

TP N° 5 : Modélisation, Simulation et contrôle d'une chaîne de conversion éolienne

Objectifs :

- Savoir modéliser simuler, et contrôler une chaîne de conversion éolienne composée d'un générateur synchrone à aimants permanents, d'un redresseur triphasé à commande par MLI, et une charge de type batterie.

Introduction

Parmi les convertisseurs les plus utilisés dans les chaînes de conversion d'énergie éolienne est le redresseur triphasé à modulation de largeur des impulsions MLI, parce qu'il offre un control totalement réversible de la puissance instantanée. L'association du redresseur à commande par MLI avec l'aérogénérateur synchrone à aimants permanent permet un autopilotage direct du générateur en contrôlant les grandeurs électromécaniques tel que le couple C_{em} ou la vitesse de rotation de la génératrice Ω .

Commande de la génératrice synchrone à aimants permanents

La figure 1 illustre les trois fonctions de la commande de la **GSAP** qui sont :

- 1- L'algorithme d'extraction du maximum de puissance MPPT.
- 2- La commande vectorielle de la GSAP.
- 3- Le contrôle du convertisseur MLI.

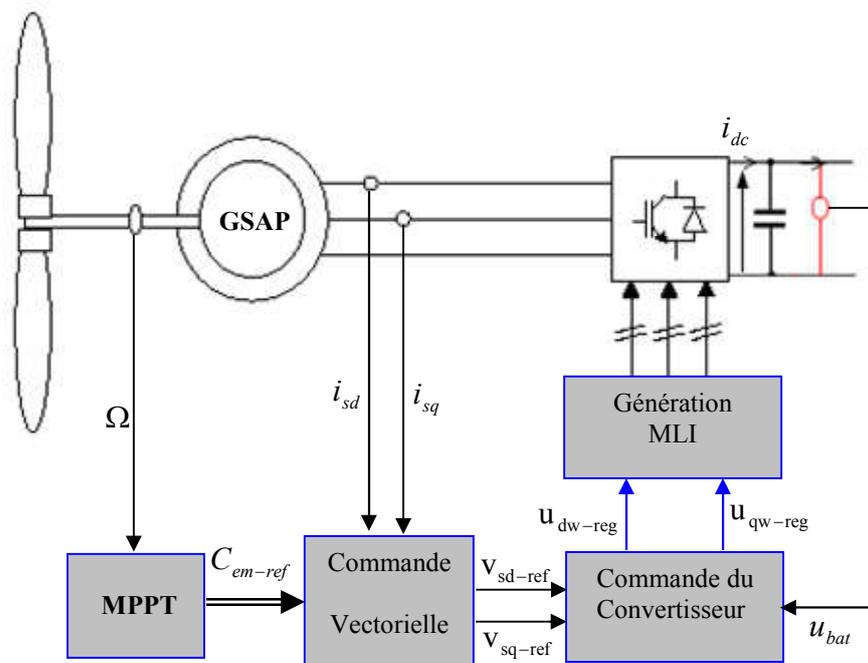


Figure 1 : Commande de la génératrice synchrone à aimants permanents

Commande en couple de la GSAP

La commande vectorielle est une méthode qui traite la technique de contrôle des machines à courant alternatif. Son principe consiste à éliminer le couplage entre l'inducteur et l'induit en dissociant le courant statorique en deux composantes (I_{ds}, I_{qs}) en quadrature dans un référentiel lié au champ tournant de façon que l'une des composantes (I_{qs}) commande le couple et l'autre (I_{ds}) commande le flux, ce qui permet d'obtenir un fonctionnement comparable à celui d'une machine à courant continu, à excitation séparée

La commande de la génératrice est basée sur un pilotage vectoriel classique avec capteur de position. Le champ magnétique d'excitation dans une machine synchrone est produit par le rotor. Ce champ magnétique tourne avec une vitesse angulaire égale à la vitesse de rotation électrique $p\Omega$. Un autre champ magnétique tournant est appelé la réaction de l'induit est produit par les enroulements de stator. La vitesse de rotation est liée à la pulsation du champ tournant par la relation :

$$\Omega = \frac{\omega}{p} \quad (5-1)$$

Où p est le nombre de paires de pôles de la machine. Si on suppose un fonctionnement de la machine à vide et sans pertes, seul le flux magnétique d'excitation apparaît. La commande vectorielle classique consiste à aligner un des deux axes du repère de Park, généralement l'axe direct d selon ce vecteur tournant composé par le champ d'excitation.

