

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 41530 B1** (51) Cl. internationale : **G05F 1/67**
- (43) Date de publication : **31.10.2019**

-
- (21) N° Dépôt : **41530**
- (22) Date de Dépôt : **24.11.2017**
- (71) Demandeur(s) : **Université Ibn Zohr, Quartier Riad Salam - BP : 32/S, Agadir, 80000 (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **SAHSAH Hassan ; AMGHAR Abdellah ; EL MENTALY Lahcen**
- (74) Mandataire : **TOUALI Najat**

-
- (54) Titre : **Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation du courant optimal IMPP**
- (57) Abrégé : Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique qui s'ajoute aux méthodes de recherche du point à maximum de puissance (PPM) connues dans la littérature sous le nom « MPPT » (Maximum Power Point Tracking). Cette méthode consiste à suivre le PPM d'une manière permanente et en temps réel. Contrairement aux autres méthodes citées dans la littérature, cette nouvelle méthode basée sur le calcul du courant optimal s'adapte à tous les panneaux solaires associés à n'importe quel convertisseur statique sous différentes températures et éclairage solaire. Cette nouvelle technique nécessite la mesure de la température et de l'éclairage solaire afin de calculer le courant optimal IMPP. Ce courant calculé va permettre au contrôleur MPPT de varier le rapport cyclique d'une manière rapide et simple afin d'atteindre le PPM.

Abrégé du contenu de l'invention

Dans ce brevet, nous avons développé une nouvelle technique qui s'ajoute aux méthodes de recherche du point à maximum de puissance (PPM) connues dans la littérature sous le nom « MPPT » (Maximum Power Point Tracking). Cette méthode consiste à suivre le PPM d'une manière permanente et en temps réel. Contrairement aux autres méthodes citées dans la littérature, cette nouvelle méthode basée sur le calcul du courant optimal s'adapte à tous les panneaux solaires associés à n'importe quel convertisseur statique sous différentes températures et éclairage solaire. Cette nouvelle technique nécessite la mesure de la température et de l'éclairage solaire afin de calculer le courant optimal I_{MPP} . Ce courant calculé va permettre au contrôleur MPPT de varier le rapport cyclique d'une manière rapide et simple afin d'atteindre le PPM.

Mots clés : Maximum Power Point Tracking (MPPT), Module Photovoltaïque, Courant optimal I_{MPP} , Convertisseur DC-DC, Convertisseur Buck.

Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation du courant optimal I_{MPP}

Description de l'invention

Introduction

Un générateur photovoltaïque (PV) que ça soit une cellule, un module ou un panneau, peut fonctionner dans une large gamme de tension et de courant de sortie, mais il ne peut délivrer une puissance maximale que pour des valeurs particulières du courant et de tension appelées respectivement courant optimal I_{MPP} et tension optimale V_{MPP} .

En outre, La puissance électrique produite par une cellule solaire photovoltaïque dépend fortement de l'éclairement solaire et de la température. La fluctuation de ces deux paramètres provoque le changement de la caractéristique courant-tension du générateur photovoltaïque ce qui entraîne le déplacement du point à maximum de puissance. À cet effet, un convertisseur DC-DC doit être inséré entre le générateur photovoltaïque et la charge (le récepteur) afin de contrôler le courant dudit générateur pour qu'il converge vers la valeur du courant optimal I_{MPP} . Ce convertisseur doit être capable de faire fonctionner le générateur photovoltaïque à sa puissance maximale par le biais d'un contrôleur de suivi connu dans la littérature sous le nom MPPT (Maximum Power Point Tracking). Ce dernier, est basé sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum de la courbe de puissance du générateur photovoltaïque.

À ce jour, plusieurs techniques MPPT ont été publiées ou brevetées. Elles diffèrent dans de nombreux aspects tels que l'efficacité, la vitesse de convergence, la complexité, les capteurs nécessaires, le coût, la mise en œuvre du matériel, ainsi que divers autres aspects. Cependant, il est inutile d'utiliser une méthode plus complexe ou plus coûteuse si une plus simple et moins coûteuse conduit à des résultats similaires. C'est pourquoi certaines techniques publiées ne sont pas utilisées. La facilité de mise en œuvre et la notion du suivi en temps réel sont des facteurs très importants dans le choix de la technique MPPT à utiliser.

Dans ce travail, nous allons présenter une nouvelle méthode MPPT temps réel qui calcule le courant optimal I_{MPP} par une relation simple à implanter dans les systèmes embarqués et qui ne nécessite que la mesure de la température et de l'éclairement solaire.

