

Etude des différentes techniques de commande de la machine asynchrone

Grâce à son faible coût et sa simplicité de construction, conjugués aux techniques de variation de vitesse, la machine asynchrone s'impose de plus en plus dans les domaines de l'entraînement à vitesse variable.

Nous allons présenter dans ce chapitre les techniques de commande permettant de faire varier la vitesse des machines asynchrones à cage.

De part sa structure, la machine à cage d'écureuil possède un défaut important par rapport à la machine à courant continu et aux machines de type synchrone. En effet, l'alimentation par une seule armature fait que le même courant crée le flux et le couple.

Il est donc logique de dire que toute commande de ce moteur ne peut se faire qu'à travers la variation des paramètres de l'onde tension (alimentation en tension) ou de l'onde courant (alimentation en courant).

Ces variateurs peuvent être divisés en deux groupes : [1]

- Variateurs de vitesse à fréquence constante
- Variateurs de vitesse à fréquence variable

Le contrôle de la vitesse à fréquence statorique constante est obtenu par la variation de l'amplitude de la tension d'alimentation (ou du courant).

Les variateurs de vitesse à fréquence variable sont divisés en trois groupes :

- Le contrôle scalaire qui consiste à varier l'amplitude de la tension ou du courant et la fréquence statorique dans un rapport constant.
- Le contrôle vectoriel, plus complexe à réaliser que le précédent, nous donne des performances élevées à la machine asynchrone. Cette technique est basée sur le contrôle soit des deux composantes de la tension (ou du courant) liée à un repère

tournant, soit le sur le contrôle de l'amplitude de la tension et l'angle entre le flux statorique et le flux rotorique.

- Le contrôle direct du couple et du flux (DTC) qui sera présenté dans le chapitre qui suit.

VARIATION DE LA TENSION STATORIQUE

L'équation (I.13) nous donne les caractéristiques couple/vitesse de la machine asynchrone.

La figure suivante représente les caractéristiques électromécaniques d'une machine asynchrone pour trois valeurs de la tension.

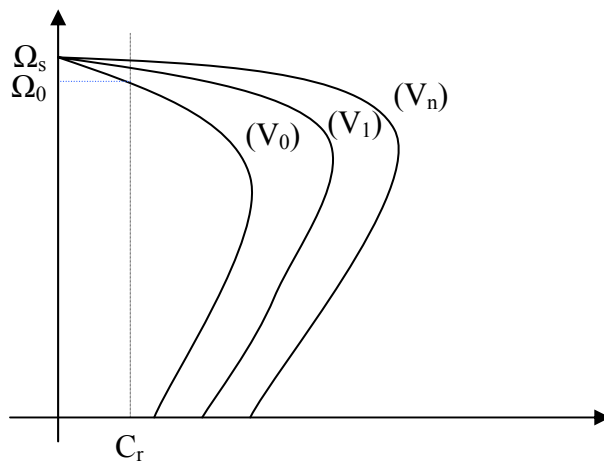


Fig. III.1 caractéristique couple/vitesse pour différentes tensions d'alimentations

La figure III.1 montre qu'une diminution de la tension à couple résistant constant provoque une diminution de la vitesse, mais aussi une diminution du couple maximal.

Cette technique présente beaucoup d'inconvénients : [4]

- Limitation de la plage de réglage
- Diminution du flux et augmentation du courant statorique, ce qui provoque une augmentation des pertes Joules
- Diminution de la tenue en couple, ce qui nécessite un surdimensionnement de la machine
- Les caractéristiques ne sont pas parallèles, ce qui est néfaste pour le réglage de la machine
- Rendement faible

De plus, la variation de la tension est généralement obtenue par un gradateur générant beaucoup d'harmoniques sur le réseau et sur la machine. Cela pose de gros problème de compatibilité électromagnétique.

COMMANDE SCALAIRE DES MACHINES ASYNCHRONES

Il existe plusieurs types de commande scalaire selon que le moteur est alimenté en courant ou en tension. Quel que soit le type, on agit sur la tension ou le courant pour avoir un flux constant.

III.3.1 COMMANDE SCALAIRE EN TENSION

III.3.1.1 PRINCIPE

Cette technique de commande est basée sur le schéma équivalent du moteur asynchrone (voir Fig.I.4) et l'équation donnant le couple électromagnétique (I.13).

$C_e = \frac{3p}{\omega_s} V^2 \frac{R'_r / g}{(R'_r / g)^2 + (L'_r \omega_s)^2}$	(III.1)
---	---------

La valeur maximale du couple est donnée par :

$$C_{e \max} = \frac{3p}{2L'_r} \left(\frac{V_E}{\omega} \right)^2 \quad (III.2)$$

Si on a accès aux réglages de la fréquence et la valeur efficace de la tension V_E , on peut alors

réglér le rapport $\frac{V_E}{\omega_s} = \text{constante}$ ainsi que le couple maximal.

$$C_p = \text{constante}$$

De façon plus fine, si l'on souhaite maîtriser le contrôle du couple en régime permanent de la machine, il faudra imposer $\frac{V_E}{\omega_s} = \text{const}$.

