Machine Asynchrone triphasée à rotor bobiné

I - Généralités sur la machine asynchrone

1.1 - Stator

La machine asynchrone est une machine à champ tournant (on dit aussi à force magnétomotrice tournante).

Ce champ tournant est obtenu par application de tensions triphasées de pulsation ω aux enroulements polyphasés statoriques à $2p$ pôles par phase. Ce champ est constitué d'une succession de $2p$ pôles alternativement nord et sud tournant à la vitesse de synchronisme

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

On obtient ainsi un champ magnétique tournant par un processus purement statique.

1.2 - Rotor

Le rotor est formé d'enroulements polyphasés répartis sur un cylindre magnétique. Ces enroulements constituent un succession de $2p$ pôles comme ce du stator. La machine des T.P. est à rotor bobiné, il existe d'autres rotors dits à "cage d'écureuil". Dans tous les cas, les enroulements ainsi constitués sont fermés sur eux-mêmes. (Rotor en court-circuit).

Admettons que le rotor tourne. La vitesse angulaire Ω du rotor est nécessairement différente de la vitesse du champ tournant qu'il voit donc défiler. En effet : s'il y a rotation c'est qu'il s'est développé un couple, ce dernier résulte de l'interaction des champs statorique et champ rotorique. Or le champ rotorique est induit, c'est à dire qu'il résulte de la génération de courants polyphasés induits par le stator dans le rotor. Cela signifie que chaque enroulement rotorique est le siège d'une fém induite donc d'une variation de flux, ceci n'est possible que dans la mesure où la vitesse du champ tournant ("inducteur") se déplace à une autre vitesse que celle de l'enroulement ("induit") rotorique.

1.3 - Fréquences - Vitesses

Le champ statorique tourne à la vitesse

$$\omega_s = \frac{\omega}{p} = 2\pi \frac{f}{p} = 2\pi \cdot N_s ,$$

Avec f la fréquence du réseau d'alimentation, N_r la vitesse du rotor en tr/s, et Ω_r la vitesse du rotor en rad/s. On notera la pulsation des courants rotoriques ω_r. En fonctionnement moteur, la vitesse relative du champ statorique par rapport à la vitesse du rotor est Ω_s - $\Omega_r > 0$. On définit alors le glissement g de la manière suivante:

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s}$$

Les courants polyphasés induits dans le rotor circulent dans des enroulements polyphasés, leur fréquence est $f_r = gf$. Ils engendrent un champ tournant dont la vitesse absolue est N_s (ou Ω_s), c'est à dire que la machine asynchrone est en fait synchrone du point de vue magnétique (synchronisme des champs magnétiques et rotoriques). C'est le rotor qui glisse par rapport à son propre champ, d'où le qualificatif de "asynchrone".

Les champs statorique et rotorique tournent à la vitesse de synchronisme Ω_s. Il se composent pour former un champ magnétique tournant résultant, ou un flux tournant résultant. Si on pose ϕ la valeur efficace du flux dans un enroulement statorique et dans un enroulement rotorique, alors les fém qui y sont induites ont respectivement pour valeurs efficaces :

$E_1 = K_1 N_1 f \phi$ ($e_1(t)$ en instantané)

$E_2 = K_2 N_2 f_r \phi$ ($e_2(t)$ " ")

K_1 et K_2 sont des coefficients de bobinage, N_1 et N_2 des nombres de spires.

Ces deux relations font penser à celles obtenues pour un transformateur. Mais dans le cas de la machine asynchrone la f.e.m. $e_1(t)$ a pour fréquence f alors que la f.e.m. $e_2(t)$ a une fréquence $f_r = gf$ qui varie en fonction de la charge. Dans un transformateur, la fréquence qui apparaît au secondaire est fixe et égale à celle imposée au primaire. le rapport de transformation m de la machine asynchrone se définit à partir de la relation suivante:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{K_2 N_2}{K_1 N_1} g = mg$$

1.4 - Modèle équivalent monophasé

Afin de se raccrocher à des choses connues, il a été établi une représentation schématique de la machine asynchrone que l'on appellera "modèle".

Sachant que stator et rotor fonctionnent en régime alternatif et qu'ils sont magnétiquement couplés, il est tentant de modéliser la machine asynchrone à partir du transformateur monophasé auquel on associera les inductances de fuites l_1 et l_2 puis les résistances r_1 et r_2, les pertes fer et le courant magnétisant ayant pour supports R_0 et L_0 respectivement. On définira ainsi les impédances de fuites: $\underline{z}_1 = r_1 + jl_1\omega$ **et** $\underline{z}_2 = r_2 + jl_2\omega_r = r_2 + jl_2 g\omega$.

