

5. Moteur Asynchrone

1. Mise en situation

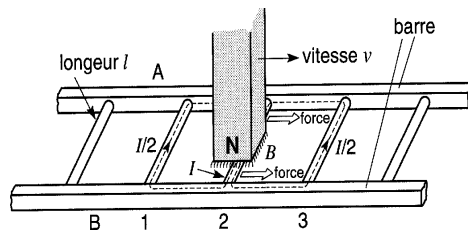
L'aimant se déplace à la vitesse v , les rails sont conducteurs et forment un circuit fermé. Équation dynamique des rails ?

Les rails sont le siège d'une fém et d'un courant, donc à une force qui va les mettre en mouvement dans le même sens que l'aimant (Lenz), soit V leur vitesse

$$e = Bl(v - V); I = \frac{e}{R}, F = i(t)lB = \frac{l^2 B^2}{R}(v - V(t)) = m \frac{dV}{dt}$$

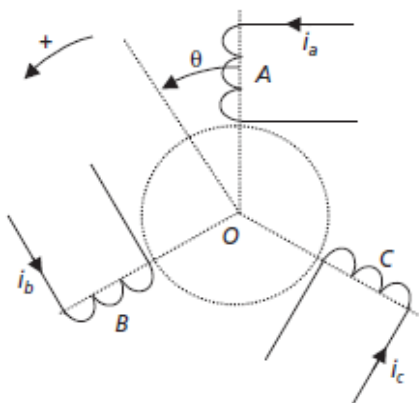
$$V(t) = v(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \tau = \frac{mR}{l^2 B^2}$$

Nous avons construit un moteur asynchrone linéaire.



2. Théorème de Ferraris, production de champ tournant

Trois bobines parcourues par un système de courants triphasé équilibré et décalées de 120° , produisent au centre un champ magnétique tournant à la pulsation des courants. Démonstration dans le cas général de p paires de bobines



$$i_a = I\sqrt{2}\cos\omega t; i_b = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}); i_c = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Champ créé par chaque bobine dans la direction θ :

$$B_a = ki_a \cos p\theta; B_b = ki_b \cos(p\theta - \frac{2\pi}{3}); B_c = ki_c \cos(p\theta - \frac{4\pi}{3})$$

$$\text{Champ total : } B = B_a + B_b + B_c = k \frac{3}{2} I\sqrt{2}\cos(\omega t - p\theta)$$

$$\text{Champ tournant dans le sens + à la vitesse } \frac{d\theta}{dt} = \frac{\omega}{p}$$

Et si on permute deux courants :

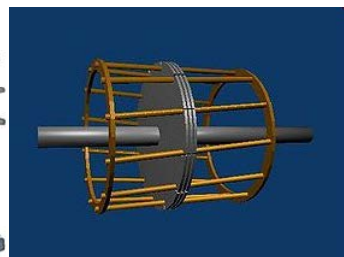
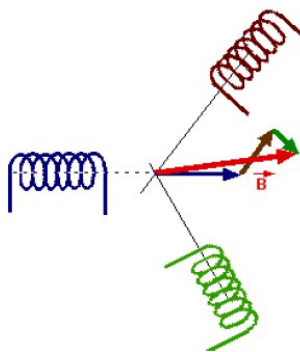
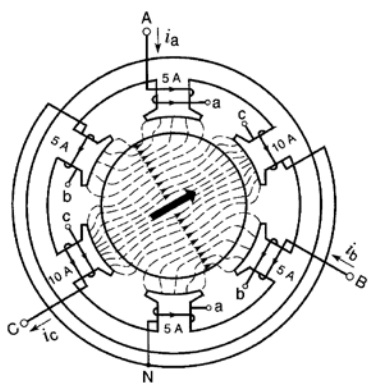
$$B = B_a + B_b + B_c = k \frac{3}{2} I\sqrt{2}\cos(\omega t + p\theta)$$

k dépend du nombre des spires et du noyau magnétique des bobines

Le sens de rotation s'inverse si on permute 2 courants

3. Constitution

Stator : enroulement réparti sur 3 bobines, 6 pôles (2 pôles par bobine), parcouru par les courants triphasés de pulsation ω_s . Le champ produit tourne à la même pulsation $\omega = \omega_s$



Pour un stator avec p paires de pôles, la vitesse du champ est $\omega = \frac{\omega_s}{p}$ vitesse de synchronisme.

Rotor : enroulement en court circuit (rotor bobiné) ou simple cylindre métallique (à cage).