Le schéma ci-dessous propose une structure de commande scalaire en tension du moteur asynchrone. [5]

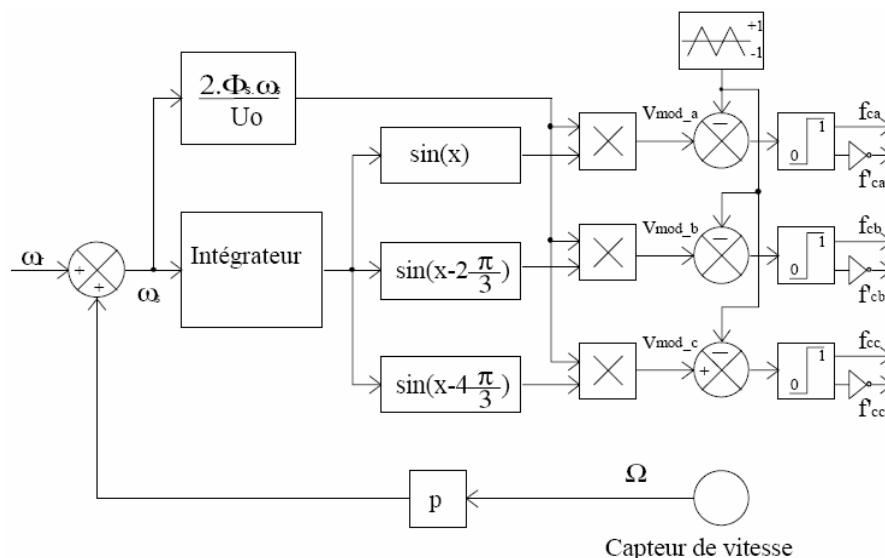


Fig.III.2. Schéma de principe de la commande scalaire en tension

Le moteur est piloté par un onduleur de tension à modulation de largeur d'impulsion. Un capteur de vitesse permet d'accéder à la grandeur Ω . couple

ω_s permet de fournir une consigne de tension V_s pour l'onduleur : $V_s = k\omega_s$

Cette conception de contrôle est basée sur l'élaboration de V_s , alors que c'est V_E qui serait nécessaire. Mais V_E n'est pas une grandeur accessible.

Ces deux grandeurs différents toutefois assez peu dans le cas où l'on peut négliger la chute de tension $R_s I_s$.

Ceci est le cas à vitesse assez proche de la vitesse nominale, mais ça n'est plus vrai aux faibles vitesses car $R_s I_s$ ne peut plus être négligé.

Pour prendre en compte cette chute de tension, on fait recours à un ajustage manuel ou automatique. [12]

L'ajustage manuel qui consiste à adopter une loi tension/fréquence avec augmentation fixe de la tension à basse fréquence. Cet ajustage permet d'obtenir un couple élevé à basse vitesse, mais présente l'inconvénient de maintenir un couple élevé dans le moteur à vide avec risque de saturation et de surcharge.

L'ajustage automatique qui consiste à délivrer au moteur une tension avec compensation automatique de la chute de tension $R_s I_s$.

A une vitesse donnée, la tension fournie au moteur varie en fonction de la charge. Cet ajustage permet d'obtenir un couple élevé, à basse vitesse, tout en ayant un courant faible à vide. Par contre, il présente l'inconvénient d'un temps de réponse plus lent.

