Entrainement à vitesse variable de la machine asynchrone

Contrôle scalaire

➢ *Modèle équivalent en régime permanent :*

Le modèle de Park de la machine asynchrone est décrit par les équations suivantes :

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\psi_{ds} - \omega_e \psi_{qs} \qquad (1)$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\psi_{qs} + \omega_e \psi_{ds} \qquad (2)$$

$$0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\psi_{dr} - (\omega_e - \omega_r)\psi_{qr} \qquad (3)$$

$$0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\psi_{qr} + (\omega_e - \omega_r)\psi_{dr} \qquad (4)$$

En régime permanent **les dérivées des grandeurs des axes d et q sont nulles** et les équations (C1) à (C4) deviennent :

$$\boxed{\begin{aligned} V_s &= R_s I_s + j\omega_e \psi_s \\ 0 &= R_r I_r + jg\omega_e \psi_r \end{aligned}} \qquad \begin{aligned} (5) \\ (6) \end{aligned}$$

Où : V_s, I_s , I_r, ψ_s, ψ_r sont les amplitudes complexes et **g** est le glissement.

Modèle équivalent en régime permanent :

En ajoutant à ces deux dernières équations les équations des flux :

$$\psi_s = L_s I_s + M I_r \qquad (7)$$

$$\psi_r = M I_s + L_r I_r \qquad (8)$$

Par élimination de Ψ_s et Ψ_r dans les équations (5) et (6), nous obtenons :

$$V_s = R_s I_s + j\omega_e L_s I_s + jM\omega_e I_r \qquad (9)$$

$$0 = \left(\frac{R_r}{g}\right) I_r + j\omega_e L_r I_r + jM\omega_e I_s \qquad (10)$$

Les inductances cycliques $\mathbf{L_s}$ **et** $\mathbf{L_r}$ s'écrivent de la manière suivante :

$$L_s = L_{sl} + M \qquad (11)$$

$$L_r = L_{rl} + M \qquad (12)$$

Où L_{sl} et L_{rl} et sont les inductances de fuites.

Modèle équivalent en régime permanent

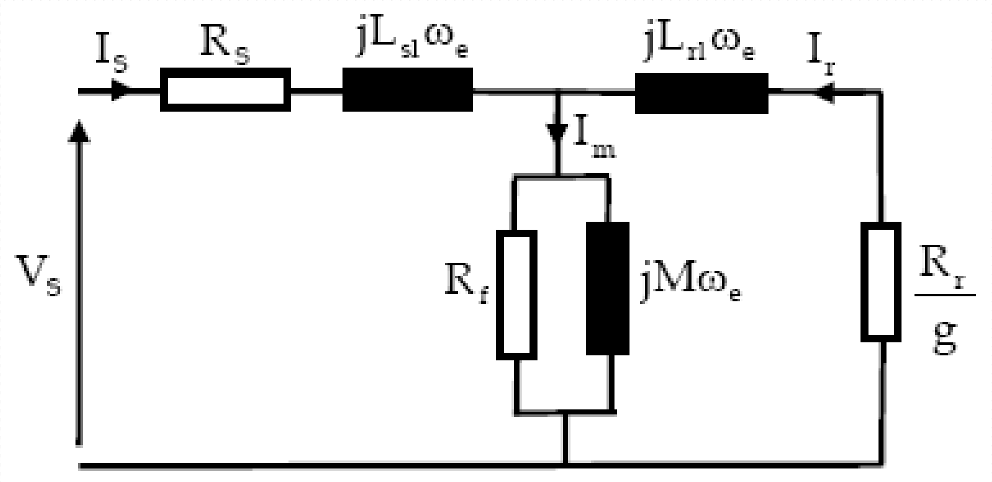
Les équations (C9) et (C10) deviennent :

$$V_s = R_s I_s + j\omega_e L_{sl} I_s + jM\omega_e I_m \qquad (13)$$

$$0 = \left(\frac{R_r}{g}\right) I_r + j\omega_e L_{rl} I_r + jM\omega_e I_m \qquad (14)$$

