

Modélisation et simulation d'un champ photovoltaïque utilisant un convertisseur élévateur de tension (boost) avec le logiciel MATLAB /SIMULINK

T. T. Guingane, Z. Koalaga, E. Simonguy, F. Zougmore, D. Bonkoungou

▶ **To cite this version:**

T. T. Guingane, Z. Koalaga, E. Simonguy, F. Zougmore, D. Bonkoungou. Modélisation et simulation d'un champ photovoltaïque utilisant un convertisseur élévateur de tension (boost) avec le logiciel MATLAB /SIMULINK. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement , 2016, 2 (1), 10.18145/jitipee.v1i2.80.G59 . hal-01495747

HAL Id: hal-01495747
https://hal.science/hal-01495747

Submitted on 26 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

JOURNAL INTERNATIONAL DE TECHNOLOGIE, DE L'INNOVATION,
DE LA PHYSIQUE, DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Modélisation et simulation d'un champ photovoltaïque utilisant un convertisseur élévateur de tension (boost) avec le logiciel MATLAB/SIMULINK

T.T. Guingane, Z. Koalaga, E. Simonguy,
F. Zougmore, D. Bonkoungou



ISSN : 2428-8500

DOI : 10.18145/jitipee.v1i2.80.g59

Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement
ISSN : 2428-8500 *vol. 2, n°1, 1, 2016*
DOI : http://dx.doi.org/10.18145/jitipee.v1i2.80.g59

Modélisation et simulation d'un champ photovoltaïque utilisant un convertisseur élévateur de tension (boost) avec le logiciel MATLAB /SIMULINK

T. T. Guingane[(1)], Z. Koalaga[(1)], E. Simonguy[(1)], F. Zougmore[(1)], D. Bonkoungou[(1)]

[(1)] UFR/SEA, Université Ouaga 01 Prof Joseph KI Zerbo, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso
tilado88@yahoo.fr

Résumé – *Ce travail présente une contribution pour une meilleure conception d'un convertisseur boost permettant à l'aide d'une commande de recherche du point de puissance maximale MPPT (Maximum Power Point Tracking) de retrouver la puissance maximale du champ photovoltaïque (PV) à tout moment.*

En effet à partir des modèles de convertisseur boost existant dans la littérature nous avons développé une variante de convertisseur et calculé ses différents paramètres. Les simulations réalisées avec Matlab/Simulink ont permis d'optimiser la production du champ PV et d'élucider le fait que le champ PV peut fonctionner à son point maximal de puissance s'il est interfacé par un convertisseur qui recherche à tout instant la puissance maximale.

Mots clés : *Champ PV, convertisseur boost, puissance maximale, MPPT, Matlab /Simulink*

DOI : 10.18145/jitipee.v1i2.80.g59

Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie dont la disponibilité varie considérablement dans la journée. Son utilisation de façon optimale nécessite la prise en compte des types de charges (batteries, lampes, etc.). Dans cette optique, quelques auteurs [1-6] utilisent un convertisseur boost afin de maximiser la production et l'utiliser de façon optimale.

L'objectif de ce travail est de présenter une meilleure conception d'un convertisseur boost capable de rechercher la puissance maximale quelles que soient les variations de l'ensoleillement.

Afin de juger de l'efficacité du convertisseur boost proposé, nous avons d'abord modélisé et simulé sous Simulink un champ photovoltaïque (PV) directement connecté à une charge. Ensuite la modélisation et la simulation ont été effectuées avec le champ PV connecté à une charge par l'interface du boost.

Le travail est présenté en trois sections. La section 1 décrit les modélisations du champ PV et du convertisseur boost. La section 2 aborde la simulation et la section 3 donne les résultats et leurs analyses.

1. Modélisation du champ PV et du convertisseur boost

1.1. Modélisation du champ PV

Le champ PV est constitué de modules connectés en série et en parallèle pour obtenir la puissance souhaitée. Chaque module est lui-même composé de cellules. Pour la modélisation du champ PV, nous partirons donc de l'élément de base qui est la cellule.
De nos jours il existe plusieurs modèles électriques de la cellule [7] : on a le modèle à une diode, à deux diodes, et à trois diodes.
Le modèle à une diode offre un bon compromis entre simplicité et précision : il apparaît très adapté à notre étude.
Ce modèle est constitué de photo-courant, de diode, de résistance parallèle, et de résistance série comme l'indique la Figure 1 [1, 5, 7-9, 12]. L'équation de la caractéristique tension-courant de la cellule solaire est donnée par l'équation (1).

$$I = I_{ph} - I_o \left[exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (1)$$

où I_{ph} est le photo-courant, I_o le courant de saturation, R_s la résistance série de la cellule, R_p la résistance parallèle de la cellule, a le facteur d'idéalité de la diode et V_t est la tension thermique.

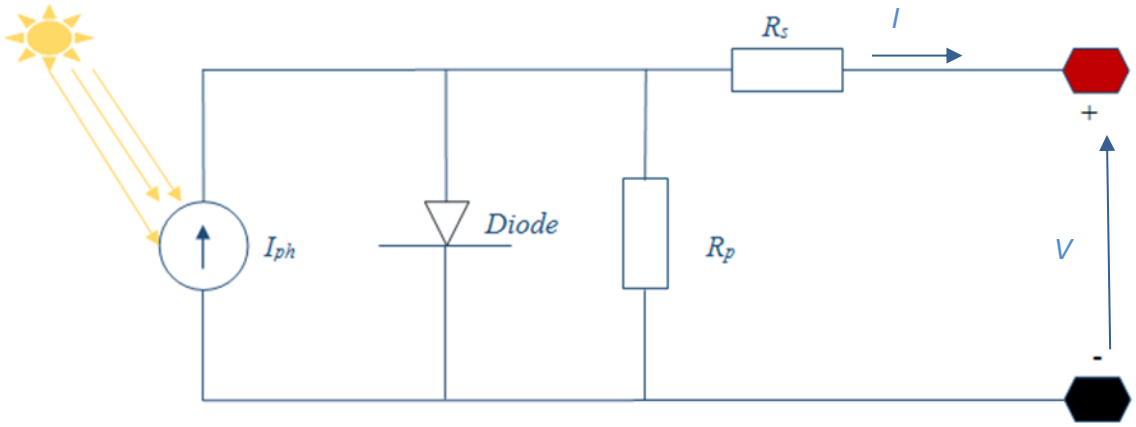


Figure 1. Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

Les expressions du photo-courant et du courant de saturation sont données par les équations (2) et (3) :

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i dT)\frac{G}{G_n} \quad (2)$$

$$I_o = \frac{I_{sc} + K_i dT}{exp\left[\frac{V_{oc} + K_v dT}{V_t a}\right] - 1} \quad (3)$$

où I_{SC} est le courant de court-circuit, K_i le coefficient de température de court-circuit, K_V le coefficient de température en circuit ouvert, T la température, V_{OC} la tension en circuit ouvert, G l'irradiance solaire et G_n est l'irradiance solaire nominale.

