

Fonction de filtre actif d'un système de production d'énergie photovoltaïque couplé au réseau triphasé

A. Djerioui^{*1}, K. Aliouane², F. Bouchafaa¹

(1) Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene BP 32 El Alia, Beb Ezzouar, Alger

(2) UER Electrotechnique, EMP, BP, 17 Bordj El Bahri, Alger Fax : +213 21 86 32 04

E-mail : alidjerioui@yahoo.fr, kam-ali@lycos.com, fbouchafa@gmail.com

Résumé- Cet article analyse le fonctionnement d'un système de production photovoltaïque interconnectée aux réseaux électrique avec la fonction de filtrage actif. Pour l'amélioration des performances de système en réduisant le taux d'harmonique dans le réseau plus sensiblement tout en bénéficiant d'un apport en énergie active surtout que l'énergie utilisée est propre et renouvelable. La structure qui en résulte, permet de maintenir les objectifs principaux du filtrage actif tout en assurant un facteur de puissance unitaire côté réseau. Des résultats de simulation seront présentés pour montrer l'efficacité de la structure proposée dans la compensation de la puissance réactive et des harmoniques produits par la charge polluante.

Mots-Clés- Filtre actif, Facteur de puissance, Modulation vectorielle SVM, PLL, MPPT, générateur photovoltaïque PV.

I. Introduction

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

A la différence des énergies fossiles Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie hydroélectrique et la biomasse doivent jouer un rôle important pour atteindre cet objectif.

L'Algérie, pays du soleil et de l'espace, peut s'inspirer de ces programmes pour une exploitation à grande échelle de l'énergie solaire. Elle a les moyens humains et financiers à la mesure de ces programmes. L'enjeu est grand, et vital. L'Algérie est l'un des pays avec un fort potentiel d'exportateurs de l'énergie électrique solaire dans le monde [2].

Le générateur photovoltaïque est le seul convertisseur direct pour transformer la lumière en énergie électrique [4], et offre la possibilité de produire de l'électricité directement à partir d'une ressource renouvelable et largement disponible.

Le développement de l'électronique de puissance et l'augmentation des puissances mises en jeu ainsi que la souplesse de l'utilisation des semi-conducteurs, ont encouragé l'association des convertisseurs statiques de puissance avec les machines électriques.

Ces dispositifs sont généralement des charges non linéaire, qui dégradent la forme du courant de la source électrique. Elles absorbent un courant non sinusoïdal et se comportent donc comme des générateurs d'harmoniques consommant de l'énergie réactive. Par conséquent, le courant de la source n'est plus sinusoïdal, ce qui conduit à une dégradation du facteur de puissance.

Dans cette étude, nous proposons une structure de commande d'un système de production d'énergie photovoltaïque couple au réseau triphasé avec la fonction de filtrage actif.

II. Description de la topologie

La structure de la topologie d'interconnexion proposée est montrée dans la figure 1. Cette topologie est constituée de quatre blocs:

- 1- Générateur photovoltaïque
- 2- Hacheur survolteur et sa commande
- 3- Onduleur MLI triphasé et sa commande
- 4- Charge polluante (pont de Graetz)

L'hacheur survolteur soulève la tension du générateur photovoltaïque, typiquement de 78-100 Volts, à une tension au-dessus de 120V qui est le potentiel maintenu au bus continu par l'onduleur MLI triphasé. Ce hacheur survolteur, qui force également la circulation du courant dans le bus continu, remplit en fait également la fonction du contrôleur de point de puissance maximale, dont la sortie est le rapport cyclique du signal MLI appliqué à l'interrupteur commutable du hacheur survolteur.

