



TD4: Commande vectorielle de la machine asynchrone

Exercice 1

La commande vectorielle du moteur asynchrone se fait en régime dynamique dans le repère lié au champ tournant (d,q) après la transformation de Park.

- 1- Donner les différentes transformations de Park et expliquer leurs intérêts.
- 2- Quels sont les critères de classification des différentes variantes de la commande vectorielle?.
- 3- Quel est l'objectif (l'intérêt) d'utiliser une commande vectorielle par orientation du flux? expliquer comment réaliser cette orientation.
- 4- Quel est la différence fondamentale entre une commande vectorielle directe et une commande vectorielle indirecte d'un moteur asynchrone?
- 5- Si on utilise la commande vectorielle par orientation du flux rotorique.
 - 5-1 Représenter dans le repère dq cette orientation.
 - 5-2 Donner l'expression du couple, de flux et de la pulsation rotorique lorsque le MAS fonctionne à flux nominal lorsqu'on applique la transformation de **Clarke**.
- 6- Quelles sont les grandeurs de réglage (contrôle) du couple et de flux?
- 7- Dans les deux cas de la commande vectorielle directe et indirecte. Expliquer comment calculer la position du flux θ_s .
- 8- Quel est l'intérêt d'utiliser l'autopilotage dans la commande vectorielle indirecte d'une machine asynchrone?
- 9- Si on alimente le moteur asynchrone en tension par un onduleur de tension commandé une fois en courant et une fois en tension.
 - 9-1 Donner les deux schémas de commande vectorielle indirecte dans les deux cas de la commande de l'onduleur.
- 10- Si on utilise le découplage par compensation des axes d et q dans le cas de la commande de l'onduleur en tension.
 - 10-1 Expliquer le principe de découplage par compensation des axes d et q, et donner son schéma de principe.
 - 10-2 Donner la fonction de transfert des courants statorique du moteur.
 - 10-3 Donner les deux schémas fonctionnels de la régulation des courants I_{sd} et I_{sq} et les expressions des deux paramètres du régulateur PI (k_{pi} et k_{ii}) et l'expression de la constante du temps de la dynamique des courants.
 - 10-4 Donner le schéma fonctionnel de la régulation de la vitesse et les expressions des deux paramètres du régulateur PI (k_p et k_i).
- 11- Quelle est le problème détecté lorsque la MAS fonctionne dans les régimes de grandes vitesses? Proposer une solution pour éviter ce problème et expliquer son principe.
- 12- Rétablir l'exercice si l'on utilise la commande vectorielle directe par orientation du flux rotorique et statorique.

Exercice 2

On désire varier la vitesse d'un moteur asynchrone de moyenne puissance par la technique de commande vectorielle.

- 1- Quel est le convertisseur de l'électronique de puissance capable pour alimenter ce moteur ?
- 2- Quelles sont les techniques de commandes utilisées pour la génération des signaux de contrôle des interrupteurs du convertisseur?
- 3- Expliquer le principe de chaque technique.
- 4- Si on utilise le couple électromagnétique comme grandeur de contrôle (commande) et on applique la transformation de **Concordia** pour obtenir le modèle du moteur dans le repère lié au champ tournant (d,q).

- 4-1 Donner le schéma de commande vectorielle indirecte par orientation du flux rotorique lors de l'application de chaque technique et expliquer le rôle des différentes parties de schéma.
- 4-2 Donner la fonction de transfert de vitesse et calculer son constant de temps.
- 4-3 Donner le schéma fonctionnel de la régulation de vitesse et calculer les paramètres du régulateur PI (k_{pv} et k_{iv}).
- 5- Si on utilise le courant I_{sq}^* comme grandeur de contrôle (commande) et en applique la transformation de **Concordia** pour obtenir le modèle du moteur dans le repère lié au champ tournant (d,q).
- 5-1 Donner la fonction de transfert de vitesse et calculer son constant de temps.
- 5-2 Donner le schéma fonctionnel de la régulation de vitesse et calculer les paramètres du régulateur PI (k_{pv} et k_{iv}).

Exercice 3

Un moteur asynchrone alimenté par un onduleur de tension commandé en tension. Le moteur est commandé par la technique vectorielle indirecte par orientation du flux rotorique (IRFO) par l'imposition directement des courants de références sans l'utilisation de la boucle de vitesse. Le modèle dynamique du moteur dans le repère lié au champ tournant (d,q) utilisée pour la construction des lois de commande IRFO est obtenue par la transformation de **Clarke**.

