(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 717 953**

(51) Int. Cl.:

G05F 1/67	(2006.01)
H02H 3/08	(2006.01)
H02H 7/20	(2006.01)
G01R 31/40	(2014.01)
H01L 31/02	(2006.01)
H02H 1/00	(2006.01)
H02S 50/10	(2014.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.12.2012 PCT/EP2012/074696**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **13.06.2013 WO13083723**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2012 E 12795484 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2788831**

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

(30) Prioridad:

09.12.2011 FR 1161388

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2019

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

GOUY-PAILLER, CÉDRIC y CHAINTREUIL, NICOLAS

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 717 953 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 arco eléctrico en una instalación fotovoltaica

La invención se refiere a un procedimiento de detección de un arco eléctrico en un sistema fotovoltaico. La invención también se refiere a un dispositivo de seguridad que detecta la aparición de arcos eléctricos, y un módulo fotovoltaico y un sistema fotovoltaico, equipados con dicho dispositivo de seguridad que detecta la aparición de arcos eléctricos.

Las instalaciones fotovoltaicas funcionan con tensión continua y corriente continua importantes, lo que genera riesgos de aparición de arcos eléctricos. Dichos arcos eléctricos pueden aparecer como consecuencia de un error de manipulación, por ejemplo si un operador abre inadvertidamente un conector en carga, o como consecuencia de la degradación de las conexiones de la instalación. Estos arcos eléctricos generan un fuerte calor de plasma durante una larga duración ya que bajo tensión continua, el valor de la tensión nunca es nulo al contrario de un sistema alterno, y son, debido a esto, muy peligrosos para las personas y las instalaciones. Además, la integración de módulos fotovoltaicos en el techo de los edificios puede provocar el incendio de los armazones en caso de arco eléctrico.

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden conectar a la red eléctrica por medio de un inversor. En dicha configuración, existen sistemas de seguridad para detectar un eventual arco eléctrico que ocurra en la conexión eléctrica entre un campo de módulos fotovoltaicos y el inversor. Sin embargo, estos sistemas son insuficientes, ya que es probable que dicho arco eléctrico se produzca a nivel de un propio módulo fotovoltaico. No existe ninguna una solución de seguridad contra dicho riesgo.

El documento WO2010072717 del estado de la técnica propone la detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica basándose en el análisis de una onda ultrasónica y el reconocimiento de la firma ultrasónica de un arco eléctrico en esta onda. Para ello, esta solución analiza de forma continua las firmas ultrasónicas. De ello resulta un método que necesita un cálculo complejo y un dispositivo costoso. Véase también 'Recognition of Electric Arcing in the DC-Wiring of Photovoltaic Systems'; F. Schimpf, L. Norum, 31st Telecommunications Energy Conference, IEEE 2009.

El documento FR2912848 describe un método simplificado de detección de un arco eléctrico a partir de la simple medición de tensión y de la detección de su aumento rápido. Sin embargo, este método es insuficiente para hacer la distinción entre un arco eléctrico y diferentes eventos distintos que inducen también un aumento de tensión.

De este modo, un objeto general de la invención es proponer una solución de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica, simple, poco costosa y fiable, para mejorar la seguridad de dichas instalaciones.

Para ello, la invención se basa en un procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica, caracterizado por que comprende las etapas siguientes:

- Medición de valores de tensión en al menos un punto del circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica;
- Digitalización de los valores de tensión medidos para formar un muestreo de datos x;
- Cálculo de un valor de estimación y, de presencia de un arco eléctrico a partir de un cálculo estadístico en el muestreo de datos y de la consideración de un factor de olvido ϕ;
- Comparación del valor de estimación y, de presencia de un arco eléctrico con un valor umbral para deducir a partir de él la presencia o no de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica.

El cálculo estadístico puede basarse en la varianza o la desviación estándar.

El factor de olvido puede combinarse con cada dato de muestreo x para permitir definir un peso cada vez más bajo para los datos del muestreo en cada iteración, para tener en cuenta el historial de los valores medidos y tener en cuenta indirectamente la duración de un eventual periodo de caos.

El factor de olvido puede depender de una frecuencia de muestreo.