Une difficulté persiste cependant car, comme nous l'avons vu, les fréquences f_r des courants rotoriques sont différentes de f contrairement à ce qui se passe pour le transformateur. Pour tenir compte de la spécificité de la machine asynchrone, on avance les arguments suivants :

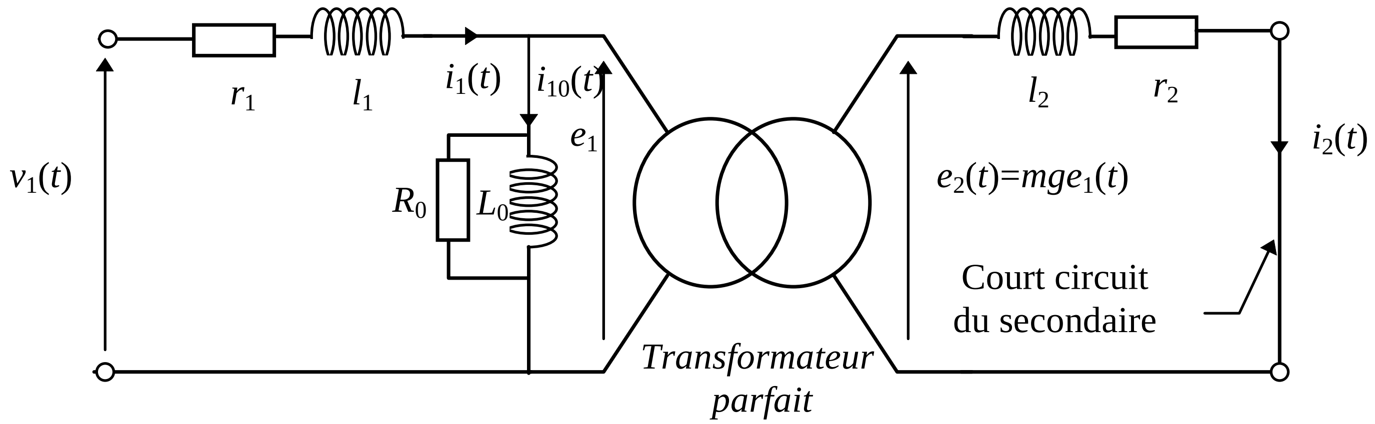
α - La valeur efficace du champ tournant rotorique ne dépend que de la valeur efficace des ampères-tours (AT) rotoriques, c'est à dire N_2I_2, quelle que soit la fréquence f_r de ces courants.

β - La vitesse de rotation N_s du champ tournant résultant est obtenue par des courants rotoriques polyphasés de fréquence $f_r = gf$ entraînés par le rotor à la vitesse N_r.

γ - On peut également créer un même champ tournant rotorique tournant à la vitesse N_s en bloquant le rotor et en l'alimentant par des courants de fréquence f et de même valeur efficace.

Ces arguments sont exploités pour utiliser le schéma équivalent du transformateur.

Le stator devient primaire alimenté sous une tension $v_1(t)$ de fréquence f. Le rotor devient secondaire, il développe une fém induite de valeur efficace $E_2 = mgE_1$ de fréquence f, l'impédance des fuites $\underline{z}_2$ conservant sa valeur $r_2 + jl_2 g\omega$.



Remarques :

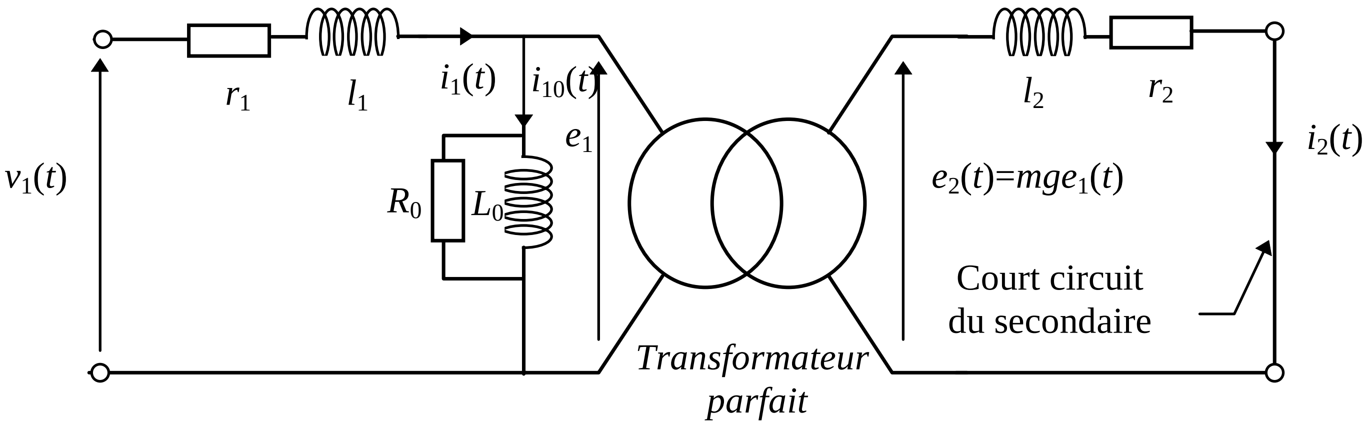
♦ On suppose que la machine asynchrone fonctionne en <u>régime équilibré</u>. Cela signifie que les trois phases sont équivalentes, d'où la représentation monophasée qui en découle.