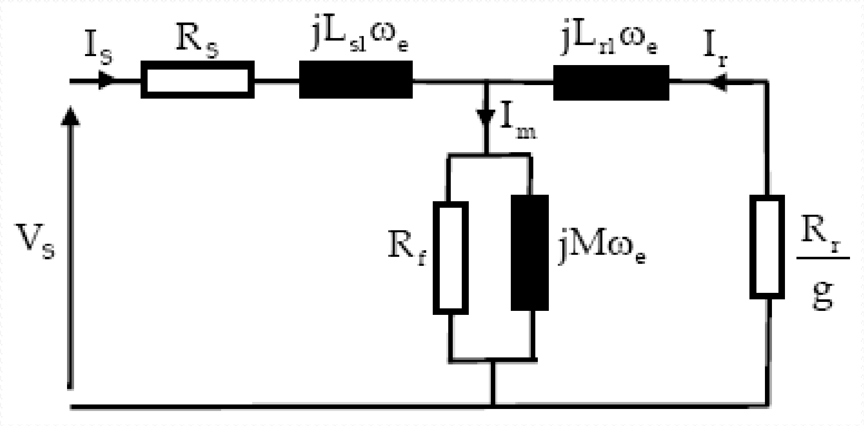
Où $I_m = I_s + I_r$ est le courant magnétisant.

Les équations (13) et (14) sont traduites par le schéma équivalent par phase statorique donné par la figure suivante. La résistance R_f modélise les pertes fer.

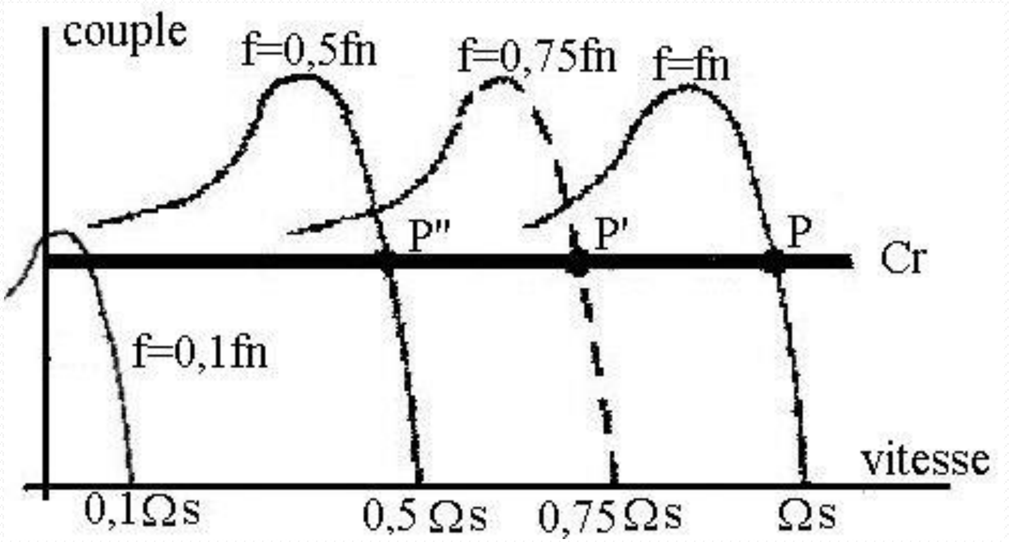


Contrôle scalaire de la machine asynchrone

Limite du modèle utilisé



Conséquence sur la caractéristique $T_{em} = f(\Omega)$ à basse vitesse



Contrôle du flux à partir des courants statoriques :

La machine est étudiée en **régime permanent** et toutes les grandeurs électromagnétiques sont représentés par leurs amplitudes complexes :

$$\mathbf{\bar{X} = X_d + jX_q}$$

Dans un repère lié au rotor, l'équation du circuit rotorique en régime permanent s'écrit :

$$\mathbf{R_r \bar{I}_r + j\omega_{sl} L_r \bar{I}_r + j\omega_{sl} M \bar{I}_s = 0} \qquad (1)$$

Les expressions des flux statorique et rotorique sont données par :

$$\mathbf{\bar{\psi}_s = L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r} \qquad (2)$$

$$\mathbf{\bar{\psi}_r = L_s \bar{I}_r + M \bar{I}_s} \qquad (3)$$

Contrôle du flux à partir des courants statoriques :

A partir des équations (1) et (2), on en déduit :

$$\left.\begin{array}{l} R_r\bar{I}_r + j\omega_{sl}L_r\bar{I}_r + j\omega_{sl}L_m\bar{I}_s = 0 \\ \bar{\psi}_s = L_s\,\bar{I}_s + M\,\bar{I}_r \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} \bar{I}_r = -\dfrac{jM\omega_{sl}}{R_r + jL_r\omega_{sl}}\,\bar{I}_s \\ \bar{\psi}_s = L_s\,\dfrac{R_r + jL_r\sigma\omega_{sl}}{R_r + jL_r\omega_{sl}}\,\bar{I}_s \end{array}\right.$$

