Etude et Contrôle des Puissances de la GADA Dans une Chaine Eolienne

S. Ghoudelbourk ⁽¹⁾, T. Bahi ⁽²⁾, H. Merabet ⁽²⁾, Y. soufi ⁽³⁾

(1) Département d'électrotechnique, Université de Skikda. Laboratoire d'Electronique (L.R.E.S)

(2) Département d'électrotechnique, Université de Annaba,
(3) Département de génie électrique, Université de Université de Tebessa.

E-Mail: sghoudelbourk@yahoo.fr

Résumé— Dans cet article, on présente une étude sur la modélisation et le contrôle des puissances active et réactive d'une génératrice asynchrone à double alimentation (GADA). Nous considérons le fonctionnement de la machine dans tous les domaines de fonctionnement possibles. Et, en fonction des conditions imposées aux références des puissances nous analyserons les performances de la commande pour différents modes de fonctionnement.

Les essais de simulations sont réalisés en utilisant le logiciel Matlab Simulink et les résultats obtenus sont présentés et analysés.

Mots clé- Contrôle, Modélisation, GADA Simulation.

1. INTRODUCTION

L'augmentation de la demande énergétique se traduit, en réalité, par une augmentation rapide de l'activité industrielle. pour satisfaire la demande de la pollution en matière énergétique. A cet effet, d'importants prévisions de l'installation des chaines de production en énergie renouvelable telle que les éolienne est amplement encouragé. La commande de la vitesse de la machine dans la chaine éolienne par des convertisseurs statiques offre d'une part la possibilité de réduire les contraintes de la structure mécanique et la réduction du bruit acoustique et permet principalement de contrôler la puissance active et réactive [1].

Dans cet article, nous nous sommes particulièrement intéressés au contrôle séparé des puissances active et réactive. Pour cela on a développé le modèle électrique de la génératrice et le contrôle des puissances au stator échangées entre la GADA et le réseau. La stratégie de la commande vectorielle et aussi t présentée.

La figure 1, illustre le schéma unifilaire de la chaine de conversion que nous avons considéré le long de notre étude.

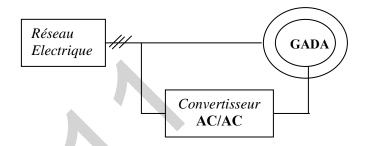


Fig.1 Schéma du la chaine de conversion

2. MODELISATION DE LA GADA

La génératrice asynchrone à double alimentation (GADA) a des enroulements statoriques identiques à ceux d'une machine asynchrone à cage. Les trois phases des enroulements rotoriques sont reliées à un système de contacts glissants qui permet d'avoir accès aux tensions et courants du rotor [3]. La commande des tensions rotoriques permet de créer un champ magnétique à l'intérieur de la machine, qui permettent ainsi à celle ci de fonctionner en hyper ou hypo synchronisme aussi bien en mode moteur qu'en mode générateur et ce indépendamment de la vitesse de rotation [4] [5].

Les équations générales d'une la machine asynchrone à rotor bobiné s'écrivent, dans un repère triphasé, de la manière suivante [6][7]:

$$\begin{split} V_{sd} &= R_s I_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \dot{\theta}_s \varphi_{sq} \\ V_{sq} &= R_s I_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \dot{\theta}_s \varphi_{sd} \\ V_{rd} &= R_r I_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \dot{\theta}_r \varphi_{rq} \\ V_{rq} &= R_r I_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + \dot{\theta}_r \varphi_{rd} \end{split} \tag{1}$$

$$\begin{array}{l} ^{43} \\ \varphi_{sd} = L_s I_{sd} + M I_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s I_{sq} + M I_{rq} \\ \varphi_{rd} = L_r I_{rd} + M I_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r I_{rq} + M I_{sq} \end{array}$$

$$(2)$$

Et, l'équation mécanique de la machine est donnée par l'expression suivante :

$$J_{\frac{d\Omega}{dt}} = C_{em} - C_{r} - k_{f} \cdot \Omega \qquad (3)$$

Où, J et k_f sont respectivement le moment d'inertie et le coefficient de frottement.

