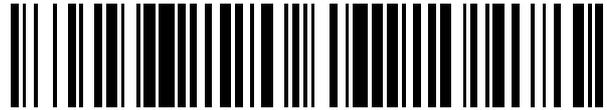


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 756 648**

51 Int. Cl.:

H02S 50/15 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2016 PCT/EP2016/079468**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093422**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16806041 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3384594**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de evaluación de la energía producida por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica**

30 Prioridad:

01.12.2015 FR 1561628

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

27.04.2020

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 y
SIAT, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 756 648 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 evaluación de la energía producida por 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 evaluación de la energía producida por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica. Se refiere también a una instalación fotovoltaica equipada con dicho dispositivo.

10 **Estado de la técnica**

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser propensas a alojar arcos eléctricos. Los documentos F. Schimpf y L. Norman, 31st International Telecommunication Energy conference, Incheon, Corea, 18-22 Oct 2009, IEEE, Piscataway, NJ, EE.UU., 1-6, XP031579534; y K. Kozyi y col., IEEE Transactions on power delivery, IEEE service center, Nueva York, EE.UU., vol. 28, nº 3, 1584-1591, XP011515987 describen procedimientos de evaluación de la energía producida por un arco eléctrico.

Un arco eléctrico puede producirse en caso de fallo del conductor o en caso de conexión defectuosa (por ejemplo, después de la apertura de un conector en carga o debido a la corrosión de un conductor). Se origina por la acción de un plasma que aparece entre dos electrodos. Estos pueden estar formados por los dos extremos de un conductor o por dos partes de un conector abierto o interrumpido localmente (debido, por ejemplo, a una corrosión). La aparición de un arco eléctrico se acompaña de un frente o salto positivo de tensión de breve duración, del orden de unos microsegundos. La tensión de arco inicial V_{arco0} tiene un valor que es característico de la aparición de un arco eléctrico y que depende del material de los electrodos. En general está comprendida entre 10 V y 30 V. Por ejemplo, en el caso de electrodos de cobre, la tensión de arco inicial V_{arco0} es del orden de 20 V. El plasma del arco eléctrico desempeña el papel de una resistencia que aumenta en el curso del tiempo. Por tanto, el frente de tensión inicial se sigue generalmente de un aumento progresivo de la tensión de arco que puede llegar a alcanzar una tensión en circuito abierto.

Las instalaciones fotovoltaicas tienen la característica de que funcionan en corriente y tensión eléctricas continuas, lo que puede resultar problemático cuando aparece un arco eléctrico relacionado con un fallo. De hecho, en corriente y tensión continuas, no existe extinción natural del arco eléctrico por el paso por cero de la tensión y de la corriente, como sucede en corriente alterna. Como consecuencia, un arco eléctrico relacionado con un fallo es susceptible de generar un plasma que libera un calor muy intenso durante un tiempo importante y que produce por tanto mucha energía en una instalación fotovoltaica. Dicho plasma es destructivo y puede provocar un conato de incendio. Por motivos de seguridad, es indispensable así detectar la presencia de un posible arco eléctrico en una instalación fotovoltaica e interrumpirlo en un tiempo útil con el fin de evitar cualquier degradación o conato de incendio. Para este fin, la instalación fotovoltaica está equipada con un dispositivo de detección de arco, o detector de arco. Este está asociado en general con un dispositivo de intervención o de extinción de arco, destinado a intervenir para interrumpir el arco eléctrico e impedir cualquier degradación o conato de incendio.

Un arco eléctrico puede producirse igualmente, en funcionamiento normal, en un elemento electromagnético de control y/o de protección, en la apertura o en el cierre de contactos o polos. Por ejemplo, en la apertura, un interruptor seccionador genera un arco eléctrico de una duración inferior o igual a una duración máxima conocida. Los medios de extinción de arco permiten generalmente interrumpir el arco de manera que no perdure más allá de una duración de arco máxima predefinida.

Existen diversos procedimientos, algunos de ellos muy rápidos, que permiten detectar la presencia de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica. En caso de arco eléctrico relacionado con la apertura en carga de un interruptor seccionador u otro elemento electromecánico, esta acción conlleva el riesgo de provocar una detección positiva de arco seguida de una parada intempestiva de la instalación fotovoltaica, lo cual no es conveniente.

Por otra parte, un arco eléctrico relacionado con un fallo en la instalación fotovoltaica puede tener una duración comprendida entre algunos microsegundos y varios minutos, e incluso varias horas en ciertas condiciones especiales. Por ejemplo, en el caso de un arco eléctrico discontinuo compuesto por una sucesión de microarcos de duraciones breves, separados por periodos sin arco, cada microarco a priori no es peligroso en sí mismo, aunque la energía acumulada por la sucesión de estos microarcos puede volverse crítica para el entorno y/o la instalación con el curso del tiempo.

Por los motivos que acaban de exponerse parece útil evaluar el nivel de energía eléctrica generado por un arco eléctrico, con el objetivo sobre todo de apreciar su peligrosidad para la instalación fotovoltaica y/o el entorno.

Objeto de la invención

Para este fin, la invención se refiere a un procedimiento de evaluación de la energía eléctrica producida por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica que comprende las etapas siguientes:

A) Medida de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación con una frecuencia de muestreo superior o igual a 50 kHz, y, a partir de la señal de corriente medida:

- 5
- Determinación de un valor inicial de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico;
 - Determinación de los valores de corriente durante el arco eléctrico;

B) Evaluación de los valores de una tensión de arco a partir de los valores de corriente determinados durante el arco y del valor inicial de la corriente;

10 C) Integración en el tiempo del producto de los valores de tensión de arco evaluados por los valores de corriente determinados, con el fin de determinar la energía del arco.

15 Según la invención, la energía eléctrica generada por un arco eléctrico que se produce en la instalación fotovoltaica se evalúa a partir de una única medida de la corriente producida por la instalación, a una frecuencia de muestreo elevada. De este modo, el dispositivo de medida puede comprender un único sensor de medida de corriente.

20 En una realización en particular, para evaluar cada valor de tensión de arco, se calcula la diferencia entre un valor de corriente durante el arco determinado y el valor inicial de corriente y se multiplica dicha diferencia por la relación entre una amplitud de salto de tensión relacionado con la aparición del arco eléctrico y una amplitud de salto de corriente relacionado con la aparición del arco eléctrico.

25 Según la invención, la tensión de arco se evalúa a partir de la corriente medida. Esta evaluación se basa en una reconstrucción lineal a partir de la corriente medida. Cada valor de tensión de arco evaluado es proporcional a la desviación entre un valor de corriente durante el arco y la corriente inicial, por un factor de proporcionalidad que es igual a la relación entre la amplitud del salto de tensión y la amplitud del salto de corriente, relacionadas con la aparición del arco.

30 Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa de descomposición de la señal de corriente en una pluralidad de ventanas de adquisición, y, para cada ventana de adquisición, una etapa de determinación de un valor medio de la corriente, registrándose en memoria dicho valor medio.

35 En una realización en particular, durante la etapa de integración, se calcula, para cada ventana de adquisición, una energía de arco realizando el producto del valor medio de la corriente medida en dicha ventana, del valor de tensión evaluada y de una duración de la ventana de adquisición, y a continuación se obtiene la suma de las energías de arco calculadas relativas a una sucesión de ventanas de adquisición

40 En una variante de realización, en el caso de un arco eléctrico discontinuo que incluye una pluralidad de microarcos, se implementan las etapas B) y C) para determinar la energía de cada microarco eléctrico, y a continuación se obtiene la suma de las energías respectivas de los microarcos eléctricos con el fin de determinar la energía del arco eléctrico discontinuo.