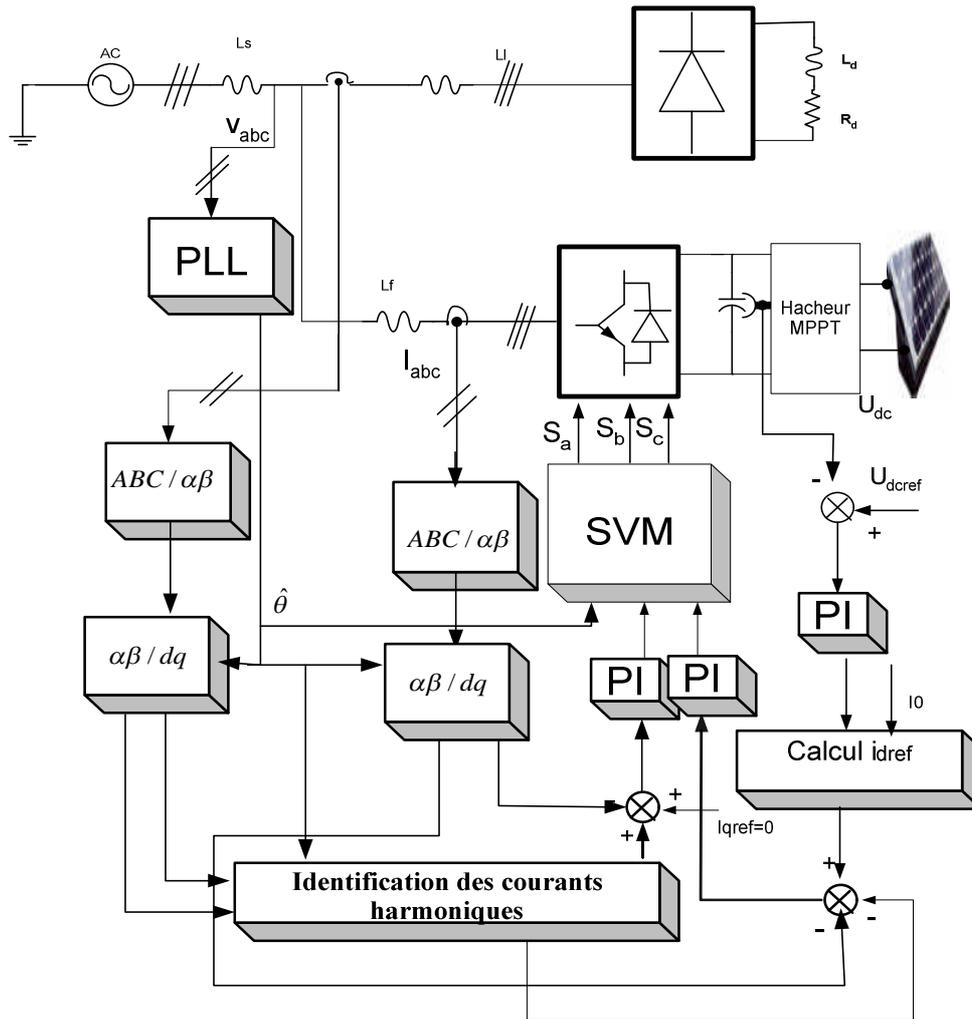


Fig.1. Configuration générale de la connexion indirecte d'un filtre actif connecté au réseau

Le circuit de commande pour l'onduleur à MLI triphasé est indiqué sur la figure 1. La tension du bus continu est comparée à une tension de référence et l'erreur passe par un régulateur de type PI pour compenser la chute de tension, puis deux boucles de régulation de type PI sont utilisées pour assurer la forme d'onde du courant désiré.

III. Modèle électrique de la cellule photovoltaïque et son MPPT

Le choix du modèle à cinq paramètres, permet d'effectuer une analyse et une évaluation des performances du module photovoltaïque, les plus proches de la réalité.

Ce modèle représente la cellule solaire comme source de courant qui modélise la conversion du flux lumineux en énergie électrique. La résistance montée en série R_s représente la résistance de contact et de connexion, une autre résistance en parallèle dite la résistance shunt R_p représente le courant de fuite. Une diode en parallèle qui modélise la jonction PN (Fig.2).

Le courant délivré par la cellule, dans le cas d'un modèle à une diode est donné par:

$$I = I_{pv} - I_s \left[\exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{(V + R_s I)}{R_p} \quad (2)$$

Avec:

I_{pv} (A): Photo courant de la cellule.

I_{sat} (A): courant de saturation.

T (K): la température.

A : facteur d'idéalité.

q : la charge élémentaire ($q=1.602.10^{-19}C$)

K : constante de Boltzmann ($K=1.38.10^{-38} J/K$).

R_s (Ω): résistance série.

R_{sh} (Ω): résistance shunt.

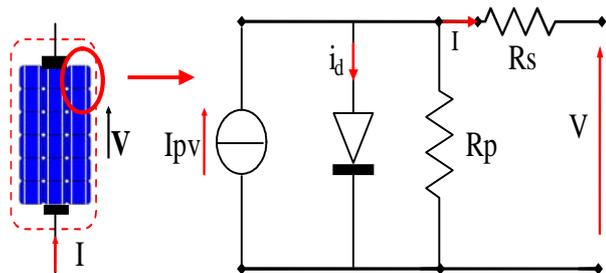


Fig.2. Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode

Pour une température de 25°C et un éclairement de 1kW/m² nous avons obtenu les caractéristiques I=f(V) et P=f(V). Les résultats de cette simulation sont sur la figure 3.

