

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 982**

51 Int. Cl.:

H02S 50/00 (2014.01)

H02S 50/10 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2018** E 18199379 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020** EP 3474439

54 Título: **Procedimiento de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica**

30 Prioridad:

23.10.2017 FR 1759997

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

14.04.2021

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**AL SHAKARCHI, FRANCK y
HA, DUY LONG**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 818 982 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico.

10 La invención se refiere también a un sistema de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico.

Estado de la técnica

15 Una arquitectura fotovoltaica comprende por regla general varias cadenas de módulos fotovoltaicos (denominados también paneles fotovoltaicos o paneles solares) conectados en paralelo. En cada cadena, los módulos fotovoltaicos están conectados en serie. Cada módulo fotovoltaico comprende varias células fotovoltaicas conectadas en serie, en forma de filas de células. Cada célula fotovoltaica está destinada a convertir una energía solar en una energía eléctrica. Las cadenas de módulos fotovoltaicos están unidas a un convertidor de tensión, como por ejemplo un ondulator que permite convertir la tensión continua proporcionada por cada cadena de módulos en una tensión alterna. El papel del convertidor es también determinar un punto de funcionamiento para el cual la potencia proporcionada por el conjunto de la arquitectura fotovoltaica es máxima (punto de funcionamiento máximo designado con MPP por "Maximum Power Point").

25 La presencia de un fallo en una cadena de módulos fotovoltaicos obstaculiza la producción de electricidad de toda la cadena y, por lo tanto, de toda la arquitectura de producción de electricidad. El documento US2015/094967A describe un procedimiento de caracterización de una célula fotovoltaica.

30 Por lo tanto, es necesario controlar el estado de funcionamiento de cada módulo fotovoltaico de una cadena con el fin de localizar un eventual fallo a nivel de un módulo y solucionarlo lo más rápidamente posible. Según los casos, el fallo podrá ser de diferentes naturalezas, especialmente permanente si se trata de un problema material, o temporal si se trata, por ejemplo, de la presencia de una sombra o de polvos sobre el módulo.

35 Para detectar los fallos de funcionamiento de los módulos, se han propuesto ya varias soluciones de control. Las solicitudes US2015/094967A1, WO2012/128807A1, FR2956213A1, WO2010/118952A1, US9048781B2 o US2014/266294A1 describen todas unas soluciones de este tipo. A fin de verificar el estado de funcionamiento de un módulo, la mayoría de las soluciones se basan, en particular, en el análisis de las curvas Corriente-Tensión, más comúnmente denominadas curvas I-V.

40 Un módulo fotovoltaico se caracteriza, en efecto, por un conjunto de curvas I-V de referencia para diferentes niveles de exposición al sol (expresados en Watio/m²). Dicho de otra manera, para un nivel de exposición al sol dado, un módulo fotovoltaico sano, es decir sin fallos, será teóricamente capaz de seguir una de las curvas I-V de referencia para este nivel de exposición al sol. Sin embargo, si un módulo presenta un fallo de funcionamiento, su curva I-V se aleja entonces de esta curva de referencia para este nivel de exposición al sol.

45 En la mayor parte de las soluciones descritas en los documentos de patente referenciados anteriormente, la curva I-V de un módulo se determina utilizando varios sensores, especialmente un sensor de corriente para cada módulo, lo que hace más compleja la arquitectura y aumenta su coste. Para determinar el estado de funcionamiento de un módulo, algunas soluciones necesitan también cortar la producción eléctrica de la cadena.

50 En la actualidad, no existen soluciones simples que permitan determinar la curva I-V de un módulo fotovoltaico sin emplear un sensor de corriente o tensión.

55 El objetivo de la invención es, por lo tanto, proponer una solución que pueda cumplir este objetivo.

Mediante la caracterización eléctrica de cada célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico será así posible determinar las propiedades eléctricas del módulo fotovoltaico en su conjunto.

Exposición de la invención

60 Este objetivo se alcanza mediante un procedimiento de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico, comprendiendo dicho módulo fotovoltaico varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y uno o varios diodos de derivación, estando cada diodo de derivación configurado para derivar un submódulo formado de una o varias células fotovoltaicas de dicho módulo fotovoltaico, comprendiendo dicho procedimiento unas etapas de:

65 - obtención de la irradiancia recibida por dicho módulo fotovoltaico,

- obtención de una temperatura de cada célula fotovoltaica de un primer submódulo de dicho módulo fotovoltaico,
- 5 - comparación de dicha temperatura obtenida para cada célula fotovoltaica del primer submódulo con una temperatura de referencia,
- determinación del estado de cada célula fotovoltaica del primer submódulo entre un estado sano, para el cual su temperatura es igual a la temperatura de referencia, y un estado defectuoso, para el cual su temperatura es diferente de dicha temperatura de referencia,
- 10 - estimación de la curva I-V asociada a una primera célula fotovoltaica de dicho primer submódulo, mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V, teniendo en cuenta:
 - * el estado sano o el estado defectuoso de dicha primera célula fotovoltaica;
 - 15 * el estado sano o el estado defectuoso de todas las otras células fotovoltaicas del primer submódulo;
 - * la potencia eléctrica proporcionada por cada célula fotovoltaica del primer submódulo.
- 20 Según una particularidad:
 - si la primera célula fotovoltaica está en dicho estado defectuoso, comprende una etapa de:
 - * determinación de si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que todas las células fotovoltaicas están en estado defectuoso, o si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano.
- 25 Según otra particularidad:
 - 30 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano, comprende una etapa de:
 - * determinación de si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano o a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano.
- 35 Según otra particularidad:
 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano, comprende una etapa de:
 - 40 * comparación de la temperatura de la primera célula con dicha temperatura de referencia para determinar si dicha temperatura de la primera célula es superior a dicha temperatura de referencia o inferior a dicha temperatura de referencia.
- 45 Según otra particularidad:
 - si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es inferior a la temperatura de referencia, consiste en realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:
 - 50 * una etapa de aplicación de una primera irradiancia;
 - * una etapa de determinación en la base de datos de curvas I-V de una primera curva I-V que corresponde a dicha primera irradiancia y a dicha temperatura de la primera célula fotovoltaica;
 - 55 * a partir de dicha primera curva, una etapa de determinación de la tensión que corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;
 - * una etapa de verificación de la relación siguiente:
 - 60
$$G = P_{th_cél_k} + I_{mpp} \times V(I_{mpp})$$
- en la que:
 - 65 * G corresponde a dicha primera irradiancia introducida en la entrada;

▪ $P_{th_cél_k}$ corresponde a la potencia térmica generada por dicha primera célula fotovoltaica;

▪ I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

▪ $V(I_{mpp})$ corresponde a la tensión determinada sobre dicha primera curva I-V para dicha corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* si se verifica dicha relación, dicha curva I-V es válida;

* si no se verifica dicha relación, se vuelve a empezar dicho circuito modificando el valor de la irradiancia aplicada en la entrada.

Según otra particularidad:

- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es superior a la temperatura de referencia, comprende:

* una etapa de determinación de la tensión de la primera célula fotovoltaica defectuosa a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k} = V_{mpp} - \Delta P_{th_cél_k} / I_{mpp}$$

en la que:

▪ $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de la primera célula fotovoltaica;

▪ V_{mpp} corresponde a la tensión en el punto de funcionamiento máximo;

▪ $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por la primera célula fotovoltaica defectuosa;

▪ I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* una etapa de búsqueda en la base de datos de curvas I-V de la curva I-V que corresponde a una irradiancia de referencia, y para la cual el punto que tiene como coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la corriente en el punto de funcionamiento máximo pertenece a la curva.

Según otra particularidad:

- si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano, comprende una etapa de:

* determinar si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula o si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero.

Según otra particularidad:

- si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula, comprende una etapa de:

* estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V definida por $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

Según otra particularidad:

- si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero, consiste en realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:

* una etapa de aplicación de una primera corriente;

* una etapa de determinación, para cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, de la tensión de la célula a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k}(I_{in}) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / I_{in}$$

en la que:

- 5 ▪ $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, con $k=1$ a n células fotovoltaicas en el submódulo;
- I_{in} corresponde a dicha primera corriente aplicada en la entrada;
- P_{elec_sana} corresponde a la potencia proporcionada por una célula fotovoltaica en un estado sano;
- 10 ▪ $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por cada célula fotovoltaica defectuosa;
- * una etapa de determinación de la suma de las tensiones de todas las células fotovoltaicas del submódulo;
- * una etapa de verificación si dicha suma es nula o diferente de cero;
- 15 * si dicha suma es nula:
 - Una etapa de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la primera corriente aplicada en la entrada pertenece a la curva;
- * si dicha suma es diferente de cero:
 - 25 ▪ Una etapa de modificación de la primera corriente aplicada en la entrada y una nueva realización de dicho circuito de búsqueda teniendo en cuenta la primera corriente modificada.

30 La invención se refiere también a un sistema de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico, comprendiendo dicho módulo fotovoltaico varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y uno o varios diodos de derivación, estando cada diodo de derivación configurado para derivar un submódulo formado por una o varias células fotovoltaicas de dicho módulo fotovoltaico, comprendiendo el sistema:

- 35 - un módulo de obtención de la irradiancia recibida por dicho módulo fotovoltaico,
- un módulo de obtención de una temperatura de cada célula fotovoltaica de un primer submódulo de dicho módulo fotovoltaico,
- 40 - un módulo de comparación de dicha temperatura obtenida para cada célula fotovoltaica del primer submódulo con una temperatura de referencia,
- un módulo de determinación del estado de cada célula fotovoltaica del primer submódulo entre un estado sano, para el cual su temperatura es igual a la temperatura de referencia, y un estado defectuoso, para el cual su temperatura es diferente de dicha temperatura de referencia,
- 45 - un módulo de estimación de la curva I-V asociada a una primera célula fotovoltaica de dicho primer submódulo, mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V, teniendo en cuenta:
 - 50 * el estado sano o el estado defectuoso de dicha primera célula fotovoltaica;
 - * el estado sano o el estado defectuoso de todas las otras células fotovoltaicas del primer submódulo;
 - * la potencia eléctrica proporcionada por cada célula fotovoltaica del primer submódulo.

55 Según una particularidad:

- 60 - si la primera célula fotovoltaica está en dicho estado defectuoso, se configura para ejecutar:
 - * un módulo para determinar si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que todas las células fotovoltaicas están en estado defectuoso o si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano.