D'où l'expression du flux en fonction du module du courant statorique :

$$\boxed{I_s = \frac{\psi_s}{L_s}\sqrt{\frac{1+(\omega_{sl}T_r)^2}{1+(\sigma\omega_{sl}T_r)^2}}}$$

avec Ψ_s la norme du flux statorique dans le référentiel d,q et I_s celle des courants statoriques.

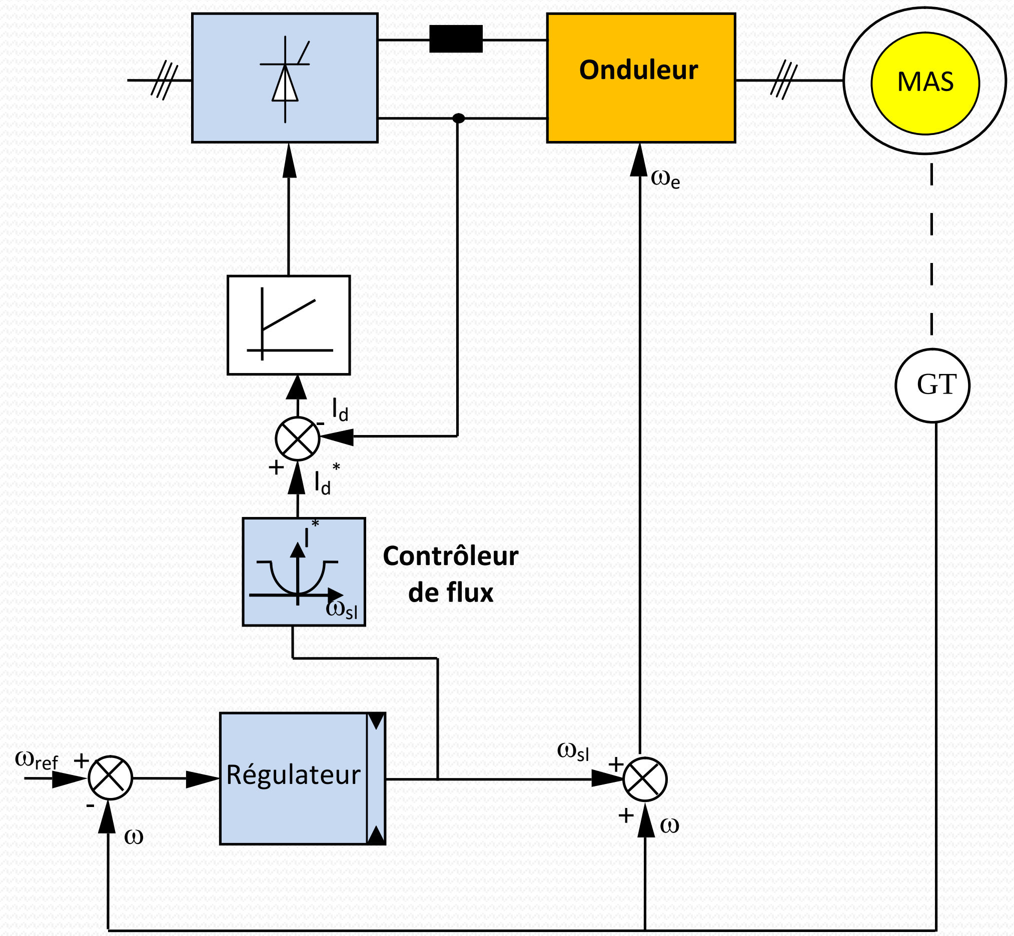
La pulsation rotorique est imposée par la relation d'autopilotage :

$$\boxed{\omega_{sl} = \omega_e - n_p\Omega}$$

Contrôle scalaire de la machine asynchrone

Contrôle du flux à partir des courants statoriques :

La figure suivante donne le schéma de la régulation de vitesse d'une machine asynchrone en utilisant la commande scalaire avec contrôle du flux statorique à partir des courants statoriques.