En una realización en particular, el valor inicial de la corriente es igual al valor medio de la corriente relativo a al menos una ventana de adquisición anterior a la que contiene el salto de corriente.

45 El valor del salto de tensión puede estar predefinido y comprendido entre 12 V y 35 V, por ejemplo, igual a 20 V.

Ventajosamente, la amplitud del salto de corriente es determinada a partir de la señal de corriente medida.

50 En una realización en particular, el procedimiento comprende una etapa de comparación de la energía del arco eléctrico determinada con un umbral de energía y una etapa de protección en caso de superación de dicho umbral.

La invención se refiere también a un dispositivo de evaluación de la energía liberada por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica caracterizado porque comprende:

- 55
- un módulo de obtención de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación;
 - un módulo de tratamiento de la señal de corriente, adaptado para determinar un valor inicial de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico y de los valores de corriente durante el arco eléctrico;
 - un módulo de evaluación de los valores de tensión de arco a partir de los valores de corriente determinados y del valor inicial de la corriente;
 - 60 • un módulo de integración en el tiempo del producto de los valores de tensión de arco evaluados por los valores de corriente determinados, con el fin de determinar la energía del arco.

El dispositivo comprende ventajosamente parte o la totalidad de las características adicionales siguientes:

65 - el módulo de evaluación de los valores de tensión de arco está adaptado para calcular la diferencia entre un valor de corriente durante el arco determinado y el valor inicial de corriente y multiplicar dicha diferencia por la relación entre

una amplitud de salto de tensión relacionado con la aparición del arco eléctrico y una amplitud de salto de corriente relacionado con la aparición del arco eléctrico;

- el módulo de tratamiento de la señal de corriente está adaptado para descomponer la señal de corriente en una pluralidad de ventanas de adquisición, y, para cada ventana de adquisición, determinar un valor medio de corriente medida en dicha ventana, registrándose en memoria dicho valor medio de corriente;

- el módulo de integración está dispuesto para calcular, para cada ventana de adquisición, una energía de arco realizando el producto del valor medio de la corriente medida en dicha ventana, del valor de tensión evaluada y de una duración de la ventana de adquisición, y a continuación para obtener la suma de las energías de arco calculadas relativas a una sucesión de ventanas de adquisición.

La invención se refiere además a un sistema de seguridad para una instalación fotovoltaica, caracterizado porque comprende un dispositivo de detección de un arco eléctrico, un dispositivo de evaluación de la energía eléctrica liberada por el arco eléctrico detectado, tal como se define anteriormente, y un dispositivo de intervención destinado a proteger la instalación fotovoltaica en caso de arco eléctrico.

La invención se refiere igualmente a una instalación fotovoltaica que comprende el sistema de seguridad definido a continuación.

Breve descripción de los dibujos

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción siguiente de una realización en particular del procedimiento y del dispositivo de evaluación de la energía eléctrica producida o generada por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica, de un sistema de seguridad para instalación fotovoltaica que integra dicho dispositivo de evaluación y de una instalación fotovoltaica equipada con este sistema de seguridad, en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- La figura 1 representa un esquema de una instalación fotovoltaica según un ejemplo de realización de la invención;
- La figura 2 representa un ejemplo de señal medida de corriente eléctrica producida por la instalación de la figura 1, que integra un salto de corriente relacionado con un arco eléctrico;

- La figura 3 representa un primer ejemplo de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación fotovoltaica de la figura 1, descompuesta en ventanas de adquisición y que integra un salto de corriente relacionado con la aparición de un arco eléctrico continuo en la instalación;

- La figura 4 representa un segundo ejemplo de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación fotovoltaica de la figura 1, descompuesta en ventanas de adquisición y que integra varios saltos de corriente relacionados con microarcs eléctricos en la instalación;

- La figura 5 representa un ejemplo de la característica corriente-tensión de un módulo fotovoltaico de la instalación de la figura 1 y la curva correspondiente de potencia en función de la tensión;

- La figura 6 representa un organigrama de las etapas del procedimiento de evaluación, según una realización en particular de la invención;

- La figura 7 representa un diagrama de bloques funcional del dispositivo de evaluación según una realización en particular de la invención, adaptado para implementar el procedimiento de la figura 5.

Descripción detallada de realizaciones particulares de la invención

La invención pretende evaluar la energía eléctrica generada o producida por un arco eléctrico que se produce en una instalación fotovoltaica 100.

En la figura 1, se ha representado esquemáticamente un ejemplo de instalación fotovoltaica 100 capaz de producir una corriente continua I. Este comprende, de forma conocida, varios módulos fotovoltaicos (PV) 1 conectados con un ondulator 2. Los módulos PV 1 son en este caso idénticos. Los módulos PV1 pueden montarse en serie, en paralelo o combinando ambos modos. Una cadena de módulos PV montados en serie se denomina «string». Por ejemplo, tal como se representa en la figura 1, la instalación 100 comprende varios strings, o cadenas, de m módulos PV 1, conectados en paralelo. El ondulator 2 está preparado para convertir la corriente continua I producida por los módulos fotovoltaicos 1 en una corriente alterna y para suministrarla a una red eléctrica 3.

El procedimiento de la invención persigue evaluar la energía eléctrica liberada o producida por un arco eléctrico cuya presencia es detectada en una instalación fotovoltaica 100. Un arco eléctrico puede estar relacionado con un fallo y producirse en cualquier lugar de la instalación 100, por ejemplo, entre los módulos fotovoltaicos 1 y el ondulator 2 (tal como se representa mediante el arco eléctrico 4 en la figura 1), o en un módulo fotovoltaico 1, o incluso en un enlace que conecta en serie varios módulos fotovoltaicos 1 (tal como se representa mediante el arco eléctrico 4' en la figura 1). Un arco eléctrico puede producirse igualmente en un funcionamiento normal de la instalación 100, en un elemento electromecánico, por ejemplo, en un interruptor seccionador (no representado en la figura 1), en la apertura en carga de sus contactos. En este caso, el elemento está dotado de medios de extinción de arco que permiten extinguir rápidamente el arco eléctrico.

Un arco eléctrico, ya esté o no relacionado con un fallo, provoca una variación importante de tensión en la instalación

eléctrica 100. De hecho, la aparición del arco eléctrico se caracteriza por un frente o salto positivo de tensión, de una duración del orden de varios microsegundos y de una amplitud igual a una tensión de arco inicial V_{arco0} característica. El valor de esta tensión de arco inicial V_{arco0} está comprendido normalmente entre 12 V y 35 V. Depende del material que constituye los electrodos entre los que se forma el arco eléctrico. Por ejemplo, si los electrodos son de cobre, la tensión de arco inicial V_{arco0} es igual, o sustancialmente igual, a 20 V. Cuando aparece un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica 100, ya se trate de un arco eléctrico relacionado con un fallo (por ejemplo, el arco 4 o 4') o de un arco eléctrico relacionado con la apertura en carga del interruptor seccionador, la tensión en los bornes de uno o varios módulos fotovoltaicos 1 (en la hipótesis en que el arco se produce en el exterior del o de los módulos considerados) aumenta bruscamente debido a la tensión de arco inicial V_{arco0} y la corriente I producida por la instalación fotovoltaica disminuye también bruscamente en un valor ΔI_{arco0} . Este valor ΔI_{arco0} depende de la posición del punto de funcionamiento en la curva corriente-tensión, o curva característica I-V, del o de los módulos fotovoltaicos. En la figura 5, se ha representado un salto de tensión de 20 V a partir del punto MPP de potencia máxima de uno o varios módulos PV y el salto de corriente ΔI_{arco0} correspondiente, provocados por la aparición de un arco eléctrico. En la figura 2, se ha representado a modo de ejemplo ilustrativo un salto de corriente negativo relacionado con la aparición de un arco eléctrico, en el caso presente un arco eléctrico continuo de larga duración provocado por un fallo en la instalación fotovoltaica 100.

