

Chapitre VI : Performances des moteurs asynchrones

1. Introduction :

Les performances des moteurs asynchrones concernent les domaines suivants : Démarrage, variation de la vitesse, freinage et inversion de sens de rotation. Si l'on compare le moteur asynchrone au moteur shunt, on constate que les caractéristiques mécaniques dans leurs parties stables sont identiques, ce qui conduit aux mêmes applications industrielles.

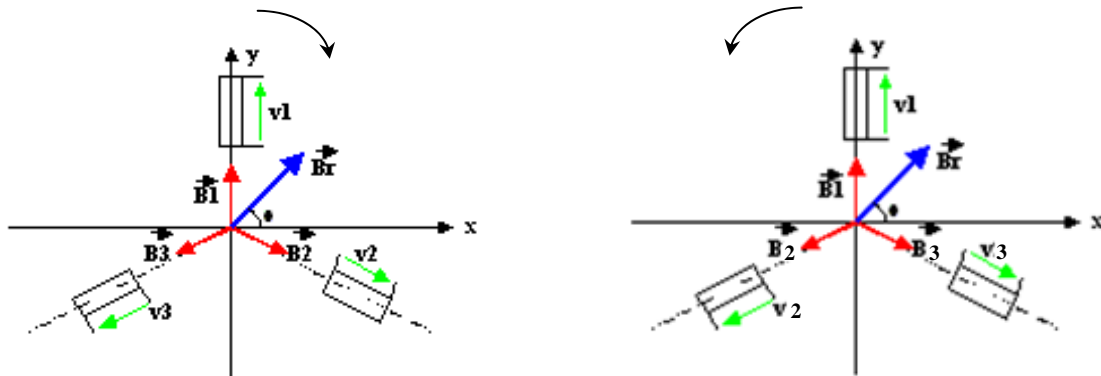
2. Avantages du moteur asynchrone :

Le moteur asynchrone comparé au moteur shunt a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé, son coût est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pas pratiquement d'entretien.

Si on compare les 2 types de moteur asynchrone, le moteur à bagues a plus de possibilité car il peut être alimenté par son stator ou son rotor. Mais malgré cet avantage c'est le moteur cage en raison de sa très grande robustesse qui est le plus utilisé dans l'industrie.

3. Inversion de sens de rotation

Il suffit de croiser 2 des 3 fils d'alimentation au stator, ce qui inverse le sens de rotation du champ tournant et par la suite le sens de rotation du moteur.



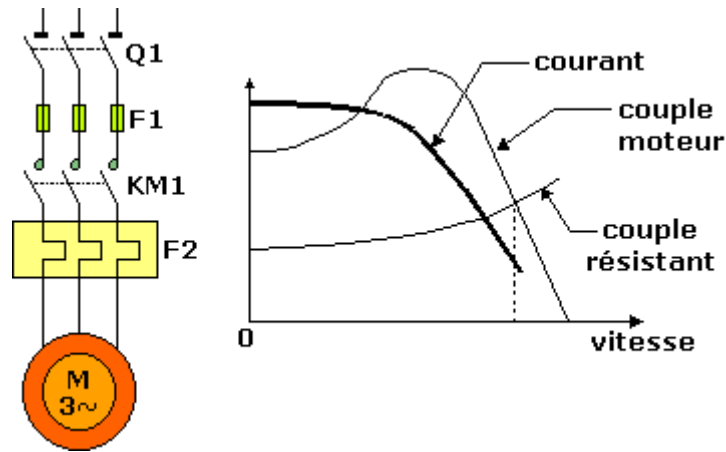
4. Démarrage des moteurs asynchrones triphasés

Au démarrage des moteurs asynchrones se posent 2 problèmes :

- Un faible couple de démarrage c_d
- un fort courant de démarrage I_d

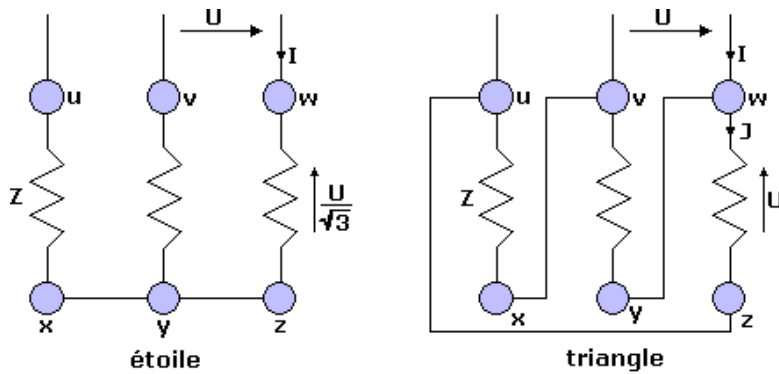
a- Démarrage direct

Ce type de démarrage est réservé aux moteurs de faible puissance devant celle du réseau, ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive. Le couple est énergétique, l'appel de courant est important (5 à 8 fois le courant nominal).

