

Modélisation et commande floue d'un système photovoltaïque

Mounir DERRI¹, Mostafa BOUZI¹, Hamid ELOMARI¹, Otmane ZEBRAOUI¹, Ismail LAGRAT²

⁽¹⁾Laboratoire des énergies renouvelables & optimisation mécanique, Faculté des sciences et techniques, Settat

⁽²⁾Laboratoire de Génie électrique, Ecole nationale des sciences appliquées, Khouribga

Auteur correspondant : **Derrimounir@gmail.com**

Résumé : Dans notre travail, nous avons proposé une méthode de commande intelligente pour poursuivre le point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque. Ce dernier est non linéaire et il est soumis à des perturbations extérieures. Pour cela nous avons adopté une commande par la logique floue connue par sa stabilité et sa robustesse. Notre système est constitué d'un panneau photovoltaïque (PV), un convertisseur continu-continu, considéré comme un étage d'adaptation entre le PV et la charge. La stratégie de synthèse des lois de commande est basée sur la modélisation du comportement du système photovoltaïque, ce qui nous permet d'intégrer différentes techniques de commande afin de garantir une bonne poursuite en présence des erreurs de modélisation et des perturbations externes.

La modélisation et la simulation du système (panneau photovoltaïque, convertisseur continu-continu, algorithme MPPT à base de la logique floue et la charge) est réalisée grâce au logiciel Matlab/Simulink.

Mots clés : Panneau photovoltaïque, convertisseur continu-continu, point de puissance maximale, logique floue. Perturbe and Observe.

1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est largement utilisée pour l'alimentation des régions isolées ou désertes (éclairage, pompes, etc.). Le grand avantage est que cette source est inépuisable, elle offre une grande sécurité d'utilisation et elle est propre. Dans le but d'améliorer le rendement du générateur photovoltaïque (PV) autrement dit maximiser la puissance délivrée à la charge reliée aux bornes du générateur, plusieurs critères d'optimisation du système photovoltaïque étaient appliqués et des techniques étaient suivies pour avoir un rendement élevé [7]. Le but de notre travail est la comparaison entre deux techniques de poursuite du point de puissance maximum. Notre système est composé d'un générateur photovoltaïque, une charge, un convertisseur DC-DC.

2. Description du système photovoltaïque :

Le système étudié contient un panneau photovoltaïque, un hacheur parallèle de type boost, une charge résistive. Le hacheur est commandé par un signal PWM issu de l'un des algorithmes de recherche du point de puissance maximum (algorithme à base de la logique floue ou perturbe&observe).

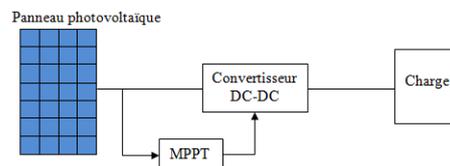


Figure 1 : Schéma descriptif du système photovoltaïque.

2.1. Modélisation du système photovoltaïque :

Une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connectée à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{cc} en parallèle avec une diode. Sous obscurité, l'équation de la diode est donnée

par[2]:

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{qv}{nKT}\right)} - 1 \right] \quad (1)$$

En présence d'un éclairage, on aura :

$$I = I_{cc} - I_s \left[e^{\left(\frac{qv}{nKT}\right)} - 1 \right] \quad (2)$$

Avec :

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

$$K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$$

$$1 < n < 2$$

Il existe plusieurs modèles qui représentent l'effet photovoltaïque, pour notre étude nous avons choisi le modèle équivalent suivant.

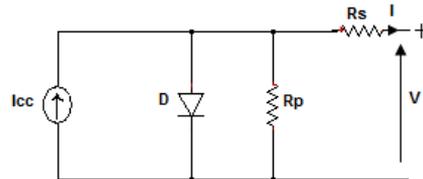


Figure 2 : Modèle électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Pour tenir compte des chutes de tension dans les zones P et N, on doit ajouter une résistance série Rs et pour le courant de fuite, une résistance Rp dans le schéma équivalent [3]. L'équation (2) devient :

$$I = I_{cc} - I_s \left[e^{\left(\frac{qv+RsI}{nKT}\right)} - 1 \right] - I_p \quad (3)$$

$$\text{Avec } I_p = \frac{v+RsI}{R_p}$$

Les deux principaux paramètres influant sur le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque sont la température et l'éclairage. Les figures 3 et 4 montrent la réaction d'une cellule photovoltaïque selon ces deux paramètres [7].

