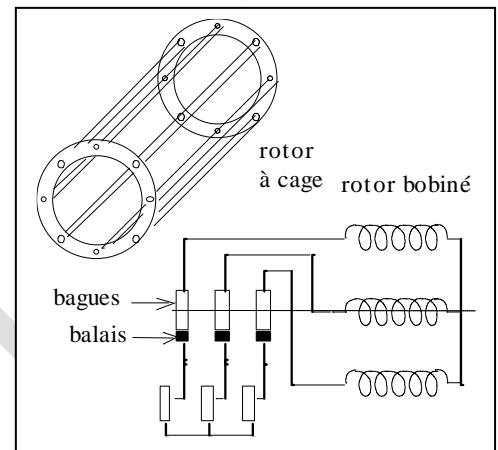
Rotor : Le rotor tourne moins vite que le champ tournant du stator, la fréquence de rotation est appelée **N**. (fréquence de rotation $N < N_s$). Le rotor n'est relié à aucune alimentation. Il est constitué d'une masse métallique dont de l'aluminium pour l'alléger.

➤ **Rotor à cage d'écureuil**

Il est constitué de barres métalliques parallèles réunies par 2 couronnes conductrices (court-circuit)

➤ **Rotor bobiné**

Les conducteurs constituent un enroulement triphasé (le plus souvent couplé en étoile). Il est accessible grâce aux bagues et balais. Il est fermé sur lui même ou sur un rhéostat pour modifier la résistance (notamment au démarrage)



Exemple:

Calculer le nombre de pôles d'une machine asynchrone dont la vitesse de rotation **N** est de 750 tr/mn. On donne $f=50\text{Hz}$

Solution :

$$N_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{p} = \frac{3000}{p}$$

Pour $P = 1 \Rightarrow N_s = 3000 \text{ tr/min}$

Pour $P = 2 \Rightarrow N_s = 1500 \text{ tr/min}$

Pour $P = 3 \Rightarrow N_s = 1000 \text{ tr/min}$

Pour $P = 4 \Rightarrow N_s = 750 \text{ tr/min}$

Pour une fréquence de rotation du moteur de $N=750 \text{ tr/min}$, la fréquence de synchronisme est de 1000tr/min et le nombre de pôles est $2p=6$ pôles.

III.3.Principe de fonctionnement

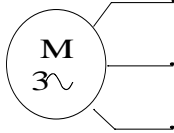
Alimentation triphasée de l'enroulement statorique \implies Création d'un champ tournant à la vitesse de synchronisme $\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} [\text{rd/s}] = \frac{60 \cdot f_s}{p} [\text{tr/mn}]$; le champ tournant induit des F.e.m dans l'enroulement rotorique (F.e.m induites), comme le bobinage rotorique est en court circuit donc il va être le siège d'un courant induit d'où l'appellation de la machine d'induction.

l'interaction de ce courant avec le champ tournant engendre des forces \implies Mouvement du rotor. La force (couple) va entraîner le rotor dans le sens du champ tournant du stator. Ce couple tend du fait de la loi de Lenz à réduire la cause qui a donné naissance aux courants induits c.à.d la rotation relative du champ magnétique par rapport au rotor/

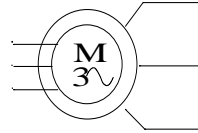
Résultat 2 Le rotor tourne alors à une vitesse $\Omega < \Omega_s$ d'où l'appellation "Machine Asynchrone"

Symboles

Moteur à rotor à cage



Moteur à rotor bobiné.



III.4. 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.

N_s : vitesse de rotation de synchronisme du champ tournant (tr.mn⁻¹).

N : vitesse de rotation du rotor (tr.mn⁻¹).

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \frac{N_s - N}{N_s}$$

Remarque: En réalité le glissement 'g' est faible pour un fonctionnement en charge nominale.

Exemple : Calculer la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone 4 pôles, $g=4\%$

Solution : Vitesse de synchronisme $2p = 4 \implies p = 2 \implies N = (60 \times f)/p = (60 \times 50)/2 = 1500 \text{tr/min}$

Vitesse de rotation N : $g = 4\%$

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = gN_s = N_s - N \implies N = N_s(1 - g) = 1500(1 - 0.04) = 1440 \text{tr/min}$$

III.5. Plaque signalétique et Couplage

Plaque signalétique

Ces indications correspondent aux grandeurs nominales du moteur.

Puissance utile : $P_u=4.4 \text{ Kw}$
 Vitesse de rotation : $n=1420 \text{tr/mn}$
 Nombre de pôles : $2p=4$
 Facteur de puissance : $\cos \varphi =0.85$
 Fréquence : $f=50 \text{Hz}$

4 pôles ; 4.4 kW
230V/400V ; 16.3A / 9.4A
50Hz; 1420 tr/mn ; $\cos \varphi =0.85$

Couplage

Tensions

Sur le réseau triphasé V / U (V : tension simple ; U tension composée), ce moteur sera couplé :

- En étoile (Y) si la tension aux bornes d'un enroulement correspond à la tension V.
- En triangle (Δ) si la tension aux bornes d'un enroulement correspond à la tension U.

