

DTC d'un MAS utilisé pour l'optimisation des performances d'un panneau photovoltaïque

B. Mokhtari^{1*}, A. Cheknane¹, A. Ameer¹, L. Mokrani¹ et B. Azoui²

¹ Laboratoire de Recherche LEDMASD, Département de Génie Electrique, Université Amar Tilidji, Laghouat, Algérie

² Laboratoire de Recherche LEB, Département d'Electrotechnique, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie

(reçu le 10 Décembre 2008 – accepté le 25 Décembre 2008)

Résumé - Dans cet article, nous proposons un système de poursuite capable d'orienter un panneau photovoltaïque pour assurer un maximum d'ensoleillement et par conséquent améliorer le rendement global du système. Ce dernier est composé de trois blocs essentiels: un bloc de capture de l'ensoleillement, un bloc d'orientation du panneau et un bloc de transmission de rotation. Les trois blocs sont respectivement de nature électronique, électromagnétique et mécanique. Notre étude porte essentiellement sur le bloc électromagnétique.

Abstract - In this article, we propose a tracking system able to orientate a photovoltaic panel in order to ensure a maximum sunlight and therefore enhance the global efficiency of the system. This later is composed of three essential blocks: the block capture of the sunlight, the orientation block of the panel and the rotation transmission block. The blocks are respectively of the nature electronic, electromagnetic and mechanic. Our study focuses essentially on the electromagnetic block.

Mots clés: Panneau solaire - Rayonnement solaire - Système de poursuite - DTC - MAS.

1. INTRODUCTION

Le rendement des panneaux solaires a toujours été jugé insuffisant pour que ces derniers puissent produire une énergie importante capable d'assurer l'alimentation d'un système plus au moins puissant.

Parmi plusieurs paramètres influençant ce rendement, on cite le flux d'ensoleillement projeté sur le panneau solaire et donc capté par les cellules photovoltaïques. Plusieurs études ont été faites afin d'améliorer le rendement global et de profiter ainsi au maximum de la conversion énergétique obtenue [1].

Dans ce qui suit, on propose un système optimal de poursuite d'un panneau solaire pour améliorer le rendement de conversion et exploiter l'ensoleillement au maximum possible.

Le rayonnement solaire est un facteur majeur pour convertir l'énergie en électricité, néanmoins la projection de ces rayons sur les dispositifs de capture à savoir: les cellules photovoltaïques, affecte sérieusement le rendement de conversion du panneau photovoltaïque.

* am_mok@yahoo.fr _ cheknanali@yhoo.com
Mokrani_lakhdar@hotmail.com _ Azoui_b@yahoo.com

2. DESCRIPTION DES BLOCS DU SYSTEME PROPOSE

Notre proposition est de concevoir trois parties essentielles, à savoir: la partie de capture du maximum d'ensoleillement, qui est constituée d'un bloc électronique, la partie de commande de rotation du panneau solaire composée d'un moteur asynchrone (MAS) commandé par une DTC (Direct Torque Control) et alimenté par un onduleur à deux niveaux et la dernière partie est constituée d'un système de transmission de rotation par engrenage mécanique pour réduire l'angle de rotation du moteur et la rend capable de faire tourner le panneau avec précision souhaitée.

2.1 Capture d'ensoleillement

Ce bloc est conçu avec deux photodiodes, dont le principe de fonctionnement est de faire exposer l'une des deux au ciel ouvert et la deuxième sera incluse dans un tube de dimension bien déterminé afin de détecter l'ombre, lorsque le soleil se déplace. Le système de commande du moteur s'enclenche lorsqu'on aura l'état unique: '10' tels que '1' représente une excitation de la première photodiode et '0' représente l'absence d'une excitation pour la deuxième, alors que les autres états possibles sont '00' et '11' et le cas impossible est '01' où on ne peut pas avoir la possibilité d'une excitation de la deuxième photodiode incluse dans un tube sans celle de la première qui est exposé au ciel ouvert.

