

TP 03 : Autopilotage de la machine synchrone

3.1 Présentation

Ce TP propose d'étudier le pilotage d'une machine synchrone à pôles lisses en charge. Dans un premier temps un modèle de la machine synchrone triphasée sera proposé et le pilotage scalaire de cette machine sera envisagé. Un autopilotage vectoriel sera ensuite étudié.

Enfin, une charge sera ajoutée au système, ce qui permettra d'étudier les effets de cette charge sur l'asservissement en vitesse.

3.2 Modèle de la machine synchrone triphasée

On considère une machine synchrone à pôles lisses dont les tensions statoriques sont définies comme suit :

$$v_{sa} = R.i_{sa} + L.\frac{di_{sa}}{dt} + p.\Omega.\frac{d\Phi_{fa}}{d\theta_e} = R.i_{sa} + L.\frac{di_{sa}}{dt} + e_a$$

$$v_{sb} = R.i_{sb} + L.\frac{di_{sb}}{dt} + p.\Omega.\frac{d\Phi_{fb}}{d\theta_e} = R.i_{sb} + L.\frac{di_{sb}}{dt} + e_b$$

$$v_{sc} = R.i_{sc} + L.\frac{di_{sc}}{dt} + p.\Omega.\frac{d\Phi_{fc}}{d\theta_e} = R.i_{sc} + L.\frac{di_{sc}}{dt} + e_c$$

En remplaçant les fem par leurs expressions en fonction des flux, on obtient:

$$C_{em} = p \left[i_{sa} \cdot \frac{d\Phi_{fa}}{d\theta_e} + i_{sb} \cdot \frac{d\Phi_{fb}}{d\theta_e} + i_{sc} \cdot \frac{d\Phi_{fc}}{d\theta_e} \right]$$

L'équation fondamentale de la dynamique s'écrit:

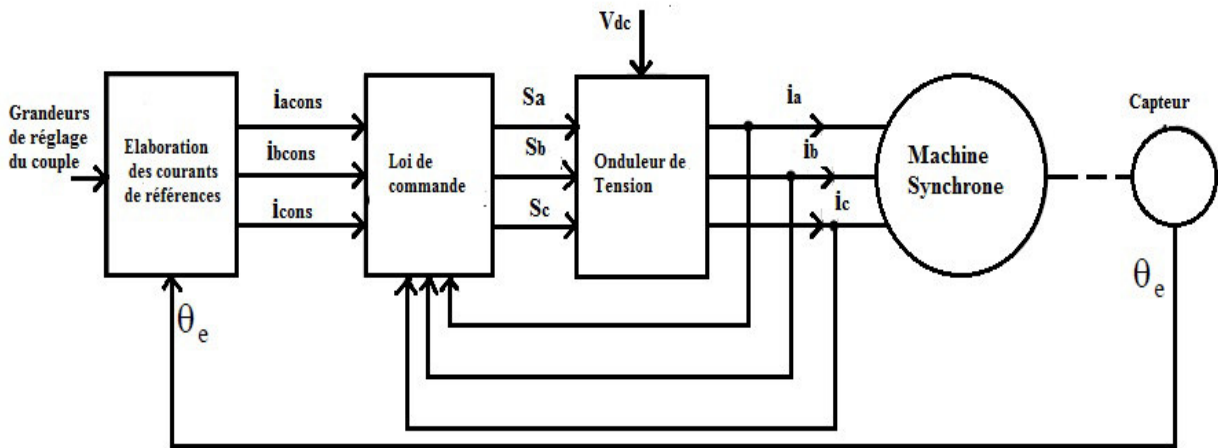
$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_{em} - C_r = J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{J}{p} \frac{d^2\theta_e}{dt^2} \quad \text{Avec } \theta_e = p\theta_m$$

- a. Proposer un modèle de la machine synchrone triphasée utilisant ces équations
- b. Implanter ce modèle sous Matlab Simulink.

3.3 Autopilotage de la machine synchrone

En fonctionnement autopiloté, l'angle électrique de la machine est réutilisé dans la génération des consignes de l'onduleur.

Avec un découpage à fréquence suffisamment élevée, il est possible d'injecter dans les trois phases de la machine des courants dont la composante fondamentale suit une référence sinusoïdale fonction de la position angulaire θ_e



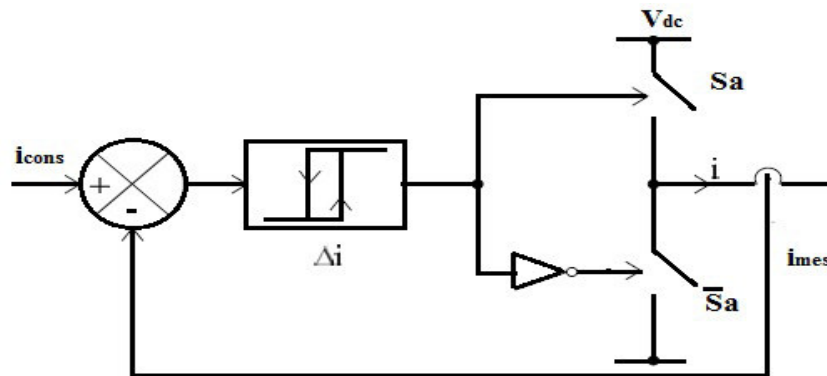
Elaboration des références ou des courants de consigne

$$i_{acons} = I_{\max\ cons} \cdot \cos(\theta_e + \frac{\pi}{2} - \psi) \quad i_{bcons} = I_{\max\ cons} \cdot \cos(\theta_e + \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3} - \psi)$$

$$i_{ccons} = I_{\max\ cons} \cdot \cos(\theta_e + \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi}{3} - \psi)$$

Loi de commande

Les lois de commande doivent être telles que sur chaque phase la composante fondamentale du courant est égal au courant de consigne. Pour cela il suffit de comparer les courants mesurés aux courants de consigne et d'agir sur les commandes des interrupteurs de façon à minimiser les erreurs entre les courants mesurés et les courants de consigne. Le contrôle des courants peut être assuré par la commande à hystérésis



Ce type de contrôle, bien que de mise en œuvre simple est peu utilisé par les industriels car cette méthode permet théoriquement de garantir une erreur maximum définie par Δi .