El factor de olvido puede ser constante y seleccionarse respetando las reglas definidas por la siguiente tabla:

Frecuencia de muestreo F_{mue}	Factor de olvido ϕ comprendido en el intervalo
50 - 300 kHz inclusive	[0,965; 0,975]
301 - 750 kHz inclusive	[0,975; 0,985]
751 KHz - 8 MHz inclusive	[0,985; 0,995]

El cálculo de un valor de estimación de presencia de un arco eléctrico puede implementar los siguientes cálculos, repetidos para cada dato digitalizado x:

- en primer lugar, se recalculan tres variables a, b, y c de la siguiente manera, a partir de los valores precedentes de estas variables a, b y c:

$$a \leftarrow \phi a + x^2$$

$$b \leftarrow \phi b + x$$

$$c \leftarrow \phi c + 1$$

- a continuación, el valor de estimación y de presencia de arco eléctrico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$y = \frac{a - b^2/c}{c-5}$$

El procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica puede comprender una fase de inicialización del tratamiento durante el encendido del dispositivo de seguridad, que comprende las etapas siguientes:

- inicialización de las variables a, b, c a cero y del factor de olvido;
- iteración de los siguientes cálculos en un número predefinido de datos x:

$$a \leftarrow \phi a + x^2$$

$$b \leftarrow \phi b + x$$

$$c \leftarrow \phi c + 1$$

- después inicialización del umbral de detección de arco eléctrico mediante la siguiente fórmula:

$$\text{umbral} = k \,.\, \frac{a - b^2/c}{c-5}$$

donde k es un parámetro comprendido entre 5 y 200.

Si la etapa de comparación del valor de estimación y, de presencia de un arco eléctrico con un valor umbral cumple y > umbral, entonces se puede estimar que existe un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica, y después el procedimiento puede comprender una etapa que consiste en intervenir en el circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica en caso de detección de un arco eléctrico, para extinguir el arco eléctrico.

La invención también se refiere a un dispositivo de seguridad para una instalación fotovoltaica, que comprende uno o varios sensores de medición de tensión, conectados por una conexión de comunicación a una unidad de procesamiento, que comprende un convertidor analógico-digital para digitalizar las mediciones recibidas por el o los sensores de medición de tensión, caracterizado por que la unidad de procesamiento implementa el procedimiento de detección de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica tal como se ha descrito anteriormente.

La unidad de procesamiento puede estar conectada por un medio de comunicación a un dispositivo de intervención cuya función es interrumpir el arco eléctrico, para suprimir cualquier riesgo.

La invención también se refiere a una instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende al menos un dispositivo de seguridad tal como se ha descrito anteriormente.

Estos objetos, características y ventajas de la presente invención se expondrán en detalle en la siguiente descripción de un modo de ejecución particular realizada de manera no limitante en relación con las figuras adjuntas, entre las cuales:

La figura 1 ilustra esquemáticamente una instalación fotovoltaica.

La figura 2 representa un ejemplo de evolución de la tensión en una instalación fotovoltaica en función del tiempo en presencia de un arco eléctrico.

La figura 3 ilustra esquemáticamente un dispositivo de seguridad asociado a una instalación fotovoltaica de acuerdo con un modo de ejecución de la invención.

La figura 4 ilustra varias etapas del procedimiento de detección de arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con un modo de ejecución de la invención.

La figura 5 ilustra más globalmente el procedimiento de detección de arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con un modo de ejecución de la invención.

La invención se basa en la única medición de la tensión en una instalación fotovoltaica. Esta última, representada esquemáticamente en la figura 1, comprende varios módulos fotovoltaicos 1 (PVi) conectados a un inversor 2 que convierte la corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos 1 en una corriente alterna, para una conexión a una red eléctrica 3 estándar, no representada.

A partir de una medición de tensión, la invención trata de deducir la presencia o no de un arco eléctrico 4, que puede encontrarse a nivel de uno o varios módulos fotovoltaicos 1, entre estos módulos y un inversor 2, o en cualquier punto en el circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica. Un arco eléctrico provoca un aumento importante de la tensión en la instalación fotovoltaica, y puede asumir una forma tal como se ilustra en la figura 2 de acuerdo con un ejemplo. El aumento de la señal de tensión puede aparecer al mismo tiempo que el arco, y durar de varios milisegundos a varias horas. Más generalmente, la amplitud de la señal obtenida depende de la posición del detector y de otros parámetros. Este aumento de la tensión está acompañado siempre de un aumento súbito de la energía de la señal, de un caos en la señal.

La figura 3 representa esquemáticamente un dispositivo de seguridad para una instalación fotovoltaica 10 tal como se describe en la figura 1, que comprende dos módulos fotovoltaicos 1 a modo de ejemplo simplificado montados sobre un bastidor 5, que están conectados a la red eléctrica tradicional 3 por medio de un inversor 2. El dispositivo de seguridad comprende uno o varios sensores de medición de tensión 6, situados por ejemplo a nivel de un módulo fotovoltaico 1 y/o en cualquier otro punto del circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica. Este (o estos) sensor de medición de tensión 6 está conectado mediante una conexión de comunicación 7 a una unidad de procesamiento 8 capaz de analizar los datos transmitidos por el o los sensores de medición de tensión 6. Esta unidad de procesamiento 8 está, a su vez, conectada por un medio de comunicación 9 a un dispositivo de intervención 11 cuya función es interrumpir el arco eléctrico bajo demanda de la unidad de procesamiento 8 en caso de arco eléctrico, para suprimir cualquier riesgo eléctrico y cualquier futuro deterioro.