Courants

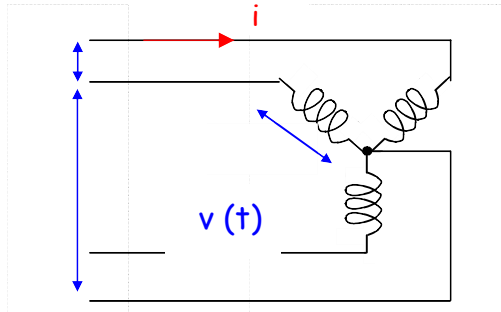
Les intensités 16.3 A / 9.4A correspondent à l'intensité I en ligne suivant le couplage choisit :

En triangle (Δ) chaque enroulement est traversé par l'intensité : $J = 9.4A$

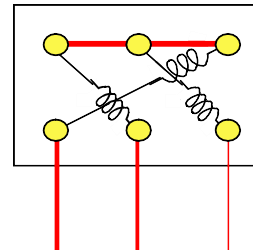
En Étoile (Y) chaque enroulement est traversé par l'intensité en ligne : $I = 9.4 A$

Couplage des enroulements

Couplage en étoile: Un moteur est couplé en étoile quand chacun de ses trois enroulements est soumis à la *tension simple* du réseau (phase et neutre) V et traversé par le courant de ligne I .



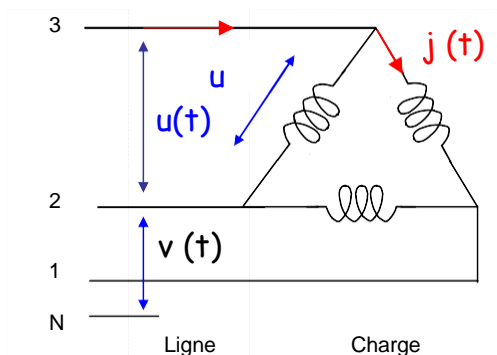
Couplage en étoile



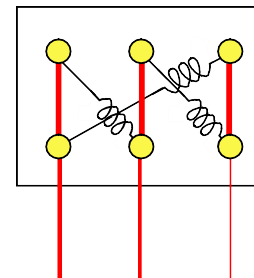
Câblage du stator

Couplage en triangle :

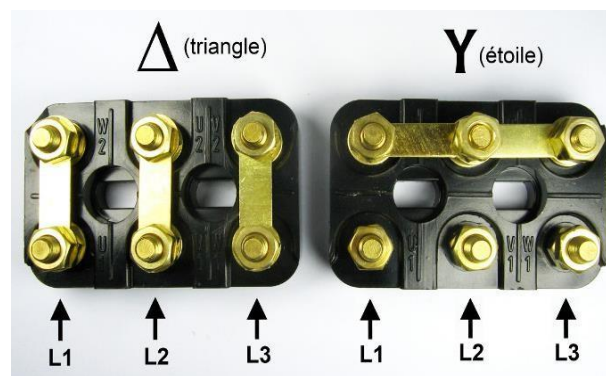
Dans un couplage en triangle, chaque enroulement est soumis à la tension composée, U , tension entre deux phases. Chaque enroulement est traversé par le courant j de valeur efficace J , ce courant



Couplage en triangle



Câblage du stator



Exemple:

Dans le cas d'un réseau **220V/380V**, 50Hz. Et la tension indiquée sur la plaque signalétique du moteurst de **220V/380V**. **Le coupage adopté est Etoile**

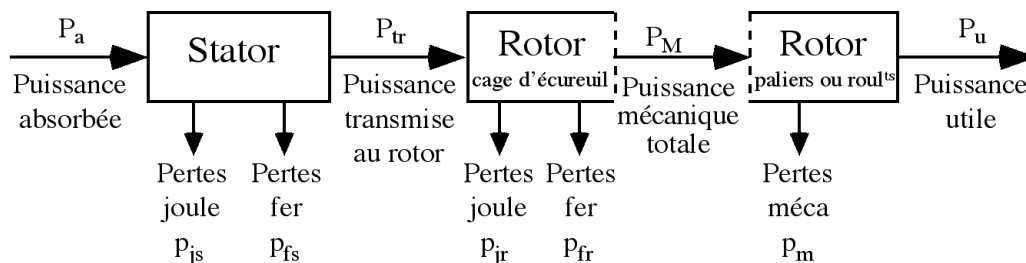
Exemple:

Dans le cas d'un réseau **127V/230V**, 50Hz. Et la tension indiquée sur la plaque signalétique du moteurst de **230V/400V**. **Le coupage adopté est Triangle**

III.6.Bilan des puissances

Le bilan de puissance décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine électrique jusqu'à la puissance utile de nature mécanique. Le bilan est résumé comme suit :

ilan des puissances

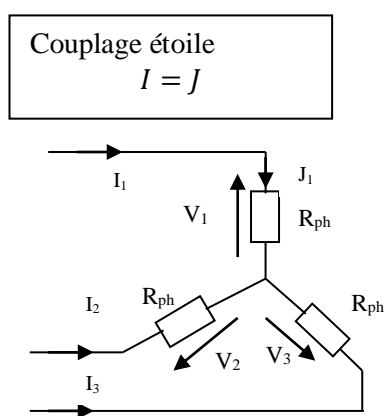


Puissance électrique absorbée $P_a = P_s = \sqrt{3}U_s I_s \cos \varphi_s = 3V_s I_s \cos \varphi_s$