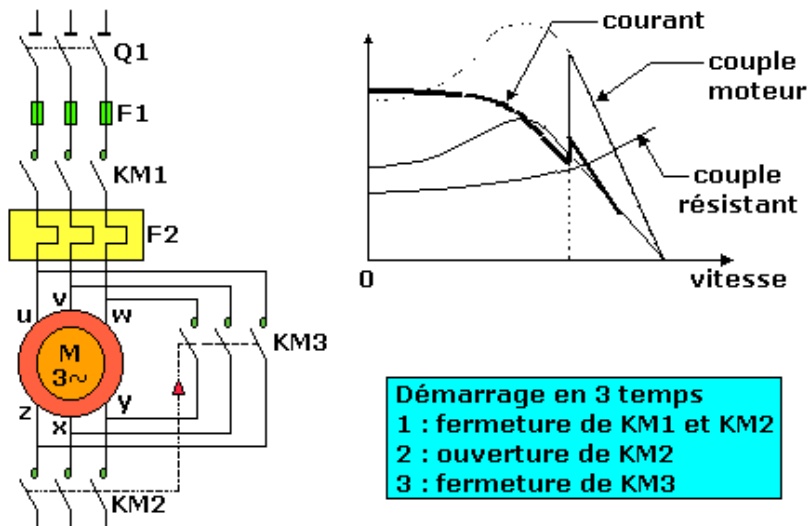


b- Démarrage étoile - triangle

Ce type de démarrage est réservé aux machines démarrant à vide ou dont le couple résistant est faible. L'intensité de démarrage est divisée par 3, mais le couple de démarrage aussi (proportionnel au carré de la tension d'alimentation des enroulements).



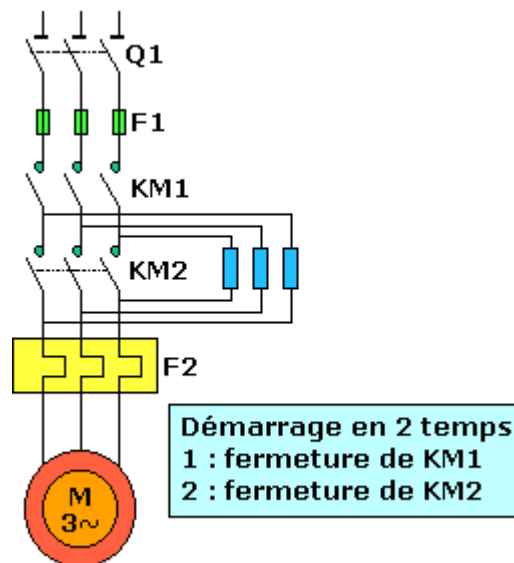
$$I = \frac{U}{\sqrt{3}Z} \quad J = \frac{U}{Z} \quad I = J\sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{U}{Z}$$



Démarrage en 3 temps
 1 : fermeture de KM1 et KM2
 2 : ouverture de KM2
 3 : fermeture de KM3

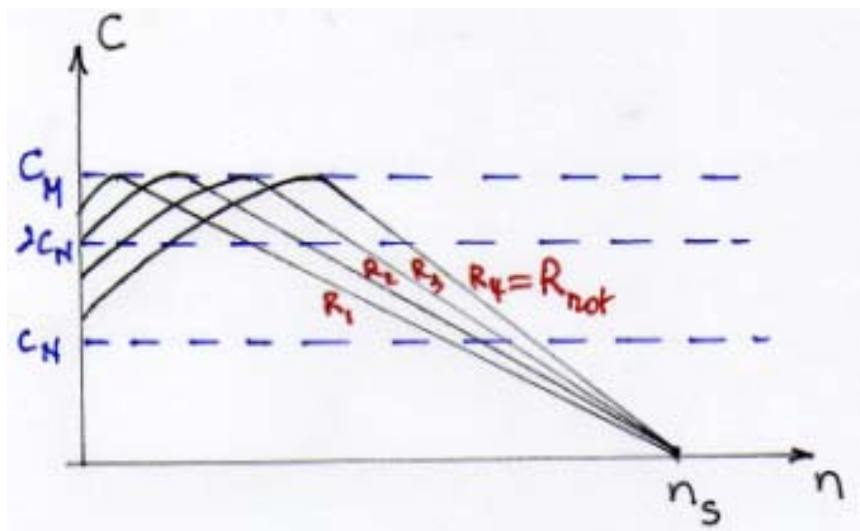
c. Démarrage statorique

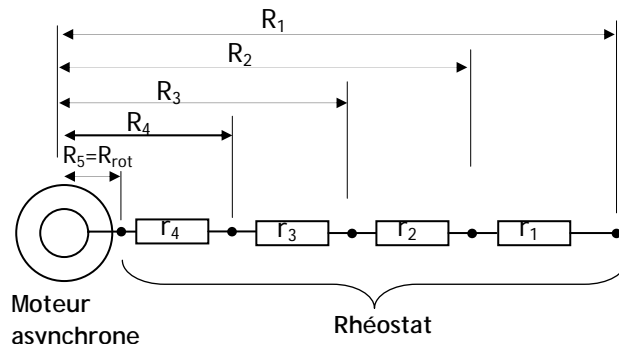
Ce type de démarrage a des caractéristiques comparables au démarrage étoile - triangle. Il n'y a pas de coupure de l'alimentation du moteur entre les deux temps de démarrage.



d. Démarrage rotorique

Le courant de démarrage est limité, sans que le couple soit réduit. Ce type de démarrage nécessite un moteur à bagues (rotor bobiné).



