

Entraînement à vitesse variable de la machine asynchrone

Démarreur à base de gradateur

Hacheur rotorique

Cascade hyposynchrone

Démarrateur à base de gradateur

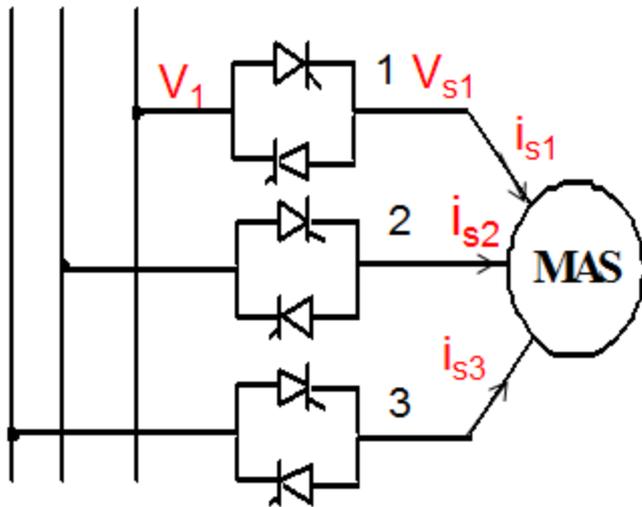
Principe du procédé :

L'expression du couple donnée par la relation :
$$T_{em} = \frac{3}{\Omega_s} \frac{gR_r}{R_r^2 + (gL_r\omega)^2} V^2$$

montre que ce dernier est proportionnel **au carré de la tension statorique**. La **variation de V modifie la caractéristique** $T_{em}(N)$.

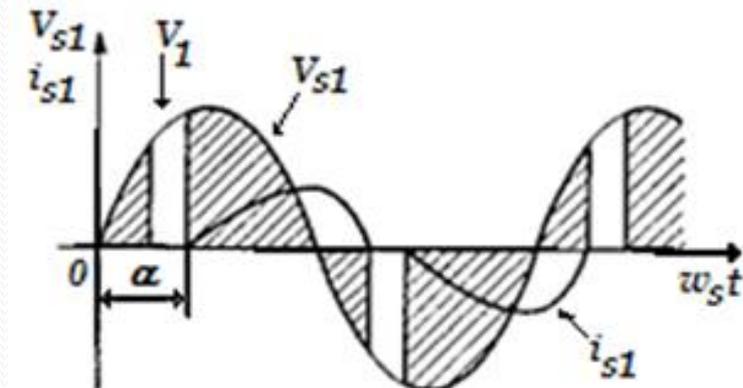
Pour varier **l'amplitude** de la tension statorique, on **intercale** entre le réseau et le stator un convertisseur à thyristors, appelé **gradateur**, dont un des schémas est constitué par trois ensembles de deux thyristors montés en tête-bêche.

380V, 50Hz



MAS alimentée par un gradateur triphasé

Le gradateur permet, en fonction de l'angle d'amorçage des thyristors, de délivrer une tension découpée **dont la valeur efficace varie** (la fréquence reste fixe).



Démarrateur à base de gradateur

Principe de fonctionnement :

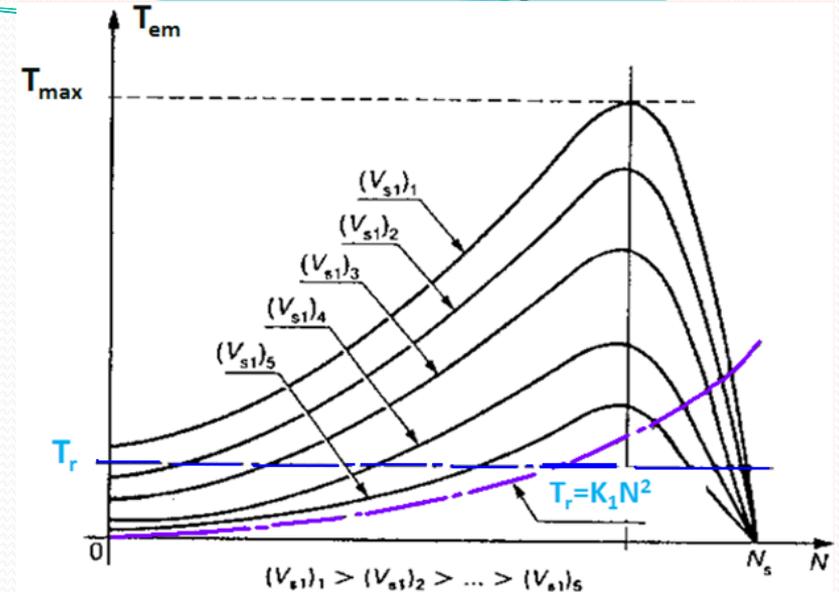
Les **intersections** avec la courbe $T_r(N)$ du couple résistant imposé sur l'arbre du moteur en fonction de la vitesse montrent que **la vitesse évolue avec la tension**.

