

# COMMANDE DE LA MACHINE ASYNCHRONE PAR ORIENTATION DU FLUX ROTORIQUE

**N. BENYAHIA, K. SRAIRI, S. M. MIMOUNE**

Laboratoire de Modélisation des Systèmes Energétiques  
Département d'Electrotechnique, Université de Biskra  
BP 145, Biskra 07000, Algérie.  
Email : ksrairi@yahoo.fr

## RESUME

Dans cet article, nous proposons la commande de la machine asynchrone avec orientation du flux rotorique. Cette commande consiste à éliminer le problème de couplage entre l'induit et l'inducteur en dissociant le courant statorique en deux composantes, en quadrature dans un repère de référence lié au champ tournant, de telle sorte que, l'une des composantes commande le flux tandis que l'autre commande le couple. Les résultats de l'étude, exprimés en régime de démarrage et en régime de charge, sont largement présentés et discuter.

**MOTS CLES :** Machine asynchrone, Commande vectorielle, Orientation du flux rotorique, Régulateurs, Découplage, Flux, Couple.

## 1 INTRODUCTION

La machine asynchrone (MAS) est une machine électrique utilisée principalement dans les applications industrielles. Ses principaux avantages sont : sa construction simple, son coût de revient peu élevé, sa sûreté de fonctionnement, sa robustesse, et surtout sa maintenance simple et économique. A partir de ces considérations analogiques, elle est de plus en plus utilisée pour des commande performantes en remplaçant du moteur à courant continu.

La principale difficulté qu'on rencontre dans la commande de cette machine réside dans l'absence totale du découplage entre le flux et le couple. Ces deux grandeurs dépendent toutes du courant statorique. Pour ce faire, ce découplage entre le couple et le flux, la commande classique sert à contrôler : le couple par le glissement et le flux par le rapport tension/fréquence  $U/f$  (constant). Mais, et à cause du manque d'informations sur le rapport  $U/f$ , ce type de commande a monté ses limites en matière de qualité de ses performances. En ce temps, le principe de découplage n'a pas été encore développé, l'apparition d'une nouvelle technique dite "commande vectorielle" ou "commande par flux orienté" a rendu la commande de la machine asynchrone possible comme les machine à courant continu.

Dans cette étude nous présentons la commande d'une machine asynchrone dont l'objectif est garantir les performances désirées en matière de robustesse vis a vis des variations de ses paramètres et du couple de charge.

Les résultats de la commande sont présentés en régime de démarrage et en charge, et discutés par la suite.

## 2 MODELISATION DE LA MACHINE ASYNCHRONE

Le modèle vectoriel de la machine asynchrone est décrit par un ensemble d'équations électriques, magnétiques et mécaniques couplées entre elles. Pour éviter l'introduction de simplifications sur la formulation des équations électriques nous optons pour un référentiel immobile par rapport au champ tournant ( $\omega_{obs} = \omega_s$ ). Il est, cependant, particulièrement avantageux dans les problèmes où la fréquence de l'alimentation est constante. L'utilisation de l'état  $(\vec{i}_s, \vec{\Phi}_r)$  mène au modèle d'équations suivant :

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_s \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_s + \sigma L_s + j\sigma L_s \omega_s) & \frac{M}{l_r}(p + j\omega_s) \\ \frac{R_r M}{l_r} & (\frac{R_r}{l_r} + p + j\omega_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{i}_s \\ \vec{\Phi}_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 3 MODELE EN COURANT DE LA MACHINE ASYNCHRONE

L'axe directe «d» est aligné systématiquement sur le vecteur flux rotorique tel que :  $\Phi_r = \Phi_{rd}, \Phi_{rq} = 0$  (Figure 1).

La composante  $i_{rd}$  du courant rotorique est toujours nulle si le flux est maintenu constant (Figure 1).

$$0 = -\frac{R_r}{l_r} M \vec{i}_s + \frac{R_r}{l_r} \vec{\Phi}_r + p \vec{\Phi}_r + j\omega_r \vec{\Phi}_r$$

avec :

$$\vec{i}_s = \vec{i}_{sd} + \vec{i}_{sq}$$

$T_r = l_r/R_r$  est la constante de temps rotorique.