Autopilotage et commande scalaire avec alimentation en courant.

$$I_s = \frac{\psi_s^*}{L_s}\sqrt{\frac{1+(\omega_{sl}T_r)^2}{1+(\sigma\omega_{sl}T_r)^2}}$$

Contrôle du flux à partir des tensions statoriques :

En régime permanent et dans un repère lié au stator :

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_e L_s \bar{I}_s + j\omega_e M \bar{I}_r \qquad \text{Or :} \qquad \bar{I}_r = -\frac{jM\omega_{sl}}{R_r + jL_r\omega_{sl}} \bar{I}_s$$

D'où :

$$\bar{V}_s = \frac{R_s}{1 + jT_r\omega_{sl}} [(1 - \sigma \frac{L_s L_r}{R_s R_r} \omega_{sl}\omega_e + j(T_r\omega_{es} + T_s\omega_e)] \bar{I}_s$$

Sachant :

$$I_s = \frac{\psi_s}{L_s} \sqrt{\frac{1 + (\omega_{sl} T_r)^2}{1 + (\sigma\omega_{sl} T_r)^2}}$$

On aboutit à la loi de commande à flux statorique constant pour des machines alimentées en tension :

$$\boxed{V_s = \psi_s \frac{R_s}{L_s} \sqrt{\frac{(1 - \sigma T_s T_r \omega_{sl}\omega_e)^2 + (T_r\omega_{sl} + T_s\omega_e)^2}{1 + (\sigma\omega_{sl} T_r)^2}}}$$

Contrôle du flux à partir des tensions statoriques :

Cette dernière loi permet de maintenir le flux constant. Mais elle est trop complexe peut être exploitée sans moyen de calcul puisant. Elle doit être simplifiée.

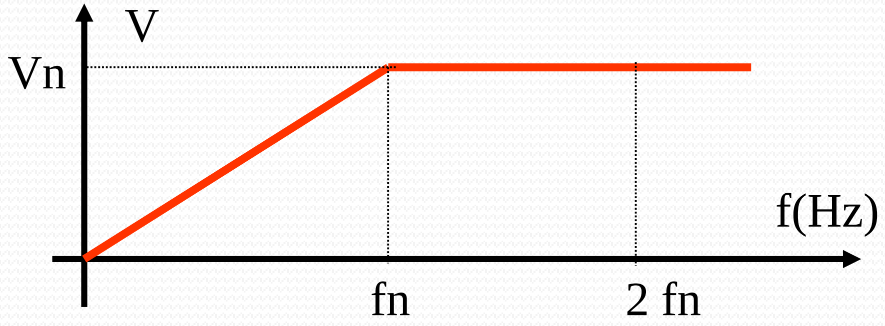
- ✓ Si la pulsation rotorique est très faible, alors :

$$V_s = \psi_s \omega_e \sqrt{1 + (\frac{R_s}{\omega_e L_s})^2}$$

- ✓ Si, de plus, R_s est négligeable, alors :