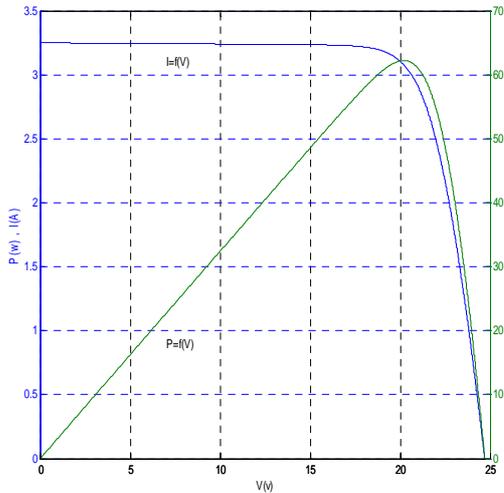


Fig.3. Caractéristiques I(V) et P(V) du générateur PV.

D'après l'équation (1), Les caractéristiques électriques d'un générateur PV et la production de puissance varient fortement en fonction des paramètres météorologique à savoir la température et l'éclairement.

Pour avoir la meilleure adaptation entre le générateur PV une source non linéaire et une charge, le recherche de point de puissance maximum (MPPT) est développé, ce qui permet au générateur de travailler à son maximum de puissance (MPP). Pour ce faire, un contrôleur électronique d'un convertisseur DC-DC survolteur (Boost) est incorporé entre le générateur PV et la charge comme l'indique la figure 4.

Le principe de fonctionnement de convertisseur DC-DC est basé sur la fermeture cyclique de l'interrupteur. Il est fermé, pendant la durée T_{ON} $t \in [0, \alpha T]$ et ouvert pendant la durée T_{OFF} $t \in [\alpha T, T]$ [1]. Ce dernier est commandé par une MPPT dont le rôle est de faire varier le rapport cyclique α de telle sorte que la puissance fournie par le générateur PV soit maximale [5].

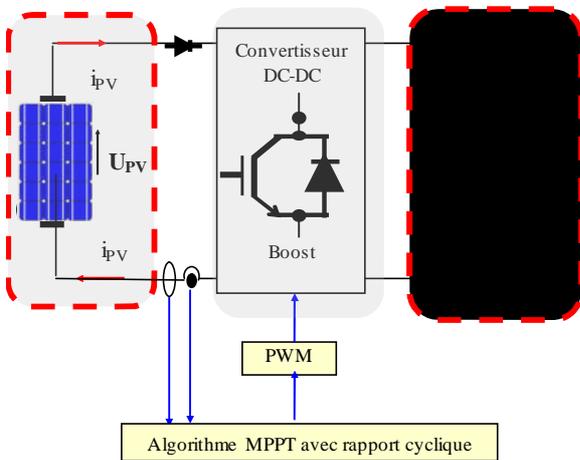


Fig.4. Schéma synoptique d'un SPV avec MPPT

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes de poursuite du PPM. Les plus utilisés sont l'algorithme P&O (Perturbe et Observe) et incrémentale (INC) [3]. Dans cet article, on utilise la méthode perturbation et l'observation [2]. Où la perturbation du système est introduite par l'augmentation ou la diminution de la tension de référence (V_{ref}) en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC. L'observation de la puissance permet ensuite de prendre une décision sur la prochaine perturbation à introduire, s'il y'a eu une augmentation de la puissance, la perturbation continuera dans le même sens, sinon elle est inversé [3]. L'organigramme de l'algorithme de P&O est donné par la figure 5.

