

OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UN SYSTÈME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE PAR NEURO FLOUE ET LE CONTRÔLE DIRECT DU COUPLE

AMRANI MOHAMED NADER¹, DIB ABDERRAHMANE¹, ALEM SAID²

Mots-clé: Énergie solaire, Maximum power point tracking (MPPT), Neuro flou, Contrôle direct du couple, Motopompe.

L'énergie solaire est une source d'énergie par excellence, non polluante et prometteuse, elle s'acclimate à merveille avec plusieurs systèmes. Dans le cadre de l'exploitation de l'énergie solaire, les systèmes de pompage photovoltaïque sont les plus appliqués. Dans ce papier, nous exposons une stratégie d'optimisation des performances d'un système de pompage photovoltaïque. Dans ce contexte, nous avons opté pour une méthode de commande MPPT basée sur la neuro-flou. Afin d'améliorer les performances du moteur asynchrone, nous utilisons la notion de contrôle direct du couple (DTC) et régulateur PID. Le modèle du système proposé est réalisé par MATLAB / Simulink.

1. INTRODUCTION

Le soleil est une source d'énergie propre, non polluante et renouvelable permettant de produire l'électricité. La production d'électricité dans les systèmes solaires est basée sur des cellules solaires où les photons sont absorbés par un semi-conducteur converti directement en énergie électrique [1]. La caractéristique électrique puissance/tension d'un générateur photovoltaïque (GPV) représente la variation de la puissance en fonction de la tension aux bornes du GPV. Dans cette caractéristique, le GPV contient un point de fonctionnement optimal généralement appelé point de puissance maximale et se trouve dans une zone non linéaire. Pour améliorer le rendement du système photovoltaïque (PV), la mise en place d'un suiveur de point de puissance optimale est nécessaire.

Il existe plusieurs méthodes pour l'obtention du maximum de puissance du générateur photovoltaïque [2–4], Les méthodes les plus courantes sont: perturber et observer (P & O) [5], l'incrémentation de la conductance [2], la comparaison à trois points, méthodes de court-circuit [6], la tension en circuit ouvert [7] et les

¹ Université Larbi Ben M'hidi, Faculté des sciences et de la Technologie, Algérie, E-mail: amranimednader@yahoo.fr

² Université M'Hamed Bougara Boumerdes, Laboratoire de Mécanique des solides et des systèmes (LMSS), Algérie

méthodes à contre réaction de puissance [8]. Durant la journée, la densité solaire n'est pas uniforme, et la plus part de ces algorithmes ne parviennent pas à suivre le point de puissance maximale régulièrement.

Pour cette raison les méthodes basées sur «l'intelligence artificielle» sont utilisées. Parmi ces méthodes, les auteurs [9–11] ont proposés l'algorithme MPPT à base de réseaux neurones artificiels. L'auteur [11] a proposé les algorithmes génétiques et dans [12–14] ils ont utilisés la logique floue pour obtenir le point de puissance optimale. Dans cet article, le contrôle *adaptive network based fuzzy inference system* (ANFIS) est employé.

Les installations solaires photovoltaïques permettent de remplacer les énergies fossiles ou nucléaires dans plusieurs domaines par excellence. Le domaine d'application le plus important des installations PV est le pompage photovoltaïque.

Dans cette catégorie, plusieurs auteurs sont intéressés par l'amélioration des performances des systèmes de pompage photovoltaïque. Les premières études dans ce type de systèmes basés sur les moteurs à courant continu (MCC), dans [15] l'auteur focalise sur les caractéristiques du MCC alimenté par des cellules solaires. Dans [16] l'auteur analyse le démarrage d'un système de pompage photovoltaïque alimenté par des modules solaires avec et sans régulateur MPPT. Dans [17] l'auteur étudie le fonctionnement d'une MCC avec un convertisseur élévateur "Boost" et un régulateur MPPT. Dans [18, 19] les auteurs ont étudié l'optimisation du système de pompage photovoltaïque. Dans [20] l'auteur étudie le fonctionnement d'un MCC avec un convertisseur de type "Cuck" et un régulateur MPPT. L'auteur [21] a proposé un système de pompage pour l'alimentation domestique de 300 personnes dans une zone éloignée au Kuwait.

