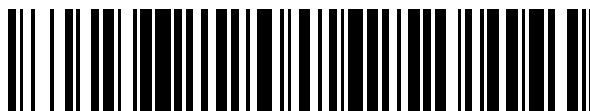


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 787 264**

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/EP2016/079467**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093421**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16806040 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 3384593**

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

30 Prioridad:

**01.12.2015 FR 1561626**

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

**15.10.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CHARENTREUIL, NICOLAS y  
SIAT, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 787 264 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 un arco eléctrico parásito en una instalación fotovoltaica

Campo técnico de la invención

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

Estado de la técnica

10 Las instalaciones fotovoltaicas tienen la característica de funcionar con corriente y tensión eléctricas continuas. Esto es problemático en el caso de la aparición de un arco eléctrico, lo que puede ocurrir en conductores o conexiones defectuosas (por ejemplo, después de la apertura de un conector bajo carga o debido a la corrosión de un conductor). En corriente y tensión continuas, no hay extinción natural del arco eléctrico por el paso por cero de la tensión y de la corriente, como sucede en el caso de la corriente alterna. Como resultado, el arco eléctrico que se produce dentro de una instalación fotovoltaica es capaz de generar un plasma, liberando un calor muy elevado, durante un período de tiempo importante. Tal plasma es destructivo y puede provocar un comienzo de incendio. Por razones de seguridad, por lo tanto, es indispensable detectar la presencia de un eventual arco eléctrico dentro de una instalación fotovoltaica e interrumpirlo a tiempo para evitar cualquier degradación o comienzo de incendio. A este efecto, la instalación fotovoltaica está equipada con un dispositivo de detección de arco o detector de arco. Éste generalmente está asociado con un dispositivo de intervención o extinción de arco, destinado a intervenir para interrumpir el arco eléctrico e impedir cualquier degradación o comienzo de incendio.

20 Un arco eléctrico es producido por 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 a una corrosión, por ejemplo). La aparición de un arco eléctrico se acompaña de un frente o salto positivo de tensión de corta duración, del orden de unos pocos microsegundos. Este salto de tensión, llamado tensión de arco  $V_{arc}$ , tiene un valor que es característico de un arco eléctrico. La tensión de arco depende del material de los electrodos. Generalmente está comprendida entre 10V y 30V. Si los electrodos son de cobre, por ejemplo, la tensión de arco  $V_{arc}$  es del orden de 12 V. Por lo tanto, un aumento brusco, comprendido entre 10V y 30V, de una tensión medida dentro de una instalación fotovoltaica revela muy a menudo la aparición de un arco eléctrico en la instalación. Dado que el plasma del arco eléctrico desempeña el papel de una resistencia que aumenta con el tiempo, el frente de tensión inicial generalmente es seguido por un aumento progresivo en la tensión medida hasta alcanzar una tensión de circuito abierto.

30 Existen varios procedimientos de detección un arco eléctrico en una instalación fotovoltaica. Un procedimiento conocido se basa en la detección de un frente o salto de tensión positivo caracterizado por un aumento brusco de tensión, de una duración de unos pocos microsegundos y de un valor correspondiente a la tensión de arco  $V_{arc}$ , típicamente comprendida entre 10V y 30V. A este efecto, se mide, por ejemplo, la tensión en los bornes de uno o más módulos fotovoltaicos de la instalación.

35 El arco eléctrico es un fenómeno físico que también puede ocurrir, en funcionamiento normal, en un dispositivo de control y/o de protección electromagnética, al abrir o cerrar contactos o polos. Por ejemplo, un interruptor seccionador genera, al abrir, un arco eléctrico de una duración menor o igual a una duración máxima conocida. Unos medios de extinción de arco pueden permitir interrumpir el arco para que no dure más allá de una duración máxima X de arco predefinida. Típicamente, la duración máxima X de arco de un interruptor seccionador es del orden de unos pocos cientos de milisegundos para una corriente de varios amperios, por ejemplo, de 800 ms para una corriente de 14A. Generalmente, un arco eléctrico que tiene una duración menor o igual a esta duración X de arco no representa un riesgo de comienzo de incendio en el medio en el que se produce el arco.

45 Una instalación fotovoltaica puede integrar uno o más interruptores de desconexión. Estos generan al abrir un arco eléctrico que se sopla o se extingue por medios de extinción del arco, a más tardar a la expiración de una duración de extinción de arco predefinida. Sin embargo, dicho arco eléctrico puede ser detectado por el dispositivo de detección de arco de la instalación fotovoltaica, si ésta tiene un tiempo de reacción muy rápido, y desencadenar una detección de arco que provoca una parada total o parcial intempestiva de la Instalación fotovoltaica.

Para garantizar el funcionamiento correcto de la instalación fotovoltaica y evitar cualquier parada intempestiva de ésta cuando a la apertura de un interruptor seccionador, el dispositivo de detección de arco no debe dispararse en caso de aparición de un arco eléctrico vinculado a un funcionamiento normal del interruptor seccionador.

50 El documento de K. Hoziy et al., «A Low-Cost Power-Quality Meter With Series Arc-Fault Detection Capability for Smart Grid» IEEE transactions on power delivery, IEEE service center, New York, NY, US, vol. 28, no. 3 páginas 1584-1591, XP011515987 – 1 julio de 2013, describe un procedimiento de detección de un arco eléctrico. El documento FR 3 002 645 describe también un procedimiento de detección de un arco eléctrico.

Objeto de la invención.

A este efecto, la invención se refiere a un procedimiento de detección de un arco eléctrico parásito en una instalación fotovoltaica que incluye al menos un módulo fotovoltaico y un órgano electromecánico susceptible de generar un arco eléctrico no parásito de una duración menor o igual a una duración de extinción de arco dada, durante una apertura de contactos de dicho órgano, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- 5           - Detección de la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica;
- Activación de un contador de tiempo a contar desde un instante de aparición del arco eléctrico;
- Después de la expiración de la duración de la extinción de arco a contar desde el instante de la aparición del arco, medición de al menos una de las magnitudes eléctricas del grupo que incluye una tensión de dicho al menos un módulo fotovoltaico y una corriente producida por la instalación;
- 10          - Prueba de comparación para determinar si la magnitud eléctrica medida es igual a una tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico o de una corriente nula;
- Si la prueba es negativa, identificación de un arco eléctrico parásito.