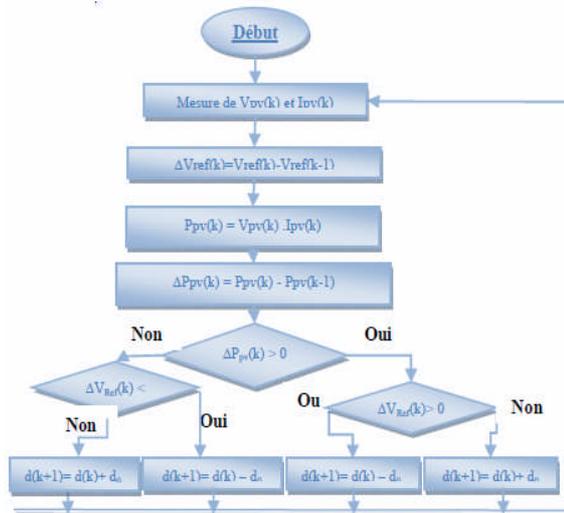


Fig.5. Organigramme de l'algorithme perturbation et observation

IV. Modélisation et commande d'un onduleur MLI

IV.1. Boucle à verrouillage de phase PLL

Dans les applications du réseau électrique, la PLL sert essentiellement à estimer et filtrer la phase et l'amplitude instantanée du phaseur équivalent d'un système triphasé. La PLL réalise le suivi de phase de la composante directe de la tension du réseau, e_d , afin d'éliminer la composante en quadrature, e_q , ce qui se produit lorsque la phase estimée θ , est égale à la phase du réseau. La figure 6 montre la structure classique d'une PLL triphasée [6,7]. Elle est composée d'un détecteur de phase, un filtre passe bas (le correcteur) et un oscillateur (l'intégrateur). Généralement, un correcteur PI est utilisé dans le correcteur de la PLL.

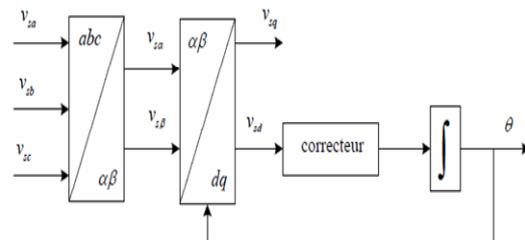


Fig.6. Structure classique d'une PLL triphasé

IV.2. Calcul des courants harmoniques

La méthode des puissances instantanées est une méthode temporelle. Elle a été utilisée afin d'éviter les difficultés dues au nombre élevé de calcul lors de la mise en œuvre de méthodes fréquentielles. Cette méthode a été introduite par [8]. Son principe est basé sur le passage d'un système triphasé constitué par les tensions simples et les courants de ligne, à un système diphasé (repère d-q) en utilisant la transformation de Park.

La figure suivante (7) représente le principe de cette méthode [9].

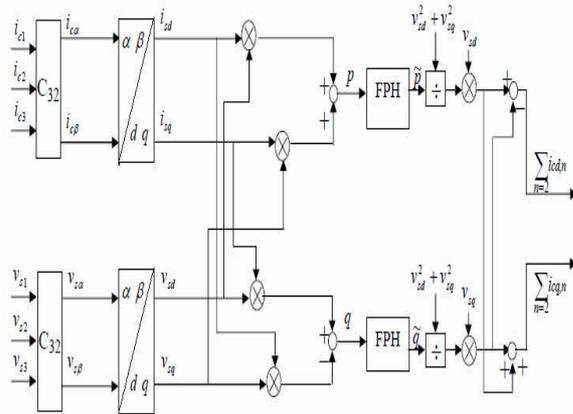


Fig.7. Algorithme d'identification des courants harmoniques d'une charge non linéaire

IV.3. Résultats de simulation

Dans les conditions de référence du SPV ($G=1\text{kW/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$), L'onduleur est commandé par la technique de modulation vectorielle (Space Vector Modulation (SVM)). Les résultats obtenus présentent la réponse du filtre lors de la diminution de la résistance de la charge continue.

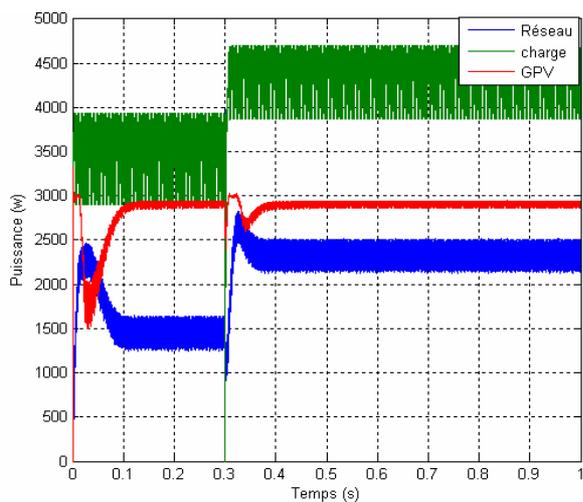


Fig.8. Performances du SPV couplé au réseau via un lors d'une variation de la charge

A partir des résultats de simulation obtenus pour le couplage avec la technique de commande SVM, nous avons constaté que la diminution de la résistance de la

charge continue conduit une augmentation importante de la puissance active fournie par le réseau comme le montre la figure 8.