La unidad de procesamiento 8 comprende un convertidor analógico-digital, para digitalizar los datos recibidos que provienen del o de los sensores de medición de tensión. Tiene la función de analizar los datos recibidos por el o los sensores de medición de tensión 6 e implementa un procedimiento de detección de arcos eléctricos, que se detallará a continuación. Para ello, puede comprender una unidad de cálculo, como un microcontrolador, y medios de memorización, o más generalmente cualquier componente material (hardware) y/o de programa (software). Como observación, como los datos a tratar se digitalizan, es posible utilizar uno o varios microcontroladores ya existentes en una instalación fotovoltaica para implementar el procedimiento de detección de arco eléctrico que se detallará a continuación, sin adición de un componente adicional. La solución es, por lo tanto, poco costosa.

Finalmente, el dispositivo de seguridad 10 puede estar dispuesto en uno de los terminales en la salida de la instalación fotovoltaica, o encontrarse en cada módulo fotovoltaico, por ejemplo en su caja de terminales. Naturalmente, cualquier solución intermedia es previsible.

A continuación se describirá el procedimiento de detección de arco eléctrico de acuerdo con la invención.

Comprende una etapa de muestreo de valores de tensión. Para ello, se miden diferentes valores de tensión a lo largo del tiempo, durante una etapa de medición E6, y se digitalizan, durante una etapa de digitalización E8, por el convertidor digital de la unidad de procesamiento, de acuerdo con una frecuencia de muestreo F_{mue} seleccionada. A continuación, estos valores son procesados para deducir a partir de ellos una detección de aparición o no de un arco eléctrico.

De acuerdo con esta realización, este procesamiento aprovecha la constatación de que la cantidad de caos presente en la señal aumenta significativamente durante la aparición de un arco eléctrico. De este modo, el principio seleccionado consiste en definir un valor de estimación de presencia de un arco eléctrico vinculada a la varianza de los valores obtenidos durante el muestreo.

A continuación, de acuerdo con esta realización, se utiliza un parámetro, llamado “factor de olvido”, que depende de la frecuencia de muestreo F_{mue}, para tener en cuenta el historial, cercano en el tiempo, de los valores de tensión medidos, y tener en cuenta, de este modo, indirectamente la duración de un eventual periodo de caos. Este factor de olvido permite, de este modo, por ejemplo prescindir de un filtro digital de paso de banda, que siempre se utiliza en el estado de la técnica para eliminar ciertos ruidos que no están vinculados a un arco eléctrico, concretamente los creados por las señales de comunicación que transitan de la instalación hacia la unidad de procesamiento, y que presenta, concretamente, la particularidad de ser de más corta duración. Por otro lado, el factor de olvido, concretamente por su dependencia de la frecuencia de muestreo, permite optimizar el vínculo entre la frecuencia de

muestreo y el procesamiento efectuado, evitando las adaptaciones complejas obligatorias entre los filtros de paso de banda y la frecuencia de muestreo de las soluciones del estado de la técnica.
De acuerdo con la realización seleccionada, para cada muestra de valores de tensión medidos y convertidos por el convertidor digital para suministrar datos x, se implementan los siguientes cálculos:
en primer lugar, se definen las tres variables a, b, y c de la siguiente manera:

$$a \leftarrow \phi a + x^2$$

$$b \leftarrow \phi b + x$$

$$c \leftarrow \phi c + 1$$

donde ϕ es el factor de olvido, que es constante y se inicializa en función de la frecuencia de muestreo seleccionada. A modo de ejemplo, el factor de olvido se puede definir de acuerdo con el valor de la frecuencia de muestreo F_{mue} respetando las reglas de acuerdo con la tabla siguiente:

Frecuencia de muestreo F_{mue}	Factor de olvido ϕ comprendido en el intervalo
50 - 300 kHz inclusive	[0,965; 0,975]
301 - 750 kHz inclusive	[0,975; 0,985]
751 KHz - 8 MHz inclusive	[0,985; 0,995]

Como variante, este factor de olvido puede no depender de la frecuencia de muestreo, ser por ejemplo una constante inferior a 1.