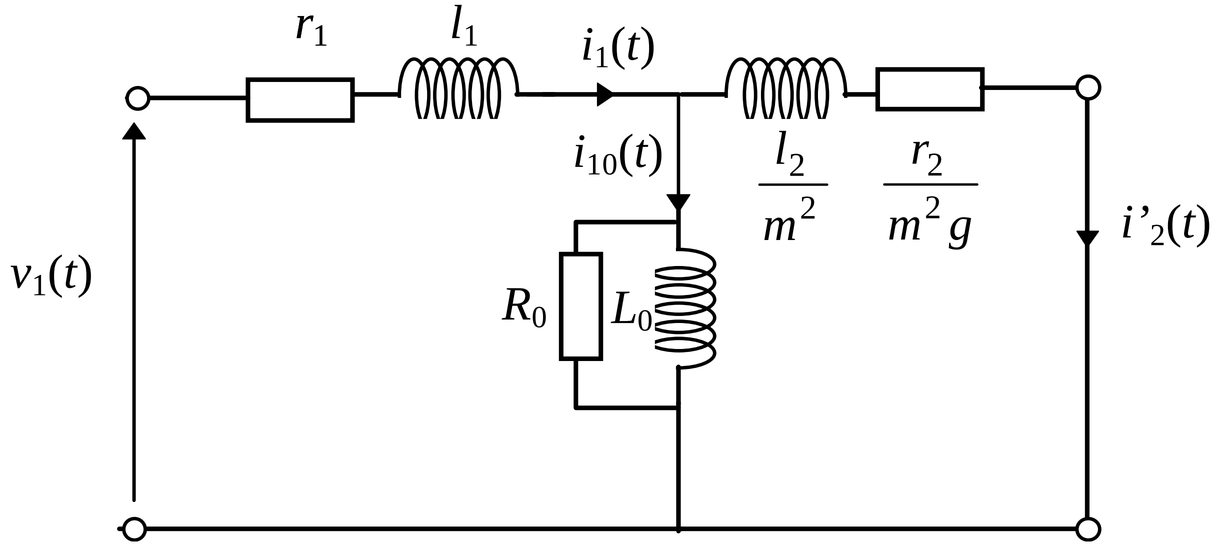
♦ Lorsque le glissement ***g* est égal à un** ce qui correspond à une vitesse du rotor N_r nulle (rotor bloqué), la machine asynchrone se comporte alors comme un transformateur dont le secondaire est court-circuité, dans ce **cas $f_r = f$.**

1.5 - Schéma électrique simplifié

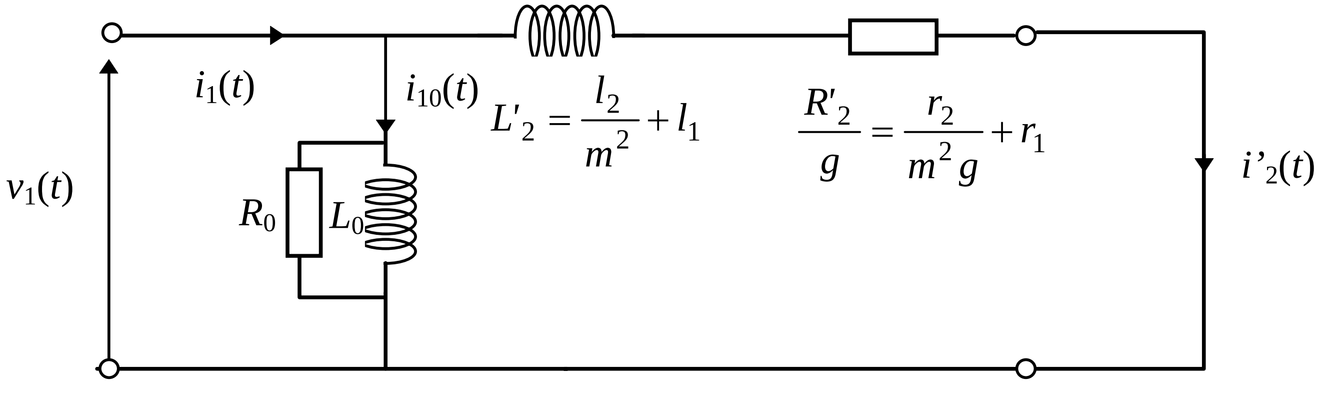
Nous allons dans un premier temps supprimer le transformateur parfait en utilisant la même démarche que pour le transformateur, c'est à dire "ramener" au stator (primaire) les éléments du rotor (secondaire). On cherche donc à déterminer l'impédance équivalente parcourue par le courant $i'_2 = mi_2$, sous la tension e_1.