En la figura 3, se ha representado un primer ejemplo de una señal de corriente eléctrica I , producida por la instalación fotovoltaica 100 y medida por un sensor de medida de corriente. Esta señal integra un salto de corriente negativo relacionado con la aparición de un arco eléctrico continuo de larga duración provocado por un fallo. La señal de corriente se descompone en una sucesión de ventanas de adquisición, teniendo cada ventana de adquisición una duración comprendida entre 10 μs y 100 ms, denotadas como:

- F_i , con $1 \leq i \leq N$, antes de la aparición del arco, y
- F_{arcj} , con $1 \leq j$, a contar desde la aparición del arco.

En la figura 4, se ha representado un segundo ejemplo de una señal de corriente eléctrica V , producida por la instalación fotovoltaica 100 y medida por un sensor de medida de corriente. La señal integra un salto de corriente positivo relacionado con la aparición de un arco eléctrico discontinuo que incluye una sucesión de microarcos (es decir, de arcos eléctricos de breve duración, comprendida normalmente entre 2 μs y 100 μs) separados por periodos sin arco. La señal de corriente se descompone en una sucesión de ventanas de adquisición. En la figura 4, solo se representa la ventana de adquisición que contiene el principio del arco eléctrico. Un arco eléctrico de este tipo se relaciona generalmente con un fallo de conexión (oxidación de contacto, ruptura de soldadura, desapriete de la placa de conexiones, etc.). En presencia de dicho fallo de conexión, los electrodos se forman pero se mantienen por su construcción muy cerca uno del otro, o incluso en contacto aleatorio, lo que induce conexiones eléctricas aleatorias. Un arco eléctrico puede aparecer entre estos electrodos y durar desde unos microsegundos a varios cientos de microsegundos. Por fusión de los materiales de electrodo, puede crearse un puente de soldadura, restableciendo así el contacto eléctrico entre los electrodos, y a continuación romperse de nuevo bajo el efecto Joule de la corriente provocando de este modo la aparición de un nuevo arco de breve duración. Esta alternancia de aparición y desaparición de arco de breve duración puede repetirse varias veces y generar así una sucesión de arcos eléctricos de duraciones breves separados por periodos sin arco.

La instalación fotovoltaica 100 comprende además un sensor 5 de medida de la corriente eléctrica I producida por la instalación 100, un dispositivo 7 de detección de arco eléctrico, un dispositivo 8 de evaluación de la energía liberada por un arco eléctrico detectado y un dispositivo 9 de intervención o de protección.

El sensor de medida de corriente 5 comprende por ejemplo, una resistencia 50, tal como una resistencia de derivación, colocada en una unión eléctrica de la instalación fotovoltaica 100 (por ejemplo, en la entrada del ondulator 2 tal como se representa en la figura 1), y un sensor de medida de tensión 51 destinado a medir la tensión en los bornes de la resistencia 50 que es la imagen directa de la corriente I por un factor de proporcionalidad conocido. La corriente I suministrada por la instalación fotovoltaica 100 es de hecho proporcional a la tensión U en los bornes de la resistencia 50, según la relación: $I = 1/R * U$ (de manera que R representa el valor de la resistencia 50). La tensión U medida en este caso es así la imagen de la corriente continua I suministrada por la instalación fotovoltaica 100. No obstante se podría usar un sensor de medida de corriente de otro tipo. El sensor 5 de medida de corriente funciona a una frecuencia de muestreo elevada, en este caso superior o igual a 50 kHz. En el ejemplo aquí descrito, la frecuencia de muestreo es igual a 200 kHz.

El sensor de medida 5 está unido a una memoria intermedia 6 destinada en concreto a almacenar la señal de corriente medida.

El dispositivo 7 de detección de arco eléctrico tiene como cometido detectar un arco eléctrico que se produce en la instalación fotovoltaica 100. Está adaptado para implementar un procedimiento de detección de arco eléctrico, preferentemente capaz de detectar con rapidez la aparición de un arco eléctrico, preferentemente en un plazo máximo de varios cientos de microsegundos después de esta aparición. El procedimiento de detección puede basarse en la detección de un salto positivo de tensión, tal como se describe por ejemplo en el documento de patente FR3002645, o en una medida de corriente, especialmente en la detección de un salto negativo de corriente relacionado con la

aparición del arco tal como se describe en la solicitud de patente francesa con el número 1561622. El dispositivo de detección 7 está conectado con uno o varios sensores de medida de tensión o de corriente, según el procedimiento de detección de arco implementado, mediante enlaces de comunicación. Al estar la instalación equipada con un sensor 5 de medida de corriente de alta frecuencia, la detección de arco eléctrico podría basarse de forma ventajosa en la medida de la corriente.

El dispositivo 8 de evaluación de la energía eléctrica liberada por un arco eléctrico detectado tiene como cometido evaluar la cantidad de energía eléctrica producida o liberada por un arco eléctrico detectado por el dispositivo de detección 8. Comprende los módulos siguientes:

- un módulo 80 de obtención de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación;
- un módulo 81 de tratamiento de la señal de corriente obtenida;
- un módulo 82 de evaluación de la tensión de arco;
- un módulo 83 de determinación de la energía del arco;
- una unidad de tratamiento o de control 84, del tipo de un microprocesador, con la cual están conectados todos los módulos 80 a 83 y que está destinada a controlar el funcionamiento;
- una memoria 85.

El módulo 80 de obtención de la señal de corriente se conecta con la memoria intermedia 6 que almacena la señal de corriente medida por el sensor de medida 5.

El módulo de tratamiento 81 está adaptado para descomponer la señal de corriente medida en una pluralidad de ventanas de adquisición de notadas como F_x . Cada ventana contiene un número N_f de puntos de adquisición (es decir, de valores de tensión medidos/muestreados). Para cada ventana de adquisición F_x , el módulo 81 calcula un valor medio de la tensión medida en la ventana, denotada como V_{F_x} . Los valores medios de tensión relativos a las diferentes ventanas de adquisición F_x se registran en la memoria 85. Así, los valores de tensión determinados durante un arco, denotados como $V_{F_{arcj}}$, corresponden a los valores medios de tensión calculados relativos a las ventanas de adquisición F_{arcj} durante el arco eléctrico. Además, el módulo de tratamiento 81 está destinado a determinar un valor inicial de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico, la amplitud de un salto de corriente relacionado con la aparición de un arco eléctrico y de los valores de corriente después de la aparición del arco eléctrico, a partir de la señal de corriente medida, tal como se describirá en la descripción del procedimiento.

El módulo 82 está destinado a evaluar los valores de tensión de arco a partir de los valores de corriente determinados durante el arco y del valor inicial de la corriente, tal como se describirá igualmente más en detalle en la descripción del procedimiento.

El módulo 83 está destinado a determinar la energía de un arco eléctrico por integración en el tiempo de los valores de tensión de arco evaluados y de los valores de corriente determinados durante el arco, tal como se describirá más en detalle en la descripción del procedimiento.

Los módulos 81, 82 y 83 son módulos de software destinados a ser ejecutados por la unidad de tratamiento 84 para la implementación de las etapas del procedimiento de evaluación que se describirá más adelante. La unidad de tratamiento 84 está destinada igualmente a transmitir una orden de protección al dispositivo de intervención 9, en caso de detección de un arco eléctrico, en particular de un arco eléctrico que ha liberado una energía crítica. El dispositivo de intervención 9 tiene como función interrumpir dicho arco eléctrico, con el fin de evitar cualquier riesgo de deterioro o de incendio. El dispositivo de evaluación de energía 8 está conectado con el dispositivo de intervención 9 por medio de un enlace de comunicación 10.