Le couple électromagnétique (Cem) est :

$$C_{em} = p \frac{M}{L_s} (I_{rq} \phi_{sd} - I_{rd} \phi_{sq})$$
 (4)

Nous considérons que la machine fonctionne en mode hyper synchrone, ce qui permet un transfert optimal de puissance en utilisant la commande vectorielle directe avec orientation du flux statorique [4]. A cet effet, nous allons déterminer les équations qui lient les puissances statoriques actives et réactives aux grandeurs rotoriques sur lesquelles nous agissons pour commander la machine. Il s'agit au fait d'orienter le flux statorique suivant l'axe « d » du référentiel tournant afin d'assurer un découplage entre le stator et le rotor .Soit :

$$\phi_{sd} = \phi_s \quad et \quad \phi_{sq} = 0$$
 (5)

Donc,

$$\mathbf{C}_{\mathrm{em}} = \mathbf{p} \, \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{L}_{\mathrm{s}}} \mathbf{I}_{\mathrm{rq}} \mathbf{\phi}_{\mathrm{sd}} \tag{6}$$

En tenant compte de (5) les équations des flux (4) deviennent :

$$\begin{cases} \phi_{sd} = L_s I_{sd} + MI_{rd} \\ 0 = L_s I_{sq} + MI_{rq} \end{cases}$$
(7)

Si l'on suppose que le réseau électrique est stable, de tension simple $V_{\mathbf{z}}$, le flux statorique $\phi_{\mathbf{z}}$ sera constant et par conséquent l'équation (6) montre que le couple électromagnétique $C_{\mathbf{z}m}$ est directement proportionnel à la composante en quadrature du courant rotorique en $I_{\mathbf{rq}}$. Alors, si l'on néglige la résistance des enroulements statoriques, les équations (2) de la machine se réduisent à :

$$\begin{cases}
V_{sd} = \frac{d\varphi_s}{dt} \\
V_{sq} = \omega_s \varphi_s
\end{cases}$$
(8)

Où 📭 est la pulsation électrique des gradateurs statoriques.

En considérant que le flux statorique ($\Phi_s)\,$ constant, on déduit $\,$ que :

$$\begin{cases} V_{sd} = 0 \\ V_{sq} = \omega_s \varphi_s \end{cases}$$
 (9)

Puis, en considérant (7), on déduit les expressions suivantes :

$$\begin{cases} I_{sd} = -\frac{M}{L_s} I_{rd} + \frac{\varphi_s}{L_s} \\ I_{sq} = -\frac{M}{L_s} I_{rq} \end{cases}$$
(10)

Les puissances actives et réactives statoriques s'écrivent :

$$\begin{cases}
P = V_{sd}I_{sd} + V_{sq}I_{sq} \\
Q = V_{sq}I_{sd} - V_{sd}I_{sq}
\end{cases}$$
(11)

Où encore, en gardant l'hypothèse que le Φ_s est constant et en considérant l'équation (9), on obtient :

$$\begin{cases}
\mathbf{P} = \mathbf{V_s} \mathbf{I_{sq}} \\
\mathbf{Q} = \mathbf{V_s} \mathbf{I_{sd}}
\end{cases}$$
(12)

Alors, en substituant dans l'équation précédente les (5) courants par leurs expressions (10), on obtient :

$$\begin{cases} P = -V_s \frac{M}{L_s} I_{rq} \\ Q = V_s \frac{M}{L_s} I_{rd} + V_s \frac{\Phi_s}{L_s} \end{cases}$$
(13)

A partir des équations (8) et (9), nous obtenons, pour les flux statoriques, l'expression suivante :

$$\phi_{\mathtt{s}} = \frac{\mathtt{v}_{\mathtt{s}}}{\omega_{\mathtt{s}}} \tag{14}$$

L'expression des puissances (13) peut être réécrite sous la forme ci dessous :

$$\begin{cases}
P = -V_s \frac{M}{L_s} I_{rq} \\
Q = -V_s \frac{M}{L_s} I_{rd} + \frac{V_s^2}{L_s \omega_s}
\end{cases} (15)$$

Si l'on considère l'inductance magnétique (M) constante, on remarque que l'équation (15) fait apparaître que la puissance active statorique (P) est directement proportionnelle à la composante du courant rotorique \mathbb{I}_{rq} .

Afin de pouvoir contrôler correctement la machine, il faut alors établir la relation entre les courants et les tensions rotoriques qui seront appliqués à la machine. On obtient :

$$\begin{cases} \varphi_{\rm rd} = (L_{\rm r} - M^2)I_{\rm rd} + \frac{MV_g}{L_g\omega_g} \\ \varphi_{\rm rq} = (L_{\rm r} - \frac{M^2}{L_g})I_{\rm rq} \end{cases}$$
(16)

$$\begin{cases} V_{rd} = R_r I_{rd} + (L_r - M^2) \frac{dI_{rd}}{dt} - g\omega_s (L_r - M^2) I_{rq} \\ V_{rq} = R_r I_{rq} + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s}\right) \frac{dI_{rq}}{dt} + g\omega_s (L_r - M^2) I_{rd} + g \frac{MV_s}{L_s} \end{cases}$$
(17)

Où g correspond au glissement de la machine asynchrone.

$$g = \frac{\omega_g - \omega_{\Gamma}}{\omega_g} \tag{18}$$

À partir du modèle que nous venons de développé, nous pouvons monter les relations entre les tensions appliquées au rotor de la machine et les puissances statoriques que cela engendre. En effet en considérant les relations (15) et (18), on présente dans la figure 2 qui comporte en entrées les tensions rotoriques et en sortie les puissances actives et réactive statoriques.