$$V_s = \psi_s \omega_e$$

Ce qui caractérise une loi en V/f = cste

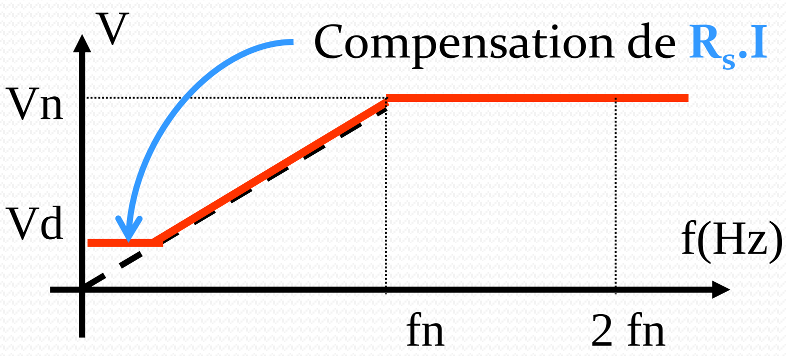


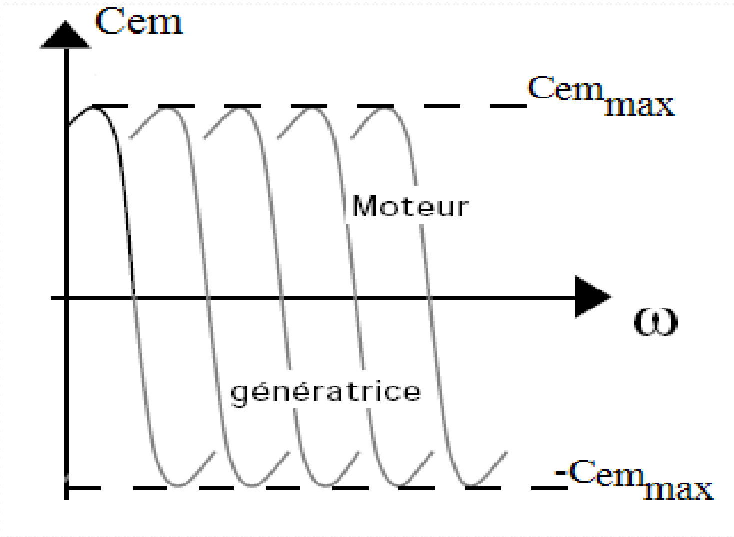
Contrôle scalaire de la machine asynchrone

Contrôle du flux à partir des tensions statoriques :

Si la **fréquence statorique diminue**, les réactances de fuite décroissent. Par contre les résistances demeurent à peu près constantes. Le terme **R_sI_s n'est pas négligeable**. Une régulation en V/f à de fortes variations de flux. Les pertes statoriques doivent être compensées par une augmentation de tension ΔVs par rapport à $\Psi_s \omega_e$.

Pour **compenser les imperfections du modèle adopté** ou **l'adapter à une charge particulière**, les constructeurs proposent de **modifier la loi V/f**.