L'équation de la caractéristique tension-courant du champ PV est donnée par l'équation (4).

$$I = N_{pp} I_{ph} - N_{pp} I_o \left[exp\left(\frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{V_t a}\right) - 1\right] - \frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{R_p\, N_{ss}/N_{pp}} \quad (4)$$

où N_{pp} et N_{ss} sont respectivement le nombre de module en parallèle et en série.

1.2. Modélisation du convertisseur boost

Le convertisseur boost est également connu sous le nom de convertisseur step-up. Il est généralement utilisé dans la conversion d'une tension d'entrée basse en une tension de sortie haute [6-11, 13-14].
Il se compose d'une source de tension d'entrée continue V_A, d'une inductance L, d'un interrupteur S, d'une diode, et deux condensateurs Cin et Cout.
La Figure 2 montre le schéma électrique du convertisseur boost proposé.

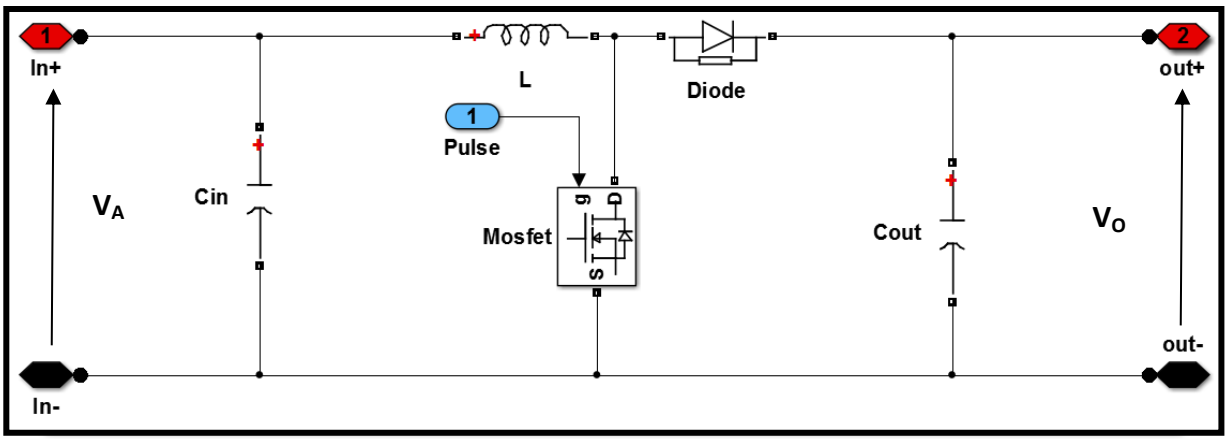


Figure 2. Schéma électrique du convertisseur boost proposé

La relation entre la tension d'entrée V_A et de sortie V_0 du convertisseur est donnée par l'équation (5) [10-12].

$$V_o = \frac{V_A}{1 - D} \quad (5)$$

Les équations (6) et (7) donnent respectivement l'expression de la capacité et de l'inductance du filtre [4, 15, 17-21].

$$C = \frac{DV_o}{f_s R \Delta V} \quad (6)$$

$$L = \frac{V_A D}{f_s \Delta I} \quad (7)$$

Dans ces relations, D est le rapport de cycle, f_s la fréquence du mosfet, ΔV la limite de tension tolérable, ΔI la limite de courant tolérable et R la résistance de la charge.
Lorsque V_A= 50 V et V_o = 130 V, on a D =0,61. Pour un courant I = 8,5 A, f_s = 100 kHz, $\Delta V/V$ = 5% et $\Delta I/I$ = 30 % les calculs de R, L et C donnent respectivement 15,3Ω, 1,2 10^{-4} H et 8,1 10^{-6} F.
Contrairement à la plupart des convertisseurs dans la littérature, le convertisseur proposé comporte deux capacités Cin et Cout qui ont pour rôle respectif de diminuer l'ondulation de la tension d'entrée et de sortie du convertisseur (ou de lisser).
Egalement la fréquence du mosfet utilisée dans la littérature est généralement 50 kHz, pour notre travail nous avons choisi 100 kHz car nous obtenons ainsi des capacités et une inductance faible qui contribuent à la qualité de la tension et du courant de sortie.

1.3. Méthode de Perturbation et d'Observation (P&O)

La méthode de perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du champ photovoltaïque V et I respectivement. Cette méthode opère en perturbant périodiquement la tension du champ PV, et en comparant la puissance précédemment fournie avec la nouvelle après perturbation.
Cette méthode permet de retrouver le point maximum de puissance même lors des variations de l'éclairement et de la température.
La Figure 3 représente l'algorithme de la méthode P&O [5,6].

2. Simulation

Après avoir modélisé le champ PV et connecté celui-ci au convertisseur boost, nous avons effectué la simulation de son fonctionnement. Pour cela nous avons implémenté les modèles obtenus dans Simulink. Une commande MPPT a été insérée à l'aide des blocs programmés sous Simulink.
La commande MPPT permet de se situer à tout moment de l'ensoleillement à la puissance maximale de notre système PV. Pour simuler la puissance maximale, nous avons d'abord connecté notre système PV directement à la charge, puis nous avons par la suite connecté entre la charge et le système PV le convertisseur boost commandé par le MPPT.

2.1. Implémentation du champ PV sous Simulink

L'équation de la caractéristique tension-courant du champ PV donnée par l'équation (4) est représentée sous Simulink par la Figure 4.
L'utilisation des deux fonctions de transfert sur la Figure 4 permet d'avoir une bonne précision des valeurs du courant et de la tension.