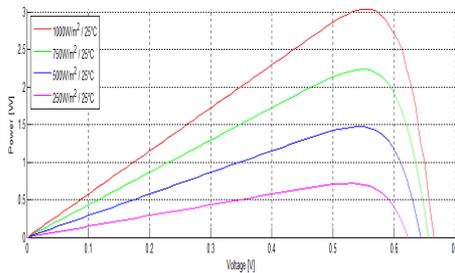


Figure 3 : L'effet de l'éclairage sur la caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque

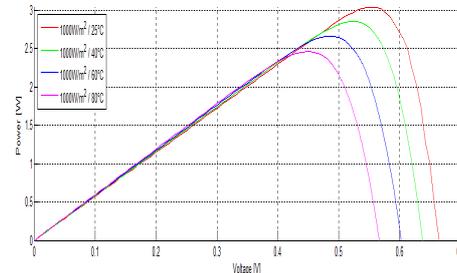


Figure 4 : L'effet de la température sur la caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque

2.1. Modélisation du convertisseur DC-DC :

Afin d'extraire à chaque instant la puissance maximale d'un panneau photovoltaïque, un étage d'adaptation est nécessaire. Pour cela on va intercaler un hacheur élévateur entre la charge et le PV. Ce hacheur est constitué d'une résistance, une bobine, une diode, un mosfet et une capacité. La figure 5 présente l'architecture d'un hacheur élévateur.

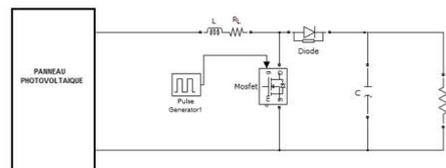


Figure 5 : Hacheur élévateur

On appliquant les lois de Kirchhoffet on trouve :

$$L \frac{di_L}{dt} = V - V_C(1 - \alpha) - R_L i_L \quad (4)$$

$$C \frac{dV_C}{dt} = i_L(1 - \alpha) - \frac{V_C}{R} \quad (5)$$

Avec i_L le courant traversant l'inductance, V_C la tension aux bornes de la capacité, α est le rapport cyclique et V la tension issue du panneau photovoltaïque.

Le gain du hacheur élévateur est proportionnel au rapport cyclique.

$$\frac{V_C}{V} = \frac{1}{1-\alpha} \quad (6)$$

3. Les techniques de commande MPPT :

3.1. Approche Perturbe and Observe :

C'est la technique la plus utilisée pour poursuivre le point de puissance maximale d'un générateur photovoltaïque. Elle repose sur la perturbation de la tension ou du courant aux bornes du PV, puis l'observation de l'effet de cette variation sur la puissance produite.

Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$ alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent [1]. La figure 6 donne l'organigramme de cette technique.