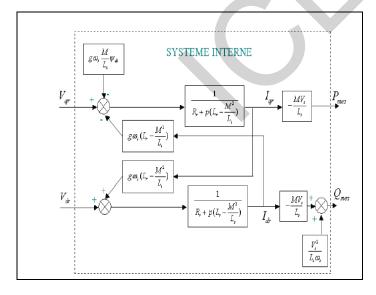


Fig.2 Structure interne de la GADA.

Ce schéma fait apparaître des fonctions de transfert du premier ordre pour les deux axes liant les tensions rotoriques aux puissances actives et réactive statoriques. Il montre également que nous pouvons mettre en place une commande vectorielle étant donné qu'à l'influence des couplages près, chaque axe peut être commandé indépendamment avec chacun son propre régulateur [2].

Les grandeurs de références pour ces régulateurs seront : la puissance active pour l'axe q rotorique et la puissance active pour l'axe d rotorique. La consigne de puissance réactive poura etre maintenue nulle pour assurer un facteur de puissance unitaire côté stator de façon à optimiser la qualité de l'énergie renvoyée sur le réseau. La consigne de

puissance active devra permettre de garder optimal le coefficient de puissance de l'éolienne .

3. RESULTATS ET INTERPRETATION

Nous avons réalisés les essais de simulations en supposant que la vitesse du vent est variable et qu'elle reste constante dans quelques intervalles de temps. La figure 3 montre la forme de l'évolution de vent considéré. En fonction de cette forme nous avons déterminé l'allure de la vitesse de rotation et calculé le glissement correspondant à chaque instant.

Ces deux dernières grandeurs sont représentées respectivement par les figures 4-a et 4-b.

Pour justifier les performances de la commande utilisée nous avons réalisé une simulation qui présente les modes de fonctionnement de la machine. Pour cela, nous avons appliqué au système des consignes en puissances active et réactive dont les formes sont illustrées en figures 5-1 et 5-3 respectivement. Ces consignes considèrent même le cas où le facteur de puissance est unitaire. Sous l'effet de ces grandeurs ; nous remarquons que les résultats de simulations obtenues (voir figure 5-2 et 5-3) , montrent que les puissances suivent parfaitement leurs valeurs respectives de consignes . Les figures 6a et 6b présentent respectivement les évolutions de la tension et du courant statoriques et un zoom sur ces grandeurs pour trois périodes de fonctionnement.

Notant que qu'elle que soit la variation de la consigne ou la variation de vitesse de vent la tension statorique garde pendant toute la période une amplitude et une fréquence constantes qui correspond aux paramètres impose par le réseau de connections cella représente une condition nécessaire de raccordement au réseau. Electrique. La Figure 7 présente la tension rotorique .Par ailleurs la figure 8 montre les zooms sur la tension et le courant rotoriques pour un glissement inferieure a zéro par contre la figure 9 montre 1 évolution des même grandeurs précédentes mais pour un glissement supérieure a zéro .

Pour ces deux représentations, On remarque que le déphasage entre la tension rotorique et le courant rotorique est Q> $\Pi/2$ pour un glissement inferieure a zéro et Q< $\Pi/2$ pour un glissement supérieure a zéro .