El término "parásito" pretende designar un arco eléctrico no vinculado a un funcionamiento normal del órgano electromecánico, generalmente vinculado a un fallo.

- 15          La invención permite diferenciar un arco eléctrico generado por la apertura bajo carga de los contactos de un órgano electromecánico de la instalación fotovoltaica, no parásito, de un arco eléctrico parásito, vinculado a un fallo. Gracias a esto, se evita la activación de una detección de arco eléctrico positivo si el arco eléctrico detectado está vinculado a la apertura del órgano electromecánico, en funcionamiento normal.

- 20          Ventajosamente, durante la etapa de medición, a la expiración de la duración de extinción de arco, se mide la tensión de dicho al menos un módulo fotovoltaico y la corriente producida por la instalación, lo que comprende un primera prueba de comparación para determinar si la tensión medida es igual a la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico y una segunda prueba de comparación para determinar si la corriente medida es nula, y porque se determina que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si al menos una de las dos pruebas es negativa. La identificación de un arco eléctrico parásito (o no parásito) es, por lo tanto, aún más fiable.

- 25          En un primer modo de realización, se detecta la aparición de un arco eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de tensión característico de la aparición de un arco eléctrico.

En un segundo modo de realización, se detecta la aparición de un arco eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de corriente característico de la aparición de un arco eléctrico.

- 30          La invención también se refiere a un dispositivo para la detección de un arco eléctrico parásito destinado a equipar una instalación fotovoltaica que incluye al menos un módulo fotovoltaico y un órgano electromecánico destinado a generar un arco eléctrico no parásito de una duración inferior o igual a una duración de extinción de arco dada, durante una apertura bajo carga de contactos de dicho órgano, caracterizado por que comprende:

- un módulo de detección de la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica;
- un contador destinado a contar un período de tiempo transcurrido desde el momento en que aparece el arco eléctrico;
- 35           - un sensor de medición de al menos una de las magnitudes eléctricas del grupo que incluye una tensión en los bornes del módulo fotovoltaico y una corriente producida por la instalación, destinado a realizar una medición después de la expiración del tiempo de extinción del arco a contar desde el instante de aparición del arco;
- un módulo de prueba destinado a realizar una prueba de comparación para determinar si la magnitud eléctrica medida es igual a una tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico o a una corriente nula;
- 40           - un módulo de identificación del arco eléctrico detectado destinado a determinar que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si el módulo de prueba proporciona un resultado de prueba negativo.

- 45          Ventajosamente, el dispositivo comprende al menos un sensor de medición de la tensión de dicho al menos un módulo fotovoltaico y un sensor de medición de la corriente producida por la instalación, ya que el módulo de prueba está destinado a realizar una prueba de comparación de la tensión medida con la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico y una prueba de comparación de la corriente medida con una corriente nula, y porque el módulo para identificar el arco eléctrico detectado está destinado a determinar que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si el módulo de prueba proporciona un resultado de prueba negativo para al menos una de las dos pruebas de comparación realizadas.

- 50          En una primera forma de realización, el dispositivo comprende un módulo de detección de la apariencia de un arco

eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de tensión característico de la aparición de un arco eléctrico.

5 En una segunda forma de realización, el dispositivo comprende un módulo de detección de la aparición de un arco eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de corriente característico de la aparición de un arco eléctrico.

La invención también se refiere a una instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende un dispositivo de detección de arco eléctrico parásito.

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

Finalmente, la invención se refiere a una instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende un sistema de seguridad como se definió anteriormente.

Breve descripción de los dibujos.

15 La invención se entenderá mejor con ayuda de la siguiente descripción de un modo de realización particular del procedimiento de detección de un arco eléctrico parásito y de una forma de realización particular de un dispositivo de detección de un arco eléctrico parásito, de un sistema de seguridad para instalación fotovoltaica y de una instalación fotovoltaica, según la invención, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra un esquema de una instalación fotovoltaica según una realización ejemplar de la invención;

20 La figura 2 muestra la evolución temporal esquemática de la tensión en los bornes de un arco eléctrico generado con la apertura de un órgano electromagnético y la evolución temporal esquemática concomitante de la corriente producida por la instalación fotovoltaica de la figura 1;

La Figura 3 muestra un ejemplo de evolución temporal de la tensión de un módulo fotovoltaico de la instalación fotovoltaica de la figura 1 en presencia de un arco eléctrico generado con la apertura de un órgano electromagnético de la instalación;

25 La Figura 4 muestra la evolución temporal esquemática de la tensión en los bornes de un arco eléctrico de serie de larga duración producido dentro de la instalación fotovoltaica y la evolución temporal esquemática concomitante de la corriente producida por la instalación fotovoltaica;

La Figura 5 muestra un ejemplo de evolución temporal de la tensión de un módulo fotovoltaico de la instalación en presencia de un arco eléctrico en serie de larga duración;

30 La Figura 6 muestra la evolución temporal esquemática de la tensión en los bornes de múltiples arcos en serie de cortas duraciones producidos dentro de la instalación fotovoltaica y la evolución temporal esquemática concomitante de la corriente producida por la instalación fotovoltaica;

La Figura 7 muestra un ejemplo de evolución temporal de la tensión de un módulo fotovoltaico de la instalación en presencia de múltiples arcos en serie de cortas duraciones;

35 La figura 8 muestra un organigrama de las etapas del procedimiento de detección de un arco eléctrico parásito, según un modo de realización particular de la invención;

La figura 9 representa un dispositivo de detección de un arco eléctrico parásito para una instalación fotovoltaica, según una forma de realización particular de la invención, adaptado para implementar el procedimiento de la figura 8.

Descripción detallada de modos de realización particulares de la invención.

40 La invención tiene como objetivo activar una detección positiva de arco eléctrico dentro de una instalación fotovoltaica 100 solo si el arco eléctrico es un arco parásito, es decir, vinculado a un fallo (por ejemplo, un fallo de un conductor o un fallo de conexión). Por el contrario, un arco eléctrico «no parásito» está vinculado a un funcionamiento normal, no defectuoso de la instalación fotovoltaica 100 y no representa a priori un riesgo para la seguridad. Un arco eléctrico no parásito puede producirse en la apertura bajo carga (es decir, mientras fluye una corriente eléctrica distinta de cero) de  
45 contactos de un órgano electromecánico, por ejemplo, de un interruptor seccionador.