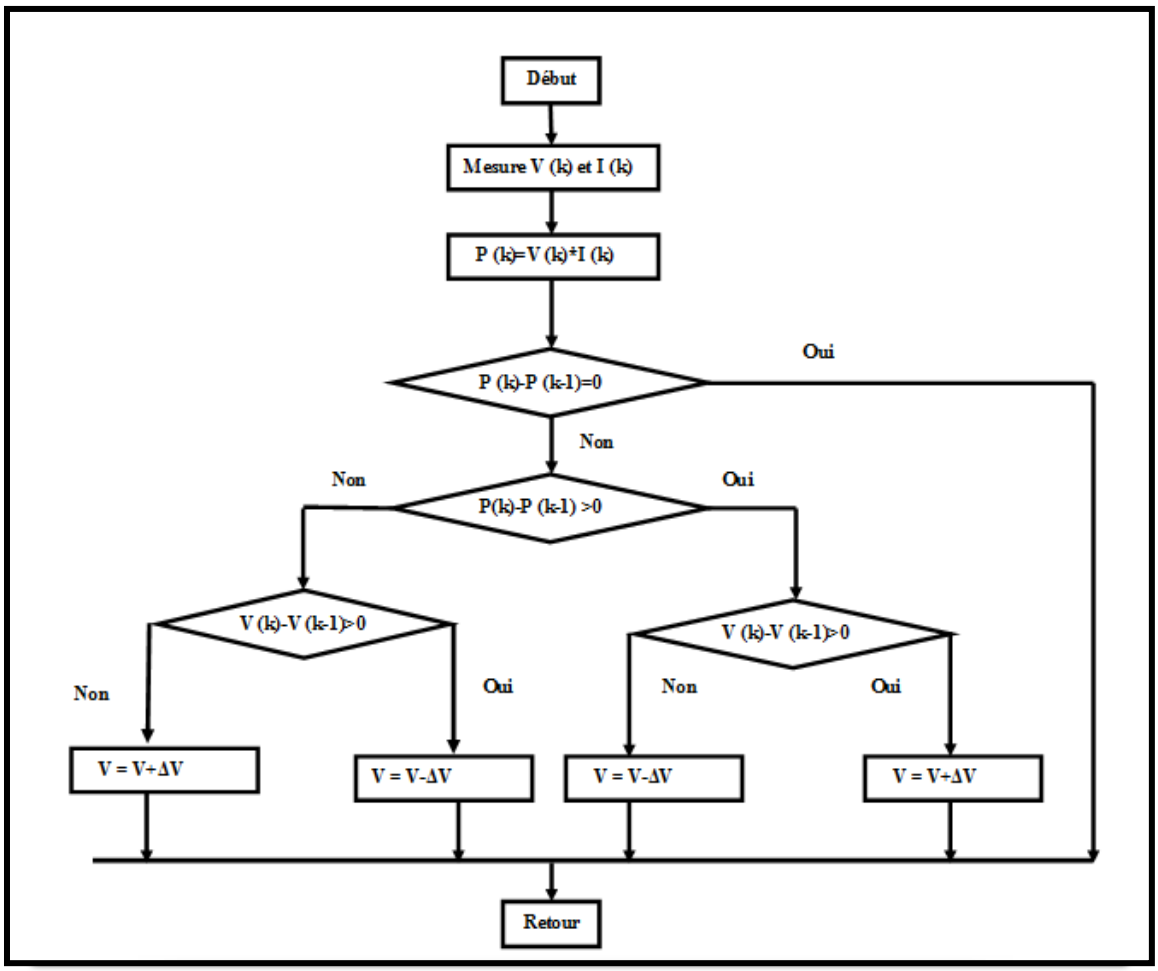


Figure 3. Organigramme de la méthode de perturbation et d'observation (P&O)

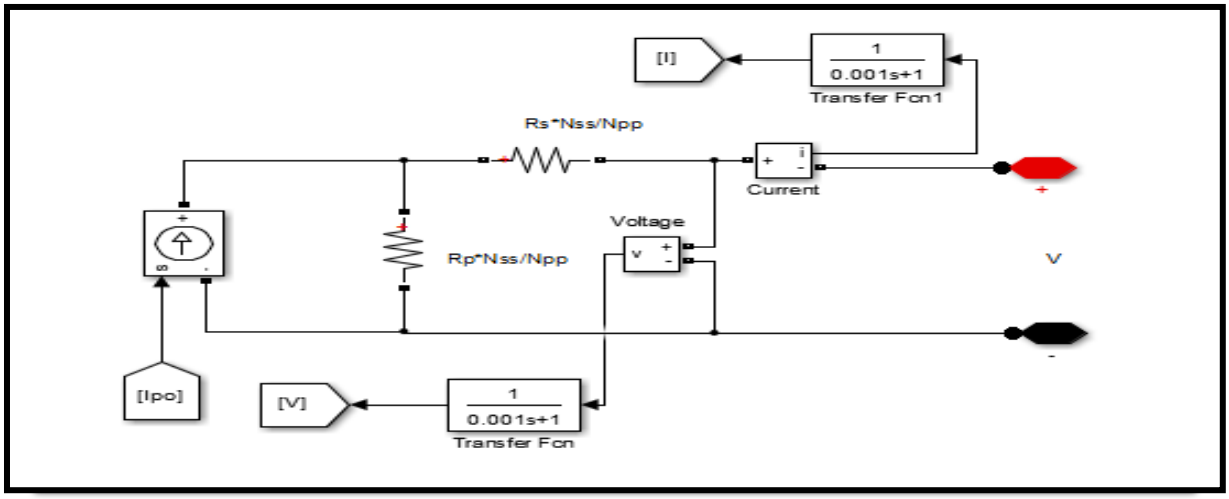


Figure 4. Modèle du circuit équivalent d'un champ PV sous Simulink

Nous avons considéré que

$$I_{po} = N_{pp}I_{ph} - N_{pp}I_o\left[exp\left(\frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{V_t a}\right) - 1\right] \quad (8)$$

La représentation sous Simulink de l'équation (8) est donnée par la Figure 5.
I_o et I_{ph} sont représentés respectivement sous Simulink par les Figures 6 et 7.