Les auteurs dans [22] ont montrés que l'utilisation du moteur asynchrone améliore les performances des systèmes de pompage photovoltaïque. Grâce à leurs résultats les recherches dans ce domaine sont basées sur les éléments suivants; générateur photovoltaïque, étage d'adaptation, onduleur et moteur à induction (MI).

Dans [23] les auteurs ont étudiés le cas d'un système de pompage photovoltaïque basé sur un MI. Dans [24] l'auteur a analysé les performances dynamiques d'un moteur synchrone à aimant permanents contrôlé par une boucle du courant hystérésis, L'auteur [25] étudie l'optimisation des performances du moteur asynchrone associé à un générateur photovoltaïque (GPV). La commande vectorielle est introduite pour améliorer les performances des MI alimenté par le GPV étudié dans [26]. L'auteur dans [27] étudie les performances d'un système de pompage PV composé par; GPV, onduleur ZSI et moteur BLCD avec pompe centrifuge. L'auteur [28] utilise un algorithme d'optimisation multi étape pour améliorer les performances de couplage directe entre le GPV et le système motopompe. Dans [29] l'auteur base son étude sur la maximisation de débits de la pompe par l'intermédiaire de la commande de la machine à induction. L'auteur [30] a réalisé un système de pompage photovoltaïque avec un régulateur de tension constante (CVC) pour suivre le point de puissance maximale.

La thématique principale de cette étude est basée sur deux principes:

- Une technique de contrôle intelligent basée sur l'ANFIS pour suivre le point de puissance maximale du contrôleur du GPV, afin d'améliorer l'efficacité de conversion d'énergie.
- Une technique de contrôle par DTC pour améliorer les performances du couple et par régulateur PID pour contrôler la vitesse du MI.

2. MPPT À BASE D'ANFIS

ANFIS, proposé par «Jang» en 1993, est un ensemble flou mis en œuvre dans le cadre des réseaux adaptatifs. Le modèle ANFIS fait son apprentissage par la méthode «hybride» qui est basée sur le principe rétro propagation [31] et la méthode des moindres carrés.

Le contrôleur ANFIS proposé dans ce travail a deux entrées: l'erreur et la variation de l'erreur, et une seule sortie qui s'appelle la variation du rapport cyclique.

Les variables d'entrée de ce système sont déterminés par les expressions ;

$$E(t) = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)}, \quad (1)$$

$$\Delta E(t) = E(t) - E(t-1), \quad (2)$$

où: $E(t)$ est erreur à l'instant (t) ;

$E(t-1)$ est l'erreur à l'instant $(t-1)$;

$\Delta E(t)$ est la variation de l'erreur à l'instant (t) ;

$P(t)$ est la puissance du GPV à l'instant (t) ;

$V(t)$ est la tension du GPV à l'instant $(t-1)$;

$P(t-1)$ est la puissance du GPV à l'instant $(t-1)$;

$V(t-1)$ est la tension du GPV à l'instant $(t-1)$.

Le but de l'utilisation d'ANFIS est d'améliorer les performances des méthodes classiques et de générer un signal de commande variable pour suivre le point de puissance maximale quel que soit les conditions d'irradiation solaire.

L'organigramme suivant représente l'algorithme proposé, ou dD est le rapport cyclique.

La variable d'entrée $E(t)$ permettant de déterminer la position du point de puissance optimale dans la courbe puissance tension.

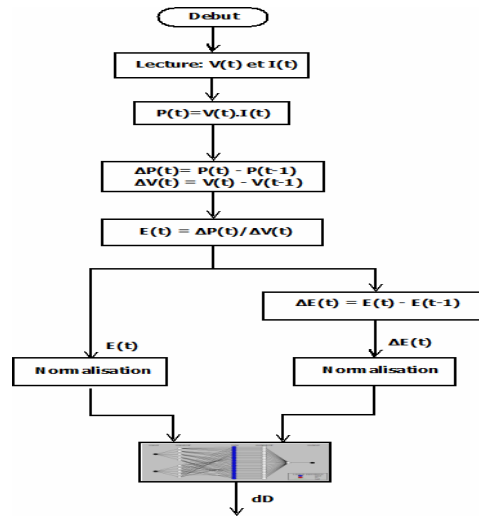


Fig. 1 — L'algorithme de la commande MPPT.

