

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 47807 B2** (51) Cl. internationale : **G01R 31/26; H02S 50/10**
- (43) Date de publication : **29.07.2022**

-
- (21) N° Dépôt : **47807**
- (22) Date de Dépôt : **25.12.2019**
- (71) Demandeur(s) : **MASCIR (MOROCCAN FOUNDATION FOR ADVANCED SCIENCE INNOVATION & RESEARCH), RUE MOHAMED ELJAZOULI, MADINAT ALIRFANE, RABAT 10100 (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **EL KAMOUNY Khadija ; OUASID Mohamed ; CHOUAY Yassine**
- (74) Mandataire : **ABDELHAQ AMMANI**

(54) Titre : **DSIPOSITIF POUR LA MESURE DE L'INTENSITE D'ECLAIREMENT ET DE LA TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION PV.**

- (57) Abrégé : La présente invention s'inscrit dans le domaine des énergies renouvelables, et particulièrement l'énergie solaire photovoltaïque (PV), permettant la production de l'énergie électrique directement à partir du rayonnement solaire. Il s'agit d'une nouvelle approche de mesure de l'intensité d'irradiation solaire et de la température de fonctionnement des stations PV. La présente l'invention est basée sur l'exploitation des paramètres en relation avec la variation de l'éclairement et de la température (ISC et VOC) d'une surface PV (cellule ou module PV), pour mesurer les grandeurs en question. Le calcul est assuré par un Réseau des Neurones Artificiels (RNA), qui peut être formé à partir d'une base de données extraite directement de la caractéristique technique de la surface PV utilisée. Dans ce cas, la génération des données utilise un modèle mathématique décrivant le comportement du PV sous différentes conditions climatiques. Ou ils peuvent être générés expérimentalement via des capteurs précis de référence. Dans les deux cas les sorties de la surface PV (ISC et VOC) varient avec la variation des entrées (éclairement (G) et température (T)). Les entrées et les sorties sont collectées afin de construire la base de données de traînage du RNA.

**DSIPOSITIF POUR LA MESURE DE L'INTENSITE D'ECLAIREMENT ET DE LA
TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION PV.**

5

Abrégé :

La présente invention s'inscrit dans le domaine des énergies renouvelables, et particulièrement l'énergie solaire photovoltaïque (PV), permettant la production de l'énergie électrique directement à partir du rayonnement solaire. Il s'agit d'une nouvelle approche de

10 mesure de l'intensité d'irradiation solaire et de la température de fonctionnement des stations PV. La présente l'invention est basée sur l'exploitation des paramètres en relation avec la variation de l'éclairement et de la température (I_{SC} et V_{OC}) d'une surface PV (cellule ou module PV), pour mesurer les grandeurs en question. Le calcule est assuré par un Réseau des

15 Neurones Artificiels (RNA), qui peut être formé à partir d'une base de données extraite directement de la caractéristique technique de la surface PV utilisée. Dans ce cas, la génération des données utilise un modèle mathématique décrivant le comportement du PV sous différentes conditions climatiques. Ou ils peuvent être générés expérimentalement via des capteurs précis de référence. Dans les deux cas les sorties de la surface PV (I_{SC} et V_{OC})

20 varient avec la variation des entrées (éclairement (G) et température (T)). Les entrées et les sorties sont collectées afin de construire la base de données de trainage du RNA.

**DISPOSITIF POUR LA MESURE DE L'INTENSITE D'ECLAIREMENT ET DE LA
TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION PV.**

5

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention s'inscrit dans le domaine des énergies renouvelables, et particulièrement l'énergie solaire photovoltaïque (PV), permettant la production de l'énergie électrique directement à partir du rayonnement solaire. Il s'agit d'une nouvelle approche de mesure de l'intensité d'irradiation solaire et de la température de fonctionnement des stations PV. L'acquisition de ces deux grandeurs est essentielle pour l'évaluation des performances des installations PV, ainsi que pour la poursuite du point de la puissance maximale, le diagnostic et la supervision.

15

ART ANTERIEUR

La conversion photovoltaïque consiste à transformer l'énergie solaire directement en énergie électrique propre. La production de l'énergie photovoltaïque varie essentiellement avec la variation des conditions climatiques telles que l'intensité de l'éclairement solaire et la température des modules PV. Une bonne maîtrise de ces paramètres permet une évaluation des performances des installations PV, la poursuite du point de la puissance maximale, la détection des défauts etc....

