

STATIC CHARACTERISTICS EMULATION OF A PV PANEL BY USING A MICROCONTROLLER-BASED SYSTEM

MALOUM HAKIMA¹, RAHARIJAONA JACQUES², NICHITA CRISTIAN²,
ADLI MOULOUD¹

¹ *Laboratoire LGEB-Bejaia, Université A. Mira Bejaia, Rue Targa Ouzemour 06000 Béjaia-Algerie*

² *GREAH Université Le Havre Normandie, 75 rue Bellot, 76600 Le Havre - France*

Abstract: In this paper, we present a system based on advanced microcontroller in which are implemented a model based on one diode of a photovoltaic generator (PV) and a MPPT (Maximum Power Point Tracking) control P&O (Perturb and Observe). We emulate a PV generator by developing the current-voltage (I/V) characteristics and power-voltage (P/V) characteristics. The integrated MPPT algorithm generates a PWM (Pulse-width Modulation) signal for the maximum power point tracking of the photovoltaic generator according with the temperature and sunshine. The power part being in development, in this phase of the work, we present and compare the (I/V) and (P/V) characteristics and the control PWM signal generated by our system with the results obtained under the Matlab/Simulink environment.

Keywords: PV generator, Real-time emulation, MPPT control, microcontroller.

1. INTRODUCTION

La production de l'électricité avec les générateurs photovoltaïques (PV) et avec les systèmes éoliens est en plein essor et connaît un développement important notamment dans le contexte de la production décentralisée et du mix énergétique. Ces deux sources sont complémentaires dans la plupart des cas, c'est pour cette raison que les systèmes hybrides éolien/photovoltaïque reviennent souvent dans les études des cas spécifiques dans lesquels une production optimisée représente un objectif majeur. Cependant, une étude de ce type de systèmes dans un laboratoire qui étudie la gestion des chaînes de conversion, n'est pas toujours une chose facile à mettre en œuvre, car le travail consiste souvent à effectuer des tests sans les inconvénients des aléas météorologiques.

Dans la littérature nous trouvons des travaux qui font appel au concept d'émulation des fonctionnements éoliens et photovoltaïques pour remédier à ce genre de difficulté [1][2].

La chaîne de conversion d'un système hybride éolien/photovoltaïque est constituée de plusieurs convertisseurs pilotés par des commandes MPPT afin de pouvoir extraire le maximum de puissance à chaque instant de fonctionnement du système. Selon les changements climatiques et pour mettre en œuvre ces commandes MPPT, plusieurs interfaces d'implémentation sont disponibles parmi lesquelles nous trouvons diverses solutions logicielles et matérielles [3].

Dans notre travail nous nous intéressons particulièrement à la partie photovoltaïque et son fonctionnement au point de puissance maximale en utilisant une commande MPPT. Pour cela nous avons procédé à l'implémentation sur une carte à microcontrôleur d'un modèle simple à une diode du panneau PV auquel est associé un algorithme de commande MPPT par 'P&O'. Nous allons ensuite évaluer les capacités temps réel de cette carte d'émulation du panneau PV à générer le signal de commande de la partie électronique de puissance.

Comme la partie puissance n'est pas encore opérationnelle dans cette phase de notre travail, nous allons nous contenter cet exposé de comparer le signal PWM de commande généré sur un oscilloscope avec celui obtenu à partir de la simulation sous Matlab Simulink.

Nous avons organisé cet article en trois parties. Nous commençons par la description du système étudié. En deuxième point nous présentons le banc expérimental. En troisième point nous comparons les résultats obtenus par la carte microcontrôleur à ceux obtenus par Matlab Simulink.

2. DESCRIPTION DU SYSTÈME

Les travaux de cet article présentent l'implémentation sur une carte à microcontrôleur Parallax d'un modèle de panneau PV associé à une commande MPPT de type P&O pour faire fonctionner le panneau PV émulé à son point de puissance maximale. Pour cela nous avons jugé nécessaire de modéliser un panneau PV réel.

