

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 42209 B1** (51) Cl. internationale : **H02S 50/10**

(43) Date de publication :  
**29.05.2020**

---

(21) N° Dépôt :  
**42209**

(22) Date de Dépôt :  
**02.04.2018**

(71) Demandeur(s) :  
**UNIVERSITE CHOUAIB DOKKALI, BV JABRANE KHALIL JABRANE BP 299 MAROC (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**BENHMIDA MOHAMMADI ; HOUSSAM AMIRY ; RACHID BENDAOU ; CHARAF HAJJAJ ; SAID BOUNOUAR ; SAID YADIR ; ABDELHAK EL RHASSOULI ; KHALID RAIS ; MOUNCIF SIDKI ; SMAIL SAHNOUN**

(74) Mandataire :  
**SAHABI MOHAMED**

---

(54) Titre : **REALISATION D'UN TRACEUR DE CARACTERISTIQUES COURANT TENSION DE CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES DANS LES CONDITIONS REELLES DE LEUR FONCTIONNEMENT**

(57) Abrégé : La puissance crête d'un capteur photovoltaïque (PV) (cellule, module ou panneau photovoltaïque) est donnée par le constructeur dans les conditions dites de test standard (STC). Or, le productible énergétique d'un capteur PV au Maroc, par exemple, est largement supérieur à celui que l'on peut enregistrer en Allemagne. Il est donc tout à fait recommandé de caractériser la puissance réelle de tels capteurs solaires dans les conditions réelles de leur fonctionnement. En effet, au cours du temps, le long d'une journée, les variations de l'intensité du rayonnement solaire, de la température ambiante, de la vitesse du vent ... etc, peuvent être plus ou moins rapides et importantes. Or, la caractérisation des propriétés de ces capteurs nécessite le prélèvement de mesures de courant (I) et de tension (V) délivrés pour des valeurs constantes de ces facteurs environnementaux. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'un dispositif de mesure capable de caractériser ces propriétés dans une durée de temps suffisamment courte pour que l'on puisse accéder à la connaissance de leurs paramètres internes et étudier leurs évolutions en fonction de ces facteurs changeant. C'est dans cet objectif que nous avons oeuvré à réaliser un circuit électronique commandé par un microcontrôleur capable d'enregistrer la caractéristique électrique (I-V) d'un capteur PV avec une résolution de l'ordre d'une milliseconde par point (I, V) prélevé. La fiabilité du

Le système implémenté a été vérifié par l'analyse des résultats expérimentaux obtenus et leur comparaison à ceux de la littérature scientifique dans le domaine.

## Réalisation d'un traceur de caractéristiques courant-tension de capteurs solaires photovoltaïques dans les conditions réelles de leur fonctionnement.

### Abrégé :

La puissance crête d'un capteur photovoltaïque (PV) (cellule, module ou panneau photovoltaïque) est donnée par le constructeur dans les conditions dites de test standard (STC). Or, le productible énergétique d'un capteur PV au Maroc, par exemple, est largement supérieur à celui que l'on peut enregistrer en Allemagne. Il est donc tout à fait recommandé de caractériser la puissance réelle de tels capteurs solaires dans les conditions réelles de leur fonctionnement. En effet, au cours du temps, le long d'une journée, les variations de l'intensité du rayonnement solaire, de la température ambiante, de la vitesse du vent... etc, peuvent être plus ou moins rapides et importantes. Or, la caractérisation des propriétés de ces capteurs nécessite le prélèvement de mesures de courant (I) et de tension (V) délivrés pour des valeurs constantes de ces facteurs environnementaux. De ce fait, il est nécessaire de disposer d'un dispositif de mesure capable de caractériser ces propriétés dans une durée de temps suffisamment courte pour que l'on puisse accéder à la connaissance de leurs paramètres internes et étudier leurs évolutions en fonction de ces facteurs changeant. C'est dans cet objectif que nous avons œuvré à réaliser un circuit électronique commandé par un microcontrôleur capable d'enregistrer la caractéristique électrique (I-V) d'un capteur PV avec une résolution de l'ordre d'une milliseconde par point (I, V) prélevé. La fiabilité du système implémenté a été vérifiée par l'analyse des résultats expérimentaux obtenus et leur comparaison à ceux de la littérature scientifique dans le domaine.