El dispositivo 7 de detección de arco eléctrico, el dispositivo 8 de evaluación de la energía eléctrica producida por el arco eléctrico detectado y el dispositivo de intervención 9 forman un sistema de seguridad para la instalación fotovoltaica 100.

A continuación se describirá una realización en particular del procedimiento de evaluación de la energía eléctrica producida por un arco eléctrico detectado en la instalación fotovoltaica 100, en referencia a la figura 6.

El procedimiento comprende una etapa E0 de adquisición o de medida, en este caso por el sensor de medida 5, de una señal de corriente eléctrica I producida por la instalación 100. La señal de corriente medida I se registra en este caso en la memoria 6 y así puede ser obtenida por el módulo 80 del dispositivo de evaluación de energía 8. La señal medida se muestrea con una frecuencia de muestreo F_{ech} elevada superior o igual a 50 kHz, por ejemplo igual a 200 kHz.

La señal de corriente medida I se descompone en una sucesión de ventanas de adquisición F_x durante una etapa E1. Esta tarea se implementa mediante el módulo 81 de tratamiento de la señal. Cada ventana de adquisición F_x contiene un número fijo predefinido N_f de valores de corriente muestreados (o puntos de adquisición). Las ventanas de adquisición tienen así una duración fija, en este caso igual a $\frac{N_f}{F_{ech}}$. Para cada ventana de adquisición F_x , el módulo de

tratamiento 81 calcula un valor medio de la tensión medida en la ventana, denotada como V_{Fx} , realizando la media de los puntos de adquisición de la ventana, durante una etapa E2. Estos valores medios de tensión V_{Fx} se almacenan en la memoria 85.

5 El procedimiento comprende igualmente una etapa E3 de detección de un arco eléctrico, implementado por el dispositivo de detección de arco 7. Esta etapa de detección E3 pretende detectar un arco eléctrico que se produce en la instalación fotovoltaica 100. Tal como se ha indicado anteriormente, la detección puede basarse en cualquier procedimiento conocido de detección de arco eléctrico, preferentemente adaptado para detectar rápidamente el arco en un plazo máximo de varios cientos de microsegundos después de su aparición.

10 Se denota como:

- F_i , con $1 \leq i \leq N$, las ventanas anteriores a la aparición del arco,
- F_{arc1} , la ventana que contiene un salto de corriente relacionado con la aparición del arco, y
- 15 - F_{arcj} , con $1 < j$, las ventanas posteriores a la aparición del arco.

Supóngase que un arco eléctrico, por ejemplo, un arco eléctrico tal como el que se representa en la figura 3, es detectado durante la etapa E3. Obsérvese T_{0arc} en el instante de la aparición del arco eléctrico. En este instante T_{0arc} , se produce un salto negativo de corriente en la señal de corriente, tal como aparece en la figura 3.

20 Durante una etapa E4, el dispositivo de evaluación de energía 8 determina un valor inicial, o nominal, I_0 de la corriente I antes de la aparición del arco eléctrico. En la realización en particular descrita en este caso, calcula el valor medio de la corriente relativa a la ventana de adquisición F_n anterior a la ventana F_{arc1} que contiene el salto de corriente relacionado con la aparición del arco en el instante T_{0arc} . De este modo, el valor inicial I_0 de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico es igual al valor medio de la corriente durante la ventana F_N anterior a la aparición del arco. Como variante, se podría calcular la media de la corriente en varias ventanas de adquisición anteriores a la aparición del arco con el fin de determinar la corriente inicial I_0 .

30 Durante una etapa siguiente E5, el dispositivo de evaluación de energía 8 determina la amplitud ΔI_{arc0} del salto de corriente relacionado con la aparición del arco eléctrico. Para este fin, calcula por ejemplo, el valor medio de la corriente I_{arc1} después del salto de corriente durante la ventana de adquisición F_{arc1} y a continuación la diferencia entre este valor de corriente I_{arc1} y el valor inicial de la corriente I_0 . La etapa E4 es implementada por el módulo 81 de tratamiento de la señal de corriente.

35 El procedimiento se sigue de una etapa E6 durante la cual el dispositivo de evaluación de energía 8 determina los valores de corriente I_{Farcj} durante el arco eléctrico, correspondientes a los valores medios de la corriente medida en las ventanas de adquisición F_{arcj} posteriores a la aparición del arco eléctrico (con $j > 1$). La etapa E6 es implementada por el módulo de tratamiento 81. Los valores de corriente determinados I_{Farcj} se registran en la memoria 85.

40 A continuación el procedimiento comprende una etapa E7 de evaluación de los valores de la tensión de arco, denotados como V_{arcj} , relativos a la ventana de adquisición F_{arcj} durante la presencia del arco eléctrico. En la realización descrita en este caso, los valores de la tensión de arco se evalúan a partir de los valores de corriente I_{Farcj} determinados durante el arco y del valor inicial de la corriente I_0 . Para evaluar cada valor de tensión de arco V_{arcj} , se calcula la diferencia entre un valor de corriente durante el arco determinado I_{Farcj} y el valor inicial de corriente I_0 y se multiplica esta diferencia por la relación entre una amplitud de salto de tensión ΔV_{arc0} y una amplitud correspondiente (en valor absoluto) del salto de corriente ΔI_{arc0} , relacionadas con la aparición del arco eléctrico. Dicho de otro modo, se estima la tensión de arco V_{arcj} por medio de la relación siguiente:

$$V_{arcj} = \frac{(I_{Farcj} - I_0)}{|\Delta I_{arc0}|} * \Delta V_{arc0}$$

50 El valor del salto de tensión ΔV_{arc0} está predefinido, como se expone anteriormente. En general está comprendido entre 12 V y 35 V. En el ejemplo de realización descrito aquí, se fija en 20 V.

La etapa E7 es implementada por el módulo 82 de evaluación de la tensión de arco.

55 A continuación, durante una etapa E8, el dispositivo de evaluación de energía 8 calcula la energía del arco eléctrico detectado, por la integración en el tiempo del producto de los valores de tensión de arco evaluados V_{Farcj} por los valores de corriente determinados I_{Farcj} . La integración en el tiempo puede realizarse mediante la aplicación de las subetapas siguientes:

- 60 a) Cálculo de la energía de arco para cada ventana de adquisición durante el arco eléctrico, y a continuación
- b) Cálculo de la suma de las energías de arco así calculadas para una sucesión de ventanas de adquisición que cubren el arco eléctrico.

Así, durante una subetapa E8a), se calcula la energía de arco E_{Farcj} para cada ventana F_{arcj} (es decir, la energía generada por el arco durante una ventana F_{arcj}) según la relación siguiente:

$$E_{Farcj} = V_{Farcj} \times I_{Farcj} \times \tau, \text{ en la que } \tau = \frac{N_f}{F_{ech}}$$

A continuación, durante una subetapa E8b), se calcula la energía de arco eléctrico total generada por el arco durante un número n de ventanas F_{arcj} sucesivas, siendo n el número total de ventanas F_{arcj} en el instante considerado, por medio de la relación siguiente:

$$E_{arctot} = \sum_{F_{arc1}}^{F_{arcn}} E_{Farcj}$$

La etapa E8 es implementada por el módulo 83 de determinación de la energía de arco a lo largo de toda la duración del arco y, si fuera necesario, repetida para cada nueva ventana de adquisición con el fin de actualizar el valor determinado de la energía de arco.