$$Z_{eq} = \frac{E_1}{I_1 - I_{10}} = \frac{E_1}{I'_2} = \frac{E_2}{mg} \cdot \frac{1}{mI_2} = \frac{E_2}{I_2} \cdot \frac{1}{m^2 g} = \left(r_2 + jl_2 g\omega\right) \cdot \frac{1}{m^2 g} \quad \Rightarrow \quad Z_{eq} = \frac{r_2}{m^2 g} + j\frac{l_2}{m^2}\omega$$





Afin de s'affranchir du diviseur de tension (z_1, L_0, R_0) on opère une ultime transformation qui constitue une approximation. On déplace le circuit de magnétisation en aval de l'impédance z_1. On obtient le schéma suivant:



Dans les applications courantes de la machine asynchrone, il arrive généralement que $r_1 << \frac{r_2}{m^2 g}$ alors $\frac{R'_2}{g} \cong \frac{r_2}{m^2 g}$

1.6 - Bilans énergétiques du modèle simplifié

1.6.1 - Puissance et couple électromagnétique

La résistance R_0 modélise les pertes électromagnétiques et dissipe une puissance constante pour une tension d'alimentation fixée. La résistance R'_2/g du modèle dissipe la puissance électromagnétique, notée P_{em}. Elle transite du stator au rotor via l'entrefer. Sachant que le champ magnétique résultant tourne à la vitesse angulaire $\Omega_s = \omega/p$, on déduit le couple électromagnétique C_{em} de l'expression de la puissance électromagnétique $P_{em} = C_{em}\ \Omega_s$ Soit :

$$C_{em} = \frac{1}{\Omega_s} \frac{3R'_2}{g} I'^2_2$$

avec
$$I'^2_2 = \frac{{V_1}^2}{\left(\frac{R'_2}{g}\right)^2 + \left(L'_2\ \omega\right)^2}$$

on obtient l'expression du couple électromagnétique suivante:

$$C_{em} = \frac{2C_{max}}{\frac{g}{g_{max}} + \frac{g_{max}}{g}} \quad avec \quad C_{max} = \frac{3}{2} \frac{{V_1}^2}{\Omega_s} \frac{1}{L'_2\ \omega}\ ; \quad g_{max} = \frac{R'_2}{L'_2\ \omega}$$

1.6.2 - Couple mécanique

On peut également rechercher l'expression du couple mécanique. La puissance mécanique est $P_{mec} = P_{em} - P_{JR}$ en appelant P_{JR} les pertes joules rotoriques. Les pertes joules effectives au rotor sont $P_{JR} = 3R'_2 I'^2_2$ .D'où :

$$P_{mec} = 3\frac{R'_2}{g} I'^2_2 - 3R'_2 I'^2_2 = 3R'_2 I'^2_2 \left(\frac{1-g}{g}\right)$$

Cette puissance est distribuée à la vitesse angulaire rotorique $\Omega_r = \Omega_s(1 - g)$.Le couple mécanique C_{mec} est donné par:

$$C_{mec} = \frac{P_{mec}}{\Omega_r} = 3\frac{R'_2}{g} I'^2_2 \frac{1}{\Omega_s} = \frac{P_{em}}{\Omega_s}$$

Il y a donc égalité entre les couples mécanique et électromagnétique. On obtient de plus les relations suivantes entres les puissances:

$$P_{meca} = \frac{\Omega_r}{\Omega_s} P_{em} = (1-g) P_{em}; \quad P_{JR} = P_{em} - P_{meca} = gP_{em}$$

1.6.3 - Puissance utile - Couple utile

La puissance mécanique utile est définie par la relation suivante: $P_u = P_{mec} - P_p$, en désignant par P_p les pertes mécaniques. Le couple utile s'en déduit de la manière suivante:

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega_r} = \frac{P_{mec} - P_p}{\Omega_r}$$