L'intensité d'irradiations solaire est souvent mesurée soit par des instruments à base de thermopiles (Pyranomètres), soit par des dispositifs PV de référence étalonnés. Pour cette deuxième solution, il existe une différence importante au niveau de la précision, la réponse spectrale, le prix et les exigences de la maintenance par rapport à ceux basés sur des capteurs thermopiles : En terme de précision, les pyranomètres ont fait preuve d'une haute satisfaction mais leur cout reste largement inabordable pour les petites et moyennes installations. Cependant, les dispositifs à base du PV peuvent répondre, partiellement, à ce besoin avec un cout réduit et une faible précision.

30 La température de fonctionnement des modules PV est généralement mesurée par des thermomètres attachés à une cellule ou un module de référence, fonctionnant dans les mêmes conditions.

La veille technologique a démontré deux façons d'estimation des deux grandeurs de performance (irradiations et température) concernés par cette invention.

Le document WO2012074808A2 ou il s'agit d'un champ PV où un nombre des modules utilisé comme senseur de l'éclairement et de la température de fonctionnement, dans le but de détecter la présence des défauts et d'anomalies. Le module utilisé comme capteur est construit tel qu'un nombre de cellules court-circuitées pendant que le reste est en circuit ouvert. Les
5 valeurs déduites du courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert sont utilisées par un calculateur pour le calcul des grandeurs en question. Cette technique utilise une partie du champ PV comme capteur, ainsi qu'au moins deux cellules sont utilisées ; une pour la mesure du courant et l'autre pour mesurer la tension.

- 10 Le document WO2014144337A1 concerne un procédé pour l'estimation de l'éclairement solaire du fonctionnement PV, dont l'objectif est la poursuite du point de puissance maximale. Le programme d'estimation est basé sur un réseau des neurones artificiels RNA. Ce programme utilise les mesures du courant, de la tension ainsi que de la température de fonctionnement d'au moins une cellule PV pour calculer seulement l'éclairement incident.
15 Dans ce cas le système doit avoir une acquisition de la température de fonctionnement pour calculer uniquement l'éclairement.

L'approche utilisée dans la première invention nécessite l'utilisation d'au moins deux cellules PV de référence parfaitement identiques pour estimer l'éclairement et la température de
20 fonctionnement, dans le cas échéant le résultat est erronée. Pour la deuxième invention, le code d'estimation a besoin de mesurer la température avec le courant et la tension afin d'estimer seulement l'éclairement, dans ce cas, l'utilisation d'un capteur de température précis est obligatoire.

- 25 L'objectif de la présente invention est de remédier à certains inconvénients de l'art antérieur grâce à la conception d'un capteur assurant la mesure simultanée de l'éclairement incident et de la température de fonctionnement, à partir d'une seule surface PV (cellule ou module) avec compensation de la température.

30 **DESCRIPTION DE L'INVENTION**

La présente invention concerne un nouvel outil d'estimation de l'intensité d'irradiation solaire ainsi que la température de fonctionnement des PV. Ladite invention permet la mesure simultanée de l'éclairement et de la température avec compensation de celle-ci. Le système proposé repose sur le principe de fonctionnement des outils PV. Ces derniers se caractérisent

par une variation du rendement avec la variation des conditions climatiques, et plus précisément l'intensité de l'éclairement incident et la température de fonctionnement (Figures 1 et 2). Les grandeurs physiques affectées directement par les changements de l'éclairement et la température sont le courant de court-circuit (I_{SC}) et la tension du circuit ouvert (V_{OC}).

5

La présente l'invention est basée sur l'exploitation des paramètres en relation avec la variation de l'éclairement et de la température (I_{SC} et V_{OC}) d'une surface PV (cellule ou module PV), pour mesurer les grandeurs en question. Le calcul est assuré par un Réseau des Neurones Artificiels (RNA), qui peut être formé à partir d'une base de données extraite directement de la caractéristique technique de la surface PV utilisée. Dans ce cas, la génération des données utilise un modèle mathématique décrivant le comportement du PV sous différentes conditions climatiques. Ou ils peuvent être générés expérimentalement via des capteurs précis de référence. Dans les deux cas les sorties de la surface PV (I_{SC} et V_{OC}) varient avec la variation des entrées (éclairement (G) et température (T)). Les entrées et les sorties sont collectées afin de construire la base de données de trainage du RNA.