Si on symbolise l'état de la première photodiode par 'A' et celui de la deuxième par 'B', la sortie ou le résultat de ces configurations est le produit logique ' $A \cdot \overline{B}$ ' qui sera égale à '1' dans le cas qui nécessite une rotation (absence d'ensoleillement uniquement sur la deuxième photodiode).

Cette sortie génère des impulsions excitatrices de l'interrupteur du circuit d'alimentation d'un onduleur à deux niveaux et qui est formé d'un accumulateur bien adapté et chargeable depuis le panneau solaire lui-même, cette procédure nous laisse profiter d'une alimentation autonome.

Le schéma de la figure 1 décrit ce processus de capture et de déclenchement de l'organe d'alimentation du moteur asynchrone (MAS) qui est l'onduleur à deux niveaux commandé en tension par la technique dite DTC.

2.2 Bloc de commande pour l'orientation du panneau solaire

La méthode de Contrôle Direct du Couple 'DTC' a été introduite en 1985 par Takahashi et Depenbrock spécialement pour les machines asynchrones [2, 3]. Ensuite, plusieurs études ont permis de développer plus précisément la connaissance de cette commande. Cette technique de commande a été appliquée aussi aux machines synchrones [3-5].

C'est une nouvelle stratégie de commande concurrentielle des méthodes classiques, basées sur une alimentation par un onduleur à Modulation de Largeur d'Impulsions 'MLI' et sur un découplage du flux et du couple moteur par orientation du champ magnétique du stator.

En régime permanent, la tension statorique permet d'estimer facilement le flux statorique à partir du courant et de la tension statoriques (I_s , V_s). Le fait que la DTC commande directement les interrupteurs sans passer par des régulateurs, améliore très nettement ses performances dynamiques par rapport aux autres commandes [5].

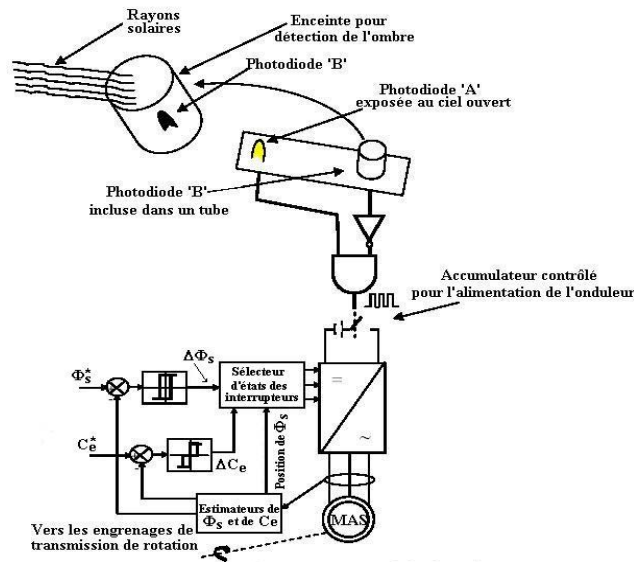


Fig. 1: Schéma global des deux blocs :
capture de l'ensoleillement et commande du moteur 'MAS'

Dans un cas comme le notre, où on cherche de réduire en maximum le coût de la réalisation du système afin d'augmenter le rendement global, une telle stratégie de commande qui ne nécessite pas des capteurs semble le bon choix, en plus, elle est l'une des meilleures stratégies, chaque fois qu'un fort couple est demandé (condition nécessaire dans le cas de l'application considérée).