1.6.4 - Couple au démarrage de la machine asynchrone

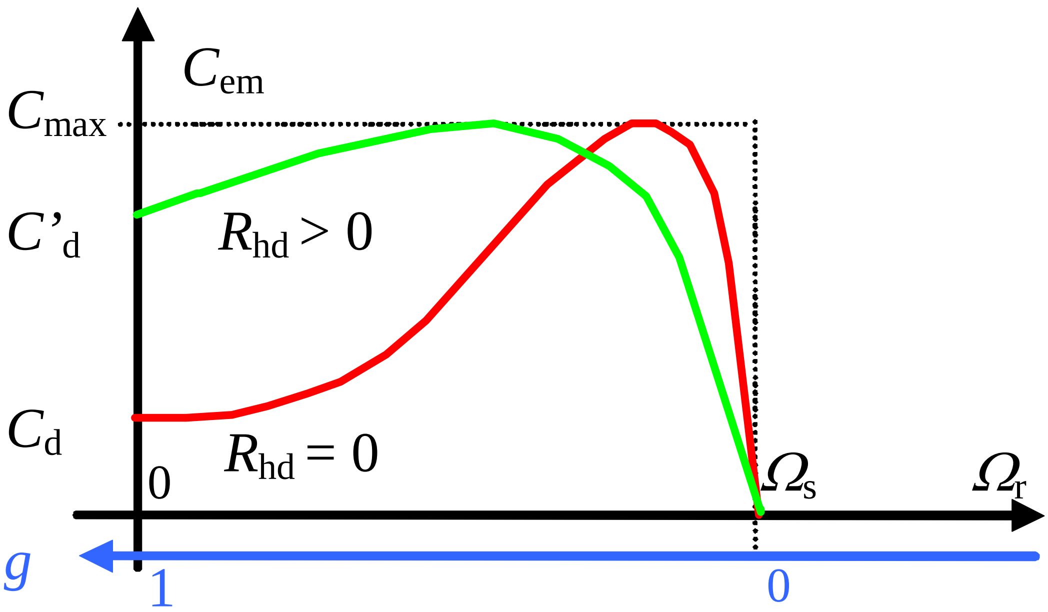
Le couple instantané au démarrage est obtenu en remplaçant dans l'expression du couple électromagnétique g par un. On obtient l'approximation du couple de démarrage C_d suivante sachant que g_{max} est de l'ordre de 10%.

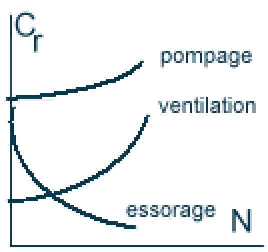
$$C_d \equiv 2C_{max}\, g_{max} = \frac{3}{2}\frac{V_1^{\,2}}{\Omega_s}\frac{R'_2}{L'^{\,2}_2\,\omega^2}$$

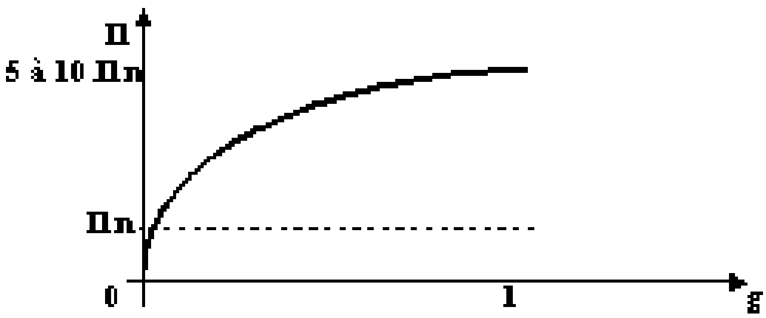
Cette quantité est généralement faible (10 à 20% du couple max.), et lorsque le moteur est chargé il peut ne pas démarrer.

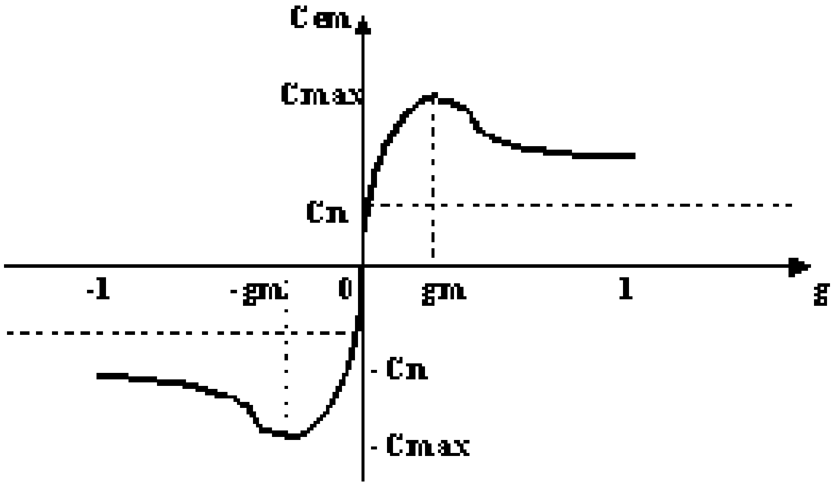
Une solution consiste à augmenter artificiellement la résistance rotorique (par un rhéostat extérieur) pour accroître le couple au démarrage. Le rhéostat est progressivement court-circuité au fur et à mesure que le rotor prend de la vitesse. (Cf TP MAS)