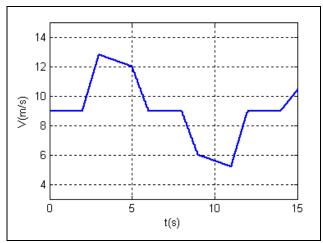


Fig.3 Variation de vitesse de vent en fonction de temps

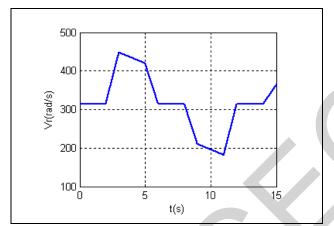


Fig.4a Variation de vitesse rotorique en fonction de temps

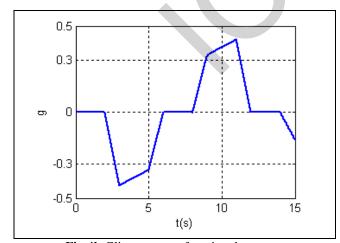


Fig.4b Glissement en fonction de temps

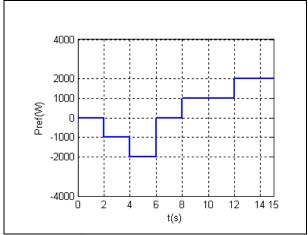


Fig.5a Puissance active de référence

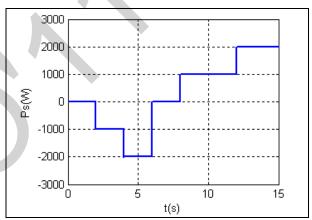


Fig.5b Puissance Active

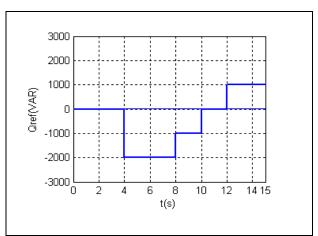


Fig.5c Puissance Réactive de référence

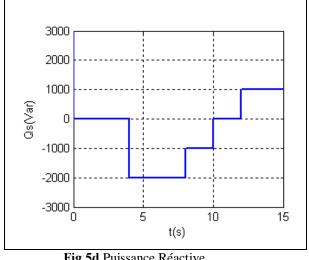


Fig.5d Puissance Réactive

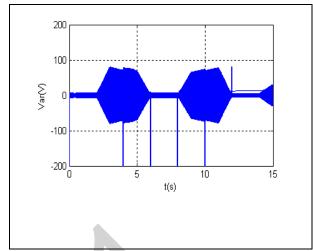


Fig.7 Tension rotorique

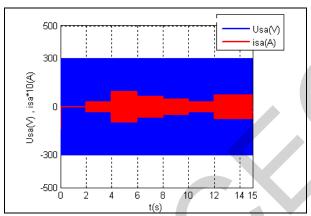


Fig.6a Tension et courant statoriques

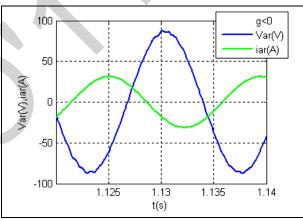


Fig.8 Zoom des tension et courant rotoriques (g < 0)

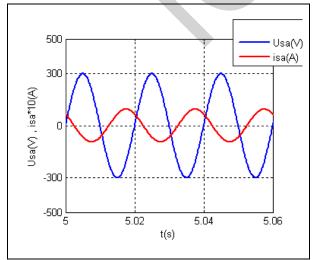


Fig.6b Zoom sur la tension et courant statorique

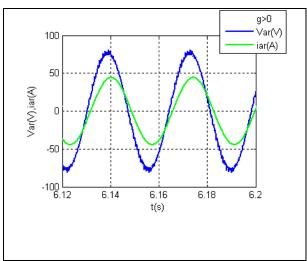


Fig.9 Zoom tension et courant rotorique (g > 0)

4. CONCLUSION

Nous avons traité l'aspect modélisation et commande de la machine asynchrone à double alimentation pour le fonctionnement en générateur.

A l'issu de ce travail, on remarque que la commande directe présentait des résultats convenables et une faible complexité de mise en œuvre. D'après la simulation effectue Le système a pue suivre la variation de vitesse de vents toute en gardant les performances exiges de puissance active et réactive séparé de toute la chaine ainsi il a garde l'amplitude et la fréquence de tension statorique constante qui représente une des conditions de raccordement au réseau.

REFERENCES

- [1]A. Boyette, "Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne", Thèse de doctorat de l'université de Henry Poincaré, Nancy I, Décembre 2006.
- [2]K.Ghedamsi "Performance Analysis of a Flywheel Energy Storage System Associated to a variable-speed wind generator", J.Electrical Systems
- [3]A. Boyette, Shahrokh Saadate, "Éolienne avec génératrice à double alimentation et unité de stockage d'énergie pour production d'électricité", EPF Grenoble (CD rom S7-2) juillet 2006.
- [4] Frédéric Poitiers, "Étude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne", école polytechnique de l'université de Nantes, 2003.
- [5] Janaka B. Elkanayake, Lee Holdsworth, XueGuang Wu, and Nicholas Jenkins, "Dynamic Modeling of Doubly Fed Induction Generator Wind Turbine", IEEE Transactions on power systems, Vol. 18, NO. 2, May 2003.
- [6] J. Morren1, S.W.h. de Haan1, P. Bauer1, J.T.G. Pierik2), J. Bozelie3), "Comparison of complete and reduced models of a wind turbine with Doubly-Fed Induction Generator", Toulouse, ISBN: 90-75815-07-7. EPE 2003. [7] H. Akagi, S. Ogasawara, H. Kim, "The theory of instantaneous power in three phase four wire systems and its applications", electrical engineering in Japan, ol.135, n 3, PP.74-86, 2001.