En la figura 1, se muestra esquemáticamente un ejemplo de una instalación fotovoltaica 100. Ésta comprende, de manera conocida, varios módulos fotovoltaicos (PV) 1 conectados a un ondulador 2 y un interruptor seccionador 3. Los PV 1 son idénticos aquí. El ondulador 2 está destinado a convertir la corriente continua 1 producida por los módulos fotovoltaicos 2 en una corriente alterna y suministrar esta última a una red eléctrica 4. La función del interruptor seccionador 3 es interrumpir la corriente y aislar eléctricamente las partes aguas arriba y aguas abajo para operaciones  
50

de mantenimiento, por ejemplo.

El procedimiento de la invención busca detectar la presencia o ausencia de un arco eléctrico parásito, vinculado a un fallo, dentro de una instalación fotovoltaica 100, mientras se evita detectar la presencia de un arco eléctrico no parásito. Un arco eléctrico parásito puede producirse en cualquier lugar de la instalación 100, por ejemplo, entre los módulos fotovoltaicos 1 y el ondulador 2 (como se representa por el arco eléctrico 5 en la figura 1), o dentro de un módulo fotovoltaico 1, o incluso en un enlace que conecta en serie varios módulos fotovoltaicos 1 (como se representa por el arco eléctrico 5' en la figura 1). Un arco eléctrico no parásito puede producirse en el funcionamiento normal de la instalación 100, aquí dentro del interruptor seccionador 3, cuando los contactos se abren bajo carga.

Un arco eléctrico provoca una variación importante de la tensión dentro de la instalación eléctrica 100. La aparición del arco eléctrico se caracteriza por un frente o salto positivo de tensión, de una duración del orden de unos pocos microsegundos y con una amplitud igual a una tensión de arco inicial  $V_{arc0}$  característica. El valor de esta tensión de arco inicial  $V_{arc0}$  es típicamente del orden de 20 V, generalmente comprendida entre 10 V y 30 V. Depende del material de los electrodos entre los cuales se forma el arco eléctrico. Cuando aparece un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica 100, ya se trate de un arco eléctrico vinculado a un fallo (por ejemplo, el arco de 5 o 5') o de un arco eléctrico vinculado a la apertura bajo carga del interruptor seccionador 3, la tensión en los bornes de cada módulo fotovoltaico 1 aumenta bruscamente desde la tensión de arco inicial  $V_{arc0}$  y la corriente  $I$  producida por la instalación fotovoltaica también disminuye bruscamente desde un valor  $I_{arc}$ . Este valor  $I_{arc}$  depende de la posición del punto de funcionamiento de la curva de corriente-tensión, o curva característica  $I$ - $V$ , del módulo fotovoltaico y de su nivel de iluminación.

El arco eléctrico que se produce a la apertura bajo carga del interruptor 3 tiene perfiles de tensión y de corriente característicos, tales como los mostrados esquemáticamente en la figura 2. En esta figura 2, los instantes  $T_0$  y  $T_1$  representan respectivamente los instantes de aparición y de corte (o de interrupción) del arco eléctrico en el interruptor 3. Supóngase que los módulos fotovoltaicos 1 de la instalación 100 funcionan en su punto de máxima potencia o MPP (del inglés «Maximal Power Point»), caracterizado por una corriente  $I_{MPP}$  y una tensión  $V_{MPP}$ . En el instante  $T_0$ , la tensión en los bornes del arco pasa bruscamente de un valor nulo o casi nulo a una tensión de arco  $V_{arc0}$  y la corriente producida por la instalación fotovoltaica 100 pasa de un valor  $I_{MPP}$  a un valor  $I_{MPP-I_{arc}}$ . La tensión y la corriente permanecen constantes, o sustancialmente constantes, e iguales, respectivamente, a la tensión  $V_{arc0}$  y a la corriente  $I_{MPP-I_{arc}}$  hasta el instante  $T_1$  de corte del arco. La tensión del arco podría aumentar ligeramente durante los instantes  $T_0$  y  $T_1$  debido a un aumento en la resistencia del plasma, lo que provoca una sensible disminución concomitante de la corriente  $I$ . La duración  $d$  entre los instantes  $T_0$  y  $T_1$  es menor o igual a una duración predefinida de extinción de arco  $X$  (aquí  $d$  es sustancialmente menor que  $X$ ). Luego, a contar desde el instante  $T_1$ , la tensión del arco vuelve a pasar a un valor nulo o casi nulo y la corriente de la instalación resulta nula (estando el interruptor 3 abierto). En la figura 3, se ha mostrado la evolución en el tiempo de la tensión  $V_m$  en los bornes de un módulo fotovoltaico 1 cuando se produce el arco eléctrico con la apertura del interruptor seccionador 3. En el instante  $T_0$ , la tensión  $V_m$  pasa bruscamente de la tensión  $V_{MPP}$  del punto de máxima potencia del módulo 1 a una tensión de arco  $V_{MPP+V_{arc0}}$ , por un primer frente positivo de tensión. En el instante  $T_1$ , debido a la desaparición del arco y a la apertura del interruptor seccionador 3, la tensión  $V_m$  pasa bruscamente a la tensión  $V_{oc}$  en circuito abierto del módulo fotovoltaico 1. Entre los dos instantes  $T_0$  y  $T_1$ , la tensión  $V_m$  aumenta aquí ligeramente debido al aumento en la resistencia del plasma.

Hay dos tipos principales de arcos eléctricos parásitos, vinculados a fallos en el sistema fotovoltaico 100:

- arcos eléctricos en serie de larga duración y
- los arcos en serie múltiples de cortas duraciones.

En las Figuras 4 y 6 se muestran esquemáticamente los perfiles de corriente y tensión de estos dos tipos de arcos.

La figura 4 representa el perfil de corriente y de tensión de un arco eléctrico en serie de larga duración. En el instante  $T_0$  (aparición del arco eléctrico), la tensión en los bornes del arco pasa bruscamente de un valor nulo o casi nulo a una tensión de arco inicial  $V_{arc0}$  y la corriente  $I$  producida por la instalación fotovoltaica 100 pasa del valor  $I_{MPP}$  a un valor  $I_{MPP-I_{arc}}$ . La tensión y la corriente permanecen constantes, o aproximadamente constantes, e iguales, respectivamente, a la tensión  $V_{arc0}$  y a la corriente  $I_{MPP-I_{arc}}$  durante un período que excede la duración  $X$  de extinción de arco del interruptor 3. Sin embargo, la tensión podría aumentar gradualmente con el tiempo, debido a un aumento de la resistencia del plasma y provocar una disminución progresiva concomitante de la corriente  $I$ . En la figura 5, se ha mostrado la evolución en el tiempo de la tensión terminal  $V_m$  en los bornes de un módulo fotovoltaico 1 cuando se produce un arco eléctrico en serie de larga duración en la instalación 100. En el instante  $T_0$ , la tensión  $V_m$  pasa bruscamente de la tensión  $V_{MPP}$  a una tensión de arco  $V_{MPP+V_{arc0}}$ , por un frente positivo de tensión. Luego la tensión  $V_m$  se estanca o aumenta ligeramente de manera gradual, prosiguiendo esta evolución más allá de la duración  $X$  a contar desde el frente.

