

Document destiné aux Master 1 ELM

C'est la suite de la 1ère partie

Commande de la machine asynchrone à cage

Introduction:

La difficulté pour commander la machine asynchrone réside dans le fait que le rotor ne tourne pas à la vitesse du champ tournant, et dont la seule entrée électrique est au stator. La communauté scientifique et industriels ont imaginé bien des méthodes de commande afin de pouvoir la contrôler en couple, en vitesse ou en position.

Les méthodes scalaires sont très prisées pour leur simplicité de mise en œuvre. Cependant elles ne peuvent pas garantir du couple à l'arrêt ni d'obtenir la dynamique et la précision des méthodes dites vectorielles. La commande vectorielle par orientation du flux présente une solution attractive pour réaliser de meilleures performances dans les applications à vitesse variable. Elle est apparue avec les travaux de Blaschke, elle n'a cependant pas eu tout de suite un grand essor car les régulations à l'époque, reposaient sur des composants analogiques, l'implantation de la commande était alors difficile. Avec l'avènement des microcontrôleurs et des dispositifs permettant le traitement du signal(DSP), il est devenu possible de réaliser une telle commande à coût raisonnable. Cela a conduit à une explosion de recherches et d'applications relatives à la commande vectorielle de la machine asynchrone.

Principe de la commande vectorielle par orientation du flux:

Le principe d'orientation du flux est apparu dans les travaux de Blaschke au début des années 70. Il consiste à placer dans le repère (d,q) tel que l'axe d soit confondu avec la direction du flux ou le courant afin de rendre le comportement de la machine asynchrone similaire à celui de la machine à courant continu à excitation séparée. Le flux est donc contrôlé par le courant inducteur et le couple par le courant induit comme il est indiqué sur la figure 4. Le but de cette commande est d'éliminer le couplage entre l'induit et l'inducteur, et de ramener son fonctionnement comparable à celui d'une MCC, en décomposant le courant statorique en deux composantes, dont l'une contrôle le flux et l'autre contrôle le couple.

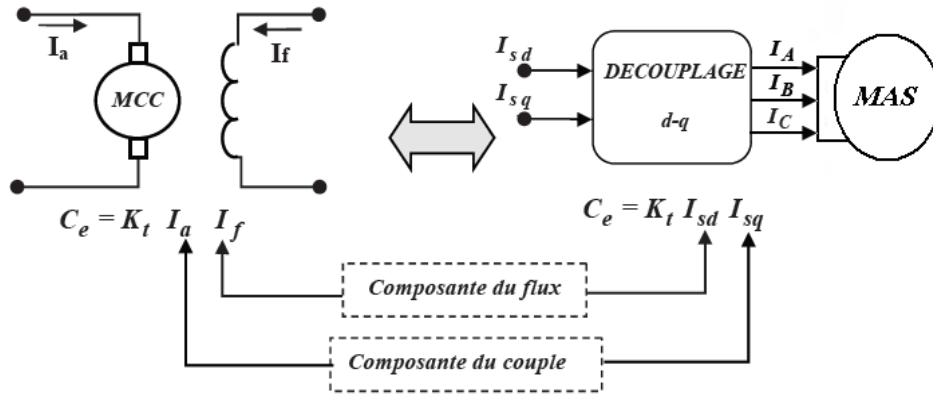


Fig.4. Schéma de principe du découplage de la MAS montrant l'analogie avec la MCC

Nous avons vu que le couplage en régime transitoire s'exprime dans le repère d,q comme un produit croisé de flux et de courants, donc si l'on reprend l'expression (35) on a:

$$C_{em} = p \frac{L_m}{L_r} (\varphi_{dr} \cdot I_{qs} - \varphi_{qr} \cdot I_{ds}) \quad (56)$$

on s'aperçoit que si l'on élimine le deuxième produit $\varphi_{qr} \cdot I_{ds}$ alors le couple ressemble à celui d'une MCC. Donc il suffit d'orienter le repère d, q de manière à annuler la composante du flux en quadrature, c'est à dire de choisir convenablement l'angle de rotation de Park de sorte que le flux rotorique soit entièrement porté sur l'axe direct, et donc avoir : $\varphi_{qr} = 0$ et $\varphi_r = \varphi_{dr}$ comme il est illustré sur la figure suivante:

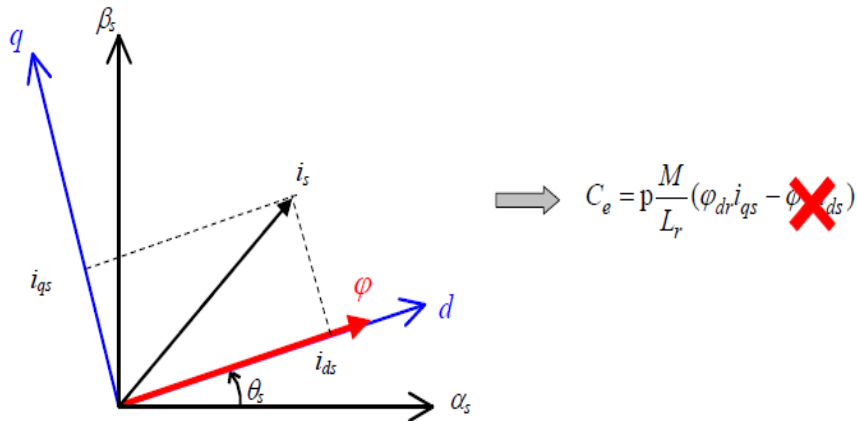


Fig.5. Principe d'orientation du flux rotorique

Le modèle donné par les équations (49) nous permettent d'exprimer V_{sd} , V_{sq} et ω_s

avec $\phi_{rq} = 0$:

$$\begin{cases} V_{sd} = \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sd} + \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) I_{sd} - \omega_s \sigma L_s I_{sq} - \frac{L_m}{L_r^2} R_r \phi_r \\ V_{sq} = \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sq} + \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) I_{sq} + \omega_s \sigma L_s I_{sd} + \frac{L_m}{L_r^2} p \Omega \phi_r \\ T_r \frac{d}{dt} \phi_r + \phi_r = L_m I_{sd} \\ \omega_s = p \Omega + \frac{L_m}{T_r} \cdot \frac{I_{sq}}{\phi_r} \end{cases} \quad (57)$$

Ces expressions peuvent être exploitées telles quelles pour réaliser la commande vectorielle à flux orienté des machines asynchrones alimentées en tension, mais V_{sd} et V_{sq} influent à la fois sur I_{sd} et I_{sq} donc sur le flux et le couple (figure 6) il est nécessaire donc de réaliser un découplage.