Pertes par effet joule au stator $P_{js} = 3R_s I_s^2$

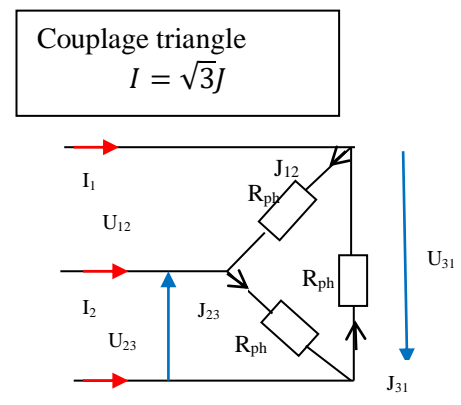
* La résistance entre borne $R_{bs} = 2R_{ph} \Rightarrow R_{ph} = \frac{R_{bs}}{2}$ Si le coupage est étoile

* La résistance entre borne $R_{bs} = \frac{2}{3}R_{ph} \Rightarrow R_{ph} = \frac{3}{2}R_{bs}$ Si le coupage est étoile



$$P_{js} = 3R_{ph}I^2$$

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



$$P_{js} = 3R_{ph}J^2 = 3R_{ph} \left(\frac{I}{\sqrt{3}}\right)^2 = R_{ph}I^2$$

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

Remarque :

En déduit quelque soit le couplage $P_{js} = \frac{3}{2} R_{bs} I^2$

Puissance transmise est la puissance électromagnétique :

$$\begin{aligned} P_{tr} &= P_{em} = P_a - P_{js} - P_{fs} \\ &= P_s - 3R_s I_s^2 - P_{fs} \end{aligned}$$

Pertes fer au rotor : p_{fr}

Ces pertes sont négligeables

Pertes joules au rotor

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

$$P_{jr} = 3R_r I_r^2 = gP_{em} \quad \text{alors} \quad P_{em} = 3 \frac{R_r}{g} I_r^2$$

Puissance mécanique totale : P_M

le rotor est entraîné à la vitesse Ω . Il a comme puissance mécanique P_M .

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

Pertes collectives : p_c

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

Le rendement est :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_M - P_m}{P_s} = \frac{(1-g)P_{em} - P_m}{P_s}$$

Les Couples

Couple électromagnétique: 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 C_{em} .

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

Couple mécanique : il est du à l'interaction stator rotor

$$C_M = \frac{P_M}{\Omega_r} = \frac{P_M}{\Omega_s(1-g)} \quad \text{or} \quad P_M = P_{em}(1-g) \quad \text{alors} \quad C_M = \frac{P_{em}}{\Omega_s} = C_{em}$$

Couple utile : $C_u = \frac{P_u}{\Omega_s}$

III. 7. Essai à vide :

Le fonctionnement à vide du moteur indique qu'il n'entraîne aucune charge sur son arbre.

L'indice (0) caractérise cet essai.

La fréquence de rotation du rotor est notée $N = N_s$

Le couple utile à vide : $C_{u0} = 0$

Le glissement à vide : $g = \frac{N_s - N_0}{N_s} = 0\%$

Alors les différentes puissances à vide sont :

Puissance électrique absorbée : $P_0 = \sqrt{3} U I_0 \cos \varphi_0$

Pertes par effet joule au stator : $P_{js0} = 3R_s I_0^2$

Puissance transmise au rotor à vide : $P_{tr0} = P_0 - P_{js0} - P_{fs}$

Pertes joules au rotor : $P_{jr} = g P_{tr0} = 0$

U: tension entre deux bornes du moteur

I_0 : courant statorique à vide

R_s : résistance des enroulements statoriques

Puissance mécanique totale : $P_M = (1 - g) P_{tr0} = P_{tr0}$

Puissance utile à vide : $P_{u0} = C_{u0} \Omega = 0$

Le bilan de puissance à vide : $P_0 = P_M + P_{js0} + P_{fs}$

III. 8. Fonctionnement en charge

Le moteur est maintenant chargé, c'est-à-dire que l'arbre de ce dernier entraîne une charge résistante qui s'oppose au mouvement du rotor. En régime permanent, Le couple moteur sera égal au couple résistant : $C_u = C_r$

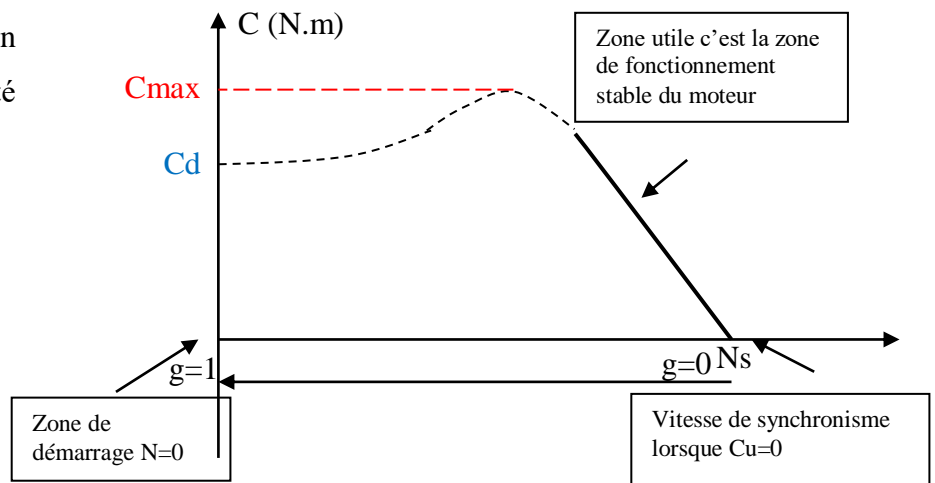
Les principales caractéristiques d'un moteur asynchrone triphasé

sont : Le couple nominal C_n (N.m)

