

Recherche du maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque

F.Z. ZERHOUNI, M.H. ZERHOUNI, M. ZEGRAR
and A. BOUDGHÉNE STAMBOULI

Résumé: Le point de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque relié à une charge est déterminé par le point d'intersection de leurs courbes caractéristiques. Il est d'une part dominé par la charge et d'autre part par les conditions climatiques. Généralement ce point n'est pas identique au point de la puissance maximum fourni par le générateur photovoltaïque GPV. Cette différence implique des pertes dans le système global. Des convertisseurs DC/DC ainsi que les systèmes de poursuite du point de puissance maximum (MPPT) sont utilisés pour éviter ces pertes. En plus, le choix de la configuration du convertisseur (MPPT) a une influence importante dans l'exécution de cette poursuite de la puissance optimale du système photovoltaïque. Dans cet article, nous entreprenons une étude de la poursuite avec des topologies de base des convertisseurs choisis DC/DC avec une charge reliée aux modules photovoltaïques. Cet article démontre qu'il y a une dépendance du système au type de convertisseur utilisé. Le convertisseur DC/DC permet le suivi du point maximum de puissance de module photovoltaïque indépendamment de la température, de l'irradiance et de la charge reliée. Ceci pourrait être une bonne pratique d'amélioration du rendement global du système énergétique vert photovoltaïque.

Mots clés : système énergétique, générateur photovoltaïque, puissance optimale, convertisseur, rendement.

1. INTRODUCTION

De nouvelles énergies connues sous «énergies renouvelables» comme l'énergie photovoltaïque ont émergé. Elles ont l'avantage d'être d'origine naturelle, inépuisable et non polluante. Cet intérêt pour ces énergies s'est accru face à l'épuisement inéluctable des énergies fossiles, à leur impact sur l'environnement et aux déchets qu'elles causent. La technologie photovoltaïque (PV) est une solution attrayante comme source d'approvisionnement en électricité. Dû au coût élevé du générateur photovoltaïque et à la désadaptation qui peut se produire entre les caractéristiques électriques du générateur GPV et de la charge, une grande importance est donnée à l'utilisation optimale des cellules photovoltaïques. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et de leurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïques peut être augmenté par les solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (techniques dites MPPT). Pour avoir la meilleure connexion entre une source non linéaire et une charge et produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Ces genres de contrôleurs, particulièrement adaptés pour piloter une source non linéaire, forcent le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système.

2. CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

Ce sont des semi-conducteurs capables de convertir directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules doivent être regroupées en série et/ou en parallèle afin de fournir une grande puissance. Un GPV est un générateur dont la caractéristique courant tension I-V est non linéaire [1-2]. En conséquence, pour un même éclairement E_s , la puissance délivrée sera différente selon la charge. Pour cela, il faut extraire le maximum de puissance du GPV. Ceci est possible si celui-ci travaille au maximum de puissance tout le temps. Or, le point de puissance maximum varie selon plusieurs paramètres comme l'ensoleillement E_s , la température T .

3. COUPLAGE DIRECT

Le couplage direct entre le GPV et la charge se fait sans système intercalé entre eux [3]. Nous avons étudié la connexion directe à différents ensoleillements en maintenant une température de référence de 25°C. Le même principe de travail peut être repris pour différentes températures. Les charges retenues sont : 2Ω, 11Ω, 50Ω.

La figure (1-a) montre les points de fonctionnement I-V (courant-tension) de chaque charge couplée à notre GPV. Pour des ensoleillements de 10% à 100% nous avons tracé les caractéristiques I-V du module photovoltaïque. Les points de fonctionnement de la charge de 2Ω sont représentés par des carrés, ceux de 11Ω sont représentés par des triangles. En ce qui concerne 50Ω, les points de fonctionnements sont