Le modèle adopté pour le MAS est donné comme suit [5]:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (1)$$

$$X = [i_{\alpha s} \ i_{\beta s} \ \phi_{\alpha s} \ \phi_{\beta s}]^t, \quad U = [v_{\alpha s} \ v_{\beta s}]^t$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_s} \right) & -\omega_r & \frac{1}{\sigma L_s T_r} & \frac{\omega_r}{\sigma L_s} \\ \omega_r & -\frac{1}{\sigma} \left(\frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_s} \right) & -\frac{\omega_r}{\sigma L_s} & \frac{1}{\sigma L_s T_r} \\ -r_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -r_s & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma L_s} \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\sigma = 1 - \frac{m^2}{L_s L_r}, \quad T_s = \frac{L_s}{r_s}, \quad T_r = \frac{L_r}{r_r}, \quad \omega_r = p\Omega$$

D'autre part, le couple électromagnétique est exprimé dans le référentiel (α, β) par:

$$C_e = 3/2 p \cdot (\phi_{\alpha s} i_{\beta s} - \phi_{\beta s} i_{\alpha s}) \quad (2)$$

L'équation mécanique du moteur s'écrit ainsi:

$$J \cdot \dot{\Omega} = C_e - C_r - f_r \Omega \quad (3)$$

La commande DTC d'un MAS est basée sur la détermination directe de la séquence de commande appliquée aux interrupteurs d'un onduleur de tension. Ce choix est basé généralement sur l'utilisation de comparateurs à hystérésis dont la fonction est de contrôler l'état du système, à savoir l'amplitude du flux statorique et du couple électromagnétique.

Un onduleur de tension classique à deux niveaux permet d'atteindre sept positions distinctes dans le plan de phase, correspondant aux huit séquences de tension de l'onduleur [1, 4].

Ces positions sont illustrées dans la figure 2. Par ailleurs, le **tableau 1** présente les séquences correspondant à chaque position, sachant que l'erreur entre le flux de référence et le flux estimé est introduite dans un comparateur à hystérésis à deux niveaux, qui délivre '1' si cette erreur est positive et '0' si elle est négative. De même, l'erreur entre le couple de référence et le couple estimé est introduite dans un comparateur à hystérésis à trois niveaux, et qui délivre '1' si elle est positive, '0' si elle est nulle, et '-1' si elle est négative.

L'utilisation de trois états pour régler le couple a été proposée pour essayer de minimiser la fréquence de commutation moyenne, car sa dynamique est, en général, plus rapide que celle du flux [4].

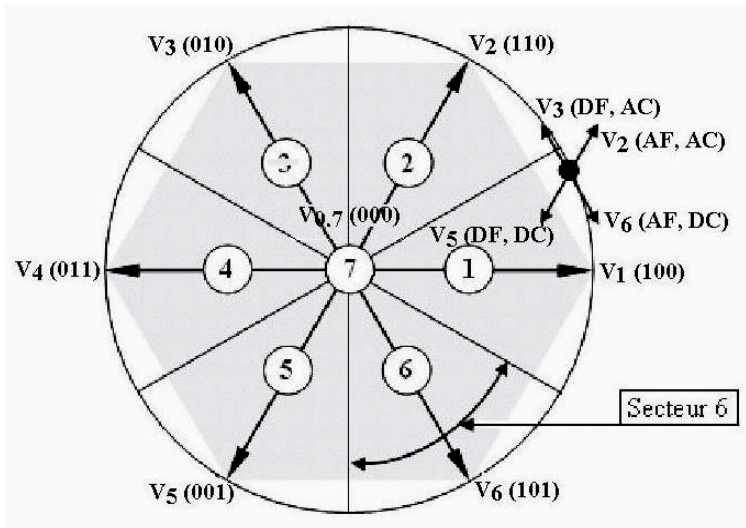


Fig. 2: Différents vecteurs de tensions statoriques délivrés par un onduleur de tension à deux niveaux
Tels que: A(D)F: Augmenter (Diminuer) le flux, A(D)C: Augmenter (Diminuer) le couple

Tableau 1: Table de localisation des vecteurs tensions

$\Delta\phi_s$	ΔC_e	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	0	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7
	-1	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
0	1	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
	-1	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

Où $S_{i=1,\dots,6}$ sont les secteurs de localisation de vecteur flux statorique.