2.1 Modélisation du panneau photovoltaïque

Le système photovoltaïque choisi pour effectuer les travaux de cet article comporte un panneau PV qui sera simulé sur Matlab Simulink en parallèle à l'implémentation sur la carte microcontrôleur Parallax. Le modèle de panneau PV choisi est celui à une diode constitué d'une diode D, d'une résistance série R_s pour tenir compte des pertes de connexion dans le panneau et d'une résistance parallèle R_{sh} pour tenir compte des pertes de conduction. La figure 1 représente le schéma électrique de ce modèle [4].

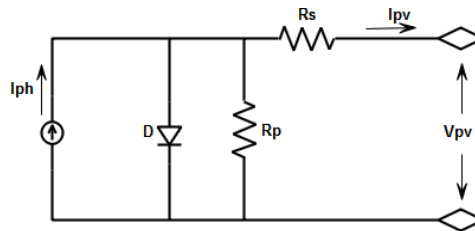


Fig. 8 : Circuit équivalent du panneau photovoltaïque

Les équations suivantes décrivent le modèle à une diode mis en œuvre [4] :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{AV_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_p} \quad (1)$$

$$V_t = \frac{KT}{q} \quad (2)$$

Où I_{pv} et V_{pv} représentent respectivement le courant et la tension de sortie du panneau photovoltaïque, K constante de Boltzmann, T la température absolue, q la charge de l'électron. I_{ph} et I_s sont respectivement le photo courant et le courant de saturation de la cellule, les expressions de ces deux courants étant bien expliquées dans la littérature [5]. Nous avons choisi le panneau PV SUNPOWER 315 SOLAR POWER dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 2. Les caractéristiques données par le constructeur du panneau photovoltaïque SUNPOWER 315 SOLAR POWER aux conditions STC, ensoleillement $1000W/m^2$ et température $25^\circ C$ [6]

Puissance au point maximal (+5/-3%)	P_{max}	315 W
Tension au point de puissance maximale	V_{PPM}	54.7 V
Courant au point de puissance maximale	I_{PPM}	5.76 A
Tension du circuit ouvert	V_{oc}	64.6 V
Courant de court circuit	I_{sc}	6.14 A
Coefficient de température pour la tension		-176.6 mV/K
Coefficient de température pour le courant		3.5 mA/K
Nombre de cellules en série		96 cellules

3. RÉALISATION EXPÉRIMENTALE

La figure 2 présente le banc expérimental utilisé pour effectuer les différents tests. Il est composé d'une carte microcontrôleur Parallax Propeller Activity Board connectée à un ordinateur via une ligne de communication série RS232 ou USB. L'ordinateur sert de terminal de visualisation des caractéristiques I/V et P/V générées par la carte d'émulation du panneau PV, l'oscilloscope est utilisé pour montrer le signal PWM de commande MPPT.

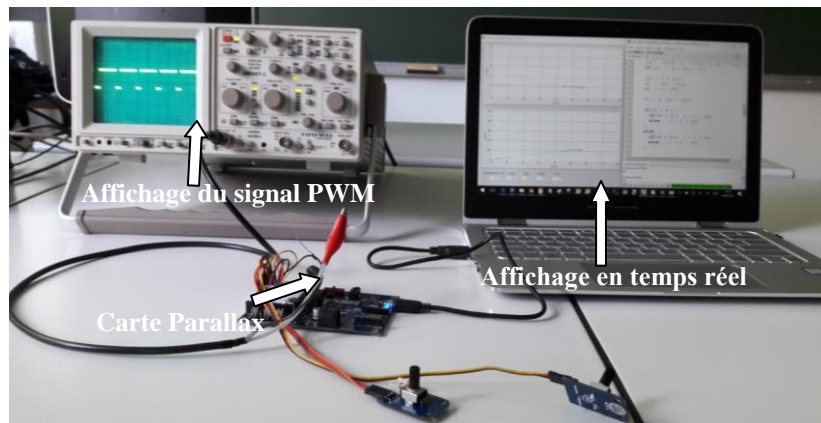


Fig. 2. Le banc expérimental

3.1. La carte Parallax Propeller Activity Board [7]

La carte Propeller Activity Board (figure 2) dispose du microcontrôleur à 8 noyaux pré-câblés à un ensemble de périphériques pour des expériences rapides. Toutes les caractéristiques de cette carte et son fonctionnement sont bien expliqués sur le site du constructeur [7].