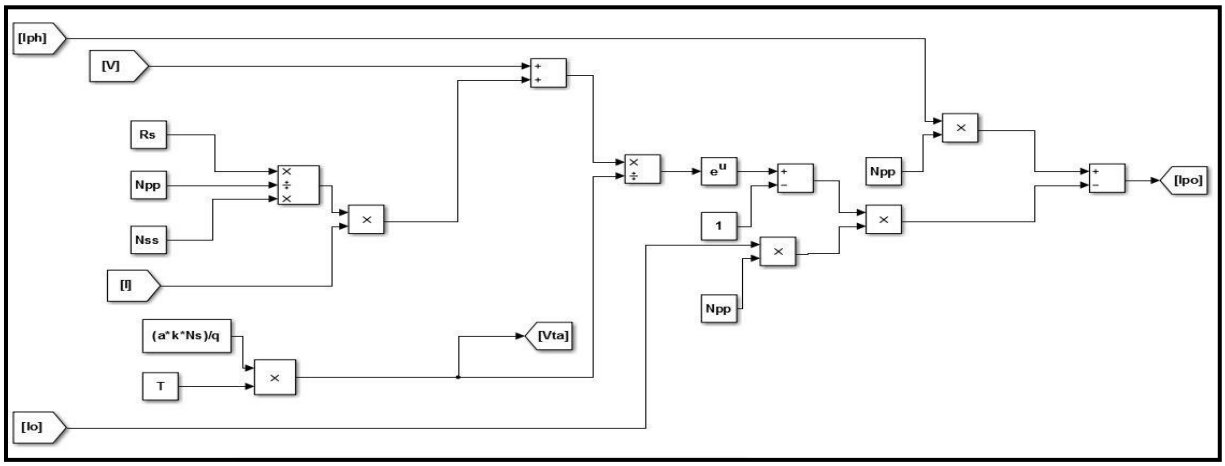


Figure 5. Schéma du calcul de I_{po} sous Simulink

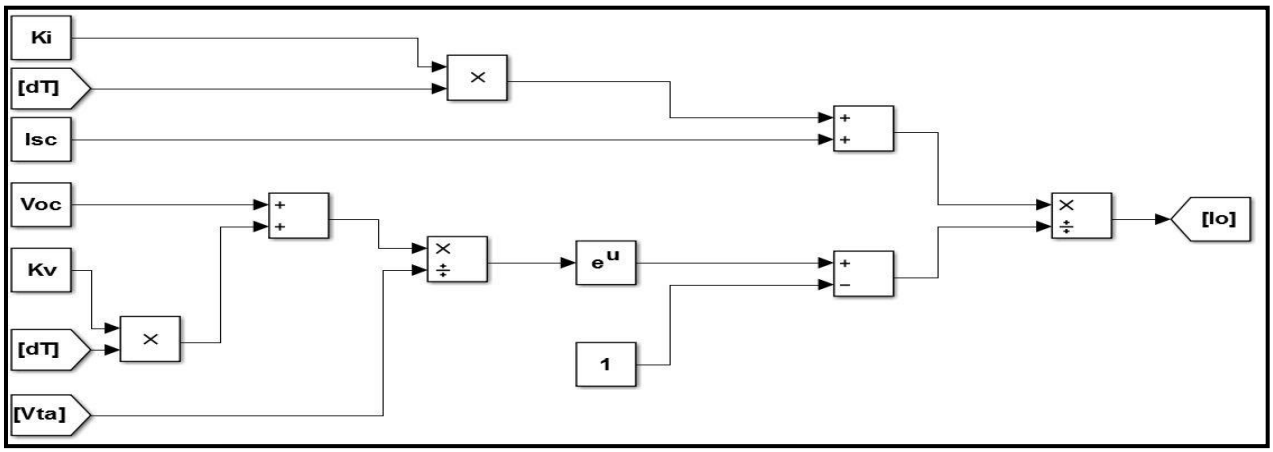


Figure 6. Schéma du calcul de *Io* sous Simulink

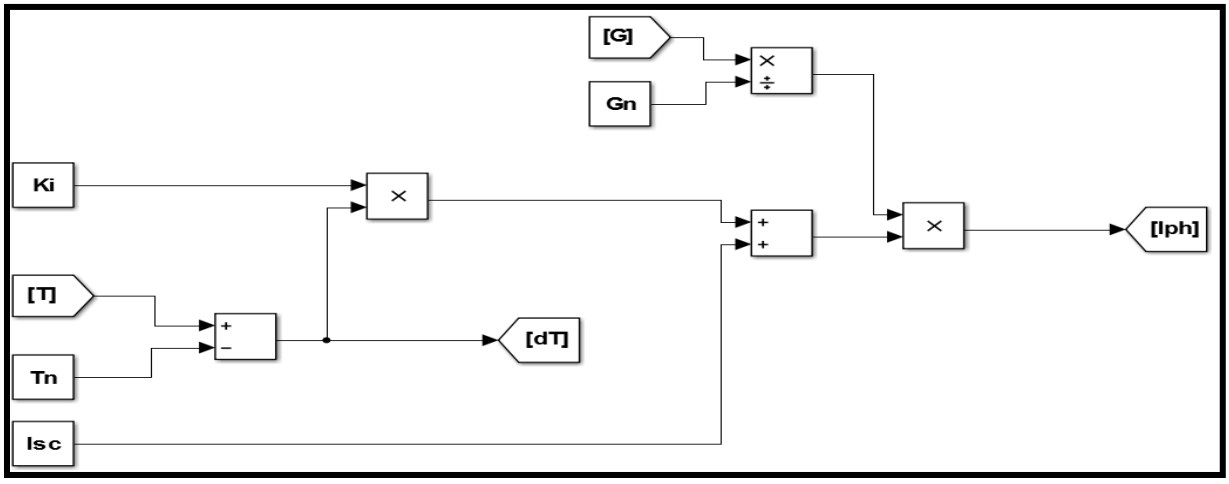


Figure 7. Schéma du calcul de I_{ph} sous Simulink

Les caractéristiques utilisées pour le module PV sont données par le Tableau 1.

P_{max}	*200 W*
I_{max}	*7 ,5 A*
V_{max}	*26 ,7 V*
V_{mod}	*24 V*
V_{oc}	*32,9 V*
I_{sc}	*8 A*
K_v	*-116,1 mV/°C*
K_i	*4,4 mA/°C*
N_s	*36*
N_{ss}	*2*
N_{pp}	*3*

Tableau 1. Caractéristiques du module PV à *25°C* et *1000 W/m*

2.2. Implémentation sous Simulink du système complet

La connexion directe entre le champ PV et la charge est représentée par la Figure 8.
Nous rappelons que la représentation sous Simulink du convertisseur boost est donnée par la Figure 2. Le mosfet est commandé par un bloc de modulation à largeur d'impulsion PWM (Pulse Width Modulation) qui compare à son entrée le rapport de cycle (duty cycle) à un signal périodique triangulaire afin de situer les différents états du mosfet. Ensuite pour trouver de façon automatique le rapport de cycle qui correspondrait à la puissance maximale pour différentes irradiances solaires, la commande MPPT de Perturbation et Observation (P&O) sera utilisée. La Figure 9 représente le schéma du PWM et la Figure 10 représente le schéma de la commande P&O.
Le schéma de la connexion entre le boost et le champ PV sous Simulink est donné par la Figure 11.