2.3 Bloc de transmission

Le MAS entraîné tourne lorsque son onduleur reçoit de l'accumulateur l'énergie nécessaire, ce dernier fonctionne selon l'état '10' du système de capture. Cependant et pour permettre la rotation du panneau selon le trajet du soleil et donc d'assurer la poursuite optimale on doit faire cette rotation en deux mouvements, l'un selon l'axe horizontal et l'autre selon le vertical.

A cette fin nous pouvons concevoir un système d'engrenage mécanique selon le dimensionnement du panneau considéré.

Le schéma de la figure illustre l'idée d'une telle conception.

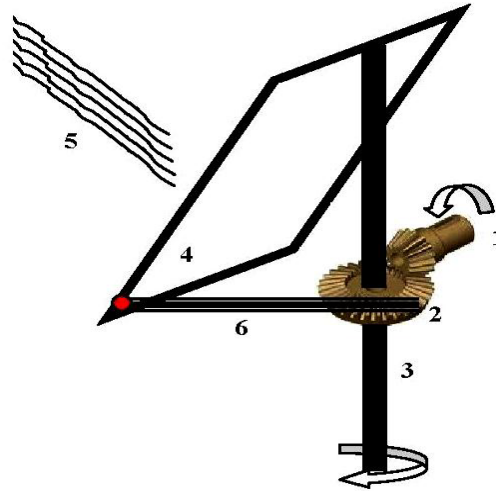


Fig. 3: Système de transmission par engrenage

1- Arbre du rotor du moteur équipé d'un engrenage conique, 2- Engrenage fixé sur l'axe vertical du panneau, 3- Axe de rotation du panneau, 4- Panneau solaire, 5- Projection des rayons solaires, 6- Vis sans fin pour la rotation verticale.

Par cette conception, nous assurons deux rotations, horizontale et verticale du panneau solaire. Pour la poursuite selon l'axe vertical, on utilise une vis sans fin fixée sur le bout bas du panneau pour permettre un couple fort de rotation vers le haut et vers le bas, l'autre extrémité de la vis se raccroche sur l'axe vertical avec la possibilité de

mouvement libre sur la surface de l'engrenage '2'. En effet la vis sans fin permet de réaliser une liaison hélicoïdale, c'est-à-dire de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation, et dans certain cas, de transformer une translation en rotation.

3. RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSION

On s'intéresse dans ce qui suit d'illustrer le comportement du MAS commandé par DTC, suivant un scénario de courte durée, où on suppose que l'ensoleillement est assuré pendant un intervalle de temps, puis on aura son absence due au déplacement du soleil.

La figure 4 illustre le couple développé par le MAS au démarrage, sa charge est de 10 N.m, et le système de capture excite l'alimentation de l'onduleur. A l'instant $t = 1.5$ s, le système de capture coupe le circuit d'alimentation parce que le panneau s'est trouvé en bonne position, où les deux photodiodes subissent le rayonnement directement et simultanément. Dans ce cas, le couple et la vitesse s'annulent durant tout le temps où l'ensoleillement est assuré.

A l'instant $t = 2.5$ s, l'ombre atteint l'intérieur du tube, faute de quoi l'état de la photodiode 'B' prend la valeur '0', ce qui excite le circuit d'alimentation à nouveau et démarre le moteur une deuxième fois.

Pendant le redémarrage, on peut constater une augmentation du couple dépassant 30 N.m, puisque le moteur exerce un couple opposé au couple de l'arrêt qui est dans le sens inverse (négatif), néanmoins cette augmentation ne pose pas un problème majeur si on prend en considération que ce n'est qu'un régime transitoire au bout de quelques fractions de seconde.

Etant une caractéristique de cette technique de commande, l'allure du couple montre une ondulation plus ou moins importante. Cependant, ces ondulations n'affectent pas les performances de notre système étudié [4].