Cette variation de vitesse sera d'autant plus grande que la pente de $T_{em}(N)$, au voisinage de la vitesse de synchronisme N_s , sera **plus faible**.

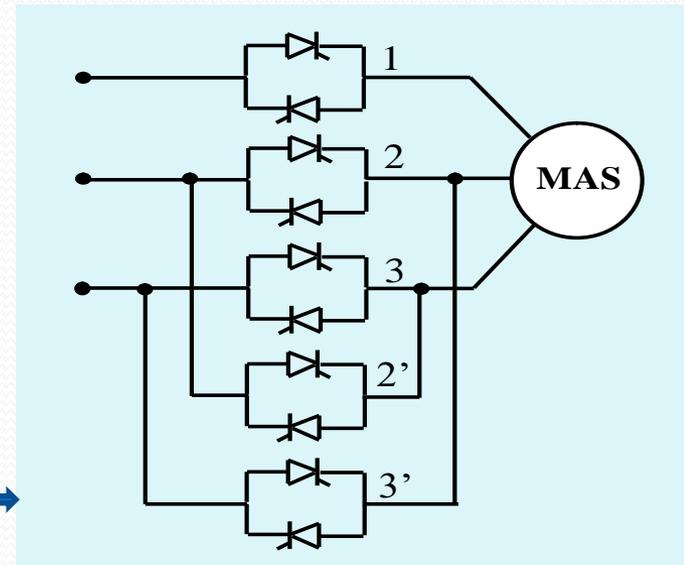
Le **freinage en génératrice** asynchrone s'obtient pour $\alpha' = \pi - \alpha$

Cette opération est possible à l'aide de deux éléments supplémentaires (figure), les ensembles de thyristors 2' et 3' étant utilisés à la place des ensembles 2 et 3. Elle s'effectue sous faible tension, donc à faible vitesse pour éviter les surintensités

Montage pour assurer l'inversion du sens de rotation



Caractéristiques couple/vitesse



Performances et champ d'application :

Avantages :

L'association gradateur - moteur asynchrone présente les **avantages** suivants :

- Simplicité du montage;
- Commutation naturelle des composants;
- Utilisation de moteurs à cage;
- Fonctionnement dans les quatre quadrants du plan couple/vitesse.

Inconvénients :

L'association gradateur - moteur asynchrone est caractérisée par deux principaux

inconvénients :

- faible variation de vitesse,
- utilisation limitée aux faibles puissances (qlq 10 kW), en raison de la dégradation du rendement avec la diminution de vitesse.

Applications :