III.3.1.2 RESULTATS DE SIMULATION

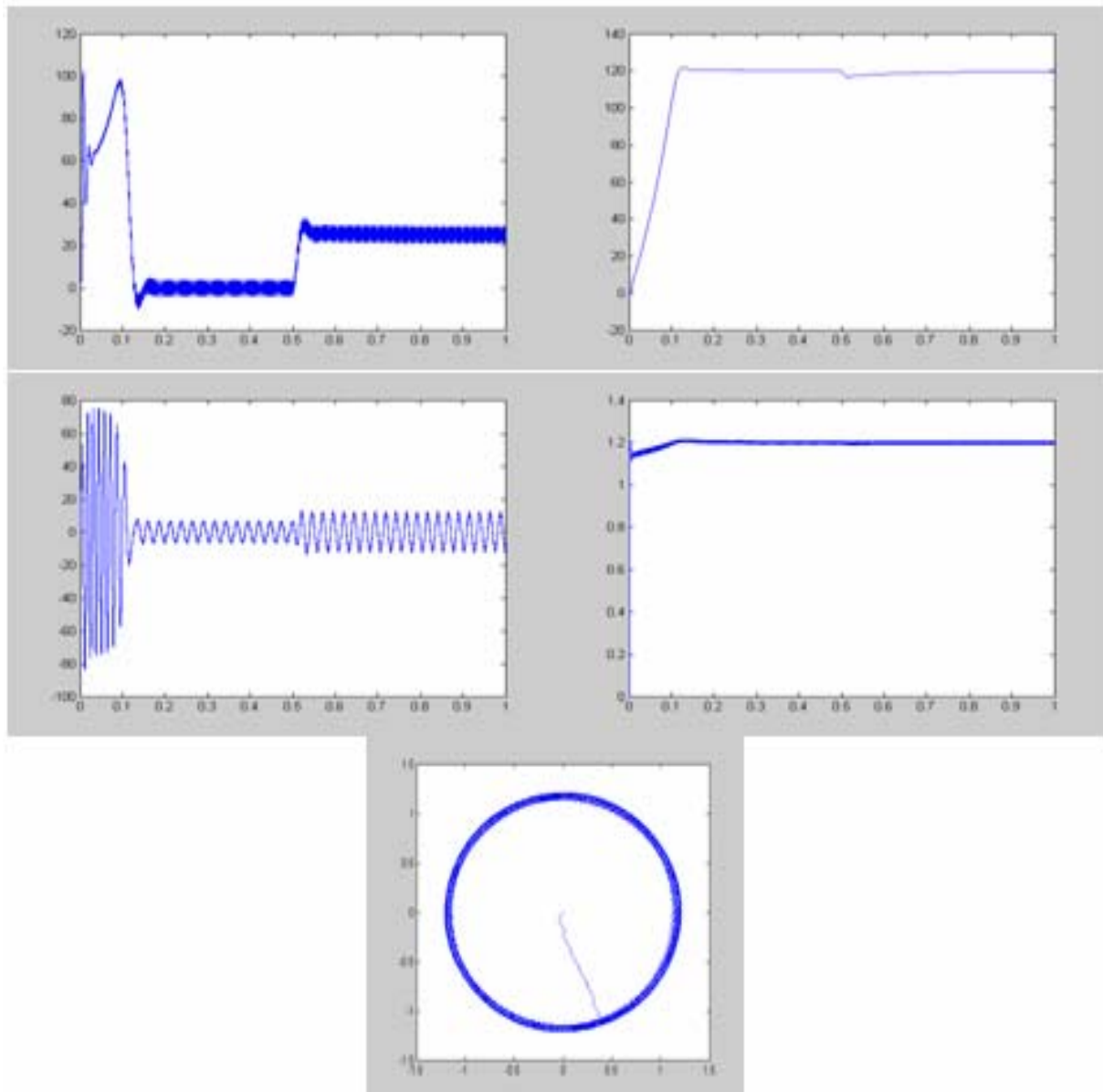


Fig.III.3. Commande scalaire par MLI sinusoïdale
(Couple, vitesse, courant, flux)

On remarque : une forte oscillation du couple.

un fort appel de courant lors de démarrage du moteur

le flux est insensible aux variations du couple.

le courant est bien maîtrisé par rapport à la commande scalaire en courant

III.2 COMMANDE SCALAIRE EN COURANT

III.2.1 PRINCIPE

Le principe de la commande scalaire en courant est montré sur la figure suivante :