La variable d'entrée $\Delta E(t)$ permettant de déterminer le sens de direction :

- si $\Delta E(t) > 0$ alors on augmente le rapport cyclique dD ;
- si $\Delta E(t) < 0$ alors on diminue le rapport cyclique dD .

3. LA COMMANDE DTC

Le contrôle direct du couple est une technique de commande moderne proposée par «M. Depenbrock» et «I. Takahashi» [32] pour éliminer les inconvénients des méthodes classiques telles que la commande scalaire et la commande vectorielle.

Le principe de contrôle direct du couple est basé sur la commutation des interrupteurs de l'onduleur permettant de choisir le vecteur de tension dans lequel le flux et le couple suivent leur référence [32].

Le flux statorique ψ_s et le couple électromagnétique T sont calculés à partir des équations suivantes

$$\Psi_{\alpha s} = \int_0^t (V_{\alpha s} - R_s i_{\alpha s}) dt \quad (3)$$

$$\Psi_{\beta s} = \int_0^t (V_{\beta s} - R_s i_{\beta s}) dt \quad (4)$$

$$\Psi_s = \sqrt{(\Psi_{\alpha s})^2 + (\Psi_{\beta s})^2} \quad (5)$$

$$T = p[\psi_{\alpha s} i_{\beta s} - \psi_{\beta s} i_{\alpha s}], \quad (6)$$

où p le nombre de paire de pôles, R_s est la résistance statorique, $i_{\alpha s}$, $i_{\beta s}$ sont les composantes du courant statorique suivant les axes α et β respectivement, $V_{\alpha s}$, $V_{\beta s}$ les composantes de la tension suivant les axes α et β respectivement.

Les valeurs des grandeurs de contrôle sont estimées et comparées à leur valeur de référence. Les résultats obtenus représentent la valeur d'entrée des correcteurs à hystérésis. Il y a deux blocs à hystérésis; correcteur de couple et correcteur de flux. Le numéro du secteur du flux et la sortie des correcteurs à hystérésis représentent les entrées du tableau de commande. Il se présente sous la forme suivante, où S_Φ est le module de flux après le bloc d'hystérésis, S_T est l'erreur de couple après le bloc d'hystérésis et $V_0 \dots V_7$ le numéro du secteur du flux.

Tableau 1

Table de commutation de la commande directe du couple

Flux	Couple	1	2	3	4	5	6
$S_\Phi = 1$	$S_T = 1$	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	$S_T = 0$	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
	$S_T = -1$	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
$S_\Phi = -1$	$S_T = 1$	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2
	$S_T = 0$	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7
	$S_T = -1$	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

4. REGULATEUR PID

Dans ce système le régulateur de la vitesse PID est proposé pour améliorer la réponse de la vitesse. La fonction de transfert du régulateur PID se décompose comme suit :

$$C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_d \cdot s, \quad (7)$$

où K_p , K_I et K_d sont les paramètres de proportionnelle, intégrale et dérivateur respectivement.

Une des méthodes les plus utilisées pour identifier les paramètres d'un régulateur PID est la méthode de «placement des pôles». La valeur de référence du couple électromagnétique dans ce cadre est générée par le contrôleur PID.

5. DESCRIPTION DU SYSTÈME DE CONTRÔLE

Le système de pompage photovoltaïque proposé dans ce travail se compose: d'un générateur photovoltaïque, deux convertisseurs statiques et une motopompe.

Le premier de ces deux convertisseurs, appelé Hacheur, est commandé par un régulateur MPPT pour obtenir le point de puissance maximale. Le deuxième est appelé onduleur triphasé sert à convertir le courant continue en courant alternatif pour alimenter la motopompe.

Pour cela, le système proposé dans ce papier est composé principalement de deux parties de commande:

1 – Contrôleur MPPT à base de l'ANFIS pour obtenir un signal de commande du pas variable approprié et l'amélioration de la performance du générateur photovoltaïque.

2 – Une commande DTC pour améliorer les performances du moteur à induction et un régulateur PID pour améliorer les caractéristiques de la vitesse.

Figure 2 présente le système proposé dans ce travail.