Les paramètres du moteur sont donnés dans le tableau

PARAMETRES ELECTRIQUES	PARAMETRES MECANQUES	PARAMETRES ELECTROMAGNETIQUES
$R_s = 4.85 \Omega$; Résistance du stator $R_r = 3.805 \Omega$; Résistance du rotor $L_s = 0.274 \text{ H}$; Inductance du stator $L_r = 0.274 \text{ H}$; Inductance du rotor $M = 0.258 \text{ H}$; Inductance Mutuelle	$J = 0.031 \text{ Kg.m}^2$ Moment d'inertie $f_r = 0.000114 \text{ SI}$; Coefficient de frottement	$C_{em} = 10 \text{ N.m}$; Couple nominal $p = 2$; Nombre de paire de pôle.

Le courant de référence I_{sd}^* est un constant et égale 3.85A, et le courant de référence I_{sq}^* varie entre 0 et 32A.

- 1- Expliquer le principe de ce type de commande.
- 2- Quelle est la différence fondamentale entre l'application de la transformation de Clarke et de Concordia?
- 3- Après l'application de ce type de commande, démontrer que les équations électriques statorique et rotorique sont donnés par :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s \cdot I_{sd} + \sigma L_s \cdot \frac{d}{dt} I_{sd} - \sigma \omega_s L_s \cdot I_{sq} \\ V_{sq} = R_s \cdot I_{sq} + \sigma L_s \cdot \frac{d}{dt} I_{sq} + \sigma \omega_s L_s \cdot I_{sd} + \omega_s \frac{M}{L_r} \Phi_r \\ \begin{cases} \frac{d}{dt} \Phi_r = \frac{-R_r}{L_r} \Phi_r + \frac{R_r M}{L_r} \cdot I_{sd} \\ 0 = \frac{R_r M}{L_r} \cdot I_{sq} - (\omega_s - \omega) \Phi_{rd} \end{cases} \end{cases}$$

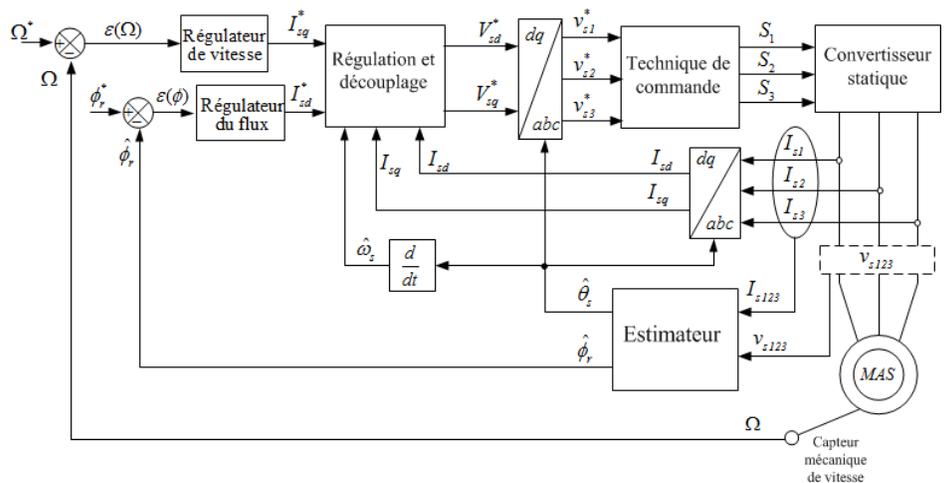
- 4- Un problème très important lie aux tensions statorique. Quel est ce problème et quel est obtenir ?
- 5- Quelles sont les inconvénients de ce problème.
- 6- Commun appelés les termes $\sigma \omega_s L_s \cdot I_{sq}$, $\sigma \omega_s L_s \cdot I_{sd}$ et $\omega_s \frac{M}{L_r} \Phi_r$.
- 7- Pour éviter ce problème, en utilise le découplage par compensation, expliquer son principe.
- 8- Donner la fonction de transfert des courants statorique du moteur ($\frac{I_s}{V_s}$) et calculer son constante de temps.
- 9- Donner les deux schémas fonctionnels de la régulation des courants I_{sd} et I_{sq} , et calculer les paramètres du régulateur PI (k_{pi} et k_{ii}) avec un coefficient d'amortissement $\xi = 0.707$ et une pulsation propre $\omega_n = 1000 \text{ rad} / \text{s}$.
- 10- Montrer que le flux rotorique répond sur un échelon de courant avec une constante de temps du 1^{er} ordre.
- 11- Calculer les constantes de temps statorique et rotorique de la machine.