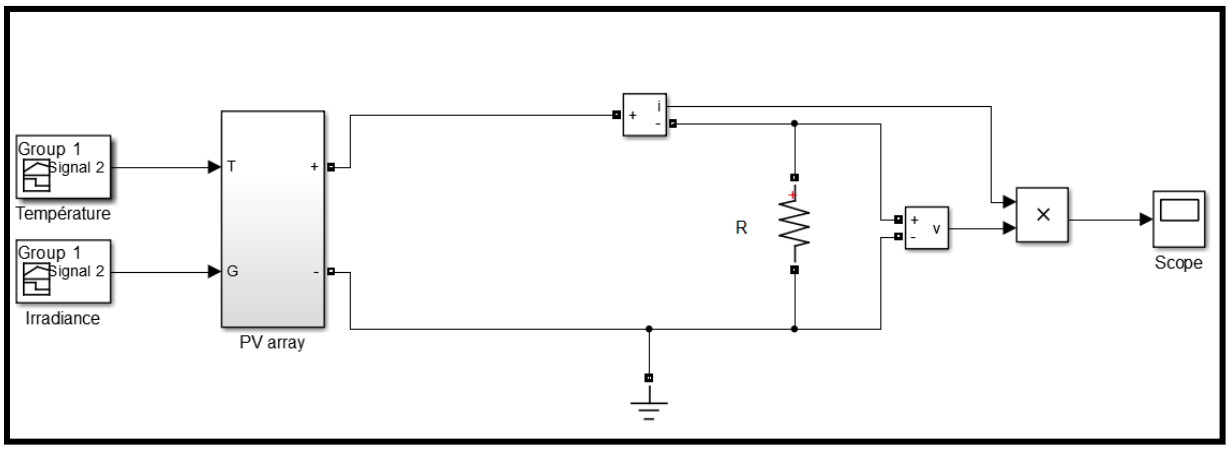


Figure *8.* Schéma sous Simulink d'un champ PV connecté directement aux charges

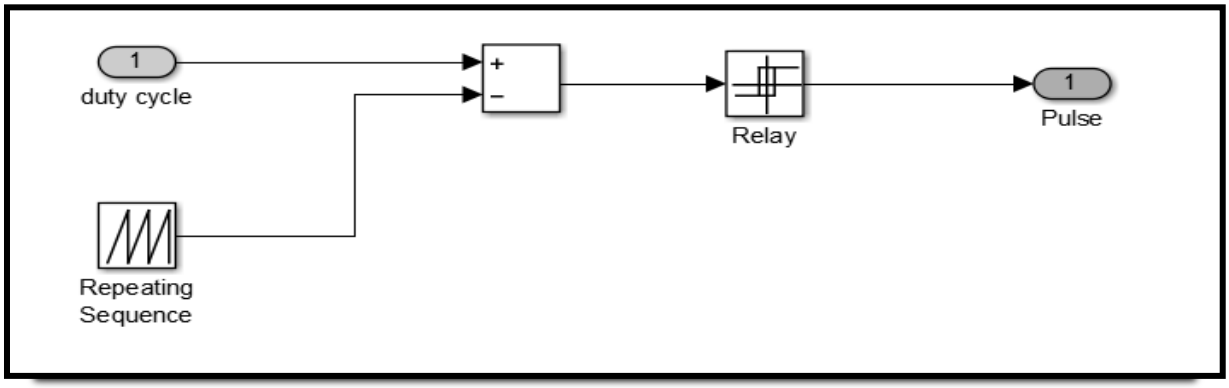


Figure 9. Schéma du PWM

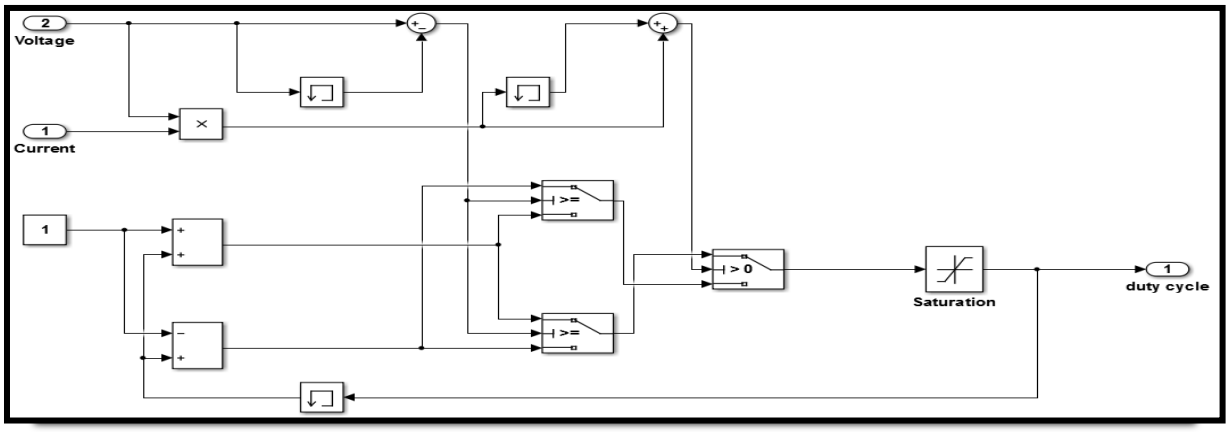


Figure 10. Perturbation et Observation sous Simulink

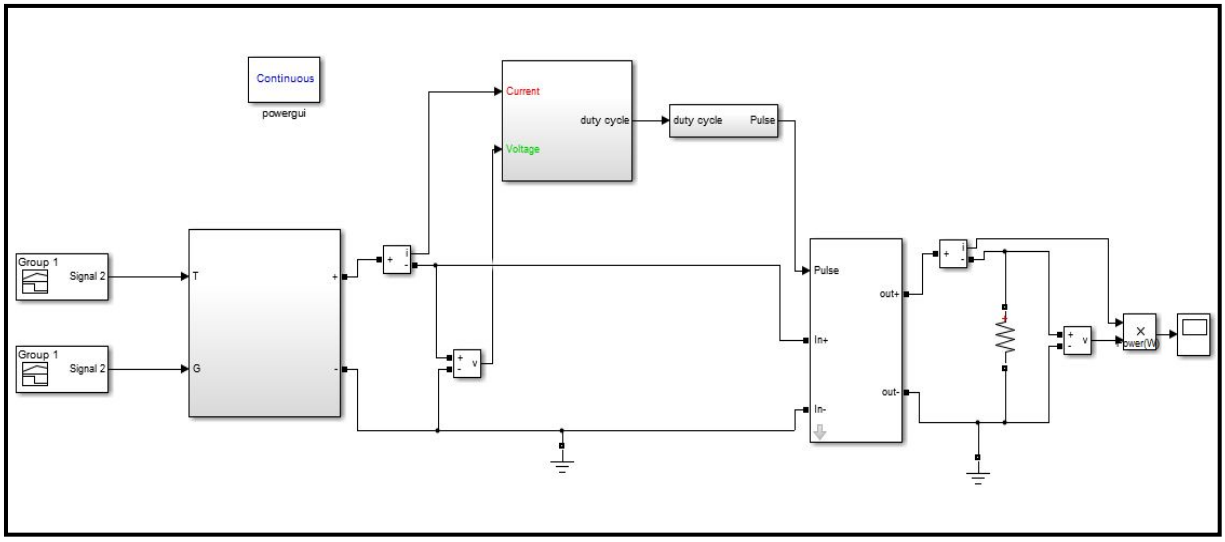


Figure 11. Schéma du système complet sous Simulink

3. Résultats et analyses

Les simulations faites permettent d'obtenir les courbes I-V et P-V du champ PV pour différents éclairements et températures. La Figure 12 illustre l'évolution du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différentes valeurs de l'ensoleillement à une température T = 25°C.

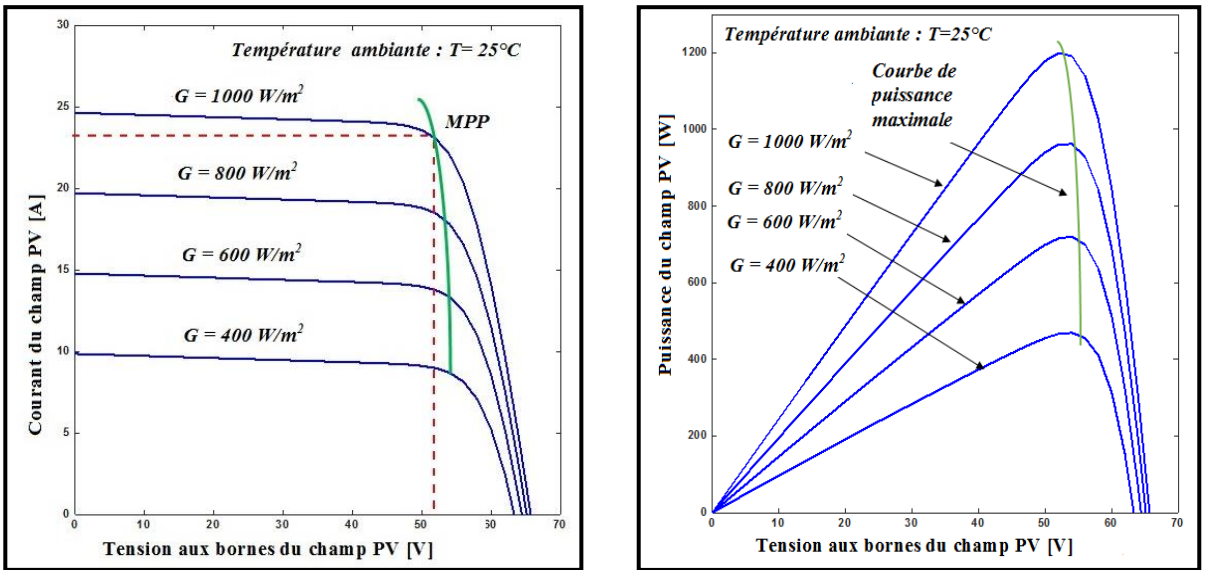