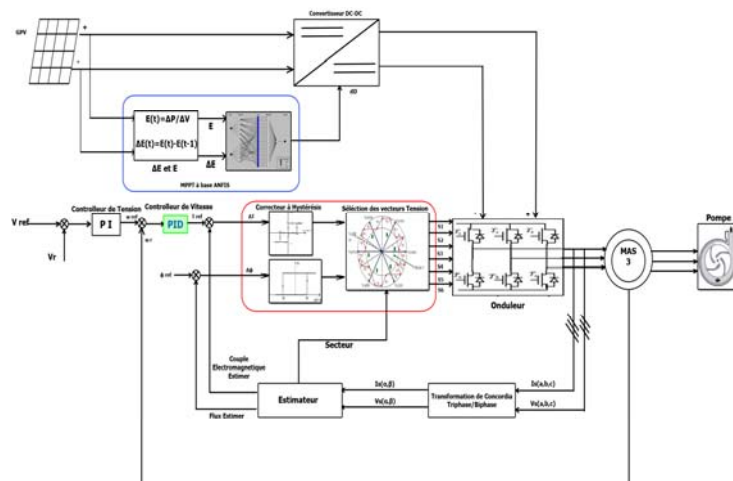


Fig. 2 – Schéma de l'ensemble: la commande du moteur asynchrone et la commande MPPT du générateur photovoltaïque.

6. LES RÉSULTATS DE SIMULATION

Les résultats de simulation du système proposé ont été mis en œuvre avec Matlab.

6.1 FONCTIONNEMENT DANS DES CONDITIONS CONSTANTES

Dans ce cas, nous prenons les valeurs des conditions normales: 25 °C de température et d'ensoleillement pour 1000 W/m².

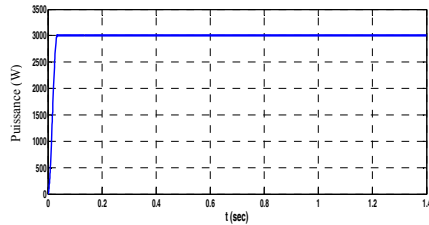


Fig. 3 – La puissance du GPV.

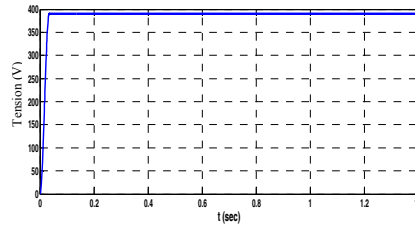


Fig. 4 – La tension du GPV.

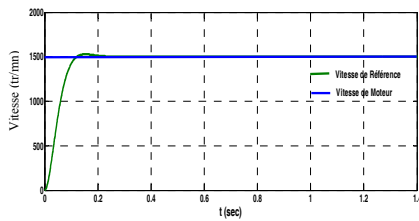


Fig. 5 – La vitesse du moteur asynchrone.

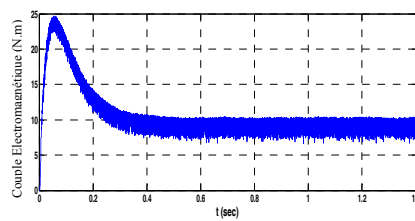


Fig. 6 – Le couple du moteur asynchrone.

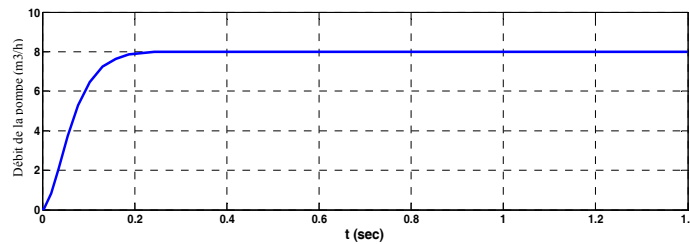


Fig. 7 – Débit de la pompe.

6.2. CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT VARIABLES

Le système proposé est exposé à deux conditions de fonctionnement différentes pour 1,4 s :

– Dans la première étape ($0 \leq t < 0,7$ s), le système commence à fonctionner avec le niveau de 500 W/m^2 de rayonnement solaire.