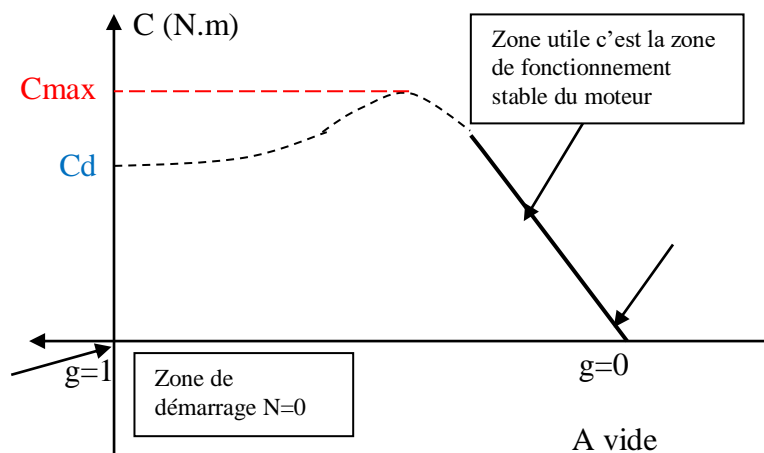
La vitesse de rotation n

(tr/mn) L'intensité

absorbée I (A)



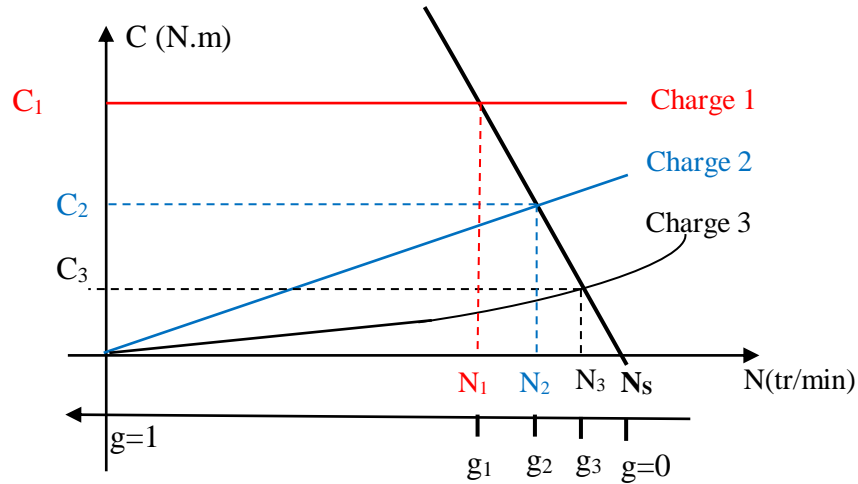
Caractéristique mécanique $C_{em}=f(N)$



Point de fonctionnement Caractéristique mécanique $C_{em}=f(g)$

Le point de fonctionnement en régime permanent $C_u = C_r$ se trouve sur l'intersection de la caractéristique mécanique du moteur et de la courbe qui caractérise le couple résistant de la charge.

La caractéristique mécanique du moteur dans sa partie utile est assimilée à une droite : $C_u=a.N+b$



III.9.Mise en Equations et Schéma monophasé équivalent.

Expressions des F.e.m Induites

Stator : $E_s = K_1 n_1 f_s \Phi$

Rotor: $E_r = K_2 n_2 f_r \Phi$

f_r et f_s Les fréquences des courants statoriques et rotoriques avec $f_r = g f_s$

K_1 et K_2 Les coefficients de kapp d'n enroulement primaire (stator) et secondaire (rotor).

n_1 et n_2 Les nombres des conducteurs dans le stator et dans le rotor.

Φ flux dans un pôle.

On peut déduire que : $\frac{E_r}{E_s} = \frac{K_2 n_2 g}{K_1 n_1} = \frac{K_2}{K_1} \times \frac{n_2}{n_1} \times g = m \times g$

Avec : $m = \frac{K_2}{K_1} \times \frac{n_2}{n_1}$

m est équivalent à un rapport de transformation donc c'est un rapport de transformation de la MAS à l'arrêt (rotor ouvert)

Expressions des tensions

Stator : $V_s = R_s I_s + \frac{d\phi_s}{dt}$; $\phi_s = L_s I_s + \mathcal{M} I_r$; $\phi_1 = \mathcal{M} I_r$

$V_s = R_s I_s + \frac{d}{dt} (L_s I_s + \phi_1) = R_s I_s + L_s \frac{dI_s}{dt} + \frac{d\phi_1}{dt}$

$V_s = R_s I_s + \frac{d\phi_1}{dt} + L_s \frac{dI_s}{dt}$; or: $\frac{d}{dt} = j\omega_s$