Figure 12. Caractéristiques du champ PV pour une variation de l'éclairement

On observe que lorsque G = 400 W/m^2, 600 W/m^2, 800 W/m^2 et 1000 W/m^2, les puissances maximales respectives du champ PV sont de 450 W, 675 W, 975 W et 1200 W.

La puissance maximale du champ PV croit avec l'ensoleillement respectivement. Il en est de même pour le courant qui croit avec l'éclairement.
Pour voir l'influence de la température nous avons tracé les courbes I-V et P-V du champ PV pour une irradiation G= 1000 W/m^2 et des températures différentes. Elles sont présentées sur la Figure 13.

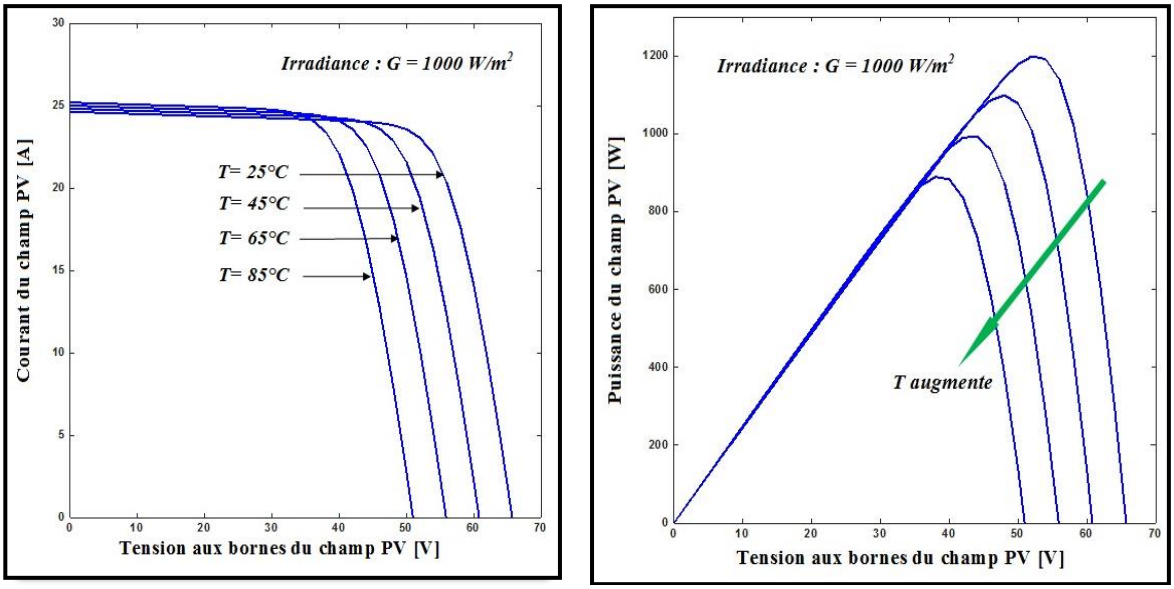


Figure 13. Caractéristiques statiques lors d'une variation de la température ambiante