La figura 6 representa el perfil de corriente y tensión de arcos eléctricos en series múltiples de cortas duraciones. Los arcos eléctricos de este tipo están vinculados a fallos de conexión (oxidación de contacto, rotura de soldadura, aflojamiento del bloque de terminales, etc.). En presencia de tales fallos de conexión, se forman electrodos, pero permanecen por construcción muy cerca uno del otro, o incluso en contacto aleatorio, lo que induce conexiones eléctricas aleatorias. Puede aparecer un arco eléctrico entre estos electrodos, y durar desde unos pocos microsegundos

5 hasta unos pocos cientos de microsegundos. Mediante la fusión de los materiales del electrodo, se puede crear un puente de soldadura, restableciendo así el contacto eléctrico entre los electrodos, y luego romperse nuevamente bajo el efecto Joule de la corriente, causando así la aparición de un nuevo arco. Este proceso de aparición y desaparición de un arco puede repetirse varias veces y generar así una sucesión de arcos eléctricos de cortas duraciones separados por períodos sin arco.

10 Con referencia a la Figura 6, en el instante  $T_0$  (aparición de un primer arco eléctrico), la tensión en los bornes del arco pasa bruscamente de un valor nulo o casi nulo a una tensión de arco  $V_{\text{arco}}$  y la corriente producida por la instalación fotovoltaica 100 pasa de un valor  $I_{\text{MPP}}$  a un valor  $I_{\text{MPP}} - I_{\text{arc}}$ . La tensión y la corriente permanecen constantes, o aproximadamente constantes, e iguales respectivamente a la tensión  $V_{\text{arco}}$  y a la corriente  $I_{\text{MPP}} - I_{\text{arc}}$  durante un corto período de duración  $\tau_1$  (menor que la duración  $X$ ) y luego la tensión vuelve a una tensión nula o casi nula y la corriente a una corriente  $I_{\text{MPP}}$  durante un período  $\tau_1'$ . Dicha secuencia se repite varias veces, una tras otra, con duraciones variables  $\tau_1$  y  $\tau_1'$ . En la figura 7, se ha mostrado la evolución en el tiempo de la tensión  $V_m$  en los bornes del módulo fotovoltaico 1 cuando se producen arcos eléctricos en series de corta duración: la tensión, inicialmente igual a  $V_{\text{MPP}}$ , pasa durante un período  $\tau_1$  a  $V_{\text{MPP}} + V_{\text{arco}}$ , luego vuelve a pasar a  $V_{\text{MPP}}$  durante un período  $\tau_1'$ , esta secuencia se repite varias veces con duraciones  $\tau_1$  y  $\tau_1'$  variables. Tal acumulación de cortos tiempos de arcos eléctricos genera un calentamiento muy importante que puede provocar un comienzo de incendio,

La instalación fotovoltaica 100 comprende un dispositivo 6 de detección de un arco eléctrico parásito. Con referencia a la figura 9, el dispositivo de detección 6 comprende aquí:

- un módulo 7 de detección de la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica;
- 20 - un contador 8 destinado a contar un período de tiempo transcurrido desde el instante de la aparición del arco eléctrico;
- uno o más sensores 9 de medición de tensión en los bornes de uno o más módulos fotovoltaicos 1 de la instalación fotovoltaica 100;
- un sensor 10 de medición de la corriente producida por la instalación fotovoltaica 100;
- 25 - un módulo 11 de control destinado a ordenar mediciones de tensión y corriente por los sensores 9 y 10;
- un módulo 12 de prueba destinado a realizar una prueba de comparación de la tensión medido con una tensión en circuito abierto  $V_{\text{oc}}$  del módulo fotovoltaico 1 y una prueba de comparación de la corriente medida con una corriente nula;
- 30 - un módulo 13 de identificación del arco eléctrico detectado destinado a determinar si se trata de un arco eléctrico parásito o de un arco eléctrico vinculado a la apertura bajo carga del interruptor 3;
- memorias de almacenamiento (no se muestran);
- una unidad 14 de procesamiento, en este caso un microprocesador.

35 Los módulos 7, 8, 11, 12 y 13 son aquí componentes de software destinados a ser ejecutados por el microcontrolador 14. Los componentes de hardware y/o de software de la unidad 14 de procesamiento son adecuados para implementar el procedimiento descrito a continuación.

40 El módulo 7 de detección de la aparición de un arco eléctrico está dispuesto para implementar un método conocido de detección de arco eléctrico capaz de detectar rápidamente la aparición de un arco eléctrico, preferiblemente con un retardo máximo de unos pocos cientos de microsegundos después de esta aparición. El método de detección puede basarse en la detección de un salto de tensión, como se describe, por ejemplo, en el documento de patente FR3002645, o en la detección de un salto de corriente, como se describe en la solicitud de patente francesa presentada con el número 1561622. El módulo 7 de detección está conectado a uno o más sensores de medición de tensión o de corriente, dependiendo del método implementado, mediante enlaces de comunicación. Por ejemplo, puede estar conectado a los sensores 9 o al sensor 10.

45 El contador 8 está destinado a medir el tiempo transcurrido desde un  $T_0$  de aparición de un arco eléctrico detectado por el módulo 7.

El módulo 11 de control está destinado a ordenar las mediciones de tensión y de corriente por los sensores 9 y 10 al final de un período de tiempo transcurrido a contar desde el instante  $T_0$  de aparición del arco eléctrico detectado, que es superior o igual a una duración de extinción de arco  $X$  conocida, que generalmente es del orden de 10 ms o unas pocas decenas de milisegundos.