15

La suite de la description sera basée sur les figures annexées données à titre d'illustration non limitative, ou :

Figure 1 : Caractéristique courant-tension (I-V) en fonction de l'éclairement

20

Figure 2 : Caractéristique courant-tension (I-V) en fonction de la température

Figure 3 : Mode de réalisation du capteur de la température et de l'éclairement

Figure 4 : Mode de réalisation du système commutateur

Figure 5 : Méthode d'acquisition et d'estimation des grandeurs (I_{SC} et V_{OC})

Figure 6 : Organigramme générale du fonctionnement de la partie software

25

Figure 7 : Architecture du Réseau des Neurones Artificiel (RNA) utilisée

La figure 1 présente une caractéristique courant-tension (I-V) typique où I_{SC} varie en fonction de l'intensité d'éclairement avec un léger effet sur V_{OC} . Par contre, la variation de la température dans la figure 2 affect V_{OC} tandis que I_{SC} reste presque invariable.

30

La figure 3, présente le schéma global du capteur proposé selon un mode de réalisation de l'invention. Cette dernière se compose des trois parties principales : la surface sensible (2), le système de commutation et mesure (3) et le calculateur (10).

La surface PV sensible (2) peut recevoir un rayonnement solaire (1) (indiqué par G), sous une température de fonctionnement (indiquée par T) et peut générer un courant de sortie. La surface PV sensible (2) est liée à un système de commutation et de mesure (3) commandé par un signal carré de commande (11) fournis par un calculateur (10). Un capteur de courant (6) et un capteur de tension (7) mesure respectivement le courant (8) et la tension (9) lors de l'opération de commutation. Les signaux mesurés par les capteurs sont envoyés vers le calculateur (10) et sont d'abord filtrés par un filtre numérique (12) afin d'obtenir le courant de court-circuit (13) et la tension du circuit ouvert (14). Les signaux qui correspondent aux valeurs de I_{SC} (13) et V_{OC} (14) sont ensuite utilisés comme entrées pour le programme de l'estimation (RNA) (15). Les valeurs estimées de l'éclairement (G_e) (16) et de la température (T_m) (17) peuvent être communiquées à travers une interface de communication multiple (18).

La figure 4, illustre un schéma électrique d'un mode de réalisation du système de commutation et de mesure. Un transistor (4) peut être utilisé comme commutateur commandé par le calculateur via un signal carré (11) en série avec une résistance de faible valeur (5). Les deux positions du transistor (ON-OFF) permettent d'alterner entre les deux modes de fonctionnement (court-circuit et circuit ouvert). L'acquisition est assurée par un capteur de courant (6) et un capteur de tension (7) monté en série et en parallèle respectivement avec la surface sensible. Les deux capteurs communiquent les signaux mesurés (8) et (9) au calculateur qui assure le traitement et l'estimation des grandeurs.

La figure 5 montre la procédure du filtrage des signaux (8) et (9) provenant du système de la commutation et la mesure. Ces signaux ont une forme carrée avec la même période du signal de commande en opposition de phase (Figure 5.a). Les valeurs de I_{SC} et de V_{OC} sont obtenues d'une manière simple suivant deux étapes. La première est de dupliquer le signal mesuré avec un décalage d'une demi-période (Figure 5. b). Cette opération résulte la superposition de deux signaux (8) avec (8') pour le courant et (10) avec (10') pour la tension, dont le maximum est la valeur de I_{SC} et V_{OC} respectivement. La deuxième opération consiste à sélectionner le maximum des deux signaux (Figure 5.c). Cette technique permet d'obtenir des mesures continues de I_{SC} (13) et V_{OC} (14) simultanément. La précision des signaux à la sortie du filtre augmente avec l'augmentation de la fréquence du signal de commande.

Le calculateur contient aussi le programme d'estimation qui est basé sur un réseau des neurones artificiels RNA. Ce RNA est entraîné pour estimer, avec précision, les valeurs de G_m et T_m à partir du I_{SC} et V_{OC} . La prise en considération de I_{SC} et de V_{OC} ne permet pas seulement d'estimer à la fois G et T , mais aussi de faire la compensation entre les deux grandeurs estimées. C'est-à-dire, faire une compensation de la température lors de l'estimation de l'éclairement et vice-versa.