On observe que lorsque T= 25°C, 45°C, 65°C et 85°C les tensions maximales du champ PV sont respectivement 55 V, 47 V, 42 V et 38 V.
La tension décroit lorsque la température augmente. Il en est de même pour la puissance maximale qui décroit avec la température.
Et lorsque T = 25°C, nous remarquons que la puissance maximale du champ PV est égale 1200 W qui correspond à la puissance maximale P_{MPP}.
Pour montrer la pertinence de l'utilisation du convertisseur boost nous avons étudié l'évolution en fonction du temps de la puissance du champ PV lorsque la charge est directement connectée puis lorsque l'on intercale le convertisseur boost.
Les résultats sont donnés respectivement par les Figures 14 et 15.
Sur la Figure 14 au temps t = [0 s - 0,03 s], t = [0,03 s - 0,06 s] et t = [0,06 s - 0,1 s], nous constatons que les puissances consommées sont respectivement 199 W, 205 W et 209 W, pour des irradiances respectives G = 600 W/m^2, 800 W/m^2 et 1000 W/m^2, et pour une température fixée à 25°C.
Le champ PV ne fonctionne pas à sa puissance maximale P_{MPP} car en ces instants les P_{MPP} sont respectivement égales à *675 W*, *975 W* et *1200 W*. Les puissances consommées ne correspondent pas à la production maximale.
Par contre sur la Figure 15 au temps t = [0 s - 0,03 s], t = [0,03 s - 0,06 s] et t = [0,06 s - 0,1s], nous constatons que la puissance est égale respectivement à 650 W, 950 W et 1150 W, pour des irradiances respectives G = 600 W/m^2, 800 W/m^2 et 1000 W/m^2, et pour une température fixée à 25°C.

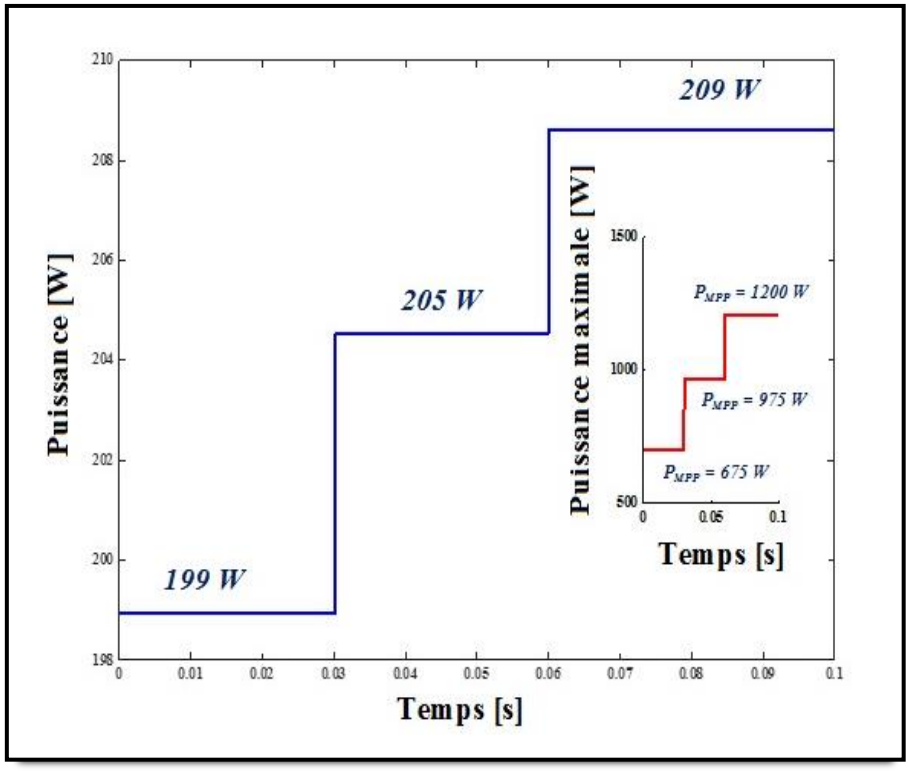


Figure 14. Puissance d'une charge directement connectée au champ PV

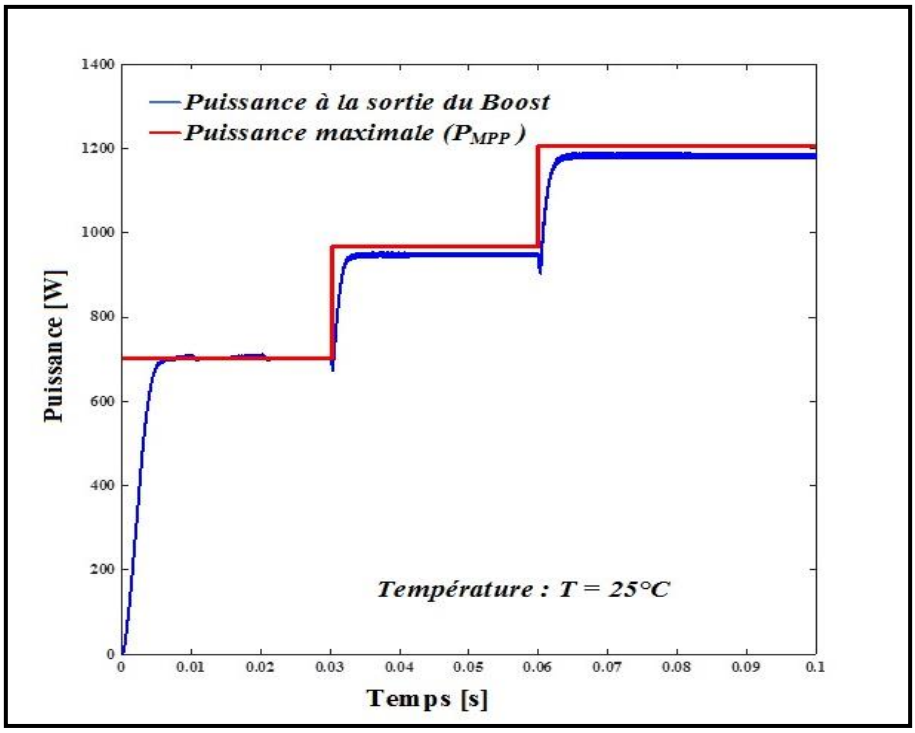


Figure 15. Puissance d'une charge connectée au Boost

Ces puissances obtenues sont sensiblement égales aux puissances maximales P_{MPP} 675 W, 975 W et 1200 W.