$V_s = R_s I_s + j\omega_s \phi_1 + j\omega_s L_s I_s$

Rotor :(en court-circuit)

$$V_r = 0 = R_r I_r + \frac{d\Phi_r}{dt} ; \quad \Phi_r = L_r I_r + \mathcal{M} I_s$$

$$V_r = 0 = R_r I_r + \frac{d}{dt} (L_r I_r + \mathcal{M} I_s); \text{ avec: } \Phi_2 = \mathcal{M} I_s$$

$$V_r = 0 = R_r I_r + L_r \frac{dI_r}{dt} + \frac{d\Phi_2}{dt}$$

On pose : $\frac{d}{dt} = j\omega_r$

$$V_r = 0 = R_r I_r + L_r \frac{dI_r}{dt} + \frac{d\Phi_2}{dt}$$

$$V_r = 0 = R_r I_r + jL_r \omega_r I_r + j\omega_r \Phi_2 \Rightarrow V_r = R_r I_r + jL_r \omega_s g I_r + j\omega_s g \Phi_2 ; \text{ Or } \omega_r = g \omega_s$$

III.9.1.Schéma monophasé Equivalent:

On a: $V_s = R_s I_s + j\omega_s L_s I_s + j\omega_s \Phi_1$

$$V_r = 0 = R_r I_r + jL_r \omega_s g I_r + j\omega_s g \Phi_2$$

On note que: $X_s = \omega_s L_s$ et $E_1 = j\omega_s \Phi_1$

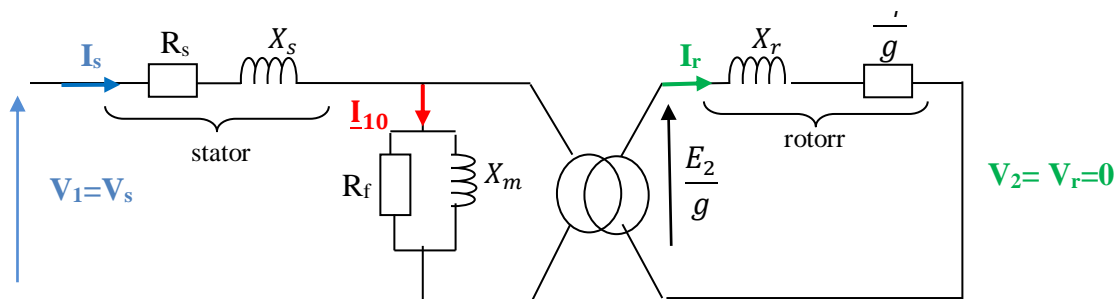
$$X_r = \omega_s L_r \text{ et } E_2 = jg \omega_s \Phi_2 \quad E_2 = m E_1$$

$$\begin{cases} V_s = R_s I_s + j\omega_s L_s I_s + j\omega_s \Phi_1 = R_s I_s + jX_s I_s + E_1 \\ V_r = 0 = R_r I_r + jL_r \omega_s g I_r + j\omega_s g \Phi_2 = R_r I_r + jX_r g I_r + E_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_s = R_s I_s + jX_s I_s + E_1 \\ \Rightarrow V_r = 0 = \frac{R_r}{g} I_r + jX_r I_r + \frac{E_2}{g} \end{cases}$$

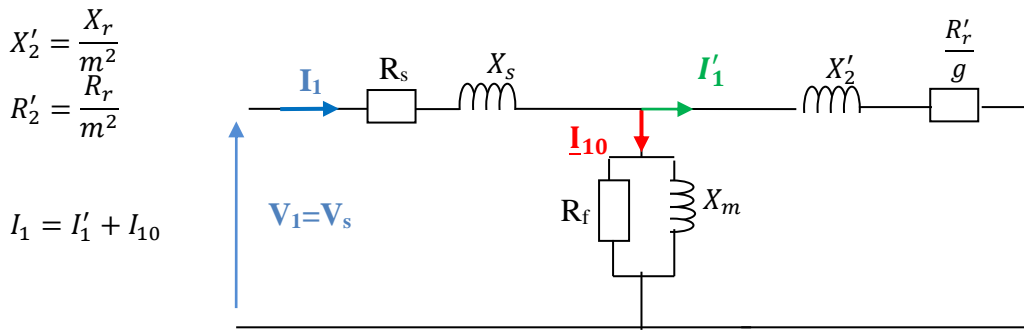
On peut poser: $I_s = I_1; I_r = I_2; V_s = V_1; V_r = V_2$

Le schéma équivalent d'une phase de la machine asynchrone est analogue à celui d'un Transformateur mais en court-circuit. On peut modifier ce transformateur par :



III.9.2. Schéma ramené au primaire :

Les paramètres ramenés sont :



III.9.3 Caractéristiques mécaniques

Pour analyser les différentes expressions des couples, on exprime la conversion de puissance électrique en puissance mécanique.