La figure 6 présente un organigramme d'enchaînement des étapes de calcul de l'éclairement et de la température. Premièrement, les valeurs de courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert sont extraites à partir des mesures du courant et de la tension. Ces grandeurs sont ensuite utilisées par le code RNA pour calculer et afficher l'éclairement et la température de fonctionnement. Le RNA utilisé est un perceptron multicouche avec une couche cachée illustrée sur la figure 7. Ce réseau est constitué par : deux neurones dans la couche d'entrée (19) présentant le courant I_{SC} et la tension V_{OC} , dix neurones dans une seule couche cachée (20) et deux neurones pour la couche de sortie (21) indiquant l'éclairement et la température.

20

25

30

REVENDEICATIONS :

1. Dispositif pour la mesure de l'éclairement et de la température du fonctionnement des panneaux PV, **caractérisé en ce qu'il** est comprend:
 - Une surface sensible PV (2) exposée aux conditions climatiques de fonctionnement (éclairement G (1) et température T),
 - Un système de commutation et de mesure (3), connecté à la surface sensible commandé par un calculateur (10) afin d'alterner entre l'opération de court-circuit et le circuit ouvert et
 - Un système de traitement (calculateur) (10) qui permet de calculer les valeurs de I_{SC} (13) et V_{OC} (14) et par la suite estimer avec précision l'éclairement G_m (16) et la température T_m (17).
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la surface sensible photovoltaïque (2) peut-être une cellule, un groupe de cellule ou un module PV.
3. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la surface sensible PV (2) est connectée à un système de commutation et de mesure (3) qui alterne entre deux modes de fonctionnement de court-circuit et de circuit ouvert, et mesure le courant (8) et la tension (9).
4. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le système de commutation est constitué par un transistor (4) en série avec une résistance de faible valeur (5), ledit transistor (4) est commandé par un signal carré provenant du calculateur (10).
5. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le système de la commutation et de mesure (3) génère deux signaux de courant (8) et de tension (9) d'une forme carrée avec une période définie et en opposition de phase.
6. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le calculateur (10) comprend un algorithme assurant les fonctionnalités de base suivantes :
 - Génération du signal de la commande (11) pour le système de commutation et mesure (3),
 - Filtrage numérique (12) pour obtenir le courant de court-circuit I_{SC} (13) et la tension du circuit ouvert V_{OC} (14)
 - Le programme de calcul et d'estimation RNA (15).
7. Dispositif selon les revendications 5 et 6, **caractérisé en ce que** le filtrage numérique (12) assuré par le calculateur (10) permet de déduire les valeurs de I_{SC} (13) et de V_{OC} (14) simultanément à partir des courant (8) et tension (9) mesurés.

8. Dispositif selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le calculateur contient un algorithme basé sur un réseau des neurones artificiels RNA (15) pour estimer l'éclairement et la température à partir de I_{SC} (13) et V_{OC} (14) provenant d'une même et unique surface PV sensible (2).
9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'utilisation du I_{SC} (13) et V_{OC} (14) comme entrées pour l'algorithme RNA (15) assure la compensation de la température lors l'estimation de l'éclairement (16) et de la température (17) sans mesure direct de la celle-ci.
10. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'algorithme RNA peut être entraîné en se basant sur les données de la fiche technique de la surface PV (2), ou expérimentalement en enregistrant les données de I_{SC} (13), V_{OC} (14), l'éclairement et température à travers le système de commutation et mesure (3) et le filtre numérique (12).