Description de la méthode

La nouvelle méthode consiste à repérer le point à puissance maximale par le calcul du courant optimal I_{MPP} comme suit :

$$I_{MPP} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 T$$

avec I_{MPP} est le courant optimal en A, S est l'éclairement solaire reçu par le générateur photovoltaïque en w/m^2 et T est la température ambiante en $^{\circ}C$.

β_0 , β_1 et β_2 sont des constantes qui doivent être déterminées une seule fois et qui dépendent seulement du module PV utilisé.

L'algorithme de cette méthode est présenté ci-dessous :

1. Mesurer le courant du générateur PV noté I_{PV}
2. Mesurer la température ambiante notée T
3. Mesurer l'éclairement solaire notée S
4. Calculer le courant optimal I_{MPP} par la relation $I_{MPP} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 T$
5. Le courant I_{PV} mesuré est-il supérieur à I_{MPP} ?
 - Oui : diminuer le rapport cyclique du convertisseur
 - Non : augmenter le rapport cyclique du convertisseur
6. Revenir à la ligne 1

Avant d'appliquer cet algorithme, il faut au préalable déterminer les constantes β_0 , β_1 et β_2 du générateur PV par une méthode d'apprentissage qui consiste à établir, par la simulation, un système de trois équations libres et de le résoudre par une méthode de résolution des systèmes à trois équations et trois inconnus.

$$\begin{cases} I_{MPP1} = \beta_0 + \beta_1 S_1 + \beta_2 T_1 \\ I_{MPP2} = \beta_0 + \beta_1 S_2 + \beta_2 T_2 \\ I_{MPP3} = \beta_0 + \beta_1 S_3 + \beta_2 T_3 \end{cases}$$

Tout calcul fait, on trouvera :

$$\beta_0 = \frac{-S_1(I_{MPP2}T_3 - I_{MPP3}T_2) + S_2(I_{MPP1}T_3 - I_{MPP3}T_1) + S_3(I_{MPP2}T_1 - I_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\beta_1 = \frac{(I_{MPP2}T_3 - I_{MPP3}T_2) - (I_{MPP1}T_3 - I_{MPP3}T_1) - (I_{MPP2}T_1 - I_{MPP1}T_2)}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

$$\beta_2 = \frac{S_1(I_{MPP2} - I_{MPP3}) + S_2(I_{MPP3} - I_{MPP1}) + S_3(I_{MPP1} - I_{MPP2})}{S_1(T_2 - T_3) + S_2(T_3 - T_1) + S_3(T_1 - T_2)}$$

Cette opération de détermination des coefficients β_0 , β_1 et β_2 doit être faite une seule fois, soit d'une façon automatique, c.-à-d. que le microcontrôleur va mesurer trois points non liés et d'appliquer les relations décrites ci-dessus, ou d'une manière manuelle via la simulation par un logiciel adéquat.

Démonstration de la méthode

Grâce aux logiciels Matlab et PSIM, nous avons pu découvrir une corrélation linéaire 3 dimensions entre le courant optimal I_{MPP} , la température ambiante T et l'éclairement solaire S .

En effet, nous avons étudié le comportement du courant optimal I_{MPP} en fonction de différentes températures et éclairagements solaires. Ensuite, nous avons tracé ce courant en fonction de la température et de l'éclairement solaire, et grâce à la régression linéaire de trois vecteurs (I_{MPP} , T , S), nous avons obtenu l'équation ci-dessous :

$$I_{MPP} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 T + \beta_3 S T$$

Afin de donner plus de certitude à notre méthode, nous avons choisi trois modules photovoltaïques différents; la régression linéaire pour ces trois modules a montré que le coefficient β_3 est toujours nul ce qui amène à l'équation finale :

$$I_{MPP} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 T$$

Le tableau ci-dessous récapitule le modèle décrit pour les trois modules PV utilisés :

Marque du module PV	Type du module PV	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2
First solar FS-265	Couches minces CdS/CdTe	-0.0156	0.001	0.0003	0	0.9995
Koyocera KD215GX	Polycristallin	-0.1168	0.0083	0.0048	0	0.9997
Sun Power E19 320	monocristallin	-0.0013	0.006	0	0	0.9998

Nous remarquons très bien que le coefficient de détermination R^2 est supérieur à 0.99 ce qui confirme que le modèle choisi est très sûr quel que soit le module PV sélectionné (polycristallin, monocristallin ou couches minces).