**Description :****Réalisation d'un traceur de caractéristiques courant-tension de capteurs solaires photovoltaïques dans les conditions réelles de leur fonctionnement.**

Les caractéristiques des capteurs solaires photovoltaïques (PV) fournies par les fabricants sont habituellement mesurées dans les conditions dites standard (STC) et avec des sources de lumières artificielles. De ce fait, ces caractéristiques ne sont qu'indicatives et ne sont pas suffisantes pour déterminer performances de ces capteurs dans les conditions réelles de leur fonctionnement. Les caractéristiques spectrales des sources simulate-Soleil utilisées à cet effet par les fabricants ne sont pas assimilables du moins de point de vue spectral à celles du rayonnement solaire que l'on peut mesurer localement. Le prélèvement d'une caractéristique courant-tension (I-V) dans les conditions réelles de fonctionnement du capteur nécessite la prise en compte des fluctuations plus ou moins prononcées et rapides des conditions climatiques. Pour s'affranchir de façon acceptable des effets de fluctuations des irradiances solaires et de la température du capteur, ainsi que des variations des autres facteurs environnementaux sur une caractéristique I-V, l'utilisation d'un dispositif électronique adapté s'avère nécessaire. Des solutions ont été proposées pour balayer toute la caractéristique I-V d'un capteur PV en faisant varier la résistance de charge extérieure de manière automatique à l'aide d'un dispositif électronique. Ces solutions intègrent des composants capacitifs, ou inductifs ou des transistors de différents types. Ces solutions présentent plus ou moins d'inconvénients et se distinguent par des durées relativement longues pour l'acquisition d'une caractéristique (I-V), d'un balayage incomplet de la caractéristique, ainsi que par des fluctuations plus ou moins prononcées entachant les mesures expérimentales collectées.

Pour remédier aux inconvénients mentionnés précédemment, nous avons développé une technique fiable pour prélever suffisamment de points d'une caractéristique (I-V) d'un capteur PV dans une durée de temps très courte, et ce en élaborant un circuit électronique que l'on peut programmer pour commander les variations de la résistance de charge extérieure, effectuée lors de l'acquisition d'une caractéristique (I-V). Ce circuit est constitué d'un jeu de résistances et de MOSFET IRF540N commandés par un microcontrôleur. Le circuit est constitué de plusieurs blocs ayant la même structure mais de valeurs de résistances différentes (figure 1). Le microcontrôleur permet d'activer simultanément un ou plusieurs transistors pour réaliser différentes configurations d'associations des résistances. La résistance de charge

est équivalente à celle résultante de l'association de l'ensemble des résistances des branches activées.

Le circuit électronique réalisé au sein de notre laboratoire est constitué des éléments suivants : des résistances de puissance, des transistors IRF540N, une carte Arduino Mega2560, et des capteurs de courant, de tension, et de température.

- **Résistances** : Le jeu de résistances utilisées varie en fonction de la puissance crête du capteur solaire PV étudié.
- **Transistors IRF540N** : après une étude comparative entre plusieurs types de transistors nous avons choisi les transistors IRF540N qui sont utilisés pour basculer entre les différents blocs de résistances, et ce afin de pouvoir faire varier la résistance de charge d'une manière automatique. Le choix de transistor IRF540N se justifie par le fait que :
  - la carte Arduino Mega2560 peut générer des tensions de 5V qui sont suffisantes pour commander ce type de transistors.
  - la valeur de la résistance aux bornes Drain-Source ( $R_{ds}$ ) est relativement faible, et d'environ  $44\text{m}\Omega$ .
- **Capteurs** : 1 capteur de courant INA219 avec une résolution de  $0.1\text{mA}$  ; 1 capteur de tension avec une résolution de  $4.89\text{mV}$  ; 1 capteur de température (Thermocouple type K) avec une résolution de  $0.15^\circ\text{C}$ .
- **Carte Arduino Mega2560** : Elle est basée sur le microcontrôleur ATMEGA2560. Le choix de cette carte se justifie par sa grande vitesse de transmission des données et le nombre d'entrées numériques et analogiques disponibles.
- **Programme informatique** : le programme édité est destiné à la commande des MOSFET IRF540N afin de basculer et faire les combinaisons convenables des résistances pour commander les variations de la résistance de charge. Le programme utilise une application Java libre et multi-plateformes pour éditer, compiler et transférer les codes au travers d'une liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). La programmation basée sur le langage C++ et liée à la bibliothèque de développement Arduino permet l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La carte permet de prélever une caractéristique I-V dans une durée de temps acceptable et transférer les résultats expérimentaux à la mémoire d'un ordinateur.