Finalmente, la variable y, que representa un valor de estimación de presencia de arco eléctrico, a partir de la varianza de los valores muestreados modificados mediante la consideración del factor de olvido ϕ, se calcula de la siguiente manera:

$$y = \frac{a - b^2/c}{c - 5}$$

Estos cálculos de las tres variables a, b, c y del valor de estimación y, de presencia de arco eléctrico se calculan en una etapa de cálculo E10 que se repite para cada nuevo dato x del muestreo.

Finalmente, el procedimiento de detección de arco eléctrico comprende una etapa de comparación E12 de este valor de estimación y, con un valor umbral, para deducir a partir de él o no la presencia de un arco eléctrico. Si y > umbral, entonces el procedimiento considera que hay presencia de un arco eléctrico e induce la segurización de la instalación fotovoltaica, por medio del dispositivo de intervención 11. Para ello, una orden de interrupción del funcionamiento del sistema fotovoltaico puede permitir detener el arco eléctrico, suprimiendo de este modo el riesgo que representaría el mantenimiento del arco eléctrico, concretamente el riesgo de incendio.

La iteración precedente, representada esquemáticamente por la figura 4, permite, por lo tanto, añadir un peso inferior a un dato más antiguo que otro, para tener en cuenta el historial de los datos obtenidos y su distribución en el tiempo. Cualquier otro cálculo que permita fijar un peso cada vez más bajo para cada dato obtenido en cada iteración puede permitir alcanzar como variante un resultado aprovechable para formar variantes de realización.

El procedimiento de detección de arco eléctrico comprende una etapa preliminar de inicialización, que fija el valor umbral teniendo en cuenta los primeros valores de tensión medidos en el encendido E0 del dispositivo de seguridad.

En el instante inicial, las variables a, b, c se inicializan a 0, en una etapa de inicialización E2, y después se calculan de acuerdo con las fórmulas explicadas anteriormente. El factor de olvido se inicializa, del mismo modo, en función de las reglas predefinidas, tales como las explicitadas anteriormente a modo de ejemplo. A continuación, los cálculos tales como se presentan en la etapa E10 se repiten de acuerdo con un número de iteraciones predefinido, por ejemplo 100 iteraciones para tener en cuenta 100 muestras de mediciones de tensión. Para ello, el procedimiento comprende una etapa de prueba E5 de la consecución de este número predefinido de muestras de encendido, para saber si el procedimiento se encuentra en una fase de inicialización o en una fase de funcionamiento normal, implementando las etapas E10, E12 explicadas anteriormente. En el marco de una fase de inicialización, el procedimiento implementa una etapa de prueba de fin de encendido E3. Cuando se alcanza este fin de encendido, es decir que se alcanza el número predefinido de iteraciones de encendido, las variables a, b, c resultantes se utilizan para definir un valor umbral de la siguiente manera, en la etapa de inicialización del valor umbral E4:

$$\text{umbral} = k \cdot \frac{a - b^2/c}{c - 5}$$

donde k es un parámetro, seleccionado entre 5 y 200, de acuerdo con un compromiso seleccionado entre dos extremos: si k está en lo más bajo, todos los arcos eléctricos son detectados, pero existe un riesgo de falsa alarma. Si k es más alto, el riesgo de falsa detección se reduce pero aumenta el riesgo de no detectar un arco eléctrico.

El procesamiento implementado se basa en una estimación de aparición de arco eléctrico a partir de la varianza de un muestreo de mediciones de tensión digitalizadas y modificadas para incorporar un factor de olvido. La varianza representa un buen método estadístico para evaluar el caos del muestreo: naturalmente, puede implementarse cualquier otro cálculo diferente de los presentados anteriormente a modo de ejemplo, como cualquier cálculo vinculado a la varianza o cualquier otra dimensión estadística equivalente, como la desviación estándar por ejemplo, y más generalmente cualquier cálculo estadístico basado en cualquier fórmula estadística, utilizando únicamente los valores del muestreo o su cuadrado.

El procedimiento descrito anteriormente permite utilizar un indicador análogo a la varianza estadística, es decir que considera los diferentes momentos de orden 2 de los datos del muestreo, pero obtenido de manera más estable y más simple gracias a la introducción de las tres variables a, b, c mencionadas. El procedimiento recalcula el valor de las tres variables a, b, c en cada lapso de tiempo teniendo en cuenta el historial de estas variables a, b, c, el cuadrado del valor medido x^2 (valor digitalizado de la tensión medida) y el propio valor medido.

Además, el concepto de la invención no se limita a los dispositivos fotovoltaicos descritos anteriormente sino que se puede implementar en cualquier tipo de instalación fotovoltaica, con numerosos módulos fotovoltaicos.