La figure 1 représente le modèle de régression pour le module PV Sun Power E19320.

Exemple d'application

Afin de prouver la performance de la méthode proposée, nous l'avons appliqué sur le MSX-60 qui s'agit d'un module PV poly-cristallin de Solarex. Celui-ci sera connecté à un

convertisseur DC-DC abaisseur de type Buck. Le système servira à charger une batterie de 12v comme indiqué dans la figure 2.

La figure 3 montre que le contrôleur proposé suit en permanence et en temps réel la puissance maximale quel que soient les conditions climatiques.

Revendications

1. Le procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - 1.1. Mesurer la température notée T et l'éclairement solaire noté S
 - 1.2. Calculer le courant optimal noté I_{MPP} correspondant au point à maximum de puissance via l'équation $I_{MPP} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 T$ avec β_0 , β_1 et β_2 sont des constantes qui ne dépendent que du module photovoltaïque utilisé.
 - 1.3. Agir sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC pour atteindre le courant optimal I_{MPP}
2. Le procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans un contrôleur MPPT (Maximum Power Point Tracking).
3. Le procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il peut être implanté dans n'importe quel système embarqué.
4. Le procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2 et 3, caractérisé en ce qu'il peut être associé à n'importe quel convertisseur DC-DC ou DC-AC.
5. Le procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un module photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et l'éclairement solaire, selon la revendication 2, 3 et 4, caractérisé en ce qu'il peut être associé aux cellules amorphes, poly-cristallines, monocristallines ou couches minces.