Principe : le champ tournant coupe un flux variable dans le rotor, celui-ci est le siège de courants induits d'où l'apparition d'un couple moteur qui fait tourner le rotor dans le même sens que le champ tournant à une vitesse Ω légèrement inférieure

4. Equations (pour $p=1$)

$$\varphi(t) = B.S.\cos\theta(t) = \varphi_0 \cos[(\omega - \Omega)t] \quad \text{d'où la fém induite :} \quad e(t) = -n \frac{d\varphi}{dt} = n.\varphi_0(\omega - \Omega)\sin(\omega - \Omega)t$$

$$E = gE_{co} \text{ avec } E_{co} \text{ tension induite au rotor bloqué } (\Omega = 0); \quad E = gE_{co}; \quad E_{co} = n\phi_0\omega$$

A vide (sans charge) : $\Omega \cong \omega$; $E \approx 0$, $I \approx 0$, $C \approx 0$, $g \approx 0$

En charge : $\omega - \Omega$ et I augmentent, donc C aussi jusqu'à équilibrer la charge

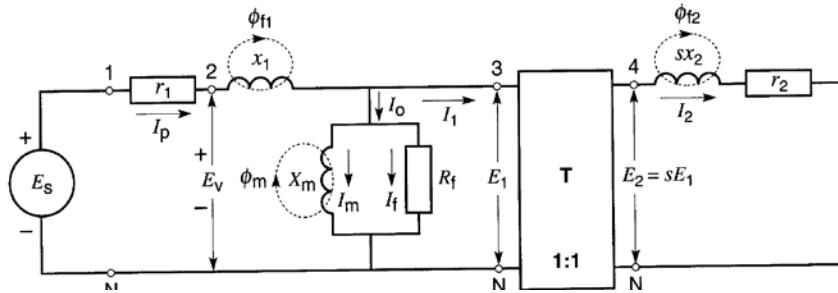
Pulsation des courants rotoriques : $\omega_r = \omega - \Omega$; glissement : $g = \frac{\omega - \Omega}{\omega} = 1 - \frac{\Omega}{\omega}$; $\omega_r = g\omega$

Pour le moteur idéal sans pertes fer : $\eta = \frac{P_m}{P_{em}} = \frac{C_m\Omega}{C_{em}\omega} \approx \frac{\Omega}{\omega} = 1 - g$; $g \approx 5\%$. Bon rendement

5. Moteur à rotor bobiné. Modèle électrique

Pour les fortes puissances (>10kW), le rotor est bobiné (triphase étoile en court-circuit). Il est relié à l'extérieur par un collecteur qui peut servir pour agir sur les propriétés (freinage) qui est court-circuité en fonctionnement normal. D'où : très peu de maintenance et durée de vie très élevée, faible coût.

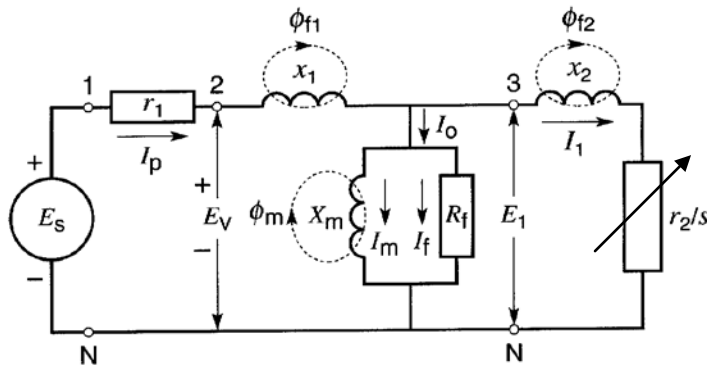
Schéma équivalent par phase (stator/rotor) (s=g)



$$E_s = r_1 I_p + jx_1 I_p + j\omega \phi_m$$

$$V_2 = 0 = r_2 I_2 + jsx_2 I_2 + js\omega \phi_m$$

$$\frac{r_2}{s} I_2 + jx_2 I_2 + j\omega \phi_m = 0$$

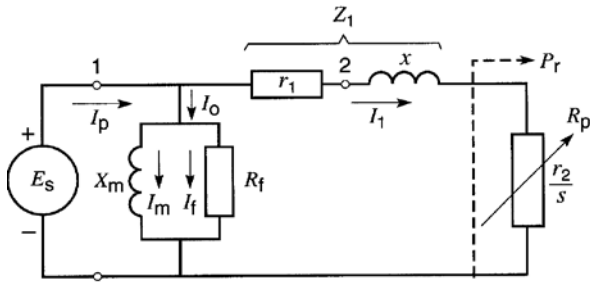


$$E_2 = sE_1 = (jsx_2 + r_2) I_2$$

$$I_1 = I_2 = \frac{E_1}{\sqrt{x_2^2 + (\frac{r_2}{s})^2}}$$

fréquence ω fréquence $s\omega$

Pour les puissances > 2 kW ($I_0 \ll I_p$), on peut déplacer la branche parallèle à l'entrée