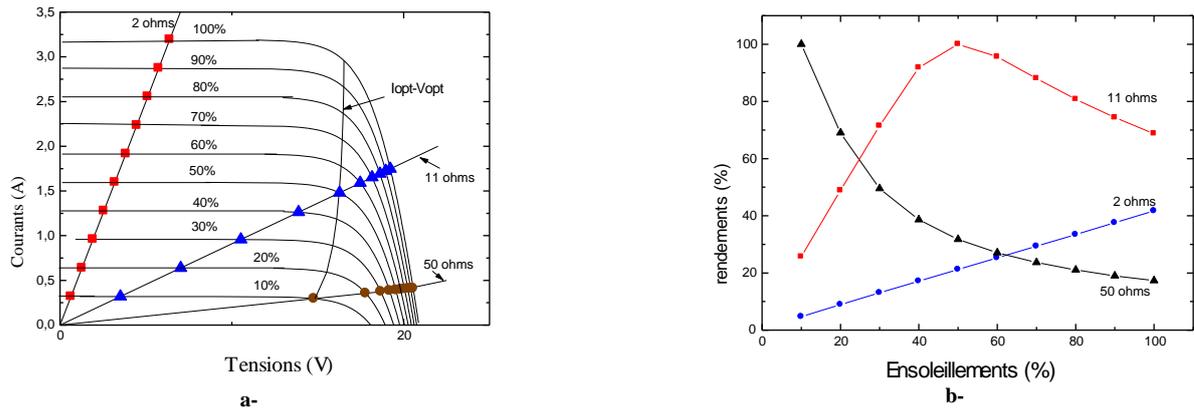


Fig. 1. Résultats obtenus de la connexion directe GPV-Charge : **a-** différentes caractéristiques I-V obtenues $N_p=N_s=1$, $T=25^\circ\text{C}$; **b-** rendements obtenus selon E_s pour $T=25^\circ\text{C}$.

représentés par des losanges. Les puissances de fonctionnement sont déterminées par l'intersection de la caractéristique puissance-tension P-V de la charge et celle du GPV étant données des conditions de travail. A chaque point de fonctionnement correspond donc une puissance de fonctionnement qui change selon les conditions de travail pour une configuration du GPV et une charge données. Cette puissance peut coïncider, être proche ou éloignée de la puissance optimale P_{opt} pour des conditions de travail fixes. La qualité d'adaptation peut être calculée par le rendement d'utilisation. C'est celle que nous allons utiliser. Ce rendement est noté η_g et est défini par :

$$\eta_g = \frac{P_{fct}}{P_{opt}} \quad (1)$$

Où : P_{fct} est la puissance de fonctionnement ;

P_{opt} est la puissance optimale pour des conditions de travail fixes pour une charge donnée.

Plus ce rendement s'approche de 100%, plus l'adaptation GPV-charge est bonne impliquant une bonne exploitation des cellules photovoltaïques. La figure (1-b) regroupe les différents résultats obtenus pour chaque charge des divers rendements liés à la variation de l'ensoleillement.

La variation de η_g selon l'ensoleillement implique l'introduction du rendement moyen η_g^{moy} pour une journée type défini par :

$$\eta_g^{moy} = \int_{10\%}^{100\%} \eta_g(E_s) . dE_s \quad (2)$$

Nous calculons pour chaque charge ce rendement moyen. Nous trouvons pour notre cas d'exemple:

Pour 2 ohms, $\eta_g^{moy} = 20.69 \%$,

Pour 50ohms, $\eta_g^{moy} = 44.82 \%$,

Pour 11 ohms, $\eta_g^{moy} = 70.74 \%$

D'après ces résultats obtenus, nous déduisons que les charges 2 Ω et 50 Ω présentent des rendements moyens faibles ne dépassant même pas 50%. L'exploitation du GPV est donc jugée inacceptable par

ces charges. Par contre, la charge de 11 Ω utilise de façon acceptable le GPV. Elle présente implicitement un bon rendement moyen en connexion directe avec le GPV. Pour les charges 2 Ω et 50 Ω , il y'a lieu de penser à d'autres solutions pour maximiser le rendement [4].

4. CONVERTISSEUR DC-DC

Un convertisseur DC-DC, transforme les grandeurs électriques (tension, courant) aux bornes de son entrée en grandeurs électriques (tension, courant) de valeurs différentes aux bornes de sa sortie. Supposant que c'est un élément conservatif de la puissance, la puissance délivrée aux bornes de sortie est égale à la puissance fournie à son entrée [5-6]. Comme tout système où la puissance instantanée de sortie est égale à la puissance instantanée à l'entrée

$$P_2 = v_2 i_2 = k v_1 \frac{1}{k} i_1 = v_1 i_1 = P_1$$

$$V_2 = n(k) V_1$$

$$I_2 = \frac{1}{n(k)} I_1$$

(3)

Le rapport de transformation noté $n(k)$ est fonction du rapport cyclique k du convertisseur.