$\vec{i}_{sq}$  : La composante quadrature du courant statorique.

$\vec{i}_{sd}$  : La composante directe du courant statorique.

$L_r$  : Inductance propre d'une phase rotorique.

$R_r$  : Résistance propre d'une phase rotorique.

$M$  : Inductance mutuelle.

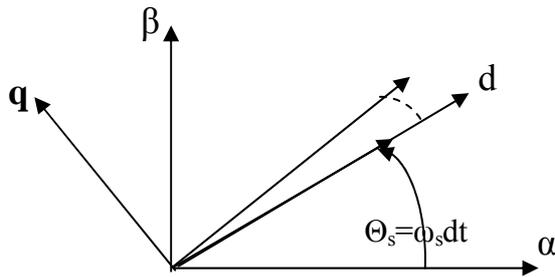


Figure 1 : Diagramme de l'alignement du flux sur l'axe d.

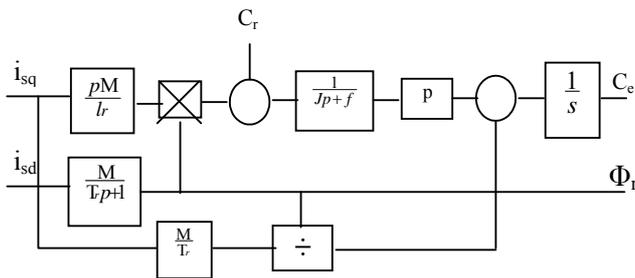


Figure 2 : Modèle dynamique du flux rotorique.

Ainsi, on conclue que :

$$\frac{\Phi_r}{i_{sd}} = \frac{M}{1 + T_r p} \quad (2)$$

et :

$$C_e = p \frac{M}{l_r} \Phi_r i_{sq} \quad (3)$$

où :

$C_e$  : couple électromagnétique.

$\Phi_r$  : flux rotorique.

De l'équation (2), on constate que seule la composante directe du courant statorique  $i_{sd}$  détermine l'amplitude du flux  $\Phi_r$ .

De l'équation (3) on constate aussi que, si le flux est établi à sa valeur de référence et maintenu constant, nous aurons :

$$C_e = K \Phi_r i_{sq} \quad (4)$$

Cette dernière est une équation similaire à celle d'un moteur à courant continu, et où le couple ne dépend que de la composante en quadrature du courant statorique «  $i_{sq}$  » si le flux  $\Phi_r$  est maintenu constant. Ainsi, on peut constater que, finalement, le problème de couplage entre les deux axes direct «  $d$  », et en quadrature «  $q$  » est éliminé.

## 4 MISE EN OEUVRE DE LA REGULATION

Les régulateurs ont, d'une part, la tâche de stabiliser le circuit de réglage, et d'autre part, ils viennent pour assurer une meilleure précision et un temps de réponse meilleur. Dans cette perspective, les régulateurs standards du type PI ou PID sont les plus utilisés dans le domaine des réglages industriels.

### 4.1 Exigences Posées au régulateur de vitesse

Il existe plusieurs exigences imposées au régulateur de vitesse pour lequel il faut essentiellement distinguer le fonctionnement à vitesse constante et à vitesse variable.

A vitesse constante, on impose au régulateur une valeur de consigne. Le régulateur doit absolument maintenir la vitesse constante, égale à la vitesse de consigne, indépendamment des variations de la charge.

Lors des variations rapides, provoquées par des augmentation ou des diminution de la valeur de la charge (couple résistant  $C_r$ ), le passage de la marche à vide à la marche à charge nominale est le meilleur exemple, ou inversement, la variation temporaire de la vitesse sera de quelques pour-cent de sa valeur initiale, ainsi, il est demandé au régulateur d'intervenir pour ramener la vitesse, le plus rapidement possible, de sa nouvelle valeur, à la valeur de consigne sans produire d'oscillations.

### 4.2 Choix du Régulateur

La première priorité dans le choix de tout régulateur est de s'assurer que ce dernier nous puisse garantir une bonne stabilité tout en assurant une précision satisfaisante et acceptable.