50 El módulo 12 de prueba está destinado a ejecutar dos pruebas, una (prueba de tensión) sobre la tensión medida por el sensor 9, la otra (prueba de corriente) sobre la corriente medida por el sensor 10. Si varios sensores 9 miden las tensiones en los bornes de varios módulos fotovoltaicos 1, el módulo de prueba realiza una prueba de tensión para cada

tensión medida. La prueba de tensión consiste en comparar la tensión del módulo fotovoltaico medida con la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$  de este módulo para determinar si la tensión medida es igual a  $V_{OC}$ . La prueba de corriente consiste en determinar si la corriente medida de la instalación fotovoltaica es nula. El módulo de prueba podría no realizar más que uno de dos tipos de pruebas (corriente o tensión).

- 5 El módulo 13 de identificación está destinado a identificar el carácter «parásito» o «no parásito» del arco eléctrico detectado, en otras palabras, llamado a determinar si el arco eléctrico detectado es un arco eléctrico parásito (a priori vinculado a un fallo) o un arco eléctrico no parásito (a priori vinculado a la apertura bajo carga del interruptor 3), dependiendo de los resultados de las pruebas de tensión y/o de corriente.

- 10 Todos los elementos del dispositivo de detección 6 están conectados a la unidad 14 de procesamiento, que está adaptada para controlar su funcionamiento. La unidad 14 de procesamiento está destinada a ejecutar los diversos módulos de software del dispositivo 6. También tiene por función transmitir un comando de seguridad a un dispositivo 15 de intervención, en caso de detección de un arco eléctrico parásito.

- 15 El dispositivo 6 de detección está conectado al dispositivo 15 de intervención por un enlace 17 de comunicación. El dispositivo 15 de intervención tiene por función interrumpir un arco eléctrico parásito detectado por el dispositivo 6 de detección, por orden de éste, para evitar cualquier riesgo de deterioro o de incendio.

El dispositivo 6 de detección de arco eléctrico parásito y el dispositivo 12 de intervención forman un sistema de seguridad para la instalación fotovoltaica 100.

Con referencia a la figura 8, se describirá a continuación un procedimiento de detección de un arco eléctrico parásito en la instalación fotovoltaica 100.

- 20 El procedimiento comprende una primera etapa E0 de detección de la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica, realizado por el módulo 7 de detección. Esta etapa de detección puede implementarse llevando a cabo cualquier método conocido de detección de un arco eléctrico, adecuado de detección el arco rápidamente, preferiblemente con un retardo máximo de unos pocos cientos de microsegundos después de su aparición. Por ejemplo, la detección del arco eléctrico se lleva a cabo de acuerdo con el método de detección descrito en el documento de patente FR3002645. Como variante, la aparición de un arco eléctrico podría detectarse por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de corriente característico de la aparición de un arco eléctrico, como se describe en la solicitud de patente francesa presentada con el número 1561622.

Obsérvese  $T_0$  como el instante de aparición del arco eléctrico. Este instante  $T_0$  se detecta durante la etapa E0.

- 30 En el instante  $T_0$ , durante una etapa E1, el contador 8 se activa para medir el tiempo a contar desde la aparición del arco eléctrico detectado, durante una etapa E1.

- 35 El módulo 11 de control ejecuta a continuación una etapa de prueba E2 en una sucesión de instantes  $t_i$ , posterior a  $T_0$ , para verificar si la duración entre  $T_0$  y  $t_i$ , es superior o igual a la duración  $X$  de extinción del arco. La etapa E2 se repite para instantes  $t_i$  sucesivos siempre que la prueba sea negativa. Si la prueba es positiva en un instante  $t_i = T_2$ , siendo la duración entre los instantes  $T_0$  y  $T_2$  superior o igual a la duración  $X$  de extinción de arco, el procedimiento pasa a una etapa de medición E3.

Durante la etapa E3, bajo orden del módulo 11 de control, los sensores 9 y 10 miden la tensión  $V_m(T_2)$  en los bornes de al menos un módulo fotovoltaico 1 de la instalación 100 y la corriente  $I(T_2)$  producida por la instalación 100 en el instante  $T_2$ . Como variante, la tensión  $V_m$  y la corriente  $I$  se pueden medir poco después de este instante  $T_2$ .

El procedimiento continúa con dos etapas de prueba E4 y E5, realizadas por el módulo 12 de prueba.

- 40 Durante la etapa de prueba E4, el módulo 12 realiza una prueba de comparación de la tensión medida  $V_m(T_2)$  con la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$  del módulo fotovoltaico 1. Esta prueba de tensión consiste en determinar si la tensión medida  $V_m(T_2)$  es igual a la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$ . Si se miden las tensiones en los bornes de varios módulos fotovoltaicos 1, la prueba de tensión se ejecuta para cada una de las tensiones medidas. La prueba es positiva si la tensión medida  $V_m(T_2)$  es igual a la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$ , y negativa en caso contrario. Se podría aceptar un cierto margen de precisión y considerar que la prueba E4 es positiva si la  $V_m(T_2)$  es igual a la tensión de circuito abierto  $V_{OC} + \alpha - 10\%$  de  $V_{OC}$ .

- 50 Durante la etapa de prueba E5, el módulo 12 realiza una prueba de comparación de la corriente medida  $I(T_2)$  con una corriente nula. Esta prueba de corriente consiste en determinar si la corriente  $I(T_2)$  es nula, siendo la prueba positiva si la corriente  $I(T_2)$  es nula y negativa en caso contrario. Se podría aceptar un cierto margen de precisión y considerar que la prueba es positiva si la corriente  $I(T_2)$  es inferior al 10% de  $I_{MPP}$  (corriente del punto de máxima potencia).

Las dos pruebas E4 y E5 son seguidas de una etapa E6 de identificación del arco eléctrico detectado que consiste en determinar si se trata de un arco parásito (vinculado a un fallo) o de un arco no parásito (vinculado a la apertura bajo carga del interruptor 3), realizada por el módulo 13. Si al menos una de las dos pruebas es negativa, en otras palabras, si

5 la tensión medida  $V_m(T2)$  es diferente de la tensión  $V_{OC}$  (eventualmente dentro del 10%) y/o si la corriente medida  $I(T2)$  no es nula (o eventualmente sustancialmente nula, dentro del 10% de  $I_{MPP}$ ), se determina que el arco eléctrico detectado es un arco parásito. Si las dos pruebas son positivas, en otras palabras, si la tensión medida  $V_m(T2)$  es igual a la tensión  $V_{OC}$  y si la corriente medida  $I(T2)$  es nula, se determina que el arco eléctrico detectado es un arco no parásito, vinculado aquí a la apertura bajo carga del interruptor 3.