Ainsi nous constatons que le modèle du boost proposé permet effectivement d'optimiser la production du champ PV.

Conclusion

Dans ce papier nous avons présenté une meilleure conception d'un convertisseur boost capable de rechercher la puissance maximale pour toute variation d'ensoleillement grâce à sa commande MPPT.
Afin de juger de la performance du convertisseur, nous avons modélisé et simulé sous Matlab/Simulink un champ PV tout d'abord directement connecté à la charge puis lorsqu'on intercale le convertisseur boost. Il ressort que le boost proposé améliore considérablement les performances de l'état dynamique du champ PV.
Pour la suite, nous envisageons d'améliorer le travail par l'insertion d'un onduleur qui convertit le courant continu du boost en un courant alternatif utilisable pour l'alimentation des charges alternatives ou pour l'injection sur le réseau électrique.

Références

[1] P. Sahebrao N, R. C. Prasad (2014) Design and simulation of MPPT algorithm for solar energy system using Simulink model, International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences (IJREAS), ISSN : 2249-9210, Vol.02, Issue.01, pp.37-40.

[2] K. Kassmi, M. Hamdaoui, F. Olivié (2007) Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique, Revue des Energies Renouvelables, Vol.10, No.4, pp.451-462.

[3] C. Jena, A. Das, C. K. Panigraphi, M. Basu (2014) Modelling and Simulation of Photovoltaic Module with Buck-Boost Converter, International Journal of Advanced Engineering and Nano Technology (IJAENT), ISSN: 2347-6389, Vol.01, Issue.3, pp.18-21.

[4] S. Sumath, L. A. Kumar, P. Surekha (2015) Solar PV and Wind Energy Conversion Systems an Introduction to Theory, Modeling with Matlab/Simulink, and the role of soft Computing Techniques, ISSN: 978-3-319-14940-0, pp.677.

[5] S. Sholapur, K. R. Mohan, T. R. Narsimhegowda (2014) Boost Converter Topology for PV system with Perturb and Observ MPPT Algorithm, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, (IOSR-JEEE), e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, Vol.9, Issue.4, Doi : 10.9790/1676-09425056, pp.50-56.

[6] N. Agarwal (2014) Design and Simulink of Intelligent Solar Energy Improvement with PV module, International Journal of Information and Computation Technology, ISSN : 0974- 2239, Vol.4, No.6, pp.619-628.

[7] K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri (2011) Accurate MATLAB Simulink PV System Simulator based on a two-Diode Model, Journal of Power Electronics, Vol.11, No.2, pp.179-187.

[8] S. Baig, Prof K. Gupta (2015) Performance of Mathematical Modeling of Photovoltaic module with Simulink buck-boost converter, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology (IJESRT), ISSN: 2277-9655, Vol.4,No.6, pp.722-726.

[9] D. Das, S. K. Pradhan (2011) Modeling and Simulation of PV Array with Boost Converter: An Open Loop Study, Thèse, National Institute of Technology, Rourkela, pp.47.

[10] Z. Layachi, A. Borni, A. Boucharkour, N. Terki (2014) Buck-Boost converter system modeling and incremental inductance algorithm for Photovoltaic system via Matlab/Simulink, Revue des Energies Renouvelables SIENR'14 Ghardaia, pp.63-70.

[11] Prof S. Umashankar, K. P. Aparna, R. Priya, S. Suryanarayanan (2015) Modeling and Simulation of a PV System using DC-DC Converter , International Journal of Latest Research in Engineering and Technology, (IJLRET), ISSN : 2454-5031, Vol.1, Issue.2, pp.09-16.

[12] N. Kahoul, M. Mekki (2015) Adaptive P&O MPPT Technique for Photovoltaic Buck-Boost Converter System, International Journal of Computer Applications, ISSN: 0975-8887, Vol.112, No.12, Doi : 10.5120/19719-0773, pp. 23-27.

[13] T. A. B. Raj, R. Ramesh (2014) Modelling and analysis of parallel converter for photovoltic applications, Journal of Theoretical and Applied Information Technology, ISSN: 1992-8645, E-ISSN: 1817-3195, Vol. 62 No.2, pp. 309-316.

[14] A.Kalirasu, S. S. Dash (2010) Simulation of Closed Loop Controlled Boost Converter for Solar Installation, Serbian Journal of electrical engineering, Doi : 10.2298/SJEE1001121K, Vol. 7, No.1, pp. 121-130.

[15] R. Singh and M. Pandit (2013) Analysis of photovoltaic cells with closed loop boost converter, International Journal of Advances in Engineering & Technology, ISSN: 2231-1963, Vol. 6, Issue 1, Doi : 10.7323/ijaet/v6_iss1, pp. 304-315.

[16] J. Patel, V. Sheth, G. Sharma (2013) Design & Simulation of Photovoltaic System Using Incremental MPPT Algorithum, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Energy, ISSN (Print) : 2320 – 3765, ISSN (Online): 2278 – 8875, Vol. 2, Issue 4, pp.1647-1653.

[17] S. R. Nandurkar, M. Rajeev (2014) Modeling Simulation & Design of Photovoltaic Array with MPPT Control Techniques, International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE), ISSN: 2252-8792, Vol. 3, No. 1, pp. 41-50.

[18] J. K. Shiau, M. Y. Lee, Y. C. Wei and B. C. Chen (2014) Circuit Simulation for Solar Power Maximum Power Point Tracking with Different Buck-Boost Converter Topologies, 1st International e-Conference on Energies, ISSN : 1996-1073, Doi : 10.3390/en7085027, pp: 5027-5046.

[19] G. Varshney, D. S. Chauhan, M. P. Dave (2014) Simscape Based Modelling & Simulation of MPPT Controller for PV Systems, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, Vol.9, Issue.6 Ver. I, pp. 41-46.

[20] J. Shukla, Dr J. Shrivastava (2015) Analysis of PV Array System with Buck-Boost Converter Using Perturb & Observe Method, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation, and Control Engineering, ISSN (Online) :2321-2004, ISSN (Print) :2321-5526, Vol. 3, Issue 3, Doi : 10.17148/IJIREEICE.2015.3311, pp.51-57.

[21] S. D. Stallon, K. V. Kumar, Dr S. S. Kumar, J. Baby (2013) Simulation of High Step-Up DC–DC Converter for Photovoltaic Module Application using MATLAB/SIMULINK, International Journal of Intelligent Systems and Applications, Vol.5, No.7, Doi : 10.5815/ijisa.2013.07.10, pp. 72-82.