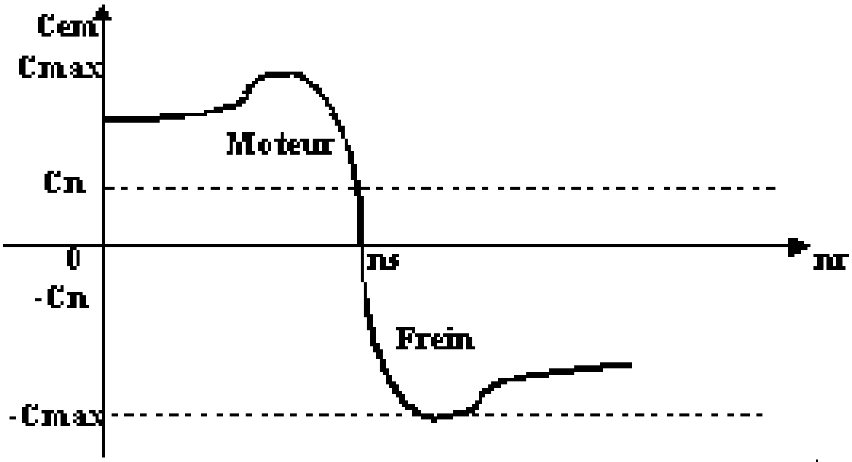
II - ANNEXES machine asynchrone

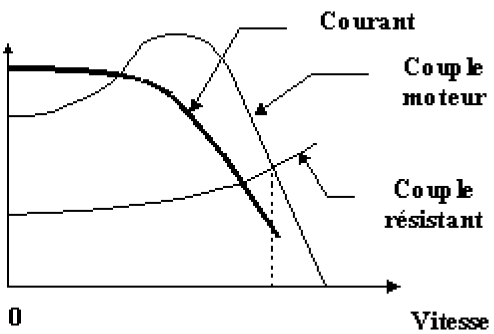


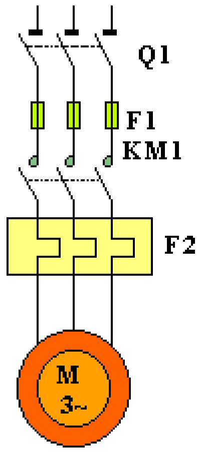


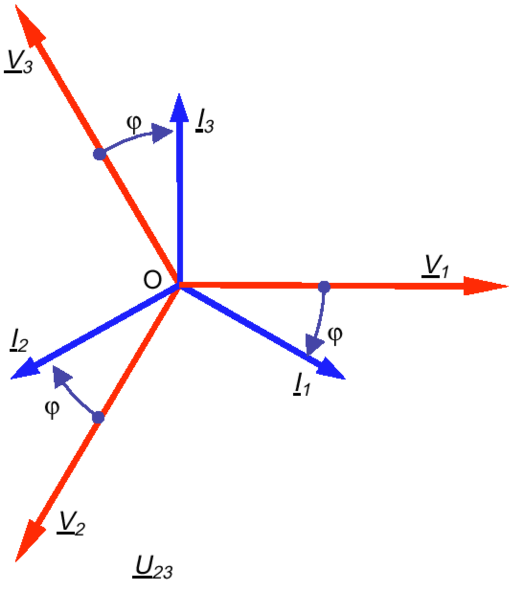



Cem
Cmax
Cn
-1
-gm
0
gm
1
g
- Cn
- Cmax

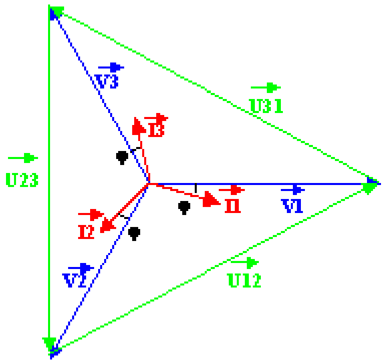

Cem
Cmax