10 Cuando se detecta un arco eléctrico parásito, la unidad 14 de procesamiento envía automáticamente al dispositivo 15 de intervención un comando para asegurar la instalación 100, durante una etapa E7. Durante una etapa E8, el dispositivo 15 de intervención asegura la instalación fotovoltaica 100. Esta puesta en seguridad puede basarse en interruptores controlados a distancia. Puede consistir en una orden para interrumpir el funcionamiento de la instalación fotovoltaica, lo que permite detener el arco eléctrico parásito y suprimir cualquier riesgo de degradación y/o de comienzo de incendio.

15 En el modo de realización del procedimiento descrito anteriormente, la tensión en los bornes de al menos un módulo fotovoltaico 1 y la corriente producida por la instalación fotovoltaica 100 se miden en el instante T2. Como variante, se podría medir solo una de estas dos magnitudes eléctricas, por ejemplo, la tensión  $V_m(T2)$  o la corriente  $I(T2)$ , probar solo el valor medido (con la tensión  $V_{OC}$  para la tensión  $V_m(T2)$  medida, y con una corriente nula para la corriente  $I(T2)$  medida, y determinar si el arco eléctrico detectado es un arco parásito o no parásito, dependiendo de si la prueba es negativa o positiva, respectivamente.

20 El procedimiento de detección de arco eléctrico que se acaba de describir permite diferenciar un arco eléctrico generado por un interruptor seccionador de una instalación fotovoltaica, en la apertura de los contactos del interruptor, de un arco eléctrico vinculado a un fallo. Más generalmente, el procedimiento de la invención permite la diferenciación de un arco eléctrico generado por un órgano electromecánico susceptible de generar un arco eléctrico en la apertura y/o cierre bajo carga de contactos del órgano, de un arco eléctrico vinculado a un fallo. El órgano electromecánico puede ser, por ejemplo, un interruptor, un contactor o incluso un disyuntor.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de detección un arco eléctrico parásito en una instalación fotovoltaica (100) que incluye al menos un módulo fotovoltaico (1) y un órgano electromecánico (3) susceptible de generar un arco eléctrico no parásito de una duración inferior o igual a una duración (X) de extinción de arco dada, durante una apertura de contactos de dicho órgano (3), caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
- Detección (E0) de la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica (100);
  - Activación (E1) de un contador de tiempo a contar desde un instante (T0) de aparición del arco eléctrico;
  - Después de la expiración de la duración (X) de extinción del arco a contar desde el instante (T0) de aparición del arco, medición (E3) de al menos una de las magnitudes eléctricas del grupo que incluye una tensión ( $V_m$ ) de dicho al menos un módulo fotovoltaico (1) y una corriente (I) producida por la instalación (100);
  - Prueba de comparación (E4; E5) para determinar si la magnitud eléctrica medida es igual a una tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) del módulo fotovoltaico o a una corriente nula;
  - Si la prueba es negativa, identificación de un arco eléctrico parásito.
- 10
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que, durante la etapa de medición (E3) a la expiración de la duración de la extinción de arco, se mide la tensión de dicho al menos un módulo fotovoltaico y la corriente producida por la instalación, por que comprende una primera prueba de comparación (E4) para determinar si la tensión medida es igual a la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico y una segunda prueba (E5) de comparación para determinar si la corriente medida es nula, y por que se determina (E6) que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si al menos una de las dos pruebas es negativa.
- 20 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se detecta (E0) la aparición de un arco eléctrico mediante la ejecución de un algoritmo de detección un salto de tensión característico de la aparición de un arco eléctrico.
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se detecta (E0) la aparición de un arco eléctrico mediante la ejecución de un algoritmo de detección de un salto de corriente característico de la aparición de un arco eléctrico.
- 30 5. Dispositivo de detección de un arco eléctrico parásito para una instalación fotovoltaica (100) que incluye al menos un módulo fotovoltaico (1) y un órgano electromecánico (3) destinado a generar un arco eléctrico no parásito de duración inferior o igual a una duración de extinción de arco dada, durante una apertura bajo carga de contactos de dicho órgano, caracterizado por que comprende:
- un módulo (7) de detección la aparición de un arco eléctrico en la instalación fotovoltaica;
  - un contador (8) destinado a contar un período de tiempo transcurrido a contar desde el instante de aparición del arco eléctrico;
  - un sensor (9; 10) de medición de al menos una de las magnitudes eléctricas del grupo que incluye una tensión en los bornes del módulo fotovoltaico (1) y una corriente producida por la instalación (100), destinado a realizar una medición después de expiración de la duración de extinción (X) del arco a contar desde el instante (T0) de aparición del arco;
  - un módulo (12) de prueba destinado a realizar una prueba de comparación para determinar si la magnitud eléctrica medida es igual a una tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico o a una corriente nula;
  - un módulo (13) de identificación del arco eléctrico detectado destinado a determinar que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si el módulo de prueba proporciona un resultado de prueba negativo.
- 35
- 40
- 45 6. Dispositivo según la reivindicación anterior, caracterizado por que comprende al menos un sensor (9) de medición de la tensión de dicho al menos un módulo fotovoltaico y un sensor (10) de medición de la corriente producida por la instalación, por que el módulo (12) de prueba está destinado a realizar una prueba de comparación de la tensión medida con la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico y una prueba de comparación de la corriente medida con una corriente nula, y por que el módulo (13) de identificación del arco eléctrico detectado está destinado a determinar que el arco eléctrico detectado es un arco parásito si el módulo de prueba proporciona un resultado de prueba negativo para al menos una de las dos pruebas de comparación realizadas.
- 50 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 5 y 6, caracterizado por que comprende un módulo (7) de detección de la aparición de un arco eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de tensión característico de la aparición de un arco eléctrico.