Según otra particularidad:

- 65 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano, se configura para ejecutar:

* un módulo para determinar si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano o a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano.

Según otra particularidad:

- 5
- si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano, se configura para ejecutar:
 - un módulo de comparación de la temperatura de la primera célula con dicha temperatura de referencia para determinar si dicha temperatura de la primera célula es superior a dicha temperatura de referencia o inferior a dicha temperatura de referencia.
- 10

Según otra particularidad:

- 15
- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es inferior a la temperatura de referencia, se configura para ejecutar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:
- * una etapa de aplicación de una primera irradiancia;
 - * una etapa de determinación en la base de datos de curvas I-V de una primera curva I-V que corresponde a dicha primera irradiancia y a dicha temperatura de la primera célula fotovoltaica;
 - * a partir de dicha primera curva, una etapa de determinación de la tensión que corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;
 - * una etapa de verificación de la relación siguiente:
- 20
- 25

$$G = P_{th_cél_k} + I_{mpp} \times V(I_{mpp})$$

30 en la que:

- G corresponde a dicha primera irradiancia introducida en la entrada;
 - $P_{th_cél_k}$ corresponde a la potencia térmica generada por dicha primera célula fotovoltaica;
 - I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;
 - $V(I_{mpp})$ corresponde a la tensión determinada sobre dicha primera curva I-V para dicha corriente en el punto de funcionamiento máximo;
- * si se verifica dicha relación, dicha curva I-V es válida;
 - * si no se verifica dicha relación, se vuelve a empezar dicho circuito modificando el valor de la irradiancia aplicada en la entrada.
- 35
- 40
- 45

Según otra particularidad:

- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es superior a la temperatura de referencia, se configura para ejecutar:
- * un módulo de determinación de la tensión de la primera célula fotovoltaica defectuosa a partir de la relación siguiente:
- 50

$$V_{cél_k} = V_{mpp} - \Delta P_{th_cél_k} / I_{mpp}$$

55 en la que:

- $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de la primera célula fotovoltaica;
 - V_{mpp} corresponde a la tensión en el punto de funcionamiento máximo;
 - $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por la primera célula fotovoltaica defectuosa;
- 60

- I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

5 * un módulo de búsqueda en la base de datos de curvas I-V de la curva I-V que corresponde a una irradiancia de referencia, y para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la corriente en el punto de funcionamiento máximo pertenece a la curva.

Según otra particularidad:

10 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano, se configura para ejecutar:

15 * un módulo para determinar si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula o si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero.

Según otra particularidad:

- si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula, se configura para ejecutar:

20 * un módulo de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V definida por $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

Según otra particularidad:

25 - si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero, se configura para realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:

30 * una etapa de aplicación de una primera corriente;

* una etapa de determinación, para cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, de la tensión de la célula a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k}(I_{in}) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / I_{in}$$

35 en la que:

40 ▪ $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, con $k=1$ a n células fotovoltaicas en el submódulo;

40 ▪ I_{in} corresponde a dicha primera corriente aplicada en la entrada;

45 ▪ P_{elec_sana} corresponde a la potencia proporcionada por una célula fotovoltaica en un estado sano;

45 ▪ $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por cada célula fotovoltaica defectuosa;

* una etapa de determinación de la suma de las tensiones de todas las células fotovoltaicas del submódulo;

* una etapa de verificación si dicha suma es nula o diferente de cero;

50 * si dicha suma es nula:

55 * Una etapa de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la primera corriente aplicada en la entrada pertenece a la curva;

* si dicha suma es diferente de cero:

60 * Una etapa de modificación de la primera corriente aplicada en la entrada y una nueva realización de dicho circuito de búsqueda teniendo en cuenta la primera corriente modificada.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas aparecerán a partir de la descripción detallada siguiente, con relación a los dibujos anexos, en los que:

- 5 - la figura 1 representa, de manera esquemática, una arquitectura fotovoltaica clásica;
- la figura 2 representa, de manera esquemática, un módulo fotovoltaico, del lado de su cara delantera;
- la figura 3 representa las curvas I-V de un módulo fotovoltaico para varios niveles de irradiancia;
- 10 - la figura 4 representa, para un mismo nivel de irradiancia sobre un módulo fotovoltaico, dos curvas I-V características de un dispositivo fotovoltaico, respectivamente sin fallo y con fallo;
- la figura 5 representa, de manera esquemática, la estructura del sistema de caracterización eléctrica de la invención;
- 15 - las figuras 6A y 6B ilustran dos modos de adquisición de temperatura sobre un módulo fotovoltaico, por sensor de temperatura y/o cámara térmica sobre el módulo;
- la figura 7 representa un diagrama que ilustra un ejemplo de algoritmo realizado en el ámbito del procedimiento de la invención, para caracterizar eléctricamente una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico;
- 20 - la figura 8 representa un diagrama que detalla una de las etapas del procedimiento de la invención;
- la figura 9A representa un diagrama que ilustra un primer caso de funcionamiento en el procedimiento de la invención;
- 25 - la figura 9B representa un diagrama que ilustra un segundo caso de funcionamiento en el procedimiento de la invención;
- la figura 10 representa un diagrama que ilustra un tercer caso de funcionamiento en el procedimiento de la invención.

30 Descripción detallada de al menos un modo de realización

En referencia a la figura 1, una arquitectura fotovoltaica presenta clásicamente las particularidades de disposición y funcionamiento siguientes:

- 35 - varias cadenas Ch1, Ch2 de módulos fotovoltaicos (denominados también paneles fotovoltaicos o paneles solares) están conectadas en paralelo (dos cadenas en la figura 1).
- cada cadena de módulos fotovoltaicos comprende varios módulos fotovoltaicos conectados en serie (M1-M3 para la cadena Ch1 y M10-M30 para la cadena Ch2).
- 40 - un módulo fotovoltaico (referenciado de manera general por Mi en lo sucesivo en el documento) comprende varias células fotovoltaicas (no representadas en la figura 1) conectadas en serie. Las células fotovoltaicas están repartidas en varios submódulos. Un submódulo puede comprender una o varias células fotovoltaicas.
- 45 - cada célula fotovoltaica está destinada a convertir una energía solar en una energía eléctrica.
- un convertidor, por ejemplo, un ondulator 10, que comprende varios brazos de conmutación a base de transistores, está destinado a convertir una tensión continua proporcionada por cada cadena de módulos en una tensión alterna.
- 50 - unos medios de control, integrados o no al convertidor son aptos para controlar el ondulator para efectuar la conversión de tensión.
- cada módulo comprende ventajosamente unos diodos antirretornos (no representados) posicionados de manera adecuada, por ejemplo, en serie, con los módulos de cada cadena.
- 55 - cada módulo comprende ventajosamente unos diodos de derivación (denominados de "bypass") para derivar cada uno un módulo y/o un submódulo de células distintas de un módulo si una o varias células estuviesen defectuosas. En la figura 1, un diodo de derivación está representado por módulo (los diodos están referenciados con D1, D2, D3, D10, D20, D30 en la figura 1).
- 60

En referencia a la figura 2, en cada módulo Mi, se tiene la disposición siguiente:

- 65 - las células fotovoltaicas están organizadas en varios submódulos. En la figura 2, dos columnas de células forman un submódulo. En esta figura, la célula referenciada con C1_1 corresponde a la primera célula de la primera fila y la célula referenciada con C1_2 corresponde a la segunda célula de la primera fila. La célula referenciada con C2_1 corresponde a la primera célula de la segunda fila.

- en la figura 2, un diodo de derivación Db1 Db2, Db3 distinto está asociado a cada submódulo representado. En la figura 2, un submódulo está representado con varias células, pero podría comprender sólo una célula. El diodo derivación está destinado a derivar el submódulo en caso de fallo de una o varias células en el submódulo.

5 Como se ha evocado anteriormente, los rendimientos de un módulo fotovoltaico M_i se caracterizan por un conjunto de curvas corriente-tensión, denominadas a continuación curvas I-V. La figura 3 representa las curvas I-V características de referencia de un módulo fotovoltaico para diferentes niveles de exposición al sol, denominados irradiancia o radiación y expresados en W/m^2 .

10 La tensión total de una cadena de módulos fotovoltaicos resulta de la suma de las tensiones en los bornes de cada módulo (incluyendo las de los bornes de los cables y conectores). En los bornes de cada módulo, las tensiones podrán ser diferentes si los módulos presentan unas características I-V distintas. Por el contrario, incluso si los módulos M_1 a M_3 de la cadena Ch_1 presentan unas características I-V diferentes, el funcionamiento de la cadena será tal que la corriente de la cadena que atraviesa cada módulo M_i de la cadena sigue siendo la misma. Si un módulo falla y no puede hacer pasar esta corriente, uno o varios diodos de "bypass" (Db) permiten hacer circular la corriente suplementaria que las células del módulo no pueden hacer pasar. La corriente total proporcionada por la arquitectura es la suma de las corrientes que atraviesan cada cadena de la arquitectura.

20 La figura 4 representa, para un mismo módulo fotovoltaico M_i , la curva I-V, referenciada con IV1, obtenida cuando este módulo no tiene fallos y la curva I-V, referenciada con IV2, obtenida cuando el módulo está defectuoso.

25 Se comprende así la importancia de vigilar el estado de funcionamiento de los módulos M_i de una arquitectura fotovoltaica e implementar un procedimiento que pueda fácilmente caracterizar eléctricamente un módulo fotovoltaico, por su curva I-V, para detectar un fallo.

Existen diferentes tipos de fallos posibles en un módulo fotovoltaico incluidos en una cadena de módulos. De manera no exhaustiva, se presenta aquí una lista de algunos fallos encontrados clásicamente:

- 30 - un módulo fotovoltaico más caliente que los otros módulos de la cadena;
- un submódulo más caliente que los otros submódulos del módulo fotovoltaico;
- 35 - varias células fotovoltaicas aisladas están más calientes que las otras células del módulo fotovoltaico (mosaico);
- varias células fotovoltaicas situadas debajo del módulo están más calientes que las células fotovoltaicas situadas arriba del módulo fotovoltaico;
- 40 - una sola célula fotovoltaica está más caliente que las otras células fotovoltaicas del módulo;
- una parte de una célula fotovoltaica está más caliente de lo normal;
- punto caliente en el módulo fotovoltaico;
- 45 - un submódulo está más caliente que los otros submódulos del módulo.