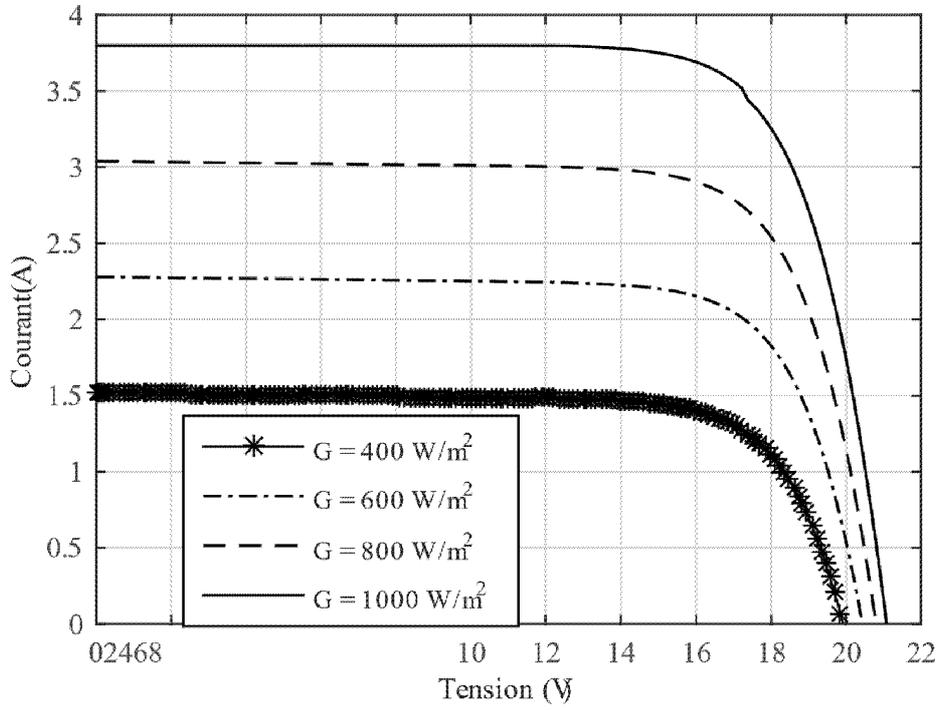


Figure 1

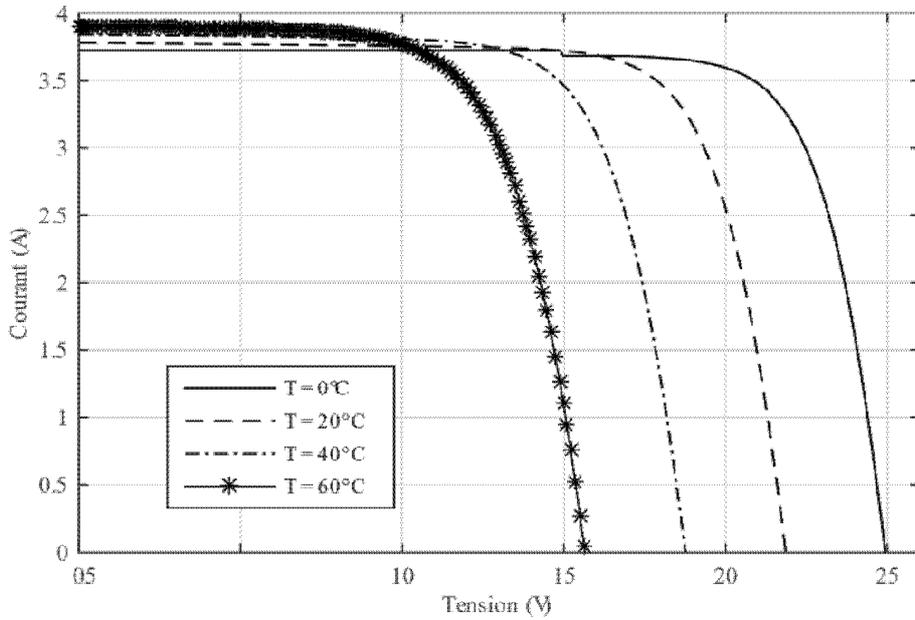