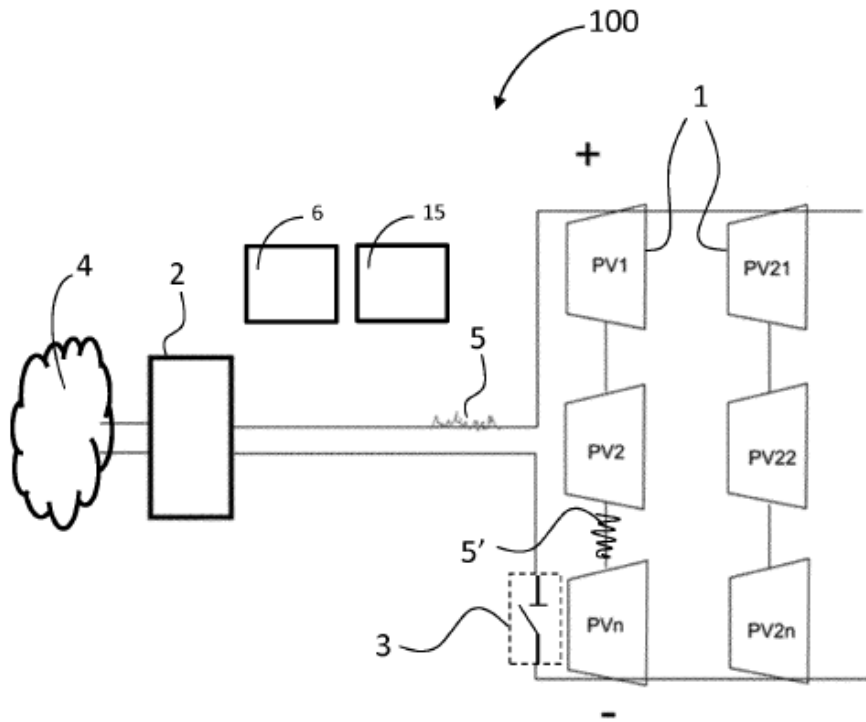
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 5 y 6, caracterizado por que comprende un módulo de detección de la aparición de un arco eléctrico por ejecución de un algoritmo de detección de un salto de corriente característico de la aparición de un arco eléctrico.

5 9. Instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende un dispositivo de detección de arco eléctrico parásito según una de las reivindicaciones 5 a 8.

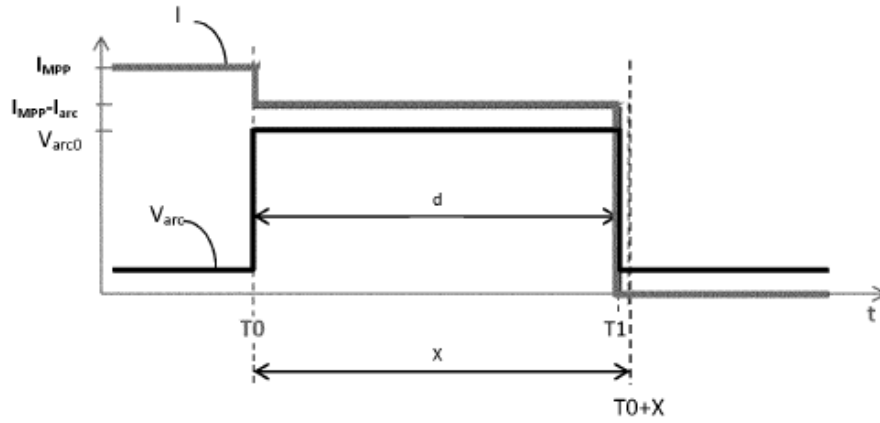
10. Sistema de seguridad para una instalación fotovoltaica, caracterizado por que comprende un dispositivo de detección de un arco eléctrico parásito según una de las reivindicaciones 5 a 8 y un dispositivo de intervención destinado a poner la instalación fotovoltaica en condiciones de seguridad en caso de arco eléctrico.