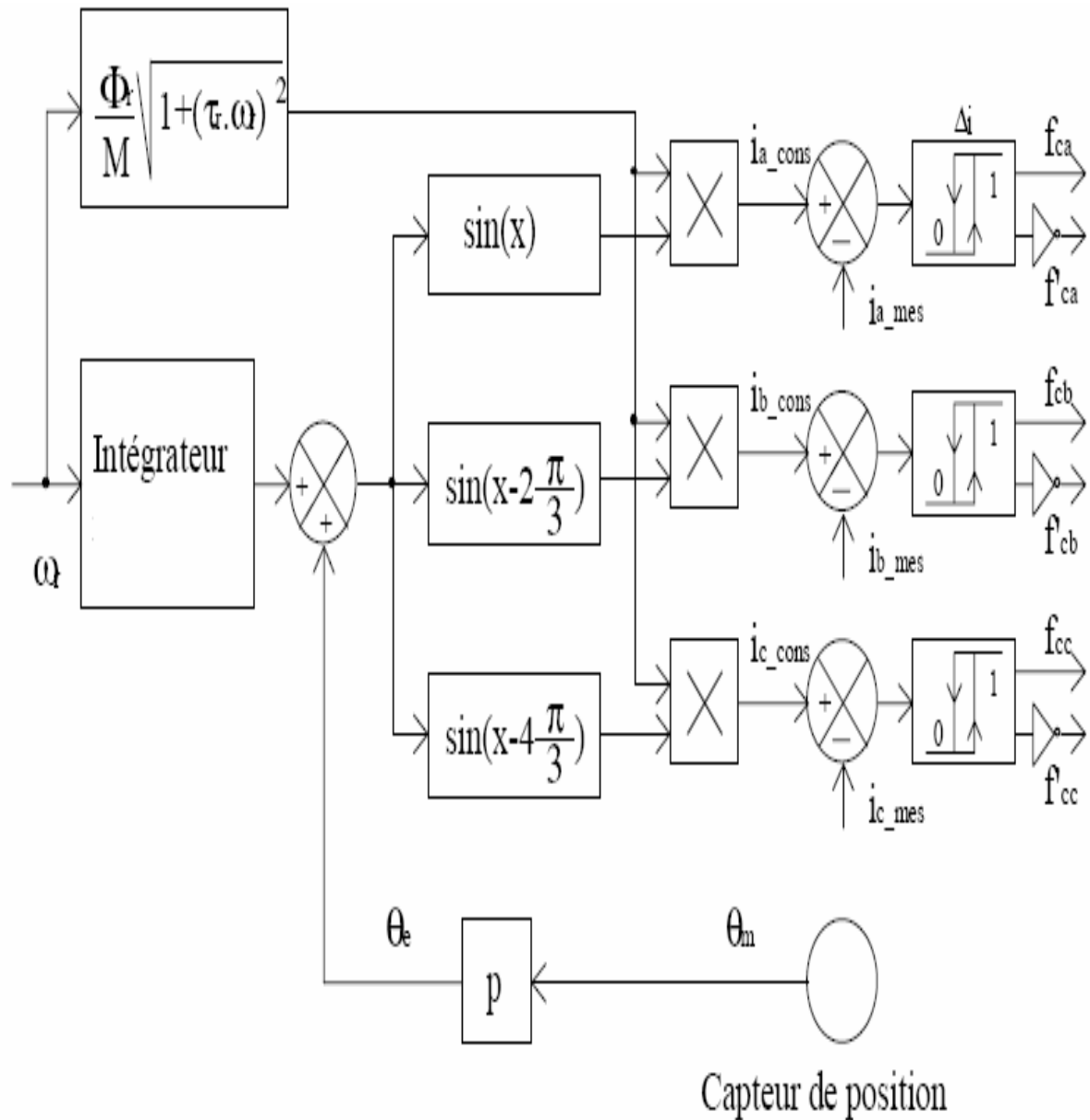


Fig.III.4. Schéma de commande en courant

III.2.2 RESULTATS DE SIMULATION

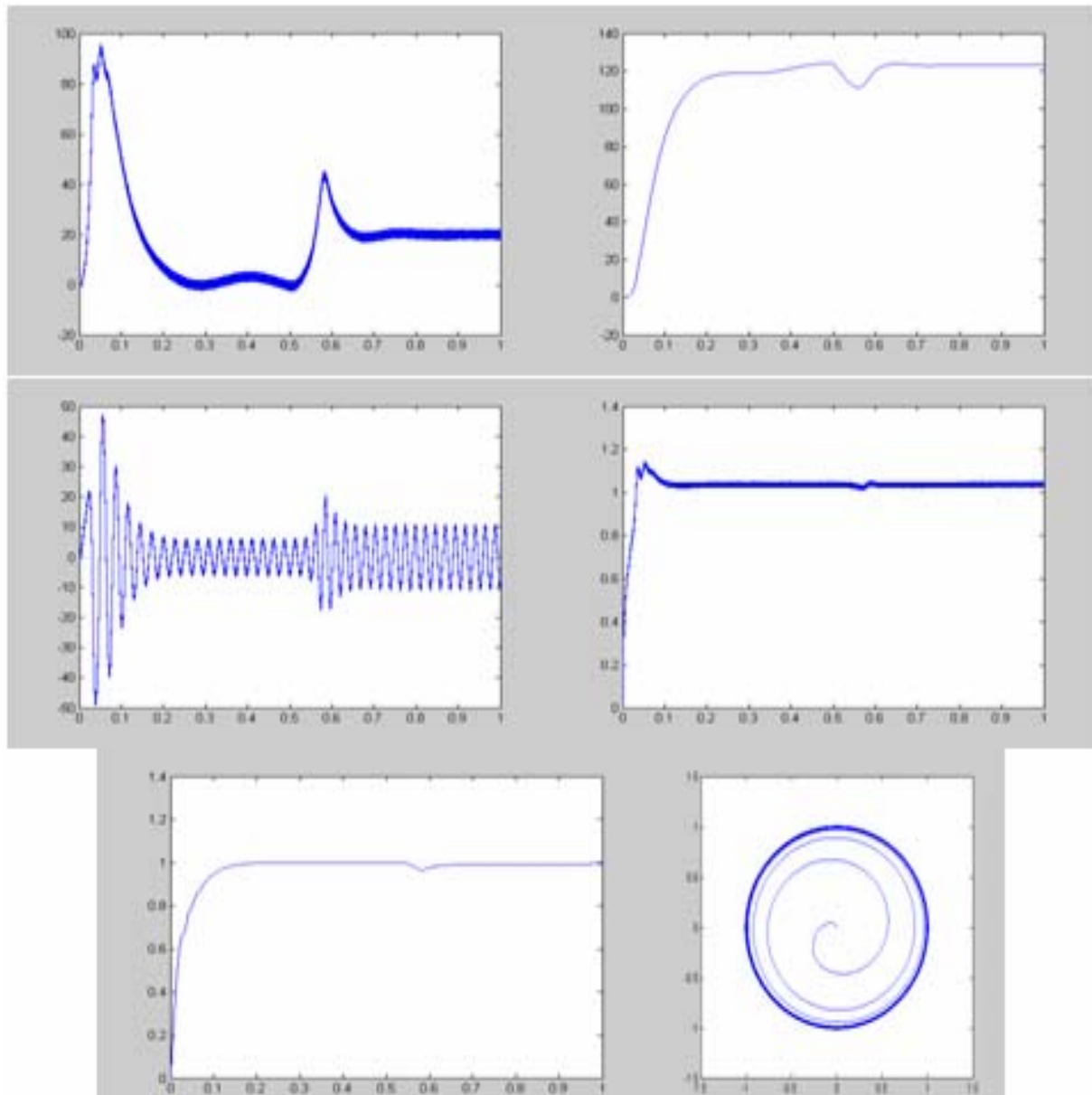


Fig.III.5. Commande scalaire en courant par hystérésis
(Couple, vitesse, courant, flux)

On constate que : le couple présente un pic au démarrage.

un fort appel de courant.

le flux et la vitesse sont sensibles aux variations du couple.

III.4 COMMANDE VECTORIELLE

Le but de la commande vectorielle est d'arriver à commander la machine asynchrone comme une machine à courant continu à excitation indépendante où il y a un découplage naturel entre la grandeur commandant le flux (courant d'excitation) et celle liée au couple (courant d'induit).