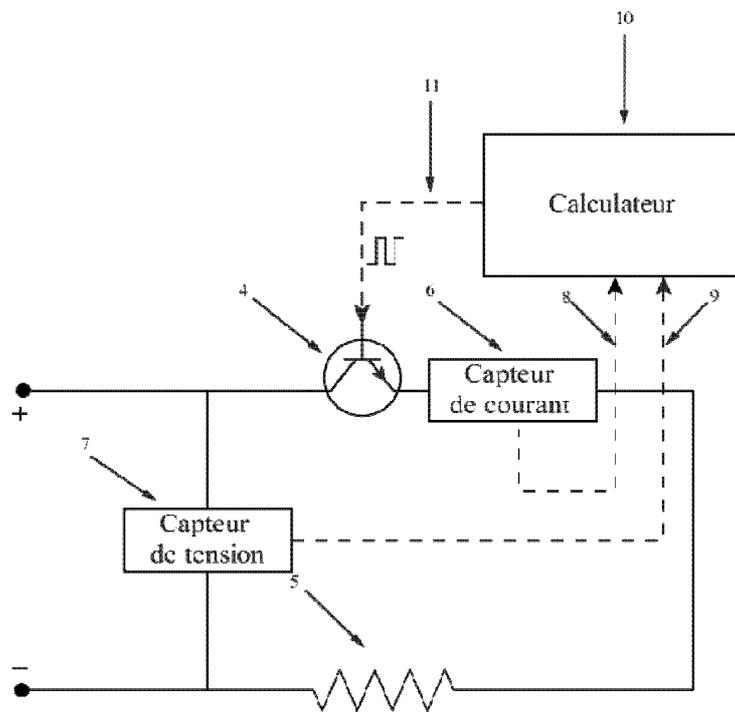
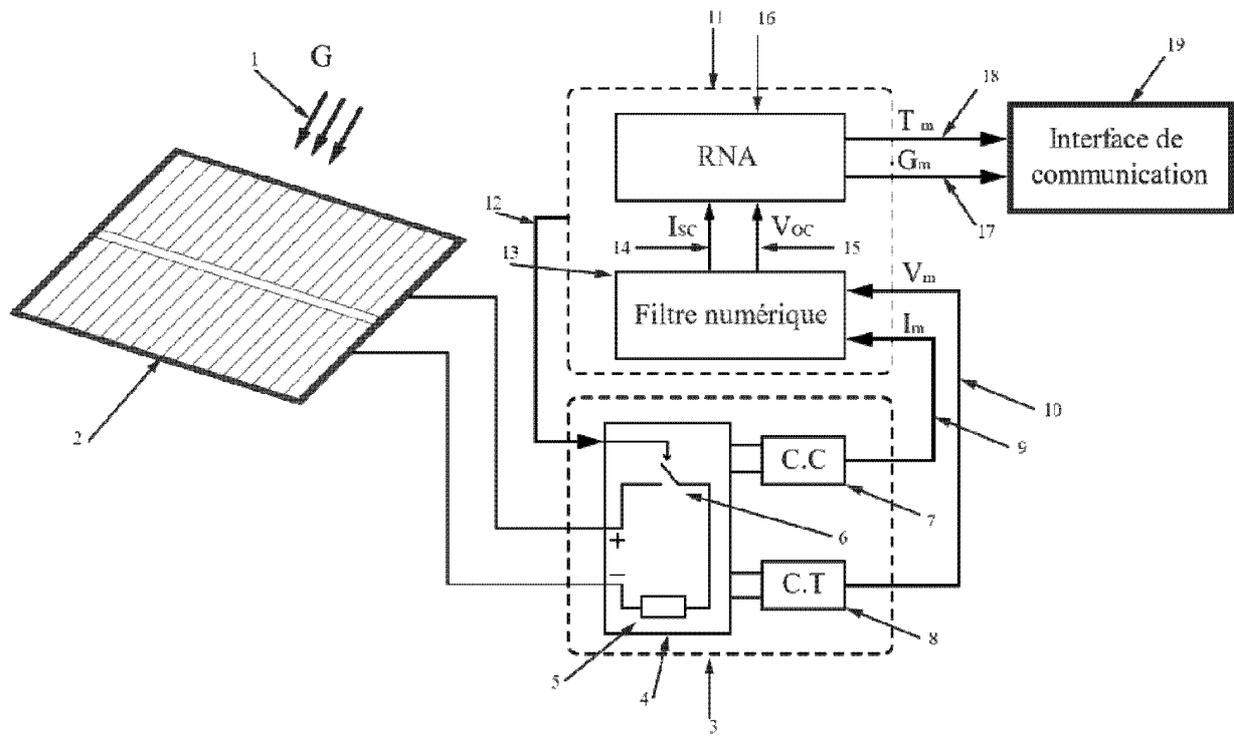