La solución seleccionada permite, por lo tanto, responder bien a los objetos buscados y presenta las siguientes ventajas:

- como el procesamiento se basa en la única medición de la tensión, el procedimiento es simple;
- a continuación, como el procedimiento implementa una digitalización para proceder a un solo cálculo estadístico, es muy simple y no necesita una gran potencia de cálculo;
- finalmente, el dispositivo está simplificado al máximo y, por lo tanto es poco costoso, ya que no necesita filtro, debido al cálculo que tiene en cuenta un factor de olvido. Como variante, sigue siendo compatible con la utilización adicional y opcional de un filtro;
- esta solución es, por supuesto, compatible y complementaria con otras soluciones de detección de arco eléctrico, y puede, por lo tanto, combinarse con estas otras soluciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica, caracterizado por que comprende las etapas siguientes:

- Medición (E6) de valores de tensión en al menos un punto del circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica;
- Digitalización (E8) de los valores de tensión medidos para formar un muestreo de datos x;
- Cálculo (E10) de un valor de estimación y, de presencia de un arco eléctrico a partir de un cálculo estadístico en el muestreo de datos y de la consideración de un factor de olvido ϕ;
- Comparación (E12) del valor de estimación y de presencia de un arco eléctrico con un valor umbral para deducir a partir de él la presencia o no de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica.

2. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que la etapa de cálculo (E10) de un valor de estimación y, de presencia de un arco eléctrico comprende el cálculo de tres variables a, b, c con cada elaboración de un nuevo dato de muestreo x, teniendo en cuenta el historial de estas variables a, b, c, como su valor en el lapso de tiempo precedente, el cuadrado del nuevo dato de muestreo x^2 y el propio nuevo dato de muestreo x.

3. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el cálculo estadístico se basa en la varianza o la desviación estándar o un valor análogo a la varianza o la desviación estándar.

4. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el factor de olvido se combina con cada dato de muestreo x para permitir definir un peso cada vez más bajo para los datos del muestreo en cada iteración, para tener en cuenta el historial de los valores medidos y tener en cuenta indirectamente la duración de un eventual periodo de caos.

5. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el factor de olvido depende de una frecuencia de muestreo.

6. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que el factor de olvido es constante y se selecciona respetando las reglas definidas por la siguiente tabla:

Frecuencia de muestreo F_{mue}	Factor de olvido ϕ comprendido en el intervalo
50 - 300 kHz inclusive	[0,965; 0,975]
301 - 750 kHz inclusive	[0,975; 0,985]
751 KHz - 8 MHz inclusive	[0,985; 0,995]

7. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el cálculo de un valor de estimación de presencia de un arco eléctrico implementa los siguientes cálculos, repetidos para cada dato digitalizado x:

- en primer lugar, se recalculan tres variables a, b y c de la siguiente manera, a partir de los valores precedentes de estas variables a, b y c:

$$a \leftarrow \phi a + x^2$$

$$b \leftarrow \phi b + x$$

$$c \leftarrow \phi c + 1$$

- a continuación, el valor de estimación y, de presencia de arco eléctrico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$y = \frac{a - b^2/c}{c - 5}$$

8. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que comprende una fase de inicialización del tratamiento durante el encendido (E0) del dispositivo de seguridad, que comprende las etapas siguientes:

- inicialización (E2) de las variables a, b, c a cero y del factor de olvido;
- iteración de los siguientes cálculos en un número predefinido de datos x:

$$a \leftarrow \phi a + x^2$$

$$b \leftarrow \phi b + x$$

$$c \leftarrow \phi c + 1$$

- después inicialización del umbral (E4) de detección de arco eléctrico mediante la siguiente fórmula:

$$\text{umbral} = k \cdot \frac{a - b^2/c}{c-5}$$

donde k es un parámetro comprendido entre 5 y 200.

9. Procedimiento de detección de un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que si la etapa de comparación (E12) del valor de estimación y de presencia de un arco eléctrico con un valor umbral cumple y > umbral, entonces se estima que existe un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica, después por que comprende una etapa que consiste en intervenir en el circuito eléctrico de la instalación fotovoltaica en caso de detección de un arco eléctrico, para extinguir el arco eléctrico.

10. Dispositivo de seguridad para una instalación fotovoltaica, que comprende uno o varios sensores de medición de tensión (6), conectados por una conexión de comunicación (7) a una unidad de procesamiento (8), que comprende un convertidor analógico-digital para digitalizar las mediciones recibidas por el o los sensores de medición de tensión, caracterizado por que la unidad de procesamiento (8) está configurada para implementar el procedimiento de detección de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

11. Dispositivo de seguridad para una instalación fotovoltaica de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado por que la unidad de procesamiento (8) está conectada mediante un medio de comunicación (9) a un dispositivo de intervención (11) cuya función es interrumpir el arco eléctrico, para suprimir cualquier riesgo.

12. Instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende al menos un dispositivo de seguridad de acuerdo con la reivindicación 10 u 11.

Fig.1

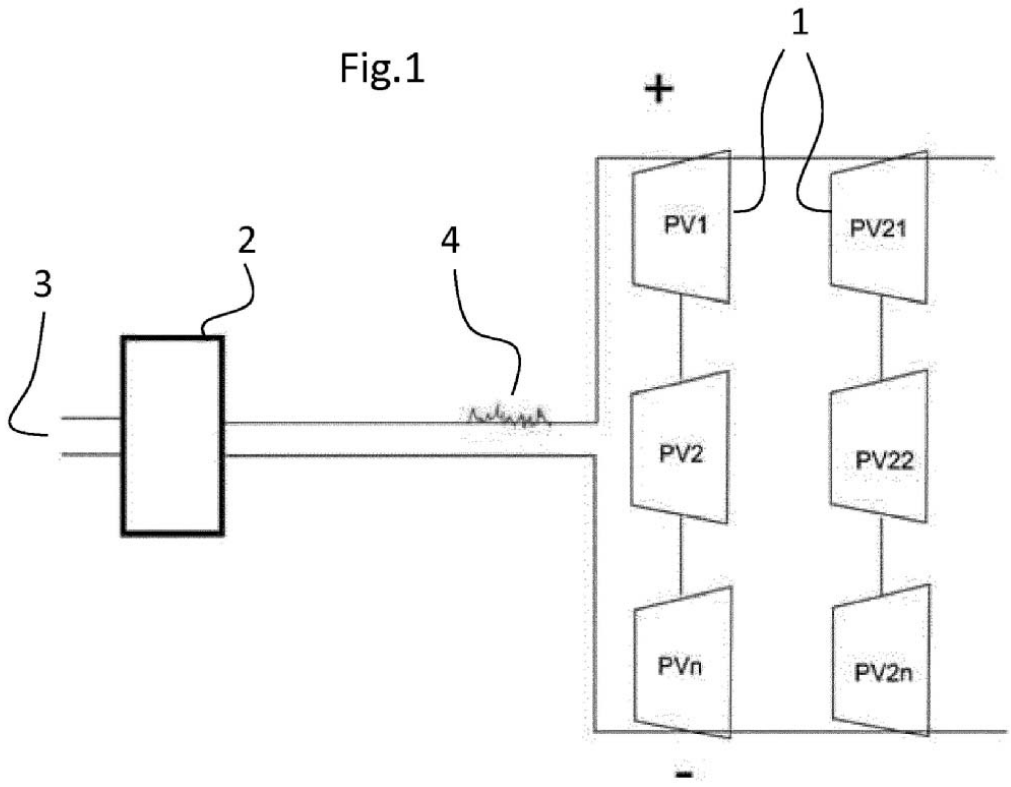
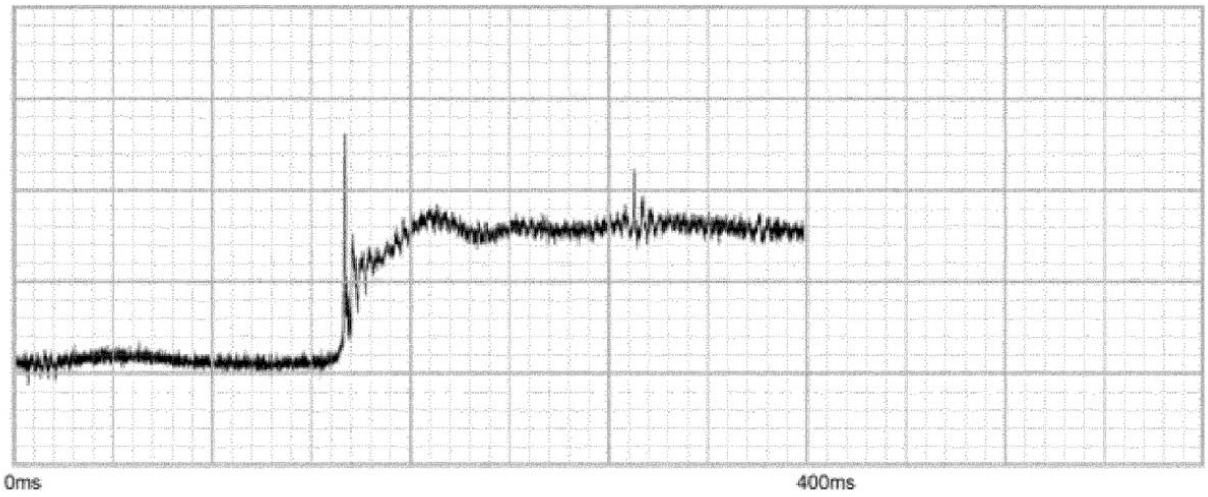