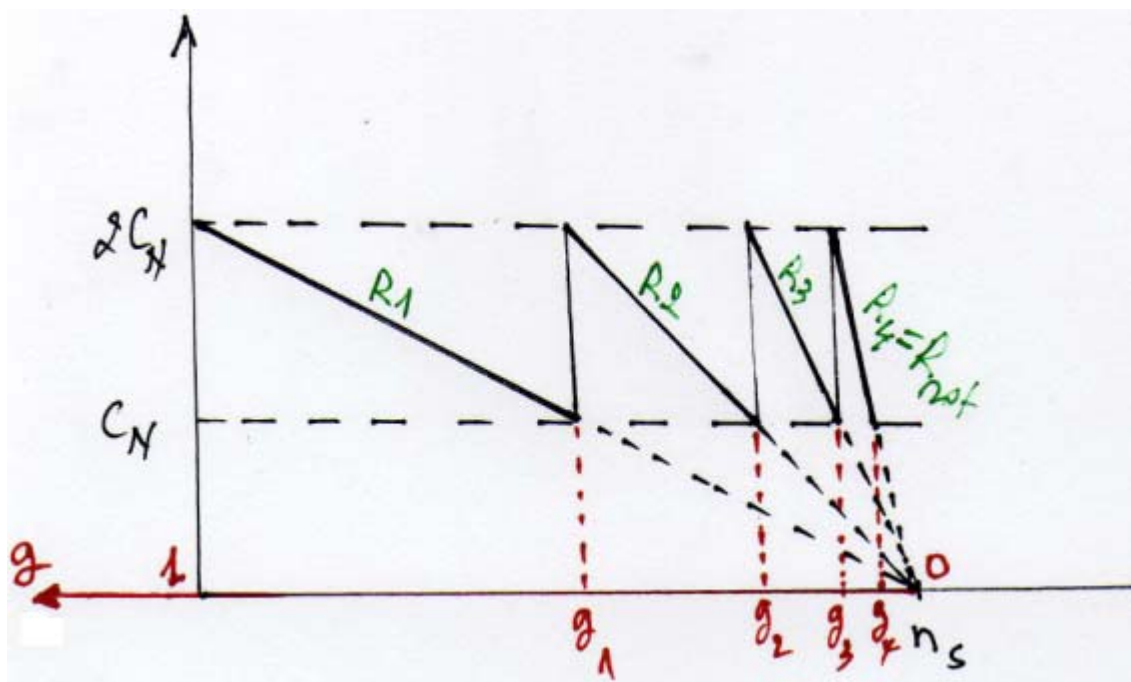


Le couple peut être calculé par l'expression suivante : le couple ne dépend que du rapport R_2/g .

$$C = \frac{3pV_1^2 \frac{R_2'}{g}}{\omega \left[\left(\frac{R_2'}{g} \right)^2 + X'^2 \right]}$$

Au couple maximal constant ($C_{\max} = 2 C_N$), on peut écrire :

$$\frac{R_1}{1} = \frac{R_2}{g_1} = \frac{R_3}{g_2} = \dots = \frac{R_{n-1}}{g_{n-2}} = \frac{R_n}{g_{n-1}}, \text{ ce qui donne : } R_1 = \frac{R_n}{g_{n-1}} = \frac{R_{\text{rotor}}}{g_m}$$



Pour la même résistance on peut écrire :

$$K = \frac{C_M}{C_N} = \frac{1}{g_1} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{g_2}{g_3} = \dots = \frac{g_{n-2}}{g_{n-1}} = \frac{g_{n-1}}{g_n}$$

$$K^n = \frac{1}{g_1} \cdot \frac{g_1}{g_2} \cdot \frac{g_2}{g_3} \cdot \dots \cdot \frac{g_{n-2}}{g_{n-1}} \cdot \frac{g_{n-1}}{g_n} = \frac{1}{g_n}, \text{ ce qui donne le nombre de plots}$$

$$n = \frac{\text{Log } g_n}{\text{Log } k}$$

Au couple nominal constant (C_N), on peut écrire :

$$\frac{R_1}{g_1} = \frac{R_2}{g_2} = \dots = \frac{R_{n-1}}{g_{n-1}} = \frac{R_n}{g_n}, \text{ ce qui donne : } R_n = \frac{g_n}{g_{n-1}} \cdot R_{n-1} = \frac{R_{n-1}}{K}$$

Remarques :

- 1- C_{\max} et C_{\min} sont fixés par le cahier des charges, g_2 et g_3 sont déterminés sur la caractéristique " naturelle " du moteur. Connaissant la valeur de la résistance du bobinage rotorique R_{rot} , on détermine les valeurs des résistances de démarrage.
- 2- Si le nombre de plots n n'est pas un entier naturel, on prend le nombre entier naturel supérieur puis on recalcule la constante K et on continue le calcul pour le rhéostat du démarrage par la même méthode.