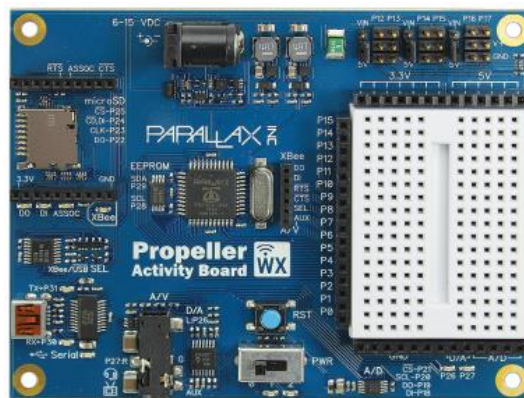


Fig. 2. La carte Parallax Propeller Activity Board

3.2. Programmation de la carte, émulation temps réel du générateur PV et affichage des points I/V et P/V

La figure 3.a présente l'interaction de l'algorithme d'émulation du fonctionnement du panneau PV ainsi que la génération du signal PWM de commande MPPT avec le dispositif de surveillance. La programmation de cet algorithme et son téléchargement sur la carte émulateur PV ont été effectués sous l'environnement de développement Simple IDE. La figure 3.b nous présente l'algorithme de commande MPPT 'P&O'. Cet algorithme fait fonctionner le générateur PV à son point de puissance maximale en faisant varier le rapport cyclique D du signal PWM de commande de manière continue. Le fonctionnement de la commande P&O se base sur la mesure de la tension et du courant du générateur PV pour calculer la puissance fournie et en déduire le sens de perturbation du rapport cyclique D [8].

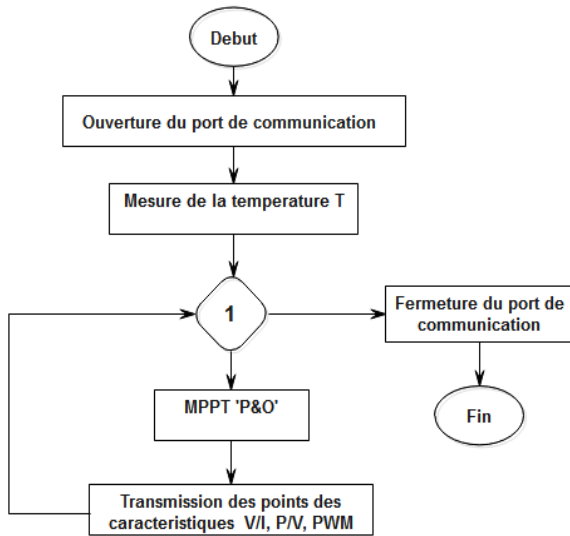


Fig. 3.a Algorithme implémenté sur le système d'émulation.