Fig.2



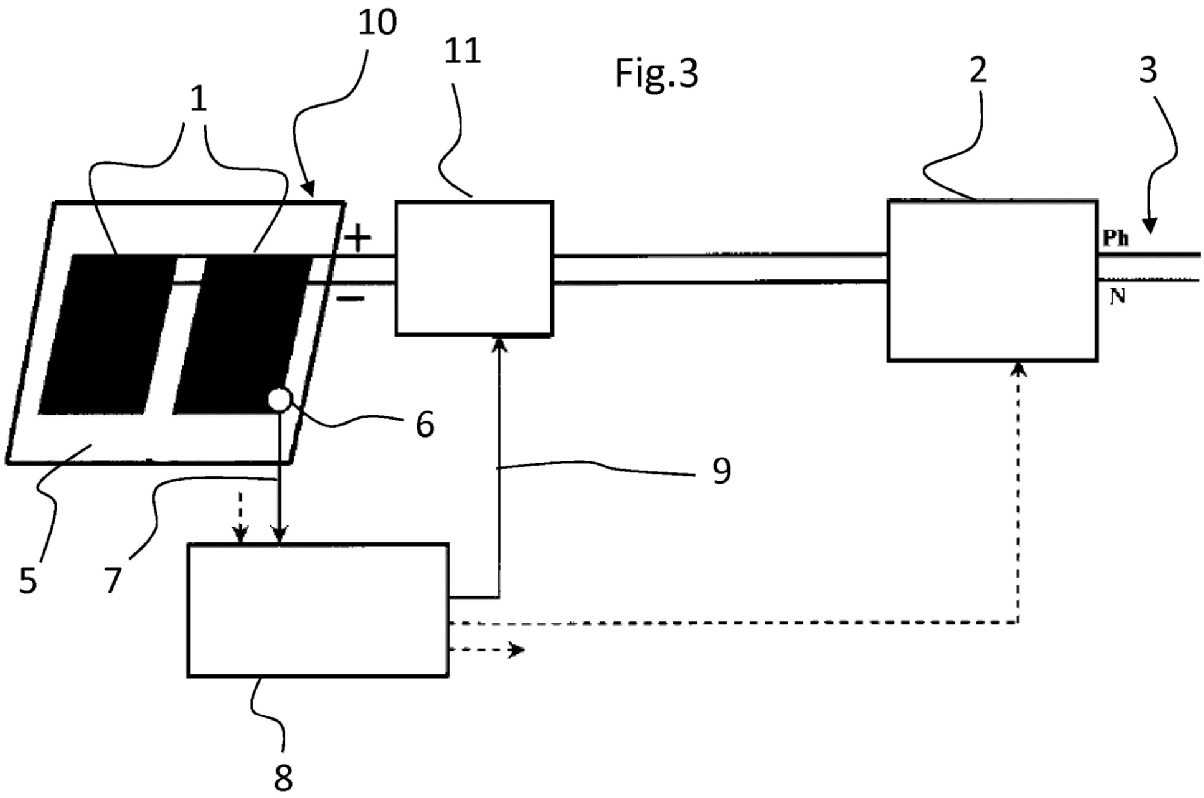
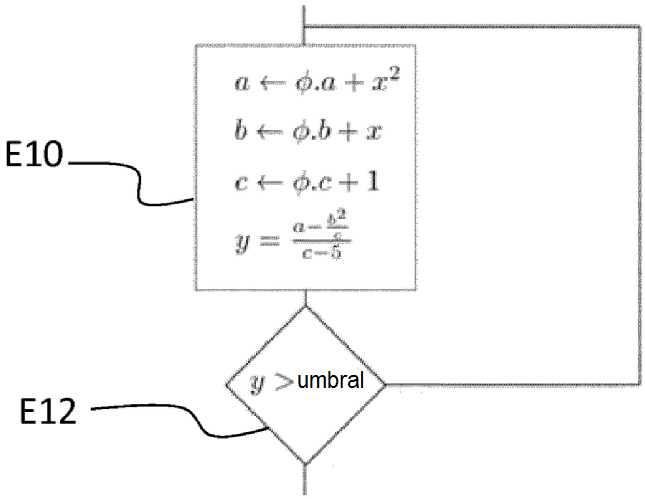