Où V_1 , I_1 , V_2 et I_2 sont les tensions et les courants des ports d'entrée et de sortie respectivement du convertisseur statique.

Il suffit de faire varier le rapport $n(k)$ pour trouver le point d'adaptation optimal entre le GPV et la charge de manière à transférer le maximum de puissance du générateur. Le choix de la structure de conversion est effectué en fonction de la charge DC à alimenter. Selon l'application il y'a besoin de structures de conversion survoltrice ou dévoltrice en fonction de la caractéristique de la charge. Certaines présentent un rapport de transformation $n(k)$ toujours inférieur à 1 comme pour le convertisseur dévolteur (buck), d'autres ont des valeurs de $n(k)$ toujours supérieures à 1 comme pour le convertisseur survolteur (boost).

5. HACHEUR DEVOLTEUR ET HACHEUR SURVOLTEUR

Pour un hacheur dévolteur (ou série) en figure (2-a), la tension moyenne de sortie V_s est inférieure à celle de l'entrée E du GPV[7].

$$V_s = \alpha \cdot E \tag{4}$$

Pour un hacheur survolteur (ou parallèle) en figure (2-b), la tension moyenne de sortie V_s est supérieure à la tension d'entrée.

$$V_s = \frac{E}{1 - \alpha} \tag{5}$$

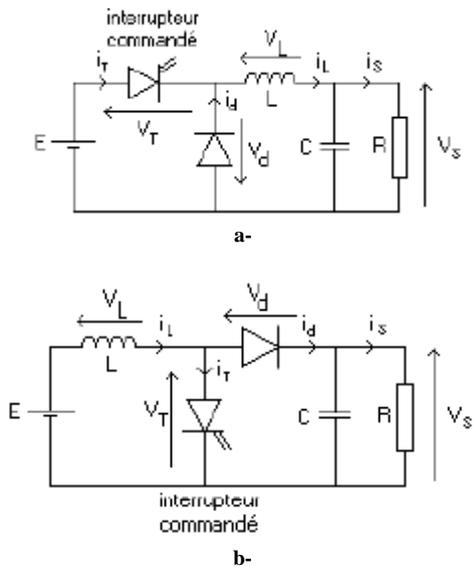


Fig. 2. Topologie du hacheur : a- dévolteur ; b- survolteur.

Or comme α : rapport cyclique est **inférieur** à 1, la tension moyenne de sortie est bien supérieure à la tension d'entrée E du GPV.

6. MPPT

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de le transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure(3-a) [7].

Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant grâce à un paramètre de contrôle, le transfert du maximum de puissance. Ainsi le système adapte en permanence la tension aux bornes du générateur photovoltaïque afin de se rapprocher du point de puissance maximum. La recherche du point maximal de puissance dans le cas de notre application photovoltaïque s'est faite selon le synoptique de la figure et l'algorithme en figure (3-c) selon la réalisation expérimentale à base de microcontrôleur en figure (3-b).

En figure (4), la zone 1 dans le cas du hacheur dévolteur de la caractéristique courant-tension I-V est une zone de fonctionnement du MPPT où pour toute