– Dans la deuxième étape ($0,7 \leq t \leq 1,4$ s). L'irradiation solaire passe de 500 W/m^2 à 1000 W/m^2 , tandis que le niveau de température reste constant à 25° C .

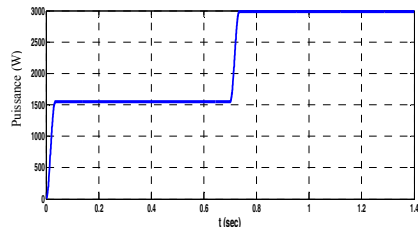


Fig. 8 – La puissance du GPV.

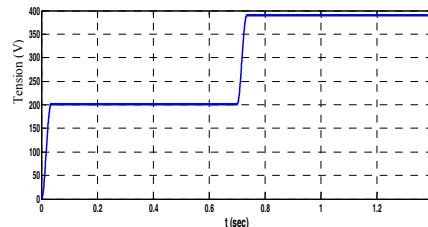


Fig. 9 – La tension du GPV.

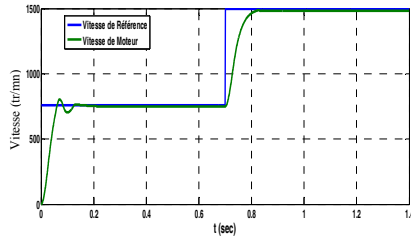


Fig. 10 – La vitesse du moteur asynchrone.

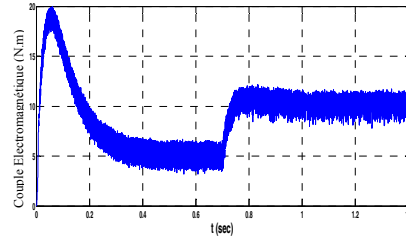


Fig. 11 – Le couple du moteur asynchrone.

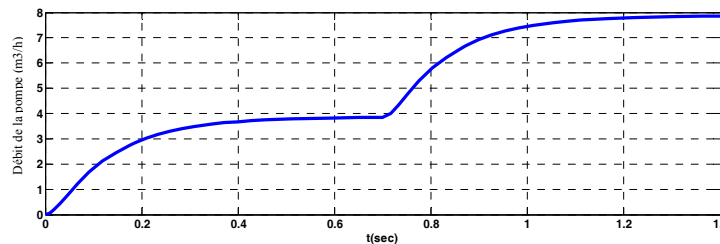


Fig. 12 – Débit de la pompe.

7. DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

Dans cette section, nous voulons discuter les avantages de la stratégie de contrôle proposée.

7.1. PUISSANCE ET TENSION DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Le contrôleur MPPT est appliqué à un générateur photovoltaïque de 3 kW. Le panneau photovoltaïque comprend 15 modules de type KC200GT.

Figures 3 et 4 représentent respectivement la puissance et la tension du GPV dans des conditions de fonctionnement constantes. Figures 8 et 9 représentent respectivement la puissance et la tension du GPV dans des conditions de fonctionnement variables.

La recherche du point de puissance maximale basée sur le contrôle ANFIS montre que: «Le point optimal est atteint pour une tension du GPV optimale avec un régime transitoire court de 0.016 s, pour un éclairement de 1000 W/m² et une température constante». Pour la puissance, le point optimal est atteint à 2.98 kW avec le même temps de réponse. Ceux-ci d'une part.

D'autre part, nous démontrons par ces résultats l'efficacité d'appliquer l'ANFIS à la variation rapide de la tension et de la puissance au cours des périodes de changement d'éclairement. Ce type de commande s'adapte bien aux nouvelles valeurs pendant un temps assez court de 0.017 s.

Le MPPT proposé nous donne un meilleur résultat que la méthode de P&O [33] et la méthode basée sur la logique floue [14]. Ces derniers nécessitent beaucoup de temps pour atteindre le point de puissance maximale.

7.2. COUPLE DU MOTEUR ASYNCHRONE

Figures 6 et 11 représentent la variation du couple électromagnétique du moteur à induction dans des conditions de fonctionnement constantes et variables de l'irradiation solaire respectivement. Les améliorations principales sont indiquées comme suit:

- les oscillations du couple se diminuent pendant le démarrage;
- la rapide réponse du couple en régime transitoire.