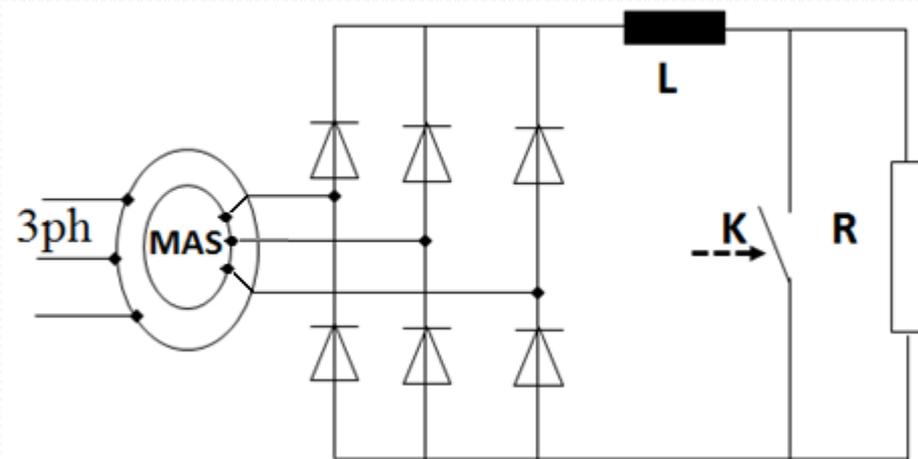
Les principales applications sont : la ventilation et le pompage.

Hacheur rotorique

A l'âge de l'électronique de puissance, le procédé de variation de vitesse **par un rhéostat est abandonné**. A la **variation discrète** de la résistance rotorique s'est substituée une **variation continue** par le biais de l'utilisation d'un **hacheur rotorique**.

On réalise ainsi un montage complètement électronique en raccordant un redresseur, un hacheur et une résistance R dans le circuit du rotor.

Schéma de principe d'un hacheur rotorique



- ✓ L'ensemble se comporte comme une résistance variable. La résistance ramenée à chaque phase du rotor vaut : $\frac{\pi^2}{18}(1-\alpha)R$
- ✓ La fréquence du hacheur est fixée à une valeur assez élevée par rapport à la fréquence de commutation du redresseur et le rapport cyclique α , de l'interrupteur commandé K, est variable.
- ✓ Ainsi la variation continue du rapport cyclique permet de varier, d'une façon continue et parfaitement identique, les résistances des trois phases rotoriques.

Avantages :

Le hacheur rotorique apporte plusieurs améliorations par rapport au rhéostat à savoir :

- ✓ variation continue de la vitesse ;
- ✓ élimination des relais ;
- ✓ élimination des à coups mécaniques (démarrage doux) et tout fonctionnement déséquilibré ;
- ✓ facilite de mise en œuvre de boucles de régulation.

Inconvénients :

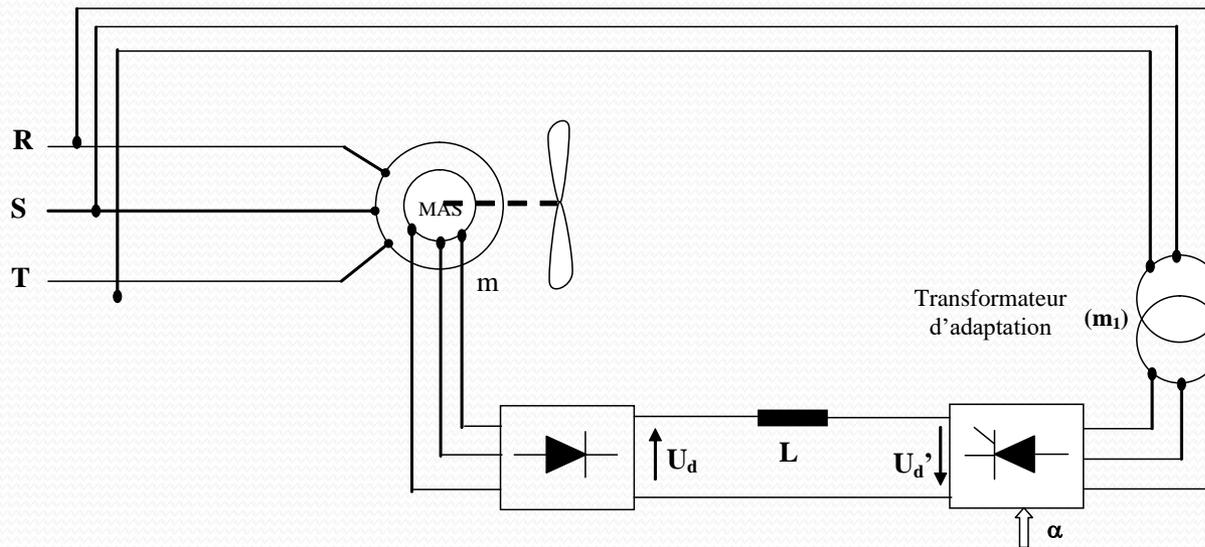
Toutefois, le hacheur rotorique occasionne une **dégradation de l'énergie électrique**. Pour récupérer cette énergie électrique, lors d'une action rotorique on doit remplacer la charge passive du rotor par une charge active, qui peut être le réseau à travers un convertisseur de fréquence c'est la cascade hyposynchrone.