Lorsque la machine est chargée, une réaction d'induit apparaît et déplace le flux d'excitation. Le couple électromagnétique et la vitesse de rotation dépendent donc des courants statoriques et du flux magnétique. Comme nous avons vu dans le chapitre 3, le modèle de la machine synchrone à aimants permanents dans le repère de Park est donné par les équations différentielles :

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s I_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega\psi_{sq} \\ V_{sq} = R_s I_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega\psi_{sd} \end{cases} \quad (5-2)$$

$$\text{Avec: } \begin{cases} \psi_{sd} = L_{sd} i_{sd} + \psi_f \\ \psi_{sq} = L_{sq} i_{sq} \end{cases} \quad (5-3)$$

L'expression du couple électromagnétique est donnée par :

$$C_{em} = \frac{3}{2} P [\psi_{sd} i_{sq} - \psi_{sq} i_{sd}] \quad (5-4)$$

Parmi les stratégies de commande vectorielle appliquées à une machine synchrone, celle qui consiste à imposer une référence du courant direct I_{sd} à zéro est la plus répandue. Ce choix est justifié dans le but d'éviter la démagnétisation des aimants permanents due à la réaction d'armature selon l'axe d .

Le couple électromagnétique est donné donc par l'expression.

$$C_{em} = \frac{3}{2} P \psi_f i_{sq} \quad (5-5)$$

L'expression du courant de référence i_{sq} est donnée donc par:

$$i_{sq-ref} = \frac{2}{3 \cdot p \cdot \psi_f} C_{em-ref} = \beta \cdot C_{em-ref} \quad (5-6)$$

β est un constant donné par : $\beta = \frac{2}{3 \cdot p \cdot \psi_f}$

A flux d'excitation émis par les aimants, il est donc possible de réguler le couple électromagnétique en contrôlant le courant i_{sq} tandis que le courant i_{sd} est asservi à zéro.

Synthèse de correcteurs

On propose de mettre en œuvre des régulateurs de type PI dans la structure de commande. Les équations du modèle mathématique de la machine synchrone à aimants permanents peuvent être écrites par la forme :

$$\begin{cases} V_{sd}(p) = R_s \cdot I_{sd}(p) + P \cdot L_s \cdot I_{sd}(p) - \omega \cdot \psi_{sq}(p) \\ V_{sq}(p) = R_s \cdot I_{sq}(p) + P \cdot L_s \cdot I_{sq}(p) + \omega \cdot \psi_{sd}(p) \end{cases} \quad (5-7)$$

Les termes de couplage en $E_{dq} = \omega \cdot \psi_{sdq}$ sont considérés comme des perturbations mesurables. La fonction de transfert de la machine peut s'écrire sous la forme :

$$G_s(p) = \frac{1}{R_s + L_s p} = \frac{1}{R_s} \cdot \frac{1}{1 + T_e \cdot p} \quad (5-8)$$

$$G_s(p) = \frac{I_{sd,q}(p)}{V_{sd,q}(p) + E_{d,q}(p)} \quad (5-9)$$

Avec la constante de temps électrique :

$$T_e = \frac{L_s}{R_s} \quad (5-10)$$

Les boucles de régulation se présentent alors sous la forme du schéma donné sur la figure 2, (Le schéma est identique pour la boucle de courant dans l'axe q).

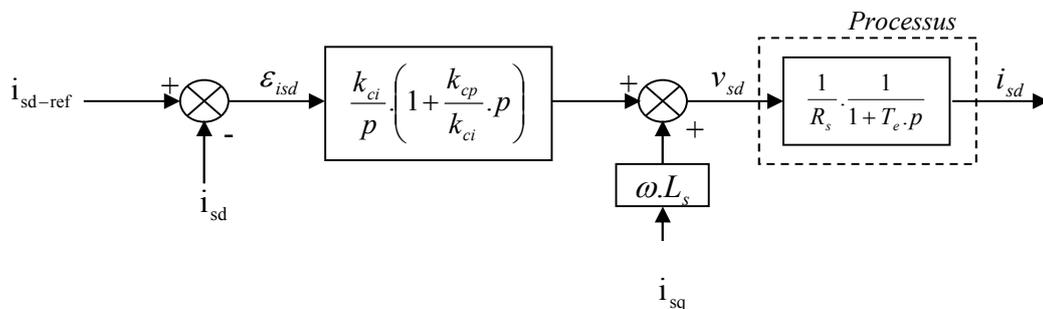


Figure 2 : Boucle de régulation de courant I_d

En boucle ouverte la fonction de transfert est donnée par:

$$G_0(p) = \frac{k_{ci}}{p} \left(1 + \frac{k_{cp}}{k_{ci}} \cdot p \right) \cdot \frac{1}{R_s} \cdot \frac{1}{1 + T_e \cdot p} \quad (5-11)$$

Les paramètres du régulateur sont déterminés par la méthode de la compensation du pôle en boucle ouverte. Ainsi, les constantes de temps sont égales à :

$$T_0 = T_e = \frac{k_{cp}}{k_{ci}} \quad (5-12)$$

En boucle fermée, la fonction de transfert devient :

$$G(p) = \frac{G_0(p)}{1 + G_0(p)} = \frac{1}{1 + \frac{R_s}{k_{ci}} \cdot p} = \frac{1}{1 + T_f \cdot p} \quad (5-13)$$

En boucle fermée la constante de temps T_f est donc égale à:

$$T_f = \frac{R_s}{k_{ci}} \quad (5-14)$$

Alors :

$$k_{ci} = \frac{R_s}{T_f} \quad (5-15)$$

Le coefficient proportionnel k_{cp} est déduit donc par l'expression :

$$k_{cp} = \frac{L_s}{T_f} \quad (5-16)$$

La figure 3 illustre la stratégie de commande en couple, elle comporte les boucles de régulation de courants et le découplage des tensions.