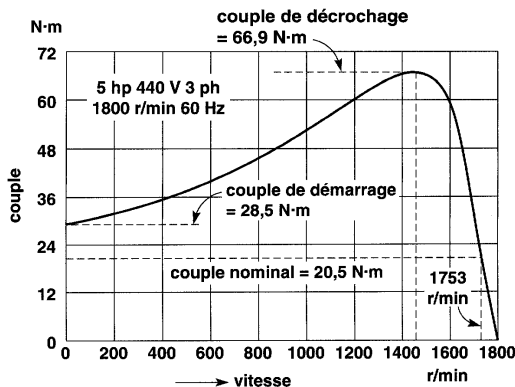


$$C = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_r(1-s)}{\Omega_s(1-s)} = \frac{P_r}{\Omega_s}; \quad P_{ab/phase} = \frac{E_s^2}{R_f} + r_1 I_1^2 + \frac{r_2}{s} I_1^2$$

$$Q_{ab/ph} = \frac{E_s^2}{X_m} + x I_1^2; \quad I_{ligne} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{E_s}$$

$$P_{jr} = r_2 I_1^2 = sP_r; \quad P_m = P_r - P_{jr} = P_r(1-s)$$

Caractéristique du couple



$$r_1 = 1.5\Omega \quad X_m = 110\Omega$$

$$r_2 = 1.2\Omega \quad R_f = 900\Omega$$

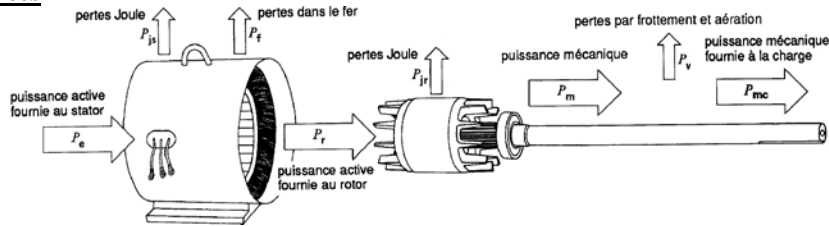
$$x = 60\Omega$$

$$C = 3 \frac{E_s^2 r_2}{\Omega_s s (r_1 + \frac{r_2}{s})^2 + x^2}$$

$$C_d = 3 \frac{E_s^2 r_2}{\Omega_s (r_1 + r_2)^2 + x^2} \quad C_m = \frac{3 E_s^2}{2 \Omega_s} \frac{1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x^2}} \approx \frac{3 E_s^2}{2 \Omega_s} \frac{1}{L\omega} \quad (r_1 \approx 0)$$

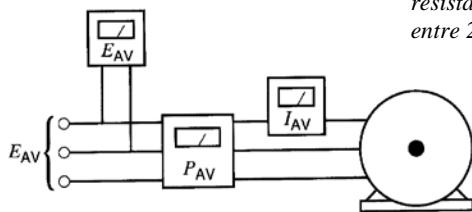
$$\frac{C_{max}}{C_d} \approx \frac{1}{2} \frac{4 + a^2}{1 + \sqrt{1 + a^2}} \approx \frac{1}{2} a; \quad a = \frac{x}{r} \quad s_{max} = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + x^2}}$$

6. Bilan des puissances



7. Détermination des paramètres

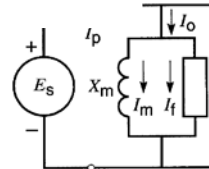
Essai à vide



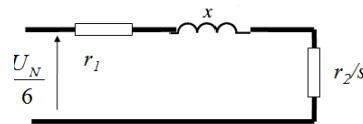
Mesure de la résistance du stator, entre 2 bornes