Figure 2



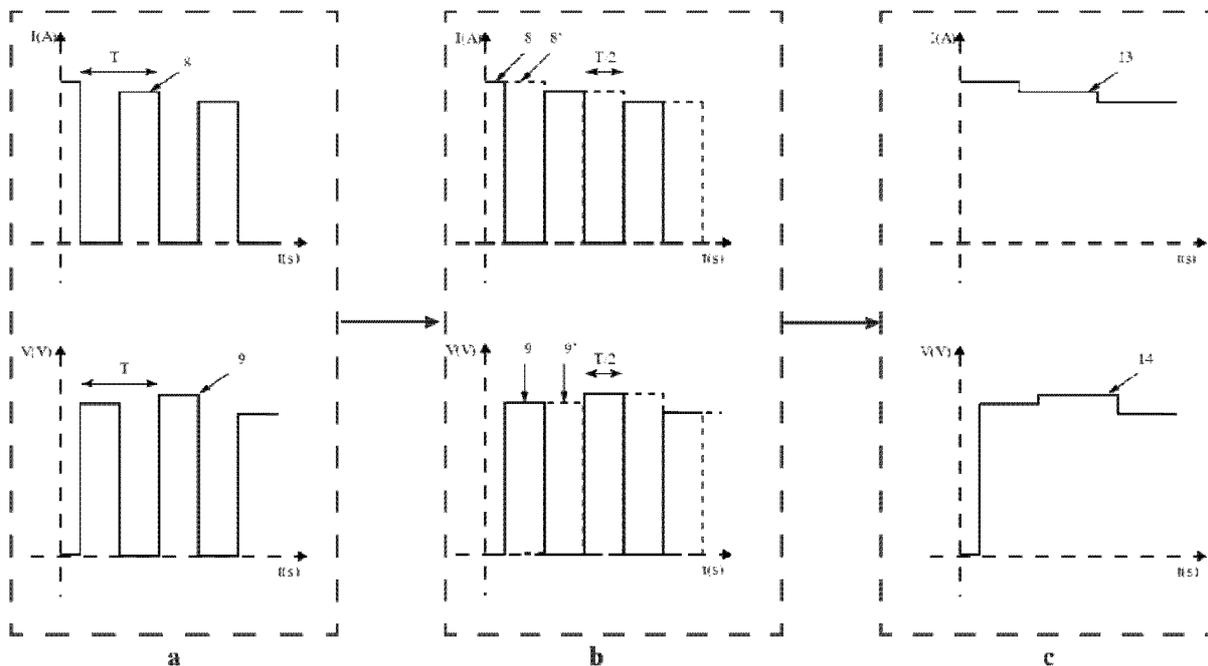


Figure 5

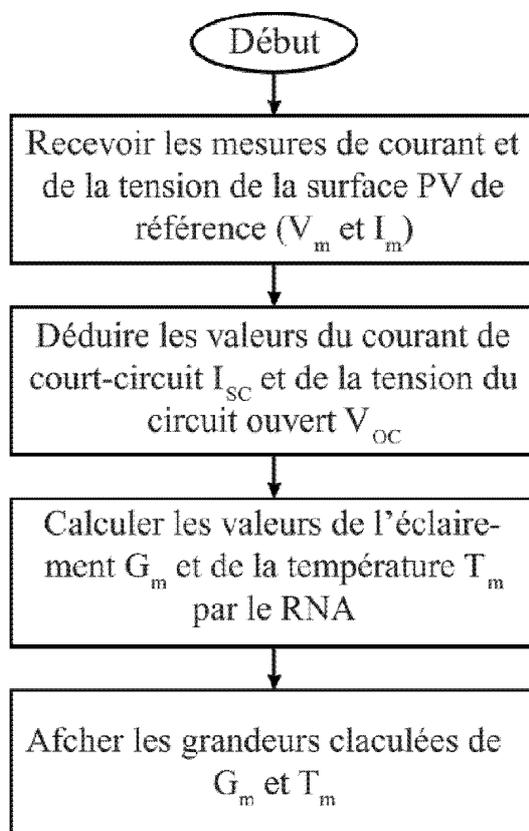


Figure 6

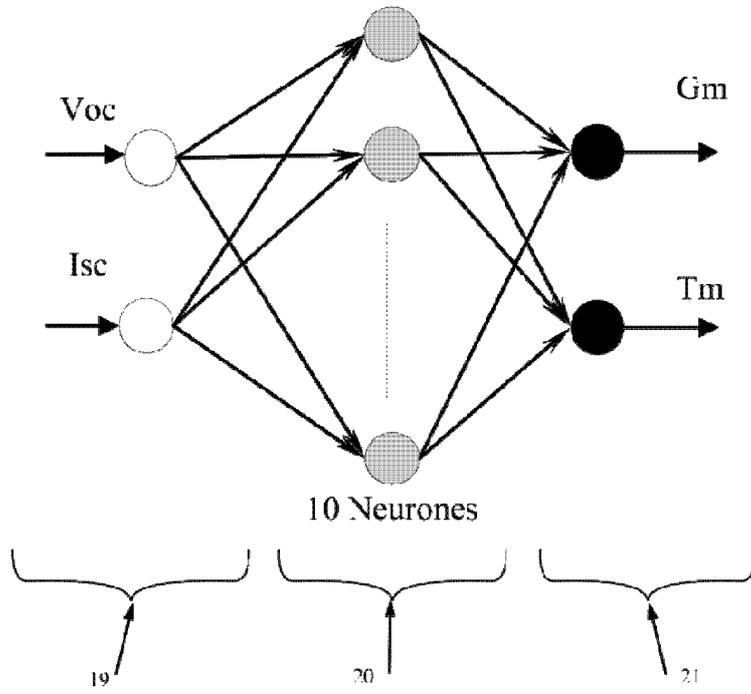


Figure 7

**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR
LA BREVETABILITE**

*Établi conformément à l'article 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 : 47807	Date de dépôt : 25/12/2019
Déposant : MASCIR (MOROCCAN FOUNDATION FOR ADVANCED SCIENCE INNOVATION & RESEARCH)	
Intitulé de l'invention : DSIPOSITIF POUR LA MESURE DE L'INTENSITE D'ECLAIREMENT ET DE LA TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION PV.	
Classement de l'objet de la demande : CIB : G 01R 31/26 CPC : G 01R 31/2635, H 02S 50/10	
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	
Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Oubiyi Ilham	Date d'établissement du rapport : 08/06/2022
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	

Partie 1 : Considérations générales**Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
- Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)
 - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité**Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 1-10	Oui
	Revendications aucune	Non
Activité inventive	Revendications 1-10	Oui
	Revendications aucune	Non
Application Industrielle	Revendications 1-10	Oui
	Revendications aucune	Non

Il est fait référence aux documents suivants :

D1 : DE102009039707 A1

1. Nouveauté

Aucun des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques énoncées dans les revendications 1-10. Par conséquent, l'objet des revendications 1-10 est nouveau au sens de l'art. 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Activité inventive