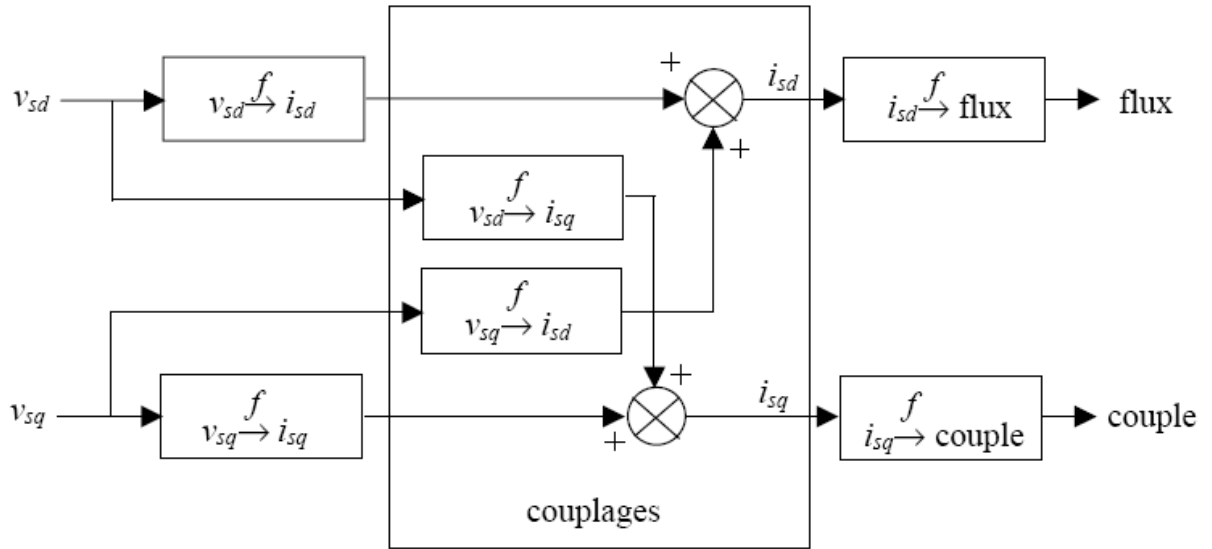


Fig.6. Description du couplage

Découplage par compensation:

Pour éviter le couplage entre les deux équations de V_{sd} et V_{sq} , on fait appel à une méthode de compensation qui consiste à faire la régulation en négligeant les termes de couplage. Afin d'obtenir les tensions de référence, les termes de couplage sont rajoutés à la sortie des correcteurs de courant.

Les termes de couplage sont définis de sorte que les tensions soient en relation de premier ordre avec les deux composantes du courant statorique.

On définit deux nouvelles variables de tension V'_{sd} et V'_{sq} , telles que:

$$V_{sd} = V'_{sd} - e_{sd} \text{ et } V_{sq} = V'_{sq} - e_{sq} \quad (58)$$

avec:

$$\begin{aligned} e_{sd} &= \frac{L_m}{L_r} \frac{d}{dt} \phi_{rd} - \sigma L_s \omega_s I_{sq} \\ e_{sq} &= \omega_s \frac{L_m}{L_r} \phi_{rd} + \sigma L_s \omega_s I_{sd} \end{aligned} \quad (59)$$

et:

$$\begin{aligned} V'_{sd} &= R_s I_{sd} + \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sd} \\ V'_{sq} &= R_s I_{sq} + \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sq} \end{aligned} \quad (60)$$

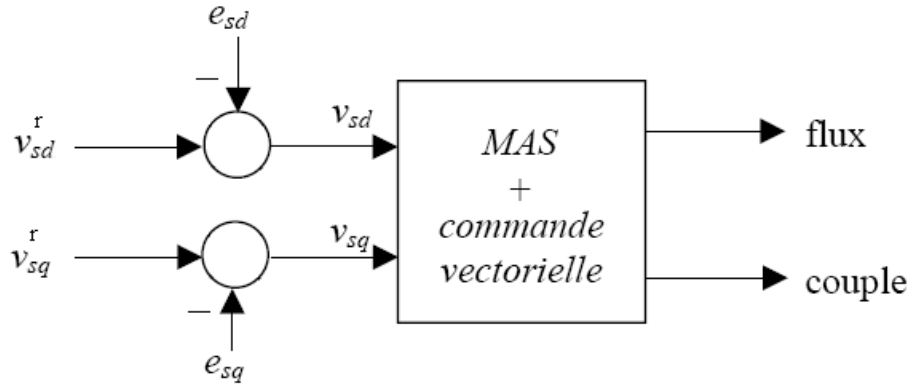


Fig.7. Reconstitution des tensions V_{sd} et V_{sq}

Nous définissons ainsi un nouveau système pour lequel les actions sur les axes d et q sont donc découplées:

$$\begin{cases} V_{sd} = \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sd} + R_s I_{sd} \\ V_{sq} = \sigma L_s \frac{d}{dt} I_{sq} + R_s I_{sq} \end{cases} \quad \begin{cases} V'_{sd} = R_s I_{sd} + \sigma L_s p I_{sd} \\ V'_{sq} = R_s I_{sq} + \sigma L_s p I_{sq} \end{cases} \quad (61)$$

La figure.8 représente une solution qui consiste à ajouter des tensions identiques mais de signes contraire à la sortie des régulateurs de courant de manière à séparer les boucles de régulation d'axe d, q.