Le couple électromagnétique est donné par :

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_s} = p \frac{P_{em}}{\omega_s} \quad \text{Or, } P_{JR} = gP_{em}$$

$$\text{Donc : } C_{em} = p \frac{P_{JR}}{g\omega_s}$$

$$\text{Le couple est : } C_{em} = p \frac{3R_2 I_2^2}{g\omega_s}$$

$$\text{Pour le transformateur on a : } I_2 = \frac{I'_1}{m}$$

$$\text{Donc : } C_{em} = p \frac{3}{g\omega_s} R_2 \frac{I_1'^2}{m^2}$$

On néglige la chute de tension dans l'enroulement statorique, on a :

$$I'_1 = \frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (X'_2)^2}} \quad \text{Alors } C_{em} = p \frac{3R_2}{g\omega_s m^2} \frac{V_1^2}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (X'_2)^2}$$

$$R'_2 = \frac{R_2}{m^2} \text{ et } X'_2 = \frac{X_2}{m^2} \quad \text{Alors } C_{em} = p \frac{3V_1^2 m^2}{\omega_s} \frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (X_2)^2}$$

$$\text{Donc : } C_{em} = K \frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (X_2)^2} ; K = p \frac{3V_1^2 m^2}{\omega_s} \text{ à } V_1 = \text{cst}$$

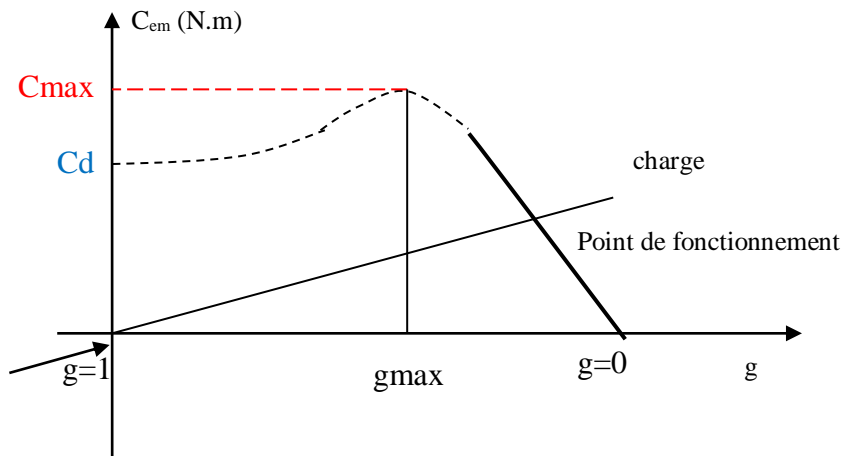
D'après la relation on remarque que C_{em} est en fonction de g donc la vitesse N

Donc la caractéristique mécanique et $C_{em} = f(g)$ ou $C_{em} = f(N)$

$$\text{Au démarrage le glissement } g=1 \Rightarrow C_d = K \frac{R_2}{(R_2)^2 + (X_2)^2}$$

Le couple maximal est donnée par : $\frac{dC_{em}}{dg} = 0$ ce qui donne un glissement critique $g_{max} = \frac{R_2}{X_2}$

Donc le couple maximum est : $C_{max} = K \frac{1}{2X_2} = p \frac{3V_1^2 m^2}{2\omega_s X_2} = \frac{3}{2} \frac{p}{\omega_s} \frac{V_1^2}{X_2'}$



=

Partie II : Moteur Synchrone

III.1.Introduction :

On appelle machine synchrone, une machine électrique à courant alternatif à deux enroulements dont l'un est connecté à un réseau triphasé alternatif, et l'autre est excité par un courant continu

Les machines synchrones sont **réversibles**, elles peuvent :

- Soit recevoir de l'énergie électrique et fonctionner en moteurs synchrone
- Soit fournir de l'énergie électrique et fonctionner en alternateur

Quelque soit le mode de fonctionnement, le rotor doit tourner à une vitesse constante liée à la fréquence du réseau.

III.2.Constitution :

a) Le Stator:

Identique à celui d'un moteur asynchrone triphasé, il porte dans les encoches statoriques trois enroulements triphasés. L'ensemble, dit **enroulement induit**, est alimenté par un réseau triphasé (permet de créer un champ magnétique tournant)

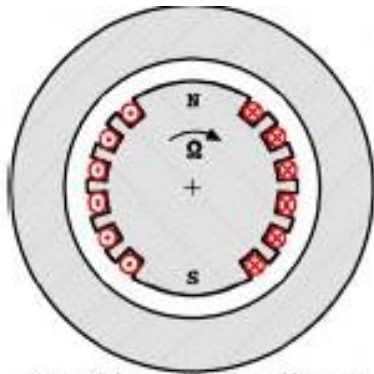
b) Le Rotor :

Il porte un enroulement parcouru par un courant continu, dit **enroulement inducteur**

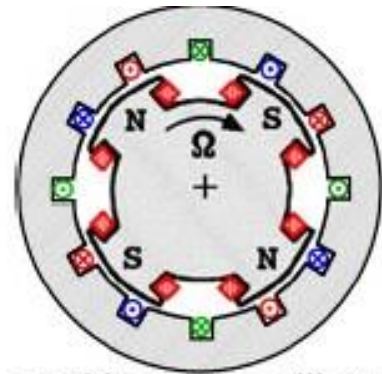
Cet enroulement inducteur à le même nombre de pôles que l'enroulement induit. Le **courant continu** est amené par deux balais fixes frottant sur deux bagues isolées l'une par rapport à l'autre et aussi par rapport à l'arbre.