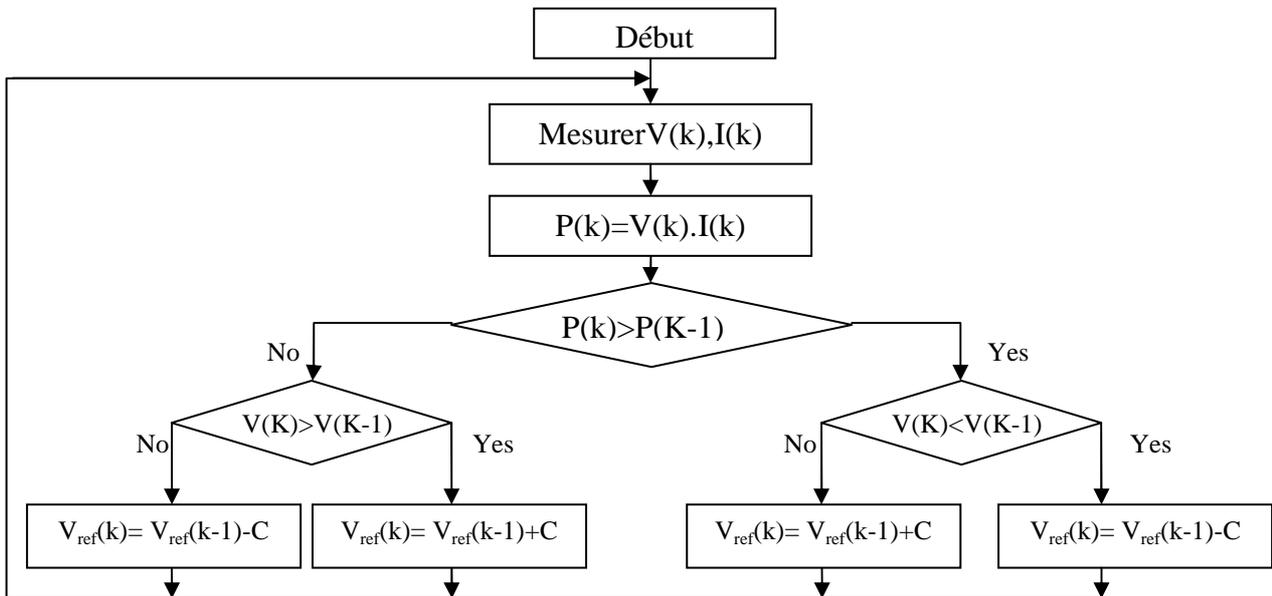


Figure 6 : Organigramme de la technique perturbe & observe

3.2. Approche logique floue

La théorie de la logique floue permet « la modélisation et le traitement rigoureux d'informations imprécises, incertaines et subjectives ». Elle permet d'approximer des fonctions non-linéaires. C'est donc une théorie tout à fait adaptée au problème d'optimisation que nous avons à traiter dans ce projet[3]. Un contrôleur flou comporte trois blocs essentiels présentés dans la figure suivante.

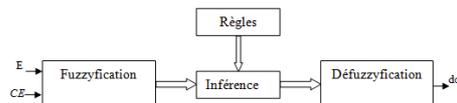


Figure7 : Structure d'un contrôleur flou

La fuzzification désigne le processus de détermination du degré d'appartenance à chaque partition floue. L'inférence désigne l'utilisation des règles déclenchées par les différentes entrées fuzzifiées. La défuzzification désigne le passage des valeurs floues de sorties à une valeur finale nette[3].

Dans le cas de notre étude, l'entrée du contrôleur flou est l'erreur (E), le changement d'erreur (CE) represente.la sortie et α le rapport cyclique.

Avec :

$$E(K) = \frac{P(k)-p(k-1)}{V(k)-V(K-1)} \quad (7)$$

$$CE(K) = E(K) - E(K - 1) \quad (8)$$

Le tableau et la figure suivantes présentent la relation entre les entrées et la sortie du contrôleur flou.

Tableau 1 : Les règles d'inférence

E/CE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM
NS	NB	NM	NS	Z	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM
PS	NS	Z	PS	PM	PB
PB	PM	PB	PB	PB	PB

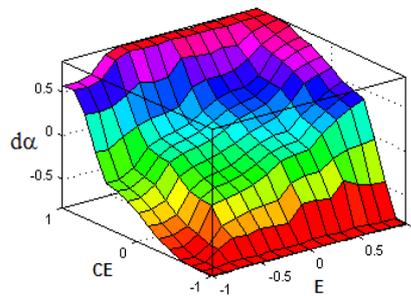


Figure8 : La surface du contrôle

4. Simulation et analyse des résultats :

Les deux algorithmes de recherche de point de puissance maximum (perturbe& observe et la logique floue) sont simulés avec le logiciel matlab/simulink sous des conditions d'éclairément changeantes. Dans notre cas, on applique les deux commandes sur un hacheur élévateur qui alimente une charge résistive, les spécification du module photovoltaïque utilisé sont : $V_{oc}=22.09V$; $I_{sc}=8.36A$; $V_{mp}=17.7V$; $I_{mp}=7.62A$; $P_{mp}=134.9W$.La figure 9 présente les deux systèmes.