Moteur
Cn
0
ns
nr
-Cn
Frein
-Cmax

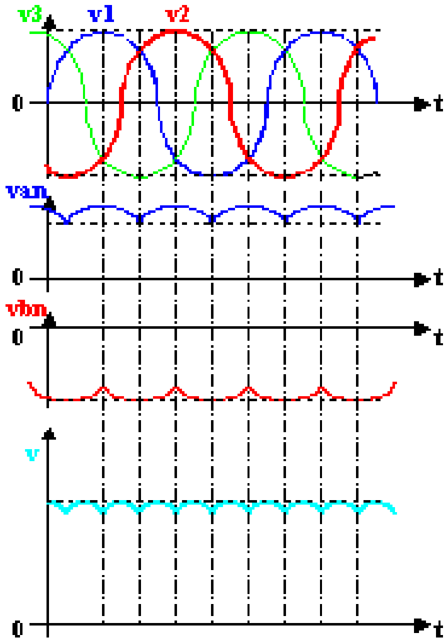

Courant
Couple moteur
Couple résistant
0
Vitesse

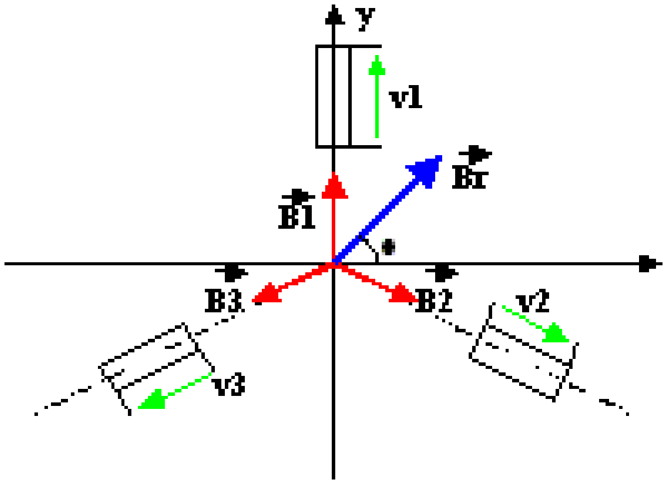

Q1
F1
KM1
F2
M
3~

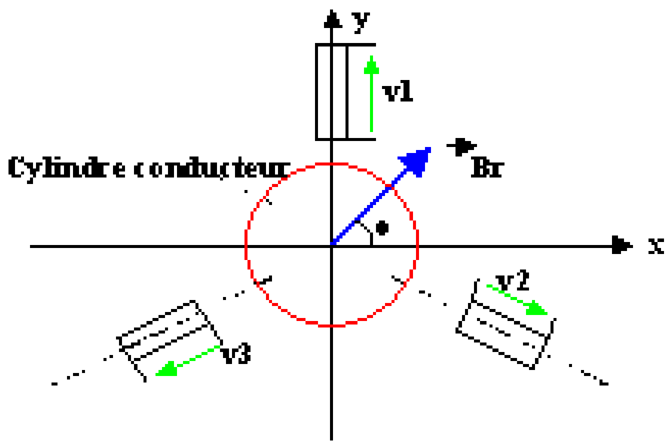


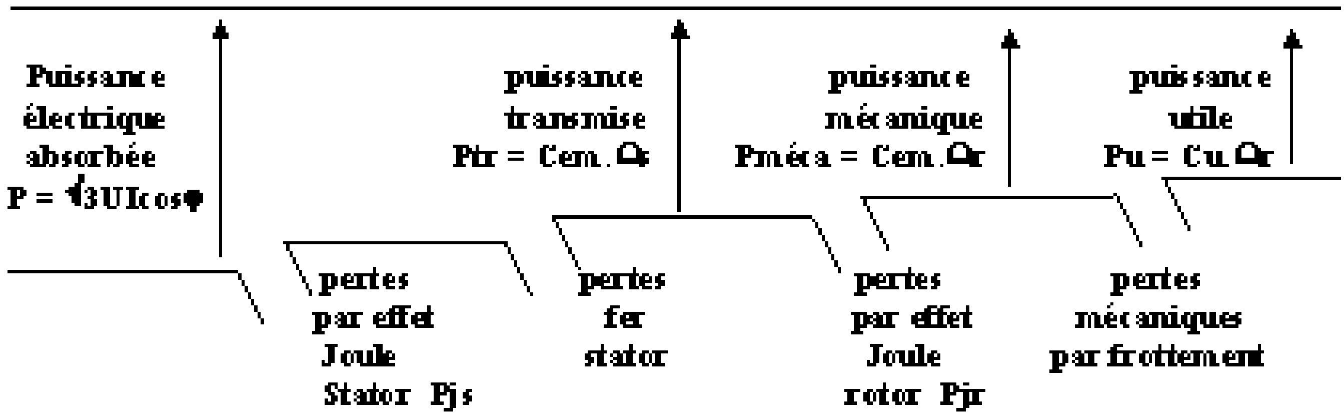
Courants en étoile équilibré.