Le temps d'ensoleillement optimal est le temps au cours duquel les rayons du soleil sont perpendiculaires au panneau où le rendement est optimal. Sinon, le panneau solaire doit être piloté afin de poursuivre la trajectoire du soleil.

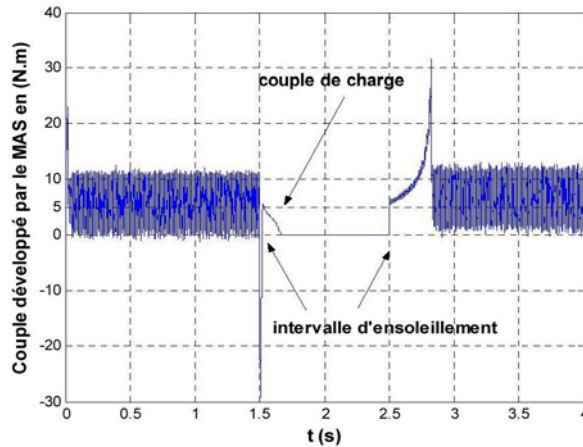


Fig. 4: Couple développé par le moteur commandé par DTC entre deux temps non optimaux

4. CONCLUSION

Dans ce présent travail, nous avons proposé une conception d'un système de poursuite d'un panneau solaire dans le but d'améliorer le rendement global de la conversion d'énergie et de renforcer la robustesse du système solaire.

Nous avons abordé l'étude de chaque bloc à part et nous avons éclairci l'idée de conception de chacun. La partie électromagnétique a été plus au moins détaillée. La simplicité de l'idée rend ce projet réalisable, néanmoins des contraintes peuvent se manifester surtout au niveau du dimensionnement.

En autres, nos résultats de simulation portant sur la technique de commande du MAS et donc du système photovoltaïque, montrent que cette stratégie utilisée s'adapte bien au fonctionnement sans capteur mécanique, permettant ainsi de réduire de façon considérable le coût de l'implantation du système proposé.

REFERENCES

- [1] A. Ameer, A. Cheknane, B. Mokhtari, M. Birame et A. Hamdi, 'Commande d'un Système Photovoltaïque à Deux Degrés de Liberté par un Moteur à Reluctance Variable Contrôlé par DTC', ICRESO_07, 21-24 Mai 2007, Tlemcen, Algérie.
- [2] C. Carlos, 'Modélisation Contrôle Vectoriel et DTC, Commande des Moteurs Asynchrones I', Edition Hermes Science, Europe 2000.
- [3] I. Messaïfi, M. Berkouk and N. Saadia, 'Ripple Reduction in DTC Drives by Using a Three-Level NPC VSI', Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2007, 14th IEEE International Conference on Volume, pp. 1179 – 1182, 11-14 Dec. 2007.
- [4] I. Takahashi and Y. Ohmori, 'High-Performance Direct Torque Control of an Induction Motor', IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 25, pp. 257 - 264, March/April 1989.
- [5] B. Mokhtari, 'Implantation de la DTFC par des Techniques de l'Intelligence Artificielle Neuronale et Floue : Application à la Machine Asynchrone Alimentée par des Onduleurs de Tension à deux et trois Niveaux', Mémoire de Magister, Université de Batna, 2004.

ANNEXE

Paramètres du MAS entraîné par DTC

Paramètre	Symbole	Valeur (S.I)
Fréquence	f	50
Puissance	P _n	1500
Tension d'alimentation	V _n	220/380
Courant	I _n	6.31/3.64
Vitesse de rotation	Ω _n	1480
Nombre de paires de pôles	p	2
Résistance statorique	r _s	4.850
Résistance rotorique	r _r	3.805

Inductance statorique	L_s	0.274
Inductance rotorique	L_r	0.274
Inductance mutuelle	M	0.258
Inertie	J	0.031
Coefficient de frottements	f_r	0.008