50 El principio de la invención se basa en la estimación de la curva I-V de cada célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico, basándose casi únicamente sobre la temperatura de la célula fotovoltaica. Se implementa así un sistema de caracterización eléctrica de cada célula fotovoltaica.

El procedimiento de caracterización eléctrica de cada célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico se realiza siguiendo varias etapas sucesivas. Se observará que algunas de estas etapas deben realizarse previamente a otras.

55 De manera no limitativa, estas etapas, en número de 8, se describen a continuación en relación con la figura 7. Para la realización de cada una de las etapas, se utiliza un sistema de caracterización eléctrica. Este sistema comprende una unidad de tratamiento 3. La unidad de tratamiento comprende al menos un microprocesador 30, unos medios de memorización. Comprende también un módulo de comunicación 31 que le permite comunicar, por medio de uniones por cables y/o inalámbricas con unos elementos externos de tipo sensor. Comprende también otros medios o módulos que se describirán a continuación para la realización de cada etapa.

60 El principio de la invención se basa también en el uso de una base de datos D_{IV} que almacena unas curvas I-V. Unas mediciones en laboratorio (tipo "flash test") permiten determinar unas curvas I-V para diferentes niveles de irradiancia y de temperatura. Por otro lado, las fichas de constructores ("datasheets") pueden permitir completar y afinar los resultados obtenidos en laboratorio. Uno medios de memorización (tipo servidor distante o local por ejemplo) permiten almacenar un conjunto de curvas I-V basadas en estos ensayos. En la base de datos, cada curva I-V está asociada a un valor de irradiancia y a una temperatura de la zona fotovoltaica irradiada. Para determinar la curva I-V

de una célula fotovoltaica defectuosa convendrá, no obstante, distinguir varios casos de funcionamiento. Estos diferentes casos de funcionamiento se explicarán a continuación. De manera no limitativa, se considerará que la base de datos D_IV se almacena en los medios de memorización de la unidad de tratamiento 3.

5 Para la descripción de las etapas siguientes, se considerará una arquitectura fotovoltaica que comprende:

- una cadena de módulos fotovoltaicos;

- la cadena de módulos fotovoltaicos comprende al menos dos módulos fotovoltaicos;

10

- cada módulo fotovoltaico comprende varias células fotovoltaicas;

- en cada módulo, las células fotovoltaicas se organizan en varios submódulos, comprendiendo un submódulo una o varias células fotovoltaicas derivadas por al menos un diodo de derivación;

15

Etapas E1 – medición de la temperatura de cada célula fotovoltaica dentro de cada módulo fotovoltaico

En referencia a la figura 5, el sistema de caracterización eléctrica comprende unos medios de adquisición 6 de datos representativos de valores de temperaturas a nivel del módulo fotovoltaico en funcionamiento.

20

Los medios de adquisición empleados se conectan a la unidad de tratamiento 3 por medio de su módulo de comunicación 31, para enviar dichos datos de temperatura (imagen lmg o temperaturas que provienen de los sensores). Se puede considerar cualquier solución de conexión de tipo cableado o inalámbrico.

25 En referencia a la figura 6A, estos medios de adquisición pueden ser una cámara térmica 60 destinada a tomar una imagen térmica lmg de la superficie del módulo fotovoltaico vigilado.

La cámara térmica 60 puede estar asociada a la unidad de tratamiento 3 en una misma caja.

30 En la figura 6A, está representada una cámara térmica y proporciona una imagen lmg térmica del módulo a la unidad central 3. La cámara puede portarse por un operador o instalarse en un dron destinado a sobrevolar la instalación fotovoltaica.

35 En referencia a la figura 6B, los medios de adquisición 6 pueden ser unos dispositivos 61 de medición de la temperatura repartidos a nivel de cada célula o de un conjunto de células fotovoltaicas del módulo vigilado y posicionados de manera adecuada.

Un dispositivo de medición de temperatura puede comprender:

40 - un sensor de temperatura analógico o numérico posicionado lo más próximo posible de la célula;

- unos medios de conversión analógica/numérica para convertir la señal analógica proporcionada por el sensor si esta es analógica;

45 - una interfaz de comunicación dispuesta para transmitir los datos de medición hacia una unidad de tratamiento;

- un módulo de alimentación eléctrica para alimentar el dispositivo.

50 Los medios de conversión, la interfaz de comunicación y el módulo de alimentación podrán ser comunes a varios dispositivos.

55 Los diferentes componentes de los dispositivos de medición de temperatura podrán organizarse según varias configuraciones. Cada sensor de temperatura está localizado lo más próximo posible de una célula a fin de captar precisamente la temperatura de la célula, mientras que los otros componentes del dispositivo podrán trasladarse con respecto al sensor.

De manera no limitativa, cada sensor de temperatura puede estar dispuesto según diferentes configuraciones:

60 - puede fijarse sobre la cara trasera de la célula (como en la figura 6B), o

- puede encapsularse en el módulo a fin de posicionarse entre unas células y quedar atrapado entre las dos caras de un módulo.

65 De manera no limitativa, cada sensor de temperatura se presentará, por ejemplo, en forma de un termómetro de resistencia de platino (RTD) PT100 que tiene una precisión de al menos 0,1°C sobre un intervalo de temperatura que va de 0°C a 100°C.

Las mediciones de temperatura a nivel de varias células de un módulo se sincronizan ventajosamente entre sí. Para ello, podrá emplearse cualquier método de sincronización conocido. Este se realizará mediante la unidad de tratamiento UC del sistema.

5 Podrá emplearse cualquier otra solución de medición o de adquisición de las temperaturas de las células.

10 La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo de corte 32 o de descomposición de una imagen térmica *Img* recibida de una cámara térmica 60. Este módulo se ejecuta a demanda por el microprocesador 30 cuando se ha adquirido una imagen térmica que proviene de la cámara térmica.

15 El corte puede consistir en descomponer la imagen térmica en varias zonas. Se realiza mediante un tratamiento de imagen realizado por la unidad de tratamiento. Cada zona de temperatura se caracteriza por una temperatura propia, que es uniforme o casi uniforme en toda la zona. Dos zonas térmicas adyacentes presentan entre sí una diferencia de temperatura suficiente, por ejemplo superior a un cierto umbral (por ejemplo 10°C). Con casi uniforme se quiere decir que la temperatura puede variar de un punto a otro de la zona térmica, pero que la diferencia de temperatura entre dos puntos de una misma zona sigue siendo siempre inferior a dicho umbral. A cada zona térmica se asocia después una temperatura determinada representativa de la temperatura de la zona. Esta temperatura asignada a cada zona puede ser una temperatura media determinada a partir de todas las temperaturas de la zona.

20 Por supuesto, puede realizarse el mismo corte en varias zonas térmicas con la ayuda de los datos proporcionados por los sensores de temperatura.

25 La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo de determinación 33 de las superficies respectivas de las diferentes zonas térmicas cortadas.

30 La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo de determinación 34 de una matriz de temperaturas, consistiendo la matriz de temperatura, después del corte del módulo vigilado en varias zonas, en asignar una temperatura a cada zona. Esta matriz se obtiene sean cuales sean los medios de adquisición empleados. En el caso en el que se empleen unos dispositivos de temperatura, la creación de la matriz de temperatura consiste en asignar directamente a cada célula su temperatura medida respectiva. La matriz se actualiza regularmente, por ejemplo de manera periódica, para vigilar la evolución de la temperatura de cada célula fotovoltaica.

35 Etapa E2 – análisis de las temperaturas adquiridas para la identificación del estado de cada célula fotovoltaica

La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo de detección 35 del estado de cada célula fotovoltaica del módulo entre un estado sano o un estado defectuoso.

40 Una célula fotovoltaica se considerará en un estado sano cuando su temperatura es sustancialmente igual a una temperatura denominada de referencia. La temperatura de una célula en un estado sano se designará T_{sana} .

Se obtendrá así:

45
$$T_{sana} = T_{ref}$$

Una célula fotovoltaica se considerará en un estado defectuoso cuando su temperatura supere un cierto umbral. Este umbral será, por ejemplo, igual a la temperatura de referencia a la que se añade un delta de temperatura.

50 La temperatura $T_{cél_k}$ de una célula *k* defectuosa se definirá así mediante:

$$T_{cél_k} > T_{ref} + \Delta T$$

55 Con ΔT que corresponde a una diferencia de temperatura que es superior a un valor mínimo ΔT_{min} (por ejemplo igual a 2°C).

La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo de obtención 36 de la temperatura de referencia T_{ref} a partir de un módulo designado como módulo de referencia M_{ref} .

60 La temperatura de referencia T_{ref} es la temperatura de un módulo de referencia M_{ref} considerado como sano, es decir sin fallo en el funcionamiento. El módulo de referencia M_{ref} es un módulo fotovoltaico análogo al módulo fotovoltaico vigilado (es decir con las mismas características técnicas) pero no defectuoso. Está ventajosamente presente en la misma arquitectura fotovoltaica que el módulo vigilado. La temperatura de referencia se puede obtener de manera idéntica a la utilizada para el módulo vigilado, es decir a partir de una imagen térmica del módulo y/o de dispositivos de medición de temperatura. Los datos de temperatura del módulo de referencia pueden enviarse a la unidad de tratamiento 3, que puede entonces calcular la temperatura de referencia con la ayuda del módulo 36 adecuado. Esta temperatura de referencia T_{ref} puede corresponder a la temperatura media del módulo de referencia M_{ref} .

Etapa E3 – estimación de las pérdidas térmicas suplementarias ocasionadas por cada célula fotovoltaica defectuosa

5 La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo 37 de estimación de las pérdidas térmicas suplementarias de un módulo, ocasionadas por la presencia de una célula defectuosa en el módulo.

Para una célula, estas pérdidas térmicas se expresan mediante la relación siguiente:

$$\Delta P_{th_cél_k} = U_{pv} \times (T_{cél_k} - T_{sana})$$

10 en la que:

- $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas térmicas suplementarias creadas;

15 - U_{pv} representa el coeficiente de intercambio térmico del módulo;

- $T_{cél_k}$ corresponde a la temperatura de la célula defectuosa;

20 - T_{sana} corresponde a la temperatura de una célula sana;

Esta relación se detalla especialmente en la solicitud de patente WO2016/189052A1, incorporada aquí como referencia.