On peut avoir deux types de rotors :

- Rotor lisse (à entrefer constant) \Rightarrow pour machine $2p = 2$ ou $2p = 4$
- Rotor à pôles saillants \Rightarrow pour machine $2p > 4$



Machine à pôles lisses



Machine à pôles saillants

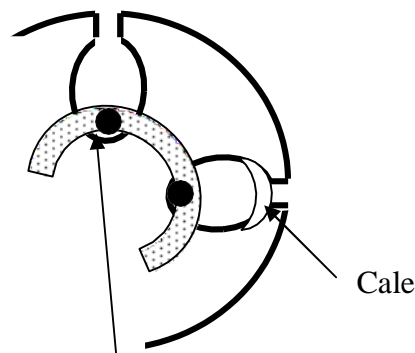
Remarque : Le rotor peut être constitué par un aimant permanent

Symboles

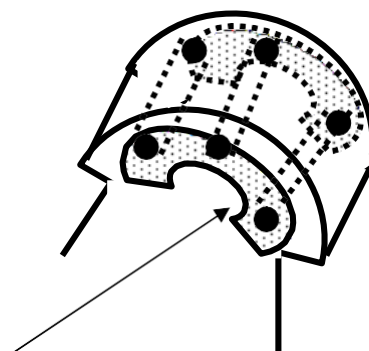


c) **Les Amortisseurs** :

Une machine synchrone comporte toujours sur son rotor des enroulements en court circuit dit **circuits amortisseurs** très important pour la machine synchrone lorsque cette dernière travail en moteur.



*L'amortisseur occupe une partie de l'encoche
Joue le même rôle qu'une cage d'écurueil*



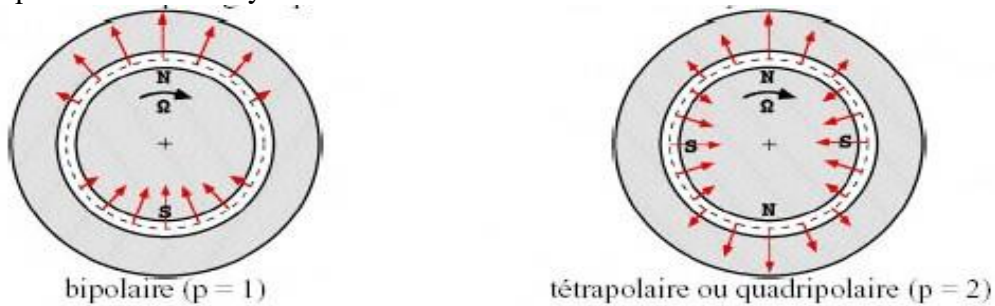
d) **Excitation:** C'est le générateur à courant continu qui alimente le circuit inducteur

III.3. Champ magnétique tournant :

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant

d'une vitesse égale : $N_s = \frac{60f}{p}$

Le champ tournant du stator accroche le champ inducteur du rotor donc il ne peut tourner qu'à la vitesse de synchronisme n_s



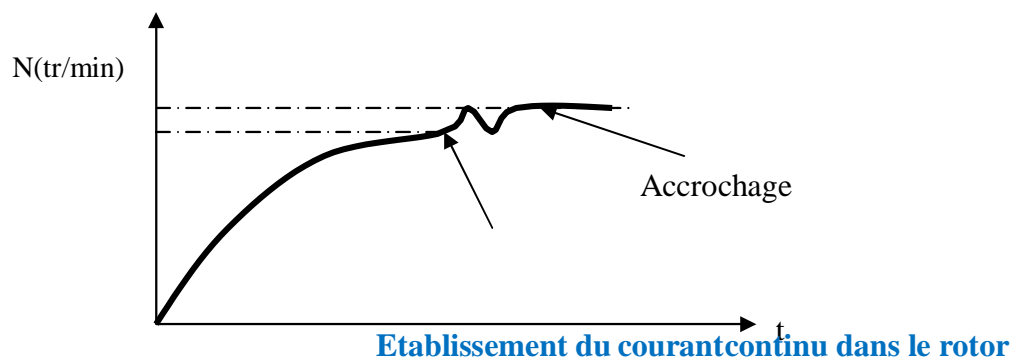
Répartition du champ magnétique dans l'entrefer d'une machine synchrone

III.4. Fonctionnement en moteur synchrone :

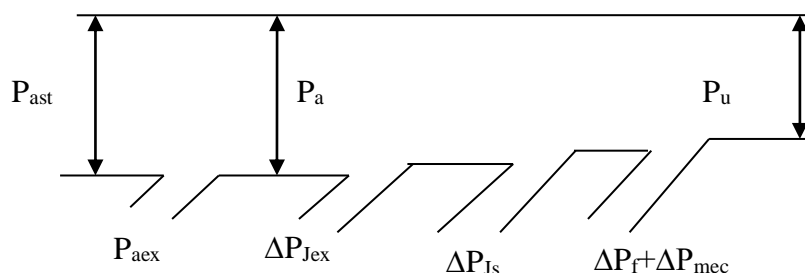
a) Démarrage des moteurs synchrones :

Le démarrage s'effectue, en générale, en moteur asynchrone, l'enroulement secondaire étant formé des amortisseurs et de l'enroulement inducteur lui-même fermé .

Lorsque la vitesse est suffisamment proche du synchronisme, on alimente le circuit inducteur en courant continu. La vitesse se stabilise alors à la vitesse de synchronisme après quelques oscillations, **on dit que le moteur s'accroche**



b) Bilan de puissance des moteurs synchrones :



La puissance absorbée par le moteur est égale :

$$P_a = \sqrt{3}UI\cos\varphi + V_{exc}I_{exc}$$

Les pertes joule au niveau de l'induit : $\Delta P_{Jex} = V_{exc}I_{exc} = R_{exc}I_{exc}^2$

Les pertes joule au niveau du stator : $\Delta P_{Js} = \frac{3}{2}R_s I^2$

quelque soit le couplage ou R_s est la résistance vue entre deux bornes du moteur

Les pertes fer et pertes mécanique : $\Delta P_f + \Delta P_{mec}$ pertes constantes sont estimées par mesure.