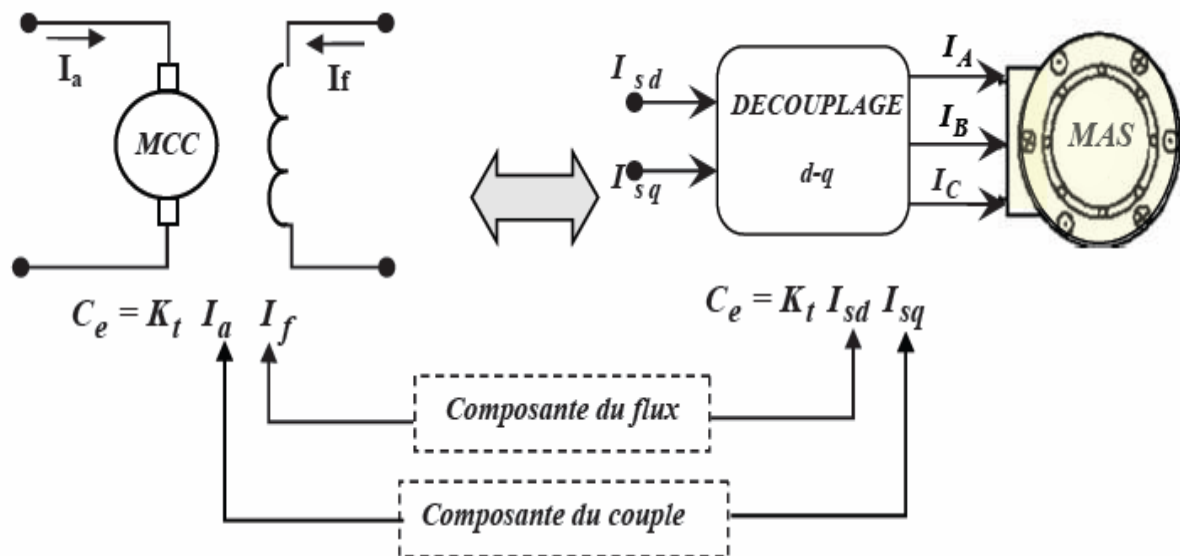


Fig.III.6. Schéma de principe du découplage de la MAS par analogie du MCC

Ce découplage permet d'obtenir une réponse plus rapide du couple. [2], [3]

Cette commande est basée sur l'orientation de l'un des flux, rotorique, statorique ou celle d'entrefer. En parlant d'orientation du flux, c'est plutôt le système d'axe d-q que l'on oriente de manière à ce que l'axe d soit en phase avec le flux, c'est-à-dire :

$$\varphi_d = \varphi$$

$$\varphi_q = 0$$

La commande vectorielle à orientation du flux rotorique est la plus utilisée car elle élimine l'influence des réactances de fuite rotorique et statorique et donnent de meilleurs résultats que les méthodes basées sur l'orientation du flux statorique ou d'entrefer.

En imposant, $\varphi_{qr} = 0$ les équations de la machine dans un référentiel lié au champ tournant s'écrivent :

$$\varphi_r = \varphi_{dr}$$

(III.3)

$V_{ds} = R_s I_{ds} + \sigma L_s \frac{dI_{ds}}{dt} + \frac{M_{sr}}{L_r} \frac{d\varphi_r}{dt} - \omega_s \sigma L_s I_{qs}$	(III.4)
$V_{qs} = R_s I_{qs} + \sigma L_s \frac{dI_{qs}}{dt} + \omega_s \frac{M_{sr}}{L_r} \varphi_r \sigma L_s I_{ds}$	(III.5)
$T_r \frac{d\varphi_r}{dt} + \varphi_r = M_{sr} I_{ds}$	(III.6)
$\omega_r = \frac{M_{sr}}{T_r \varphi_r} I_{qs}$	(III.7)
$C_e = p \frac{M_{sr}}{L_r} \varphi_r I_{qs}$	(III.8)

Après passage par une transformation de Laplace nous obtenons :

$V_{ds} = (R_s + p \sigma L_s) I_{ds} + p \frac{M_{sr}}{L_r} - \omega_s \sigma L_s I_{qs}$	(III.9)
$V_{qs} = (R_s + p \sigma L_s) I_{qs} + \omega_s \frac{M_{sr}}{L_r} \varphi_r + \omega_s \sigma L_s I_{ds}$	(III.10)
$\varphi_r = \frac{M_{sr}}{1 + T_r p} I_{ds} ; \varphi_r = M_{sr} I_{ds} \text{ en régime permanent}$	(III.11)
$\omega_r = \frac{M_{sr}}{T_r \varphi_r} I_{qs}$	(III.12)

Il existe des méthodes de commande vectorielle directe et indirecte. Dans la commande directe, l'angle de Park θ_s est calculé à partir de la pulsation statorique, elle-même reconstituée à l'aide de la vitesse de la machine et de la pulsation rotorique ω_r .

En ce qui concerne la méthode directe, l'angle de Park est calculé directement à l'aide des grandeurs mesurées ou estimées.

La commande est dite à boucle ouverte s'il n'y a pas de régulation de flux. Le flux est imposé dans ce cas par I_{ds}^* , de plus la pulsation statorique peut uniquement être estimée par la relation :

$\theta_s = \int_0^t (p\Omega + \frac{I_{qs}^*}{T_r I_{ds}^*}) dt \text{ où } I_{ds}^* = \frac{\varphi_r^*}{M_{sr}}$	(III.13)
--	----------

III.4.1 COMMANDE VECTORIELLE EN TENSION

III.4.1.1 PRINCIPE

Dans ce type de commande, l'angle θ_s utilisé pour la transformation directe et inverse de Park est calculé à partir de la formule (III.3). [7], [9]

Nous présentons ci-dessous le schéma de principe de la commande vectorielle en tension d'une machine asynchrone.