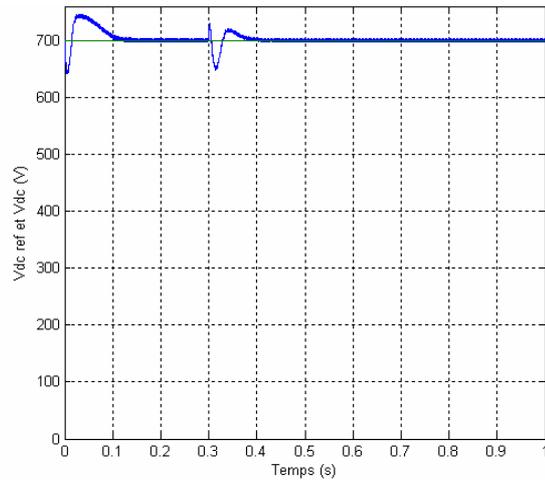


Fig. 9. Tension aux bornes du filtre intermédiaire

On constate d'après la figure 9, représentant la tension aux bornes du filtre intermédiaire PV-convertisseur, Ces simulations sont commencées quand la capacité du bus continu est chargée entièrement par les diodes de l'onduleur.

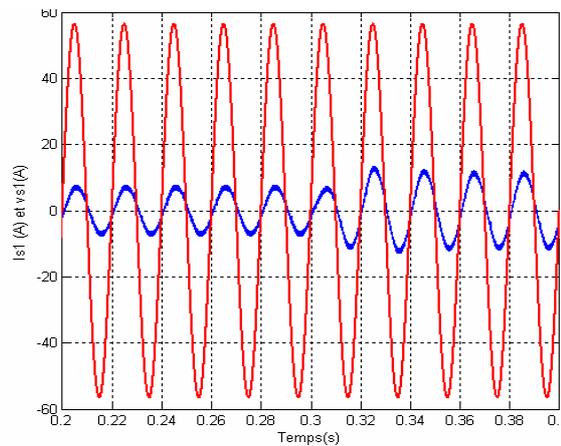


Fig.10. Courant de source et tension réduite de la source

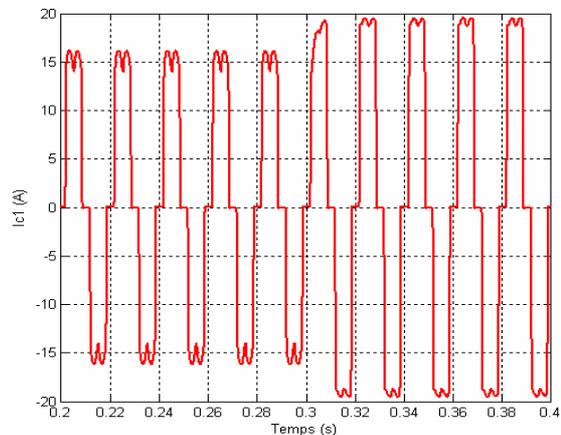


Fig.11. Courant de la charge

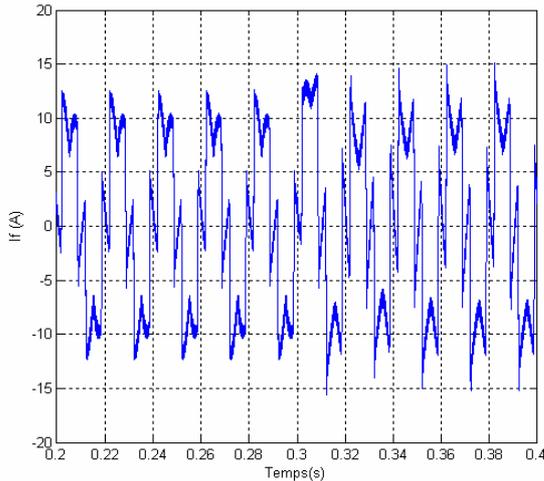


Fig.12. Courant du filtre actif

La figure 10, montre que cette variation conduit à une augmentation du courant du réseau. Ce dernier reste en phase avec sa tension de phase ce qui traduit par un facteur de puissance quasi unitaire côté réseau.