Le document D1 divulgue une méthode et un dispositif pour la détermination de la caractéristique courant-tension (I , V) d'un module ou d'une cellule photovoltaïque de technologie couche mince en particulier (voir paragraphes : [0001], [0005], [0006], [0007], [0019], [0020]). Cette méthode/dispositif se base sur deux paramètres essentiels : la température de l'élément PV « T » et l'irradiation solaire « G » pour l'estimation des valeurs courant-tension qui permettront de tracer la courbe caractérisant l'élément photovoltaïque (voir paragraphes : [0021], [0022], [0023], [0032], figure 3 et figure 4 du document D1).

L'objet de la revendication 1 diffère de D1 en ce que le calcul des deux paramètres « température et irradiation solaire » de fonctionnement du module PV est effectué d'une manière simultanée et continu dans le temps.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme étant une alternative pour la mesure de l'éclairement et de la température du fonctionnement des panneaux PV.

La solution à ce problème proposée dans la revendication indépendante de la présente demande est considérée comme impliquant une activité inventive. En effet, l'homme du métier ne serait pas parvenu d'une manière évidente à reproduire l'invention revendiquée en partant de D1. Aussi, aucun enseignement n'a été trouvé dans le reste de l'état de la technique disponible qui aurait incité la personne du métier, en partant du document D1, à atteindre le résultat recherché. Par conséquent, l'objet de la revendication 1 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications 2-10 dépendent de la revendication 1 dont l'objet est considéré inventif, comme indiqué auparavant, et elles satisfont donc également, en tant que telles, aux exigences de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 concernant l'activité inventive.

3. Application industrielle

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.