Le circuit réalisé (figure 3) permet de balayer toute la caractéristique I-V dans une durée de temps tout à fait acceptable, en prélevant chaque point (I,V) de la caractéristique en une milliseconde.

**FIGURES :**

**Figure 1.** Schéma synoptique représentant les branches du circuit électronique réalisé pour faire varier la résistance de charge automatiquement.

**Figure 2.** Exemple de résistance de charge dans le cas d'activation de 3 branches : la résistance équivalente dans le cas d'activation de trois branches par la polarisation des MOSFET IRF540N 2,5 et 8, est donnée par :

$$\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R_2 + r_{ds(2)}} + \frac{1}{R_5 + r_{ds(5)}} + \frac{1}{R_8 + r_{ds(8)}}$$

Où  $R_C, R_i$  et  $r_{ds(i)}$  sont respectivement, la résistance de charge, la résistance activée et la résistance entre le drain et la source du transistor polarisé de la branche  $i$ .

**Figure 3.** Topologie générale de conception du circuit électronique. Le changement de la résistance de charge extérieure est commandé par un programme informatique domicilié dans la mémoire de la carte Arduino.

**Revendications :**

1. Le traceur de la caractéristique I-V d'un capteur photovoltaïque (PV) est constitué d'une carte d'acquisition et d'un circuit électronique (*Figure 1* et *Figure 3*). Le circuit électronique est constitué de plusieurs blocs montés en parallèle dont chacun comporte une résistance de puissance et un MOSFET utilisé comme commutateur (*Figure 1* et *Figure 3*), pour activer et/ou désactiver les différents blocs de résistances afin de faire varier automatiquement la résistance de charge.
2. Le traceur de la caractéristique I-V d'un capteur PV selon la revendication 1 est caractérisé en ce que :
  - La résistance de puissance appropriée de chaque bloc est reliée au drain du MOSFET (*Figure 1* et *Figure 3*).
  - La grille de chaque MOSFET est reliée avec une entrée/sortie numérique de la carte d'acquisition (*Figure 1* et *Figure 3*).
  - Le capteur de courant est branché en série avec les résistances pour mesurer le courant délivré par le capteur PV (*Figure 3*).
  - Le capteur de tension est branché en parallèle avec les résistances pour mesurer la tension aux bornes du capteur PV (*Figure 3*).
3. Le traceur de la caractéristique I-V d'un capteur PV selon la revendication 1 est caractérisé en ce que la carte d'acquisition est configurée via l'édition d'un programme informatique spécifique pour:
  - Activer et/ou désactiver simultanément un ou plusieurs MOSFETs pour basculer entre les différents blocs afin de générer les combinaisons de résistances de charges permettant de couvrir l'intégralité de la caractéristique I-V du point de court-circuit au point de circuit ouvert.
  - Prélever chaque point de la caractéristique I-V en une milliseconde afin que tous les points de chaque caractéristique soient prélevés dans les mêmes conditions météorologiques.

