

TP2

Commande scalaire en tension avec convertisseur et pilotage MLI d'un moteur asynchrone (Régulation avec boucle de vitesse)

La commande des moteurs asynchrones est plus difficile à réaliser que pour d'autres machines électriques.

De nombreuses stratégies de commandes ont été développées pour en faire une machine asynchrone qui dépasse les autres, même dans les systèmes commandés. En général, la commande de la machine asynchrone se divise en deux classes.

- ✓ Commande de faible coût et faible performance (commande scalaire).
- ✓ Commande à haute performance comme la commande vectorielle par orientation de flux rotorique et la commande DTC qui assurant une dynamique élevée.

La commande scalaire est la plus simple et la plus répandue dans la majorité des applications industrielles.

Objectifs de TP:

Le but de ce TP est de montrer comment la machine asynchrone peut être utilisée dans des applications d'entraînements réglés. La commande scalaire est relativement simple. Elle est basée sur le modèle en régime permanent sinusoïdal. Elle permet d'atteindre des performances remarquables en pratique. Il existe plusieurs commandes scalaires selon qu'on agit sur le courant ou la tension. Elles dépendent surtout de la topologie de variateur utilisé (onduleur de tension ou de courant). L'onduleur de tension est le plus utilisé en petite et moyenne puissance. La commande la plus utilisée est la loi V_s/f pour garder le flux constant.

L'alimentation à fréquence variable se fait à l'aide d'un convertisseur statique généralement continu – alternatif. La source d'entrée peut être de type source de tension.

Dans ce TP une attention particulière est portée sur la commande scalaire à V_s/f constant d'une machine asynchrone alimentée en tension.

Dans ce TP en contrôle les amplitudes des tensions et leur fréquence à la sortie de l'onduleur de tension.

Partie1 : Principe générale de commande scalaire en tension avec convertisseur et pilotage MLI d'un moteur asynchrone.

La variation de la vitesse des machines asynchrones se fait à l'aide de la commande scalaire comme indique la figure (1). La variation de la vitesse des machines asynchrones par la commande scalaire se fait par la variation de la fréquence statorique f_s (pulsation statorique) et la tension V_s . Cette variation est obtenue par la loi d'autopilotage $\theta_s = \theta_r + \theta \Rightarrow \omega_s = \omega_r + \omega$ à l'aide d'un capteur mécanique de vitesse.

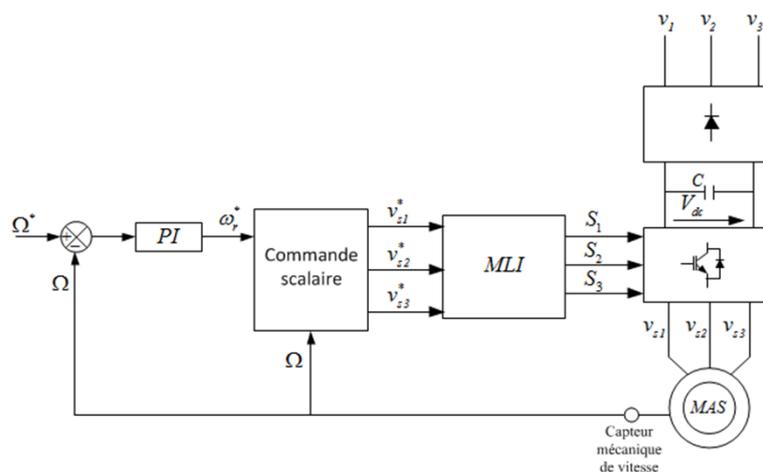


Figure 1 : Schéma de principe de la commande scalaire en tension de la MAS

La commande scalaire en tension des moteurs asynchrones est obtenue dans le repère lié au champ tournant (d,q) lorsque le couple est maximal.

Les équations de la machine qui permettent de calculer le couple et de prévoir les points de fonctionnement sont basés sur le modèle en régime permanent de la MAS. C'est à dire en régime établi, qu'elle est alimentée avec sous un système triphasé de valeur efficace constante et qu'elle tourne à une vitesse constante.

En régime permanent, on a

$$0 = \left(\frac{R_r}{g} \bar{I}_r + jL_r \omega_s \bar{I}_r + jM \omega_s \bar{I}_s \right)$$

Où $\omega_s = \omega_r / g$ est la pulsation des courants statoriques.