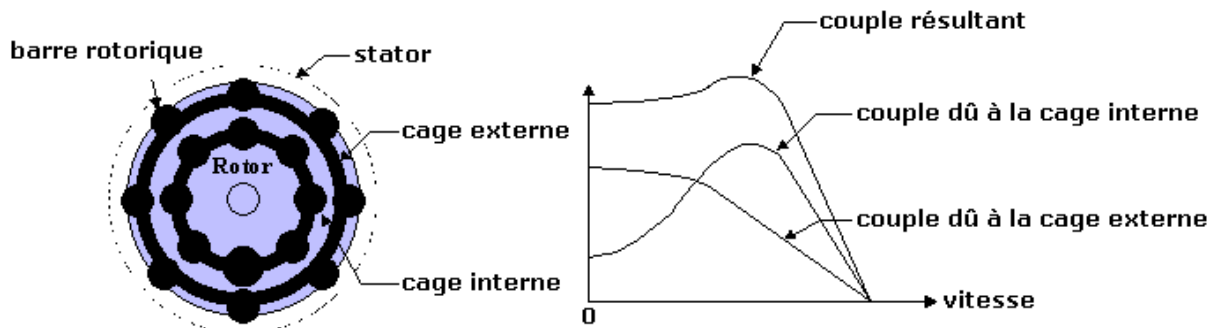
e. Constructions spéciales

Moteur à double cage

La cage externe est plus " résistive " (laiton) $R_{\text{ext}} > R_{\text{int}}$ et $R_{\text{ext}} > X_{\text{ext}}$, la cage interne présente une inductance plus élevée $X_{\text{int}} > X_{\text{ext}}$ (qui dépend de la longueur des lignes magnétiques). Au démarrage, le moteur se comporte comme un transformateur : la fréquence des courants rotoriques est élevée (50Hz). Le courant circule essentiellement dans la cage externe, car l'impédance de la cage interne ($L \cdot \omega$) est plus élevée.

Au fur et à mesure que la vitesse du moteur augmente, la fréquence des courants rotoriques diminue, le courant circule progressivement dans la cage interne.

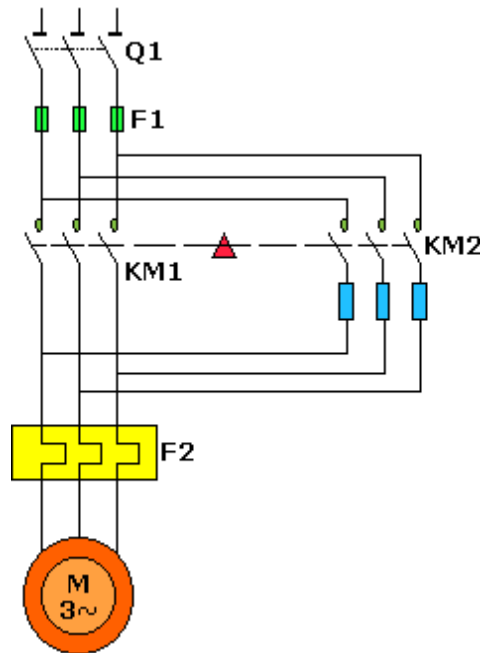
Car $X_{\text{int}} > R_{\text{int}}$



5. Freinage

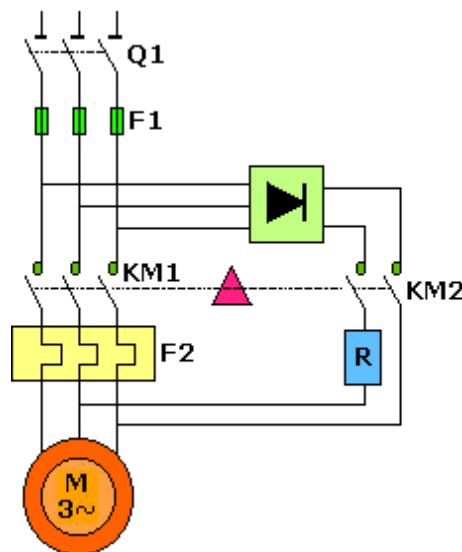
a. Freinage par contre - courant

Lors du freinage, il y a ouverture de KM1 puis fermeture de KM2 : le moteur est alimenté par un champ statorique inverse. Les pointes de courant sont très importantes et il est conseillé d'insérer un jeu de résistances pour limiter ce courant. KM2 doit s'ouvrir dès l'arrêt du moteur, pour éviter un redémarrage en sens inverse : il est donc nécessaire de prévoir un capteur détectant l'absence de rotation (capteur centrifuge).