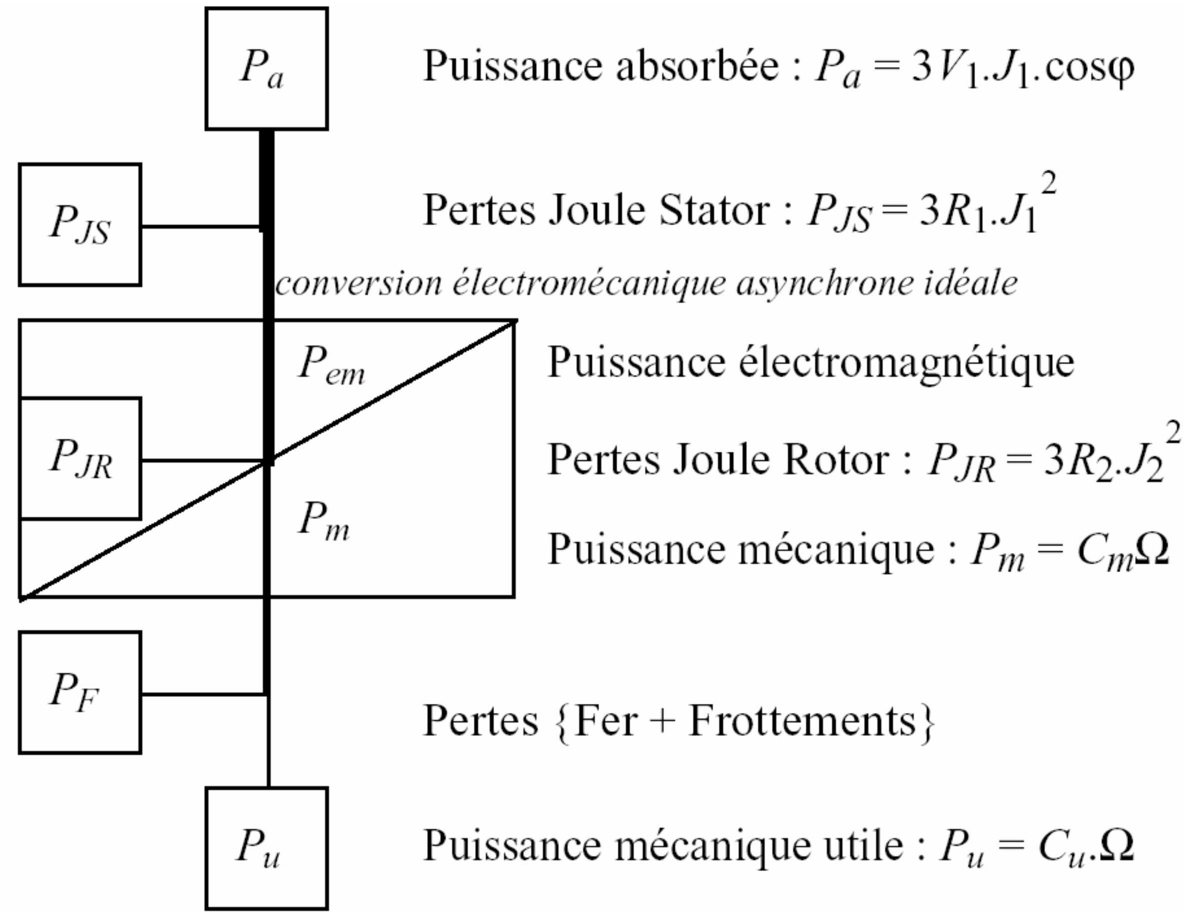


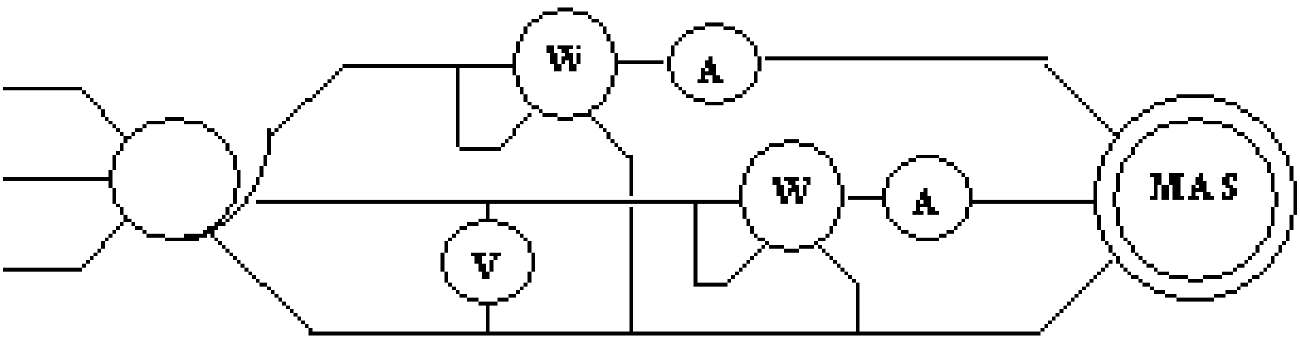









P_a
Puissance absorbée : $P_a = 3V_1.J_1.\cos\varphi$
P_{JS}
Pertes Joule Stator : $P_{JS} = 3R_1.J_1^2$
conversion électromécanique asynchrone idéale
P_{em}
Puissance électromagnétique
P_{JR}
Pertes Joule Rotor : $P_{JR} = 3R_2.J_2^2$
P_m
Puissance mécanique : $P_m = C_m\Omega$
P_F
Pertes {Fer + Frottements}
P_u
Puissance mécanique utile : $P_u = C_u.\Omega$


W
A
W
A
V
MAS