25 Etapa E4 – cálculo de la radiación recibida en el plano de cada módulo fotovoltaico

De manera opcional, el sistema puede comprender un dispositivo de medición 5 de la irradiancia. Este dispositivo está configurado entonces para comunicar con la unidad de tratamiento a través del módulo de comunicación 31.

30 En sustitución o en complemento, la unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo 38 de determinación de la irradiancia recibida por el módulo. Este módulo puede basarse en uno o varios de los métodos siguientes o en cualquier otro método posible:

35 - medición, con la ayuda de un dispositivo de medición, de la irradiancia 5 presente en el sitio de la instalación fotovoltaica;

- recuperación de los datos diversos tales como la posición geográfica de la instalación, la orientación y la inclinación de los módulos, del entorno, la fecha, la hora, datos meteorológicos;

40 - recuperación de los datos satélites;

La irradiancia determinada por uno de estos métodos se designa a continuación G_{sano} .

Etapa E5 – estimación de la curva I-V de cada célula sana

45 La unidad de tratamiento 3 comprende un módulo 39 de estimación de la curva I-V de cada célula sana de un módulo fotovoltaico. Durante su ejecución, este módulo 39 se basa en la base de datos de curvas I-V disponibles.

50 Cada una de las células fotovoltaicas que se han declarado en un estado sano por el módulo de detección 35 tienen una temperatura igual a T_{sana} . Además, sufren, por lo tanto, obligatoriamente, una radiación igual a G_{sano} .

Conociendo T_{sana} y G_{sano} , el módulo 39 de estimación busca en la base de datos de las curvas I-V la curva I-V correspondiente a estas condiciones de funcionamiento.

55 Partiendo de esta curva I-V, un módulo 40 específico de la unidad de tratamiento 3 puede identificar los valores de la corriente I_{mpp} y V_{mpp} . Estos valores son útiles al módulo de estimación de la temperatura ambiente para determinar el valor de la temperatura ambiente T_a , según el razonamiento descrito a continuación.

Etapa E6 – estimación de la temperatura ambiente

60 El sistema puede comprender un dispositivo de medición 4 de la temperatura ambiente que está conectado a la unidad de tratamiento 3 por medio del módulo de comunicación 31.

65 En sustitución o en complemento, la unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo 41 de estimación de la temperatura ambiente (por ejemplo, si el sensor de temperatura ambiente está ausente). Este módulo aplica el método siguiente:

Se tiene:

$$P_{elec_sana} = I_{mpp} \times V_{mpp}$$

$$G_{sano} = P_{th_sana} + P_{elec_sana}$$

$$P_{th_sana} = U_{th} \times (T_{sana} - T_a)$$

5

Se obtiene entonces:

$$T_a = T_{sana} - \frac{(G_{sano} - P_{elec_sana})}{U_{th}}$$

10 con:

- P_{elec_sana} que corresponde a la potencia eléctrica proporcionada por una célula sana;

- I_{mpp} que corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo ("Maximum Power Point");

15

- V_{mpp} que corresponde a la tensión en el punto de funcionamiento máximo;

- P_{th_sana} que corresponde a la potencia térmica liberada por una célula sana;

20

- T_{sana} que corresponde a la temperatura de una célula sana;

- T_a que corresponde a la temperatura ambiente buscada;

25

- G_{sano} que representa la irradiancia recibida por el módulo, es decir la potencia del flujo luminoso que irradia el módulo fotovoltaico de referencia (por lo tanto, el módulo sano);

Etapa E7 – estimación de la potencia térmica disipada por cada célula fotovoltaica defectuosa

30

La unidad de tratamiento 3 puede comprender un módulo 42 de estimación de la potencia térmica disipada por cada célula defectuosa. Esta potencia se expresa mediante la relación siguiente:

$$P_{th_cél_k} = U_{th} \times (T_{cél_k} - T_a)$$

en la que:

35

- $P_{th_cél_k}$ corresponde a la potencia térmica disipada por una célula k defectuosa del módulo;

- U_{th} corresponde al coeficiente de intercambio térmico del módulo;

40

- T_a corresponde a la temperatura ambiente;

Etapa E8 – estimación de la curva I-V de cada célula fotovoltaica defectuosa

45

La unidad de tratamiento 3 comprende un módulo 43 de estimación de la curva I-V de cada célula k defectuosa de un módulo fotovoltaico.

Este módulo 43 de estimación aplica el algoritmo descrito anteriormente. Este algoritmo consiste en definir la situación teniendo en cuenta el estado de las diferentes células y de la situación de cada célula defectuosa dentro de la cadena de módulos y dentro de su submódulo. Las figuras 8 a 10 ilustran precisamente las diferentes etapas realizadas y los diferentes casos de funcionamiento a tener en cuenta.

50

El módulo 43 de estimación aplica un primer módulo de ensayo para verificar si la cadena de módulos fotovoltaicos está totalmente defectuosa, es decir que no comprende ninguna célula fotovoltaica cuya temperatura es igual a T_{sana} (etapa E80) o si la cadena no está totalmente defectuosa y comprende al menos una célula sana, cuya temperatura es igual a T_{sana} (etapa E81).

55

A. Primer caso de funcionamiento – E80

5 En este primer caso de funcionamiento, la cadena de módulos fotovoltaicos vigilada no comprende ninguna célula fotovoltaica sana, es decir ninguna célula fotovoltaica cuya temperatura es igual a T_{sana} .

Este caso se explica por un fallo de conexión de la cadena de módulos fotovoltaicos al ondulator o por un fallo claro de cortocircuito o de tipo circuito abierto (por ejemplo, a nivel de la conexión entre dos módulos).

10 En este caso, cada célula fotovoltaica del módulo fotovoltaico puede caracterizarse por una curva I-V equivalente a la de una célula sana, ya que las células no están directamente implicadas.

B. Segundo caso de funcionamiento – E81

15 En este segundo caso de funcionamiento, la cadena de módulos fotovoltaicos comprende al menos una célula k defectuosa y al menos una célula fotovoltaica sana, es decir cuya temperatura es igual a T_{sana} .

Este segundo caso de funcionamiento puede dividirse en dos subcasos de funcionamiento:

20 a) un primer subcaso de funcionamiento (E810) en el que la célula fotovoltaica k defectuosa está acompañada en su submódulo de al menos una célula fotovoltaica sana cuya temperatura es igual a T_{sana} .

25 b) un segundo subcaso de funcionamiento (E811) en el que la célula fotovoltaica k defectuosa no está acompañada en su submódulo de ninguna célula fotovoltaica sana, es decir de ninguna célula fotovoltaica cuya temperatura es igual a T_{sana} .

a) En el primer subcaso de funcionamiento (E810), para la célula k que está defectuosa en el submódulo y cuya temperatura $T_{cél-k}$ es diferente de T_{sana} , se tiene:

30 - la corriente $I_{cél-k}$ que atraviesa la célula k es idéntica a I_{mpp} ya que las células fotovoltaicas están en serie en el submódulo;

- En referencia a la figura 9A, si $T_{cél-k} < T_{sana}$, se puede concluir que:

35 * la célula fotovoltaica k está sombreada y tiene, por lo tanto, una irradiancia $G_{cél-k}$;

* la potencia térmica disipada por la célula k defectuosa es igual entonces a:

$$P_{th_cél_k} = G_{cél_k} - I_{mpp} \times V_{cél_k}$$

40 con:

45 * $P_{th_cél_k}$ que es la potencia térmica proporcionada por la célula k defectuosa, conociéndose este valor por la relación definida anteriormente en la etapa 7: $P_{th_cél_k} = U_{th} \times (T_{cél_k} - T_a)$;

* I_{mpp} que es la corriente en el punto de funcionamiento máximo ("Maximum Power Point") que se conoce también por la realización de la etapa 5 anterior.

50 * se trata entonces de realizar un circuito de reconocimiento tal como se representa en la figura 9A. El circuito consiste en:

* hacer que la irradiancia G tome un valor (anotada G_{in}) entre 0 y G_{sano} (bloque B1);

55 * buscar en la base de datos D_IV de las curvas I-V, la curva que corresponde al valor de G_{in} seleccionado en la entrada y al valor de $T_{cél-k}$ conocido (bloque B2);

* encontrar la curva I-V buscada (bloque B3) en la base de datos D_IV;

60 * a partir de la curva seleccionada, se trata de deducir de ella el valor de V que corresponde al valor de I_{mpp} conocido;

* finalmente, se trata de verificar si los datos de G_{in} y V permiten verificar la relación siguiente (bloque B4):

$$G = G_{cél_k} = P_{th_cél_k} + I_{mpp} \times V(I_{mpp})$$

con $P_{th_cél_k}$ y I_{mpp} que son, por otro lado, conocidos;

* si se verifica la relación (ramificación Y), la curva I-V seleccionada se conserva (bloque B5);

* si no se verifica la relación (Ramificación N), la curva seleccionada en la base de datos D_IV no es correcta (bloque B6) y se vuelve a empezar el circuito partiendo de un nuevo valor G_{in} atribuido a G (Bloque B7). El circuito se detiene cuando la relación anterior se verifica.