b. Freinage par injection de courant continu

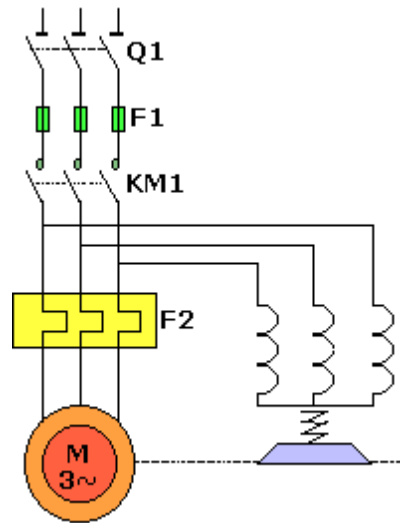
Au moment du freinage, KM1 s'ouvre puis KM2 se ferme. Un courant continu est envoyé dans le stator. Le moteur se comporte comme un alternateur dont l'inducteur est constitué par le stator, l'induit par le rotor en court - circuit.



c. Moteur frein

Le moteur est muni d'un frein électromagnétique à disque monté du côté opposé à l'arbre

de sortie. En l'absence de courant (ouverture de KM1 ou coupure du réseau), un ressort de rappel permet d'assurer le freinage. C'est un élément important de sécurité, en particulier dans les applications de levage.



6. Réglage de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones triphasés

Introduction

La pulsation du rotor d'un moteur asynchrone est :

$$\Omega = \Omega_s (1 - g) = \frac{\omega}{p} (1 - g) = \frac{2 \times \pi \times f}{p} (1 - g)$$

avec

g : glissement

p : nombre de paires de pôles

Ω : pulsation du rotor (en rd/s)

Ω_s : pulsation de synchronisme (en rd/s)

f : fréquence de la tension (Hz)

ω : pulsation de la tension (rd/s)

Le réglage de la vitesse de rotation du moteur peut donc être obtenu par :

1- Action sur le nombre de paires de pôles

- machines à bobinage primaire unique
- machines à plusieurs bobinages primaires (machines à enroulements séparés)

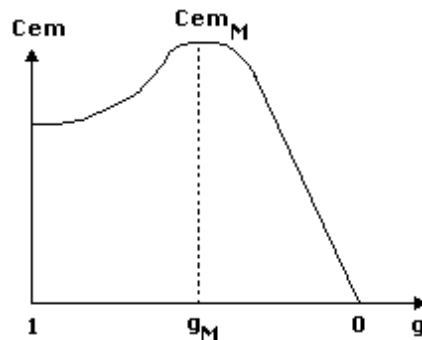
2- Action sur la fréquence de la tension d'alimentation statorique

- convertisseurs de fréquence électromécaniques (gros alternateur pilotant plusieurs moteurs asynchrones tournant à la même vitesse)
- convertisseurs statiques (onduleurs de courant, de tension, M.L.I, contrôle vectoriel de flux, cycloconvertisseurs)

3- Action sur le glissement

- action sur la tension d'alimentation statorique (autotransformateur, gradateur)
- rhéostat de glissement au rotor
- cascade de récupération (cascade hyposynchrone)

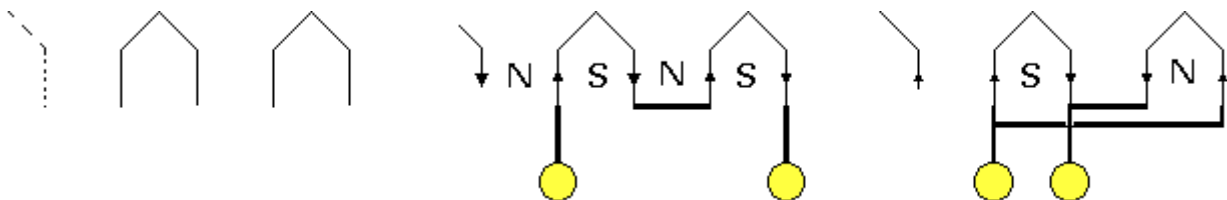
Ce résultat montre qu'il est possible d'obtenir le couple maximal, pour différentes vitesses de rotation, à condition que le rapport tension d'alimentation / fréquence de la tension soit constant (U/f constant).



a- Action sur le nombre de paires de pôles

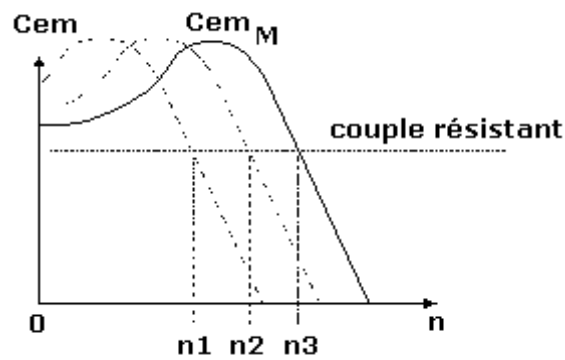
Couplage d'enroulements

Principe : ce type de moteur possède 2 bobinages distincts par phase, qui peuvent être couplés en série (4 pôles) ou en parallèle (2 pôles).

