

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 930 067**

51 Int. Cl.:

H02S 50/10 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2019** **E 19178090 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2022** **EP 3748843**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para comprobar la degradación de material en células solares y módulos solares**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.12.2022

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastr. 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**TUREK, MARKO;
HAGENDORF, CHRISTIAN y
SPORLEDER, KAI**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 930 067 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 y dispositivo para comprobar la degradación de material en células solares y módulos solares

5 Sector de aplicación técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento, así como a un dispositivo para comprobar la degradación de material eléctrica en células solares y módulos solares.

10 En la producción de células solares y módulos solares se utilizan de manera continua nuevos materiales o combinaciones de materiales en relación con procesos de células solares modificados. De ese modo, las células solares y los módulos solares pueden presentar como resultado una sensibilidad diferente en cuanto al envejecimiento (degradación) en el funcionamiento en campo. La degradación de material se manifiesta en una potencia decreciente de las células solares y los módulos solares a lo largo de la vida útil. A este respecto aparecen sobre todo degradación inducida por la luz, es decir un empeoramiento de las propiedades de materiales semiconductores debido a la incidencia de luz, y degradación inducida por potencial, provocada por una alta tensión en el marco de módulo de módulos solares en comparación con la tensión de la célula. Sin embargo, no solo la degradación de los materiales semiconductores provoca una pérdida de potencia de las células solares y los módulos solares sino también ensuciamientos u otros envejecimientos ópticos, por ejemplo, de los materiales de encapsulación. Una evaluación de los datos de potencia o de rendimiento de las células solares o los módulos solares, que se pueden obtener mediante la monitorización del inversor de una instalación fotovoltaica, no permiten sacar conclusiones sobre la causa de una pérdida de potencia o el tipo de una degradación. De este modo, se pueden establecer disminuciones de potencia, pero no derivarse contramedidas dirigidas.

25 Estado de la técnica anterior

Para la diferenciación de los tipos de pérdida en células solares o módulos solares tienen que emplearse hasta la fecha procedimientos de diagnóstico extensos. A este respecto, la comprobación de módulos solares puede tener lugar mediante aparatos de medición externos tales como, por ejemplo, cámaras directamente en el campo, permaneciendo los módulos solares instalados en la conexión en cadena. Además, se conoce comprobar módulos solares mediante aparatos de medición móviles en un carro de pruebas *in situ* o en un laboratorio de pruebas remoto. Sin embargo, para este propósito, los módulos tienen que retirarse de la cadena y en el caso del laboratorio de pruebas transportarse también en primer lugar al laboratorio. Como métodos de medición para comprobar los módulos solares se utilizan actualmente de manera preferente obtención de imágenes por electroluminiscencia, obtención de imágenes por infrarrojos, mediciones I-V en condiciones de medición estándar con simuladores solares, así como inspección óptica o microóptica. En el caso de los métodos de obtención de imágenes *in situ* se pueden localizar defectos, pero apenas cuantificarse, dado que no se pueden producir condiciones normalizadas en el campo. En el caso de las mediciones I-V es necesaria una fuente de luz normalizada, cuya utilización en el campo está asociada, sin embargo, con un gran despliegue.

40 Por la Patente WO 2013/170422 A1 se conoce un procedimiento para comprobar células solares y módulos solares, con el que se puede medir la característica de corriente-tensión de las células solares o los módulos solares con alta precisión. A este respecto, las células solares o los módulos solares se iluminan con pulsos de luz cortos, durante cada pulso de luz se aumenta gradualmente la tensión eléctrica en la célula solar o el módulo solar y se registra la corriente suministrada por la célula solar o el módulo solar respectivamente en tiempos fijados, para obtener la característica de corriente-tensión. A este respecto, la sucesión temporal del aumento gradual de la tensión y de la medición de la corriente se selecciona de manera adecuada para evitar efectos capacitivos durante la medición. Sin embargo, esta publicación no da ninguna indicación sobre cómo se puede reconocer mediante una medición de este tipo una degradación de material de las células solares o los módulos solares o diferenciarse diferentes tipos de degradación de material.

El objetivo de la presente invención consiste en indicar un procedimiento, así como un dispositivo para comprobar la degradación de material en células solares y módulos solares, que posibiliten una comprobación de la degradación de material eléctrica independientemente de eventuales pérdidas provocadas ópticamente.

55 Exposición de la invención

El objetivo se alcanza con el procedimiento y el sistema para operar un dispositivo según las reivindicaciones 1 y 5.

60 Configuraciones ventajosas del procedimiento, así como del dispositivo son el objeto de las reivindicaciones dependientes o se pueden extraer de la siguiente descripción, así como de los ejemplos de realización.

65 En el procedimiento propuesto se mide con resolución temporal una corriente generada por la o las células solares o el módulo solar durante una variación gradual de la tensión eléctrica en la o las células solares o el módulo solar, para, basándose en un modelo eléctrico de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar, determinar una capacidad eléctrica de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar en función de la tensión. Según la presente invención, para

este propósito se realizan en las células solares o los módulos solares que se deben comprobar, como mínimo, dos mediciones. En la primera medición se aplica una tensión eléctrica a las conexiones eléctricas de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar y se varía gradualmente en un primer sentido, es decir se aumenta gradualmente o se reduce gradualmente. Durante la variación de la tensión eléctrica se mide con resolución temporal la corriente generada por la o las células solares o el módulo solar. Esta medición con resolución temporal comprende en el caso más sencillo una medición directamente antes y una medición directamente después del ajuste de la respectiva nueva tensión. En la segunda medición se aplica nuevamente una tensión eléctrica a las conexiones eléctricas de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar y, o bien se varía gradualmente en un primer sentido opuesto al primer sentido, es decir se reduce o se aumenta, o bien se mantiene constante para el ajuste de un estado de equilibrio en la o las células solares o el módulo solar a diferentes valores de tensión, mientras se mide nuevamente la corriente generada por la o las células solares o el módulo solar durante la respectiva variación de la tensión eléctrica o a una tensión respectivamente constante en el estado de equilibrio. Los cambios de tensión graduales durante la segunda medición se pueden realizar con la misma o también con una velocidad distinta a la de la primera medición. A partir de ambas mediciones se calcula entonces, basándose en un modelo eléctrico de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar, la capacidad eléctrica de la célula(s) solar(es) o del módulo solar en función de la tensión eléctrica aplicada a la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar. El cambio de tensión gradual entre las diferentes tensiones tiene lugar en cada operación de conmutación lo más rápidamente posible, preferentemente en un periodo de tiempo de entre 200 ms y 0,01 ms. A este respecto, la variación gradual puede comprender también solo un único cambio de tensión, es decir un escalón. A partir de la capacidad dependiente de la tensión se determina finalmente, mediante la comparación con valores de referencia o con una medición anterior y la determinación de la capacidad en la misma o las mismas células solares o el mismo módulo solar, un grado o una variación relativa de una degradación eléctrica de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar.

A este respecto, por degradación de material eléctrica se debe entender una degradación de material que tiene un efecto sobre las propiedades eléctricas de la célula solar o del módulo solar, es decir, en particular una degradación de material de los materiales semiconductores. Por el contrario, una degradación de material óptica solo tiene un efecto sobre las propiedades ópticas de la célula solar o del módulo solar, es decir sobre la absorción, reflexión o dispersión ópticas, y por tanto se refiere en particular a los materiales de encapsulación de la célula solar o del módulo solar.

El procedimiento propuesto se puede realizar en una célula solar individual, en una disposición de varias células solares o módulos solares conectados entre sí o en un módulo solar individual. En lo sucesivo, se explican el procedimiento y el dispositivo en primer lugar de manera representativa mediante la comprobación de un módulo solar. Sin embargo, las realizaciones son válidas de la misma manera también para una célula solar o una disposición de varias células solares o módulos solares conectados entre sí.

El dispositivo proporcionado para la realización del procedimiento propuesto presenta correspondientemente una alimentación de corriente o de tensión eléctrica, con la que se posibilita un aumento y/o una reducción graduales de la tensión eléctrica en el módulo solar que se debe comprobar, así como una unidad de medición, con la que se puede medir con resolución temporal una corriente suministrada por el módulo solar durante las variaciones de tensión. El dispositivo presenta además una unidad de control y de evaluación, que controla el aumento gradual de la tensión y la medición de la corriente, calcula a partir de las mediciones realizadas la capacidad dependiente de la tensión del módulo solar y realiza una comparación con valores de referencia almacenados o una medición anterior almacenada.

Por consiguiente, el procedimiento propuesto y el dispositivo asociado aprovechan una variación de la capacidad eléctrica dependiente de la tensión del módulo solar para el reconocimiento y dado el caso la cuantificación de degradación de material eléctrica. La capacidad de un módulo solar se determina de manera decisiva mediante las propiedades semiconductoras de las células solares. En las células solares, la vida útil del portador de carga en el semiconductor desempeña un papel dominante para la magnitud de la capacidad. Esta capacidad depende de la tensión aplicada, con lo que se puede diferenciar de otras capacidades independientes de la tensión en el módulo solar, por ejemplo, debido a conducciones de entrada. De este modo, se pueden deducir, mediante una medición de las propiedades capacitivas variadas en la célula solar, estados de degradación especiales en el material semiconductor. Mediante la comprobación propuesta de la degradación de material basándose en una variación de la capacidad eléctrica del módulo solar se registra únicamente la degradación de semiconductor eléctrica. A este respecto, las pérdidas provocadas ópticamente, por ejemplo, debido a un ensuciamiento superficial o una degradación de material óptica tal como el cambio de coloración de las láminas utilizadas en las células solares del módulo solar, no desempeñan ningún papel. Por tanto, en el caso de una medición simultánea de la potencia eléctrica del módulo solar - y la comparación correspondiente con valores de referencia o una medición anterior - se puede hacer también una diferenciación entre la degradación de material eléctrica y estas pérdidas provocadas ópticamente. Si, por ejemplo, no se establece una degradación de material eléctrica pero sí una pérdida de potencia, entonces esta pérdida de potencia no es atribuible a pérdidas provocadas en el semiconductor. Por tanto, como resultado, se pueden clasificar los módulos solares que en el funcionamiento en campo muestran una potencia disminuida en cuanto al origen del daño y se pueden derivar contramedidas adecuadas.

El procedimiento y el dispositivo no requieren una retirada de los módulos solares de la cadena. La comprobación se

puede llevar a cabo más bien directamente en los módulos solares montados *in situ*. En principio, naturalmente también es posible una extracción de los módulos solares y una comprobación en otro lugar, por ejemplo, en un laboratorio de pruebas, con el procedimiento y el dispositivo.

5 El procedimiento y el dispositivo posibilitan una rápida diferenciación de pérdidas de potencia de módulos solares en cuanto a la degradación de materiales semiconductores, por un lado, y pérdidas ópticas o pérdidas eléctricas en los componentes periféricos, tales como por ejemplo enchufes o conducciones de entrada, por otro lado. El despliegue adicional de técnica de medición es reducido, pudiendo integrarse el dispositivo propuesto también directamente en el inversor de un módulo solar. Son posibles mediciones en el funcionamiento en curso sin desmontaje y/o
10 transporte de los módulos a un laboratorio de pruebas. El procedimiento y el dispositivo asociado se pueden utilizar también para el control de calidad en el entorno de producción.

En una configuración ventajosa del procedimiento, así como del dispositivo asociado, en las mediciones se aprovecha adicionalmente una célula solar de referencia, que se mide al mismo tiempo con el módulo solar que se debe comprobar en las mismas condiciones de iluminación. De ese modo se pueden compensar fluctuaciones de corriente que se hayan provocado por una variación de la intensidad luminosa y no por los efectos capacitivos. Una célula solar de referencia de este tipo se puede integrar por ejemplo también directamente en el dispositivo propuesto.

20 En una configuración ventajosa adicional se ilumina el módulo solar que se debe medir durante las mediciones con una fuente de luz artificial. En este caso se puede prescindir de una célula solar de referencia, siempre que mediante la fuente de luz artificial utilizada se garantice que la intensidad luminosa y la distribución luminosa se mantengan constantes durante las mediciones. Una fuente de luz artificial de este tipo puede estar configurada, por ejemplo, también como parte del dispositivo propuesto. En esta configuración puede tener lugar una comprobación en
25 condiciones normalizadas también en campo abierto. Además, la determinación de la capacidad se puede combinar entonces ventajosamente con una medición de potencia.

El dispositivo propuesto se puede hacer funcionar como aparato autónomo, estar integrado en un inversor de un módulo solar o de una instalación de módulos solares, comprobándose entonces varios módulos al mismo tiempo, o también integrarse en un simulador solar existente. La capacidad dependiente de la tensión del módulo solar se calcula en el procedimiento propuesto a partir de las mediciones de corriente con resolución temporal, basándose en un modelo eléctrico del módulo solar. Un modelo a modo de ejemplo se puede representar como diagrama de circuito de sustitución del módulo solar, que comprende, como mínimo, una fuente de corriente para la corriente de generación bajo incidencia de luz, la resistencia en paralelo o de derivación, la resistencia en serie y la capacidad dependiente de la tensión del módulo solar. Dado el caso, este modelo o diagrama de circuito de sustitución
30 contiene todavía componentes eléctricos adicionales tal como, por ejemplo, un componente dependiente de la tensión o un diodo.

El procedimiento propuesto y el dispositivo asociado se pueden utilizar de manera especialmente ventajosa para el control de módulos solares en el funcionamiento en campo, en particular para la identificación de una disminución de potencia debido a una degradación de materiales semiconductores. Con el procedimiento y el dispositivo asociado puede tener lugar una diferenciación de la degradación de materiales semiconductores de otros orígenes de pérdida, tal como un ensuciamiento o envejecimiento de los componentes ópticos. Además, el procedimiento y el dispositivo se pueden utilizar también en el control de calidad en línea durante la producción de células solares o módulos
40 solares.

Breve descripción de los dibujos

50 El procedimiento propuesto y el dispositivo asociado se explican a continuación nuevamente de manera más detallada mediante ejemplos de realización en relación con los dibujos. A este respecto muestran:

la figura 1, un primer ejemplo de un modelo eléctrico utilizado para el cálculo de la capacidad dependiente de la tensión en el procedimiento propuesto;

55 la figura 2, un segundo ejemplo de un modelo eléctrico utilizado para el cálculo de la capacidad dependiente de la tensión en el procedimiento propuesto;

la figura 3, un ejemplo de una medición de curva característica de corriente-tensión (simulada) en una célula solar en sentido directo e inverso;

60 la figura 4, un ejemplo de curvas de corriente-tensión a diferente degradación de material de la célula solar; y

la figura 5, una representación logarítmica a modo de ejemplo de la capacidad dependiente de la tensión de una célula solar en el caso de una degradación de material diferente.

65

Modos para la realización de la invención

Para la comprobación de la degradación de material eléctrica o de semiconductores de células solares o módulos solares, en el procedimiento propuesto y el dispositivo asociado se determina la capacidad eléctrica dependiente de la tensión de la célula solar o del módulo solar. El dispositivo para este propósito presenta una alimentación de corriente, que posibilita un rápido cambio de tensión en el plazo de un periodo de tiempo de ≤ 200 ms entre, como mínimo, dos valores de tensión, así como un sumidero de corriente o unidad de medición que, a este respecto, mide la corriente generada del módulo solar de manera sincronizada en el tiempo, es decir con resolución temporal con alta velocidad. A partir de estos datos de medición y de un modelo eléctrico almacenado del módulo solar se puede determinar entonces la capacidad. Para ello, el dispositivo incluye una unidad de evaluación de datos, que convierte los valores característicos de corriente-tensión dependientes del tiempo de las mediciones en los valores de capacidad dependientes de la tensión y los compara con valores de referencia, o también con valores de mediciones anteriores. Esta medición o determinación de la capacidad puede tener lugar de manera repetida a intervalos de tiempo a lo largo de la vida útil de un módulo solar en campo abierto. En una realización sencilla, mediante estas mediciones se pueden determinar también solo variaciones relativas de las capacidades dependientes de la tensión y con ello de la degradación de material eléctrica a lo largo de la vida útil del módulo solar.

En el procedimiento de medición utilizado para la comprobación se realizan en el presente ejemplo las siguientes etapas:

1) establecimiento de un contacto eléctrico del módulo solar con el dispositivo de medición, por ejemplo, mediante la inicialización de la función de medición en el caso de la integración del dispositivo en un inversor

2) primera medición: medición del módulo solar a tensiones crecientes, debiendo orientarse los valores de las tensiones a las tensiones de funcionamiento o las tensiones en circuito abierto del módulo solar, para este propósito:

- a) ajuste de una tensión en el módulo solar y rápido cambio a una nueva tensión
- b) medición de la salida de corriente del módulo solar directamente antes y después del ajuste de la nueva tensión
- c) repetición de las etapas 2)a) y 2)b)

3) segunda medición: medición del módulo solar a tensiones decrecientes de manera análoga al punto 2)

4) comparación por cálculo de las corrientes de la primera medición y de la segunda medición basándose en un modelo eléctrico del módulo solar y determinación de la capacidad dependiente de la tensión basándose en las mediciones y este modelo.

A este respecto, la secuencia de la primera y la segunda medición no desempeña ningún papel, dado que se puede tener en cuenta en la evaluación de datos. Alternativamente a la segunda medición también se puede realizar solo una medición de corriente en el estado de equilibrio (medición en estado estacionario) como comparación. Para ello es necesario un cambio lento entre las dos tensiones o una pausa tras el ajuste de la tensión.

Siempre que el módulo solar muestre con respecto al estado original directamente tras la entrega una reducción de potencia y la capacidad medida o determinada se diferencie de la capacidad de referencia, que se midió o determinó por ejemplo directamente tras la producción del módulo solar o de un módulo solar de igual construcción y producción, se debe partir de la base de una degradación de material eléctrica de los materiales semiconductores de las células solares. En caso contrario, la reducción de potencia se provoca por pérdidas ópticas o pérdidas eléctricas en componentes adicionales tales como enchufes o conducciones de conexión.

Como modelo eléctrico para el módulo solar se puede utilizar, por ejemplo, un modelo, tal como se representa en el diagrama de circuito de sustitución en la figura 1. El diagrama de circuito de sustitución presenta en este ejemplo como componentes eléctricos una fuente de corriente para la corriente de generación I_g , un componente dependiente de la tensión ($I=F(U)$), una resistencia en paralelo o de derivación R_P , una resistencia en serie R_S , así como la capacidad dependiente de la tensión $C(U)$.

La figura 2 muestra un ejemplo adicional de un modelo eléctrico correspondiente, en este caso un modelo de un diodo, en el que, en lugar del componente dependiente de la tensión de la figura 1, se utiliza un diodo D. Con ambos modelos se puede calcular respectivamente la capacidad dependiente de la tensión a partir de las mediciones de corriente-tensión. También se pueden aprovechar otros modelos eléctricos, en particular más detallados, de una célula solar o de un módulo solar para el cálculo.

La figura 3 muestra una curva característica I-U simulada de un módulo solar durante el cambio rápido entre dos tensiones en el plazo de 11 ms. En la figura se representa la evolución de la corriente (I corriente medida; I_0 corriente de cortocircuito) en función de la tensión aplicada (U tensión aplicada; U_0 tensión en circuito abierto) respectivamente en el caso de un aumento de tensión (directo) y en el caso de una disminución de tensión (inverso).

5 A partir de esta representación se puede reconocer claramente el efecto de histéresis debido a la capacidad del módulo solar. Este efecto de histéresis conduce para los cortos tiempos de conmutación o de medición a un desdoblamiento de las curvas características en función del sentido de conmutación. Basándose en el diagrama de circuito de sustitución de la figura 1 o de la figura 2 se puede calcular una curva característica de equilibrio, tal como se representa también en la figura 3. Esto corresponde a una curva característica, que se midió con un tiempo de medición idealmente largo.

10 Para la determinación de la capacidad dependiente de la tensión se aplica una rampa de tensión dependiente del tiempo con una pluralidad de escalones de tensión en la célula solar o el módulo solar y se miden respectivamente las corrientes. A este respecto, la tensión puede o bien aumentar (si se parte de tensiones pequeñas) o bien disminuir (si se parte de tensiones grandes). Los rangos de tensión típicos se encuentran para células solares individuales entre -0,5 V y +0,8 V. Las corrientes típicas son de hasta 10 A. El punto de partida son respectivamente las corrientes medidas de los dos sentidos como función de la tensión, así como la evolución temporal de la rampa de tensión. A partir de la diferencia de las corrientes en relación con la diferencia de las derivadas temporales de la
15 tensión se puede determinar la capacidad dependiente de la tensión.

La figura 4 muestra ejemplos del efecto de histéresis de una célula solar a diferentes grados de degradación (ninguna degradación - degradación media - degradación intensa). Para este propósito, la célula se degradó intencionadamente y así se provocó una reducción de la potencia de la célula. La diferencia de los valores de medición entre las curvas características I-V en el sentido directo (tensión creciente) y el sentido inverso (tensión decreciente) disminuye cuanto más haya avanzado la degradación. La medición en el sentido directo empieza a 0 V de tensión de la célula y termina en la tensión en circuito abierto U_0 . Para la medición en el sentido inverso se invirtió esta rampa de tensión. A partir de las respectivas mediciones directas e inversas se obtuvieron basándose en el modelo eléctrico de la célula solar capacidades dependientes de la tensión $C(U)$ para los tres grados de
20 degradación.
25

La figura 5 muestra para este propósito una representación logarítmica simple de esta capacidad dependiente de la tensión para los diferentes grados de degradación. La histéresis disminuye como consecuencia de la degradación. La vida útil del portador de carga reducida por la degradación se refleja entonces en la capacidad reducida, tal como se puede reconocer a partir de la figura.
30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para comprobar la degradación de material eléctrica en células solares o módulos solares, en el que
- 5 - se mide con resolución temporal una corriente generada por la o las células solares o el módulo solar durante una variación gradual de la tensión eléctrica en la o las células solares o el módulo solar, para, basándose en un modelo eléctrico de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar, determinar una capacidad eléctrica de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar en función de la tensión, y
- 10 - se determina a partir de la capacidad eléctrica dependiente de la tensión, mediante la comparación con valores de referencia o una medición anterior en la o las células solares o el módulo solar, un grado o una variación relativa de una degradación de material eléctrica de la(s) célula(s) solar(es) o del módulo solar, **caracterizado por que** para la determinación de la capacidad eléctrica dependiente de la tensión se realizan, como mínimo, dos mediciones, de las que - en una primera medición se aplica una tensión eléctrica a la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar y se varía gradualmente en un primer sentido, y se mide con resolución temporal una corriente generada por la o las células
- 15 solares o el módulo solar durante cada variación gradual, y - en una segunda medición se aplica una tensión eléctrica a la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar y o bien se varía gradualmente en un sentido opuesto al primer sentido o bien se mantiene constante para el ajuste de un estado de equilibrio en la o las células solares o el módulo solar a diferentes valores de tensión, y se mide una corriente generada por la o las células solares o el módulo solar
- 20 durante cada variación gradual con resolución temporal o a una tensión respectivamente constante en el estado de equilibrio.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado por que** al mismo tiempo se mide de la misma manera una célula solar de referencia, que está expuesta a la misma iluminación que la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar, para eliminar del cálculo las influencias provocadas por la iluminación sobre el resultado de medición.
- 25
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar se ilumina o se iluminan durante la comprobación con luz de una fuente de luz artificial con intensidad y distribución luminosas constantes.
- 30
4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** adicionalmente se realiza una medición de potencia en la o las células solares o el módulo solar.
- 35
5. Sistema para operar un dispositivo para la realización del procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que presenta, como mínimo,
- una alimentación de corriente o de tensión eléctrica, con la que es posible un cambio de tensión gradual entre, como mínimo, dos tensiones eléctricas en una célula solar o un módulo solar,
- 40 - una unidad de medición, con la que se puede medir con resolución temporal una corriente generada por la célula solar o el módulo solar durante un cambio de tensión gradual, y
- una unidad de evaluación que, a partir de datos de medición suministrados por la unidad de medición con respecto a la corriente generada durante el cambio de tensión gradual, basándose en un modelo eléctrico almacenado, determina una capacidad eléctrica dependiente de la tensión de la célula solar o del módulo solar y mediante la comparación con valores de referencia o una medición anterior determina un grado o una variación relativa de una degradación de material eléctrica de la célula solar o del módulo solar, **caracterizado por que** la unidad de medición
- 45 está configurada de modo que para la determinación de la capacidad eléctrica dependiente de la tensión se realizan, como mínimo, dos mediciones, de las que - en una primera medición se aplica una tensión eléctrica a la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar y se varía gradualmente en un primer sentido, y se mide con resolución temporal una corriente generada por la o las células solares o el módulo solar durante cada variación gradual, y - en una segunda
- 50 medición se aplica una tensión eléctrica a la(s) célula(s) solar(es) o el módulo solar y o bien se varía gradualmente en un sentido opuesto al primer sentido o bien se mantiene constante para el ajuste de un estado de equilibrio en la o las células solares o el módulo solar a diferentes valores de tensión, y se mide una corriente generada por la o las células solares o el módulo solar durante cada variación gradual con resolución temporal o a tensión respectivamente constante en el estado de equilibrio.
- 55
6. Sistema, según la reivindicación 5, **caracterizado por que** el dispositivo presenta una célula solar de referencia, que se puede medir con el dispositivo de la misma manera y al mismo tiempo que la célula solar o el módulo solar, estando configurada la unidad de evaluación de modo que compensa las influencias provocadas por iluminación fluctuante en el tiempo sobre la determinación de la capacidad eléctrica dependiente de la tensión basándose en la medición en la célula solar de referencia.
- 60
7. Sistema, según la reivindicación 5, **caracterizado por que** el dispositivo presenta una fuente de luz artificial, con la que se puede iluminar la célula solar o el módulo solar durante la medición.

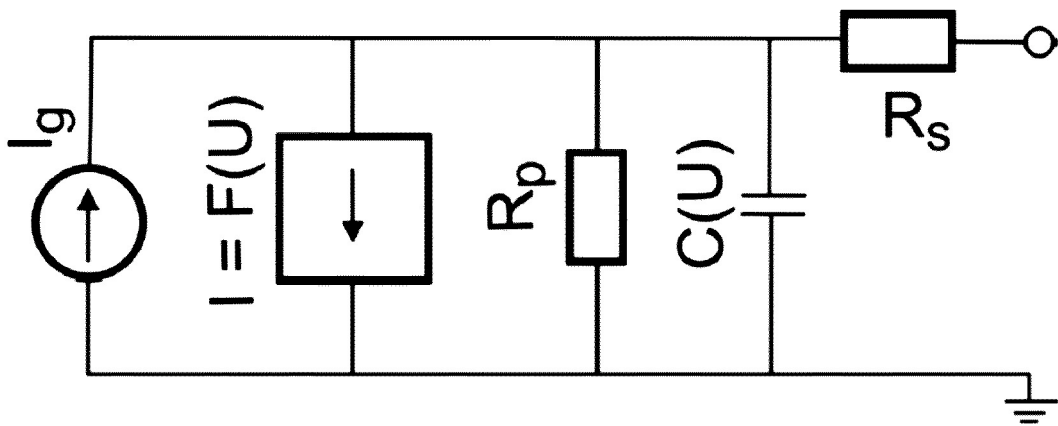


Fig. 1

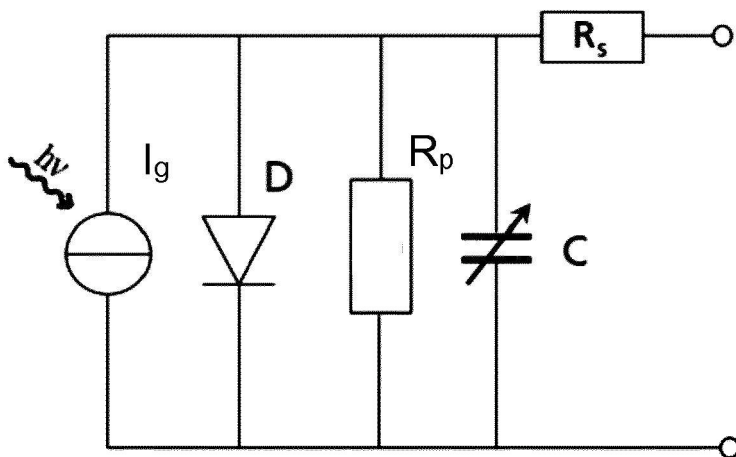


Fig. 2

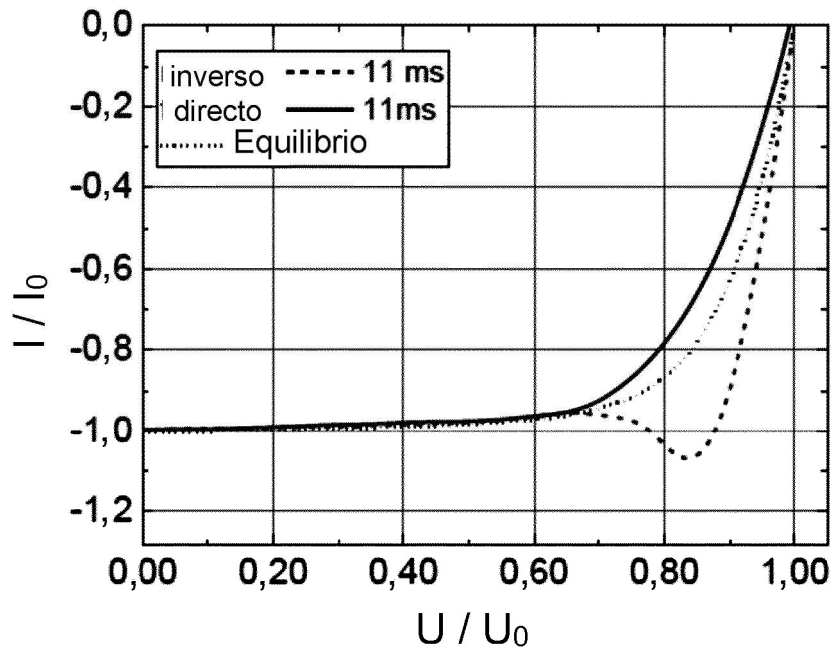


Fig. 3

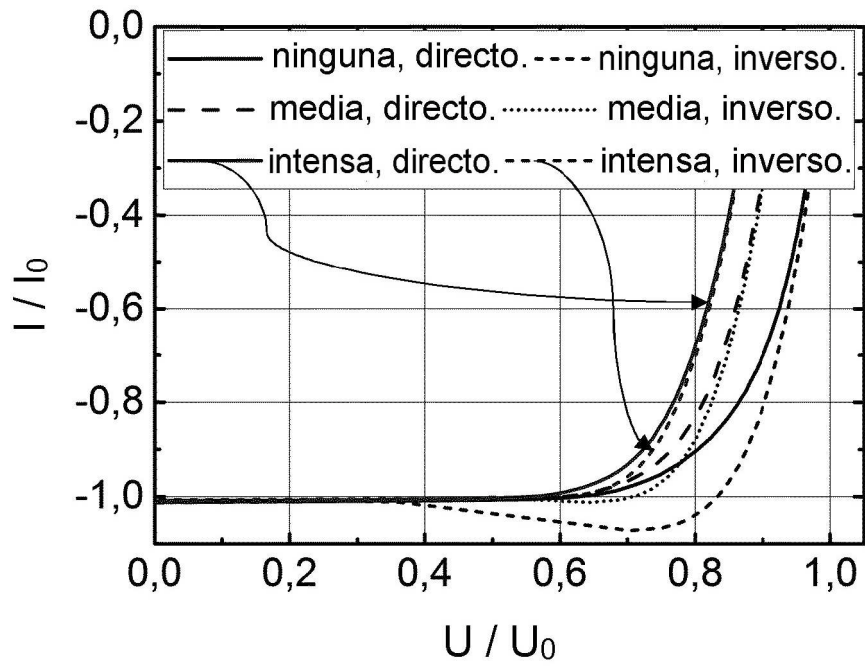


Fig. 4

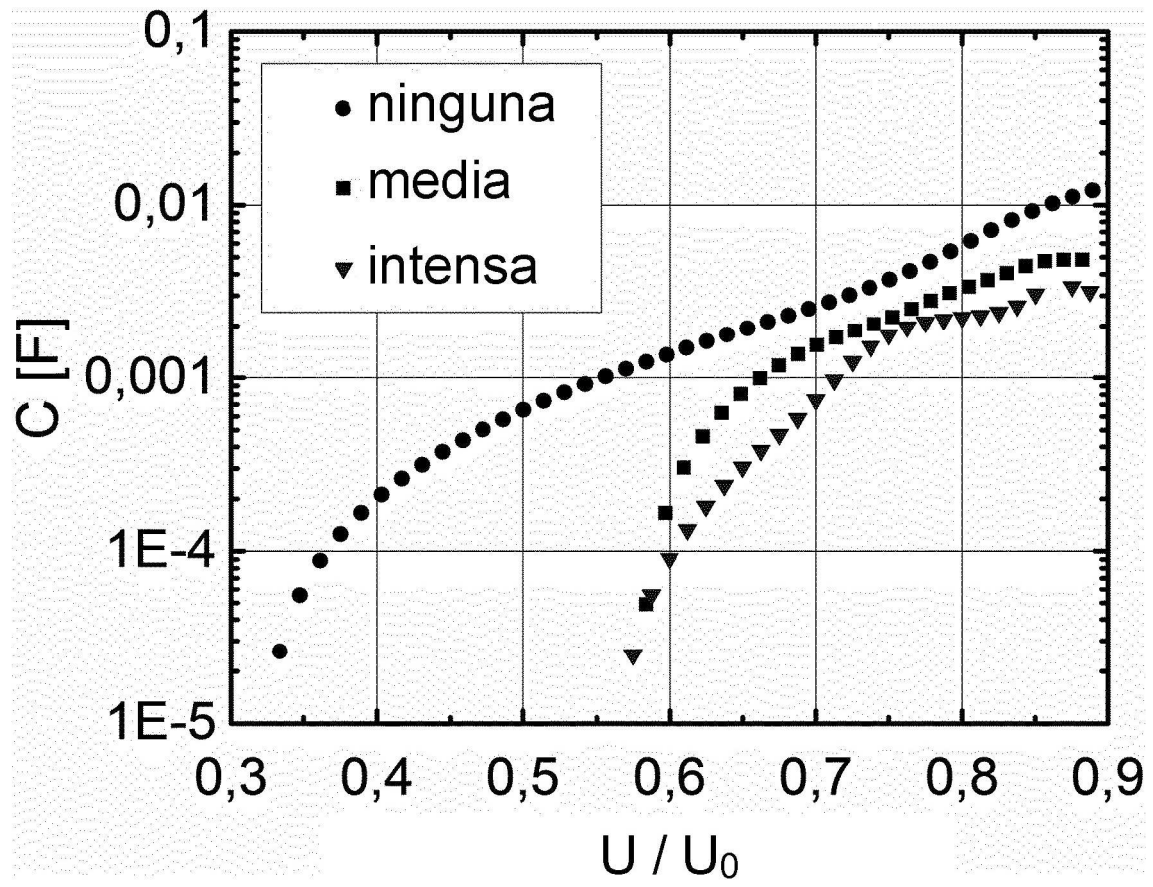


Fig. 5

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- WO 2013170422 A1