- En referencia a la figura 9B, si $T_{cél_k} > T_{sana}$, se puede concluir que:

* Para cada célula sana presente en el submódulo, la curva I-V corresponde a la curva para la cual la temperatura es igual a T_{sana} y para la cual la irradiancia es igual a G_{sano} (Bloque B10);

* a partir de la curva I-V de una célula sana en el submódulo, es posible deducir directamente I_{mpp} y V_{mpp} (bloque B11);

* la célula k defectuosa está a la temperatura $T_{cél_k}$ (bloque B12);

* las pérdidas térmicas suplementarias generadas por esta célula k defectuosa se determinan en la etapa E3 descrita anteriormente y que se expresan mediante la relación (bloque B13):

$$\Delta P_{th_cél_k} = U_{pv} \times (T_{cél_k} - T_{sana})$$

* a partir de los datos anteriores, la tensión de la célula k defectuosa es igual a: $V_{cél_k} = V_{mpp} - \Delta P_{th_cél_k} / I_{mpp}$ (bloque B14);

* la célula fotovoltaica recibe una radiación $G_{cél_k} = G_{sano}$ idéntica a la de la célula sana (Bloque B15);

* el módulo 43 de estimación búsqueda (bloque B16) en la base de datos D_IV de curvas I-V la curva correspondiente (bloque B16);

* la curva I-V de la célula k defectuosa es por lo tanto la curva presente en la base de datos para la cual la temperatura $T = T_{cél_k}$ y para la cual el punto definido por $I_{cél_k}$ y $V_{cél_k}$ pertenece a la curva (bloque B17);

b) En el segundo subcaso de funcionamiento (E811), el submódulo no comprende ninguna célula fotovoltaica sana, es decir ninguna célula cuya temperatura es igual a T_{sana} . El módulo 43 de estimación dispone, sin embargo, de las informaciones siguientes:

- si la célula estuviese sana, su curva I-V correspondería a la curva para la cual la temperatura es igual a T_{sana} y para la cual la irradiancia es igual a G_{sano} (Bloque B100);

- A partir de la curva I-V de una célula sana, es posible deducir directamente I_{mpp} y V_{mpp} (bloque B101);

- la célula k defectuosa está a la temperatura $T_{cél_k}$ (bloque B102);

- cada célula k defectuosa genera entonces unas pérdidas térmicas según la relación (bloque B103):

$$\Delta P_{th_cél_k} = U_{pv} \times (T_{cél_k} - T_{sana})$$

- la tensión total del submódulo es nula, es decir $\sum_1^n V_{cél_k} = 0$, ya que el diodo de derivación del submódulo se ha activado;

- Las células fotovoltaicas del submódulo están atravesadas por una corriente idéntica;

- Cada punto de funcionamiento definido por $I_{cél_k}$ y $V_{cél_k}$ se encuentra sobre una curva I-V tal que (bloque B104):

$$I_k(V) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / V \text{ o } V_k(I) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / I$$

* Para una célula dada, si $P_{elec} = P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k} = 0$, es decir si la célula fotovoltaica está en cortocircuito o en circuito abierto, entonces su curva I-V corresponde al conjunto de los puntos situados sobre los dos semi-ejes $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

Sin embargo, se puede entonces identificar dos casos (E812a, E812b) distintos:

5 1) En el primer caso (E812a), todas las células del submódulo proporcionan cada una potencia eléctrica nula, es decir que:

$$P_{elec} = P_{elec_sana} - \Delta P_{th_{cél_k}} = 0$$

10 - En la escala de cada célula fotovoltaica, cada célula está probablemente sana y presenta por lo tanto una curva I-V equivalente a la de una célula sana.

- En la escala del submódulo, la curva I-V se define como el conjunto de los puntos situados en los dos semi-ejes $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

15 2) En el segundo caso (E812b), al menos una célula fotovoltaica del submódulo proporciona una potencia eléctrica diferente de cero, es decir que, para esta célula, se tiene:

$$P_{elec} = P_{elec_sana} - \Delta P_{th_{cél_k}} \neq 0$$

20 En esta situación, en referencia a la figura 10, el módulo de estimación realiza el circuito siguiente:

- fija un mismo valor de corriente I_{in} (bloque B105) para todas las células defectuosas del submódulo (siendo la corriente idéntica en todas estas células);

25 - determina para cada célula k defectuosa del submódulo un valor de tensión $V_{cél_k}$ correspondiente a partir de la relación $V_{cél_k}(I_{in}) = (P_{sana} - \Delta P_{th_{cél_k}}) / I_{in}$

- para las n células k del submódulo (yendo k de 1 a n), obtiene un valor particular de tensión $V_{cél_k}$ (bloque B106);

30 - verifica después si $\sum_1^n V_{cél_k} = 0$ (bloque B107);

- si no se verifica la relación (ramificación N), vuelve a empezar el circuito modificando el valor de la corriente I_{in} aplicada en la entrada (bloque B108). La corriente se selecciona, por ejemplo, en un intervalo que va de I_{mpp} (para una célula sana) a 0.

35 - si se verifica la relación (ramificación Y), busca (bloque B109), en la base de datos D_IV de curvas I-V, para cada célula k defectuosa en el submódulo, la curva que corresponde a la temperatura $T_{cél_k}$ y a la cual pertenece el punto de coordenadas $(I_{cél_k}, V_{cél_k})$ que se ha determinado;

40 - la curva I-V se obtiene entonces para cada célula k defectuosa en el submódulo (bloque B110);

A partir del algoritmo completo desarrollado anteriormente, la unidad de tratamiento 3 es capaz de estimar la curva I-V de una célula fotovoltaica defectuosa en un módulo fotovoltaico, simplemente a partir de una medición de su temperatura y refiriéndose a la base de datos de curvas I-V.

45 La solución de la invención es, por lo tanto, particularmente simple de realizar, fiable y poco costosa. La base de datos D-Iv a menudo ya está disponible y podrá utilizarse fácilmente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico (Mi), comprendiendo dicho módulo fotovoltaico varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y uno o varios diodos de derivación, estando cada diodo de derivación configurado para derivar un submódulo formado de una o varias células fotovoltaicas de dicho módulo fotovoltaico, que comprende unas etapas de:
- 5 - obtención de la irradiancia recibida por dicho módulo fotovoltaico,
 - 10 - obtención de una temperatura de cada célula fotovoltaica de un primer submódulo de dicho módulo fotovoltaico,
 - comparación de dicha temperatura obtenida para cada célula fotovoltaica del primer submódulo con una temperatura de referencia (T_{ref}),
 - 15 - determinación del estado de cada célula fotovoltaica del primer submódulo entre un estado sano, para el cual su temperatura es igual a la temperatura de referencia, y un estado defectuoso, para el cual su temperatura es diferente de dicha temperatura de referencia,
 - 20 - estimación de la curva I-V asociada a una primera célula fotovoltaica de dicho primer submódulo, mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V, teniendo en cuenta:
 - * el estado sano o el estado defectuoso de dicha primera célula fotovoltaica;
 - * el estado sano o el estado defectuoso de todas las otras células fotovoltaicas del primer submódulo;
 - 25 * la potencia eléctrica proporcionada por cada célula fotovoltaica del primer submódulo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que:
- 30 - si la primera célula fotovoltaica está en dicho estado defectuoso, comprende una etapa de:
 - * determinación de si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que todas las células fotovoltaicas están en estado defectuoso, o si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que:
- 40 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano, comprende una etapa de:
 - * determinación de si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano o a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que:
- 45 - si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano, comprende una etapa de:
 - 50 * comparación de la temperatura de la primera célula con dicha temperatura de referencia para determinar si dicha temperatura de la primera célula es superior a dicha temperatura de referencia o inferior a dicha temperatura de referencia.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que:
- 55 - si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es inferior a la temperatura de referencia, consiste en realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:
 - 60 * una etapa de aplicación de una primera irradiancia;
 - * una etapa de determinación en la base de datos de curvas I-V de una primera curva I-V que corresponde a dicha primera irradiancia y a dicha temperatura de la primera célula fotovoltaica;
 - 65 * a partir de dicha primera curva, una etapa de determinación de la tensión que corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* una etapa de verificación de la relación siguiente:

$$G = P_{th_cél_k} + I_{mpp} \times V(I_{mpp})$$

5 en la que:

- G corresponde a dicha primera irradiancia introducida en la entrada;
- $P_{th_cél_k}$ corresponde a la potencia térmica generada por dicha primera célula fotovoltaica;
- I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;
- $V(I_{mpp})$ corresponde a la tensión determinada sobre dicha primera curva I-V para dicha corriente en el punto de funcionamiento máximo;

15 * si se verifica dicha relación, dicha curva I-V es válida;

* si no se verifica dicha relación, se vuelve a empezar dicho circuito modificando el valor de la irradiancia aplicada en la entrada.

20 6. Procedimiento según la reivindicación 4 o 5, caracterizado por que:

- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es superior a la temperatura de referencia, comprende:

25 * una etapa de determinación de la tensión de la primera célula fotovoltaica defectuosa a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k} = V_{mpp} - \Delta P_{th_cél_k} / I_{mpp}$$

30 en la que:

- $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de la primera célula fotovoltaica;
- V_{mpp} corresponde a la tensión en el punto de funcionamiento máximo;
- $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por la primera célula fotovoltaica defectuosa;
- I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

40 * una etapa de búsqueda en la base de datos de curvas I-V de la curva I-V que corresponde a una irradiancia de referencia, y para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la corriente en el punto de funcionamiento máximo pertenece a la curva.

45 7. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que:

- si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano, comprende una etapa de:

50 * determinación de si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula o si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que:

- si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula, comprende una etapa de:

55 * estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V definida por $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

60 9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, caracterizado por que:

- si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero, consiste en realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:

65 * una etapa de aplicación de una primera corriente;

* una etapa de determinación, para cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, de la tensión de la célula a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k}(I_{in}) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / I_{in}$$

5

en la que:

- $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, con $k=1$ a n células fotovoltaicas en el submódulo;
- I_{in} corresponde a dicha primera corriente aplicada en la entrada;
- P_{elec_sana} corresponde a la potencia proporcionada por una célula fotovoltaica en un estado sano;
- $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por cada célula fotovoltaica defectuosa;

10

15

* una etapa de determinación de la suma de las tensiones de todas las células fotovoltaicas del submódulo;

* una etapa de verificación si dicha suma es nula o diferente de cero;

20

* si dicha suma es nula:

- una etapa de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la primera corriente aplicada en la entrada pertenece a la curva;

25

* si dicha suma es diferente de cero:

- una etapa de modificación de la primera corriente aplicada en la entrada y una nueva realización de dicho circuito de búsqueda teniendo en cuenta la primera corriente modificada.

30

10. Sistema de caracterización eléctrica de una célula fotovoltaica de un módulo fotovoltaico (Mi), comprendiendo dicho módulo fotovoltaico varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y uno o varios diodos de derivación, estando cada diodo de derivación configurado para derivar un submódulo formado de una o varias células fotovoltaicas de dicho módulo fotovoltaico, que comprende:

35

- un módulo de obtención de la irradiancia recibida por dicho módulo fotovoltaico,

40

- un módulo de obtención de una temperatura de cada célula fotovoltaica de un primer submódulo de dicho módulo fotovoltaico,

- un módulo de comparación de dicha temperatura obtenida para cada célula fotovoltaica del primer submódulo con una temperatura de referencia (T_{ref}),

45

- un módulo de determinación del estado de cada célula fotovoltaica del primer submódulo entre un estado sano, para el cual su temperatura es igual a la temperatura de referencia, y un estado defectuoso. para el cual su temperatura es diferente de dicha temperatura de referencia,

50

- un módulo de estimación de la curva I-V asociada a una primera célula fotovoltaica de dicho primer submódulo, mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V, teniendo en cuenta:

* el estado sano o el estado defectuoso de dicha primera célula fotovoltaica;

55

* el estado sano o el estado defectuoso de todas las otras células fotovoltaicas del primer submódulo;

* la potencia eléctrica proporcionada por cada célula fotovoltaica del primer submódulo.