Le couple électromagnétique est donné par:

$$C_e = \frac{3pV_s^2}{\omega_s} \frac{R_r/g}{\left(\frac{R_r}{g} \right)^2 + (N_r' \omega_s)^2}$$

Le contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement.

En fort vitesse la chute de tension ohmique est négligée. La tension et le flux statorique sont liés par la relation $\bar{V}_s = j\omega_s \bar{\phi}_s$.

Travail demandé:

- 1- Donner les expressions du couple en fonction de la pulsation rotorique et le flux statorique, en fonction de la pulsation rotorique et le flux rotorique.
- 2- Montrer que le couple maximal est donné par:

$$C_{e\max} = \frac{3p}{2N_r'} \left(\frac{V_s}{\omega_s} \right)^2$$

On voit bien que le couple maximal est directement proportionnel au carré du rapport de la tension sur la fréquence statorique.

- 3- Montrer que la tension statorique est exprimée en fonction du flux statorique par la relation suivant :

$$V_s = \omega_s \phi_s \sqrt{\frac{(R_s / \omega_s L_s - \sigma \omega_r T_r)^2 + (1 + \omega_r T_r R_s / \omega_s L_s)^2}{1 + (\sigma \omega_r T_r)^2}}$$

$$\text{Avec } T_r = L_r / R_r, \text{ et } \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}.$$

Lorsque $L_r \ll R_r$ on a l'approximation de T_r vers 0.

- 4- Montrer que la tension statorique est exprimée en fonction du flux statorique par la relation suivant :

$$V_s = \phi_s \omega_s \sqrt{\left(\frac{R_s}{\omega_s L_s} \right)^2 + 1}$$

A partir de cette expression on fixe l'amplitude de la tension de commande puis on reconstitue le système alternatif triphasé pour la technique MLI.

- 5- A l'aide de la relation d'autopilotage $\theta_s = \theta_r + \theta \Rightarrow \omega_s = \omega_{ref} + \omega$ et la loi de commande V_s en fonction de Φ_s , donner le schéma de commande scalaire en tension (V_s/ω_s constant) de la MAS en faible et fort vitesse.

Partie 2 : Simulation de la commande scalaire en tension avec convertisseur et pilotage MLI d'un moteur asynchrone

Le schéma de commande de la figure 2 présente la manière de variation de la vitesse (régulation de la vitesse) du moteur asynchrone par la loi d'autopilotage $\theta_s = \theta_r + \theta \Rightarrow \omega_s = \omega_{ref} + \omega$ en reconstituant la pulsation statorique à partir de la vitesse du moteur et de la pulsation rotorique.

Le circuit de commande de ce schéma de simulation comporte trois parties essentielles, la régulation de la vitesse, la loi de commande scalaire et la technique MLI.