Figure 3

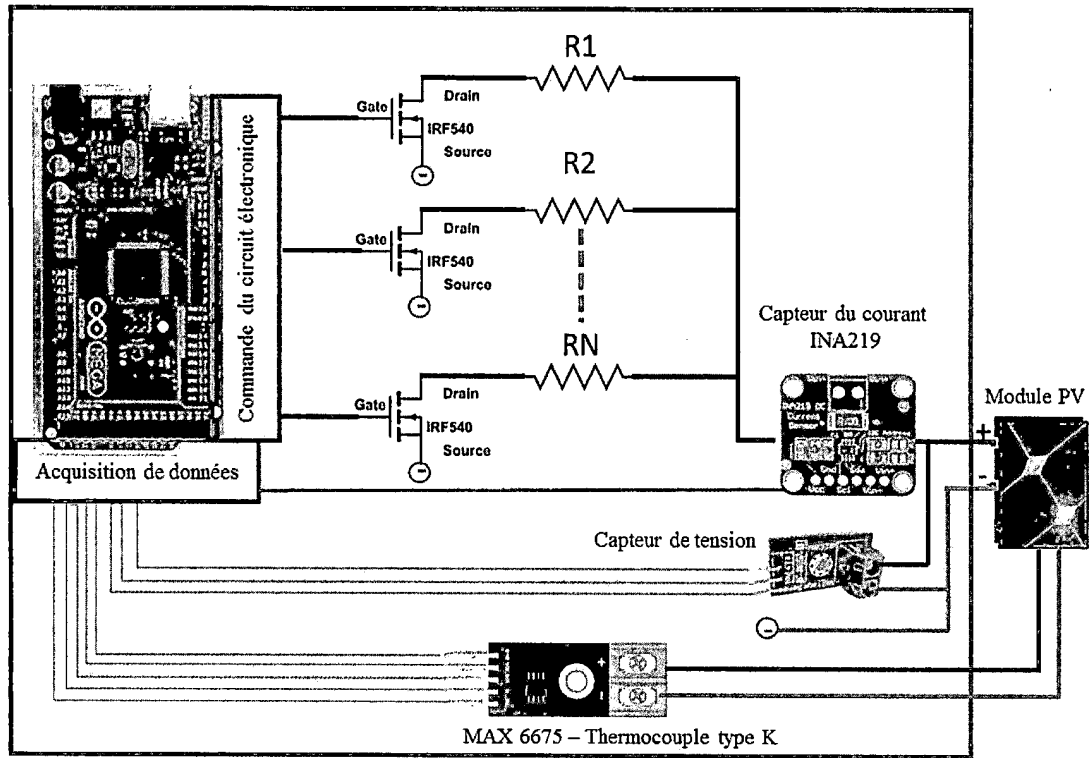




Figure 1

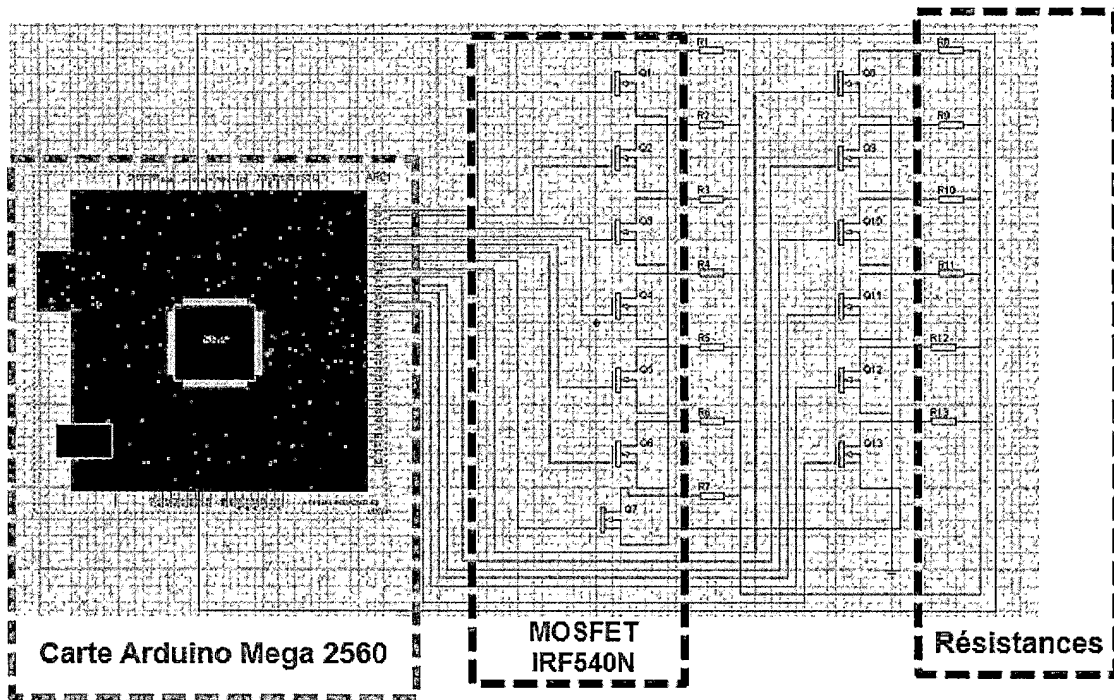
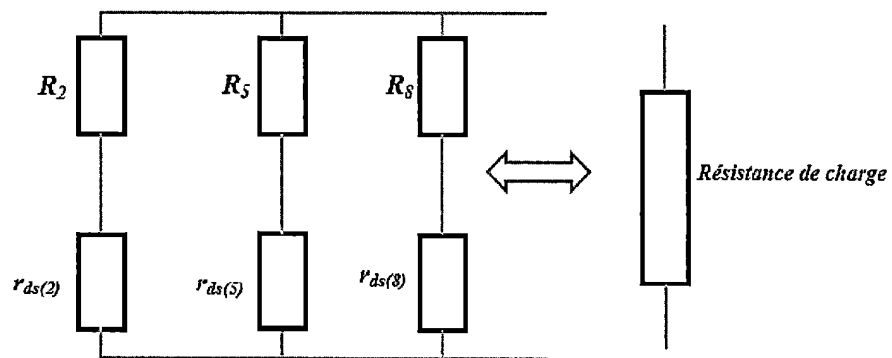



Figure 2



## 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

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 42209	Date de dépôt : 02/04/2018
Déposant : UNIVERSITE CHOUAIB DOKKALI	
Intitulé de l'invention : REALISATION D'UN TRACEUR DE CARACTERISTIQUES COURANT TENSION DE CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES DANS LES CONDITIONS REELLES DE LEUR FONCTIONNEMENT	
<b>Classement de l'objet de la demande :</b> CIB : 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 : Mohamed EL KINANI	Date d'établissement du rapport : 29/04/2020
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 :
- Revendications  
1-3
- 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 1-3 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-3 Revendications aucune	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-3 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants :

D1 : Renewable Energy Volume 30, Issue 3, Pages 399-411

**1. Nouveauté**

Aucun document de l'état de la technique considéré ne divulgue un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque constitué d'une carte d'acquisition et d'un circuit électronique tel que décrit dans la revendication 1 de la présente demande.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, l'objet des revendications 2-3 est également nouveau.

## **2. Activité inventive**

Le document D1 (description, figure 1) considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication indépendante 1 décrit un traceur de caractéristique électrique I-V d'un capteur solaire photovoltaïque basé sur la variation automatique et programmée de la résistance de charge extérieure constitué d'un circuit électronique composé de plusieurs branches dont chacune est constituée d'un commutateur ( $S'1-S'n$ ) relié en série avec une résistance de puissance ( $R1-Rn$ ), l'ensemble est commandé par un système d'acquisition de donnée relié à un ordinateur.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de ce dispositif connu en ce que le circuit électronique est constitué de plusieurs blocs montés en parallèle dont chacun comporte une résistance de puissance et un MOSFET utilisé comme commutateur, commandés par une carte Arduino.

Le problème technique objectif que la présente demande tente de résoudre peut donc être considéré comme fournir un traceur de caractéristique électrique I-V amélioré en termes de résolution et de temps de réponse.

La solution proposée à ce problème, présenté dans la revendication 1 de la présente demande n'est ni divulguée ni rendue évidente dans l'art antérieur considéré.

Par conséquent, 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. D'où l'objet des revendications 2-3 est également considéré comme inventif.

## **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.