Cascade hyposynchrone:

Principe:

L'idée de la cascade hyposynchrone est **de récupérer l'énergie dissipée au rotor en la renvoyant sur le réseau d'alimentation**. Le **rendement** sera donc très **élevé** (de 0,9 à 0,95).

La puissance électrique fournie au stator P_a , elle est aussi la puissance transmise au rotor. La puissance électrique disponible au rotor est $P_2 = gP_a$ à la **fréquence gf_s variable**, ce qui nécessite un convertisseur de fréquence (redresseur à diodes et onduleur à thyristors) (voir figure). Le contrôle de P_2 se fait par celui de l'angle d'amorçage α de l'onduleur.



Cascade hyposynchrone:

Principe de fonctionnement :

A l'arrêt, la valeur efficace de la tension par phase au rotor est sensiblement $V_r = mV_s$.

A la **vitesse N**, correspond à un **glissement g**, cette tension vaut **gV_r** . En négligeant les chutes de la tension dans le rotor, la tension moyenne en sortie du redresseur vaut :

$$U_d = 3\sqrt{6} \frac{V_r}{\pi} = 3\sqrt{6}mV_s \frac{g}{\pi} \quad (1)$$

Tandis que la **valeur efficace du courant par phase** au rotor est donnée par :

$$I_r = \sqrt{6} \frac{I_d}{\pi} \quad (2)$$

Cascade hyposynchrone:

Principe de fonctionnement :

Les tensions moyennes en aval du redresseur et en amont de l'onduleur sont reliées par :

$$U_d + U'_d = 0 \quad (3)$$

En introduisant le **rapport de transformation** m_1 du transformateur, cette relation s'écrit sous la forme :

$$\frac{3\sqrt{6}mV_s g}{\pi} + \frac{3\sqrt{6}m_1 V_s \cos\alpha}{\pi} = 0 \quad (4)$$

Le **glissement** est donc relié à **l'angle d'amorçage** de l'onduleur par :

$$g = -\frac{m_1}{m} \cos\alpha \quad (5)$$

Pour éviter c/c en onduleur, on limite α à 150° , ce qui définit :

$$g_M = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{m_1}{m} \quad (6)$$

Cascade hyposynchrone:

Principe de fonctionnement :

Le **choix** de m_1 est guidé, pour un moteur donné, par la plage de variation de vitesse désirée. Pour une application, g_M est **défini**. Pour que **le facteur de puissance**, côté onduleur, soit optimal, il convient de travailler avec un angle α **maximal** ($\alpha=150^\circ$), ce qui, pour un moteur donné (m), permet de définir le rapport de transformation m_1 .

En négligeant les pertes dans le rotor et dans le redresseur, le principe de conservation des puissances conduit aux relations :

$$gP_a = U_d I_d = 2\pi N_s T_{em} g = \frac{3\sqrt{6}mV_s g I_d}{\pi} \quad (7)$$

On en déduit le **couple électromagnétique** :

$$T_{em} = \frac{3\sqrt{6}mV_s}{2\pi^2 N_s} I_d \quad (8)$$

Ainsi, T_{em} est l'image de I_d ; donc la **variation** de α **modifie** U'_d , I_d donc **le couple**, et par suite, **la vitesse** de rotation.