10
11
1
2
3
+
−
Ph
N
6
9
5
7
8

Fig.3

Fig.4


$a \leftarrow \phi.a + x^2$
$b \leftarrow \phi.b + x$
$c \leftarrow \phi.c + 1$
$y = \frac{a - \frac{b^2}{c}}{c - \delta}$
$y >$ umbral
E10
E12

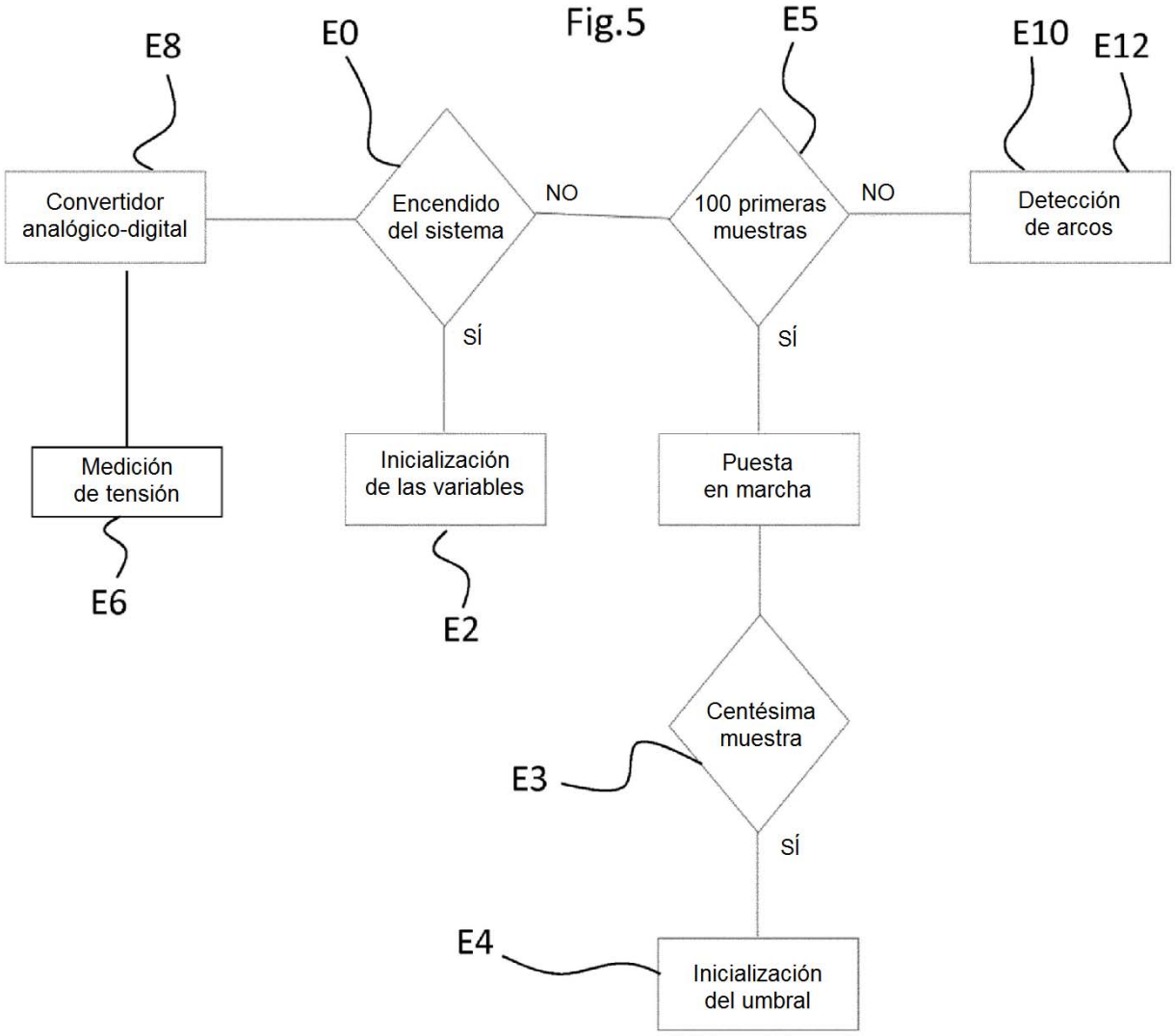


Fig.5
E8
E0
E5
E10
E12
Convertidor analógico-digital
Encendido del sistema
NO
100 primeras muestras
NO
Detección de arcos
SÍ
SÍ
Medición de tensión
Inicialización de las variables
Puesta en marcha
E6
E2
Centésima muestra
E3
SÍ
E4
Inicialización del umbral