La figure 11 montre le courant absorbé par la charge polluante et la figure 12 montre le courant injecté pendant des changements de la charge, pour alimenter et compenser les courants harmoniques dus à la charge non linéaire

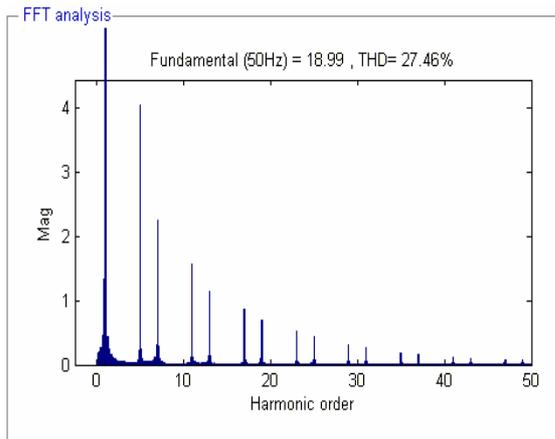


Fig.13. Spectre harmonique du courant de la charge

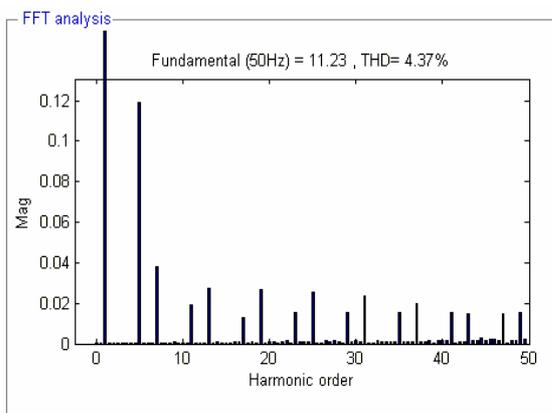


Fig.14 Spectre harmonique du courant filtré de la source

La figure 13, représente le spectre harmonique du courant de charge dont la valeur du THD est de 28.46%. Cependant, le spectre harmonique du courant de la source représenté par la figure 14, montre que le THD baisse à 4.18% avant le changement de la charge polluante, et augmente légèrement à 4.37% après ce changement.

V. Conclusion

Ce travail a été focalisé sur l'application d'un système de production d'énergie photovoltaïque couplé au réseau triphasé dans le domaine de filtrage actif parallèle. Le convertisseur de puissance se compose d'un hacheur survolteur et d'un onduleur MLI triphasé de tension commandée en courant.

L'hacheur survolteur fonctionne comme contrôleur de point de puissance maximale selon l'information fournie à partir de l'algorithme de perturbation et d'observation, les résultats de simulation ont montré que l'exploitation de cette méthode dans la commande de système photovoltaïque améliore remarquablement ces performances.

VI. Références

- [1] S. G. Dan, D. Benjamin, R. Magureanu, L. Asiminoaei, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Control strategies of active filters in the context of power conditioning", European Conference on Power Electronics and Applications, 2005.
- [2] M.Cavalcanti, and G.M.S. Azevedo, "Unified Power Conditioner in a Grid Connected Photovoltaic System" Electrical Power Quality and Utilisation, Journal Vol XII, No.2, 2006.
- [3] F. Boukhetouche Cherfa "Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connecte au réseau de distribution électrique BT", Mémoire de Magister de l'Ecole Nationale Polytechnique 2004.
- [4] A. Kheloui, K. Aliouane, K. Marouani, F. Khoucha "A Fully Digital Vector Current Control of Three Phase Shunt Active Power Filters", IECON2002 0-7803-7474-6/02/\$17.00 ©2002 IEEE
- [5] K. Hasan, and K. Osman, "Globally Stable Control of Three-Phase Three Wire Shunt Active Power Filters", Elec. Eng., Vol.89, no.5, 2007, pp.411-418.
- [6] H.J.Azevedo, J.M. Ferreira, A.P. Martins, and A.S. Carvalho "Direct current control of an active power filter for harmonic elimination, power factor correction and load unbalancing compensation", Proceedings of the 10th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'03, Toulouse, 2003, pp. 1-10.
- [7] A.P.Martins, "The use of an active power filter for harmonic elimination and power quality improvement in a nonlinear loaded electrical installation", Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality, ICREPQ'03, Vigo, 2003, pp.1-6.
- [8] Hanny H. Tumbelaka, "A load current sensorless shunt active power filter", Journal Teknik Elektro, Vol. 7, no.1, March 2007, pp.1-7.
- [9] K. Aliouane, "A new space vector control of the three phases PWM Rectifier". POWERENG, Sètubal Portugal, pp. 60-65, 12-14 April 2007.