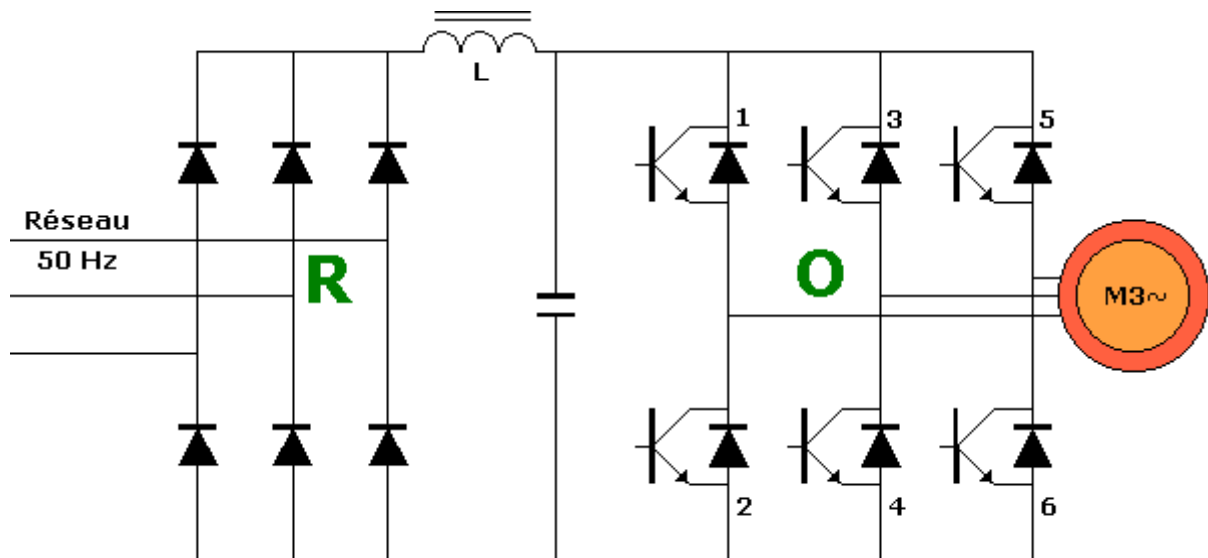


b. Action sur la fréquence de la tension statorique

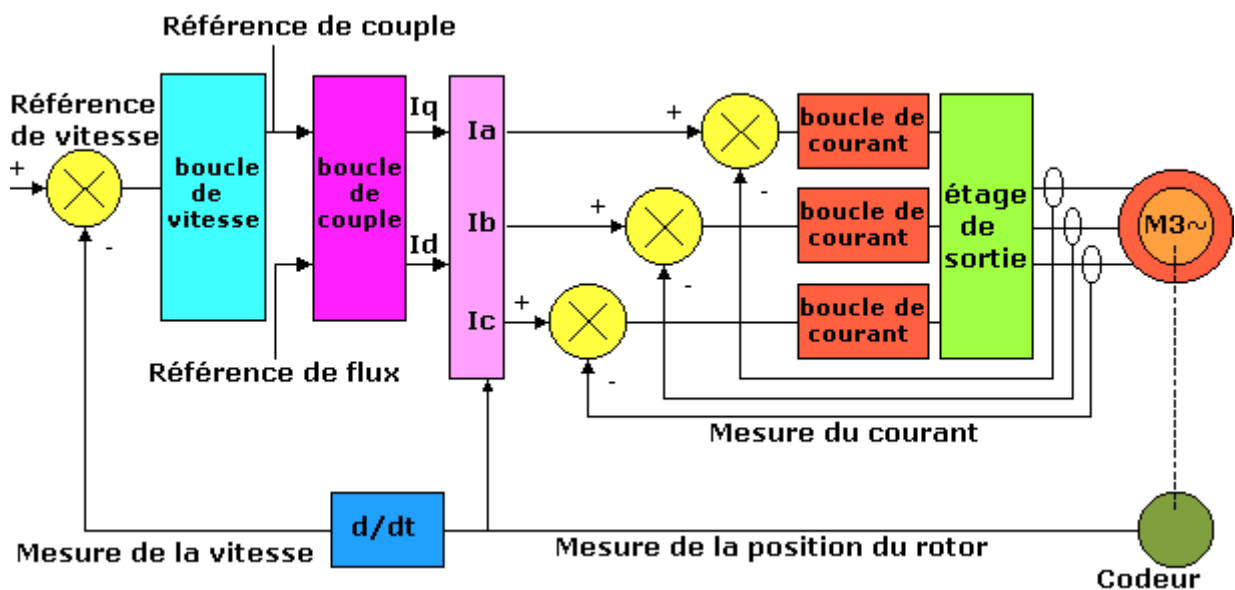
Le convertisseur statique de type " onduleur " permet un fonctionnement du moteur avec un couple maximal, par action simultanée sur la fréquence et sur l'amplitude de la tension statorique, avec conservation du rapport U/f