7.3. VITESSE DU MOTEUR ASYNCHRONE

Les réponses de vitesse et de débit sont représentées dans Figs. 5 et 7 pour des conditions de fonctionnement constantes, et dans les figures 10 et 12 pour des conditions de fonctionnement variables.

La variation de la vitesse et du débit dépend de la variation de l'éclairement et de la puissance générée par le GPV. Le temps de réponse de la vitesse est d'environ 0.13 s.

8. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une étude théorique pour optimiser les performances du système de pompage photovoltaïque. Afin d'optimiser le fonctionnement du générateur photovoltaïque, nous avons utilisé une technique d'intelligence artificielle pour obtenir le point de puissance maximale basée sur neuro floue. Le contrôle MPPT, proposé dans ce papier, donne une réponse rapide, réduit les oscillations de puissance autour du point de puissance optimal et plus efficace que les dispositifs de commande classiques. Nous avons utilisé la commande DTC et un régulateur de vitesse (PID) pour améliorer les performances du moteur à induction. Finalement, les résultats des simulations ont montré que le système proposé permet d'améliorer l'efficacité du système de pompage.

Received on 28 February, 2014

REFERENCES

1. A.H. Bellia, Y. Ramdani, F. Moulay, K. Medles, *Irradiance and Temperature Impact on Photovoltaic Power by Design of Experiments*, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., **58**, 3, p. 284–294, 2013.
2. Hussein K.H., Muta I., *Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions*, Proc Inst Electr Eng – Generation, Transmission. Distribution, pp. 59–64, 1995.
3. ESRAM T., Kimball J.W., Krein P.T., Chapman P.L., Midya P., *Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control*, IEEE Trans Power Electron, **21**, pp. 1282–1291, 2006.

4. R. Ramaprabha, M. Balaji, B.L. Mathur, *Maximum power point tracking of partially shaded solar PV system using modified Fibonacci search method with fuzzy controller*, Electrical Power and Energy Systems, pp. 754–765, 2012.
5. Fernia N., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M., *Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method*, IEEE Trans. Power. Electron., **20**, pp. 963–973, 2005.
6. Noguchi T., Togashi S., Nakamoto R., *Short-current pulse-based maximum power- point tracking method for multiple photovoltaic and converter module system*, IEEE Trans. Ind. Electron., **49**, pp. 217–223, 2002.
7. Dorofte C., Borup U., Blaabjerg F., *A combined two- method MPPT control scheme for grid-connected photovoltaic systems*, in: Proc. Eur. Conf. Power. Electron. Appl., 2005, pp. 1–10.
8. S. Lalouni, D. Rekioua, T. Rekiou and E. Matagne, *Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage*, Journal of Power Sources, **193**, pp. 899–907, 2009.
9. Veerachary M., Senjyu T., Uezato K., *Voltage-based maximum power point tracking control of PV systems*, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., **38**, pp. 262–270, 2002.
10. B. K. Bose, *Neural Network Applications in Power Electronics and Motor Drives-An Introduction and Perspective*, IEEE Trans. on Industrial Electronics, **54**, pp. 14–33, 2007.
11. Ahmet Afçin Kulaksiz, Ramazan Akkaya, *A genetic algorithm optimized ANN-based MPPT algorithm for a stand-alone PV system with induction motor drive*, Solar Energy, **86**, pp. 2366–2375, 2012.
12. H. Chih-Lyang, C. Li-Jui, Y. Yuan-Sheng, *Network-based fuzzy decentralized sliding-mode control for car-like mobile robots*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, **54**, pp. 574–585, 2007.
13. M.S.A. Cheikh, C. Larbes, G.F.T. Kebir, A. Zerguerras, *Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme*, Revue des Energies Renouvelables, **10**, pp. 387–395, 2007.
14. M.N. Amrani, A. Dib, *Study of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Method Based on Fuzzy Controller*, International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control, 2013.
15. J. Appelbaum, *Starting and steady state characteristics of DC motor powered by solar cell generator*, IEEE Trans. on Energy Conv., **1**, 1, pp.17–25, 1986.
16. J. Appelbaum, M.S Sarme, *The operation of a permanent magnet DC motors powered by a common source solar cells*, IEEE Trans. on Energy Conv., **4**, pp. 635–642, 1989.
17. S.M. Alghuwainem, *Steady state operation of DC motors supplied from photovoltaic generator with step up converters*, IEEE Trans.on Energy Conv., **7**, 2, pp. 267–271, 1992.
18. D.Weiner, A. Levinson, *Water pumping optimal operation*, Electrical Machines and Power System, Electric Machines and Components, **24**, 3, pp. 277–288, 1996.
19. N. Mazouz, A. Midoun, *Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system*, Electrical Power and Energy Systems, **33**, pp.1623–1630, 2011.
20. Mohamed M. Algazar A., Hamdy AL-monier B., Hamdy Abd EL-halim A., Mohamed Ezzat El Kotb Salem, *Maximum power point tracking using fuzzy logic control*, Electrical Power and Energy Systems, **39**, pp 21–28, 2012.
21. A.A. Ghoneim, *Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems*, Energy Conversion and Management, **47**, pp 1449–1463, 2006.
22. S.R. Bhat et al., *Performance optimization of induction motor-pump system using photovoltaic energy source*, IEEE Tran. Ind. App., **23**, 6, 1987.
23. M.N. Eskander, A.M. Zaki, *A Maximum efficiency photovoltaic- induction motor pump system renewable energy*, **10**, 1, 1997.
24. A. Terki, A. Moussi, A. Betka, N. Terki, *An improved efficiency of fuzzy logic control of PMBLDC for PV pumping system*, Applied Mathematical Modeling, **36**, 3, pp. 934–944, 2012.
25. A. Betka, A. Moussi, *Performance Optimization of a Photovoltaic Induction Motor Pumping System*, Renewable Energy, **29**, pp. 2167–2181, 2004.
26. Messaoud Makhoulouf, Feyrouz Messai, Hocine Benalla, *Vectorial command of induction motor pumping system supplied by a photovoltaic generator*, Journal of Electrical Engineering, **62**, 1, pp. 3–10, 2011.