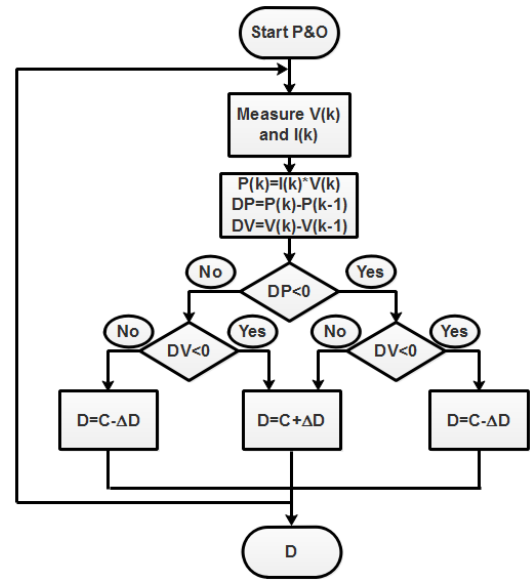


Fig. 3.b Algorithme de la commande MPPT

3. 3 Essais pratiques et validation des résultats

Les résultats que nous comparons proviennent des simulations sous Matlab Simulink et du système à carte microcontrôleur Parallax d'émulation du panneau PV et de génération du signal PWM de commande MPPT.

Les tests sont effectués pour deux niveaux de température T (25°C et 50°C) et pour trois niveaux d'ensoleillement E (200 W/m², 500 W/m² et 1000 W/m²).

Pour $T = 25^\circ\text{C}$ et $E = 200\text{W/m}^2$, 500W/m^2 et 1000W/m^2

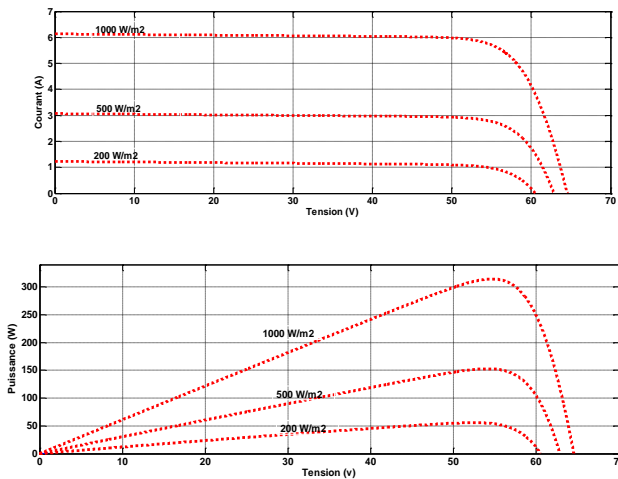


Fig. 4.a: Courbes I/V et P/V sous Matlab Simulink pour une température 25 °C et différents niveaux d'ensoleillement

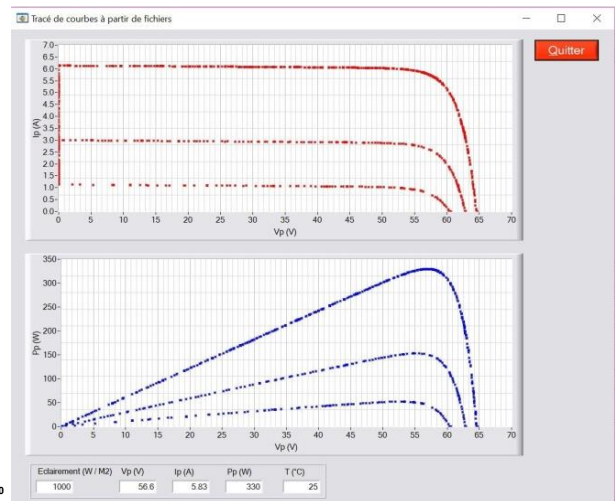


Fig. 4.b: Caractéristiques I/V et P/V générées par la carte Parallax pour une température 25 °C et différents niveaux d'ensoleillement