Cascade hyposynchrone:

- Performances

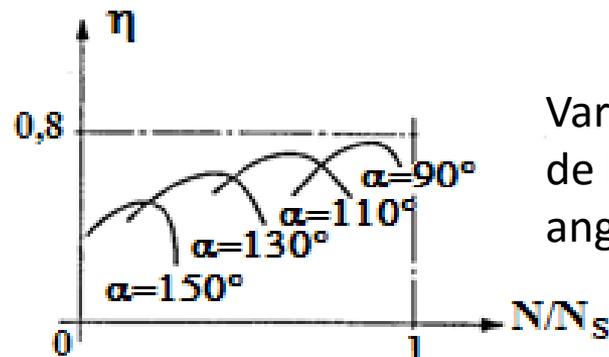
a - Facteur de puissance

- En fonction de la vitesse pour couple électromagnétique nominal et les quatre fonctionnements considérés :

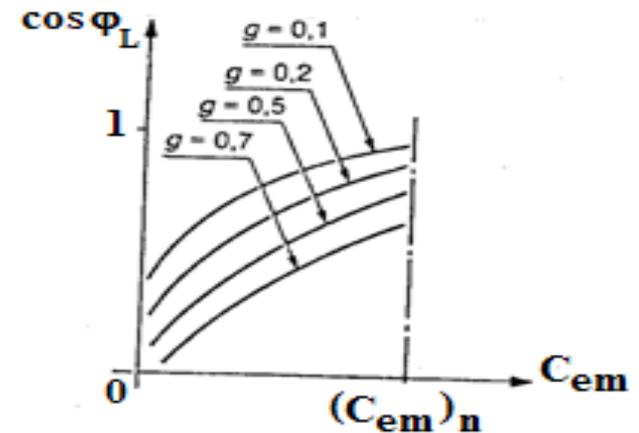
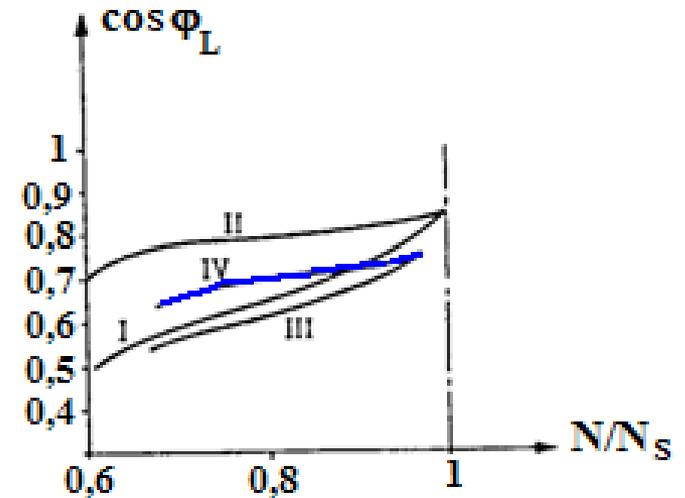
- I MCC avec $T_L = a N^2$
- II cascade hyposynchrone avec $T_L = a N^2$
- III MAS avec résistances au rotor
- IV MCC et cascade hyposynchrone avec $T_L = Cte$

- En fonction du couple électromagnétique pour un couple résistant constant et diverses valeurs du glissement de la cascade

b - Rendement :