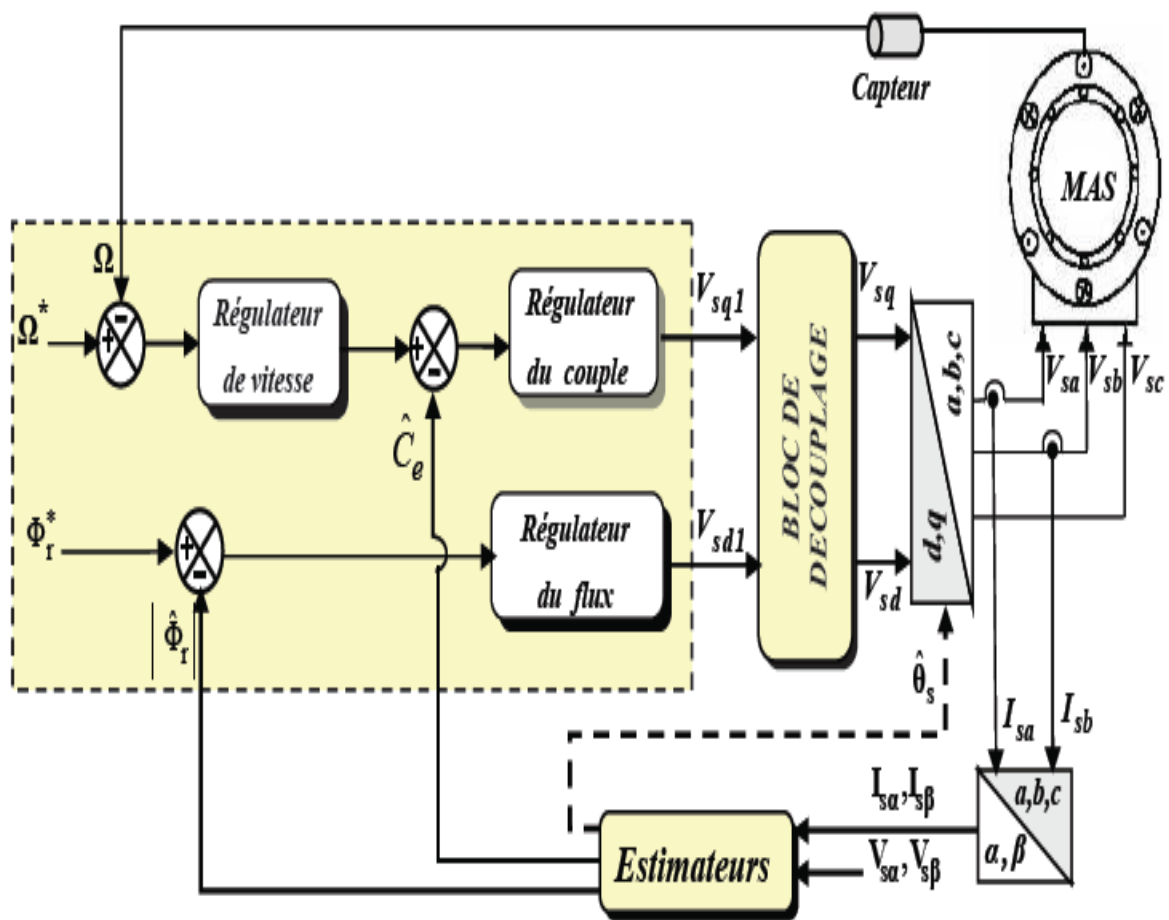


Fig.III.3 Schéma de simulation de la commande vectorielle en tension

III.4.1.2 RESULTATS DE SIMULATION

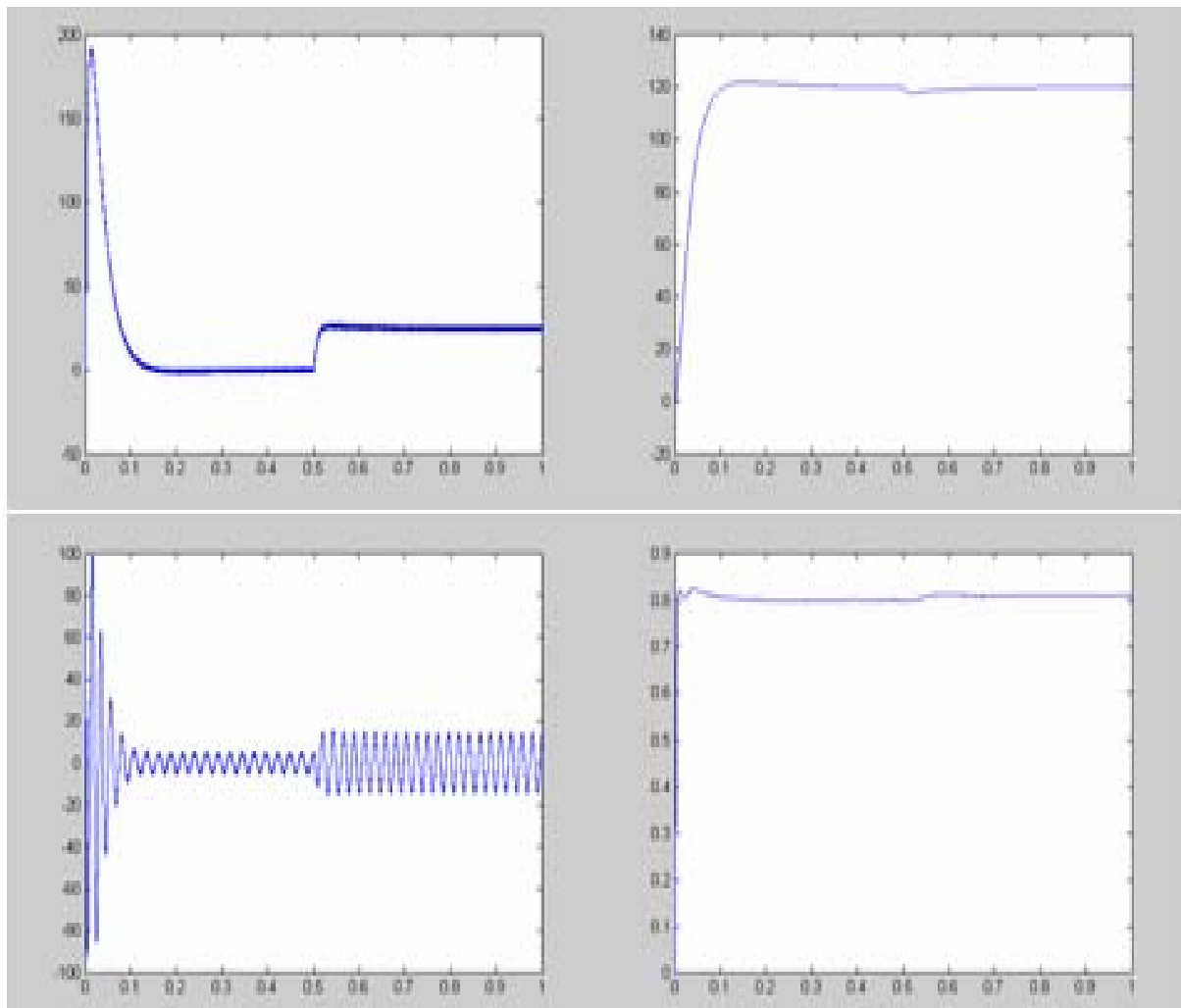


Fig.III.4. Commande vectorielle d'une MAS par MLIS
(Couple, vitesse, courant, flux)

On remarque que : Le couple présente un pic au démarrage

Le flux et la vitesse sont légèrement sensibles aux variations du couple

Un temps de réponse du couple et de vitesse nettement amélioré par

Rapport à la commande scalaire

III.4.2 COMMANDE VECTORIELLE EN COURANT

III.4.2.1 PRINCIPE

Le principe de commande est montré sur la figure suivante :