Pour $T = 50^{\circ}\text{C}$ et $E = 200\text{W/m}^2$, 500W/m^2 et 1000W/m^2

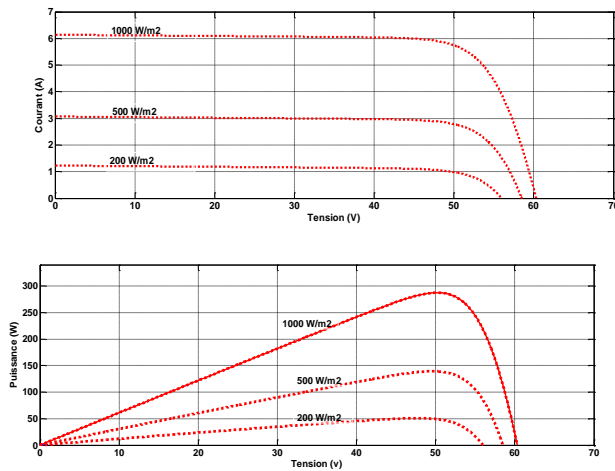


Fig. 5.a: Les courbes I/V et P/V sous Matlab Simulink pour une température de 50°C et différents niveaux d'ensoleillement.

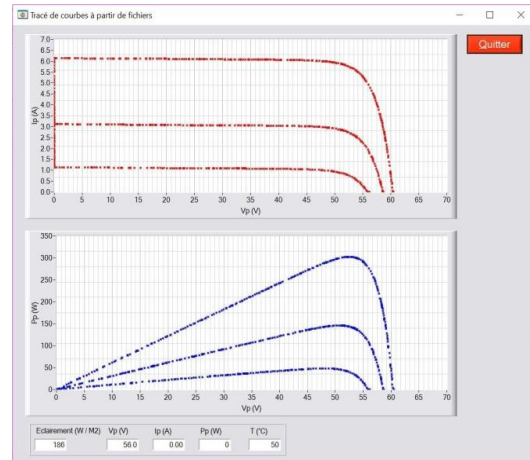


Fig. 5.b: Les caractéristiques I/V et P/V tracées avec la carte Parallax pour une température 50°C et différents niveaux d'ensoleillement.

Les signaux PWM

Pour une charge de 9.4 ohms, un ensoleillement de 500W/m^2 et une température de 25°C nous obtenons un rapport cyclique alpha de 81% qui est generer par la commande MPPT implementter sur la carte de microcontrôleur.

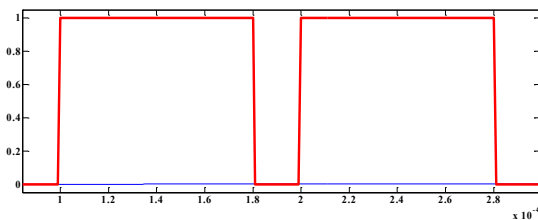


Fig. 6.a Signal PWM avec Matlab/Simulink

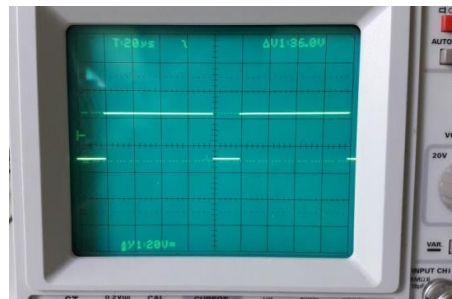


Fig. 6.a Signal PWM avec a la sortie de la carte PARALLAX

En comparant les résultats obtenus par simulation numérique sous Matlab Simulink avec ceux obtenus expérimentalement par émulateur grâce à la carte Parallax, nous remarquons que le système développé arrive à reproduire les mêmes caractéristiques pour les différents niveaux d'ensoleillement et de températures données par le constructeur et celles tracées avec Matlab Simulink. En outre le signal PWM généré par cette carte correspond à celui généré par Matlab Simulink et ce pour les mêmes conditions de température et d'ensoleillement. Nous pouvons ainsi valider l'utilisation de la carte Parallax fonctionnant en émulateur des caractéristiques statiques I/V et P/V et aussi pour la génération des signaux de commande PWM.

Le banc expérimental sera aussi exploité pour émuler une turbine éolienne de petite puissance en développant la caractéristique puissance éolienne en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre. L'expression mathématique (3) présente cette caractéristique qui est paramétrée par la vitesse du vent (V) dans la figure 7.