Modèle de l'onduleur de tension

Un onduleur est un composant de puissance permettant d'asservir des tensions ou des courants de consignes. Nous utiliserons dans ce TP un onduleur de tensions.

Les tensions simples peuvent s'exprimer à partir des relations entre les fonctions de commutation qui relient la tension du bus continu V_{dc} aux tensions du côté alternatif de l'onduleur (V_{Sa} , V_{Sb} et V_{Sc}) référencées par rapport au neutre du réseau

$$\begin{bmatrix} v_{Sa} \\ v_{Sb} \\ v_{Sc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2S_a & -S_b & -S_c \\ -S_a & 2S_b & -S_c \\ -S_a & -S_b & 2S_c \end{bmatrix} V_{dc}$$

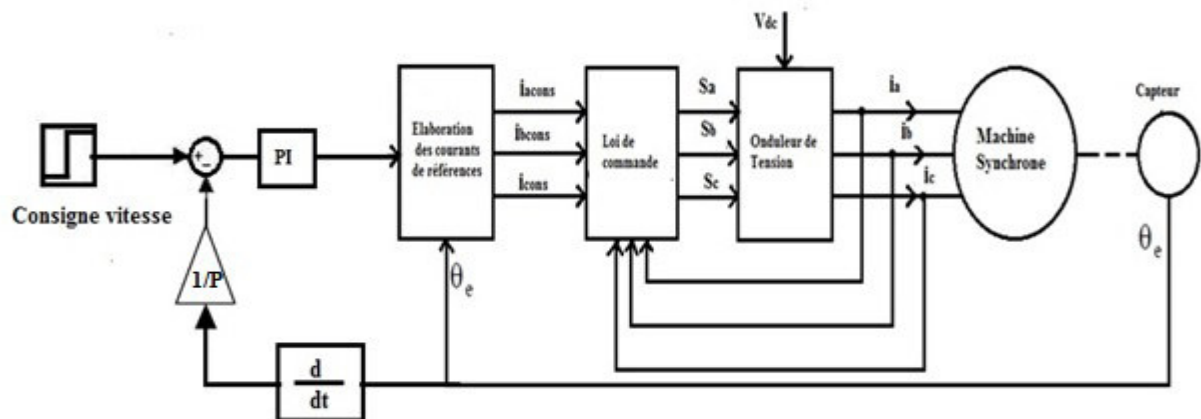
Les états des interrupteurs formant chaque bras sont complémentaires, la fonction de connexion de chaque bras est définie par la fonction suivante :

$$S_K = \begin{cases} +1 & \bar{S}_K = 0 \\ 0 & \bar{S}_K = 1 \end{cases} \quad \text{Pour } K = a, b, c$$

- a. Simuler le comportement du système sur une durée de 10s.
- b. Observer les courants I_{abc} , les tensions V_{abc} et la vitesse de rotation de la machine
- c. Faire varier ψ entre 0 et $(\pi / 2)$ et observer l'effet sur la vitesse de rotation en régime permanent
- d. Interpréter les résultats

3.4 Asservissement en vitesse de la machine synchrone

Implanter un asservissement en vitesse de la machine synchrone autopilotée. Le correcteur choisi sera de type PI. Vérifier le bon fonctionnement de la commande en vitesse de la machine synchrone. La commande réalisée permet de piloter une machine synchrone à la manière d'un moteur à courant continu.



On s'intéresse à présent à l'effet d'un échelon de couple sur le fonctionnement du moteur synchrone autopiloté.

- a. Observer les formes des courants, tensions et vitesse au démarrage et pour un échelon de couple résistant d'amplitude 0.5 Nm appliqué à $t=5s$.
- b. Vérifier le bon fonctionnement de la commande en vitesse de la machine synchrone. La commande réalisée permet de piloter une machine synchrone à la manière d'un moteur à courant continu.
- c. Interpréter les résultats

3.5 Conclure

3.6 Les paramètres de simulations

Paramètres de la machine

Résistance d'un enroulement: $R = 4 \Omega$

Inductance cyclique: $L = 2.5 \text{ mH}$

Nombre de paires de pôles: $p = 4$

Constante de fem: $k = 0.2 \text{ V/rd/s}$

Moment d'inertie du groupe: $J = 0.0009 \text{ kg.m}^2$

Constante électromécanique : $\Phi_f = k / P$

On supposera que la charge impose un couple résistant proportionnel à la vitesse. $C_r = f \cdot \Omega$

Paramètres de l'onduleur et de la commande.

Tension continue d'alimentation: $V_{dc} = 200 \text{ V}$.

Hystérésis: largeur de la fenêtre: $\Delta i = 0.5$

MLI: Fréquence de la porteuse: $f_b = 10 \text{ KHz}$.