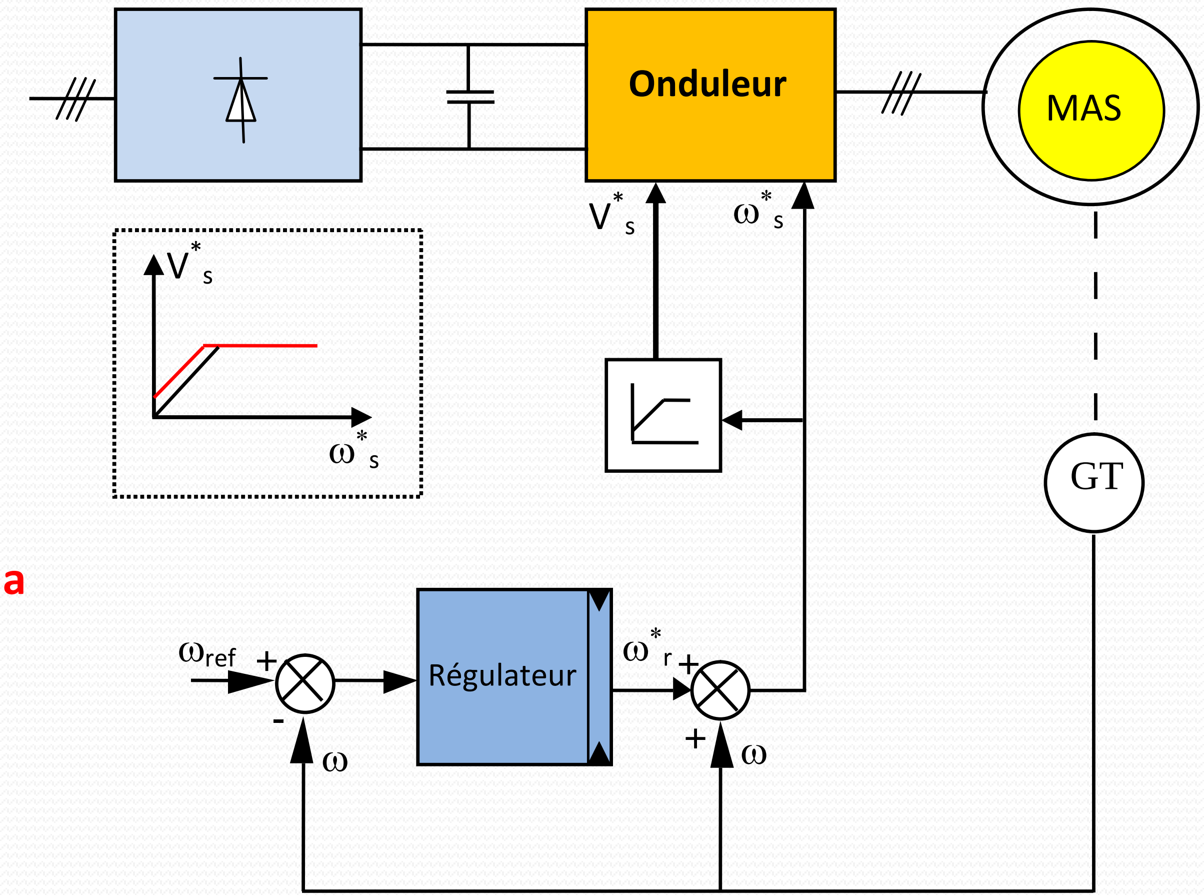


Au démarrage il y a renforcement du flux magnétique $\Rightarrow$ augmentation du couple aux basses vitesses.

Contrôle scalaire de la machine asynchrone

Contrôle du flux à partir des tensions statoriques :

La figure suivante donne le schéma de la régulation de vitesse d'une machine asynchrone en utilisant la commande scalaire avec contrôle du flux statorique à partir des courants statoriques.

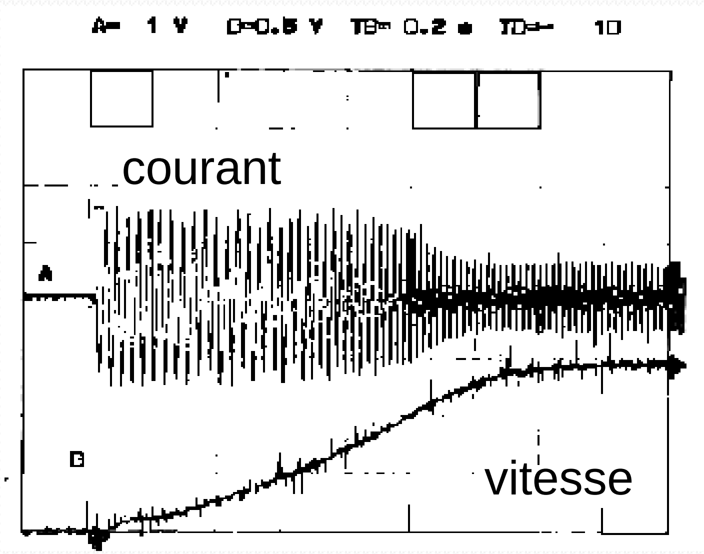


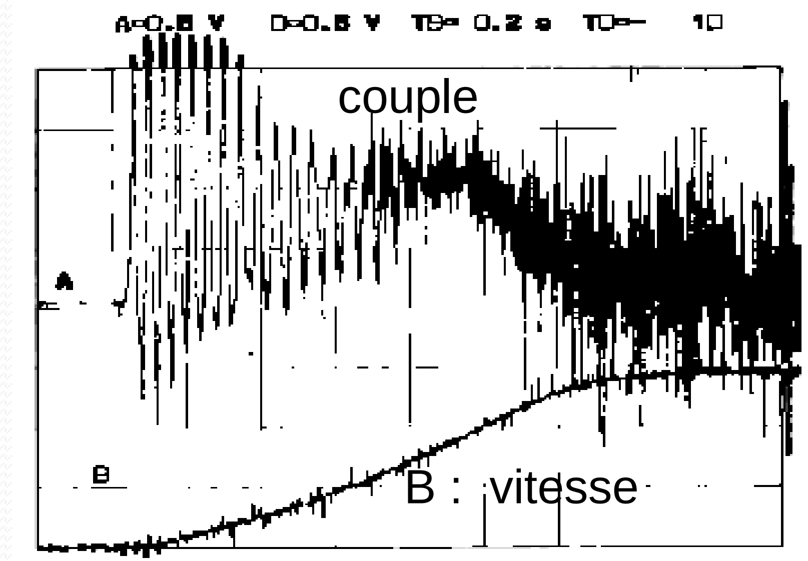
Contrôle scalaire de la tension à V/f =cste

Contrôle scalaire de la machine asynchrone

Performances d' un variateur à V/F= Cte

Limitation du courant à 150% du courant nominal





- ✓ Appel du courant démarrage maîtrisée.
- ✓ Montée de vitesse quasi-linéaire

- ✓ Le variateur n'est pas apte à maîtriser couple instantané.

La commande scalaire se révèle insuffisante à deux niveaux :

- ✓ le rendement énergétique,
- ✓ les fluctuations du couple transitoire dégradant la qualité.

FIN