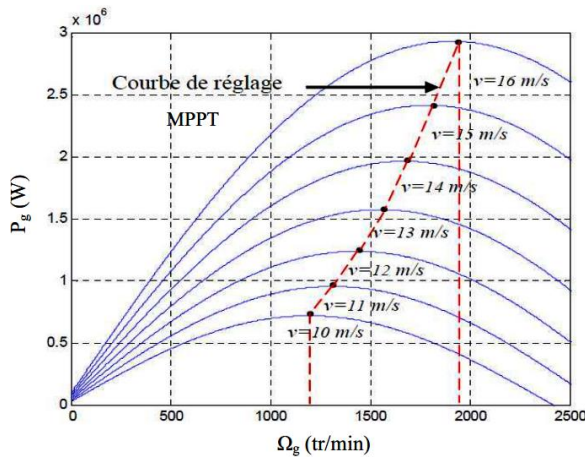


Fig. 7. Caractéristique de la puissance d'une turbine éolienne.

L'équation caractéristique est donnée par :

$$P_{tr} = \frac{1}{2} \rho S V_{vent}^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\Omega_{tr} \cdot R}{V_{vent}} \quad (4)$$

Tel que:

C_p : appelé coefficient de puissance, exprime la capacité de l'éolienne à extraire l'énergie du vent, il est sans dimension et est fonction de la vitesse spécifique λ et de l'angle de calage β . La vitesse spécifique (tip-speed-ratio) λ est définie comme étant le rapport entre la vitesse tangentielle périphérique ($\Omega_{tr} \cdot R$) et la vitesse instantanée du vent v_{vent} (R est le rayon de l'aire balayée par les pâles, Ω_{tr} est la vitesse de rotation de la turbine) [9].

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Dans ce travail nous avons émulé les caractéristiques statiques d'un panneau photovoltaïque en utilisant des algorithmes spécifiques développés pour un système à base de microcontrôleur. Nous avons également généré des signaux PWM pour une commande MPPT. Les algorithmes ont été étudiés préalablement sous Matlab/Simulink et ensuite implémentés dans le système d'émulation réalisé expérimentalement. La méthodologie d'émulation proposée permettra également la génération des caractéristiques statiques pour diverses turbines éoliennes de faible puissance. L'objectif final des travaux est le développement d'un système d'émulation temps réel PV - éolien qui permettra ensuite une implémentation fiable et à faible coût des régimes optimaux de conversion d'énergie pour les systèmes réels.

RÉFÉRENCES

- [1] C. Nichita, M. EL Mokadem, B. Dakyo, « Wind turbine simulation procedures », Wind Engineering Journal, Vol. 30 issue 3, p. 187-200, 2006.
- [2] H. Maloum, M. Adli, J. Raharijaona, C. Nichita, " Emulation des caractéristiques I/V d'un générateur photovoltaïque en utilisant des microcontrôleurs PIC ", JCGE 2017, ARRAS, 30 Mai au 01 Juin 2017.
- [3] N. Chettibi a, A. Mellit, "FPGA-based real time simulation and control of grid-connected photovoltaic systems", Elsevier, [Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 43](#), April 2014, Pages 34-53.
- [4] M. Petibon Stéphane, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques", Thèse doctorat, l'Université Toulouse III - Paul Sabatier- France, (2009).
- [5] L. F. Lavado Villa, "Architectures de Puissance et Commande associées pour la gestion des ombres dans des installations photovoltaïques", Engineering Sciences. Université de Grenoble-France, (2013).
- [6] http://www.photonsolar.be/wa_files/SunPower_E19_320ok.pdf.
- [7] <https://www.parallax.com/product/32912>
- [8] C. Lahore, " Optimisation de commandes MPPT ", Memoire d' ingénieur CNAM, 2012.
- [9] J. Tekobon, " Système multi physique de simulation pour l'étude de la production de l'énergie basée sur le couplage éolien offshore-hydrolien", Thèse doctorat, Université du Havre, 2016.