11. Instalación fotovoltaica, caracterizada por que comprende un sistema de seguridad según la reivindicación 10.

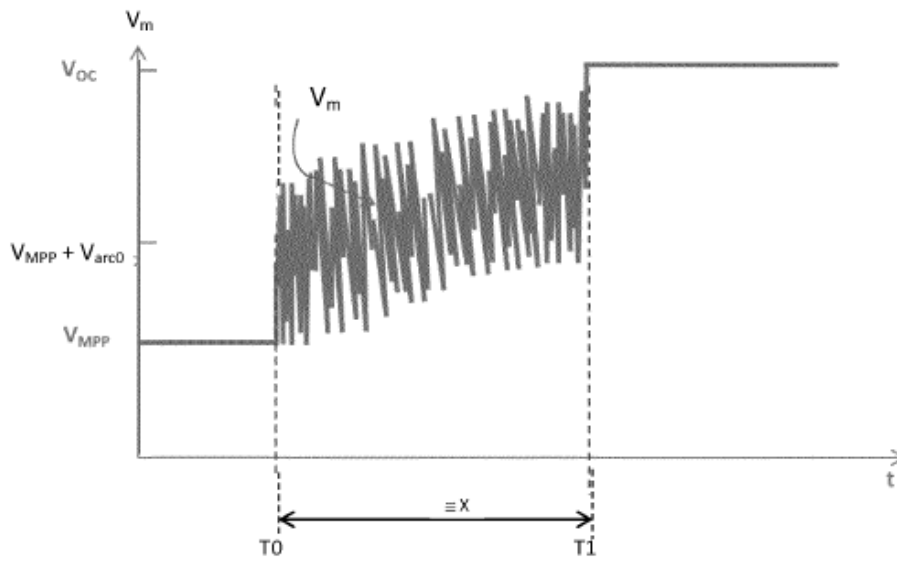
10



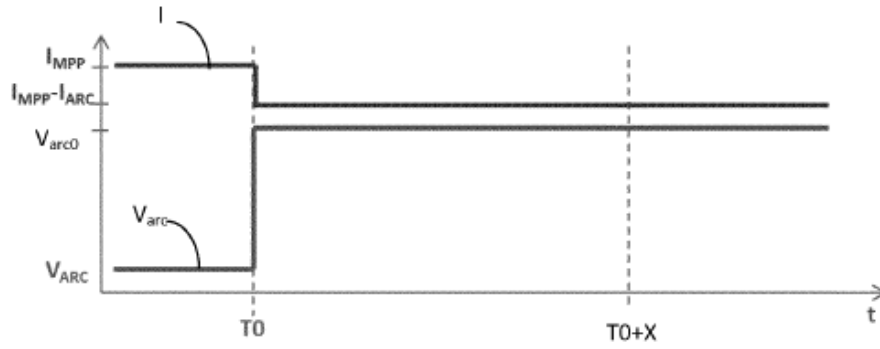
**Figura 1**



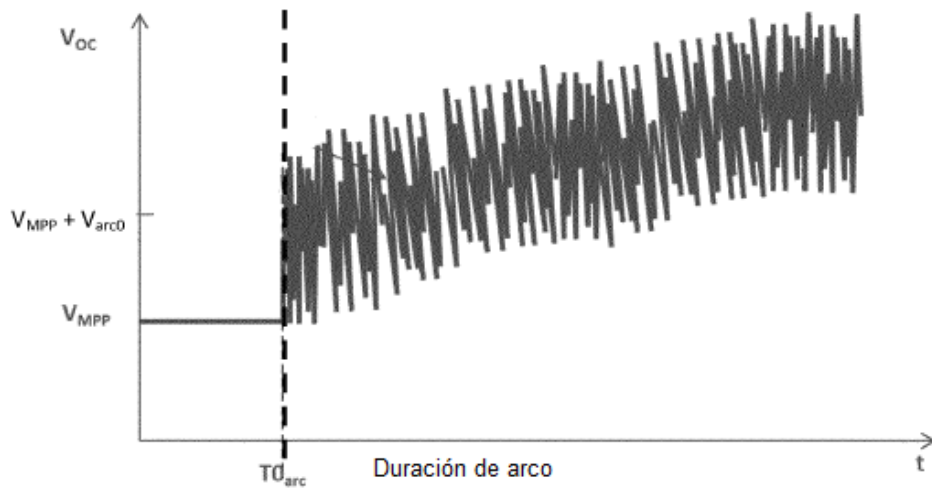
**Figura 2**



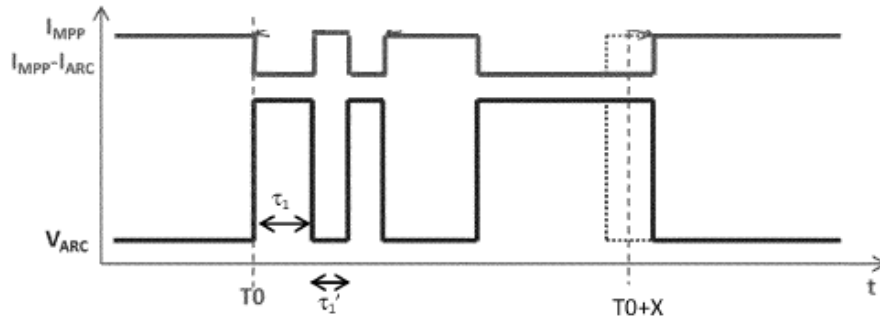
**Figura 3**



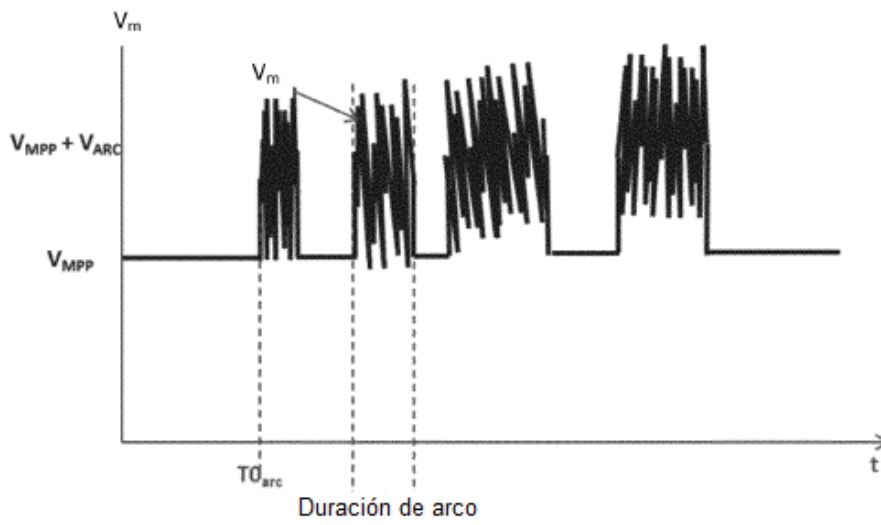
**Figura 4**



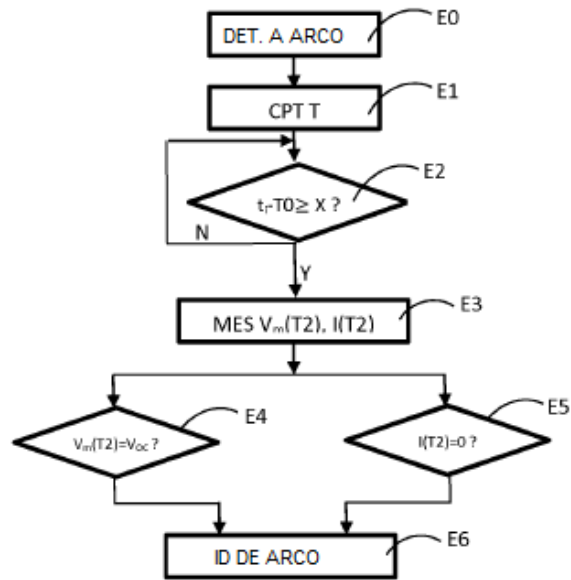
**Figura 5**



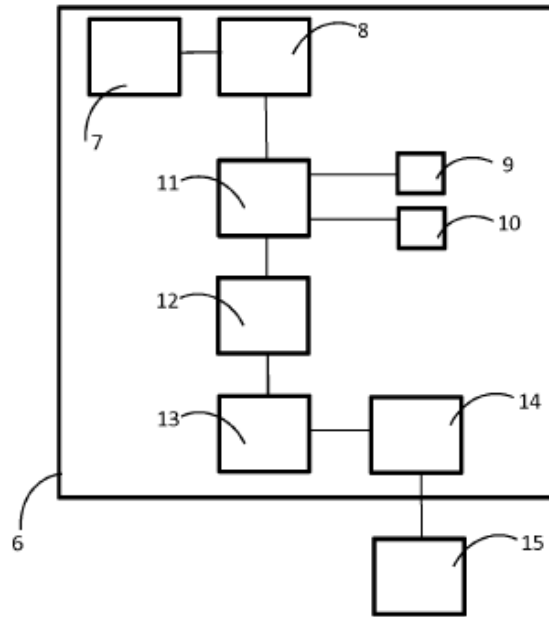
**Figura 6**



**Figura 7**



**Figura 8**



**Figura 9**