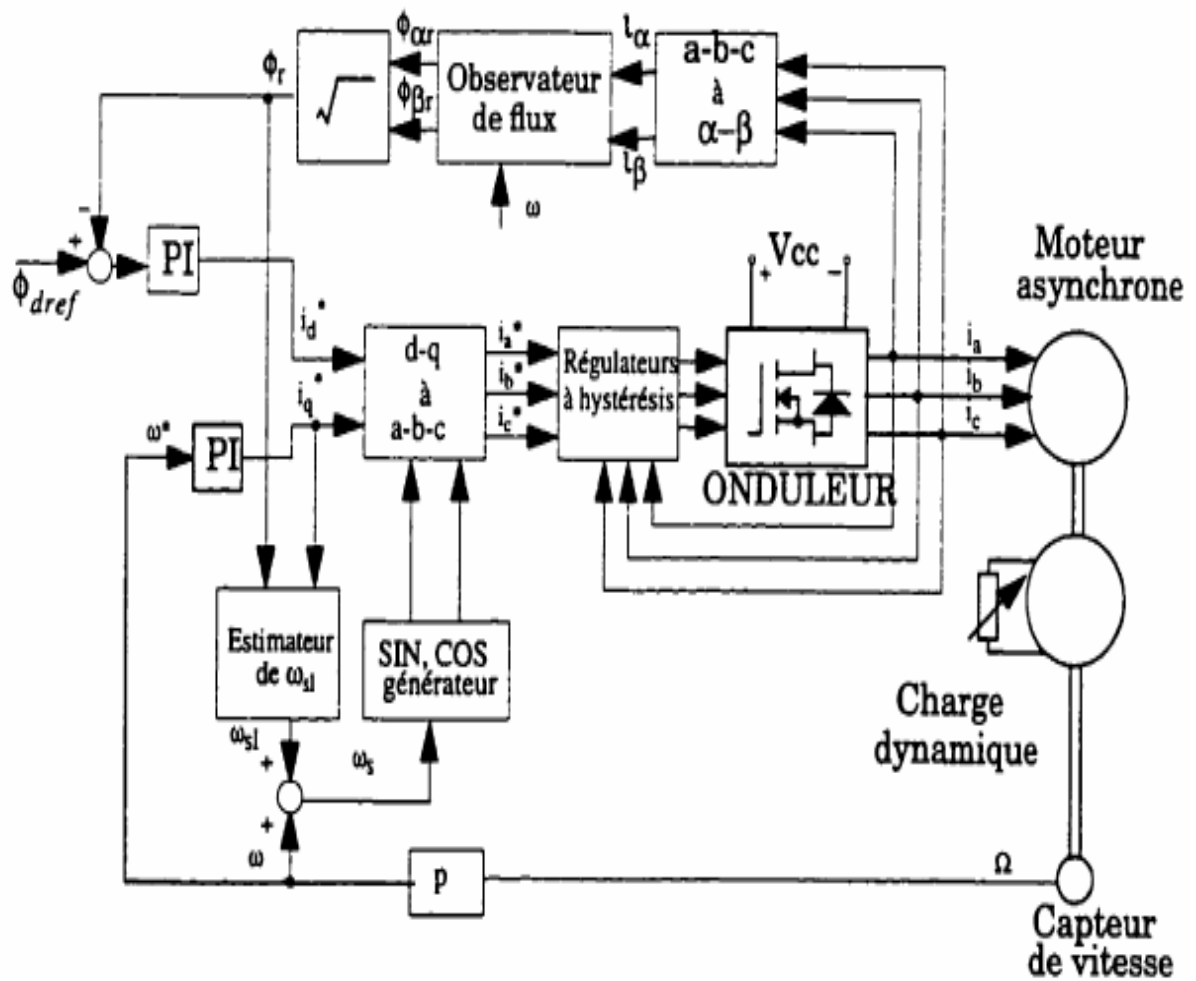


Fig.III.5. Schéma de principe de la commande vectorielle en courant

III.4.2.2 RESULTATS DE SIMULATION

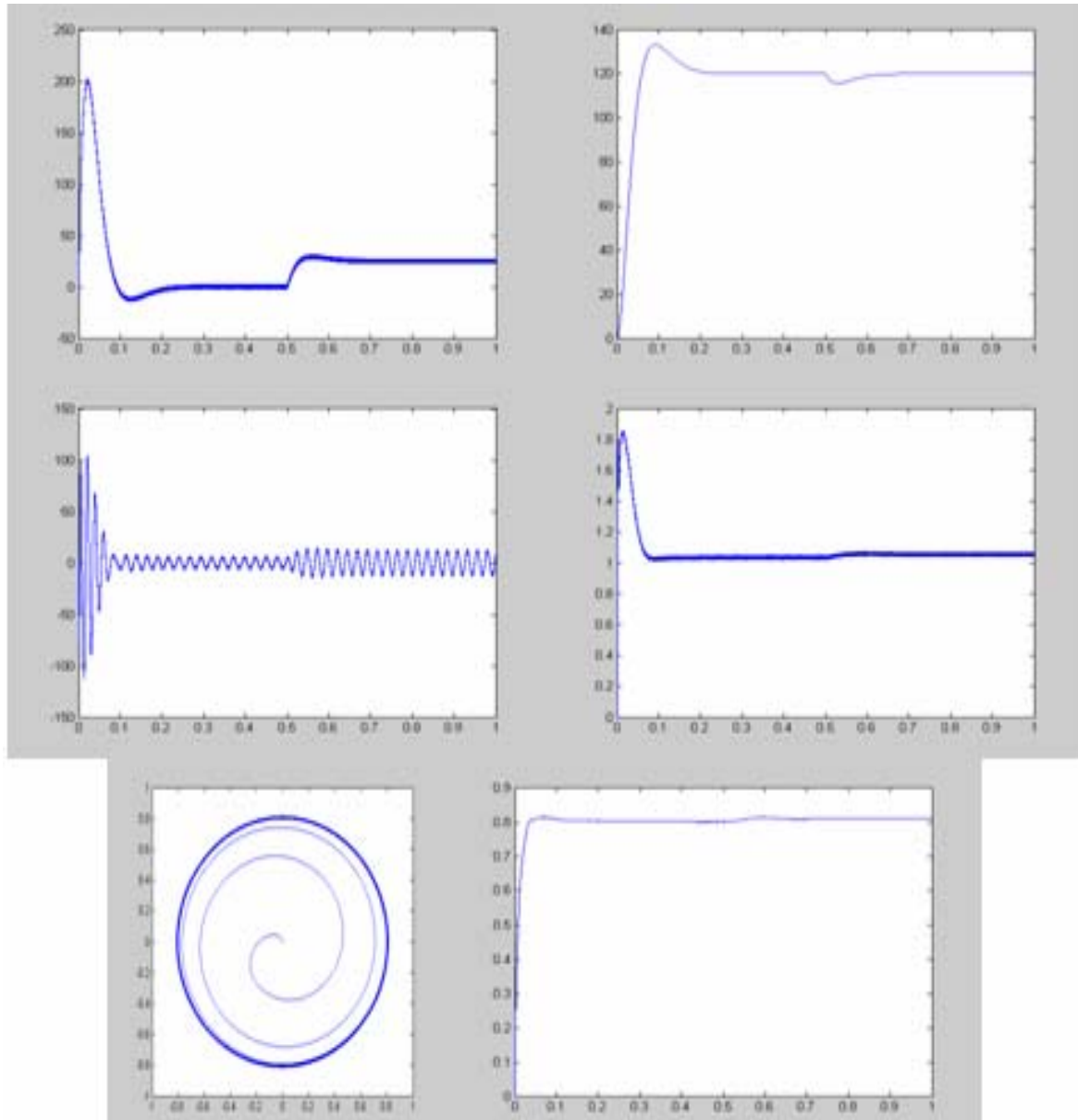


Fig.III.6. Evolution des grandeurs en commande vectorielle en courant
(Couple, vitesse, courant, flux)

Il est facile à remarquer que : la vitesse et le flux sont plus sensibles aux variations du couple
Par rapport à la commande vectorielle en tension

Les besoins sont très variés dans le domaine des entraînements. Ils vont des applications simples telles que l'entraînement des pompes, ventilateurs, jusqu'à des applications nécessitant des performances dynamiques ainsi que des plages de vitesse très étendues. Les lois de commande décrites dans ce chapitre permettent d'atteindre des niveaux de performances très différents, et couvrent aujourd'hui la plus grande partie des applications. La variation de la fréquence permet au moteur asynchrone de fonctionner au-delà de sa vitesse nominale mais cela diminue le couple maximale.

La commande scalaire permet de surmonter ce problème en gardant le couple maximale constant. Cette technique, bien qu'elle présente des avantages, elle ne permet pas un contrôle dynamique du couple surtout en basse fréquence.

La commande vectorielle présente des performances dynamiques et statiques très élevées. Mais elle présente l'inconvénient majeur d'être sensible aux variations paramétriques de la machine ce qui dégrade la robustesse du modèle de commande.