27. S.A.KH. Mozaffari Niapour, S. Danyali, M.B.B. Sharifian, M.R. Feyzi, *Brushless DC motor drives supplied by PV power system based on Z-source inverter and FL-IC MPPT controller*, Energy Conversion and Management, **52**, pp. 3043–3059, 2011.
28. Z. Abidin Firatoglu, Bulent Yesilata, *New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems*, Solar Energy, **77**, pp. 81–93, 2004.
29. A. Betka, A. Attali, *Optimization of a photovoltaic pumping system based on the optimal control theory*, Solar Energy, **84**, pp 1273–1283, 2010.
30. Bhavnesk Kumar, Yogesh K. Chauhan and Vivek Shrivastava, *Simulation and Modeling of a Constant Voltage Controller Based Solar Powered Water Pumping System*, Oshine, pp. 365–376, 2013.
31. Semmah, H. Hamdaoui, A. Ayad, Y. Ramdani, *Commande Floue et Neuro-Floue d'un Dispositif Facts*, Rev. Roum. Sci. Techn – Électrotechn. et Énerg., **54**, 2, pp. 195–204, 2009.
32. L. Youb, A. Crăciunescu, *Commande directe du couple et commande vectorielle de la machine asynchrone*, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg., **53**, 1, pp. 87–98, 2008.
33. M.N. Amrani, F. Amara, S. Rouabhia, D. Guerbattou, *Study of a maximum power extraction circuit coupled to an asynchronous motor*, The First International Conference on Power Electronics and their Applications, 2013.

OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCE OF A PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEM BY NEURO FUZZY AND DIRECT TORQUE CONTROL

Key words: Solar energy, MPPT, Neuro fuzzy, Direct torque control, Moto-pump .

Solar energy is an energy source par excellence, clean and promising, she acclimated well with multiple systems. In the context of the use of solar energy, the most applied systems are photovoltaic pumping systems. In this paper, we present a strategy for optimizing the performance of a photovoltaic pumping system. In this context, we opted for a MPPT control method based on neuro-fuzzy known for its stability and robustness. To improve asynchronous motor performance, we use the concept of direct torque control (DTC) and PID controller. The model of the proposed system is realized by MATLAB / Simulink.