La fonction de transfert d'un régulateur PI est donnée par l'équation suivante :

$$C(p) = K \frac{1 + \tau p}{\tau p} \quad (5)$$

On utilise ce type de régulateur si le système à réguler possède une seule constante de temps dominante. Cette constante de temps est à compenser au moyen de la constante du temps  $\tau$ .

Dans tout notre travail, nous avons choisi :  $\tau = 7 T_r$  et le gain  $K = 0,46$ . Ces données sont tirées de l'expérience pratique.

## 5 RESULTATS DE SIMULATION DE LA COMMANDE VECTORIELLE DE LA MAS

### 5.1 Avec le Régulateur et avec compensation du zéro

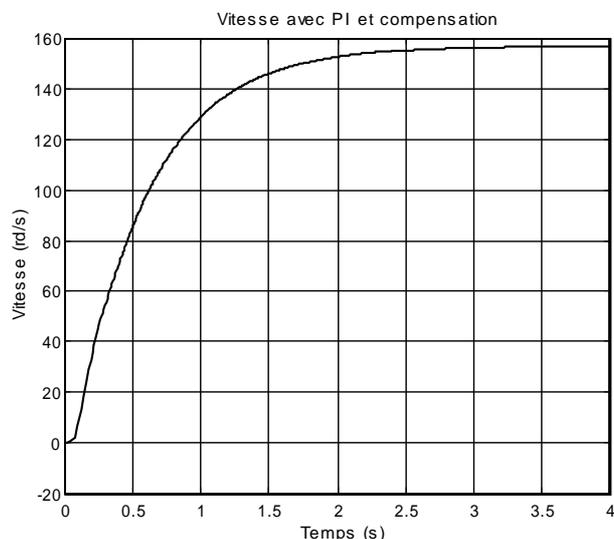


Figure 3 : Variation temporelle de la vitesse en présence d'un régulateur du type PI et avec compensation.

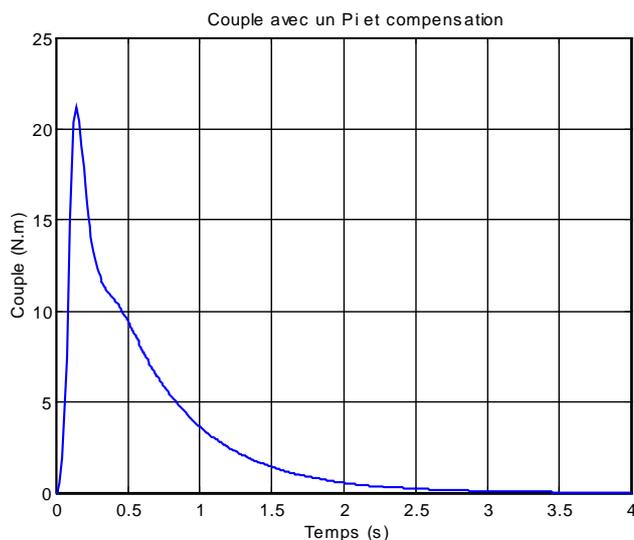


Figure 4 : Variation temporelle du couple en présence d'un régulateur du type PI et avec compensation.

La figure 5 illustre la variation temporelle des flux, celui direct et celui en quadrature, en présence d'un régulateur du type PI et avec compensation. L'analyse de cette figure montre qu'avec la prise en compte de la compensation, le régime transitoire des flux est nettement amélioré, les pics ont diminué et les oscillations sont amorties. Le couplage entre ces deux flux disparu au premier instant. Ainsi, le découplage entre ces deux flux se concrétise par la tendance de chacun deux vers son régime permanent et dont les valeurs, en ce régime, sont égales à :  $\Phi_{rd} = 0.699$  Wb et  $\Phi_{rq} = 0.005$  Wb.

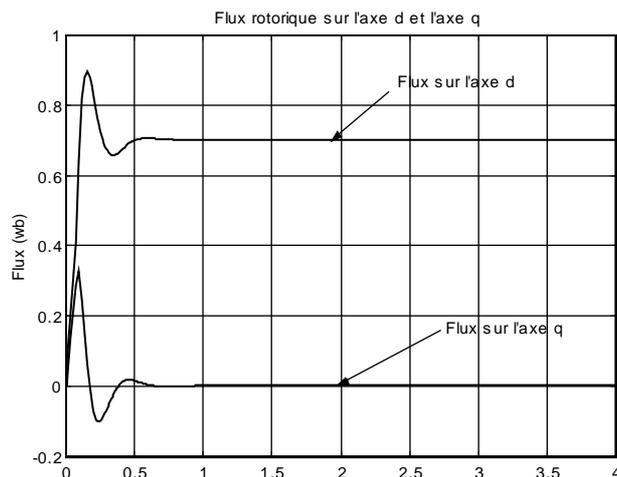


Figure 5 : Variation temporelle du flux sur l'axe (d) et l'axe (q) en présence d'un régulateur du type PI et avec compensation.

### 5.2 Impact de la présence de charge sur le système commandé

Les résultats de la simulation sont obtenus par variation du couple résistant. L'objectif est d'examiner le fonctionnement du système en régime de démarrage en variant la vitesse de rotation sur une gamme allant d'une valeur initiale nulle : 0 rds/s à une valeur finale égale à 157 rds/s, ensuite, nous examinons la réponse à une perturbation dans la charge de l'ordre de 5 N.m, exercée pendant une durée de 2 secondes. Nous constatons, d'après les résultats de la simulation que, lors de l'application de l'échelon de charge, le couple électromagnétique suit parfaitement le couple de référence (Figure 7), avec une influence insignifiante, ce qui n'est pas le cas pour la vitesse : une lenteur visible sur sa variation est à constater (Figure 6).

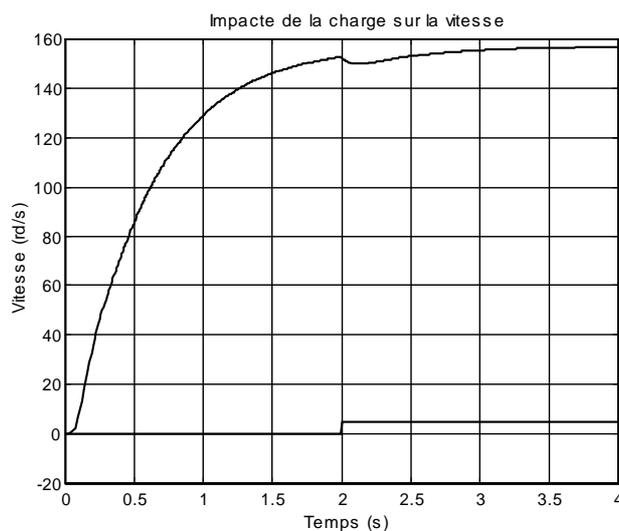


Figure 6 : Impact de la présence de charge sur la vitesse de la machine.

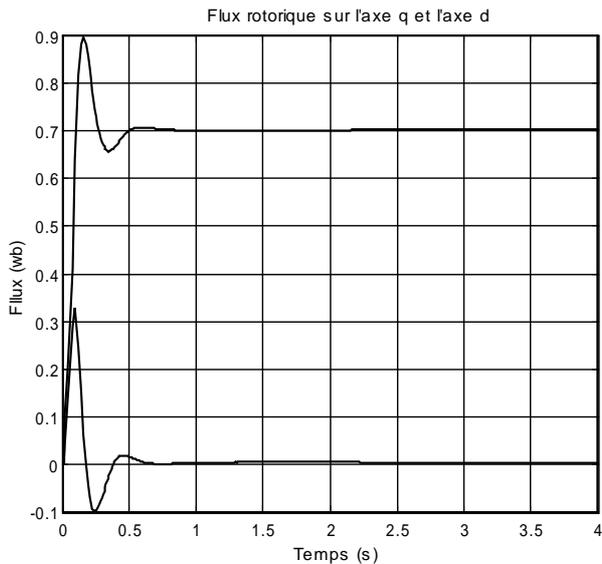


Figure 7 : Impact de la charge sur les couples.

L'introduction du régulateur PI, lors de la prise en compte de la charge, provoque, d'une part, une légère augmentation sur la valeur la composante quadrilatérale  $\Phi_{rq}$  du flux, d'autre part, elle provoque aussi, mais cette fois ci, une diminution sur la valeur de sa composante directe  $\Phi_{rd}$ . Cette diminution est fort bien négligeable.

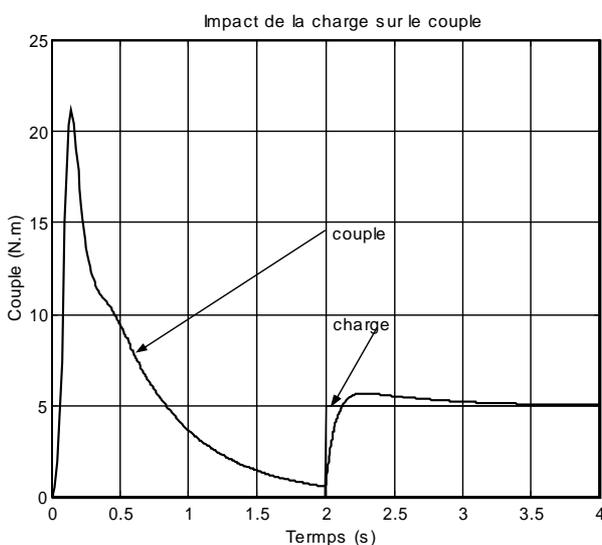


Figure 8 : Influence de la présence de charge sur les flux.

## 6 CONCLUSION

Dans ce travail, une étude numérique de la commande par la stratégie d'orientation de flux rotorique d'un moteur asynchrone alimenté en courant est présentée.

Le choix convenable du modèle d'action associé au choix du référentiel est l'étape primordiale dans cette étude.

La commande par orientation de flux est un outil de contrôle fort intéressant au fonctionnement réel et pratique

de la machine asynchrone dans ses applications industrielles. Cette technique de commande est devenue faisable sur ce type de machines grâce à la possibilité de découplage de flux du couple, de façon, presque analogue, à celle appliquée sur la machine à courant continu. Cette faisabilité lui permettra d'être, grâce à ses qualités technico-économiques très attrayantes, un substitut, sans aucun doute, à la machine à courant continu.

Dans ce type de commande la qualité, des performances, en régime statique ou dynamique est assurée.

Les résultats de l'étude obtenus montrent que le régime transitoire est moins oscillant et qu'avec un simple régulateur classique, du type PI, les variations brusques de la charge sont amorties, les pics sur les valeurs du couple sont évités, le régime transitoire concernant les composantes du flux est nettement amélioré. Néanmoins, seule la réponse de l'ensemble du système est relativement lente, mais acceptable.

## PARAMETRES PHYSIQUES DE L'APPLICATION

### TRAITEE

Les caractéristiques physiques de la machine modélisée sont les suivantes :

Inductance propre d'une phase rotorique :  $L_r = 0.156 \text{ H}$

Résistance propre d'une phase rotorique :  $R_r = 1.2 \Omega$

Inductance mutuelle :  $M = 0.12 \text{ H}$

Moment d'inertie :  $J = 0.07 \text{ kg/m}^2$

Fréquence :  $f = 50 \text{ Hz}$

Nombre de paires de pôles :  $P = 2$

## REFERENCES

- [1] Caron J. P. et Hautier J. P., "Modélisation et Commande de la Machine Asynchrone," Collection Méthodes et Pratiques de l'Ingénieur, Paris, France, 1995.
- [2] Blaschke F., "The principle of Field Orientation to the New TRANS-VECTOR Closed-loop Control System for Rotating-Field Machines", Siemens Review, vol. 34, pp. 217-220, May 1992
- [3] D. Reyed D. et Diallo D., "La Commande Vectorielle du Moteur Asynchrone," Journées SEE., Lille, France, 1992.
- [4] Abdessemed R. et Kadjoudj M., "Modélisation des Machines Electriques", Presse de l'Université de Batna, 1997.
- [5] Philippe Barret., "Régimes transitoire des Machines Electriques Tournantes," Editions Eyrolles. Paris, 1982.