Figures et schémas

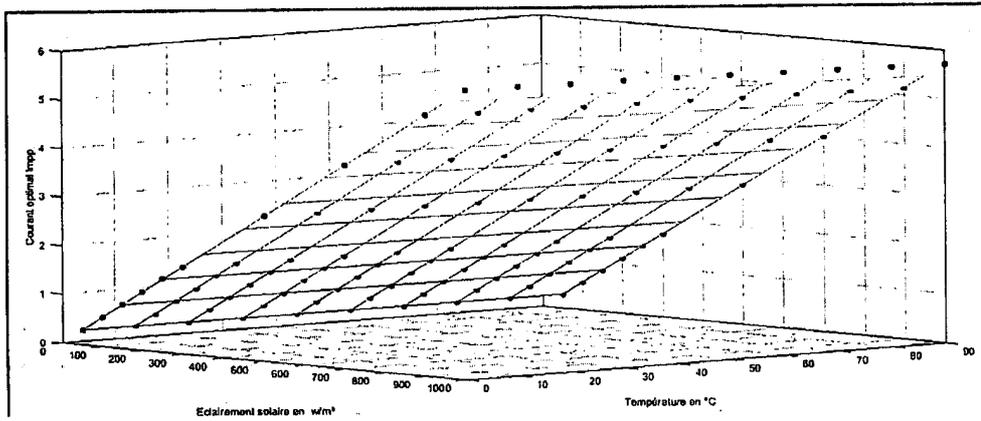


Figure 1: le modèle de régression pour le module PV Sun Power E19320

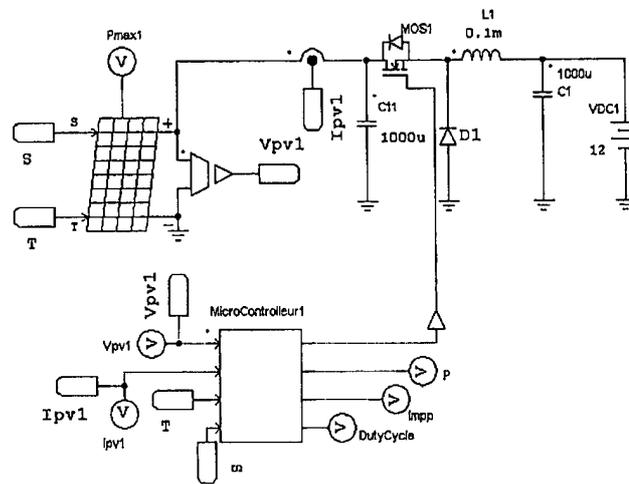


Figure 2: le schéma complet du contrôleur MPPT associé au convertisseur Buck

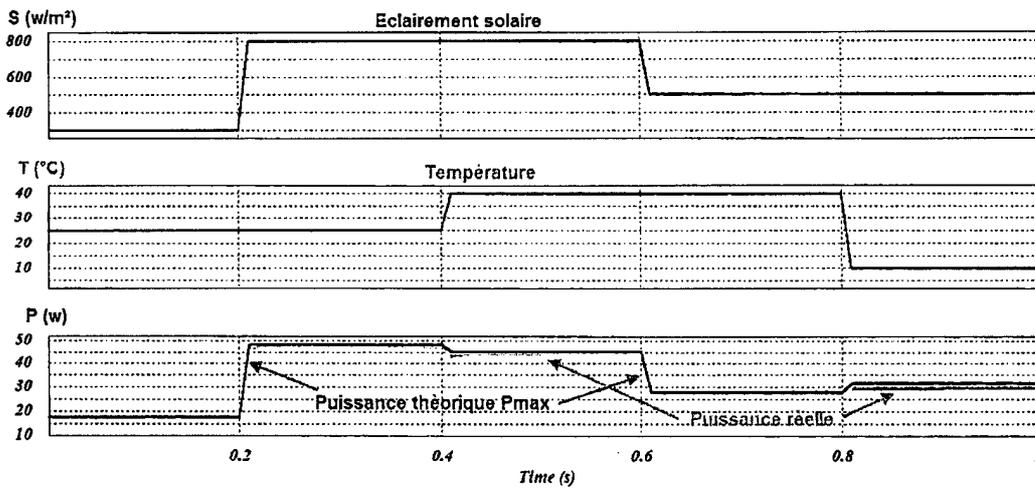


Figure 3: les allures de l'éclairement solaire, la température et la puissance instantanée du module MSX-60

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية و التجارية

**RAPPORT DE RECHERCHE
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et
complétée par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 41530	Date de dépôt : 24/11/2017
Déposant : Université Ibn Zohr	
Intitulé de l'invention : Élaboration d'une technique MPPT temps réel basée sur la localisation du courant optimal IMPP	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site http://worldwide.espacenet.com , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention	
Examineur: M. EL KINANI	Date d'établissement du rapport: 11/04/2018
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



Partie 1 : Considérations générales		
<i>Cadre 1 : base du présent rapport</i>		
Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :		
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Description</u> 4 Pages • <u>Revendications</u> 1-5 • <u>Planches de dessin</u> 1 Page 		
Partie 2 : Rapport de recherche		
Classement de l'objet de la demande :		
CIB : G05F1/67		
Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :		
EPOQUE, Orbit		
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
A	US8837182 ; SAMSUNG SDI CO LTD [KR] et al. ; 16/09/2014	1-5
A	Hadeed Sher et al.; Journal of Renewable and Sustainable Energy 7, 013114 (2015); doi: 10.1063/1.4906982	1-5
*Catégories spéciales de documents cités :		
<p>-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs</p> <p>-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté</p>		

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité

Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Nouveauté (N)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : US8837182

1. Nouveauté (N) :

Aucun document de l'état de la technique considéré ne divulgue un procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire tel que décrit dans la revendication 1 de la présente demande.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est considéré comme nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-9 est également nouveau.

2. Activité inventive (AI) :

Le document D1 (abrégé, fig. 3) considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication indépendante 1 divulgue un procédé de localisation du courant optimal du point à maximum de puissance d'un générateur photovoltaïque quel que soit la température et l'éclairement solaire à base de la mesure de la température et de l'éclairement solaire, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- Mesurer la température notée T et l'éclairement solaire noté S ;
- rechercher une tension de point de puissance maximale et une tension de circuit ouvert correspondant à la température T et l'éclairement solaire S;
- diminuer la tension de circuit ouvert pour correspondre a la tension de point de puissance maximale.
- effectuer le contrôle MPPT selon un algorithme de perturbation et d'observation (P&O)

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de ce procédé connu en ce que les mesures effectuées dans la première étape sont utilisées pour effectuer les étapes suivantes :

- Calculer le courant optimal noté IMPP correspondant au point à maximum de puissance en fonction de la température T et l'éclairement solaire S mesurés ;

- Agir sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC pour atteindre le courant optimal IMPP.

Le problème technique objectif que la présente demande se propose de résoudre peut être considéré comme fournir une méthode alternative pour déterminer le point de puissance maximale d'un générateur photovoltaïque.

La solution proposée par la présente demande n'est pas comprise dans l'état de la technique et n'en découle pas de manière évidente.

D'où l'objet de la revendication 1 est considéré comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13, par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-5 est également inventif.

3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.