La etapa E8 de evaluación de la energía E_{arctot} generada o producida por el arco eléctrico puede seguirse de una etapa de prueba E9 que permite verificar si la energía de arco total es superior o igual a un umbral de energía crítico Z (por ejemplo, expresado en julios). Dicho de otro modo, durante la etapa E8, se realiza la prueba siguiente:

$$¿ E_{arctot} \geq Z ?$$

Por ejemplo, el umbral Z es igual a 2 julios. Sin embargo, el valor de este umbral podría adaptarse en función de la instalación y de su entorno.

Si la prueba E9 es positiva, de manera que la energía de arco total ha alcanzado o superado el umbral Z , el dispositivo de evaluación de energía 8 envía automáticamente al dispositivo de intervención 9 una orden de protección de la instalación 100. A continuación, durante una etapa E9, el dispositivo de intervención 9 protege la instalación fotovoltaica 100. Esta protección puede basarse en interruptores controlados a distancia. Puede consistir en una orden de interrupción del funcionamiento de la instalación fotovoltaica, lo que permite parar el arco eléctrico parásito y suprimir cualquier riesgo de degradación y/o de conato de incendio.

Si la prueba E9 es negativa, siendo la energía de arco total inferior al umbral Z , las etapas E6 a E9 se repiten para la ventana de adquisición siguiente ($j=j+1$).

Como variante, se podrían definir diferentes niveles de estado crítico del arco eléctrico, por ejemplo:

- «nivel 1» correspondiente a una energía total de arco $E_{arctot}(t)$ estrictamente inferior a 1 julio;
- «nivel 2» correspondiente a una energía total de arco $E_{arctot}(t)$ superior o igual a 1 julio y estrictamente inferior a 2 julios;
- «nivel 3» correspondiente a una energía total de arco $E_{arctot}(t)$ superior estrictamente a 2 julios.

El nivel 1 corresponde a un arco eléctrico sin riesgo para la seguridad. El dispositivo de evaluación 8 puede señalar en su caso la presencia de un arco eléctrico sin riesgo para la seguridad a un operador. Este puede decidir no activar la alerta para este nivel.

El nivel 2 corresponde a un arco eléctrico sin riesgo para la seguridad inmediato pero que podría en su caso volverse peligroso. En este caso, el dispositivo de evaluación 8 señala al operador la presencia de un arco eléctrico sin riesgo para la seguridad inmediato pero que necesita una intervención rápida para identificar el fallo en el origen del arco y corregirlo.

El nivel 3 corresponde a un arco eléctrico peligroso. El dispositivo de evaluación 8 ordena una protección inmediata de la instalación fotovoltaica 100 al dispositivo de intervención 9, tal como se ha descrito anteriormente.

En la realización que acaba de describirse, el arco eléctrico detectado (como el representado en la figura 3) es un arco continuo de larga duración. En otra realización, el arco eléctrico detectado es discontinuo. Comprende una sucesión de microarcos separados por periodos sin arco. En la figura 4, se ha representado un ejemplo de arco eléctrico discontinuo durante una ventana de adquisición, conteniendo en este caso la ventana los primeros microarcos. En este caso, el dispositivo de evaluación de energía 8 identifica los microarcos y, para cada microarco, determina el valor medio de la corriente durante este microarco y a continuación evalúa el valor de tensión correspondiente tal como se ha expuesto anteriormente. Seguidamente evalúa la energía de cada microarco. El dispositivo 8 almacena en memoria las energías evaluadas relativas a los microarcos identificados y a continuación suma estas energías con el fin de obtener la energía total generada por el arco eléctrico. Seguidamente se implementa la prueba E9, si fuera necesario, con el fin de controlar la necesidad de proteger la instalación fotovoltaica 100.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de evaluación de la energía eléctrica producida por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica (100) que comprende las etapas siguientes:
- 5 D) Medida (E0) de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación (100) con una frecuencia de muestreo superior o igual a 50 kHz, y, a partir de la señal de corriente medida:
- o Determinación (E3) de un valor inicial (I_0) de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico;
 - o Determinación (E5) de los valores de corriente (I_{arcj}) durante el arco eléctrico;
- 10 E) Evaluación (E6) de los valores de una tensión de arco a partir de los valores de corriente determinados durante el arco y del valor inicial de la corriente;
- F) Integración (E7) en el tiempo del producto de los valores de tensión de arco evaluados por los valores de corriente determinados, con el fin de determinar la energía del arco.
- 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, para evaluar cada valor de tensión de arco, se calcula la diferencia entre un valor de corriente durante el arco determinado y el valor inicial de corriente y se multiplica dicha diferencia por la relación entre una amplitud de salto de tensión (ΔV_{arco}) relacionado con la aparición del arco eléctrico y una amplitud de salto de corriente (ΔI_{arco}) relacionado con la aparición del arco eléctrico.
- 20
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende una etapa (E1) de descomposición de la señal de corriente en una pluralidad de ventanas de adquisición (F_x, F_i, F_{arcj}), y, para cada ventana de adquisición, una etapa (E5) de determinación de un valor medio de la corriente, registrándose en memoria dicho valor medio.
- 25
4. Procedimiento según la reivindicación anterior, **caracterizado porque**, durante la etapa de integración (E7), se calcula (E7a), para cada ventana de adquisición, una energía de arco realizando el producto del valor medio de la corriente medida en dicha ventana, del valor de tensión evaluada y de una duración de la ventana de adquisición, y a continuación se obtiene la suma (E7b) de las energías de arco calculadas relativas a una sucesión de ventanas de adquisición.
- 30
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, en el caso de un arco eléctrico discontinuo que incluye una pluralidad de microarcos, se implementan las etapas B) y C) para determinar la energía de cada microarco eléctrico, y a continuación se obtiene la suma de las energías respectivas de los microarcos eléctricos con el fin de determinar la energía del arco eléctrico discontinuo.
- 35
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el valor inicial de la corriente (I_0) es igual al valor medio de la corriente relativo a al menos una ventana de adquisición (F_N) anterior a la que contiene el salto de corriente.
- 40
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la amplitud del salto de tensión está predefinida y comprendida entre 12 V y 35 V, en particular igual a 20 V.
- 45
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la amplitud del salto de corriente se determina a partir de la señal de corriente medida.
- 50
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende una etapa (E8) de comparación de la energía del arco eléctrico determinada con un umbral de energía y una etapa (E9) de protección en caso de superación de dicho umbral.
- 55
10. Dispositivo de evaluación de la energía liberada por un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica (100) **caracterizado porque** comprende:
- un módulo (80) de obtención de una señal de corriente eléctrica producida por la instalación;
 - un módulo (81) de tratamiento de la señal de corriente, adaptado para determinar un valor inicial de la corriente antes de la aparición de un arco eléctrico y de los valores de corriente durante el arco eléctrico;
 - un módulo (82) de evaluación de los valores de tensión de arco a partir de los valores de corriente determinados y del valor inicial de la corriente;
 - un módulo (83) de integración en el tiempo del producto de los valores de tensión de arco evaluados por los valores de corriente determinados, con el fin de determinar la energía del arco.
- 60
11. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el módulo (82) de evaluación de los valores de tensión de arco está adaptado para calcular la diferencia entre un valor de corriente durante el arco determinado y el valor inicial de corriente y multiplicar dicha diferencia por la relación entre una amplitud de salto de tensión (ΔV_{arco}) relacionado con la aparición del arco eléctrico y una amplitud de salto de corriente (ΔI_{arco}) relacionado
- 65

con la aparición del arco eléctrico.

5 12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 10 y 11, **caracterizado porque** el módulo (81) de tratamiento de la señal de corriente está adaptado para descomponer la señal de corriente en una pluralidad de ventanas de adquisición, y, para cada ventana de adquisición, determinar un valor medio de corriente medida en dicha ventana, registrándose en memoria dicho valor medio de corriente.