La puissance mécanique utile : $P_u = P_a - \Delta P_{Jex} - \Delta P_{Js} - \Delta P_f + \Delta P_{mec}$

c) **Propriétés principales du moteur synchrone :**

Il est plus **facile à réaliser** et plus **robuste** que le moteur à courant continu. Il a un **très bon rendement** (proche de 99%). Sa **vitesse est très stable** quelque soit la charge mais si le couple résistant dépasse une certaine limite, le **moteur décroche et s'arrête**. Son facteur de puissance peut être réglé en modifiant le courant d'excitation I_{ex} .

III.5. Marche à puissance active constante

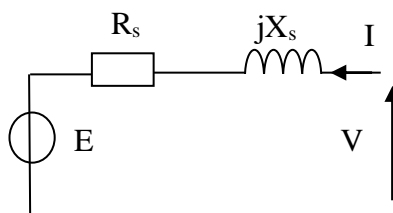
IV.5.1. Analyse du fonctionnement d'un moteur synchrone à pôles lisses avec résistance statorique négligée:

Pour analyser le fonctionnement d'un moteur synchrone, on peut négliger la résistance d'armature R_s (des phases du stator) et supposer que le rotor est "à pôles lisses" : L'équation électrique des phaseurs se réduit alors à: $V = E + jX_s I$

Dans laquelle $X_s = \omega L_s$ représente la "réactance synchrone" (non saturée) du moteur.

En général, un moteur synchrone est alimenté sous la tension du réseau, de valeur efficace V et de la fréquence f constantes.

III.5.2. Modèle équivalent d'une phase :



E : valeur efficace de la f.é.m. induite par le flux dû à l'inducteur porté par le rotor

R : résistance d'un enroulement statorique

X_s : réactance synchrone

On utilisera la relation complexe (ou la relation entre les vecteurs de Fresnel) :

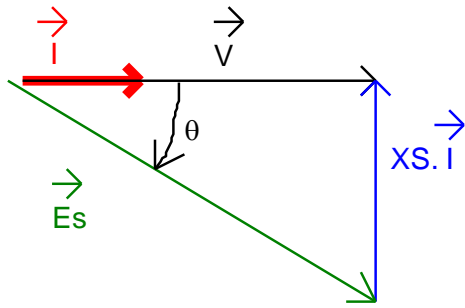
$$V = E + j.X_s.I$$

Si on néglige la chute de tension aux bornes de r on obtient : $V = E_s + j.X_s.I$

Dans ce cas on obtient les diagrammes de Fresnel suivants :

* **Cas ou $\cos\varphi = 1$**

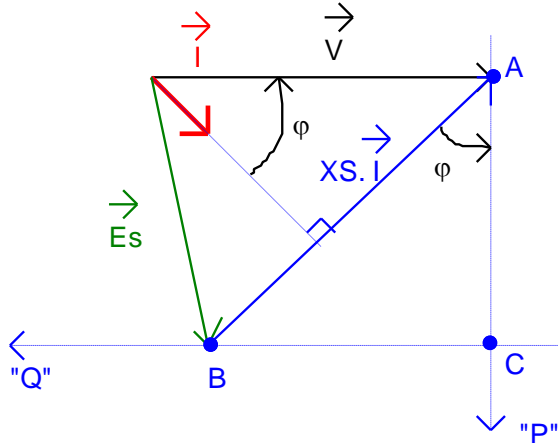
$\varphi = 0$ rad



Fonctionnement nominal

θ est le décalage interne.

*** Fonctionnement inductif**



Dans ce cas $P > 0$ et $Q > 0$

On remarque : $AC = X_S \cdot I \cdot \cos\phi$

Or $P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$

Donc AC est l'image de la puissance active à un facteur près.

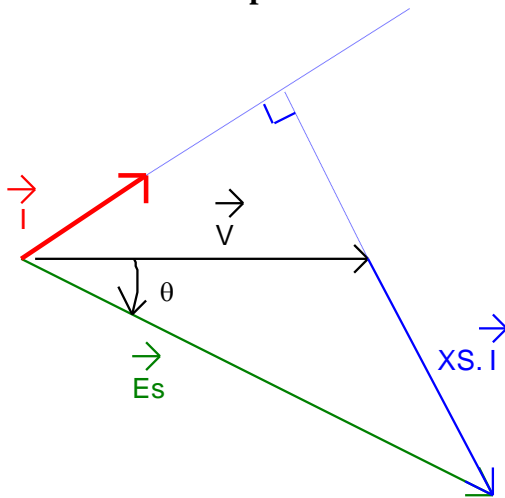
De même

On remarque: $BC = X_S \cdot I \cdot \sin\phi$

Or $Q = 3 \cdot V \cdot I \cdot \sin\phi$

Donc BC est l'image de la puissance réactive à un facteur près.

*** Fonctionnement capacitif**



On note θ le décalage interne.

Dans ce cas, la puissance réactive est fournie par le moteur.

Fonctionnement en compensateur synchrone