11. Sistema según la reivindicación 10, caracterizado por que:

60

- si la primera célula fotovoltaica está en dicho estado defectuoso, se configura para ejecutar:

* un módulo para determinar si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que todas las células fotovoltaicas están en estado defectuoso o si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano.

65

12. Sistema según la reivindicación 11, caracterizado por que:

- si la primera célula fotovoltaica pertenece a una cadena de módulos en la que al menos una célula fotovoltaica está en un estado sano, se configura para ejecutar:

* un módulo para determinar si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano o a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano.

13. Sistema según la reivindicación 12, caracterizado por que:

- si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que comprende al menos una célula en estado sano, se configura para ejecutar:

* un módulo de comparación de la temperatura de la primera célula con dicha temperatura de referencia para determinar si dicha temperatura de la primera célula es superior a dicha temperatura de referencia o inferior a dicha temperatura de referencia.

14. Sistema según la reivindicación 13, caracterizado por que:

- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es inferior a la temperatura de referencia, se configura para ejecutar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:

* una etapa de aplicación de una primera irradiancia;

* una etapa de determinación en la base de datos de curvas I-V de una primera curva I-V que corresponde a dicha primera irradiancia y a dicha temperatura de la primera célula fotovoltaica;

* a partir de dicha primera curva, una etapa de determinación de la tensión que corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* una etapa de verificación de la relación siguiente:

$$G = P_{th_cél_k} + I_{mpp} \times V(I_{mpp})$$

en la que:

▪ G corresponde a dicha primera irradiancia introducida en la entrada;

▪ $P_{th_cél_k}$ corresponde a la potencia térmica generada por dicha primera célula fotovoltaica;

▪ I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

▪ $V(I_{mpp})$ corresponde a la tensión determinada sobre dicha primera curva I-V para dicha corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* si se verifica dicha relación, dicha curva I-V es válida;

* si no se verifica dicha relación, se vuelve a empezar dicho circuito modificando el valor de la irradiancia aplicada en la entrada.

15. Sistema según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por que:

- si la temperatura de la primera célula fotovoltaica es superior a la temperatura de referencia, se configura para ejecutar:

* un módulo de determinación de la tensión de la primera célula fotovoltaica defectuosa a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k} = V_{mpp} - \Delta P_{th_cél_k} / I_{mpp}$$

en la que:

▪ $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de la primera célula fotovoltaica;

- V_{mpp} corresponde a la tensión en el punto de funcionamiento máximo;
- $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por la primera célula fotovoltaica defectuosa;
- I_{mpp} corresponde a la corriente en el punto de funcionamiento máximo;

* un módulo de búsqueda en la base de datos de curvas I-V de la curva I-V que corresponde a una irradiancia de referencia, y para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la corriente en el punto de funcionamiento máximo pertenece a la curva.

16. Sistema según la reivindicación 12, caracterizado por que:

- si la primera célula fotovoltaica pertenece a un submódulo que no comprende ninguna célula en estado sano, se configura para ejecutar:

* un módulo para determinar si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula o si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero.

17. Sistema según la reivindicación 16, caracterizado por que:

- si todas las células de su submódulo presentan una potencia eléctrica nula, se configura para ejecutar:

* un módulo de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V definida por $\{(I, V) \text{ tal que } I \geq 0 \text{ y } V = 0\}$ y $\{(I, V) \text{ tal que } I = 0 \text{ y } V \geq 0\}$;

18. Sistema según la reivindicación 16 o 17, caracterizado por que:

- si al menos una célula de dicho submódulo presenta una potencia eléctrica diferente de cero, está configurado para realizar un circuito de búsqueda de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica, comprendiendo dicho circuito de búsqueda:

* una etapa de aplicación de una primera corriente;

* una etapa de determinación, para cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, de la tensión de la célula a partir de la relación siguiente:

$$V_{cél_k}(I_{in}) = (P_{elec_sana} - \Delta P_{th_cél_k}) / I_{in}$$

en la que:

- $V_{cél_k}$ corresponde a la tensión de cada célula fotovoltaica de dicho submódulo, con k=1 a n células fotovoltaicas en el submódulo;
- I_{in} corresponde a dicha primera corriente aplicada en la entrada;
- P_{elec_sana} corresponde a la potencia proporcionada por una célula fotovoltaica en un estado sano;
- $\Delta P_{th_cél_k}$ corresponde a las pérdidas energéticas ocasionadas por cada célula fotovoltaica defectuosa;

* una etapa de determinación de la suma de las tensiones de todas células fotovoltaicas del submódulo;

* una etapa de verificación si dicha suma es nula o diferente de cero;

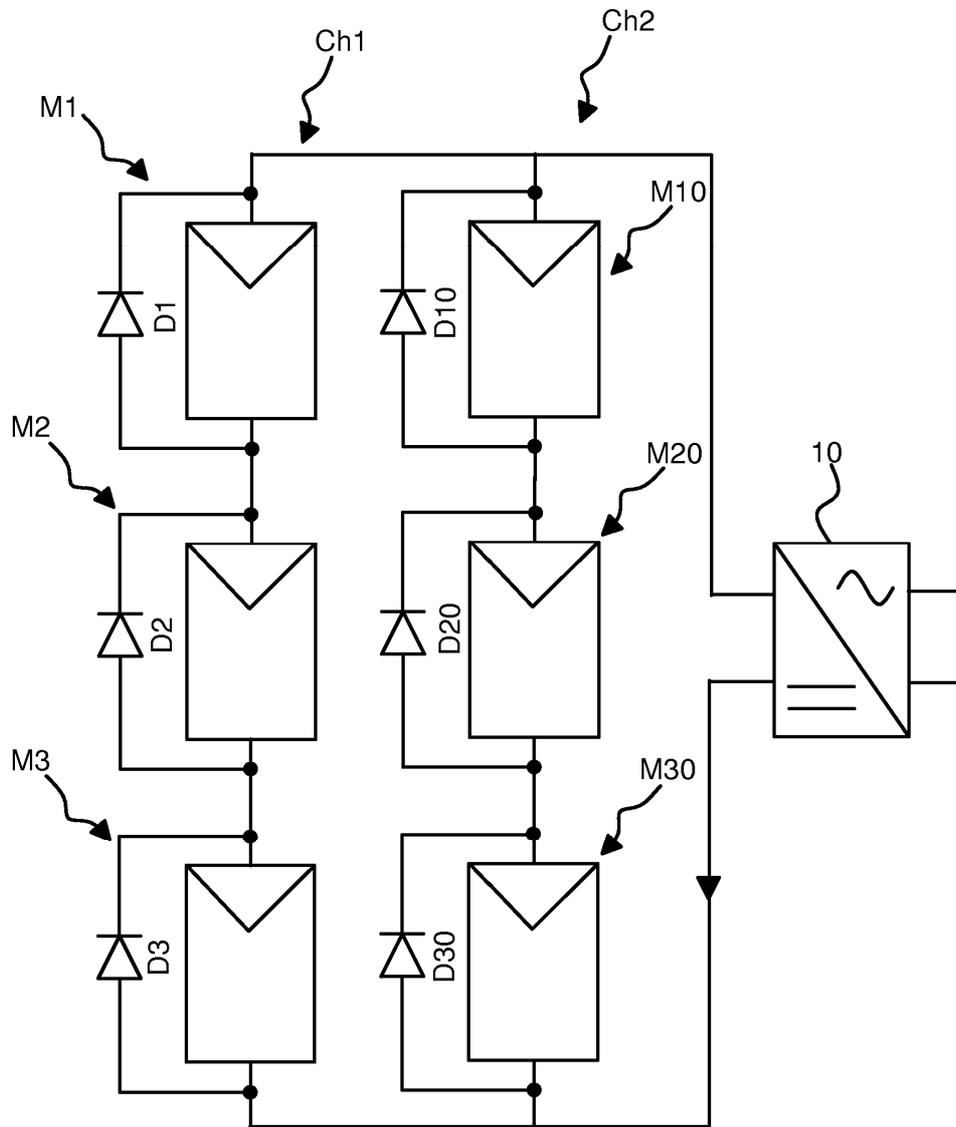
* si dicha suma es nula:

- una etapa de estimación de la curva I-V asociada a dicha primera célula fotovoltaica mediante búsqueda en una base de datos de curvas I-V de una curva I-V para la cual el punto que tiene por coordenadas dicha tensión determinada para la primera célula fotovoltaica y la primera corriente aplicada en la entrada pertenece a la curva;

* si dicha suma es diferente de cero:

- una etapa de modificación de la primera corriente aplicada en la entrada y una nueva realización de dicho circuito de búsqueda teniendo en cuenta la primera corriente modificada.