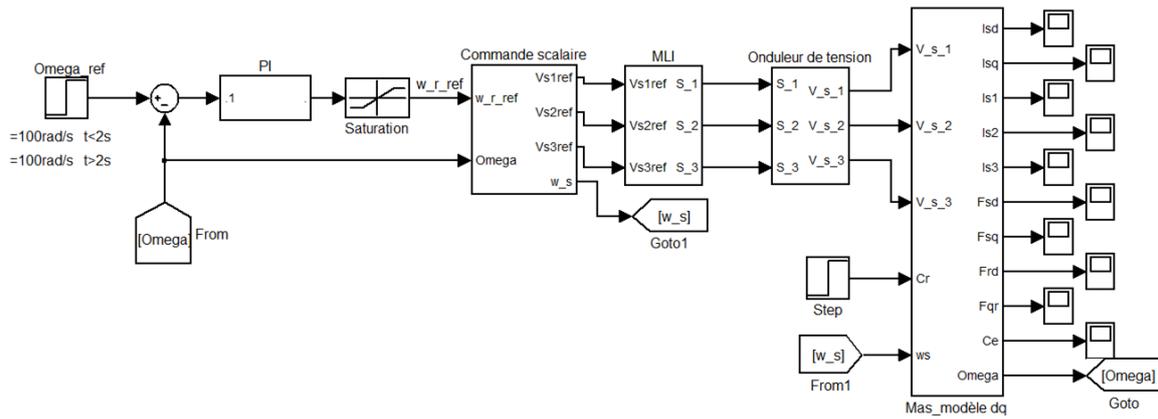


Figure 2 : Schéma de simulation de la commande scalaire en tension de la MAS

1-Le régulateur PI

La régulation de la vitesse du moteur asynchrone, est utilisée pour la détermination de la pulsation rotorique de référence w_{r_ref} . Cette dernière, qui est l'image du couple de la machine. Si la machine est chargée, la vitesse décroît, le régulateur va fournir plus de couple (donc plus de glissement) afin d'assurer cet équilibre. La pulsation statorique est donc modifiée pour garder cet équilibre. La tension est calculée de manière à garantir le mode de contrôle en V_s/w_s constant de la machine. Le régulateur PI est représenté comme indique la figure 3.

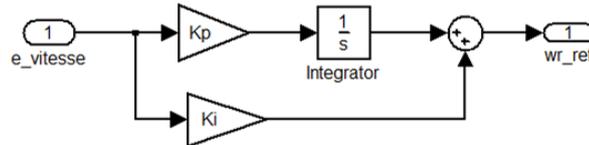


Figure 3 : Schéma de simulation du régulateur PI

Travail demandé:

- 1- Donner l'expression de la pulsation rotorique w_{r_ref} en fonction de la vitesse du moteur.
- 2- Calculer les paramètres du régulateur PI (k_p et k_i).

2- La commande scalaire en tension

En fort vitesse la chute de tension ohmique est négligée.

-La loi de commande $V_{sn}/w_{sn}=k.phi$, on gardé cette loi toujours pour un flux constant.

$$\omega_s^* = \omega_r^* + p\Omega$$

$$\theta_s^* = \omega_s^* / p$$

- Calcules des tensions de références v_{s123}^*

$$\begin{cases} v_{s1}^* = V_s^* \sin(\omega_s^* t) \\ v_{s2}^* = V_s^* \sin(\omega_s^* t - 2\pi / 3) \\ v_{s3}^* = V_s^* \sin(\omega_s^* t + 2\pi / 3) \end{cases}$$

$$V_s^* = kphi * \omega_s^*$$

A basse vitesse la chute de tension ohmique ne peut pas être négligée. On compense alors en ajoutant à la tension V_s^* un terme de tension V_0 .

$$V_s^* = kphi * \omega_s^* + V_0$$

3- La technique MLI

3-1 Paramètres de la MLI triangulo-sinusoidale

Cette technique est connue par deux paramètres:

- Le coefficient de réglage en tension $r = \frac{V_r}{V_p} = 0.92$;

Avec : V_r : Amplitude de la référence. V_p : Amplitude de la porteuse.

- L'indice de modulation m égal au rapport de la fréquence de modulation ou de découpage sur la fréquence de référence

$$m = \frac{f_p}{f}$$

- La fréquence de porteuse $f_p = 2000\text{Hz}$.

-La tension de la source d'entrée $V_{dc} = 600\text{V}$.

Partie3 : Etude du comportement du moteur asynchrone avec commande scalaire en tension

Réaliser la simulation de la figure 2 sur un temps de simulation de 4s avec pas fixe de 10^{-4}s et une saturation du PI de l'ordre de 10rad/s avec un couple résistant de 5Nm insérée à $t=2.5\text{s}$.

Travail demandé :

1- Visualiser et relever en faible et fort vitesse:

- Les trois grandeurs (courant statorique, couple instantané et la vitesse) à vide et en charge.
- Commenter les résultats et justifier les différences remarquées.

Paramètres de la machine asynchrone

PARAMETRES ELECTRIQUES	PARAMETRES MECANIQUES	PARAMETRES ELECTROMAGNETIQUES
$R_s = 1.411 \Omega$ Résistance du stator $R_r = 1.045 \Omega$ Résistance du rotor $L_s = 0.1164 \text{ H}$ Inductance du stator $L_r = 0.1164 \text{ H}$ Inductance du rotor $M = 0.1113 \text{ H}$ Inductance Mutuelle $P = 3 \text{ KW}$ puissance nominale	$J = 0.011 \text{ Kg.m}^2$ Moment d'inertie $f = 0 \text{ SI}$ Coefficient de frottement	$C_e = 19 \text{ N.m}$ Couple nominal $p = 2$ Nombre de paire de pôle.