$$R = 2r_1 \text{ en } Y$$

$$2r_1 / 3 \text{ en } \Delta$$



Essai à rotor bloqué

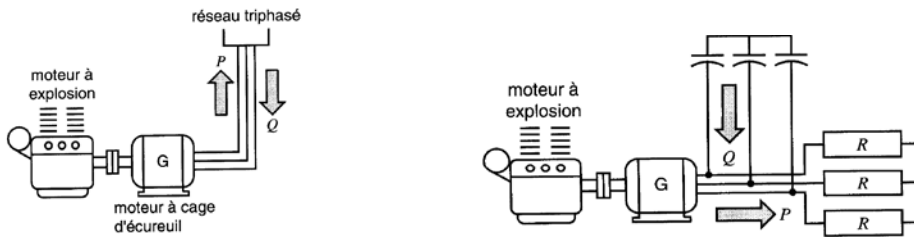


On mesure U, P, I à l'entrée, on en déduit les paramètres : X_m, R_f et x, r_2

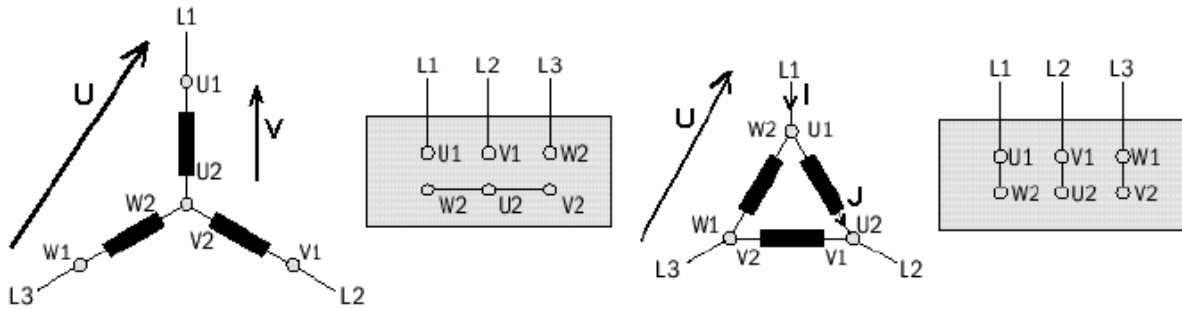
8. Fonctionnement en génératrice

Lorsque le rotor est entraîné à une vitesse supérieure à la vitesse synchrone ($P_r < 0$, le rotor fournit de l'énergie)

La puissance réactive nécessaire pour créer le champ tournant : à partir du réseau ou d'une batterie de condensateurs (autonomie). Éoliennes.



Branchements



Plaque signalétique

Résistance à l'échauffement 140°C

$$I_{dém} \approx 6 \cdot I_{pl.ch}$$

$$I_{vide} \approx (0,3 - 0,5) I_{pl.ch}$$

Tension supportée par un enroulement

Avec un réseau 127/220 : démarrer en triangle

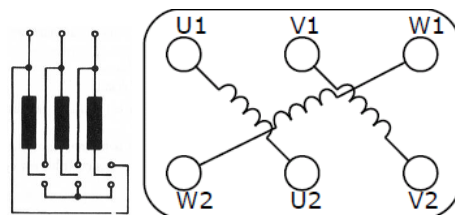
Avec un réseau 380/660 : démarrer en étoile

Valeur approximative du courant en pleine charge :

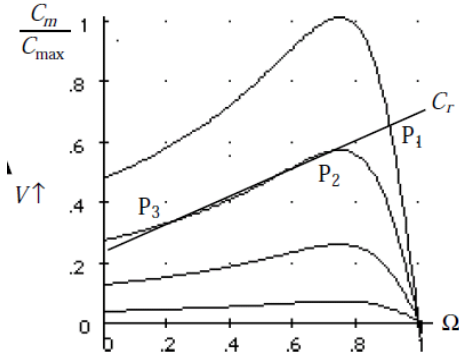
$$I(A) \approx \frac{800 P_{kW}}{U(V)}$$

ABB Motors			
Mot.as. MEUL 280 M 4			
N° FL 512 825	nv 3	cos.φ	0,87
kW .90	Cl. F	ΔB	100 K
50 Hz	IP 54		640 kg
V 220 Δ			290 A
V 380 Y			167 A
/min 1480	S		
Rot. V1	A	Cl.	
cuiracem			
MADE IN FRANCE IEC 34.1			

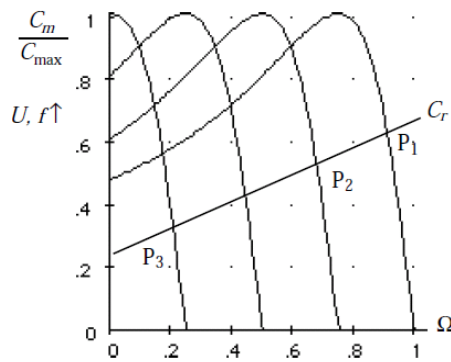
On démarre en étoile (pour limiter le courant), ensuite on passe en triangle pour augmenter le couple