Fig. 1



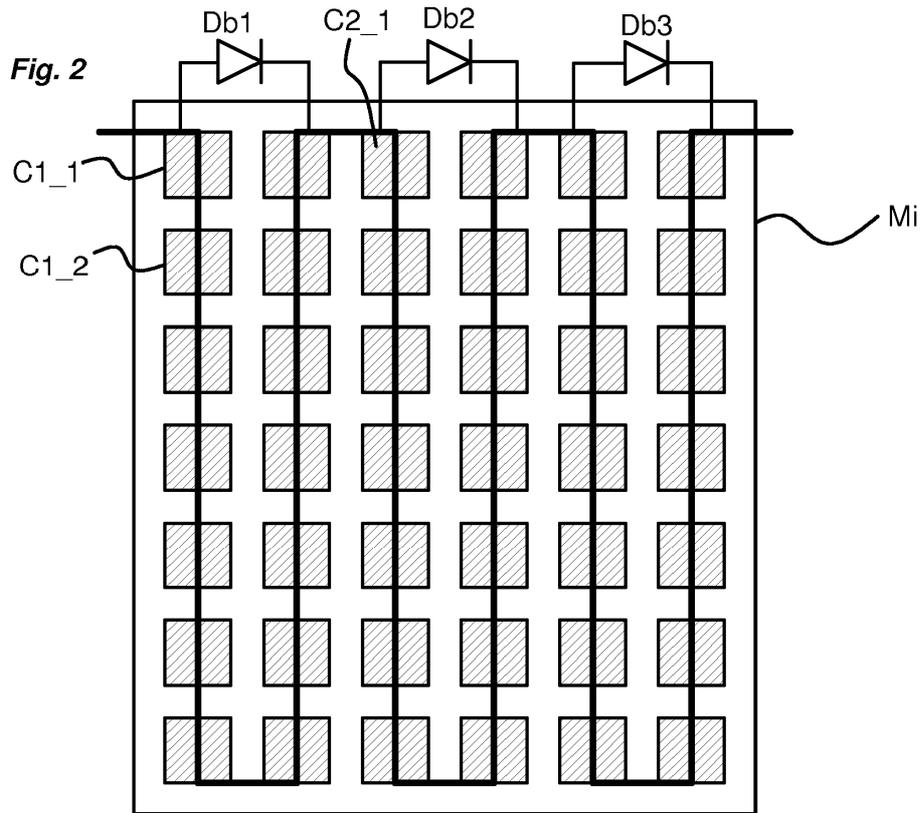


Fig. 3

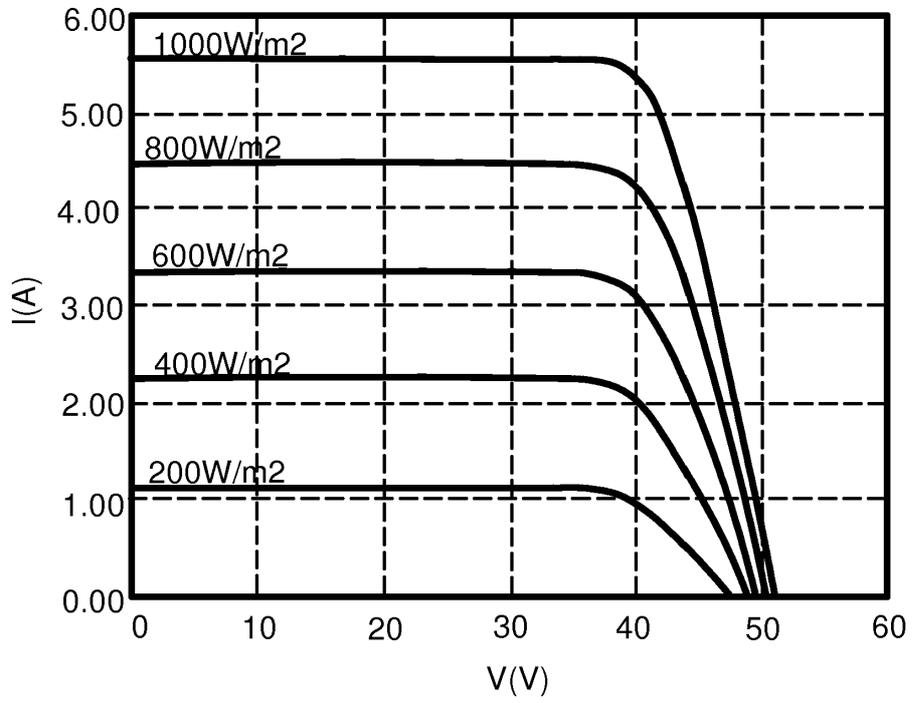
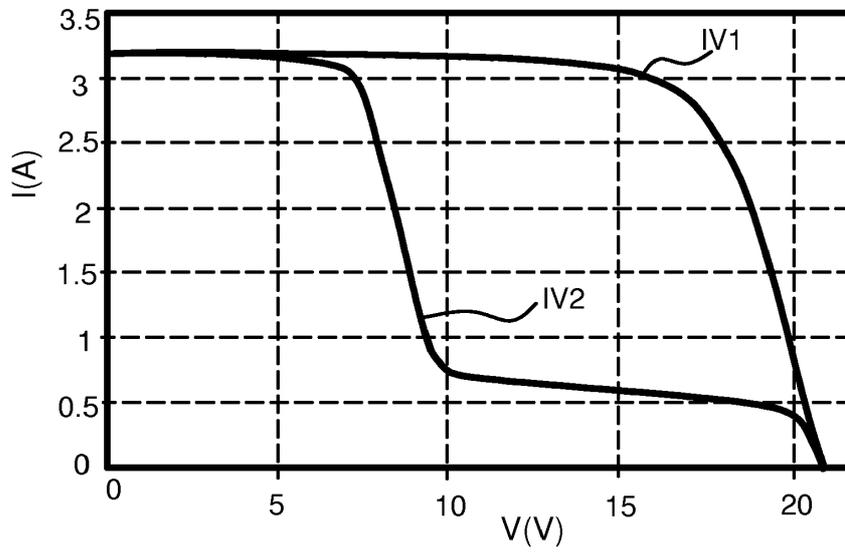


Fig. 4



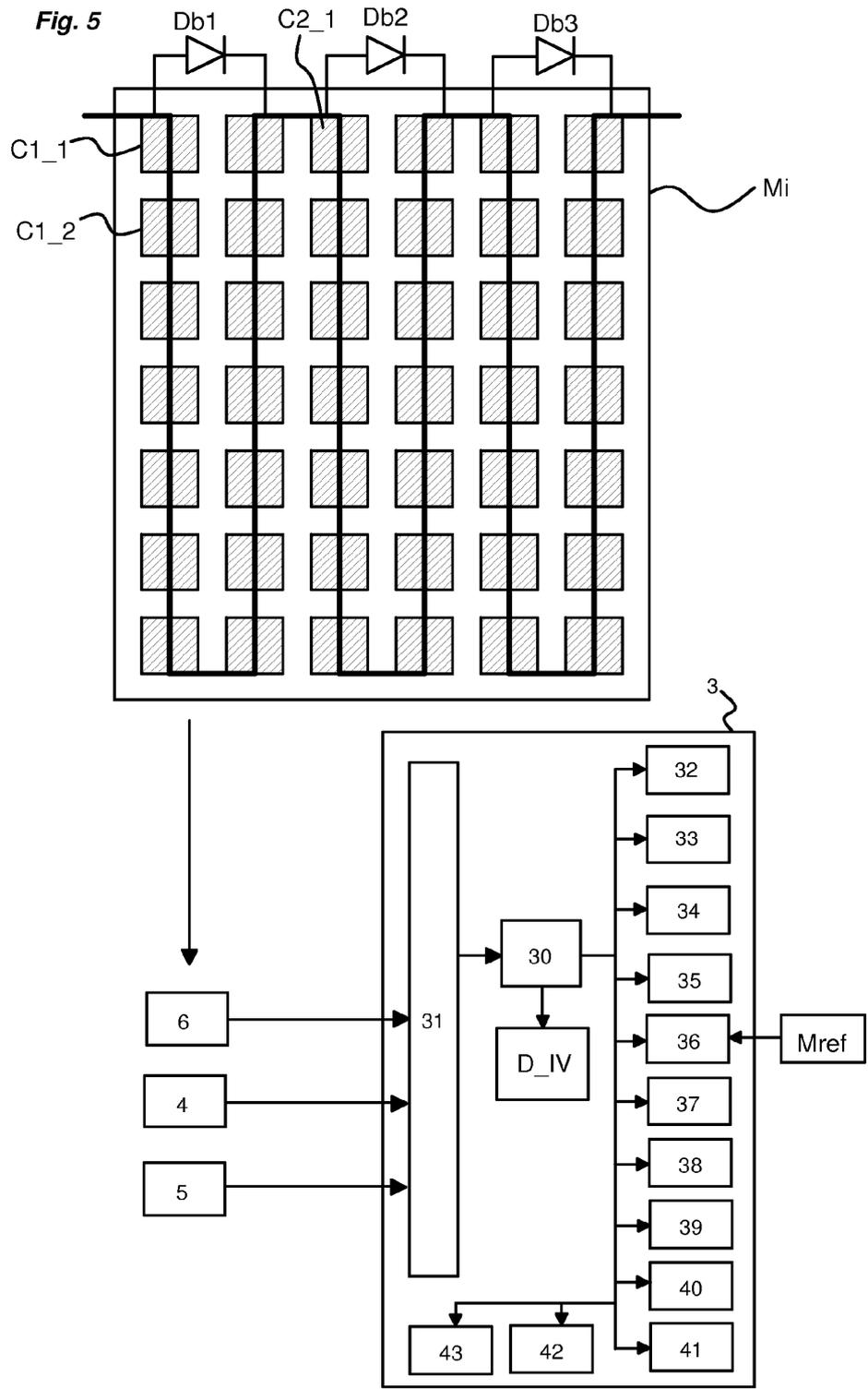


Fig. 6A

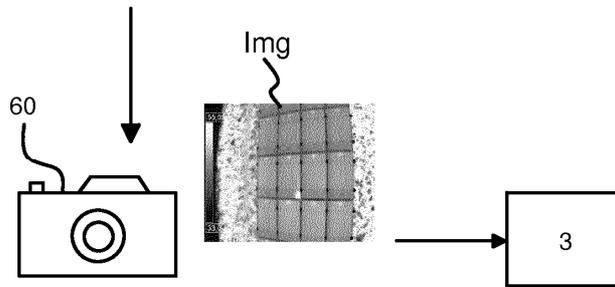
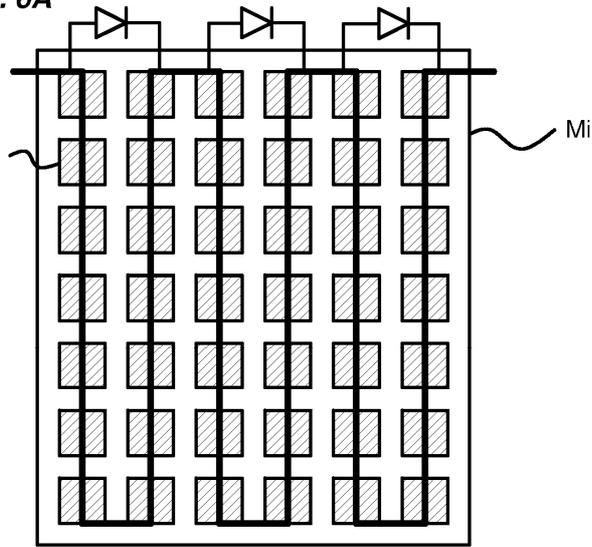