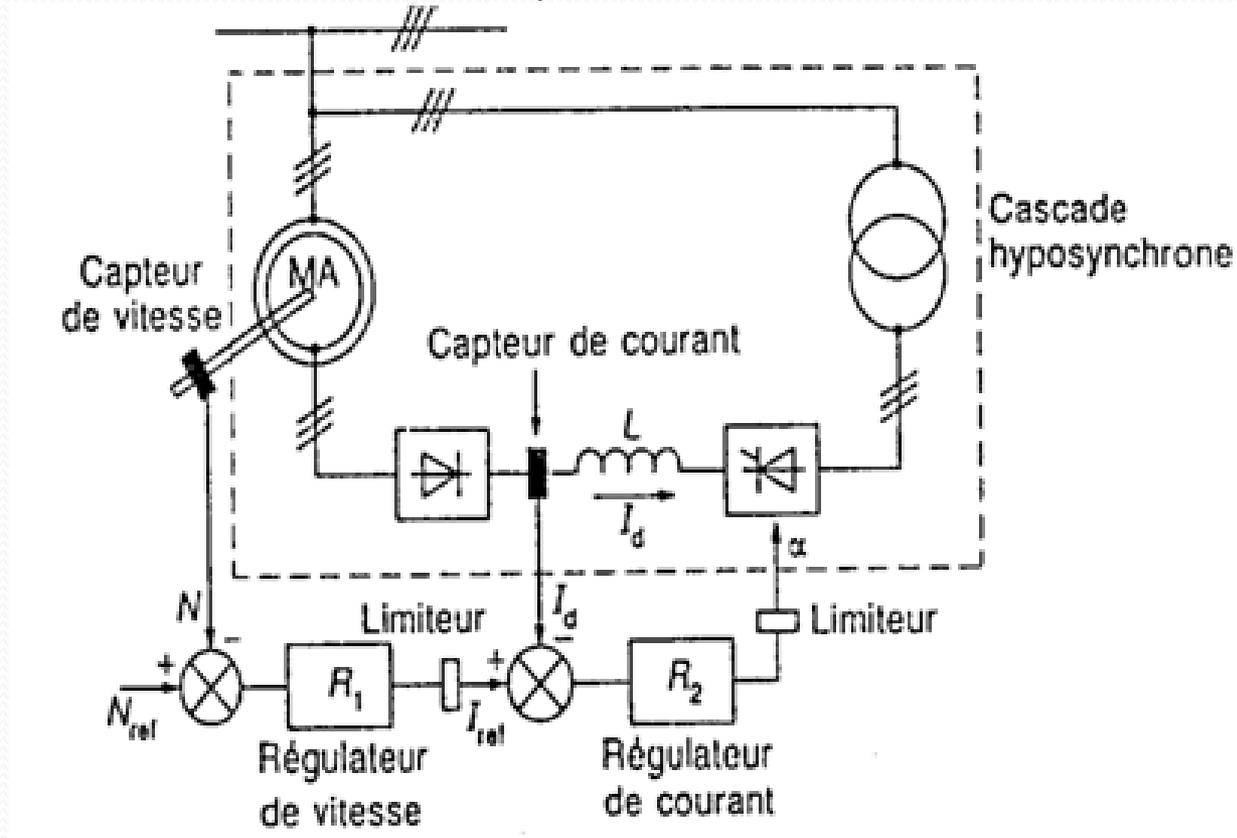
Variation du rendement en fonction de la vitesse pour divers angles de commande de l'onduleur



Cascade hyposynchrone:

Asservissement :

Le courant I_d étant une image du couple, l'asservissement se réalise selon un schéma en cascade, la grandeur de commande étant l'angle d'amorçage α de l'onduleur (figure). Le calcul des régulateurs s'effectue comme pour une machine à courant continu.



Régulation de vitesse et de courant

Cascade hyposynchrone:

- Avantages :

- ✓ une plage de variation de vitesse continue;
- ✓ un bon rendement (95%);
- ✓ de nombreuses possibilités de régulation automatique ;
- ✓ le réseau des caractéristiques couple/vitesse s'approche du réseau idéal si les plages de variations de vitesse et du couple ne sont pas très grandes.

- Inconvénients :

Elle ne s'utilise qu'avec un moteur asynchrone à bagues ;

- ✓ la vitesse maximale ne peut dépasser celle de synchronisme ;
- ✓ le facteur de puissance est dégradé /au fonctionnement normal.
- ✓ la limitation du couple de démarrage.
- ✓ L'utilisation d'un équipement auxiliaire de démarrage, entraîne des contraintes de poids, encombrement,...etc.

- Applications :

La cascade hyposynchrone est **intéressante** pour des applications de **grande puissance ne nécessitant pas un réglage sur une plage large** ($0,6N_s$ à N_s) et de préférence à couple résistant qui croît rapidement avec la vitesse (**pompes, ventilateurs, compresseurs,...**).



FIN