9. Variation de la vitesse :

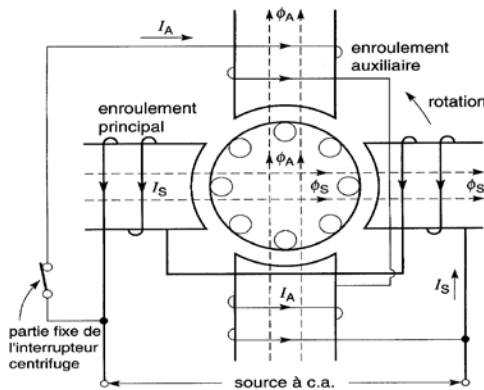


On fait varier la tension, risque d'instabilité



On fait varier U et f, avec U/f constant : stabilité

10. Moteur Asynchrone monophasé

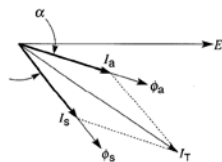
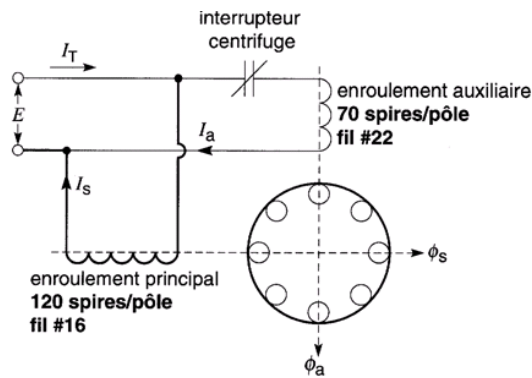


Un enroulement principal, insuffisant pour démarrer (couple nul). Avec l'enroulement auxiliaire : système biphasé (déphasage électrique de $\pi / 4$: création de champ tournant. Après le démarrage, l'enroulement auxiliaire est mis hors circuit. Lorsque le rotor est lancé, les barres du rotor sont le siège de courants induits I_r . Les courants induits produisent un flux ϕ_r , en quadrature avec le flux principal.

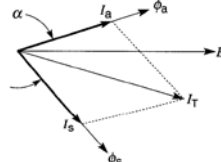
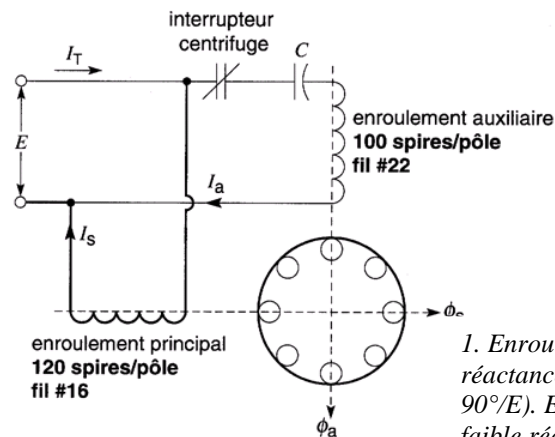
Couple au démarrage : $C_d = k I_a I_s \sin \alpha$

I_a : courant auxiliaire, I_s : courant principal, α : déphasage entre les deux courants

1. Moteur à phase auxiliaire résistive

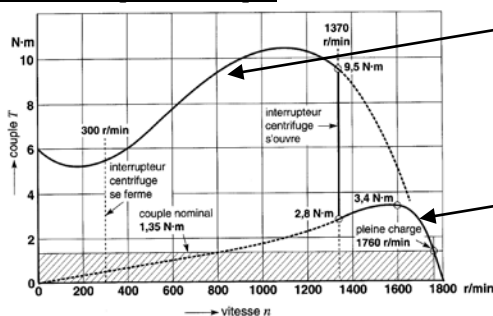


2. Moteur à démarrage par condensateur



1. Enroulement principal forte réactance faible résistance ($-90^\circ/E$). Enroulement auxiliaire faible réactance, forte résistance ($0^\circ/E$). Ne convient pas aux démarrages fréquents.
2. C introduit un déphasage $+90^\circ/E$
Déphasage plus grand entre les 2 courants ppal et auxil.

Caractéristique mécanique



Les deux enroulements sont excités, vitesse nominale atteinte.

Enroulement principal seul

Utilisation même que le triphasé pour les petites puissances (machines à laver, sèche linge, tondeuse, machines outils, pompes, ventilateurs)