Fig. 6B

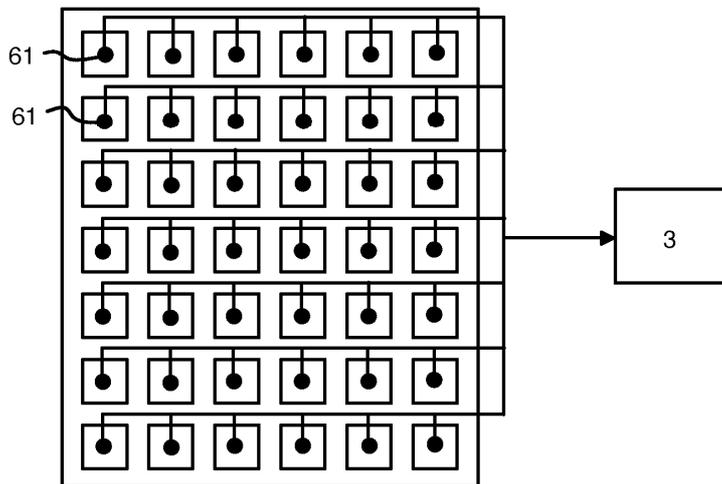


Fig. 7

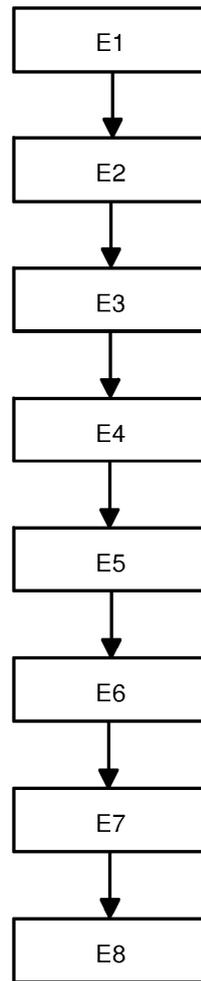


Fig. 8

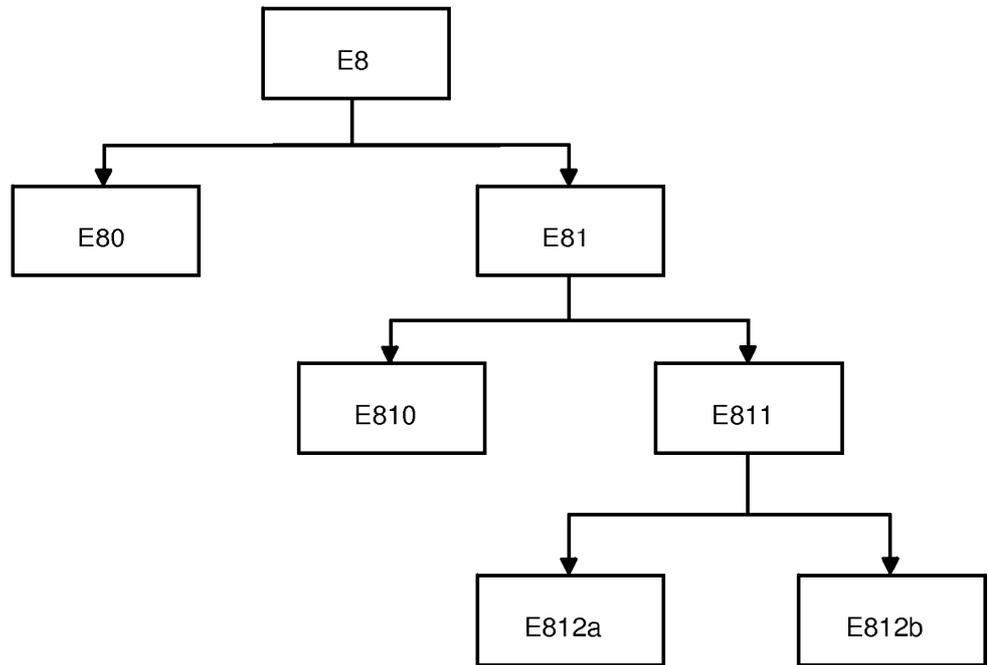


Fig. 9A

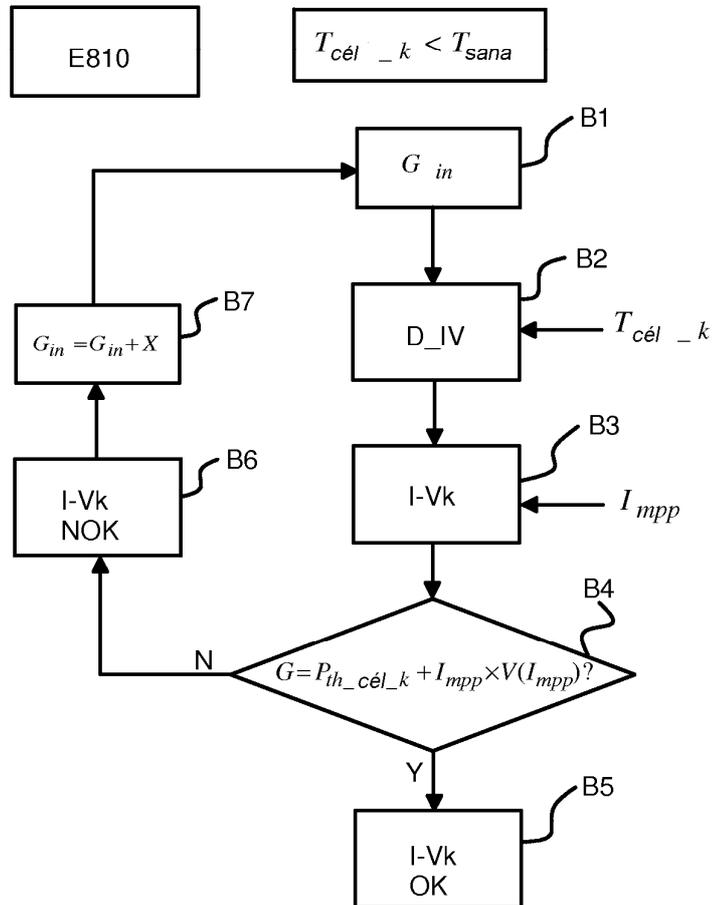


Fig. 9B

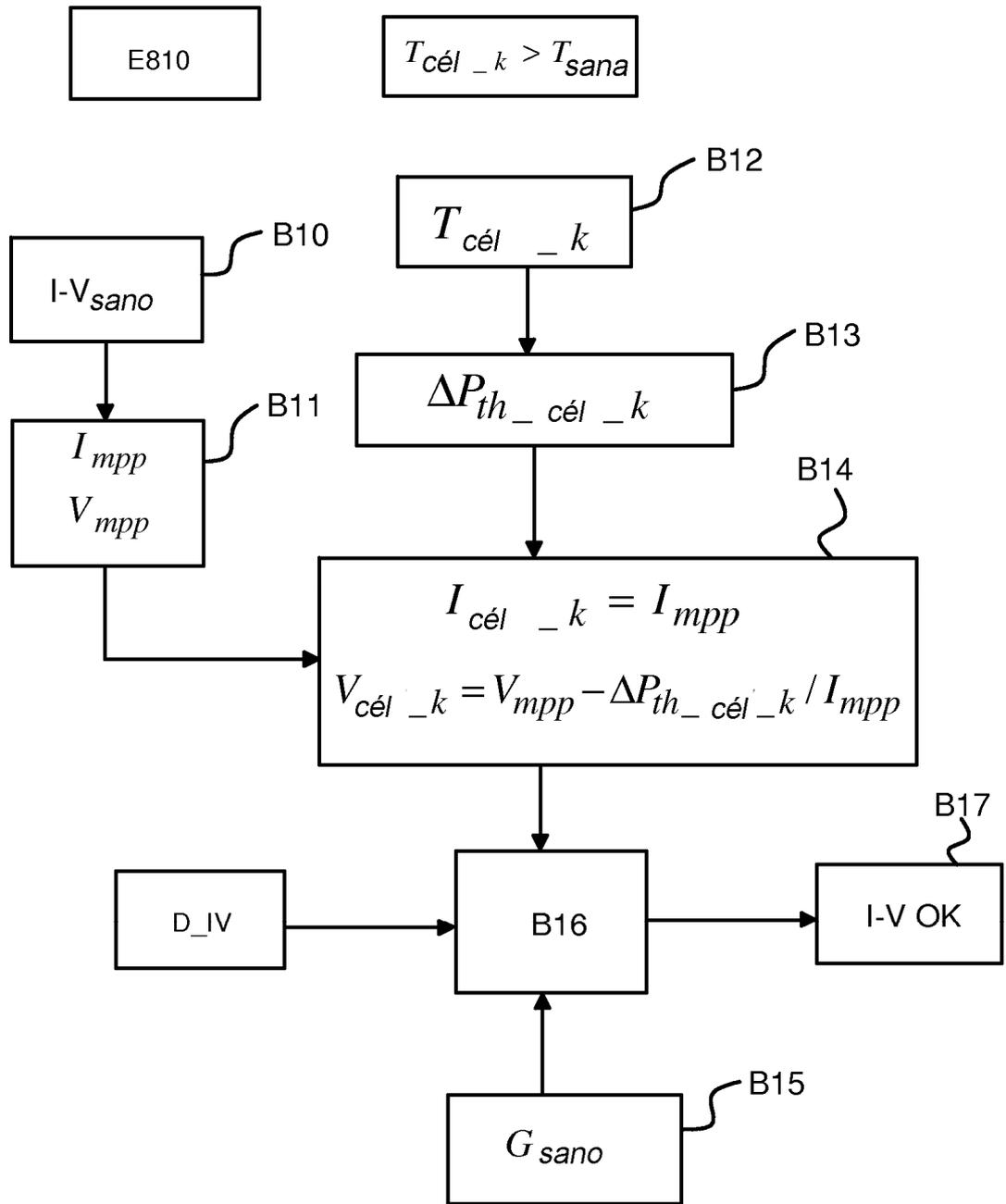


Fig. 10