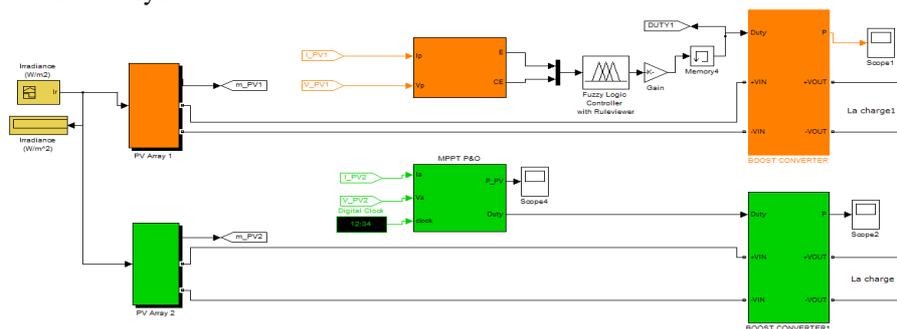


Figure9 : Schéma simulink pour la simulation du système photovoltaïque

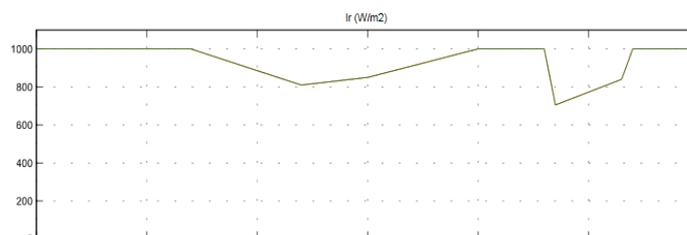


Figure10 : La courbe d'irradiation à l'entrée du module photovoltaïque

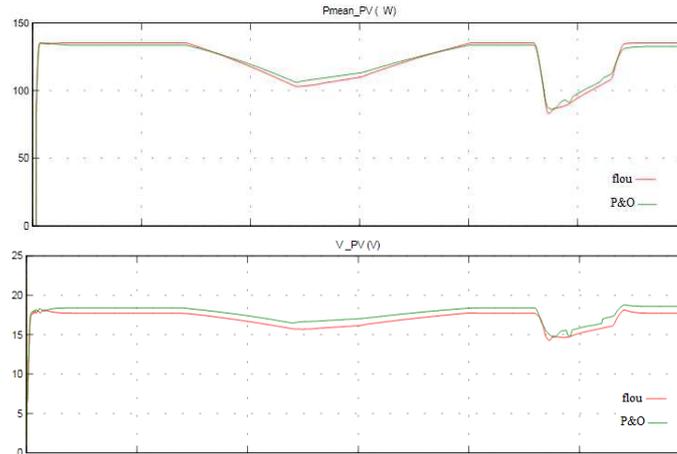


Figure 11 : les courbes de la tension et la puissance aux bornes du module photovoltaïque

On remarque que les deux algorithmes suivent le point de puissance maximale. Le résultat montre que le contrôleur flou a une très bonne performance, temps de réponse rapide et stable dans des conditions d'irradiation changeantes.

Conclusion

Dans le présent travail, nous avons étudié deux techniques (P&O et Mppt à base de la logique floue) de poursuite de puissance maximum afin de pouvoir les comparer. Nous avons montré à travers la simulation du système photovoltaïque sous simulink que la technique du contrôleur flou sous des conditions d'irradiation variable est beaucoup plus fiable et robuste et présente des résultats satisfaisants.

En perspective, on compte implanter ces deux techniques (P&O et Mppt à base de la logique floue) dans un microcontrôleur afin de comparer les résultats issues de la simulation avec celles de l'étude d'un prototype expérimental.

Nomenclature

I_s Courant de saturation inverse de la diode
 K La constante de Boltzmann, J/K
 n Le facteur de non idéalité de la photopile
 T La température de la jonction, K

V_{oc} tension circuit ouvert, V
 V_{mp} tension au point de puissance maximum
 I_{mp} courant au point de puissance maximum, A
 I_{sc} courant de court circuit, A

Références

- [1] M.Hatti, Contrôleur flou pour la poursuite du point de puissance maximum d'un système photovoltaïque, JCGE'08 LYON, 16et17décembre2008.
- [2] Souleymane NDOYE, Ibrahima LY, Fabé Idrissa BARRO, OuldHabiboulahi LEMRABOTT, Modélisation et simulation sous matlab/simulink de la chaine d'alimentation d'une station relais detélécommunications en énergiesolaire photovoltaïque dans une zone isolée du réseauélectrique, J. SCI. Vol. 9, N° 2 (2009)
- [3] Céline BERNARD, Carolina SEBRAO – OLIVEIRA, Bernard LAVAL, Clément VAUDOUER, Panneau photovoltaïque et algorithme MPPT à base de logique floue, rapport rédigé de l'UV BA04, Automne 2009.
- [4] A. El Jouni, R. El Bachtiri, a maximum power point tracking fuzzy logic controller for photovoltaic pumping system, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology № 5 (61) 2008.
- [5] Ghulam Abbas, NacerAbouchi, Cyril Condemine, Robust Fuzzy Logic Controller for PWM-Based High-Frequency DC-DC Buck Converter.
- [6] Khalid K. Muhammed, Marwan A. Abdulhameed, Design and Implementation of A Fuzzy Logic Based A Photovoltaic Peak Power Tracking Controller, Al-Rafidain Engineering Vol.20 No. 5 October 2012
- [7] A.MOUSSI, A.SAADI, Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque, Courrier du Savoie – N°01, Novembre 2001