Convertisseur à onde de tension



Le filtre L-C, associé au pont redresseur à diodes constitue une source de tension. L'onduleur à transistors génère une succession d'impulsions de tension, le moteur, inductif par nature, lisse le courant. Ce dernier est pratiquement sinusoïdal.

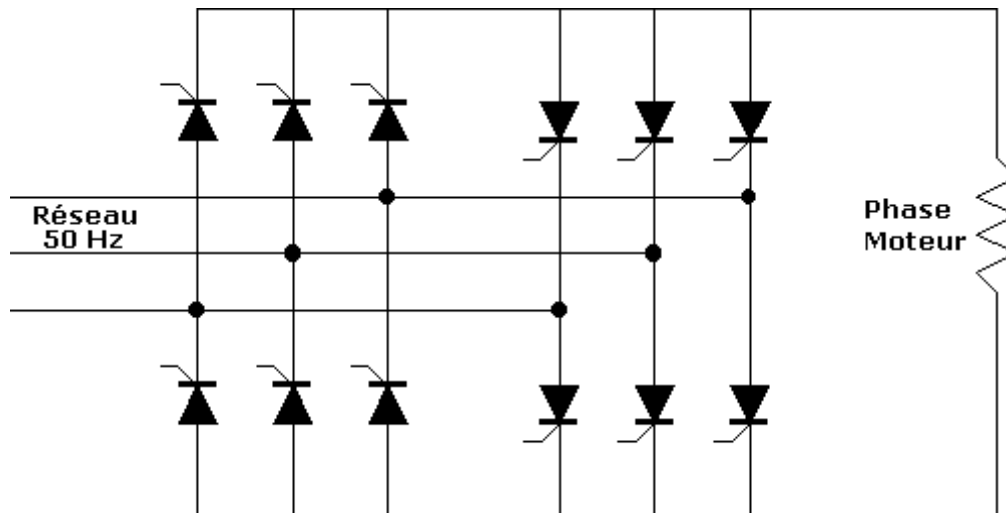


Ce type de pilotage permet un excellent contrôle des paramètres couple et vitesse. Le couple est très élevé (supérieur au couple nominal) même à vitesse nulle.

Cycloconvertisseur :

C'est un convertisseur de fréquence, dont la fréquence de sortie est faible devant celle du réseau d'alimentation (1/3 maximum). Le montage complet nécessite 36 thyristors pour une machine triphasée.

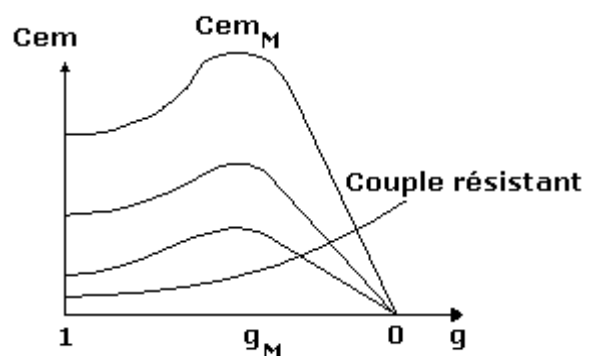
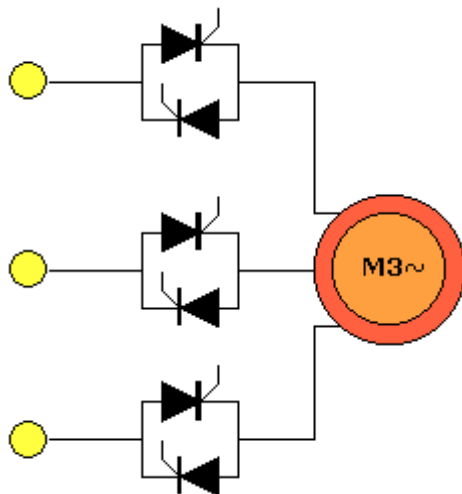
Etude simplifiée pour une phase du moteur :



c. Action sur le glissement

Gradateur :