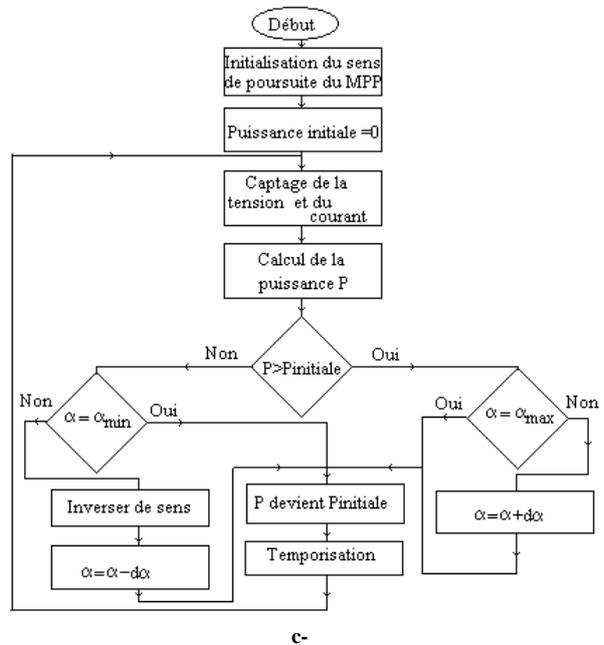
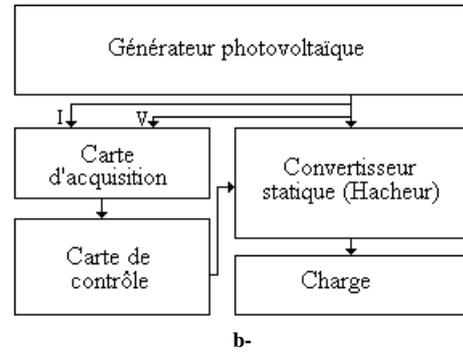
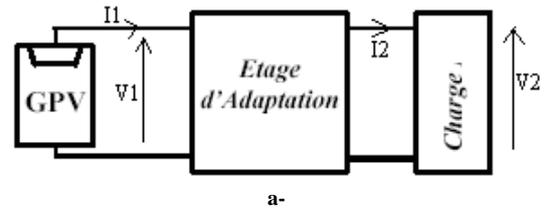


Fig. 3. Principe du MPPT : a- Chaîne élémentaire de conversion ; b- synoptique de la carte réalisée ; c- algorithme suivi.

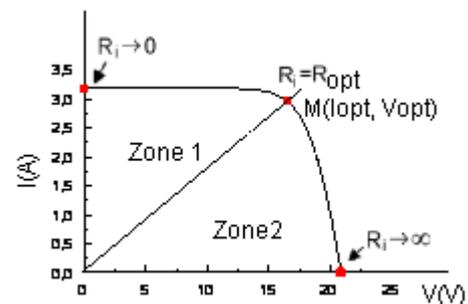


Fig. 4. Répartition de la caractéristique selon le fonctionnement du hacheur utilise.

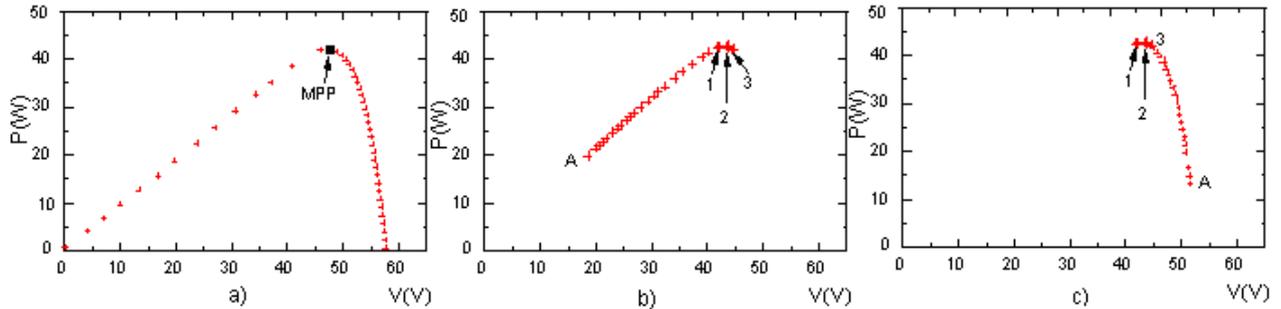


Fig. 5. Caractéristiques puissance-tension expérimentale $E_s=240\text{W/m}^2$ $T=27^\circ\text{C}$: a) Caractéristique P-V du GPV ; b) Caractéristique de tracking dans le cas d'un hacheur dévolteur ; c) Caractéristique de tracking dans le cas d'un hacheur survolteur.

résistance R_i comprise entre $[0, R_{opt}]$ la poursuite du MPP est possible. Ceci s'inverse pour la zone 2. La zone 2 dans le cas du hacheur survolteur de la caractéristique courant-tension I-V est une zone de fonctionnement du MPPT où pour toute résistance R_i comprise $[R_{opt}, \infty]$ entre la poursuite du MPP est possible. Ceci s'inverse pour la zone 1.