10 13. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el módulo de integración (83) está dispuesto para calcular, para cada ventana de adquisición, una energía de arco realizando el producto del valor medio de la corriente medida en dicha ventana, del valor de tensión evaluada y de una duración de la ventana de adquisición, y a continuación para obtener la suma (E7b) de las energías de arco calculadas relativas a una sucesión de ventanas de adquisición.

15 14. Sistema de seguridad para una instalación fotovoltaica, **caracterizado porque** comprende un dispositivo (7) de detección de un arco eléctrico, un dispositivo (8) de evaluación de la energía liberada por el arco eléctrico detectado, según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, y un dispositivo de intervención (9) destinado a proteger la instalación fotovoltaica en caso de arco eléctrico.

20 15. Instalación fotovoltaica, **caracterizada porque** comprende un sistema de seguridad según la reivindicación anterior.

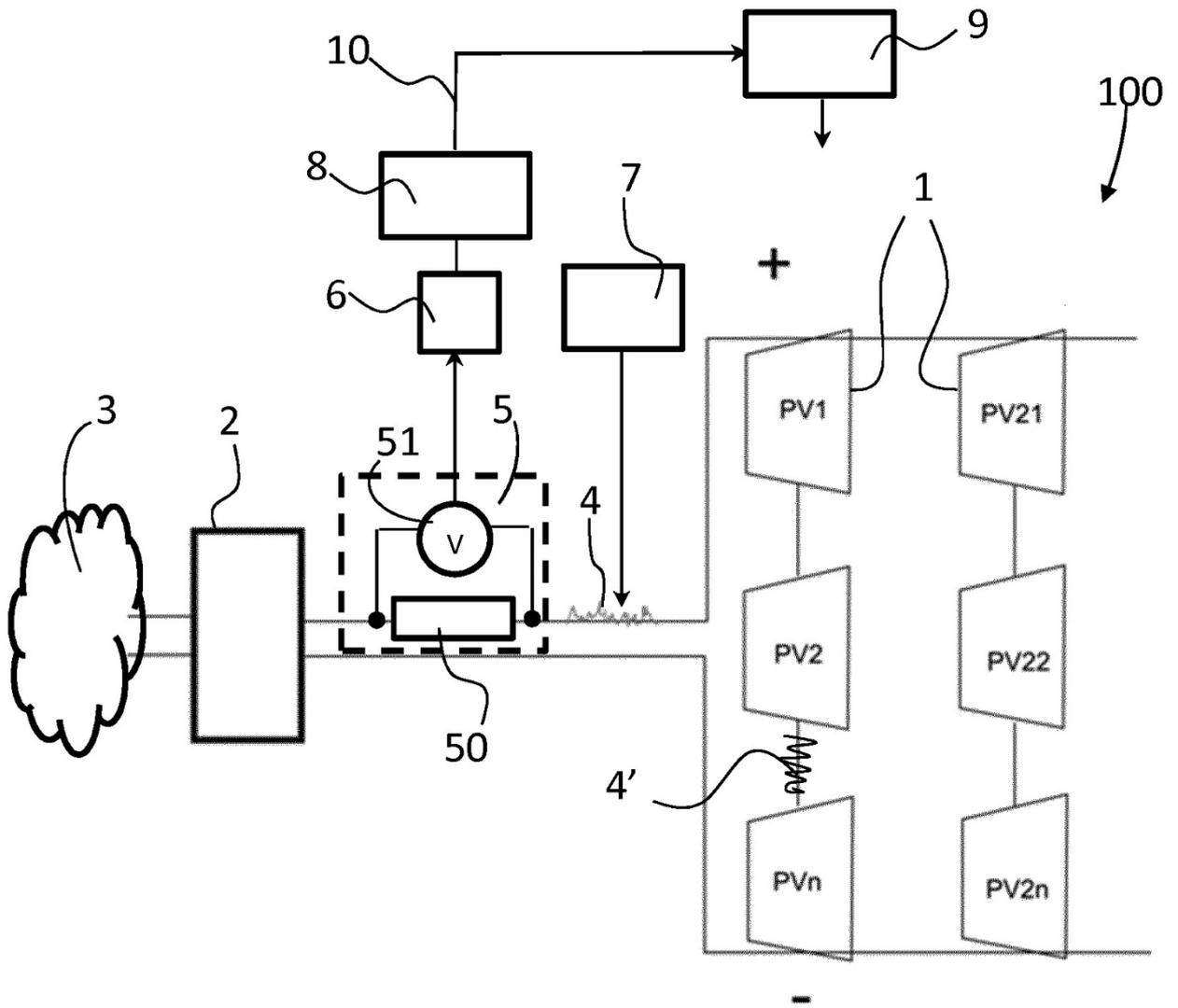


Figura 1

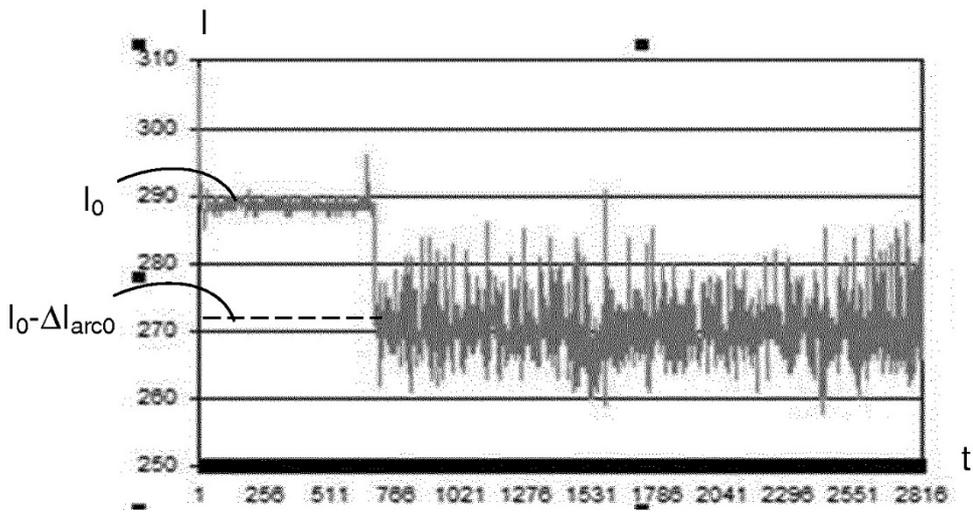


Figura 2

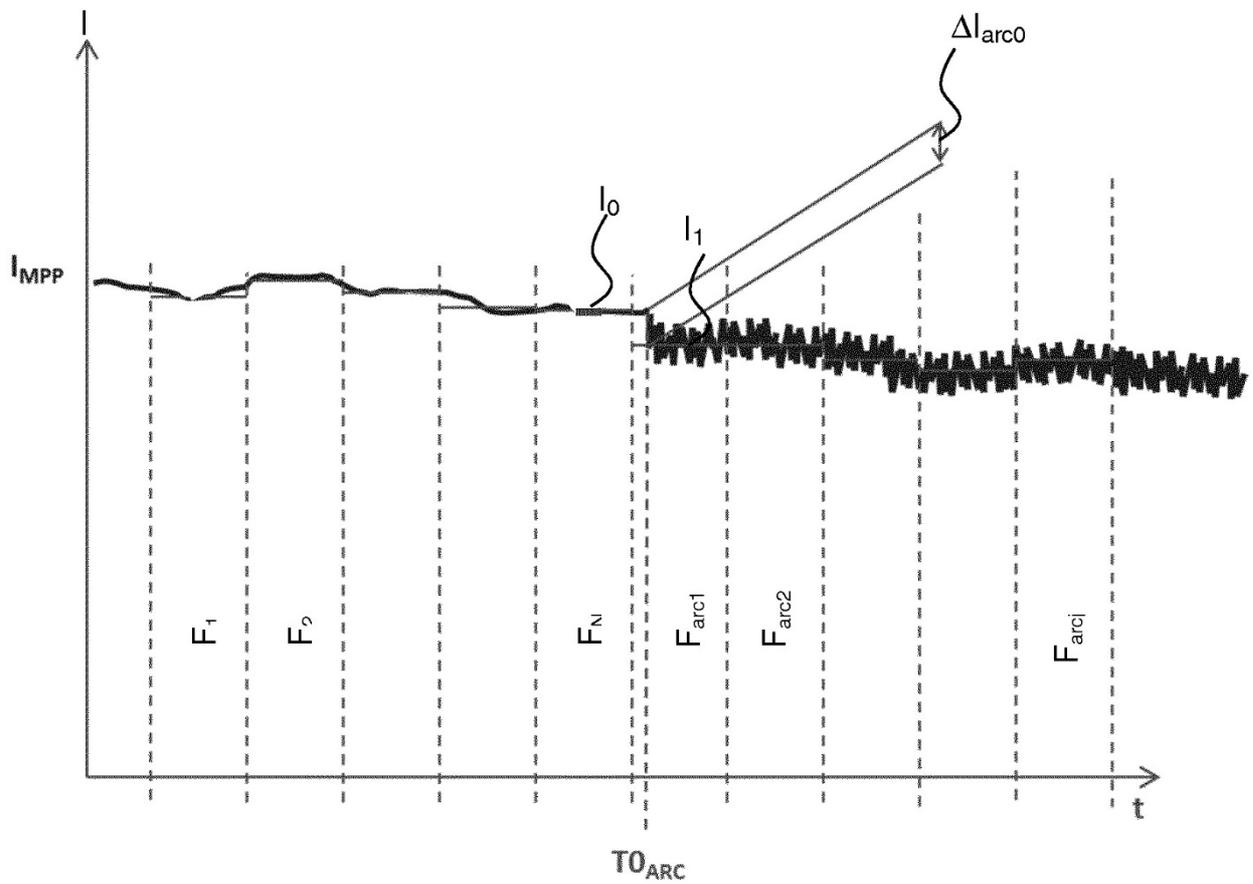


Figura 3

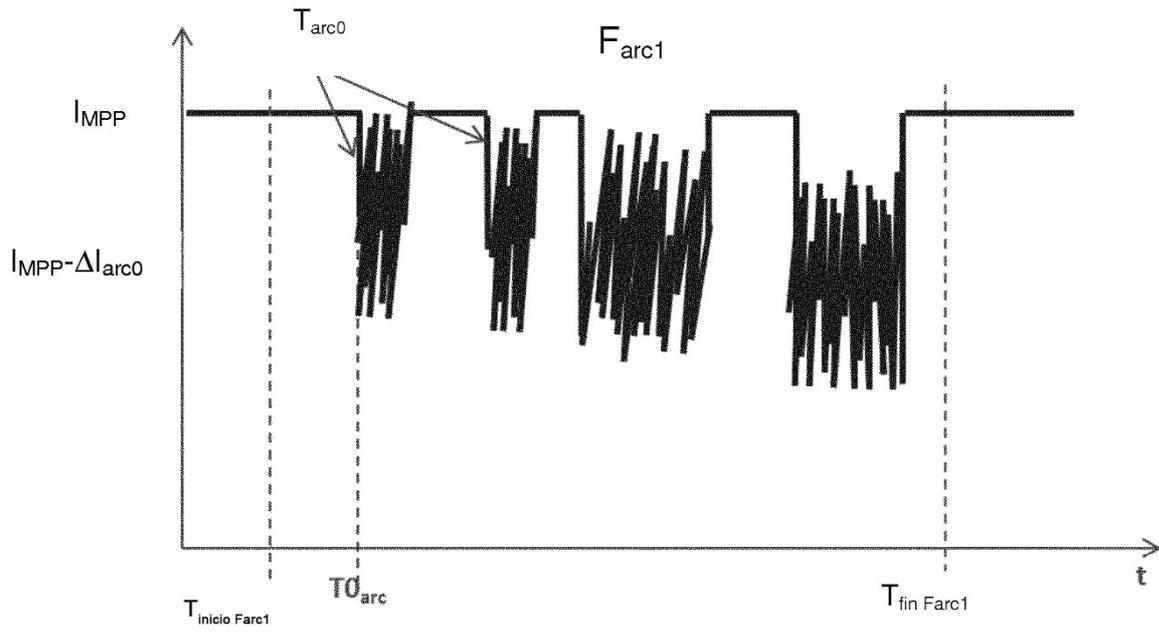


Figura 4

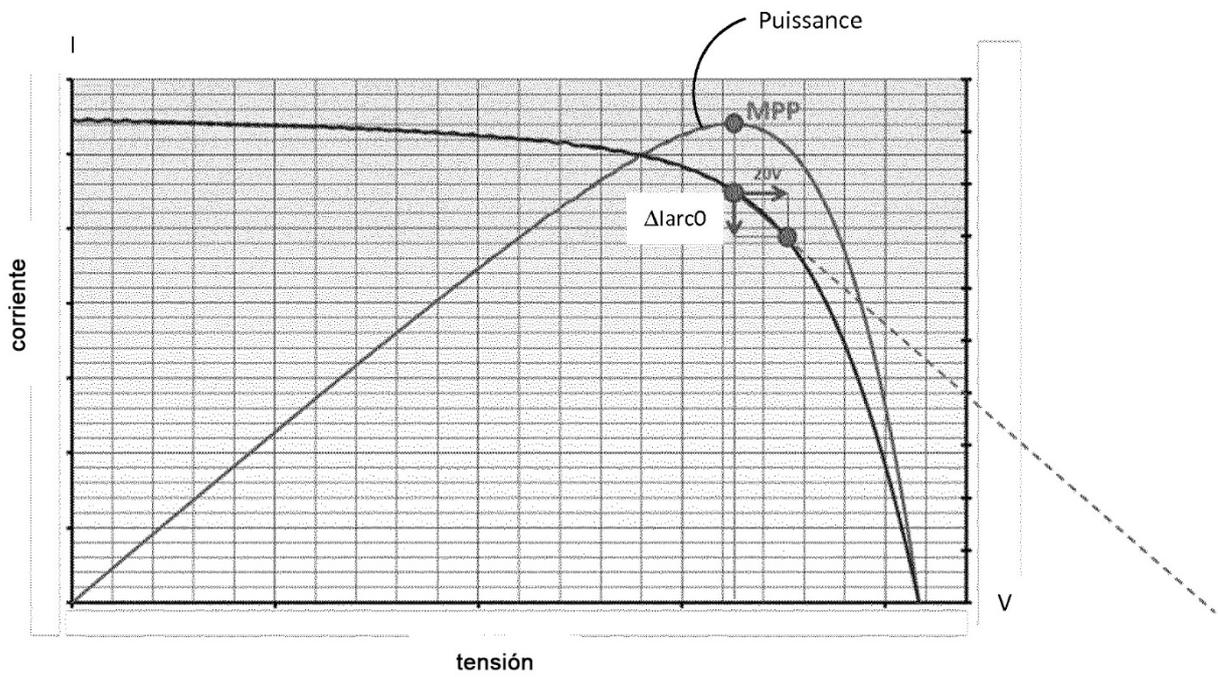


Figura 5

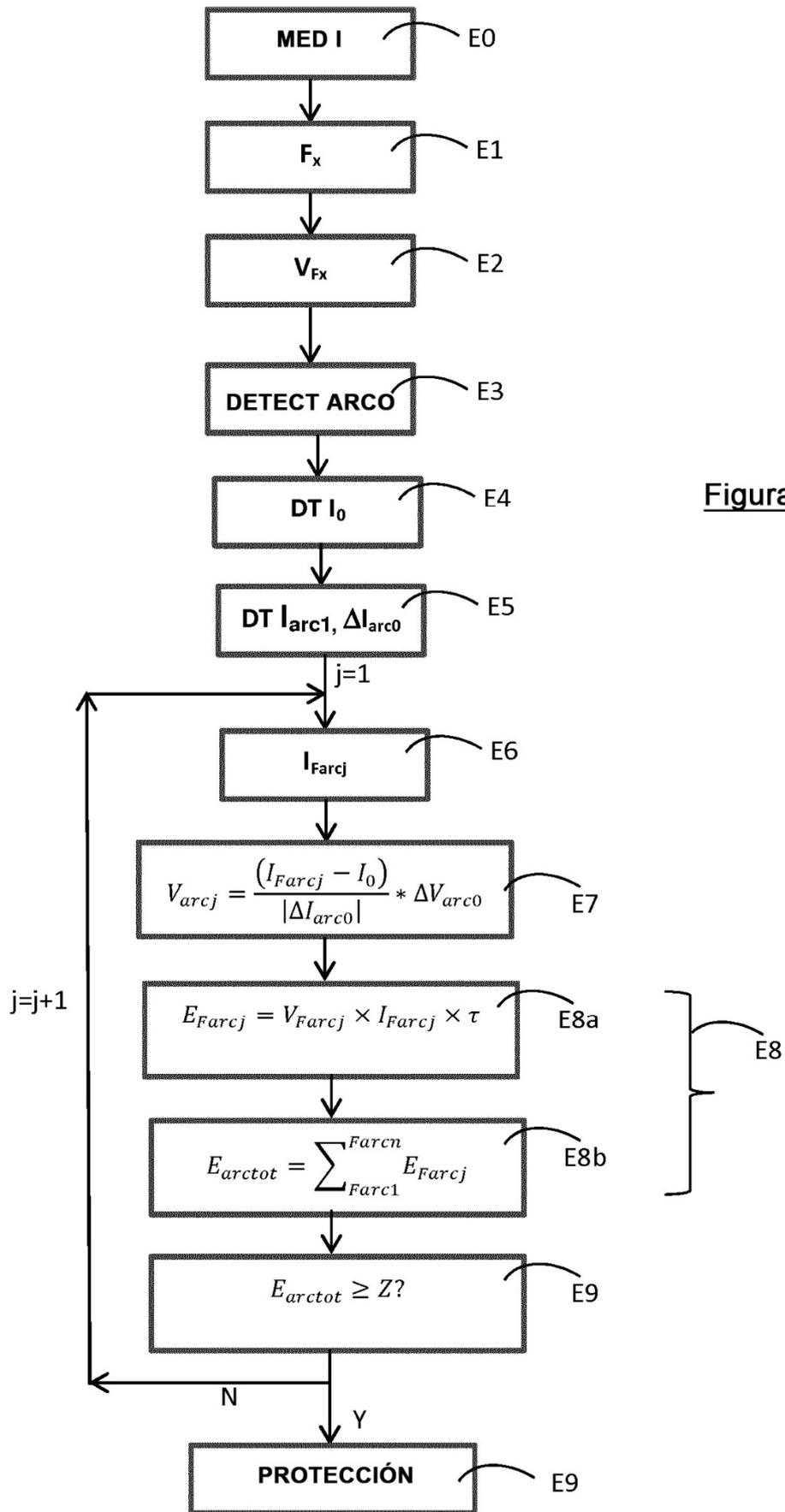


Figura 6

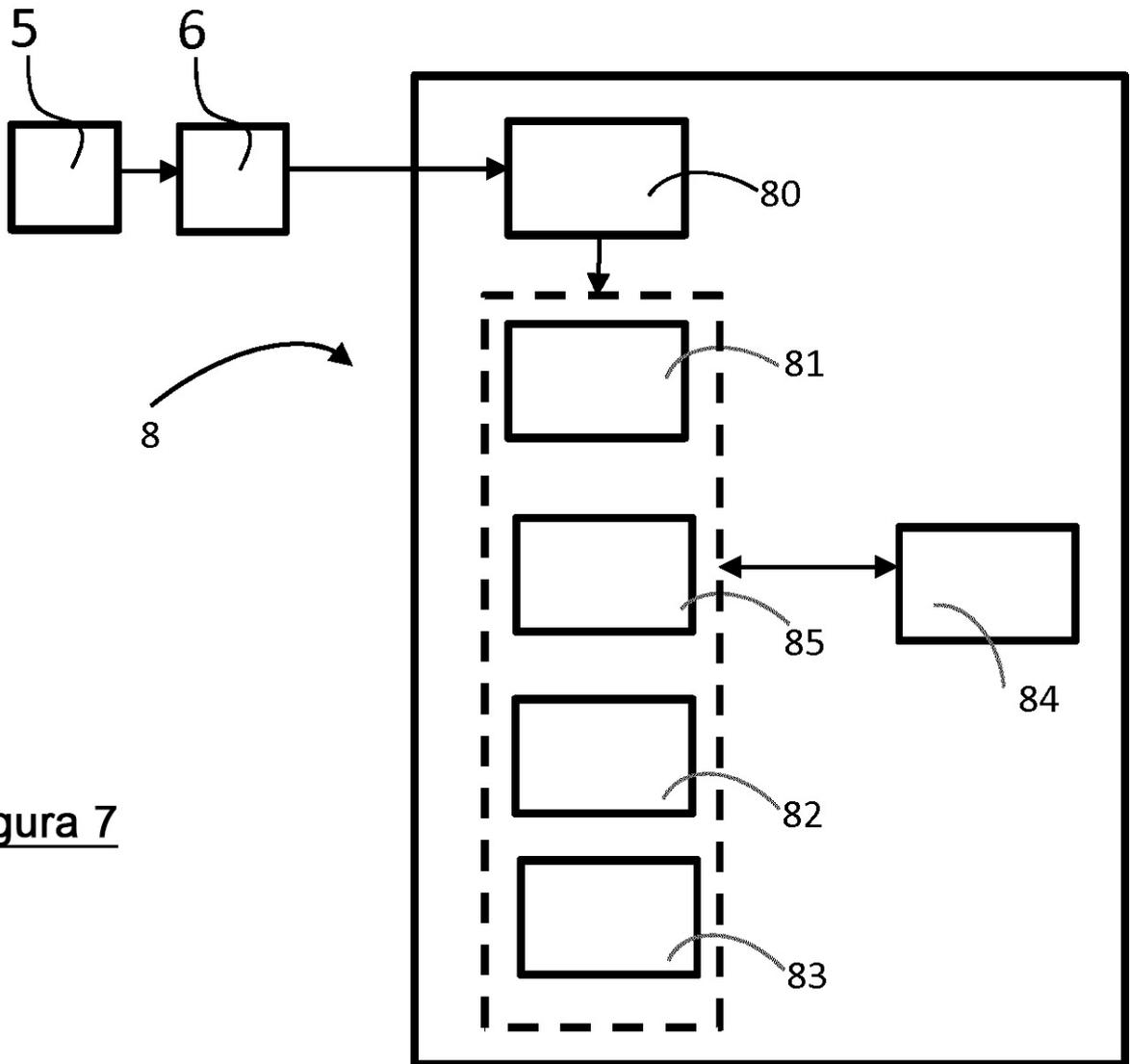


Figura 7