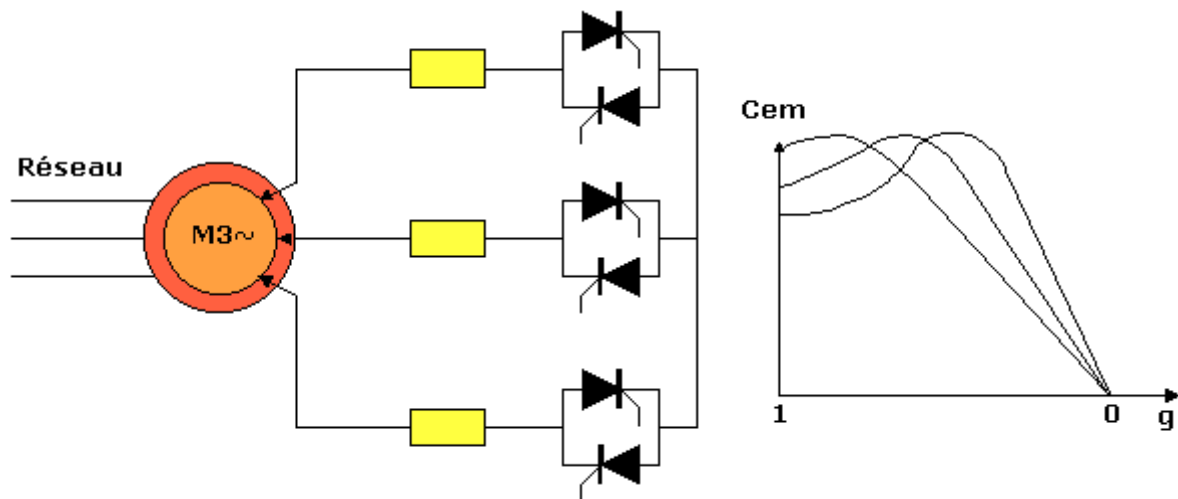
L'action se fait sur la tension statorique.



Du fait de sa faible plage de variation de vitesse sur moteur à cage standard, le gradateur statorique est surtout utilisé comme procédé de démarrage sur des machines dont le couple résistant est de type parabolique.

Rhéostat de glissement rotorique :

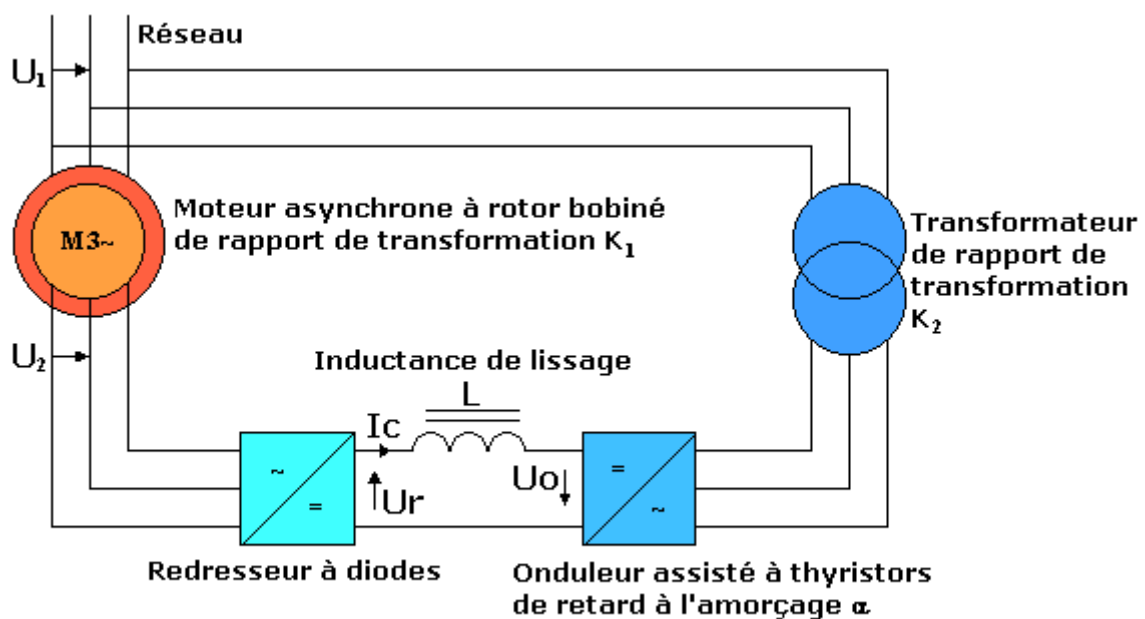
Cette technique est utilisée sur moteur à rotor bobiné.



Le couple peut être maximal dans toute la plage de variation de vitesse, mais les pertes dans le rhéostat rotorique sont d'autant plus importantes que la vitesse du moteur est faible.

Cascade hyposynchrone :

Cette technique est utilisée sur moteur à rotor bobiné.



Le transformateur est choisi avec un rapport de transformation permettant le glissement maximal souhaité.

La récupération de l'énergie rotorique assure un excellent rendement, voisin de celui du moteur seul.

Le facteur de puissance de la cascade est plus faible que celui du moteur seul et il y a nécessité de le relever avec une batterie de condensateurs.

La cascade ne peut démarrer seule : il est nécessaire de prévoir un dispositif annexe de démarrage par résistances rotoriques.