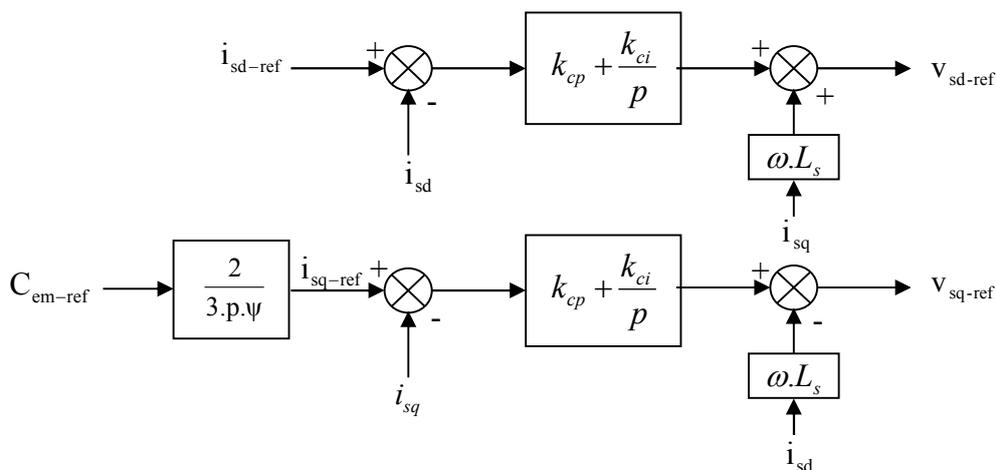


Figure 3 : stratégies de commande en couple de GSAP

Les tensions de références générées v_{sd} , v_{sq} sont utilisées en suite dans la modélisation du redresseur à commande par MLI.

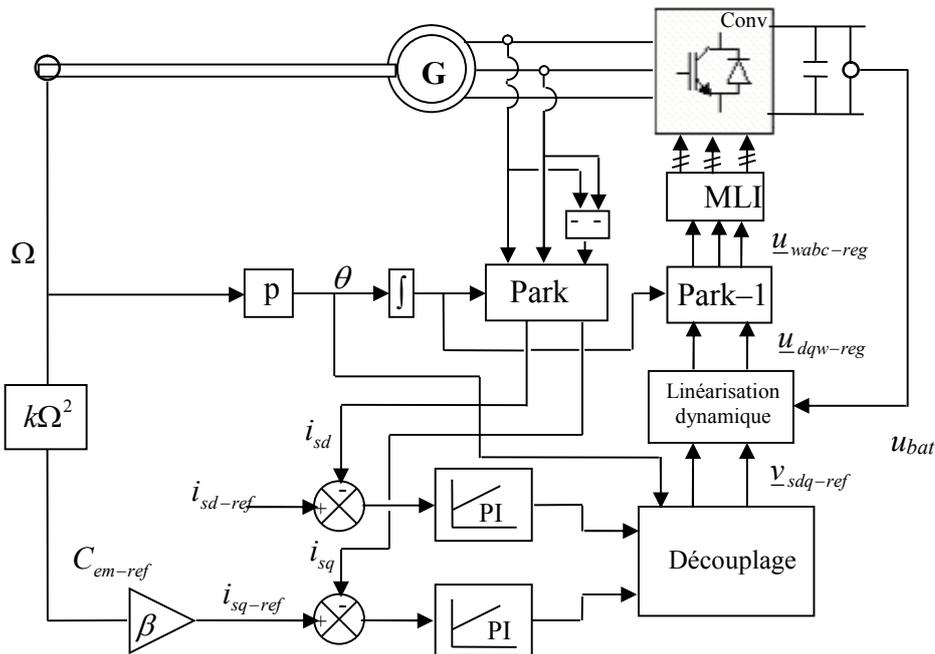


Figure 4 : Schéma complet de commande vectorielle de GSAP associée au convertisseur MLI

Travail Demandé :

- 1) Calculer les régulateur PI
- 2) Réaliser le schéma bloc de la figure 4, en imposant une vitesse constante du générateur.
- 3) Réaliser le schéma bloc de la figure 4, en associant la turbine éolienne étudiée dans le TP 2.
- 4) Visualiser pour un profil du vent aléatoire, la puissance électrique, l'énergie électrique fournie pour une intervalle de temps, le coefficient de puissance, les courants (I_{dref} , I_d), (I_{qref} , I_q), les tensions (V_{dref} , V_d), (V_{qref} , V_q), le couple électromagnétique du générateur, la tensio Vdc
- 5) Conclusion