7. RÉSULTATS OBTENUS

En adoptant un convertisseur dévolteur et survolteur et en respectant les zones de fonctionnement de chaque type, nous avons vérifié la faisabilité de recherche du point de puissance optimale.

Le point de fonctionnement est imposé par la charge pour des conditions de travail données. La caractéristique P-V expérimentale du GPV pour $E_s=240\text{W/m}^2$ $T=27^\circ\text{C}$ obtenue selon le synoptique en figure (3-b) et l'algorithme en (3-c) est illustrée en figure (5-a). Le point 'MPP' représente celui où P est maximale. La poursuite de ce point via un dévolteur pour une charge présentant un point de fonctionnement initial 'A' est en figure (5-b). A partir de ce point la poursuite du MPP selon l'algorithme entrevu en figure (3-c) est adopté. D'après la figure (5-b), le maintien du MPP est assuré jusqu'à la fin, le système bascule entre les points 1, 2, 3 zone qui englobe le MPP. La figure (5-c) montre les résultats obtenus pour un survolteur. Initialement le point de fonctionnement est en 'A', le même principe est repris. Le MPP est poursuivi et le fonctionnement devient à la fin optimal puisque le point de fonctionnement oscille entre 1,2,3 : zone crête de la caractéristique. De la sorte une bonne exploitation du GPV est assurée [5], [7].

8. CONCLUSION

Toutes les charges ne se plient pas forcément au couplage direct exhibant d'elles même une mauvaise qualité de connexion à l'inverse d'autres charges. On peut s'apercevoir s'il y'a concordance entre l'union directe GPV-charge ou s'il est souhaitable d'inclure d'autres méthodes en vue d'une bonne exploitation du générateur photovoltaïque (introduction d'un MPPT). Nous avons également montré comment nous pourrions optimiser la puissance fournie par le GPV par le biais d'un étage d'adaptation avec fonction de recherche du

point de puissance maximale MPPT. Un choix de convertisseur dévolteur ou survolteur étant une charge donnée est impératif. La conception d'un étage d'adaptation à base d'un convertisseur DC permet aujourd'hui de relier aisément un générateur photovoltaïque (GPV) à une charge de type continu. Un fonctionnement optimal est donc assuré permettant une bonne rentabilité du GPV.

REFERENCES

1. Boudghene Stambouli, A and Larbi, N and Traversa, E. (2007) Environmentally friendly and sustainable source of energy from photovoltaics and fuel cells, *Journal of the association of arab universities for basic and applied sciences*, 3: 57-68.
2. Maclay, J.D, and J. Brouwer, and Samuelson, G.S (2007) Dynamic modeling of hybrid energy storage systems coupled to photovoltaic generation in residential applications, *Journal of Power Sources* 163: 916-925.
3. F.Z Zerhouni (2006) Etude des l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque, *Technological and scientific review COST, ENSET, ORAN* 4 : 39-44.
4. Sairaj V. Dhople, , and Alejandro D. Domínguez-García, (2012), Estimation of Photovoltaic System Reliability and Performance Metrics, *IEEE transactions on power systems*, vol. 27, no. 1: 554 - 563.
5. FZ Zerhouni, MH Zerhouni, M Zegrar, MT Benmessouad, A Boudghene Stambouli, abdelhamid midoun, (2010), Proposed methods to increase the output efficiency of a photovoltaic (pv) system, *Acta polytechnica hungarica*, vol7 issue1: 55-70.
6. V. Salas, and E. Olias, and A. Barrado, and A. lazaro (2006) Review of the maximum power point tracking algorithms for stand alone photovoltaic systems , *Solar Energy materials & Solar Cells* 90: 1555-1578.
7. F.Z Zerhouni (1996) Adaptation optimale d'une charge à un générateur photovoltaïque , master thesis, electronic institut, USTO.

F.Z. ZERHOUNI
M.H. ZERHOUNI
M. ZEGRAR
A. BOUDGHENE STAMBOULI

Département d'électronique
Faculté génie électrique
Université des sciences et de la technologie MOHAMED BOUDIAF
d'Oran, (U.S.T.M.B.O)
BP 1505, Oran El M'Naouer
Oran, Algérie
E-mail: zerhouni_fz@yahoo.fr