- 12- Que remarquent pour le temps de réponse des courants par rapport à celui du flux rotorique.
- 13- Expliquer comment calculer la position du flux θ_s .
- 14- Donner le schéma de ce type de commande et expliquer le rôle des différentes parties de ce schéma.
- 15- Représenter dans le repère dq les vecteurs flux rotorique ($\hat{\phi}_r$), statorique ($\hat{\phi}_s$), et le vecteur courant (\hat{I}_s) avec ses deux composantes ($\hat{I}_{sd}, \hat{I}_{sq}$) dans les 2 cas de I_{sq}^* : $I_{sq}^* = 0A$, $I_{sq}^* = 32A$
- 16-1 Calculer le module du vecteur flux rotorique.
- 16-2 Calculer le module du vecteur flux rotorique statorique dans les 2 cas de I_{sq}^* .
- 16- Quelle signifie l'angle entre le vecteur flux rotorique ($\hat{\phi}_r$) et le vecteur flux statorique ($\hat{\phi}_s$)
- 17- Calculer la valeur maximale du couple électromagnétique que peut obtenir par le moteur sans dépasser les limites.
- 18- Calculer la valeur maximale et efficace du courant de la 1^{ère} phase lorsque $I_{sq}^* = 15A$.
- 19- Lorsqu'on applique la transformation de **Concordia**, que deviennent ces valeurs.
- 20- Lorsque le frottement du moteur est négligeable. Calculer le temps pour que le moteur atteigne la vitesse de 500 tr/mn.
- 21- Quel est le comportement de la machine si au moment où elle atteint les 100 rad/s on met brusquement $I_{sq}^* = 0A$.
- 22- Quel est le comportement de la machine si au moment où elle atteint les 100 rad/s on met brusquement $I_{sq}^* = -32A$.
- 23- Est-ce qu'elle atteindrait dans ce cas un régime permanent, si oui lequel, si non expliquer.

Exercice 4

La commande vectorielle d'un moteur asynchrone se fait en régime dynamique dans le repère lié au champ tournant (d,q) après la transformation de Park comme indique la figure ci-contre.

- 1- Quels sont les critères de classification des différentes variantes de la commande vectorielle?
- 2- Quel est le type de la commande vectorielle adoptée dans la figure ci-dessus?
- 3- On suppose que le flux rotorique est constant et nous appliquons la transformation de **Clarke**.



- 3-1 Donner la loi de commande dans ce cas (les expressions des courants I_{sd}^* , I_{sq}^*).
- 3-2 Représenter les vecteurs flux rotorique et le vecteur courant statorique et ses composantes dans le repère dq.
- 3-3 Quels sont les grandeurs de contrôle du couple et du flux?
- 3-4 Donner le schéma fonctionnel de régulation de la vitesse.
- 3-5 Donner les expressions des deux paramètres du régulateur PI de vitesse (k_{pv} et k_{iv}) et l'expression de la constante du temps de la dynamique de vitesse.
- 3-6 Donner les expressions estimées de la position du flux rotorique $\hat{\theta}_s$ et son module $\hat{\phi}_r$.
- 4- Quels sont les objectifs d'une régulation du flux rotorique?
 - 4-1 Donner le schéma fonctionnel de la régulation du flux.
 - 4-2 Donner les expressions des deux paramètres du régulateur PI du flux (k_{pf} et k_{if}).
- 5- Bloc de régulation et de découplage.

- 5-1 Expliquer le principe du bloc de régulation et de découplage.
- 5-2 Quelles sont les grandeurs à réguler dans ce bloc?
- 5-3 Donner le schéma fonctionnel de ce bloc.
- 5-4 Donner les expressions des deux paramètres (k_p et k_i) pour l'un des deux régulateurs PI utilisés dans ce bloc et la constante du temps de dynamiques des grandeurs à réguler.
- 6- Le MAS fonction à flux constant et tourne à une vitesse de 150 rad/s avec un temps de réponse de 0.25s. Si on applique un couple résistant $C_r=0.5C_n$ à l'instant $t=1.5s$, représenter approximativement les allures de $\Omega(t)$ et $C_{em}(t)$ un intervalle de temps de simulation de 2.5s et en déduire les allures des courants statoriques i_{sd} et i_{sq} et celles des flux rotoriques.
- 7- Dans quel régime de fonctionnement le couple et le flux doivent être réduits? Dans ce régime de fonctionnement donner l'expression de flux de référence.