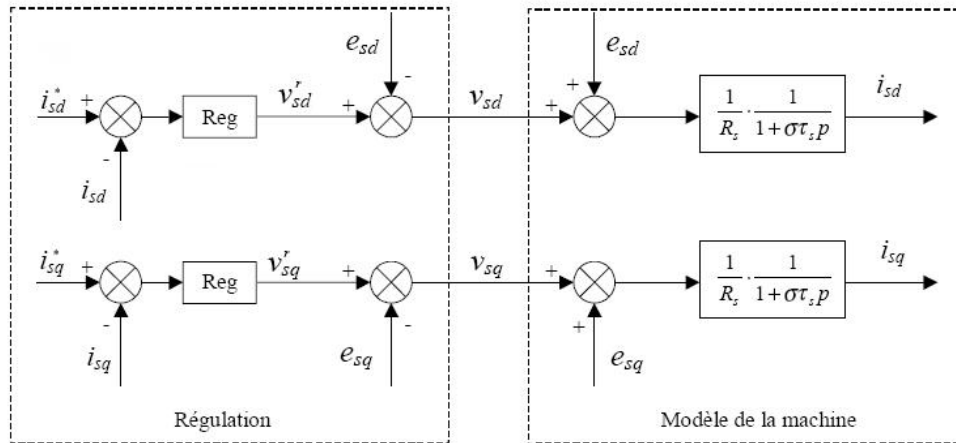


Fig.8. Découplage par addition des termes de compensation e_{sd} et e_{sq}

On abouti alors au schéma simple et identique pour les deux axes figure.9.

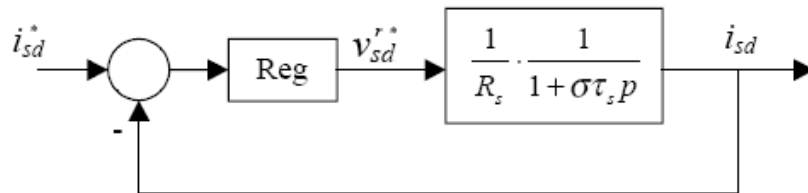


Fig. 9. Boucle I_{sq} après découplage

A partir du modèle du moteur et des équations de découplage, nous pouvons élaborer un schéma de principe de la commande à flux rotorique orienté sur l'axe d, représenté sur la figure.10.

La position θ_s de l'axe d par rapport au stator est obtenue par intégration de la pulsation statorique ω_s .

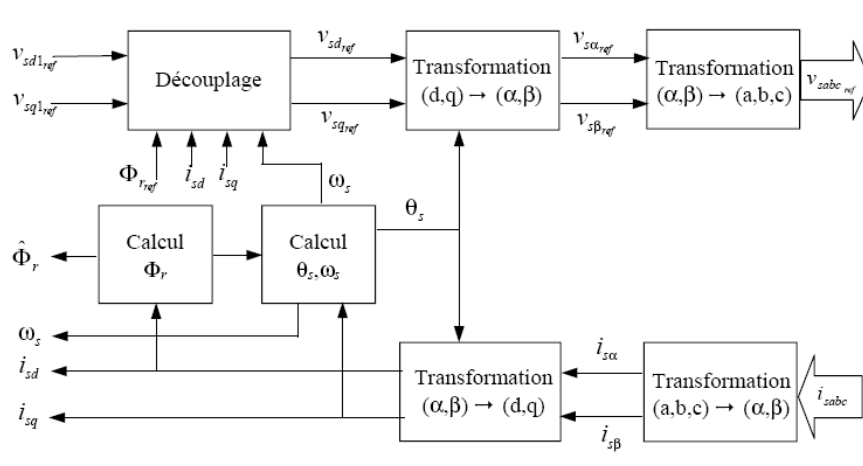


Fig. 10. Schéma de principe d'une commande vectorielle

Estimation de ϕ_r , ω_s et θ_s :

Les grandeurs d'état ou de sorties utilisées pour l'élaboration de la commande sont souvent difficilement accessibles pour des raisons techniques (c'est le cas du flux) ou pour des problèmes de coût.

Le flux peut être reconstitué:

* Des estimateurs utilisés en boucle ouverte.

* Des observateurs corrigeant en boucle fermées les variables estimées.

Le schéma illustrant cette commande est donné ci-dessous:

