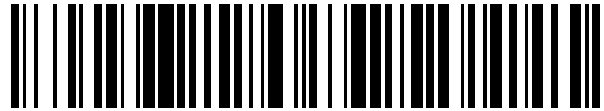


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 364**

51 Int. Cl.:

H02S 50/00 (2014.01)

H02S 50/10 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2016 PCT/EP2016/079466**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093420**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16806039 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3384592**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica**

30 Prioridad:

01.12.2015 FR 1561622

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

26.11.2020

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (50.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment, "Le Ponant D"
75015 Paris, FR y
SOCOMEK (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CHAITREUIL, NICOLAS;
SIAT, STÉPHANE y
KERN, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 796 364 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 de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica. También se refiere a una instalación fotovoltaica equipada con un dispositivo de este tipo.

10 Estado de la técnica

Las instalaciones fotovoltaicas funcionan con corriente y tensión eléctricas continuas, lo que es problemático en caso de aparición de un arco eléctrico. Un arco eléctrico de este tipo puede aparecer, por ejemplo, a causa de un fallo de sistema de conexión, a raíz de la apertura de un conector bajo carga o incluso a raíz de un deterioro de un conector por corrosión. Con corriente y tensión continuas, no hay extinción natural del arco eléctrico por paso por cero de la tensión y de la corriente, como es generalmente el caso con corriente alterna. El arco eléctrico genera un plasma que emite un calor muy fuerte durante mucho tiempo. Un plasma de este tipo es destructivo y, a menudo, generador de incendio. Por motivos de seguridad, es importante, por lo tanto, detectar la presencia de un posible arco eléctrico dentro de una instalación fotovoltaica e interrumpirlo con el fin de evitar cualquier deterioro o incendio. El documento US2012/134058A describe un sistema de detección de un arco eléctrico.

Correspondiendo un arco eléctrico a un plasma que aparece entre dos electrodos constituidos, por ejemplo, por dos extremos de un conductor abierto o interrumpido localmente debido a un deterioro. La aparición de un arco eléctrico va acompañada de un flanco o salto de tensión de corta duración, positivo o negativo, del orden de unos microsegundos, y que tiene un valor de tensión, llamado tensión de arco Varco, que es característico. Esta tensión de arco depende del material de los electrodos. Generalmente está comprendida entre 10 V y 30 V. Si los electrodos están hechos de cobre, por ejemplo, la tensión de arco Varco es del orden de 12 V. De ello resulta que un aumento repentino, comprendido entre 10 V y 30 V, de una tensión medida dentro de una instalación fotovoltaica es, por lo tanto, característico de la aparición de un arco eléctrico en la instalación. El plasma del arco eléctrico desempeña el papel de una resistencia que aumenta con el tiempo, el flanco de tensión inicial está seguido por un aumento gradual de la tensión medida hasta alcanzar una tensión de circuito abierto.

Una solución conocida para detectar un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica se apoya en la detección de un flanco de tensión positivo (o negativo) caracterizado por un aumento (o una disminución) repentino de tensión, con una duración de unos microsegundos y con un valor correspondiente a la tensión de arco Varco, normalmente comprendido entre 10 V y 30 V. Para estos efectos, se mide, por ejemplo, la tensión en los terminales de un módulo fotovoltaico de la instalación. La medición de tensión en los terminales del módulo fotovoltaico permite detectar un posible arco eléctrico localizado fuera de este módulo fotovoltaico. Sin embargo, no permite detectar un arco eléctrico que se produciría dentro del propio módulo fotovoltaico. En el caso de una instalación que incluya varios módulos fotovoltaicos, conviene, por lo tanto, medir la tensión en los terminales de varios módulos para cubrir toda la instalación. Una solución de este tipo necesita varios sensores de medición y, por lo tanto, es costosa.

Otra solución conocida para detectar un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica se apoya en la medición de la corriente en la instalación fotovoltaica y del ruido blanco introducido por el arco eléctrico en la señal de corriente. Una solución de este tipo solo requiere un único sensor de corriente que se puede instalar en cualquier lugar en la instalación fotovoltaica, por ejemplo, en la entrada de un inversor interpuesto entre la instalación fotovoltaica y la red eléctrica y destinado a convertir la corriente continua suministrada por una corriente alterna. Una solución de este tipo es menos costosa y más flexible, pero carece de fiabilidad.

50 La presente invención viene a mejorar la situación.

Objeto de la invención

55 A estos efectos, la invención se refiere a un procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica como se describe en la reivindicación 1.

El procedimiento de detección de un arco eléctrico de la invención se basa en una medición de la corriente eléctrica producida por la instalación fotovoltaica, o de una magnitud eléctrica representativa o imagen de esta corriente eléctrica. Gracias a esto, solo se necesita un sensor de medición para supervisar toda la instalación fotovoltaica. El ajuste del umbral de salto de corriente en función de la corriente producida por la instalación permite tener en cuenta las fluctuaciones de amplitud de los saltos de corriente causados por arcos eléctricos, que pueden deberse a variaciones del nivel de iluminación de la instalación fotovoltaica y/o a un desfase de un punto de funcionamiento de un módulo fotovoltaico de la instalación con respecto a su punto de máxima potencia. De ello resulta que el procedimiento de la invención es simple, poco costoso de implementar y robusto.

65 La fase de aumento del umbral puede ser lineal.

Ventajosamente, la ley de variación del umbral incluye una fase de umbral de salto de corriente constante para valores de corriente suministrada por la instalación fotovoltaica superiores a un límite alto.

5 En un modo de realización particular, para la detección del salto de corriente, el umbral de salto de corriente se ajusta en función de una corriente media calculada en una ventana temporal con una duración comprendida entre 50 ms y 500 ms que precede al salto de corriente.

10 Ventajosamente, muestreándose los valores medidos representativos de la corriente suministrada por la instalación fotovoltaica, para detectar un salto de corriente, se registra un conjunto de 2N muestras sucesivas, constituyendo N una profundidad de detección dada, y se ejecuta un algoritmo de detección de salto que consiste en calcular la diferencia entre la suma de las N muestras más antiguas y la suma de las N muestras más recientes, y en verificar si la diferencia calculada es superior, en valor absoluto, a un umbral de salto de corriente ajustado.

15 También ventajosamente, el algoritmo de detección de salto se ejecuta para dos profundidades de detección distintas N y M, y se detecta un arco eléctrico solo si se determina que las diferencias calculadas para las dos profundidades son superiores, en valor absoluto, a los umbrales correspondientes. Gracias a esto, se filtran fenómenos de baja frecuencia y fenómenos de alta frecuencia que hacen variar la corriente.

20 El tamaño N puede adaptarse para filtrar variaciones dinámicas de la corriente de la instalación fotovoltaica caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 1 Hz y 1000 Hz.

25 El tamaño M puede adaptarse para filtrar variaciones dinámicas de la corriente de la instalación fotovoltaica caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 100 kHz y 1000 kHz.

30 En un modo de realización particular, el procedimiento comprende una etapa de detección de una variación del nivel de ruido de una señal de los valores medidos superior a una variación crítica.

35 La detección de una variación del nivel de ruido permite completar la detección de un salto de corriente con el fin de buscar la presencia de un arco eléctrico en la instalación. Permite detectar, en concreto, ciertos arcos eléctricos particulares que no provocan un salto de corriente detectable. Gracias a esto, la detección de arco eléctrico es aún más robusta y confiable.

Ventajosamente, muestreándose los valores medidos, durante la etapa de detección de una variación del nivel de ruido, la varianza de valores medidos muestreados se calcula en una ventana de muestras deslizante en el tiempo.

40 También ventajosamente, la etapa de detección de una variación del nivel de ruido se ejecuta varias veces en las mismas muestras modificando parámetros para detectar diferentes tipos de arcos eléctricos específicos.

La invención también se refiere a un dispositivo de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica destinada a suministrar una corriente eléctrica, como se describe en la reivindicación 11.

45 Ventajosamente, el dispositivo comprende un convertidor analógico-digital destinado a muestrear los valores medidos representativos de la corriente suministrada por la instalación fotovoltaica, unos medios de almacenamiento de valores medidos muestreados destinados a almacenar un conjunto de 2N muestras sucesivas, constituyendo N una profundidad de detección dada, y por que el módulo de detección de un salto de corriente está dispuesto para ejecutar un algoritmo de detección de salto que consiste en calcular la diferencia entre la suma de las N muestras más antiguas y la suma de las N muestras más recientes, y en verificar, si la diferencia calculada es superior, en valor absoluto, a un umbral de salto de corriente ajustado.

50 También ventajosamente, el dispositivo comprende un módulo de detección de una variación del nivel de ruido de una señal formada por los valores medidos superior a una variación crítica.

55 La invención se refiere igualmente a un sistema de seguridad para una instalación fotovoltaica, caracterizado por que comprende un dispositivo de detección de un arco eléctrico como se ha definido anteriormente y un dispositivo de intervención destinado a poner la instalación fotovoltaica en seguridad en caso de arco eléctrico.

60 La invención también se refiere a una instalación fotovoltaica caracterizada por que comprende un dispositivo de detección de arco eléctrico como se ha definido anteriormente o un sistema de seguridad como se ha definido anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

65 La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la siguiente descripción de un modo de realización particular del

procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de la invención y de una forma de realización particular de un dispositivo de detección correspondiente, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 5 - La figura 1 representa un esquema de un ejemplo de instalación fotovoltaica que integra el dispositivo de detección de la figura 6;
- Las figuras 2A y 2B representan dos ejemplos de señales de corriente suministradas por una instalación fotovoltaica que incluyen cada uno un salto de corriente causado por un arco eléctrico;
- La figura 3 representa diferentes curvas características de corriente-tensión de una instalación fotovoltaica, sometida a diferentes irradiancias (o potencias de iluminación);
- 10 - Las figuras 4A y 4B representan leyes o características de variación de un umbral de salto de corriente en función de una corriente nominal de la instalación fotovoltaica;
- La figura 5 representan un organigrama del procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica según un modo de realización particular de la invención;
- 15 - La figura 6 representa un esquema de bloque funcional de una unidad de procesamiento del dispositivo de detección, adaptada para implementar etapas de procesamiento del procedimiento de la figura 5.

Descripción detallada de modos de realización particulares de la invención

20 La invención tiene como propósito detectar la presencia de un arco eléctrico dentro de la instalación fotovoltaica 100. Se basa en la medición de la corriente eléctrica I proporcionada por la instalación fotovoltaica 100 o de una magnitud eléctrica representativa, o imagen, de esta corriente eléctrica I . En la figura 1, se ha representado, esquemáticamente, un ejemplo de instalación fotovoltaica 100. Esta comprende, de forma conocida, varios módulos fotovoltaicos (FV) 1 conectados a un inversor 2. Los módulos FV 1 son idénticos en este documento. El inversor 2 está destinado a convertir la corriente continua I producida por los módulos fotovoltaicos 2 en una corriente alterna y a proporcionar esta a una red eléctrica 3.

30 El procedimiento de la invención busca detectar la presencia o no de un arco eléctrico dentro de una instalación fotovoltaica 100. Un arco eléctrico de este tipo puede producirse en cualquier sitio de la instalación 100, por ejemplo, entre los módulos fotovoltaicos 1 y el inversor 2 (como se representa por el arco eléctrico 4 en la figura 1), o dentro de un módulo fotovoltaico 1, o incluso en una conexión que conecta en serie varios módulos fotovoltaicos 1 (como se representa por el arco eléctrico 14 en la figura 1).

35 Un arco eléctrico provoca una variación significativa de la tensión dentro de la instalación eléctrica 100. En un primer momento, la aparición del arco eléctrico va acompañada de un flanco o salto de tensión, positivo o negativo, con una duración del orden de unos microsegundos y con una amplitud igual a una tensión de arco V_{arco} característica. El valor de esta tensión de arco V_{arco} normalmente está comprendido entre 10 V y 30 V. Depende del material de los electrodos entre los que se forma el arco eléctrico.

40 Un módulo fotovoltaico posee su propia característica de corriente-tensión. Esta puede representarse en forma de una curva, generalmente denominada "curva I-V", que comprende un conjunto de puntos de funcionamiento del módulo fotovoltaico. La curva I-V conecta un punto de funcionamiento de cortocircuito, para el que la tensión es nula y la corriente es igual a la corriente de cortocircuito I_{cc} , y un punto de funcionamiento en circuito abierto, para el que la corriente es nula y la tensión es igual a la tensión en circuito abierto V_{oc} . La potencia eléctrica suministrada por el módulo fotovoltaico es el producto de la tensión V en sus terminales por la corriente I que genera. Es máxima en un punto específico de la curva definido por una corriente dada I_{mpp} y una tensión dada V_{mpp} . Este punto de máxima potencia MPP (del inglés "Maximum Power Point") se sitúa en una zona de inflexión de la curva de corriente-tensión. La forma de la curva I-V de un módulo fotovoltaico depende de la irradiancia recibida por el módulo, es decir, de la potencia de energía luminosa recibida.

50 En la figura 3, se han representado varias curvas I-V, referenciadas C1 a C4, de un mismo módulo fotovoltaico 1 sometido a diferentes niveles de iluminación o de irradiancia:

- la curva C1 corresponde a un nivel de iluminación medio de 1102 W/m^2 ;
- la curva C2 corresponde a un nivel de iluminación medio de 729 W/m^2 ;
- 55 - la curva C3 corresponde a un nivel de iluminación medio de 307 W/m^2 ;
- la curva C4 corresponde a un nivel de iluminación medio de 64 W/m^2 .

60 En cada una de las curvas C1, C2 y C3, se han representado el punto de máxima potencia $P1_{\text{mpp}}$, $P2_{\text{mpp}}$, $P3_{\text{mpp}}$. En la curva C1, un punto de funcionamiento $P1'$ desfasado (hacia la izquierda) se ha representado con respecto al punto de máxima potencia $P1_{\text{mpp}}$. Generalmente, la instalación fotovoltaica se regula para que los módulos fotovoltaicos que integra funcionen en su punto de máxima potencia. No obstante, por ejemplo, como consecuencia de un nivel de iluminación no homogéneo en los diferentes módulos fotovoltaicos de la instalación, uno o varios módulos pueden tener un punto de funcionamiento desfasado, como el punto $P1'$.

65 Cuando un arco eléctrico como el arco eléctrico 4 o 14 (figura 1) aparece en la instalación fotovoltaica 100, la tensión en los terminales de cada módulo fotovoltaico 1 aumenta repentinamente de la tensión de arco V_{arco} . Este salto de tensión, en este documento positivo, con amplitud V_{arco} tiene el efecto de desplazar el punto de funcionamiento del

módulo fotovoltaico en la curva I-V, hacia la derecha, como se representa en la figura 3, hasta un nuevo punto de funcionamiento que tiene una tensión igual a $V_0 + V_{\text{arco}}$ (donde V_0 representa la tensión del módulo fotovoltaico antes del arco). El desplazamiento del punto de funcionamiento del módulo fotovoltaico va acompañado de un salto negativo en este documento (o disminución o caída) de la corriente de funcionamiento del módulo fotovoltaico 1, con una amplitud dI_{arco} . A diferencia de la amplitud del salto de tensión que es fija e igual a V_{arco} , la amplitud dI_{arco} del salto de corriente es variable. Varía según la posición del punto de funcionamiento en la curva I-V y según el nivel de iluminación del módulo fotovoltaico. Por ejemplo, con referencia a la curva C1 de la figura 3, si el punto de funcionamiento del módulo FV 1 es un punto P1' desfasado hacia la izquierda en la curva I-V con respecto al punto de máxima potencia $P1_{\text{mpp}}$, el salto de corriente tiene una amplitud dI_{arco} muy reducida. Por otro lado, cuanto más disminuye el nivel de iluminación, más se aplana la curva I-V y más disminuye la amplitud dI_{arco} del salto de corriente, incluso para el punto de máxima potencia.

En la figura 1, se ha representado esquemáticamente un dispositivo 5 de detección de arco eléctrico, según una forma de realización particular de la invención, para la instalación fotovoltaica 100. El dispositivo de detección 5 comprende un módulo de medición 6 destinado a medir la corriente eléctrica I proporcionada por la instalación fotovoltaica 100, o una magnitud eléctrica representativa o imagen de esta corriente eléctrica I . En este caso, el módulo de medición 6 comprende una resistencia de derivación 7, colocada en una conexión eléctrica de la instalación fotovoltaica 100 (por ejemplo, en la entrada del inversor 2 como se representa en la figura 6), y un sensor de medición de tensión 8 destinado a medir la tensión en los terminales de la resistencia 7. La corriente I proporcionada por la instalación fotovoltaica 100 es proporcional a la tensión U en los terminales de la resistencia 7, según la relación: $I = \frac{1}{R} * U$ (representando R el valor de la resistencia 7). La tensión U medida en este documento es, por lo tanto, la imagen de la corriente continua I suministrada por la instalación fotovoltaica 100.

El sensor de medición 8 está conectado por una conexión de comunicación 9 a una unidad de procesamiento 10 destinada. La unidad de procesamiento 10 tiene la función de analizar los datos y/o señales de medición transmitidas por el sensor de medición 8 con el fin de detectar la presencia de un posible arco eléctrico en la instalación fotovoltaica. Comprende en este documento un convertidor analógico-digital 20 destinado a digitalizar o muestrear la señal de tensión medida por el sensor 8 con el fin de obtener valores de tensión medidos y muestreados que son representativos de la corriente I de la instalación fotovoltaica. Como variante, el convertidor analógico-digital podría integrarse en el sensor de medición 8. La unidad de procesamiento 10 tiene la función de detectar un arco eléctrico mediante análisis de los valores medidos por el sensor 8 representativos de la corriente eléctrica I proporcionada por la instalación fotovoltaica, mediante la implementación del procedimiento de detección de un arco eléctrico que se describirá más adelante.

Con referencia a la figura 6, la unidad de procesamiento 10 comprende los siguientes componentes de hardware y/o de software:

- el convertidor analógico-digital 20;
- unas memorias de almacenamiento 21 destinadas a almacenar valores medidos y muestreados y datos calculados;
- un módulo 22 de ajuste de un umbral de corriente variable, en función de valores medidos representativos de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100;
- un módulo 23 de detección de un salto de corriente que tiene una amplitud superior a un umbral de salto de corriente ajustado en función de valores medidos antes del salto;
- un módulo 24 de detección de una variación del nivel de ruido de una señal formada por los valores medidos;
- un módulo de control 25, destinado a mandar los funcionamientos respectivos de los módulos 21, 22 y 23 y a determinar la presencia o no de un arco eléctrico en la instalación 100 en función de resultados proporcionados por el módulo de detección 22 y/o por el módulo de detección 23
- una unidad de cálculo 26, en este caso un microcontrolador, destinada a implementar procesamientos y cálculos de datos y a controlar el funcionamiento de la unidad de procesamiento 10.

Los módulos 22 a 25 son en este documento componentes de software destinados a ser ejecutados por el microcontrolador 26.

Los componentes de hardware y/o de software de la unidad de procesamiento 10 están adaptados para implementar el procedimiento descrito más adelante.

La unidad de procesamiento 10 está conectada a un dispositivo de intervención 12 por una conexión de comunicación 11. El dispositivo de intervención 12 tiene la función de interrumpir un arco eléctrico detectado por la unidad de procesamiento 10, bajo mando de esta, con el fin de evitar cualquier riesgo de degradación o de incendio.

El dispositivo 5 de detección de arco eléctrico y el dispositivo de intervención 12 forman un sistema de seguridad para instalación fotovoltaica.

Ahora se va a describir, con referencia a la figura 5, un modo de realización particular del procedimiento de detección de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica 100 destinada a suministrar una corriente eléctrica I .

El procedimiento comprende una etapa E0 de medición de valores de tensión en los terminales de la resistencia 7. Los valores de tensión medidos son proporcionales y, por lo tanto, representativos, o imágenes, de la corriente eléctrica I suministrada por la instalación fotovoltaica 100. Por último, la medición realizada equivale a medir la corriente I suministrada por la instalación fotovoltaica 100, con un factor multiplicativo de aproximación. Como variante, la resistencia 7 y el sensor de medición de tensión 8 podrían reemplazarse por un sensor de medición de corriente. La señal medida, representativa de la corriente I, se transmite a la unidad de procesamiento 10.

La etapa de medición E0 está seguida por una etapa de muestreo E1, durante la que la señal medida se muestrea con una frecuencia de muestreo F_{mue} elegida. Esta puede estar comprendida entre 50 kHz y 1000 kHz. De este modo, los valores medidos representativos de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100 se digitalizan por muestreo en datos representativos de la corriente I, que se denominará en adelante "datos de corriente". El muestreo es ejecutado en este documento por el convertidor CAD 20 del dispositivo de procesamiento 10. Como variante, en el caso de un sensor de medición que integra un convertidor analógico-digital, podría ser realizado por el propio sensor. Los datos de corriente digitalizados se registran en memorias 21. Por ejemplo, se usan tres memorias intermedias o "búferes", que tienen cada una una capacidad de almacenamiento de 256 puntos o muestras.

El procedimiento comprende a continuación una etapa E2 de ajuste de un umbral de salto de corriente S. La detección de un arco eléctrico según la invención se basa en la detección de un salto de corriente, como se representa en la figura 1, que tiene una amplitud superior a un umbral de salto de corriente determinado S. Este umbral de salto de corriente S es variable y debe ajustarse con el tiempo en función de los valores medidos representativos de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100. El ajuste del umbral S se efectúa según una ley de variación del umbral de salto de corriente en función de la corriente nominal I_n de la instalación 100, como se representa a título de ejemplo ilustrativo en la figura 4A. Por corriente "nominal" I_n , se entiende designar la corriente suministrada por la instalación fotovoltaica 100 en condiciones normales de funcionamiento (en concreto, sin arco eléctrico), funcionando cada módulo fotovoltaico 1 de la instalación 100 en un punto de funcionamiento de su curva I-V. Con referencia a la figura 4A, la ley de variación del umbral S incluye en este documento:

- una primera fase con umbral de salto de corriente constante S1 para valores de corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica 100 inferiores a un límite bajo comprendido entre 0 A y 8 A, ventajosamente entre 0,8 A y 1,2 A, por ejemplo, igual a 1 A;
- una segunda fase con umbral de salto de corriente constante S2 para valores de corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica superiores a un límite alto, en este documento igual a 10 A (a título de ejemplo ilustrativo);
- una fase intermedia de variación creciente, o de aumento, del umbral de salto de corriente en función de la corriente nominal I_n , siendo el aumento, en este documento, lineal, para corrientes comprendidas entre el límite bajo (en este documento 1 A) y el límite alto (en este documento 10 A).

De este modo, según la ley de variación como se representa en la figura 4A, el umbral de salto de corriente S es igual a un primer valor S1, cuando la corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica 100 es inferior o igual al límite bajo (en este documento 1 A), luego aumenta de forma lineal hasta alcanzar un segundo valor S2 cuando la corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica 100 es igual al límite alto (en este documento 10 A) y finalmente se estanca en este valor S2 cuando la corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica 100 es superior al límite alto (en este documento 10 A). En la figura 4A, los valores de umbral se expresan en dígitos. La digitalización del valor de la corriente da datos en escalón que corresponden a un número de dígitos. El dígito, por lo tanto, representa una resolución en corriente. Por ejemplo, si un dígito representa 0,1 A, 100 dígitos representan 10 A. En el ejemplo particular de realización descrito en este documento, 1 A corresponde a 113 dígitos. De una manera general, 1 A podría corresponder a un número de dígitos comprendido, por ejemplo, entre 50 y 400. Podrían contemplarse otras formas de ley de variación del umbral de salto de corriente en función de la corriente nominal (o de funcionamiento) de la instalación fotovoltaica 100.

Durante la etapa E2, con el fin de determinar el umbral ajustado S válido en un instante dado t_i , anotado $S(t_i)$, el módulo de procesamiento 10 calcula un valor medio de la corriente I en una ventana de análisis que contiene una serie de X valores medidos y muestreados, en otras palabras, una serie de X muestras, que cubren un período temporal ligeramente anterior al instante t_i , centrado en un instante $(t_i - \tau)$ donde τ representa un desfase temporal. No obstante, la ventana de análisis no debe alejarse demasiado del instante t_i , y contener un número suficiente y razonable de muestras para tener en cuenta posibles variaciones y adquirir la información lo suficientemente de manera rápida. La duración de la ventana está, por ejemplo, comprendida entre 10 ms y 500 ms. Cubre un período que precede al salto. El desfase temporal (τ) debe ser al menos de un búfer (esto es, 256 muestras) y, ventajosamente, inferior a 100 búferes. Se anota "VA ($t_i - \tau$)" esta ventana de análisis e " $I_{med}(t_i - \tau)$ " el valor medio de la corriente I calculado en esta ventana de análisis. De este modo, el umbral $S(t_i)$ que conviene aplicar en el instante t_i se calcula sobre la base de una ventana de análisis VA($t_i - \tau$) ligeramente desfasada en el tiempo antes de este instante t_i y centrada en un instante $(t_i - \tau)$. Este ligero desfase temporal está adaptado de modo que, en caso de salto de corriente de la corriente I en el instante t_i , o sustancialmente en el instante t_i , el valor medio de corriente $I_{med}(t_i - \tau)$ usado para determinar el umbral aplicable $S(t_i)$ corresponda a la corriente media proporcionada por la instalación fotovoltaica 100 justo antes del salto. De este modo, el umbral S se actualiza o se ajusta, en cada instante t_i de una sucesión de instante t_i con $i = 1, 2, \dots$. El umbral $S(t_i)$ se calcula usando la ley de variación predefinida, como se representa en la figura 4A, para una corriente

"nominal" igual al valor medio de corriente $I_{med}(t_i-T)$ determinada.

El procedimiento comprende a continuación una etapa E3 de detección de un salto de corriente. Esta etapa se implementa en cada instante t_i a partir de datos de corriente previamente registrados. Tiene como propósito detectar una caída de corriente con una amplitud superior al umbral de salto de corriente ajustado y válido en este instante t_i . La detección de un salto de corriente usa un algoritmo de detección como se describe a continuación.

El algoritmo de detección de salto usa un conjunto de $2N$ muestras sucesivas registradas, en otras palabras, $2N$ valores muestreados representativos de la corriente I . El número " N " constituye una profundidad de detección (o de análisis o de procesamiento). Anotamos mue_k la muestra de índice k . El algoritmo comprende la implementación de las siguientes etapas:

- calcular la suma de las N muestras mue_k más recientes con índice k que varía de 0 a $N-1$, y la suma de las N muestras mue_k más antiguas con índice k que varía de N a $2N-1$ (habiéndose medido las N muestras mue_k "más recientes" con posterioridad a las N muestras "más antiguas"), durante una primera etapa de cálculo E30;
- luego calcular la diferencia d_N entre la suma de las N muestras más antiguas con índice k que varía de N a $2N-1$ y la suma de las N muestras más recientes con índice k que varía de 0 a $N-1$, sea $d_N = \sum_{k=N}^{2N-1} mue_k - \sum_{k=0}^{N-1} mue_k$, durante una segunda etapa de cálculo E31;
- verificar si la diferencia d_N calculada es superior, en valor absoluto, al umbral $S(t_i)$ determinado para el instante t_i (en comparación con este umbral) durante una etapa de prueba E32.

En el modo de realización descrito en este documento, el algoritmo de detección de salto se ejecuta para una primera profundidad de detección N , mediante la implementación de las etapas E30 a E32, y para una segunda profundidad de detección M , mediante la implementación de las etapas E'30 a E'32 similares a las etapas E30 a E32, pero con un cambio de profundidad. La profundidad M es estrictamente superior a la profundidad N . En el ejemplo de realización descrito en este documento, N es igual a 8 y M es igual a 128 . En la figura 4B, se han representado dos curvas de umbral S_N y S_M correspondientes a las leyes de variación del umbral expresado en dígitos en función de la corriente nominal I_n de la instalación fotovoltaica 100, aplicables respectivamente para la profundidad N y para la profundidad M . A un umbral $S(t_i)$ expresado en amperios corresponde dos umbrales equivalentes $S_N(t_i)$ y $S_M(t_i)$ expresados en dígitos y aplicables para las profundidades N y M respectivamente.

La ejecución del algoritmo de detección de salto para dos profundidades de detección N y M distintas permite filtrar variaciones dinámicas de baja frecuencia (para la profundidad N) y variaciones dinámicas de alta frecuencia (para la profundidad M), de la corriente de la instalación fotovoltaica 100. Estas variaciones dinámicas de la corriente I se deben a eventos que no sean arcos eléctricos. Por ejemplo, puede tratarse de una bajada de la corriente producida por la instalación 100 como consecuencia de una nube que hace disminuir la iluminación recibida o de variaciones de corriente relacionadas a fenómenos parásitos de impulsos. La profundidad N está adaptada para filtrar variaciones dinámicas de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100 caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 1 Hz y 1000 Hz. La profundidad M está adaptada para filtrar variaciones dinámicas de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100 caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 100 kHz y 1000 kHz. Más generalmente, los valores de N y M pueden elegirse dentro de un amplio rango, entre 3 y 1500 , para obtener resultados satisfactorios a partir de una frecuencia de muestreo comprendida entre 50 kHz y 10 MHz.

Durante una etapa de prueba E33, se determina si las dos etapas de comparación E32 y E'32 proporcionan resultados positivos, en otras palabras, si las diferencias d_N y d_M calculadas para las dos profundidades N y M son superiores a los umbrales respectivos. Si la prueba E33 es positiva, siendo las diferencias d_N y d_M calculadas para las dos profundidades N y M ambas superiores a los umbrales respectivos, la presencia de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica 100 se detecta durante una etapa E5. De este modo, un arco eléctrico se detecta solo si las diferencias calculadas para las dos profundidades N y M son superiores a los umbrales correspondientes. En caso de prueba negativo, las etapas anteriores se repiten en un instante posterior t_{i+1} .

El procedimiento comprende igualmente la ejecución de un algoritmo de detección de una variación ΔB del nivel de ruido de la señal medida por el sensor de medición 8, durante una etapa E4, que permite detectar un aumento del nivel de ruido superior a una variación umbral o crítica ΔB_S . Un arco eléctrico va acompañado de un aumento del nivel de ruido de la señal de corriente I de la instalación fotovoltaica 100, debido al ruido generado por el plasma del arco eléctrico. El algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido tiene como propósito detectar este aumento del nivel de ruido a partir de los valores medidos representativos de la corriente I de la instalación fotovoltaica 100, muestreados y registrados en memorias intermedias. A estos efectos, se puede usar cualquier método conocido de procesamiento de la señal que permita detectar la variación del nivel de ruido de una señal.

Por ejemplo, el algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido puede basarse en el cálculo de la varianza de valores medidos muestreados, en una ventana de muestras deslizante en el tiempo de muestras, y en la detección de un rebasamiento de umbral crítico por esta varianza.

En caso de detección de una variación del nivel de ruido ΔB superior a la variación crítica o umbral ΔB_s , durante la etapa E4, se detecta un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica y el procedimiento pasa a la etapa E5.

- 5 En caso de no detección de una variación del nivel de ruido ΔB superior a la variación crítica o umbral ΔB_s durante la etapa E4, el procedimiento repite la etapa E5 para una ventana de análisis desfasada en el tiempo.

10 El algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido puede ejecutarse varias veces en las mismas muestras modificando ciertos parámetros del algoritmo para detectar diferentes tipos de arcos eléctricos específicos o descartar una falsa detección de arco eléctrico causada por un evento particular (por ejemplo, en el arranque de la instalación fotovoltaica con corriente nominal en el punto de máxima potencia).

15 El algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido permite completar la detección realizada por el algoritmo de detección de un salto de corriente. En particular, en los casos en los que el arco eléctrico no provoca un salto de corriente que tenga una amplitud suficiente para ser detectado (por ejemplo, debido a un bajo nivel de iluminación de la instalación fotovoltaica o debido a un punto de funcionamiento desfasado hacia la izquierda en la curva I-V con respecto al punto de máxima potencia), el algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido permite, sin embargo, detectar un posible arco eléctrico.

20 El algoritmo de detección de un salto de corriente y el algoritmo de detección de una variación del nivel de ruido de un salto de corriente pueden ejecutarse en paralelo. La presencia de un arco eléctrico se detecta si una al menos de las dos etapas E3 y E4 produce un resultado positivo de detección de arco eléctrico.

25 Cuando se detecta un arco eléctrico (etapa E5), la unidad de procesamiento 10 transmite un mando de puesta en seguridad de la instalación fotovoltaica 100, durante una etapa E6, al dispositivo de intervención 12. Esta puesta en seguridad puede basarse en conmutadores mandados a distancia. Puede realizarse mediante una orden de interrupción del funcionamiento de la instalación fotovoltaica, lo que permite detener el arco eléctrico, eliminando, de este modo, cualquier riesgo de deterioro y/o de incendio.

30 A título de ejemplo ilustrativo, las figuras 2A y 2B representan señales de corriente medidas con presencia de un arco eléctrico. En la figura 2A, el arco eléctrico provoca un salto negativo de corriente que se detectará mediante la etapa E3 de detección de un salto de corriente, en caso de implementación del procedimiento de detección descrito anteriormente. En la figura 2B, la corriente vuelve de manera muy rápida a su valor inicial después del salto de corriente, con un aumento del nivel de ruido. En este caso, el arco eléctrico se detectará mediante la etapa E4 de
35 detección de una variación del nivel de ruido, en caso de implementación del procedimiento de detección descrito anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica (100) destinada a suministrar una corriente eléctrica (I) que comprende las siguientes etapas:
- Medición (E0) de valores representativos de la corriente eléctrica (I) suministrada por la instalación fotovoltaica (100);
 - Ajuste (E2) de un umbral de salto de corriente variable (S(ti)), en función de valores medidos;
 - Detección (E3) de un salto de corriente que tiene una amplitud superior a un umbral de salto de corriente ajustado en función de valores medidos antes del salto;
 - Detección (E5) de un arco eléctrico por detección de un salto de corriente, estando el procedimiento caracterizado por que el ajuste (E2) del umbral de salto de corriente variable usa una ley de variación del umbral en función de una corriente nominal de la instalación fotovoltaica que incluye una fase de aumento del umbral de salto de corriente en función de dicha corriente nominal, incluyendo la ley de variación del umbral una fase de umbral de salto de corriente constante para valores de corriente nominal de la instalación fotovoltaica inferiores a un límite bajo comprendido entre 0 A y 8 A, ventajosamente entre 0,8 A y 1,2 A, en concreto, igual a 1 A.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la fase de aumento del umbral es lineal.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la ley de variación del umbral incluye una fase de umbral de salto de corriente constante para valores de corriente suministrada por la instalación fotovoltaica superiores a un límite alto.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, para la detección del salto de corriente (E3), el umbral de salto de corriente se ajusta en función de una corriente media calculada en una ventana temporal con una duración comprendida entre 50 ms y 500 ms que precede al salto de corriente.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que muestreándose (E1) los valores medidos representativos de la corriente suministrada por la instalación fotovoltaica, para detectar un salto de corriente, se registra un conjunto de 2N muestras sucesivas, constituyendo N una profundidad de detección dada, y se ejecuta un algoritmo de detección de salto que consiste en calcular (E31) la diferencia entre la suma de las N muestras más antiguas y la suma de las N muestras más recientes, y en verificar (E32) si la diferencia calculada es superior, en valor absoluto, a un umbral de salto de corriente ajustado.
6. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que el algoritmo de detección de salto se ejecuta para dos profundidades de detección distintas N y M (E31, E32, E'31, E'32), y un arco eléctrico se detecta solo si se determina que las diferencias calculadas para las dos profundidades son superiores, en valor absoluto, a los umbrales correspondientes.
7. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que: - el tamaño N está adaptado para filtrar variaciones dinámicas de la corriente de la instalación fotovoltaica caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 1 Hz y 1000 Hz; o - el tamaño M está adaptado para filtrar variaciones dinámicas de la corriente de la instalación fotovoltaica caracterizadas por una frecuencia característica que pertenece a una banda de frecuencias comprendida entre 100 kHz y 1000 kHz.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una etapa (E4) de detección de una variación del nivel de ruido de una señal de los valores medidos superior a una variación crítica.
9. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que, muestreándose los valores medidos, durante la etapa de detección de una variación del nivel de ruido, se calcula la varianza de valores medidos muestreados, en concreto, en una ventana de muestras deslizante en el tiempo.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 y 8, caracterizado por que la etapa de detección de una variación del nivel de ruido se ejecuta varias veces en las mismas muestras modificando parámetros para detectar diferentes tipos de arcos eléctricos específicos.
11. Dispositivo de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica (100) destinada a suministrar una corriente eléctrica (I) que comprende los siguientes módulos: • un módulo (6) de medición de valores representativos de la corriente eléctrica (I) suministrada por la instalación fotovoltaica (100); • un módulo (22) de ajuste de un umbral de salto de corriente variable (S(ti)), en función de valores medidos; • un módulo (23) de detección de un salto de corriente que tiene una amplitud superior a un umbral de salto de corriente ajustado en función de valores medidos antes del salto, estando el dispositivo caracterizado por que el ajuste del umbral de salto de corriente variable usa una ley de variación del umbral en función de una corriente nominal de la instalación fotovoltaica que incluye una fase de aumento del umbral de salto de corriente en función de dicha corriente nominal, incluyendo la ley de variación del umbral una fase de umbral de salto de corriente constante para valores de corriente nominal de la instalación fotovoltaica inferiores a un límite bajo comprendido entre 0 A y 8 A, ventajosamente entre 0,8 A y 1,2 A, en concreto,

igual a 1 A.

- 5 12. Dispositivo según la reivindicación anterior, caracterizado por que comprende un convertidor analógico-digital destinado a muestrear los valores medidos representativos de la corriente suministrada por la instalación fotovoltaica, unos medios de almacenamiento de valores medidos muestreados destinados a almacenar un conjunto de $2N$ muestras sucesivas, constituyendo N una profundidad de detección dada, y por que el módulo (23) de detección de un salto de corriente está dispuesto para ejecutar un algoritmo de detección de salto que consiste en calcular la diferencia entre la suma de las N muestras más antiguas y la suma de las N muestras más recientes, y en verificar, si la diferencia calculada es superior, en valor absoluto, a un umbral de salto de corriente ajustado.
- 10 13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 11 y 12, caracterizado por que comprende un módulo de detección de una variación del nivel de ruido de una señal formada por los valores medidos superior a una variación crítica.
- 15 14. Sistema de seguridad para una instalación fotovoltaica, caracterizado por que comprende un dispositivo de detección de un arco eléctrico según una de las reivindicaciones 11 a 13 y un dispositivo de intervención destinado a poner la instalación fotovoltaica en seguridad en caso de arco eléctrico.
- 20 15. Instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende un dispositivo de detección de arco eléctrico según una de las reivindicaciones 11 a 13 o un sistema de seguridad según la reivindicación 14.

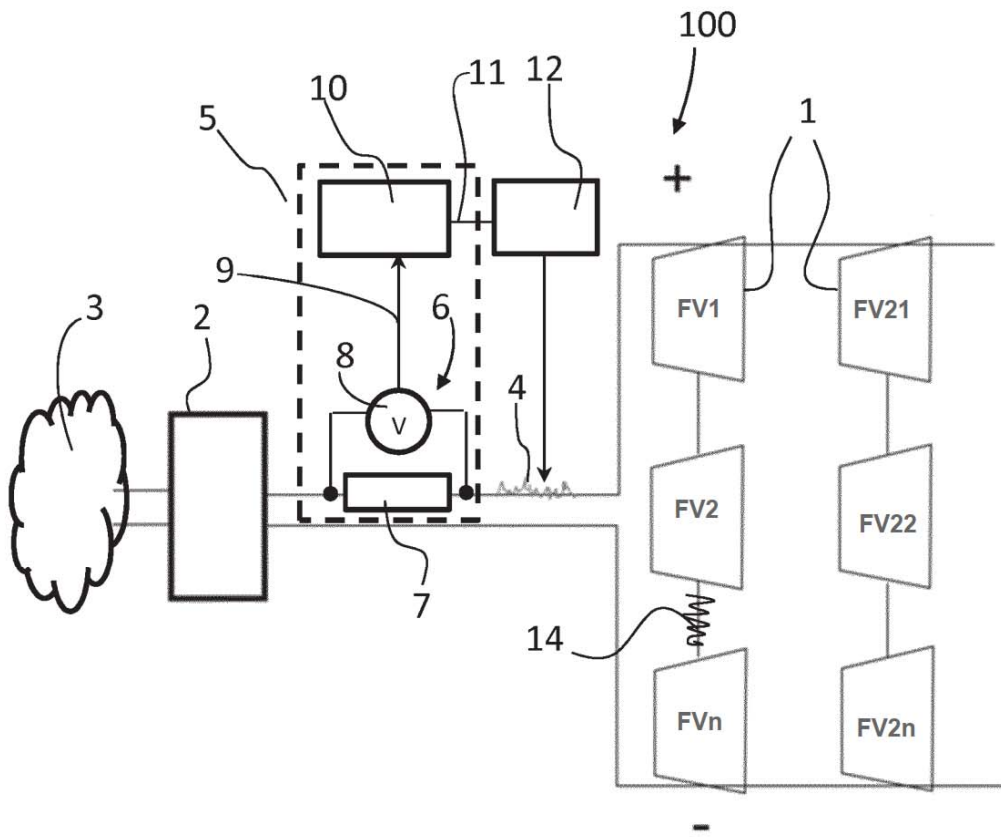


Figura 1

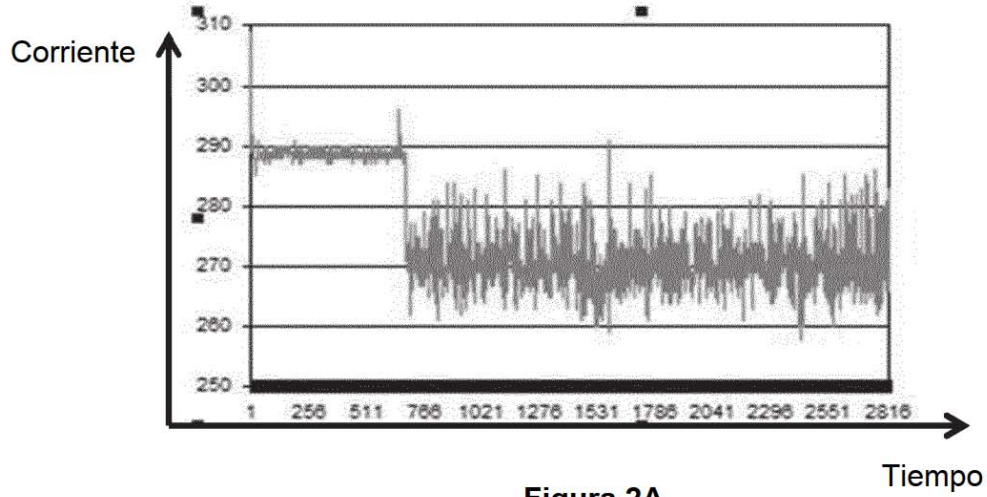


Figura 2A

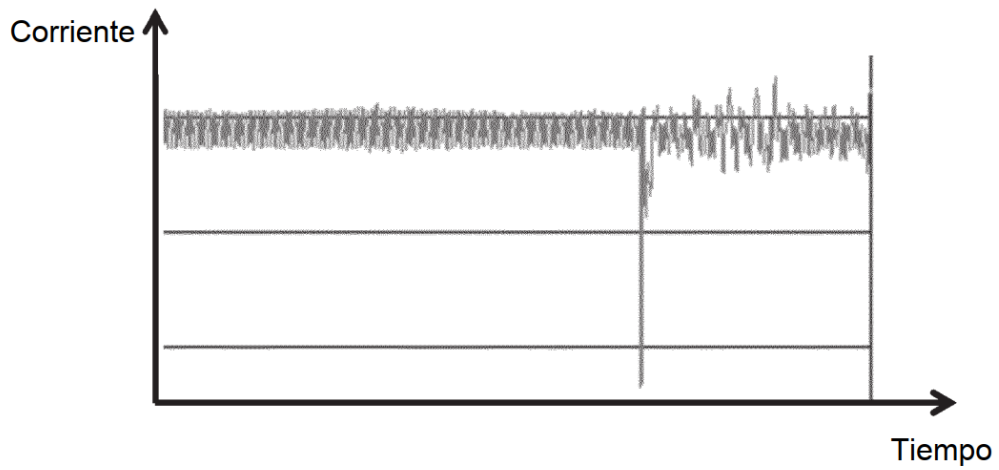


Figura 2B

Curvas I-V Detalles

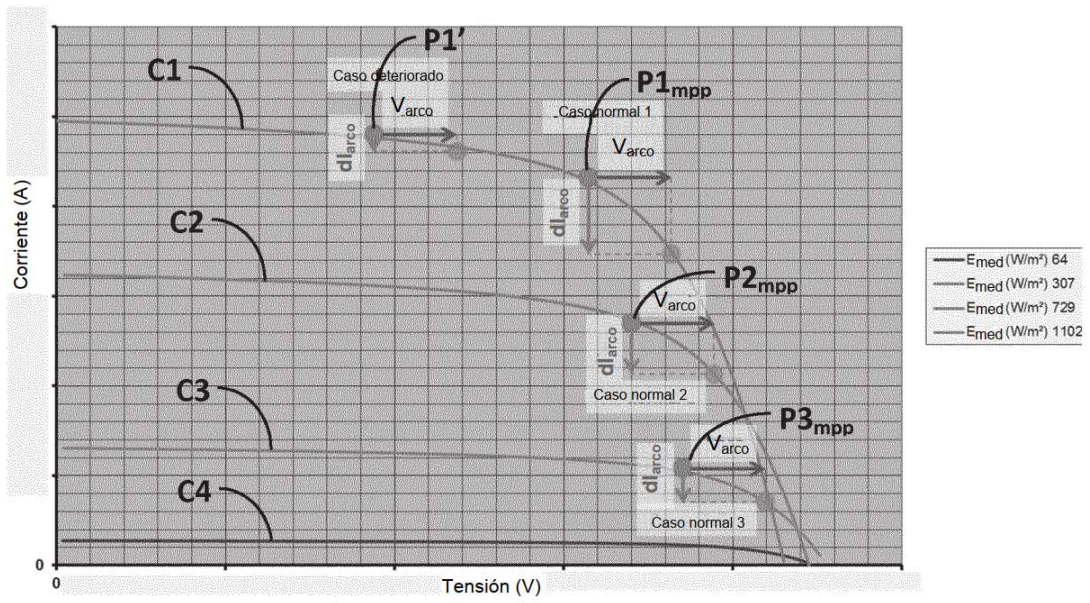


Figura 3

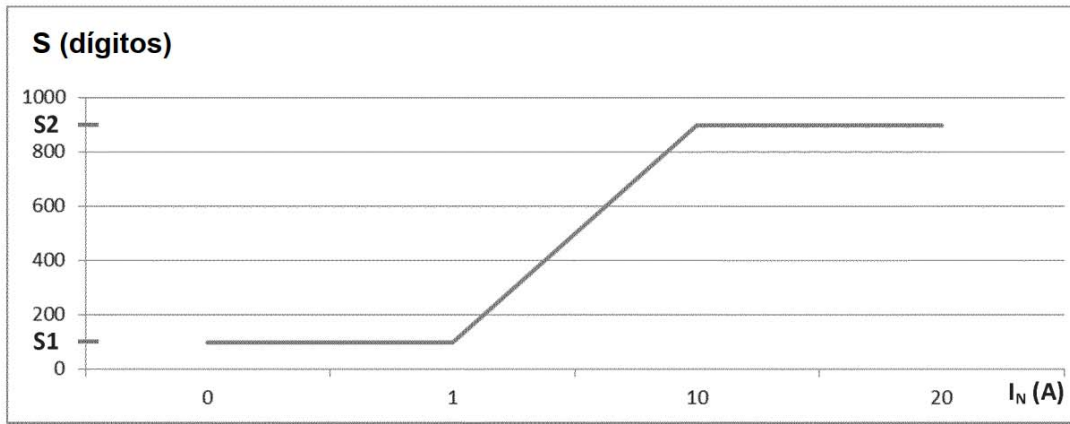


Figura 4A

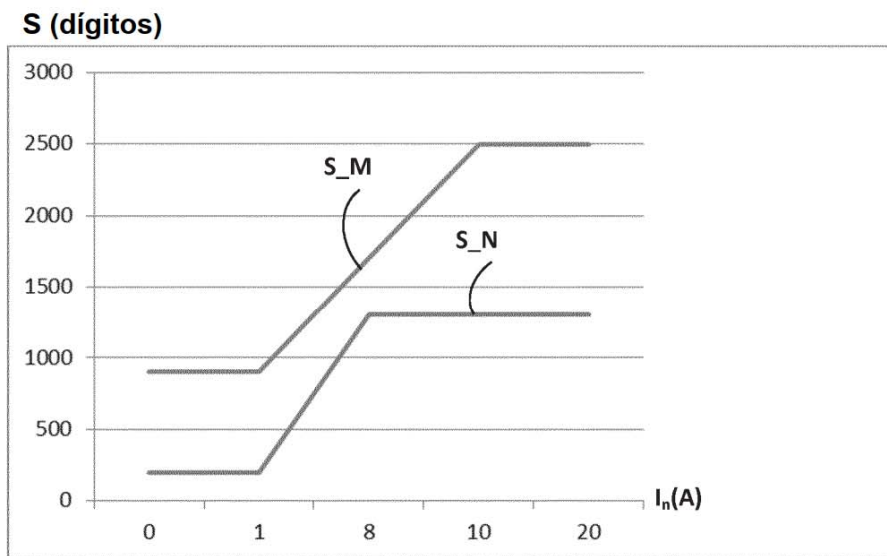
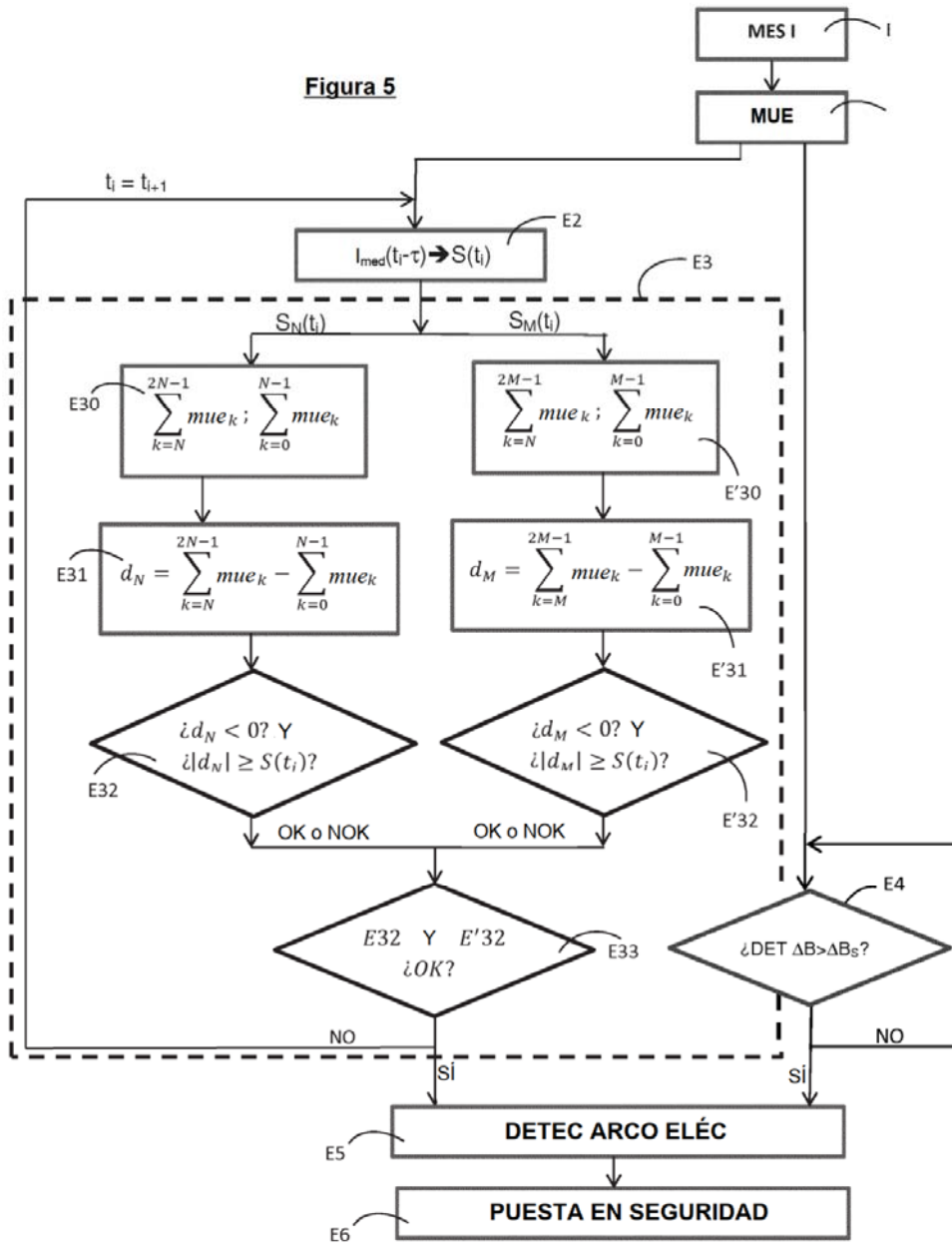


Figura 4B

Figura 5



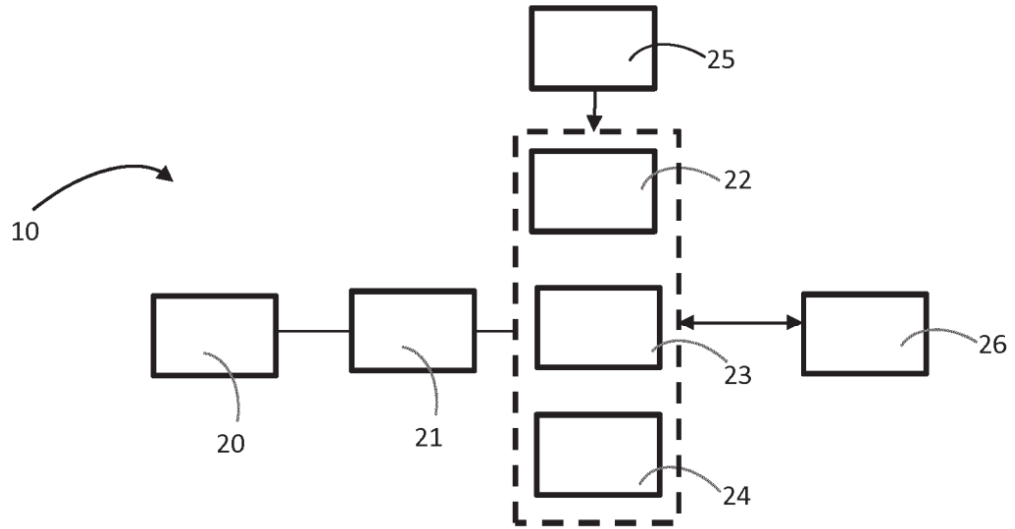


Figura 6